平成27年度

漁港・漁場の施設の設計手法の高度化 検討調査事業

報告書

平成28年3月

国立研究開発法人水産総合研究センター ー般社団法人水産土木建設技術センター ー般財団法人漁港漁場漁村総合研究所 国際気象海洋株式会社 復建調査設計株式会社 株式会社アルファ水エコンサルタンツ 平成27年度漁港・漁場の施設の設計手法の高度化検討調査事業

年次報告書

1. 課題名

漁港・漁場の施設の設計手法の高度化検討調査事業

- 【小課題】
 - (1) 耐震設計手法高度化の検討
 - (2) 耐津波設計手法高度化の検討
 - (3) 漁場の施設の設計手法高度化の検討
 - (4) 津波漂流物対策の技術の検討
 - (5) 自然環境に配慮した施設等の現状調査
- 【その他】
 - (6) 検討委員会等の設置

2. 実施機関及び担当者

- (1) 耐震設計手法高度化の検討
 - 国立研究開発法人水産総合研究センター 水産工学研究所 水産土木工学部水産基盤グループ
 - 主任研究員 佐伯公康 主幹研究員 中村克彦
 - 復建調査設計株式会社
 - 防災部 部長
 藤井照久
 東京支社第一技術部河川港湾技術課 主任エンジニア
 水工部沿岸技術課
 東京支社第一技術部地盤環境課 主任
 西本敦範
- (2) 耐津波設計手法高度化の検討
 - 国立研究開発法人水産総合研究センター 水産工学研究所 水産土木工学部水産基盤グループ
 - 水産基盤グループ長 大村智宏 任期付研究員 杉松宏一 一般財団法人漁港漁場漁村総合研究所 第1調查研究部長 西崎孝之 第1調查研究部 主席主任研究員 加藤広之 株式会社アルファ水工コンサルタンツ 東京本部 技術部 副本部長 奥野正洋 技術部 部 長 佐藤勝弘 国際気象海洋株式会社 技術部 グループリーダー 門 安曇 技術部 技師 野地雅貴 鈴木宏満 技術部 技師

(3) 漁場の施設の設計手法高度化の検討

国立研究開発法人水産総合研究センター水産工学研究所

水産土木工学部生物環境グループ

グループ長	川俣茂
主幹研究員	森口朗彦
水産土木工学部水産基盤グループ	
研究員	杉松宏一
主幹研究員	中村克彦
グループ長	大村智宏
特任部長	明田定満
水産土木工学部長	中山哲嚴
国際気象海洋株式会社	
技術部 グループリーダー	小林 学
技術部 技師	野地雅貴
技術部 技師	鈴木宏満
株式会社アルファ水工コンサルタンツ 東京本部	
技術部 部 長	綿貫 啓
技術部 副本部長	奥野正洋
一般財団法人漁港漁場漁村総合研究所	
第2調查研究部長	伊藤靖
第2調查研究部 主任研究員	吉野真史
(4) 津波漂流物対策の技術の検討	
一般財団法人漁港漁場漁村総合研究所	
第1調查研究部長	西崎孝之
第1調查研究部 主席主任研究員	加藤広之
第1調查研究部 主席主任研究員	竹原洋一郎
株式会社アルファ水工コンサルタンツ 東京本部	
技術部 副本部長	奥野正洋
技術部 部 長	佐藤勝弘
技術部本部長補佐	富澤伸樹
技術部 主 任	五十嵐雄介
(5) 白伏環暗に配慮した協設等の現状調本	
一般社団法人水産十大建設技術センター	
調査研究部 次長	安藤 百
主任研究員	云丽 显
	T PUP

(6)検討委員会の設置 国立研究開発法人水産総合研究センター 水産工学研究所 水産土木工学部生物環境グループ

グループ長 川俣 茂

主幹研究員	森口朗彦		
水産土木工学部水産	基盤グループ		
研究員		杉松宏一	
主幹研究員	中村克彦		
グループ長	大村智宏		
特任部長	明田定満		
水産土木工学部長	中山哲嚴		
一般財団法人漁港漁場漁	魚村総合研究所		
第1調查研究部長		西崎孝之	
第1調查研究部	主席主任研究員	加藤広之	
第1調查研究部	主席主任研究員	竹原洋一郎	
第2調査研究部長		伊藤靖	
第2調査研究部	主任研究員	吉野真史	

3. 本調査事業の概要

(1)研究開発の目的

漁港・漁場の施設の設計手法については、平成27年度より、従来の「仕様規定型」から 「性能規定型」へ移行するとともに、これまでに蓄積された新たな技術的知見を取り入れ ることで、より的確かつ効率的な新たな体系として運用することとしている。

この設計手法の移行にあたっては、平成24年度から平成26年度まで、水産庁委託調査「漁港漁場施設の性能規定化等技術検討」の中で技術的検討が行われてきた。主な成果は、 新たにとりまとめられた「漁港・漁場の施設の設計参考図書」に反映されたが、引き続き 検討を要する課題も残された。

このため、本事業では、これらの課題を解決するとともに、 技術の進歩、社会情勢・需要の変化等に応じた設計の高度化を図るための調査・検討を行った。

(2)成果の概要

課題ごとの成果の概要は次のとおりである。

1) 耐震設計手法高度化の検討

二次元地震応答解析により、軟弱地盤上の矢板式係船岸の耐震設計に使用できる フィルター関数を算出した。また、地震動が作用した時の矢板等の変形状態および 部材の応力を把握して、変形量等の許容値の案を示した。

2) 耐津波設計手法高度化の検討

構造上の弱点箇所における設計方法及び対策工法の検討として、漁港施設の被災 パターンから弱点の抽出・整理をし、弱点箇所の津波の流れや波力について実験等 を行った。また、粘り強い構造にかかる性能評価手法、設計方法及び対策工法の検 討として、防波堤のパラペット形状による被覆材の安定性について実験等を行った。 3)漁場の施設の設計手法高度化の検討

着定基質(石材)の安定質量算定の提案式について、群体・囲い礁付設置の適合 性を模型実験で調べるとともに、現地に試験的に単体で設置された割石を用いて検 証実験を行った。

また、沈設魚礁の安全性照査法の妥当性を検討するため、現地に設置された魚礁 と増殖礁の移動状況と波浪・流動の調査を行うとともに、滑動抵抗算定法の見直し の必要の有無を調べるため、魚礁の沈下・埋没に関する文献レビューと簡単な模型 実験を行った。

さらに、海洋モデルを利用した流れの設計条件の決定方法を検討するため、長期 間の流動観測を実施した福島県沿岸で、数値海洋モデルの再現性等を調べた。

4) 津波漂流物対策の技術の検討

津波、漂流物に関する既往知見を収集し、体系化した。モデル地区として田老地 区を選定し、漂流物対策施設の効果を検証するとともに、漂流シミュレーションの 活用方法について検討を行った。さらに、モデル地区において漂流物の対策施設に ついて試設計を行った。

以上の検討結果を整理し、漁港における漂流物対策施設設計ガイドライン(案) を作成した。

5) 自然環境に配慮した施設等の現状調査

自然環境に配慮した藻場造成施設について、整備後の藻場分布状況、生物の蝟集 状況等に関して、全国アンケート調査、及び、現地踏査・調査をおこない調査結果 を整理した。また、これらの結果から課題問題点の分析・整理を行うとともに、調 査結果をとりまとめて事例集として整理した。

4. 実施報告

以下、課題別に、ねらい、調査方法、調査結果、今後の課題等を示す。引用文献につ いても明示する。

4.1	耐震設計手法高度化の検討・・・・・・・・・・・・・・・・4-1-1~4-1-53
4.2	耐津波設計手法高度化の検討・・・・・・・・・・・・・・・4-2-1~4-2-28
4.3	漁場の施設の設計手法高度化の検討・・・・・・・・・・・4-3-1~4-3-26
4.4	津波漂流物対策の技術の検討・・・・・・・・・・・・・・・4-4-1~4-26
4.5	自然環境に配慮した施設等の現状調査・・・・・・・・・・4-5-1~4-5-17
4.6	検討委員会の設置・・・・・・・・・・・・・・・4-6-a1~196、4-6-b1~424

4.1 耐震設計手法高度化の検討

(1) ねらい

係船岸のレベル1 地震動に対する耐震性能照査には、震度法が標準的に使用されて いる。従来、震度法は、地域別震度(都道府県別をいくつかのランクに分類して震度 を示した数表)が使用され、場所ごとの地震動の周波数特性の違い、係船岸の壁高、 許容変形量を考慮できなかったが、「港湾の施設の技術上の基準・同解説」平成19 年 版¹⁾(以下、港湾基準)ではフィルター関数を使用する方法が示されてそれらを考慮 に入れた設計水平震度(照査用震度)の算出が可能となった。「漁港・漁場の施設の設 計参考図書」平成27 年版²⁾(以下、設計参考図書)では、地域別震度の掲載を継続す るとともに、重力式係船岸についてのみ使用できる方法としてフィルター関数(いわ ゆる漁港フィルター)が示されたが、漁港の係船岸に多用されているもう一つの構造 形式である矢板式係船岸についてのフィルター関数が未提示となっている。

また、矢板式係船岸の性能照査における変形量及び部材応力については、他基準等 を参考にした許容値が使用されているが、漁港の係船岸の典型的な断面について、地 震時の部材応力の分布、部材応力と変形量の関係等を的確に把握し、その実態に応じ た許容値を設定すべきと考えられる。

そこで本調査では下記の①~②を実施する。

①矢板式係船岸のフィルター関数の検討

漁港の、水深の浅い矢板式係船岸をモデル化した二次元地震応答解析(解析コード として FLIP を使用)を実施し、工学的基盤から正弦波を入力して、係船岸の変形量が 所定の値に達するのに必要な正弦波の振幅を把握する。正弦波の周波数を種々に変え てこれを実施して、解析結果に基づき、照査用震度の算定において必要となるフィル ター関数の素案を示す。過去の矢板式係船岸の被災では軟弱な地盤に設置された施設 で変形が大きく生じていることから、今年度は先行的に、軟弱な地盤(Ⅲ種地盤)を モデル化し、水深を2種類に設定する。

②矢板式係船岸の変形特性等の検討

①に用いたものと同じ地盤・水深のモデルを用いて、振幅を種々に変えて継続時間の長い正弦波を入力する解析を行う。この解析結果における天端位置の水平変形量と構造部材(前面矢板、控え工、タイロッド)の応力の変化を地震動の強さと関連付けて整理する。以上の整理をもとに、矢板式係船岸の性能照査に使用する許容値(許容変形量、許容曲げモーメント等)について、構造上の安全の観点からの適切な値を検討する。

以下、論述構成は次の通りとする。まず①の方法、結果を述べる。次に①に係る簡 易な検証について述べる。次に②の方法、結果を述べる。次に性能照査に使用する許 容値について述べ、最後に今後の課題を述べる。

なお、本調査で実施した二次元地震応答解析のモデル設定の詳細ならびに、本調査 で得られた計算値と図表の一部については、紙数の都合上、本報告書から省き、別途 資料編としてとりまとめ、水産庁整備課担当官へ電子ファイルで提出する。

また、本調査の「②矢板式係船岸の変形特性等の検討」を補足する取り組みとして、 「応答震度法」の考え方を参考にして、二次元モデルの横方向に静的な載荷を行う解 析も実施した。その概要と結果も、資料編に収める。

(2) 矢板式係船岸のフィルター関数の検討(方法)

矢板式係船岸について、重力式の漁港フィルター検討と同様に 0.4Hz~4.0Hz の正弦 波 10 波を用いて二次元地震応答解析(FLIP)により係船岸天端の残留変形量がちょう ど 10cm および 20cm になるような正弦波の振幅を探索し、その結果から周波数と応答 値の関係を求めた。これより、設計水平震度の算定において必要となるフィルター関 数を提案した。

検討モデルは、地盤条件は軟弱地盤(Ⅲ種地盤)、水深条件は既往の重力式の検討³⁾ に合わせ-2.1m、-5.1mの2水深とした。平成26年度の「水産基盤整備調査委託事業 漁 港漁場施設の性能既定化等技術検討」においてⅢ種地盤を対象として水深1種類 (-4.1m)について検討されているのでこれと同等の地盤モデルを用い、異なる水深を 設定した。控え工は漁港において適用実績の多い控え直杭式とした。

表 4-1-1 に既往検討を含む検討ケースを示す。今年度実施する検討ケースは、赤字 で示したケースである。

構造水深 (m)	壁高(m)	第I種地盤	第Ⅱ種地盤	第Ⅲ種地盤	
-2.0	4.0	\diamond	\diamond	\diamond	
-2.1	-2.1 3.6		•		
-3.0	6.0	\diamond	\diamond	\diamond	
-4.1	6.1	•	•		
-5.1	7.1	•	•		
-7.5	11.5	O∆□☆	O∆□☆	O∆□☆	
-11.0	15.0	O∆□☆	O∆□☆	O∆□☆	
-14.5	18.5	0	0	0	

表 4-1-1 フィルター検討ケース(既往検討を含む)

※: □: 漁港の検討ケース (●: 重力式 (kh=0.10), ▲: 控え直杭矢板 (kh=0.10))
 : 港湾の検討ケース (○: 重力式 (kh=0.10), △: 控え直杭矢板 (kh=0.10),

□;控え組杭矢板 (kh=0.15), ◇;自立矢板 (kh=0.10),☆;二重矢板 (kh=0.10))

※: 🔺:今年度実施ケース

なお、この検討では、既往の港湾フィルター・漁港フィルターの検討と同様、レベル1程度の地震動を想定し、液状化は検討対象外であるため、FLIPの液状化パラメータを設定しない。つまり、土粒子と間隙水の扱い方による分類でいえば、有効応力解析ではなく全応力解析である。後述する矢板式係船岸の変形特性等の検討においても液状化パラメータを設定しない。

図 4-1-1 に検討フローを示す。このフローは文献⁴⁾を参考とした。



図 4-1-1 矢板式係船岸のフィルター関数の検討フロー

設計水平震度 kh=0.10、Ⅲ種地盤(T=1.2s)の条件で安定計算を実施して構造諸元を 設定し、フィルター関数の検討に使用した。

水深-2.1m および水深-5.1m の場合の構造諸元を図 4-1-2 に示す。



図 4-1-2(1) 構造諸元の設定(水深-2.1m)



図 4-1-2(2) 構造諸元の設定(水深-5.1m)

上記のとおり設定した検討モデルを対象に正弦波による二次元地震応答解析(FLIP) を行い、係船岸天端の残留変形量が10cm、20cmになる正弦波の振幅を探索した。

入力波形は、継続時間 40sec の正弦波、主要動継続時間を 5 秒とし、主要動の前後 にはコサイン状のテーパーをかけた波形を用いた。周波数は、0.4、0.6、0.8、1.0、

1.1、1.2、1.5、2.0、3.0、4.0Hz の 10 ケースとした。 入力波形の一例として、図 4-1-3 に周波数 1.0Hz、加速度 100Gal の波形を示す。



上記の結果を基に、周波数と応答値の関係を近似するフィルターを作成した。 フィルターの関数形は港湾基準に合わせ、式(1-1)、式(1-2)、式(1-3)とし、関数に 含まれる6つの係数c1~c6、およびfbを求めた。求め方の詳細は次項で述べる。

$$a(f) = \begin{cases} b & (f \le f_b(Hz)) \\ \frac{b}{1 - \{g(f)\}^2 + c_1 g(f)i} & (f > f_b(Hz)) & \cdots & \vec{x} (1-1) \\ g(f) = c_6(f - f_b) & & \cdots & \vec{x} (1-2) \\ 0 & - & \vec{x} (1-2) \\ 0 & - & \vec{x} (1-3) \end{cases}$$

$$b = c_2 \frac{H}{H_R} + c_3 \frac{T_b}{T_{bR}} + c_4 \frac{T_u}{T_{uR}} + c_5$$

- f:周波数(Hz)
- f_b: 境界周波数(Hz)
- *i*:虚数単位
- *H*:壁高(m)
- *H_R*:基準壁高(=15.0m)
- T_b:背後地盤の初期固有周期(s)
- TbR: 背後地盤の基準初期固有周期(=0.8s)
- *T_u*:壁体下地盤の初期固有周期(s)
- Ture: 壁体下地盤の基準初期固有周期(=0.4s)

(3) 矢板式係船岸のフィルター関数の検討(結果)

1) 動的解析 (FLIP) の結果

図 4-1-4~5 に、岸壁天端の残留水平変形量を 20cm となる場合の水深-2.1m、-5.1m モデルの FLIP 解析結果の一例(入力波形 1.0Hz の場合)を示す。解析結果は、残留変 形図、入力波形、水平変位、矢板曲げモーメント、控え工曲げモーメント、タイ材張 力の時刻歴図を示している。

図 4-1-6~7 に、岸壁天端の残留水平変形量を 10cm となる場合の水深-2.1m、-5.1m モデルの FLIP 解析結果の一例(入力波形 1.0Hz の場合)を示す。解析結果は、残留変 形図、入力波形、水平変位、矢板曲げモーメント、控え工曲げモーメント、タイ材張 力の時刻歴図を示している。



図 4-1-4(1) FLIP 解析結果の一例 (水深-2.1m、1.0Hz)

4-1-8







図 4-1-5 (1) FLIP 解析結果の一例 (水深-5.1m、1.0Hz)



図 4-1-5(2) FLIP 解析結果の一例(水深-5.1m、1.0Hz)





図 4-1-6(1) FLIP 解析結果の一例 (水深-2.1m、1.0Hz)



図 4-1-6(2) FLIP 解析結果の一例 (水深-2.1m、1.0Hz)





図 4-1-7(1) FLIP 解析結果の一例(水深-5.1m、1.0Hz)



図 4-1-7(2) FLIP 解析結果の一例 (水深-5.1m、1.0Hz)

2) 周波数と地表面応答加速度の関係

係船岸の天端の残留変形量が 10cm、20cm となる条件について、正弦波の周波数と地 表面応答加速度の関係を図 4-1-8 に示す。既往検討と同様に高周波側では非常に大き な加速度が必要であるが、低周波側で小さな加速度で 10cm 或いは 20cm の変形が発生 する結果となった。

本解析結果が設計水平震度 0.10の検討モデルで算定されたことを考慮して、いずれの周波数においても地表面応答加速度が 100Gal となるような補正係数 α(f)を算出すると図 4-1-9 となった。これがフィルター関数の素地であり、これを地表面応答加速度に周波数領域で乗じることにより、一様変形スペクトルを得ることができる。

図 4-1-9 には比較のため、港湾基準に示された水深の深い矢板式のフィルター関数 を示したが、計算結果のプロットに対して港湾フィルターは小さい値を与え、すなわ ち照査用震度を過小に評価してしまう可能性がある。したがって、水深の浅い漁港の 矢板式係船岸における変形量に対応した照査用震度を設定するためには、港湾基準の フィルターとは別に漁港の係船岸に適合するフィルターの設定が必要であると判断さ れた。

ここに示すのは地盤条件が1種類のみの結果である。実設計等に用いることができる汎用性あるフィルターを設定するためには、今後他の地盤条件での検討も必要である。



図 4-1-8(1) 正弦波の周波数と地表面応答加速度(PGA)の関係 (水深-2.1m)



図 4-1-8(2) 正弦波の周波数と地表面応答加速度(PGA)の関係 (水深-4.1m) ※H26d 検討より



図 4-1-8 (3) 正弦波の周波数と地表面応答加速度 (PGA) の関係 (水深-5.1m)







次に、漁港の矢板式係船岸に適合するフィルター関数(案)を複数種作成した。前述の図 4-1-9 に示した a(f)値を吟味し、表 4-1-2 に示す①~③の3つの方法で目的変数 b値(低周波側のフラット部分の高さ)と境界周波数 fb(フラット部分と右下がり部分の境界の周波数)を設定し、それぞれ、H/Hb、Tb/TbR、Tu/TuR を説明変数として重回帰分析を行うことにより、係数 c2~c5 を求めた。

方法	目的変数 b 值	境界周波数 fb	備考
1	0.8Hz の α (f)	1.0Hz	港湾基準の手法
2	1.0Hz より小さいα(f)の平均値	1.0Hz	
3	1.2Hz より小さいα(f)の平均値	1.2Hz	

表 4-1-2 フィルター設定方法一覧

境界周波数 fb より高周波側は式 1-1 を用いて周波数と応答値の関係を近似する係数 c1、c6 を求めた。具体的には、方法①~③それぞれについて、解析値と近似線の誤差 が最小となる係数 c1、c6 を最小二乗法により求め、その平均値を係数 c1、c6 とした。

変形量 2 種類 (δ =10 cm、20 cm) と方法 3 種類 (①~③)の組み合わせにより 6 種類 のフィルター関数 (案)を作成した。

図 4-1-10 に、変形量 δ =10cm の解析結果を使用して表 4-1-2 の方法①~③により求めたフィルター関数を、水深-5.1m のケースについて示す。



図 4-1-10 周波数特性考慮用フィルター (水深-5.1m、変形量δ=10cmの例)

(4) 矢板式係船岸のフィルター関数の妥当性に関する簡易な検証

前項で設定したフィルター(案)の妥当性について簡易な検証を行った。詳細な検証は、後年度、地震動継続時間の影響、種々のレベル1地震動への適用性など多角的に実施されるものと考え、今年度は、下記の簡易な検証を行った。

- (ア)前項の解析結果がフィルター関数を求めるのに適するものかどうか、部材応力 に着目して検証。
- (イ) 前項で求めた6種類のフィルターと解析結果との誤差から妥当性を検証。
- (ウ)実際の設計に使用される地震動を想定した検証。前項の解析と同じモデル(設計水平震度 0.10)を用い、4 種類のレベル 1 地震動を入力する二次元動的解析 (FLIP)を実施。残留変形量が 10cm、20cm となる場合の地表面応答加速度を求め、その地表面応答加速度に矢板式フィルターを乗じて照査用震度を求めた。この照査用震度が検討断面の設計水平震度 0.10 に近い値になるかどうかを確認。

上記の(ウ)は、全国各地のレベル1地震動を用いて、設計水平震度0.10で設定した断面について二次元動的解析(FLIP)を実施し、残留変形量が20cm、10cmとなる場合の地表面応答加速度を繰返し解析により求め、その地表面応答加速度に矢板式フィルターを乗じて求めた照査用震度が検討断面の設計水平震度0.10になるかどうかで矢板式フィルターの妥当性を評価した。図4-1-11に(ウ)の検討フローを示す。



図 4-1-11 簡易な検証(ウ)のフロー

(ア)~(ウ)は次のような結果となった。

(ア)について、図 4-1-12、13 は岸壁天端の残留変形量が 20cm、10cm となる条件 の部材の最大応力と降伏応力の比を示したものである。これより、20cm 変形時には、 控え杭およびタイロッドが降伏に達するケースがあることが分かる。なお、本図には 過年度の水深-4.1mの結果も示している。



図 4-1-12 部材に発生する最大応力と降伏応力の比(20cm 変形時)



図 4-1-13 部材に発生する最大応力と降伏応力の比(10cm 変形時)

表 4-1-3 に、降伏値とその 80%を便宜的に目安値とし、求まった応力値を大きさに 応じて分類して示す。天端変形量 $\delta = 10$ cm のケースでは部材応力が降伏値に至るケー スはほとんどなかったが、 $\delta = 20$ cm のケースは控え杭とタイロッドが降伏に至るケー スが多かった。一般にレベル1 地震動に対する耐震設計では、部材の降伏を許容して いない。フィルター関数はレベル1 地震動に対する耐震設計に使用するものであるか ら、フィルター関数構築の素材とするのは、降伏に達さない解析ケースのほうが良い と判断される。



表 4-1-3 発生した部材応力と降伏値との比較

(イ) について、表 4-1-4 に、①~③の各方法について、解析結果との偏差から求 めた分散を示す。分散が小さいほど、その方法によるフィルター関数は解析結果をよ く近似できていると言える。分散値の合計を比較すると、 $\delta = 10$ cm では方法③が、変 形量 $\delta = 20$ cm では方法②が最も値が小さく、解析結果との整合性がよいと言える。

表 4-1-4 変形量 δ=10cm、20cm に対する各検討ケースの分散値とその合計値

水深(m)	変形量10cm		変形量20cm			
	方法①	方法②	方法③	方法①	方法②	方法③
-2.1	0.0079	0.0088	0.0083	0.012	0.008	0.010
-4.1	0.019	0.022	0.017	0.033	0.022	0.040
-5.1	0.028	0.034	0.025	0.049	0.033	0.058
合計値	0.055	0.065	0.050	0.094	0.063	0.108

(ウ) について、図 4-1-14 に照査用震度算定結果を示す。変形量 $\delta = 10 \text{ cm} \text{ oD} \gamma \mu$ ターを用いれば、各ケースとも若干大きめではあるが、照査用震度は概ね 0.10 となっ た。一方、 $\delta = 20 \text{ cm} \text{ oD} \gamma \mu$ ターは照査用震度を過大に評価する傾向が見られた。こ れは、 $\delta = 20 \text{ cm} \text{ oD} \gamma \mu$ ターは上述のように天端 20 cm 変形の解析ケース(多くのケー スで部材が降伏)に基づいていることが原因と考えられる。 $\delta = 10 \text{ cm} \text{ oD} \text{ oD} \gamma$ ィルターが最も整合性がよかった。

以上より、本検討における最適フィルターの候補を、変形量δ=10cmに対する方法 ②または③に絞りこんだが、(ウ)で使用した地震動が4波形と少ないことから、正弦 波による解析結果のほうを重視し、 $\delta = 10 \text{ cm}$ の方法③によるフィルターが最適と判断した。



図 4-1-14 各波形による照査用震度の算定結果

今年度提案したフィルターはⅢ種地盤のみを対象に設定したもので、暫定的な位置づけになる。今後、より硬質な地盤(I種、Ⅱ種地盤)についても同様の検討を行うことが必要である。

(5) 矢板式係船岸の変形特性等の検討(方法)

検討モデルとして、フィルターの検討で用いたモデル(一次固有周期(T₆)が T₆=1.2sec 程度のⅢ種地盤相当の地盤、構造水深-5.1m)を使用した。

入力した地震動の波形は正弦波で、周波数は地盤の一次固有周期相当の周波数 (1.0Hz)とし、波数は20とした。加速度の繰返し振幅は、まず50Ga1とし、その後、 10Ga1ずつ大きい振幅で実施していった。

入力加速度振幅の例を図 4-1-15 に示す。

入力加速度振幅の繰返し回数は 20 波を上限とし解析を実施した。繰返し回数 20 回 とした理由は、図 4-1-16 に示す等価繰返し回数とマグニチュードとの関係 ⁵⁾よりマグ ニチュード 8 程度までを想定したためである。



図 4-1-15 検討に用いた入力加速度振幅の例



図 4-1-16 等価繰返し回数とマグニチュードの関係

(6) 矢板式係船岸の変形特性等の検討(結果)

発散しない限界

発散することなく 20 波の解析を実施できた最大の加速度は 100Gal であった。

2) せん断ひずみ分布

加速度振幅終了時点の地盤のせん断ひずみ分布を図 4-1-17 に示す。図 4-1-17 より 加速度振幅が大きくなるほど地盤のせん断ひずみも大きくなる傾向にある。

加速度振幅が 50Gal では、せん断ひずみが 5%以上となる大ひずみ領域に達している 地盤はほとんどないものの、80Gal 以上になると前面矢板の受働領域(海側)地盤にお いて 5%以上の領域がかなり大きく発生していることがわかる。



着目点1のせん断応力~せん断ひずみ関係

着目点2のせん断応力~せん断ひずみ関係



図 4-1-17(b) 60al 完了時のせん断ひずみ分布図





図 4-1-17(c) 70Gal 完了時のせん断ひずみ分布図




図 4-1-17(d) 80Gal 完了時のせん断ひずみ分布図





図 4-1-17(e) 90Gal 完了時のせん断ひずみ分布図



着目点1のせん断応力~せん断ひずみ関係

着目点2のせん断応力~せん断ひずみ関係





着目点1のせん断応力~せん断ひずみ関係

せん断応力 (kN/m2)

着目点2のせん断応力~せん断ひずみ関係

3) 水平変位、曲げモーメント、タイ材張力の時刻歴

図 4-1-18 に示す節点について水平変位を、同図に示す要素について曲げモーメントを、それぞれ算出した。

各入力加速度振幅の水平変位、曲げモーメント、タイ材張力を整理した結果を 図 4-1-19 にそれぞれ示す。なお、水平変位と曲げモーメントは前面矢板と控え矢 板それぞれについて整理を行っている。また、曲げモーメントについては降伏曲 げモーメントを、タイ材の張力については降伏張力及び破断張力についても併せ て示している。



図 4-1-18 水平変位、曲げモーメントの時刻歴を着目した位置図





-N11

N12

N13

N14

N15

N16

0.10

0.00 -0.10 -0.20



図 4-1-19(b) 水平変位、曲げモーメント、タイ材張力の時刻歴図(60Gal)



図 4-1-19 (c) 水平変位、曲げモーメント、タイ材張力の時刻歴図 (70Gal)



4-1-39



図 4-1-19(d) 水平変位、曲げモーメント、タイ材張力の時刻歴図(80Gal)

4-1-40



図 4-1-19 (e) 水平変位、曲げモーメント、タイ材張力の時刻歴図 (90Gal)

図 4-1-19 (f) 水平変位、曲げモーメント、タイ材張力の時刻歴図(100Gal)

4) 水平方向の変位の残留値

20 波入力後の水平方向の変位の残留値を深度に対して図化して図 4-1-20 に示す。これは前面矢板と控え杭の変形形状を示している。残留変形は繰返し振幅が大きくなるほど大きくなったが、どの繰返し振幅も前面矢板、控え杭ともに似たような形状となった。



図 4-1-20 前面矢板及び控え杭の水平方向の残留変形

図 4-1-20 の変形形状を、深い水深の矢板式係船岸の変形形状と比較した。図 4-1-21 は過去の地震によって被災した港湾施設の矢板構造物の変形パターン⁶⁾であるが、こ の図と図 4-1-20 の形状を比較すると、前面矢板は②の前傾くの字型、控え杭は③の前 傾型に分類できた。但し、前面矢板の深部は①~③のどれとも異なり、海側に凸な曲 がり方を示した。



図 4-1-21 矢板の変形パターン⁶⁾

5) 曲げモーメントの深度分布

最大曲げモーメントと残留曲げモーメントを深度毎に図 4-1-22 に整理した。(a)が 最大曲げモーメント、(b)が残留曲げモーメントの図である。各図とも、入力加速度振 幅毎に繰返し回数 20 回終了時の値を整理した結果である。図中には、深度毎の降伏曲 げモーメント(図中の赤点線)についても併せて示した。

いずれの入力加速度振幅も、曲げモーメントは繰返し振幅が大きくなるほど大きくなった。また、控え杭に着目すると応力振幅が 60Gal 以上は、標高-4m 付近で降伏に至った。ただし、前面矢板はどの繰返し振幅も降伏に至らなかった。



図 4-1-22(b) 残留曲げモーメントの深度分布図

6) 水平方向の変形量と曲げモーメントとの関係

天端の水平方向の変形量(水平方向の変形量の最大値)と最大曲げモーメントとの 関係を整理した。その関係図を図 4-1-23 に示す。(a)が前面矢板、(b)が控え杭の関係 図である。図中、繰返し回数、N=5回、10回、15回、20回のそれぞれについて、入 力加速度振幅毎に整理を行っている。

この図より、変形量と曲げモーメントの関係は、繰返し回数や入力加速度振幅に係わらず概ね1本の線で関係づけられる。また、控え杭は天端の変形量が22~23cm程度で降伏に至っている。





図 4-1-23(a) 矢板の水平方向変形量と曲げモーメントの関係図

図 4-1-23 (b) 控え杭天端の変形量と曲げモーメントの関係図

7) 前面矢板の水平方向の変形量と控え杭の曲げモーメントの関係

前面矢板の天端の水平方向変形量(水平方向の変形量の最大値)と控え杭の曲げモ ーメントとの関係を整理した。その関係図を図 4-1-24 に示す。図中、繰返し回数、N =5回、10回、15回、20回のそれぞれについて、入力加速度振幅毎に整理を行ってい る。

この図より、前面矢板の水平方向の変形量と控え杭の曲げモーメントの関係も、繰返し回数や入力加速度振幅に係わらず概ね1本の線で関係づけられる。また、控え杭の曲げモーメントも前面矢板の天端の変形量が22~23cm程度で降伏に至っている。



図 4-1-24 前面矢板の水平方向変形量と控え杭の曲げモーメントの関係図

8) 前面矢板の水平方向の変形量とタイロッドに生じる張力との関係

前面矢板の天端の水平方向変形量(水平方向の変形量の最大値)とタイロッドの張力との関係を整理した。その関係図を図 4-1-25 に示す。図中、繰返し回数、N=5回、10回、15回、20回のそれぞれについて、入力加速度振幅毎に整理を行っている。

この図より、前面矢板の水平方向の変形量とタイロッドに生じる張力との関係は、 繰返し回数や入力加速度振幅に係わらず概ね1本の線で関係づけられる。また、タイ ロッドは天端の変形量が22~23cm程度で降伏に至っているものの破断張力には至って いない。



図 4-1-25 前面矢板の水平方向変形量とタイロッド張力の関係図

9) 地震動の強さとモーメント・軸力・変形量の関係

今回の解析結果から、地震動の強さと部材のモーメント、軸力および天端変形量の 関係を図 4-1-26 に示す。ここで、地震動の強さは、工学的基盤の地震動の速度の PSI (Power Spectral Intensity)値(速度の自乗の時間積分の平方根)で表した。

この図では、変形特性の検討の6種の加速度(50~100Gal)の4つの時刻(5波、 10波、15波、20波入力時点)に着目し、工学的基盤における正弦波の速度のPSI値(時 刻ゼロから各時刻までの値)と、各時刻までの曲げモーメント・軸力・変位の最大値 をプロットした。

また、フィルター検討のうち変形特性の検討と同じ水深(-5.1m)、同じ周波数(1.0Hz) で実施したケースに着目し、工学的基盤における正弦波の速度の PSI 値(時刻ゼロか ら解析終了時までの値)と、解析終了時までの曲げモーメント・軸力・変位の最大値 をプロットした。変位は残留値(10cm、20cm)ではなく最大値(図 4-1-5 と図 4-1-7 に示した時系列の最大値)をプロットした。

変形特性の検討(50~100Gal)のプロットを見ると、50Gal 以外は、どの加速度の ケースであっても、矢板の曲げモーメントは似た曲線状となった。控え杭の曲げモー メント、タイロッドの軸力、矢板の水平変位についても同様となった。

フィルターの検討のプロットは、10cm 変形時は 50Gal のケースと似た位置、20cm 変形時は 60~100Gal のケースと似た位置になった。

変形特性の検討の 50Gal のケースおよびフィルターの検討の 10cm のケースが他と異 なる傾向を示したのは、タイロッドと控え杭が降伏しなかったことが影響したと考え られる。タイロッドを例にとると、90Gal 以上のケースでは 5 波の時点で降伏し、70Gal 以上のケースでは 10 波の時点で降伏し、60Gal のケースでは 15 波の時点で降伏した。 しかし 50Gal のケースは終始降伏しなかった。フィルターの検討では、10cm のケース は降伏に達さず、20cm のケースは降伏に達した。降伏しないケースでは変位も小さい 範囲に留まったといえる。

50Gal と 10cm のケースを除いてまとめると、工学的基盤の速度の PSI 値が 20 程度で タイロッドが降伏した。その時の水平変位は 20cm 程度であった。PSI 値が 25 程度で控 え杭が降伏した。前面矢板は降伏しなかった。

設計参考図書には、レベル1 地震動に対する矢板式係船岸の許容変形量の参考値と して10cm が示されている。今回の解析では、変形特性の検討では10cm の変形ではど の部材も降伏には至らなかった。フィルターの検討では10cm 変形の30 ケース中、タ イロッドが降伏に至ったのは1ケースであった(図4-1-13参照)。



図 4-1-26 入力波の強さ(工学的基盤の速度の PSI 値)と曲げモーメント・張力・矢板天端水平変位の関係

10) 水深と部材応力との関係

本報告の(4)~(5)「矢板式係船岸のフィルター関数の検討」では複数の水深を設定 している。その結果をもとに水深と部材応力との関係について考察する。表 4-1-3 を 素材とし、既往文献⁷⁾を参考として検討する。

同表より、控え杭については水深が浅いほど降伏に至りやすい結果となった。これ は、今回のようにある一定の天端変形量(例えば 20cm)に着目した場合、水深が浅い 場合のほうが幾何学的にみた変形の度合いが大きいことが関係したと考えられる。(例 えば変形の度合いを「はらみだし量÷水深」という比率で表すと、水深が浅い方がそ の比率が大きくなる。)

一方、タイロッドについては水深が深い方が降伏に至りやすい結果となった。これ

は、水深が深いケースほど前面矢板が担う土圧が大きくなり、その土圧をタイロッド が担ったためと考えられる。

(7) 許容変形量、許容応力度の検討

1) 構造物の安全性の観点からの許容変形量、許容応力度の検討

係船岸に許容変形量、許容応力度を設定することには、一般に、構造物の安全性の 確保の観点と、利用のために必要な性能を確保する観点の、2種類の観点を必要とする。 本項では、矢板式係船岸に許容変形量を設定する意味について、今回の解析結果を 参照して、構造物の安全性の観点から検討する。

前述の解析結果より、レベル1程度の地震動について、許容変形量の標準値とされ ている10cm程度の変形時には、矢板壁、タイ材、控え直杭のいずれも、応力は降伏に 達しておらず、断面力に余裕がある。矢板式係船岸は、一般に、レベル1地震動に対 しては降伏に達しない設計がなされる。許容変形量10cmを設定すると、応力照査より も厳しめの制約を与えることになる。解析結果より、前面矢板は降伏に至らないまま 変形が増大していくので、部材力(曲げモーメント)のみならず変形量にも制約を課 すことには構造の変状を抑止する意味がある。

次にレベル 2 地震動について考える。今回の解析結果では、タイ材と控え直杭について、変形量 20~25cm 程度で降伏に達している。設計参考図書には許容変形量の標準値として 30cm (水深-2.5m~-7.0m の矢板式係船岸の場合)が示されているが、30cm 程度の変形が発生する場合、タイ材と控え直杭に降伏が発生する可能性がある。レベル 2 地震動に対しては、タイ材と控え工については一般に降伏を許容して設計がなされる。そのため、30cm 程度の許容変形量を設定することは、降伏後の変形をある範囲内にとどめる意味がある。一方、仮にレベル 2 地震動に対して 10cm 程度の許容変形量を設定したとすると、それは実質的に降伏を許容しない設計になると考えられる。

2) 利用面からの許容変形量の検討

本項では、矢板式係船岸に許容変形量を設定することについて、今回の解析結果を 参照して、利用のため必要な性能を確保する観点から検討する。

変形の形状によっては、はらみだし時に船体が防舷材ではなく係船岸本体に直接当たり船体に傷が付く可能性がある。漁港の係船岸への防舷材の設置は、利用漁船の形態と干満差によるが、一般的に係船岸天端から下方へ 30cm~200cm 程度の位置になされる。また、防舷材高さ(防舷材は慣用的に岸沖方向の幅を「高さ」と称している)は15cm 程度が一般的である。

このような防舷材の諸元を踏まえ、「前傾くの字型」変形の断面形状を想定した場合、 漁船が係船岸本体に当たる心配はないと考えられる。

一方、変形が非常に大きくなると法線が波打つ状態になり、船体と係船岸の間隔が 広い場所では乗降者が海中転落する恐れが高まったり、乗下船や積卸しの能率の低下 を招いたりすることも考えられる。そのため個別施設の許容変形量の設定においては、 船体と係船岸の間隔が広がったときの乗下船や積卸しの状態を想定し、乗下船や積卸 しが困難となるしきい値を見出して、その値を許容変形量とすることも考えられる。

また、今回の解析で、前面矢板が海側へ大きくはらみ出す場合はそれに追随するよ

うに控え工もはらみ出す結果が示された。この場合、実際の構造物では控え工の上方 の地表面に亀裂等の変状が生じて陸上の車両通行等に支障を及ぼすおそれがある。個 別施設の許容変形量の設定においては、このような支障についても必要に応じて考慮 するのがよいと考えられる。

(8) 今後の課題

今年度提案したフィルター関数はⅢ種地盤のみを対象に設定したもので、暫定的な 位置づけである。今後、より硬質な地盤(I種、Ⅱ種地盤)についても同様の検討を 行い、種々の地盤に適用可能な汎用性のあるフィルター関数を作成する必要がある。 その解析においては、部材応力と変形量の関係に留意し、降伏の有無を確認しておく 必要がある。I種、Ⅱ種地盤を網羅したフィルター関数が作成されたら、実際の地震 動への適用性、地震動継続時間による補正式(港湾基準の式)の適用性等について包 括的に検証を行う必要がある。

また、今年度の解析では、矢板式係船岸の変形形状および部材応力の分布が得られ た。この結果を基に、今後、矢板式係船岸の合理的な設計のあり方を検討することも 考えられる。

(参考文献)

- 1) 港湾の施設の技術上の基準・同解説, 2007年.
- 2)漁港・漁場の施設の設計参考図書,2015年.
- 3) 小松勝久・林誉命・鈴木一行・西多道祐・船橋雄大・佐伯公康,2014年:浅い水深 の重力式係船岸に対する周波数特性を考慮した照査用震度算定法の構築,土木学会 論文集 B3, Vol. 70, No. 2, I_810-I_815.
- 4)長尾毅・岩田直樹・藤村公宜・森下倫明・佐藤秀政・尾崎竜三,2006年:レベル1 地震動に対する重力式及び矢板式係船岸の耐震性能照査用震度の設定手法,国土技 術政策総合研究所資料第310号.
- 5) Seed, H.B., I. M. Idriss and I. Arango(1983):Evaluation of Liquefaction Potential Using Field Performance Data, J. GE, ASCE, Vol. 109, No. 3, pp. 458-482.
- 6)小泉哲也・山本修司・竹地晃一郎・門脇陽治,1998年:被災した係留施設の残存耐力の評価手法の開発,港研資料第912号.
- 7)長尾毅・尾崎竜三,2005年:控え直杭式矢板岸壁のレベル1地震動に対する性能規 定化に関する研究,土木学会地震工学論文集第28巻.

4-2 耐津波設計手法高度化の検討

4-2-1 ねらい

漁港施設の耐津波設計手法については、基本的な波圧の算定手法は確立されたものの¹⁾²⁾、構造物の隅角部及び端部等、構造上弱点となりやすい箇所における波圧の評価 手法等は確立されていない。また、発生頻度の高い津波を超える津波において施設の 修復性や安全性を確保するための設計法(粘り強い構造)について、一定の具体的な 対策工(いわゆる「腹付工の付加」)は提案されているものの¹⁾、その他の対策工に ついては、効果の評価方法を含めて不明な部分が多い。

先般の東日本大震災での津波災害の被害実態等の詳細な検討を行うため、「平成2 3年度水産関係施設等被害状況調査事業」³⁾で構築したデータベースの改良を行い、 それをもとにした被災事例の構造的特徴を整理・分析し、耐津波性能を向上させるた めの対応策を検討する。

重力式防波堤の粘り強い構造の対策工法として提案された「腹付工の付加」の他に 考えられる工法を提案し、水理模型実験及び数値波動水路等の解析手法を用いて対策 効果を検証し、設計方法を検討する。

4-2-2 方法

(1)構造上の弱点箇所における設計方法及び対策工法

1) 被災事例の構造的特徴の整理・分析

「平成23年度水産関係施設等被害状況調査事業」で構築したデータベースの改良 を行い、漁港施設の被災パターンから構造的な弱点の抽出・整理を行う。具体的に は、防波堤の堤頭部や隅角部における被災の傾向に着目する。

①分析対象

被災事例の分析は、岩手県・宮城県・福島県3県の県管理漁港の漁港施設を対象と し、災害査定資料をもとにして行う。県管理漁港に限定する理由は以下のとおりで ある。

- ・データ量の膨大化を避けるため。
- ・比較的規模の大きい拠点漁港が耐震・耐津波対策の対象となるうえ、本調査の成果がそれらの拠点漁港の設計にフィードバックされることを睨むため。

なお、被災のメカニズムの把握に資するため、災害査定資料のほか、深浅測量デ ータや津波解析データについても出来るだけ収集する。

②データベース構築

上記により入手した資料は、本調査で改良するデータベース(以下、DBとする) にて取り扱う。本DBは、平成23年度に水産庁事業で作成したWEB GISシステムの DBをデスクトップ上のGISシステムに改良するもので、詳細な被災状況(部位、被 災パターン)を扱うものとする。

本システムは地図画面上で各漁港施設の被災状況を視覚的に把握できるものであ るとともに、のちの分析作業に資するものとするため、被災状況の分析の基礎とな るデータをエクセルで出力できるようにする。

2) 水理模型実験等による検討

上記1)により抽出された構造的弱点について、水理模型実験や非線形長波理論 による津波解析、数値波動水路の解析を通じ、弱点箇所における津波の流れや波 力の特性を検討する。

水理模型実験については、平面的な弱点部を検証する際には平面水槽での実施が 望ましいが、使用可能な平面水槽では造波性能の制約により周期が短く(実験片周 期で4~6s程度)、津波の再現が難しいため、今年度は長水路(造波水路)を使用 し、波力について基礎的な検討を行うこととする。次年度は作用時間の長い津波を 対象に定常流水路を使用する予定である。

数値解析については、非線形長波理論により水位・流速等の実験結果との比較を 行い再現性を確認した上で、側壁の影響のない条件で計算を行う(次年度予定)。

3)対策工法の検討

上記1)2)に対応した対策工法として堤体や異形ブロック等の安定性照査の方法について基礎的な検討を行う。

(2) 粘り強い構造にかかる性能評価手法、設計方法及び対策工法

1) 技術的課題の整理

水産基盤整備調査委託事業「漁港漁場施設の性能規定化等技術検討」において対 策のイメージは作られるも具体的な設計手法の確立に至っていない防波堤上部工 の工夫や基礎捨石の内部水圧の抑制などの対策工法を抽出し、技術的課題を整理 する。

2)水理模型実験等による検討

上記1)により抽出された技術的課題について、水理模型実験や数値波動水路の 解析を行い、津波の流れや波力、堤体の耐力について検討する。

水理模型実験については、過年度の調査において、上部パラペットの設置により 被覆材の安定性が向上することを確認している。今年度は上部パラペットの形状 を変化させた断面について、水面形や被覆材の安定性等の比較を行い、形状の工 夫による効果を検証する。今年度は作用時間の短い津波を対象に長水路(造波水 路)を使用し、次年度は作用時間の長い津波を対象に定常流水路を使用する予定 である。

3)対策工法の検討

上記1)2)に対応した対策工法について、対策断面の算出および対策効果の評価方法について整理し、検討する。

4-2-3 結果

(1)構造上の弱点箇所における設計方法及び対策工法

1) 被災事例の構造的特徴の整理・分析

本年度は、「平成23年度水産関係施設等被害状況調査事業」で構築したデータベ

- ースの改良を行い、漁港施設の被災パターンから構造的な弱点の抽出・整理を行った。 結果の概要は下記のとおりである。
- ① 資料収集状況
- · 収集資料: 68漁港、約1300施設
- ・収集した資料の種類
 漁港台帳・・・・・・概ね全漁港分
 災害査定資料・・・・概ね全漁港分
 津波解析・・・・・・ほとんどなし
 深浅データ・・・・・ほとんどなし
 海岸台帳・・・・・概ね全漁港分
- ② データベース構築
- ・取り扱いデータ※表4-2-1 に示すとおり。
- 3 分析結果の概要

・外郭施設の被災件数のうち、約4割が「大きく滑動・転倒」を伴うものであった。

・「大きく滑動・転倒」を伴い被災した施設のうち約7割が、堤頭部において被災した。 ・「大きく滑動・転倒」を伴い被災した施設のうち約4割が、隅角部において被災した。 ※上記の集計は、あくまでも今回集計した範囲によるものである。

取り扱いデータ		細分類
施設種別	防波堤	
	岸壁	
施設構造形式	重力式	直立堤
(防波堤)		傾斜堤
		混成堤
	その他	矢板・杭式
		浮体式
施設構造形式	重力式	ブロック積式
(岸壁)		セルラーブロック式
		コンクリート単塊式
		L型ブロック式
		ケーソン式
		直立消波式
	矢板式	普通矢板式
		自立矢板式
		斜控え杭式
		棚式
	桟橋式	
	階段式	
	浮体式	
施設構造諸元	天端高	
	設置水深	
	消波工の有無 ※防波堤のみ	
	異形ブロックt数 ※防波堤のみ	
	上部工形状 ※防波堤のみ	パラペット型
		フラット型
今次津波条件	越流水深	
被災形態・部位	被災箇所	堤幹部
		隅角部
		堤頭部
		全延長
	形状	直線
		屈曲
		曲線
	被災規模	大きく滑動・転倒
		沈下・傾斜のみ
		一部の部材の損傷

表 4-2-1 データベースの取り扱いデータの一覧

2) 水理模型実験等による検討

① 水理模型実験

a) 実験内容

構造的な弱点として、防波堤の堤頭部及び隅角部に着目し、波圧や水位の計測を行 い、津波波力特性の把握を行った。

実験施設は水産工学研究所の長水路(長さ100m,幅1.0m,水深2.0m,ピストン型造 波機)を使用し、海底勾配1/30の斜面上の岸側部分に漁港防波堤模型を設置した(図 4-2-1参照)。模型縮尺は1/81とし、模型形状は防波堤の隅角部または堤頭部を切り出 した半無限堤とし、参考として直入射、斜め入射でも実験を行った(図4-2-2)。防波 堤の諸元は典型的な漁港防波堤を参考に、表4-2-2の通り設定した。なお、捨石マウ ンドは設置していない。

波圧の計測には半導体型動歪み式波圧計を使用し、水路中央の防波堤前面5箇所、 背面5箇所、および天端2箇所の計12箇所に設置し(図4-2-3)、サンプリング間隔 1kHzで計測した。また水位の計測には容量式波高計を使用し、水路中央の波圧計測 位置の他、水路横断方向3箇所に設置し(図4-2-4)、サンプリング間隔50Hzで計測 した。

入射波は片周期 12.5~20s(現地スケール片周期 113~180s)の押し初動の長周期波 とした。実験ケースは模型形状 5種、津波周期 3種、水位 1種(L.W.L.)を組み合わ せた計 15 ケースとした(表 4-2-3)。



図 4-2-1 実験模型と水位計測位置概要図(直入射の場合)



図 4-2-2 防波堤模型形状概念図

表 4-2-2 防波堤諸元

No.11

No.1 25

No.4 +

No.5 -

25 No.3

40

40

No.2

前面

120

単位:mm

25 No.6

25

38

38

No.7

No.8

+ No 9

- No.10

背面

No.12



堤体高	15cm (12m)
堤体幅	14cm (11m)
設置水深	9cm (7.3m)
静水面上の天端高	6cm (4.9m)

表 4-2-3 実験ケース

(括弧内は現地スケール換算)

模型形状	津波片周期
堤頭部	12.5s
(直入射、斜め入	(113s)
射)	
隅角部	15s (135s)
直入射(参考)	20s (180s)
斜め入射 (参考)	



図 4-2-3 波圧計測位置(水路中央)

図 4-2-4 水位計測位置

b) 実験結果

津波

L.W.L.水位

波圧と水位の時系列、及び水路横断方向の水位の時系列を図 4-2-5~図 4-2-13 に示 す。堤頭部では堤体法線方向で水位差が生じており、構造物前面側でせり上がりによ る水位上昇が見られる。隅角部では堤体法線方向の水位差が小さく、今回の形状では 隅角部の収斂はほとんど見られなかった。

前面波力から背面波力を差し引いた水平波力の最大時について、波圧と水位による 静水圧の関係を整理した結果を図 4-2-14~図 4-2-18 に示す。参考として実施した直入 射では、前面側は静水圧に対して 1.1 倍以内、背面側は 0.9 倍程度となっており、過 年度に実施した断面実験の結果と概ね同じ結果が得られている。斜め入射について は、前面側は直入射に比べてやや高いものの 1.1 倍の範囲内であり、背面側も 0.9~

1.0 倍程度となっていることから、波圧係数を前面側で 1.1、背面側で 0.9 とする水工 研式が適用可能であることが分かった。

堤頭部(直入射)については、前面側の波圧は静水圧の0.8倍程度、背面側は概ね 静水圧に近い結果となった。前面側で波圧が低くなった理由として、堤頭部の先での 流速が速く、堤体に沿った流れが発生し、圧力が低下しているものと考えられる。

堤頭部を斜めに設置した場合は、前面側の波圧は静水圧に近くなるが、背面側は周 期の短いケースで静水圧より小さい結果となった。

隅角部については、前面側で静水圧の 1.1 倍程度、背面側で 0.9 倍程度となってお り、直入射もしくは斜め入射の結果とほぼ同じ傾向となっていた。今回の隅角部の形 状では収斂が小さかったことから、今後は定常流実験や数値解析により引き続き検討 することとする。



図 4-2-5 波圧と水位の時系列(直入射)



図 4-2-6 波圧と水位の時系列(斜め入射)



図 4-2-7 水路横断方向の水位の時系列(斜め入射)







図 4-2-9 水路横断方向の水位の時系列(堤頭部(直入射))



図 4-2-10 波圧と水位の時系列(堤頭部(斜め入射))



図 4-2-11 水路横断方向の水位の時系列(堤頭部(斜め入射))



図 4-2-12 波圧と水位の時系列(隅角部)



図 4-2-13 水路横断方向の水位の時系列(隅角部)











図 4-2-16 波圧と静水圧の関係(堤頭部(直入射))







図 4-2-18 波圧と静水圧の関係(隅角部)



図 4-2-19 津波作用状況(堤頭部(直入射)、片周期 12.5s、上から撮影)



図 4-2-20 津波作用状況(堤頭部(斜め入射)、片周期 12.5s、上から撮影)



図 4-2-21 津波作用状況(隅角部、片周期 12.5s、上から撮影)

3)対策工法の検討

今回の実験結果からは、水工研式を適用することにより、堤幹部に加えて堤頭部、 隅角部のいずれにおいても、津波波圧の作用を十分に評価していることが分かった。 次年度の検証を踏まえて、十分安全な防波堤の耐津波設計を行うために同式の適用性 が高いことを検証し、津波波圧の評価方法を確立する。
(2) 粘り強い構造にかかる性能評価手法、設計方法及び対策工法

1)技術的課題の整理

本調査の課題は以下のとおりである。

・漁港漁場施設の性能規定化等技術検討で提案された対策イメージの確立化を図る。

・具体的な内容は表4-2-4の通り。ただし、地方自治体や民間により着手されているものや、既に手法の確立が済んでいるものがあるので、それらについては資料の収集整理にとどめる。

表 4-2-4 に示す対策案のうち、本年度は上部工の工夫による越流水深や水塊の落下 位置の制御について実験による検証を行った。

対象施設	粘り強い構造と	具体的な対策	備考
	するための方策		
防波堤	港内側の洗掘の	上部工の工夫による越流	今年度実験実施
	抑制	水深や水塊の落下位置の	
		制御	
		基礎捨石の内部水圧の抑	他機関の研究動向
		制	を踏まえながら文
			献等の整理を行
			う。
岸壁	堤体の安定性の	引き波時の岸壁の残留水	現行の設計方法に
	増大	圧の増大に対応した堤体	ついて再検討す
		の安定性の評価	る。
		グラウンドアンカー工法	民間により技術開
		を用いた岸壁・護岸の補	発済
		強	
	岸壁前面の洗掘	引き波時の水流落下に対	
	対策	する被覆材の安定性の評	
		価	

表4-2-4 粘り強い構造とするための対策案

2) 水理模型実験等による検討

① 水理模型実験

a) 実験内容

上部パラペットの形状を変化させた断面について、水面形等の比較を行い、形状の 工夫による効果を検証した。

実験施設は水産工学研究所の長水路(長さ100m,幅1.0m,水深2.0m,ピストン型 造波機)を使用し、海底勾配1/30の斜面上の岸側部分に漁港防波堤模型を設置した

(図 4-2-22 参照)。模型縮尺は 1/81 とし、模型形状は捨石マウンド上のパラペット付防波堤で、港内側のマウンド上に方塊型の被覆材を固定して設置した。防波堤各諸元の定義を図 4-2-23、パラペット堤の断面図を図 4-2-24、諸元を表 4-2-5 に示す。

計測項目は水位、流速、及び VTR 撮影であり、水位の計測には容量式波高計を使用し、水路中央の防波堤前後に配置した(図 4-2-22 参照)。堤体上部の流速の計測にはプロペラ式流速計を使用した。サンプリング間隔は水位、流速ともに 50Hz とした。

入射波は片周期 12.5s (現地スケール片周期 113s)の押し初動の長周期波とし、越流 水深を段階的に変更した。実験ケースはパラペット天端高 3 種、パラペット高さ 3 種、 水位 2 種 (L.W.L.及び H.W.L.)を組み合わせた計 18 ケースとし、VTR により越流後の 落水位置等の整理を行った。



図 4-2-22 実験模型と水位計測位置概要図 (パラペット付防波堤)



図 4-2-23 パラペット付防波堤各諸元の定義



図 4-2-24 パラペット付防波堤の断面図 (赤線は H25 年度実験時のパラペット形状) 表 4-2-5 パラペット付防波堤諸元

堤体高さ H _c	9m(模型 11cm)
堤体幅 Bc	11m(模型 14cm)
パラペット高さ	1, 2, 4m(模型 1.2, 2.5, 4.9cm)
H_p	
パラペット幅 Bp	1, 3.5, 7m(模型 1.2, 4.3,
	8.6cm)
マウンド高さ H _m	3.2m(模型 4cm)
マウンド幅 B	被覆材3個並
腹付工有無	無し
越流水深 h ₁	1~5m 程度(模型 1~6cm 程
	度)
被覆材	方塊型、質量 30t(模型 55g)
設置水深	7.3m(模型 9cm)

(現地スケール換算、括弧内は模型スケール)

b) 実験結果

図 4-2-25 に越流水深 h_l と打ち込み位置の堤体からの距離 Lの関係について、パラペット幅別の整理結果を(a)~(c)、パラペット高さ別の整理結果を(d)~(f)、全データを(g) に示す。なお、 h_l と L はそれぞれ堤体幅 B_c で無次元化した。

図 4-2-25 (a), (b)より、パラペットが高い (H_p/B_c 大) ほど打ち込み位置が背後 (L/Bc大) になるが、越流水深 h_1 の大きい条件では頭打ちになっていることが分かる。また、 パラペット幅が大きい条件 (B_p/B_c =0.61, 図 4-2-25 (c)) では、パラペットの効果が小さ く、打ち込み位置が堤体に近くなるケースもある。このケースはパラペット上から直 接堤体背後に落水するケースに相当する (図 4-2-32 左上)。さらに、パラペットの幅が 小と中の条件 (B_p/B_c =0.09,0.31 : 図 4-2-25 (d)~(f)の赤と青) では、打ち込み位置に大 きな差がないことが分かる。

打ち込み位置の距離について、矩形堤(パラペット無し)に対する比率を図 4-2-26 に示すが、パラペットにより最大で 1.6 倍程度背後に落ちる効果があることが分かる。 ただし、パラペット高さと幅の比(*H_p* / *B_p*)が 1.0 以上になると効果が頭打ちとなる。 打ち込み位置が背後になることによる被覆材の安定性向上の効果を検討するため、 過年度実施した矩形堤の安定実験の結果を使用して整理を行った。被覆材の安定性の 整理方法としては、三井ら(2013)⁴⁾の安定数*N*を用いている。

$$N = \frac{h_1}{(S_r - 1)D_n}$$

ここで、 h_l : 越流水深、 S_r : コンクリートの海水に対する比重、 D_n : ブロック代表長さ(=ブロック体積 Vの3 乗根)

矩形堤で方塊型被覆材の安定数と打ち込み位置の関係を図 4-2-27 に示すが、水平部 に打ち込む場合は安定数 N が 0.6 程度であるが、背後の法面に落水し、打ち込み位置 L が大きいほど安定数 N が高くなる傾向がある。図 4-2-27 中赤線の被災限界の安定数 N と L/B の関係を使用し、打ち込み位置 L から安定数 N、被覆材質量 M の試算を行った。

図 4-2-28 に安定数 N の矩形堤に対する比率を示すが、安定数は最大 5%程度増加することが分かる。被覆材の質量に換算すると図 4-2-29 のようになり、最大 15%程度低減できる効果があることが分かる。

これらの結果は、打ち込み位置の違いのみを評価したものであり、パラペットによ る打ち込み角度の変化等は考慮されていない。このため、定常流による被覆材の安定 実験等も行い、効果をさらに検証する必要がある。





大)

図 4-2-25 越流水深と打ち込み位置の関係



図 4-2-25 越流水深と打ち込み位置の関係



図 4-2-26 Lの矩形堤(パラペット無し)に対する比率(h₁/B_c=0.1~0.4の平均)



図 4-2-27 打ち込み位置と安定数の関係(矩形堤・方塊型被覆材、過年度調査)



図 4-2-28 安定数 №の矩形堤に対する比率 (*h*₁/*B*_c=0.3)



図 4-2-29 被覆材質量 Mの矩形堤に対する比率 (h₁/B_c=0.3)



パラペット高さ4m

パラペット高さ2m



パラペット高さ1m

(参考)パラペット無し

図 4-2-30 落水状況 (パラペット幅 1m (B_p/B_c =0.09), L.W.L., 越流水深約 3m)



パラペット高さ4m



パラペット高さ1m

(参考)パラペット無し

図 4-2-31 落水状況 (パラペット幅 3.5m (B_p/B_c =0.31), L.W.L., 越流水深約 3m)



パラペット高さ1m

(参考)パラペット無し

図 4-2-32 落水状況 (パラペット幅 7m (B_p/B_c =0.61), L.W.L., 越流水深約 3m)

2 数値波動水路による数値解析

水理模型実験と同一の断面について、数値波動水路(CADMAS-SURF/2D)による 数値解析を行い、実験結果との比較を行った。

a) 計算条件

計算条件を以下に示す。

・現地スケール

・対象ケース:パラペット付防波堤1形状(パラペット高さ2m,パラペット幅3.5m)

・水位 : L.W.L.

- ・入力波形 : 実験入射波 現地スケール片周期 113s, 押し初動 越流水深 約 3m
- ・格子間隔 : 鉛直 現地スケール 0.25m~1.0m 水平 現地スケール 0.25m~5.0m 堤体付近は水平・鉛直共、現地スケール 0.25m (図 4-2-33 参照)
- ・移流項 : 風上差分と中心差分の組み合わせ 0.2
- ・時間制御 : 時間刻み幅の安全率 0.1
- ・境界条件 : VOF 関数 F フリー、流速・圧力 スリップ
- ・物性値 : 重力加速度 9.8m/s², 密度 1.0×10³kg/m³, 分子動粘性係数 1.0×10⁻⁶m²/s
- ·検証項目 : 水位、流速、水面形状

b) 計算結果

水位(D.L.基準)と流速について、計算結果と実験結果(現地スケール換算)の比較を図 4-2-34~図 4-2-42 に示す。防波堤前面近傍の水位については、津波到達時の水位上昇が実験結果より急勾配となっているが、その後の水位変化は実験の時間変化傾向を概ね再現している。防波堤背面側の水位については、落水位置の近傍で計算結果の変動が大きくなっているが、平均的な変化傾向は再現できている。防波堤天端の流速については、背面側でやや変動が大きいものの、概ね実験結果を再現している。以上より、数値波動水路による計算結果は概ね妥当であると考えられる。

水面形状の例を図 4-2-43 に示すが、防波堤後端から落下する水塊が必ずしも連続的 でない様子が見られる。このことは物理的に不自然であり、数値波動水路の適用限界 の可能性がある。

越流・落下する水塊の計算手法については水理模型実験との比較を行いながら検討 を継続する必要があると考えられる。また今後は、上部パラペット形状を変更した断 面や、実験で再現できない長周期津波について計算を行い、実験結果を補完する予定 である。



灰色セルは不透過構造物,赤色はポーラスセル

図 4-2-33 防波堤付近の計算格子図



図 4-2-34 計算結果と実験結果の比較(沖)



図 4-2-35 計算結果と実験結果の比較(防波堤前面から 535m 沖側)



時間[s]

図 4-2-36 計算結果と実験結果の比較(防波堤前面から 50m 沖側)



図 4-2-37 計算結果と実験結果の比較(防波堤前面水位)



時間[s]

図 4-2-38 計算結果と実験結果の比較(防波堤背面水位)



図 4-2-39 計算結果と実験結果の比較(防波堤背面から 25m 岸側)







図 4-2-41 計算結果と実験結果の比較(防波堤背面から 75m 岸側)



図 4-2-42 計算結果と実験結果の比較(防波堤前面・背面上流速)



図 4-2-43 水面形図



図 4-2-44 流速図

4-2-4 今後の課題

(1)構造上の弱点箇所における設計方法及び対策工法

水理模型実験においては、堤頭部の直入射の場合、前面側で静水圧に対する波圧係 数の低減が見られ、堤体に沿った流れによる影響があると考えられる。今後は定常流 水路による実験や数値解析により、堤頭部の流れの特性等を検討する必要がある。

隅角部については、直入射や斜め入射の断面と比較して、波圧係数に大きな相違は 見られなかった。今回の隅角部の形状では収斂が小さかったことから、今後は定常流 水路による実験を行うとともに、非線形長波式による数値解析により側壁の影響のな い条件で平面的な検討を行う必要がある。

(2) 粘り強い構造にかかる性能評価手法、設計方法及び対策工法

水理模型実験において、上部パラペットの諸元の変更により、水塊の落水位置が背 後になることによる被覆材の安定性向上の効果を把握した。ただし、上部パラペット により打ち込み角度が変化することによる効果等も考えられるため、今後は定常流水 路による被覆材の安定実験や数値波動水路による数値解析を行い、安定性向上の効果 をさらに検証する必要がある。

引用文献

- 水産庁:平成23年東日本大震災を踏まえた漁港施設の地震・津波対策の基本的な 考え方 平成26年1月23日, http://www.jfa.maff.go.jp/j/seibi/gyokogyojo/pdf/12040 6.html, 2014.
- 2) 八木 宏・中山哲嚴・大村智宏・杉松宏一・門 安曇・滑川 順・佐藤勝弘・奥野正洋・ 劔崎聖生:漁港施設の津波被災の特徴と耐津波設計への取り組み,水産工学 Vol. 52 No.2, pp.103-112, 2015.
- 3) 水產庁·平成23年度水產関係施設等被害状況調查共同研究機関:平成23年度水產 関係施設等被害状況調查事業報告書,2012.
- 4) 三井順・松本朗・半沢稔・灘岡和夫:防波堤港内側マウンド被覆材の津波越流に対する安定性照査方法の提案,土木学会論文集 B2(海岸工学), Vol.69, No.2, I_956-I 960, 2013.

4-3 漁場の施設の設計手法高度化の検討

4-3-1 ねらい

漁場施設には漁港施設や他の海洋構造物にはない特殊性(複雑で多様な形状の構造)と 評価が技術的に困難な海中での設計条件(流れ構造の複雑な海洋流、波と流れの交差する 複雑な条件、大水深域での海底地盤)があるため、その合理的設計には多くの実験と調査 を要するが、同時に事業の経済性にも配慮した簡便性も求められる。漁場施設の波浪、流 れに対する安全性の照査法については、上述の観点からこれまで検討を行い、①沈設魚礁 の流体力算定手法、②着定基質(石材)の安定質量算定手法、③波による設計流速算定手 法、を提案したが、実際の設計への適用には以下のような解決すべき課題が残されている。

沈設魚礁の流体力算定手法については、ISO 等の他の設計法及びこれまでの実験結果との整合性、設計の簡便さを考慮した、最大力係数 *C*_{Fmax} による方法等の実用的手法を提案したが、流速算定対象波の変更(有義波から最大波へ)と、流体力係数の決定法の見直し (定常流中での実験値と理論値を混用した従来法から波動流中での模型実験による方法へ) により、算定流体力がかなり増加することになった。しかしながら、従来の設計法で滑動、 転倒の被災報告がほとんどないことから、沈設魚礁の安全性の照査では、不確定要素(波 の方向分散性、波と流れの交差の影響、模型実験の縮尺効果)による流体力の過大評価の 可能性があることから、現場での魚礁を用いた流体力算定手法の検証とともに、従来の設 計では考慮されていない、魚礁の砂地盤への沈下、埋没及び群体設置による滑動抵抗への 影響も考慮した、安定計算手法の総合的な見直しが必要であると考えられる。

着定基質の安定質量算定手法については、粗度(摩擦係数)の異なる海底面に単体で設置した石材の移動限界を水理模型実験で調べ、海底粗度の影響も考慮できる汎用的な安定 質量算定式として次式を提案した。

$$M = \alpha \rho_s \left[\frac{K_m}{2\mu g \left(\rho_s / \rho - 1 \right)} \right]^3 U^6$$
(4-3-1)

ここに、M:石材の安定質量(kg)、 μ :静止摩擦係数、 ρ_s 、 ρ :石材と海水の密度(t/m³)、 K_m : 質量算定係数、U:設計流速(m/s)で、波の場では最大波動流速 U_m 。 K_m は流れの状態と石材 の形状に依存する係数で、波の場及び流れの場における割石の場合はそれぞれ K_m =3.5 及 び K_m =2.3 としてよい。

α:石材の敷き詰め密度に依存する補正係数で、以下を用いることができる。

- 1 単体で設置
- $\alpha = \{ 0.2 敷き詰め密度75%以上の群で設置$
 - 0.04 囲い礁を設けて敷詰め密度75%以上の群で設置

提案式は従来の式との整合性が図られ、石材の群体設置と囲い礁の有無の影響も考慮で きる式となっている。しかし、これまでの検討では単体設置の場合しか実験を行っていな いため、係数αによって適切に予測できるかが課題であり、また安定質量を従来法よりも 小さくできることから現地での確認が求められている。

さらに、漁場の施設の設計条件としては、波だけでなく、流れによる流速の決定手法の 確立も重要な課題となっている。特に、魚礁が設置される大水深域では表層流速から底層 付近の流速の推定や底層での流れの長期観測が困難になるため、難易度が高い。その対策 として、近年、全球的計算と観測データの同化により精度向上が進んでいる海洋数値モデ ル(以下、海洋モデル)の利用が考えられる。しかし、そのモデル予測を設計へ応用する ためには、シミュレーションモデルの検証方法、妥当性の判断と予測誤差を考慮した設計 流速の妥当な決定方法を提示することが望まれるが、現時点ではそれらの指針となるもの がない。

これらのことから、本課題では以下の項目について取り組んだ。

着定基質の安定質量算定手法の検討

石材を群体設置した場合、さらに囲い礁で囲った場合の提案式の妥当性について模型実 験により検証するとともに、現地調査でもその妥当性の確認を行う。

- ② 沈設魚礁の安全性の照査法の検討
 - (1) 流体力算定法の妥当性の検討:今年度は検証に適した魚礁の探索とその魚礁の移動 状況の把握と設置場所での波浪・流動観測を行う。
 - (2)砂質地盤上での滑動抵抗の評価方法の検討:砂地に設置された沈設魚礁が砂質地盤への沈下、埋没により滑動抵抗が一般には増加すると予想されることから、魚礁の下端の砂中への貫入量と滑動抵抗との関係から規定される見かけの静止摩擦係数を安定計算に用いる方法が一案として考えられる。しかし、魚礁が滑動し始めるような波動流の条件下では、局所洗掘によって魚礁の滑動抵抗はむしろ埋没していない状態に近くなることや、支持力の小さい砂地盤上では魚礁が傾いて転倒しやすくなることも考えられる。このように不明のことが多いことから、まず砂質地盤上での沈設魚礁の挙動を水理模型実験等により安全性の照査で考慮すべき設計状況を明らかにする。
- ③ 海洋モデルの利用による流れの設計条件の決定に関する検討

海洋モデルを利用した数値シミュレーション手法がどの程度、実際の大水深域(想定水 深 30~100m 前後)での流速ベクトルを再現できるかを、長期間の流速観測データが得ら れている海域(福島県沿岸を想定)を事例として検討し、今後マニュアル化を進める上で の問題点を整理する。

4-3-2 着定基質の安定質量算定手法の検討

1) 方法

(1) 模型実験による検証

石を群体設置した場合、および囲い礁を設けて群体設置した場合における提案式の適用 性を検討するため、砕石模型を用いた移動実験を行った。

砕石模型には、模型縮尺を従来(想定 1/15)と変えずに、造波水槽で発生可能な波で移動限界を調べられるようにするため、平成 25~26 年度の実験に用いた砕石 100 個と同形・同大であるが、比重を軽くした複製模型を用いた。これらの模型の製作では、まず石膏で元の砕石の型を取り、密度の小さい補修補強材(米国 EagleVision、EAGLE8)と軽量骨材(積水化成品工業(株)製、ティエスサンドNタイプ)を用いて複製模型を製作した。

実験には、全長 70m×幅 0.7m×深さ 2.2m の 2 次元造波水槽を用い、勾配 1/50 の斜面上に 試験床(玉砂利底)を設置した試験領域 2.1×0.7m を設けた。砕石模型を単体、群体および 囲い礁の中に群体で設置した(図 4-3-2-1、図 4-3-2-11 参照)。単体設置の場合、水槽側壁 から 15cm 以上離れた領域に、10 個の砕石模型を互い違いに 1 個ずつ並べた(図 4-3-2-11 参照)。その際、砕石模型の側方投影面積が最大になる面を波の来る方向に向けて模型を設 置し、またできるだけ底面条件が同じようにならぬよう、設置場所を少しずつ変更した。 波群体設置は敷詰密度(石を最も密に敷き詰めた場合を 100%とした面積当たりの石の個 数の相対値)を75%とした。囲い礁は、断面(幅 55mm×高さ 45mm;高さ=砕石模型の平 均高さ)の角材を底面に貼り付けて製作し、囲い礁内の敷詰密度は75%とした。砕石模型 の設置後、所定の周期と振幅で発生させた波を 10 波与えて、砕石模型の被災状況を調べ た。ここで、石1個分以上の移動または反転した場合を「被災」と定義し、100 個の砕石模 型をすべて試験して被害率を求めた。造波条件は、周期を2.0、2.5、3.0、3.5sの4通りと し、各周期に対して波の振幅を、砕石模型が全く動かない条件から、被害率が 30%くらい を超えるまで段階的に増加させた。





(敷詰密度75、100%)

図 4-3-2-1 砕石模型の設置方法



これまでの実験に用いた砕石 密度の中央値:2.62g/cm³



今年度実験に用いた砕石模型 (密度の中央値 $\rho_s = 1.37 \text{ g/cm}^3$)

図 4-3-2-2 実験に用いた砕石の複製模型

流速については、試験領域の沖側と岸側端部付近(水深:65.8cm と 61.8cm)に超音波式 三次元流速計(Nortek 社製 Vectorino)を設置し、底上 7cm での流速を 50Hz で測定した。 解析にはローパスフィルター(遮断周波数 2Hz)等でノイズ除去した流速を用い(図 4-3-2-3 参照)、両観測点での水平流速の最大値の平均を求めて最大波動流速 Um とした。 各設置条件毎に U_mと被害率との関係を折れ線式に最小2乗法で当てはめ、被災限界流 速として被害率 10%における U_mを求めた。



図 4-3-2-3 水平流速の測定例

試験した砕石模型の試験底面上での静止摩擦係数を求めるため、摩擦角を測定した。摩 擦角は、図 4-3-2-4 に示すように試験底面上に上述した単体設置の場合と同様の向きにし て砕石模型を設置し、試験底面を徐々に傾けていき、砕石模型が動き出す直前の角度であ り、デジタル式傾斜計で測定した。測定は砕石模型 100 個の各々について位置を変えて3 回繰り返した。静止摩擦係数μは摩擦角θより次式で算出した。

 $\mu = \tan \theta$

(4-3-2)



図 4-3-2-4 摩擦角の測定状況

(2) 現地検証

今年度の割石設置場所である志和岐地区を図 4-3-2-5 に示す。平成 25 年度に同様の試験 を行った木岐地区では波当たりが強くなく、割石はほとんど動かなかったが、志和岐地区 はそれよりも波当たりがかなり強い。



図 4-3-2-5 割石設置場所

2014年12月25日、2~3tクラスの割石(徳島県で藻場造成に用いる標準的基質)10個が徳島県によって試験的に設置された。設置場所の水深は8.4m(D.L.基準)であり、質量の実測値は1.16~3.01t(中央値:2.04t)であった。設置後間もない割石の状況を図4-3-2-6に示す。



図 4-3-2-6 志和岐地区に設置された割石 (2015 年 1 月 26 日、写真:徳島県棚田教生主任提供)

割石が動いた際の移動限界流速を推定するため、台風シーズン前(2015年7月29日) に各試験割石に加速度ロガーを取り付け、流速計付波高計1台を近くに設置し(図4-3-2-7~図4-3-2-9参照)、台風シーズン後(2015年11月17日)に回収を行った。割石の近く に囲い礁として設置されていたコンクリートブロックにベンチマークを設定し、そこから 各割石までの距離を測定した。



図 4-3-2-7 加速度ロガー(設定:測定周波数 5Hz、記録トリガー±0.5G)







図 4-3-2-8 加速度ロガーの設置方法

図 4-3-2-9 電磁流速計付水圧式波高計 (1h 毎に 2Hz で 20 分計測)

2015 年 7 月 29 日の調査開始時、試験割石 10 個のうち、すでに割石 2 個が一個分程度の 距離移動し、また割石 1 個が横転していた。同年 7 月 16 日に試験地の西側近くを通過し た台風 11 号により移動したものと推察される(図 4-3-2-10 参照)。

なお、本現地検証は徳島県(担当:徳島県立農林水産総合技術支援センター水産研究課 棚田教生主任)との共同で行ったことを付記する。



図 4-3-2-10 加速度ロガーを取り付けた割石の例(右:横転した割石)

2) 結果

(1) 模型実験による検証

単体、群体および囲い礁の中に設置した場合の試験例と被害率を図 4-3-2-11~図 4-3-2-13 に示す。囲い礁有(敷詰密度 100%)の場合は、被災が全くみられなかったため、図を

省略した。



図 4-3-2-11 単体設置の場合の試験例と被害率 (左図:試験領域を上から撮影。〇で囲った石が「被災」と判断)



図 4-3-2-12 群体設置(敷詰密度 75%)の場合の試験例と被害率



図 4-3-2-13 囲い礁有り(敷詰密度 75%)の場合の試験例と被害率

静止摩擦係数 µの測定結果を図 4-3-2-14 に示す。今年度の複製模型では µの中央値は 0.74 であり、平成 26 年度の砕石実物の測定結果より若干大きくなっていた。



図 4-3-2-14 静止摩擦係数 μの測定結果(μの中央値=0.74)

以上の実験結果により提案式の妥当性を検討するため、被災限界流速 Uerit の提案式による計算値と実験値との比較を行った。比較結果を表 4-3-2-1 に示す。ここで、提案式による Uerit の計算値は次式により求めた。

$$U_{\text{crit}} = \left(\frac{M_{50}}{\alpha\rho_s}\right)^{1/6} \left[\frac{K_m}{2\mu g(\rho_s/\rho - 1)}\right]^{-1/2}$$

$$\simeq \simeq 1/2, M_{50} = 161.5 \text{g}, \ \rho_s = 1.37 \text{ g/cm}^3, \ \rho = 1.00 \text{ g/cm}^3, \ K_m = 3.5, \ \mu = 0.74, \ g = 980.665 \text{ cm/s}^2$$

U crit の計算値は実験値とほぼ一致し、設置方法や密度に対する提案式の汎用性が確認された。

設置方法	α	$U_{\rm crit}~({\rm cm/s})$	
		計算值	実験値
単体	1	27.4	26.9
群体(敷詰密度 75%)	0.2	35.9	38.6
囲い礁有(敷詰密度 75%)	0.04	46.9	43.2

表 4-3-2-1 被災限界流速 Ucrit の提案式による計算値と実験値との比較

2) 現地検証

試験地で観測された波高と周期をそれぞれ図 4-3-2-15 と図 4-3-2-16 に示す。



図 4-3-2-15 有義波高(H_{m0}とH_{1/3})と 20 分間の最大波高 H_{max}



図 4-3-2-16 スペクトルピーク周期 Tp と有義波周期 T1/3

2015 年 8 月 22~23 日に電磁流速計で計測可能な上限(3m/s)を超える波動流速が発生 していたことが水圧データから推定された。流速計からのデータには激浪時の流速が流速 計の計測限界を超えていただけでなく、センサー部への生物付着による出力低下の問題が ある。しかし、そのような問題のない水圧スペクトルから計算される波動流速が適正に得られたときの流速計の測定値によく一致する(図 4-3-2-17)ことから、以下の検討では水 圧からの波動流速の計算値を用いることとする。

調査期間にわたる有義波動流速の測定値 *U*_{s_meas} と水圧スペクトルからの有義波動流速 *U*_{s_cal}と 20 分間の最大波動流速の計算値を図 4-3-2-18 に示す。*U*_{s_cal}は *U*_{s_meas}によく一致し、 ここでも水圧データから波動流速の推定の妥当性は支持され、最大流速は 3.5m/s に達して いたと推定される。最大流速発生時の 2015 年 8 月 22 日の天気図を図 4-3-2-19 に示す。

有義波動流速と各割石で計測された最大加速度の時間変化を図 4-3-2-20 に示すが、最大 流速発生時に動揺があったことが推察される。しかし、設置後と最大流速発生後の 9 月 4 日に撮影した写真を比較して示した図 4-3-2-21 からわかるように割石はほとんど移動して おらず、ベンチマークからの各割石の移動距離も1 個が 9cm であったが、それ以外の 9 個 は 3cm 以下であった。



図 4-3-2-17 水圧からの波動流速計算値(u_cal)と主変動流速成分(u_p)の時系列データの例(2015/8/10 4:00~4:20). 主変動方向は流速の変動成分が最大になる向きとして 定義。波の方向集中度が高い場合、u cal と u p は理論的に一致する。



図 4-3-2-18 有義流速の流速計による測定値(変動流速成分の2乗平均×2) U_{s_meas}と 水圧からの計算値(水圧スペクトルから計算される波動流速の2乗平均×2) U_{s cal}及び最大波動流速の水圧からの計算値 U_{max cal}



図 4-3-2-19 最大流速が発生した 2015 年 8 月 22 日の天気図 (日本気象協会ホームページより)



図 4-3-2-20 有義波動流速(U_s)と各割石で記録された加速度の時間変化 No. は割石の番号





図 4-3-2-21 割石の移動状況

試験割石は調査開始以前の台風 11 号襲来時に被災限界相当量(割石 2 個が石 1 個分程度)移動して安定化したと考えられるが、8 月 22~23 日の暴浪時(推定最大波動流速 3.5m/s 程)にわずかに移動したことから、そのときの流速は台風 11 号襲来時の流速と同等もしくは多少大きかったと考えられる。したがって、試験割石 10 個が最初に 8 月 22 日の暴浪に遭遇すればより大きく移動したが、その場合でも移動量は台風 11 号時の被災限界相当と考えることができるので、試験割石の被災限界流速 Ucrit を約 3.5m/s として大きな問題はない。

以上の調査結果を従来の式と提案式からの予測と比較してみる。

まず従来の式と調査結果を比較する。石材を単体で設置した場合(安定質量算定係数 *C*=25)、現行の設計法での安定質量は

 $M = CU_m^6 = 25 \times 3.5^6 = 46.0t$

となる。この値は試験割石の質量(M=2t)と比較して考えれば明らかに過大である。これに対して、提案式による安定質量の算定値は、(4-3-1)式に $\alpha=1$ 、 $\mu=0.8$ (設計標準値)、 $\rho_s=2.59 \text{ t/m}^3$ 、 $\rho=1.03 \text{ t/m}^3$ 、 $g=9.80665 \text{ m/s}^2$ を代入してM=15.2tとなり、十分でないが、かなり改善されていることがわかる。

さらに、調査結果から提案式の係数(µとKm)の値を以下に検討することができる。 提案式による被災限界流速の予測値は次式により求められる。

$$U_{\rm crit} = \left(\frac{M_{50}}{\alpha \rho_s}\right)^{1/6} \left[\frac{K_m}{2\mu g(\rho_s/\rho - 1)}\right]^{-1/2}$$

 $M_{50} = 2.04t$, $\alpha = 1$, $\rho_s = 2.59 \text{ t/m}^3$, $\rho = 1.03 \text{ t/m}^3$, $g = 9.80665 \text{ m/s}^2$

上式に基づき、被災限界流速の予測値を μ との関係として表 4-3-2-2 に整理した。波の場での模型実験値 $K_m = 3.5$ を仮定した場合、 U_{crit} が推定値の 3.5m/s となるためには $\mu=1.6$ となる。この値は岩盤上に割石を置いた場合の設計標準値 0.8 に比べてかなり大きい。 K_m は

KC 数やレイノルズ数により小さくなる可能性があることから、たとえば流れの場の模型 実験値 $K_m = 2.3$ と仮定して再計算を行ってみたが、その場合でも $U_{crit}=3.5$ m/s となる μ 値は $\mu=1.05$ となり、設計標準値よりまだ大きい。

X.			
K _m =3.5 と仮	定した場合	$K_{\rm m} = 2.3$	と仮定した場合
μ	$U_{\rm crit} ({\rm m/s})$	μ	$U_{\rm crit}~({ m m/s})$
0.8	2.50	0.8	3.09
1.0	2.80	1.0	3.45
1.6	3.54	1.05	3.54

表 4-3-2-2 被災限界流速の試算結果

以上のことから、現地では *μ* または *K*_m、あるいは両方が模型実験値と異なり、安定質量を提案式よりもさらに小さくできる可能性が高いと考えられる。

3) 今後の課題

従来の実験と密度を変えた石を用いた水理模型実験では、石材の安定質量算定の提案式 は単体設置だけでなく、群体設置、囲い礁付きの群体設置の場合にも全体として妥当な推 定値を与えることが確認された。また、現地調査の結果は、提案式から予測されるように 石材の安定質量をかなり小さくできるが、提案式による算定値もまだ過大であり、更なる 改善の余地があることが示された。

「結果」で示したように、模型実験では被害率の変化は単純に最大流速のみでは十分に 説明されておらず、周期による系統的な差異がみられる。また、現地調査では割石の移動 限界の推定値と提案式からの予測値との比較から、係数(μとKm)の値が模型実験と実際 で異なることが示唆されたことから、提案式に改善の余地があると考えられる。

今後の検討課題としては、係数 μ と K_m の値をこれまでの模型実験データの再解析と補 足実験により μ のばらつきと K_m の周期依存性等を考慮した関数化等により改良し、提案 式が現地調査の結果も適切に説明できることを確認することが望まれる。

4-3-3 沈設魚礁の安全性の照査法の検討

(1) 流体力算定法の現地検証

1) 方法

流体力算定法の現地検証については、図 4-3-3-1 の手順により計画的に行う。

検証に適した既設の沈設魚礁(増殖礁を含む)の抽出では、平成24~25年度に水産庁に 提出された全国の沈設魚礁の安定計算表(約220件)の中から、まず現地調査が可能な水 深30m以浅に設置され、安全率の低い(滑動安全率<1.3)施設として13件を抽出した。こ の中からさらに、滑動抵抗の妥当な推定が難しい砂質底(部材が砂中に没すると滑動抵抗 が増加する可能性がある)の施設を除いて4件を抽出した。さらに、これらの施設で施工 後の出来型を、サイドスキャンソナーやマルチビーム等により面的に正確に調査され、今 回の再調査により移動の有無を判断できる施設として、次に述べるX県の2施設(A工区 とB工区)を調査対象とした。 X県では平成25年度から出来型管理をサイドスキャンソナーで実施している。図4-3-3-2に調査対象施設の位置を示す。



図 4-3-3-1 流体力算定法の現地検証の流れ

A工区(水深約12m)は捨石マウンド上に増殖礁(カゴ付ブロック)が間隔を空けて設置されている。施工1年目に実施した効果調査の際にブロックの滑動が観察され、平成26年10月にサイドスキャンソナーで調査を実施している。

B工区はA工区の沖、水深約24mの砂質底にコンクリート魚礁ブロックの2段積み(乱 積)として設計された。ブロックとブロックの摩擦係数は0.5 であり、砂質地盤上のブロ ックより滑動し易い。

2015 年 9 月~12 月に A 工区に流速計付波高計を設置し、B 工区に ADCP を設置して流 速の計測を行った。流速計回収時にマルチビーム測量を実施し、ブロックの滑動等を確認 した。



図 4-3-3-2 調査対象施設

2)結果

A 工区と B 工区の施設の移動状況の経過をそれぞれ図 4-3-3-3 と図 4-3-3-4 に示す。A 工 区の捨石マウンド上の増殖礁については、北側のブロックが滑動、転倒しており、最大約 2m 移動したと推定された。B 工区の2 層積みブロックについては2 層目が落下し、平坦化 しており、設置範囲が拡大していた。

波高・周期、および流速の計測結果を図 4-3-3-5、図 4-3-3-6 に示す。B 工区の計測結果より、最大波動流速 Umの試算(粗計算)を行うと以下のようになる。

 $H_{m0}=2.8m, T_p=8s, h=25m \pm 9,$

有義波の流速	: U _m =0.42m/s
最大波 H _{1/250} の流速	: $U_m = 0.76 \text{m/s}$



2015-41

図 4-3-3-3 A工区の施設の移動状況



2013年11月計測(施工直後)

図 4-3-3-4 B 工区の施設の移動状況



図 4-3-3-5 増殖礁設置場所(A工区)での有義波高 H_{m0}とゼロクロス有義波周期 T_{1/3}および底面での有義波動流速の測定値 U_sと計算値 U_{s_cal}、および岸向最大波動流速 U_{c_max_cal}(計算値は波浪の方向分散性を無視、平均水深 13.6m)



図 4-3-3-6 沈設魚礁設置場所 (B工区) での有義波高 H_{m0} とスペクトルピーク周期 T_pおよび底層(z=2.1m)での平均流速 U_c

3) 今後の課題

今年度の調査期間中には両地点とも大きな流速は観察されず、調査対象の施設の移動は、 2014年7月襲来の台風8号によると考えられる。そのときに発生した最大波動流速を推定 するためには、気象データからの波浪の再予報が必要である。今回得られた波浪データは その再予報の検証データとして用い、信頼できる予報データを得て、被災予想時の最大流 速を推定する必要がある。

(2)砂質地盤上での滑動抵抗の評価方法の検討

1) 方法

魚礁が砂地への沈下・埋没することによって滑動抵抗が増加することは以前から指摘さ れ、実験的に検討されている(糸洌ら1990、鵜戸口ら1991、水上・谷山1997)。しかし、 設計参考図書では沈設魚礁の要求性能として「洗掘、埋没又は沈下により設計対象施設の 機能が低下しないよう考慮する」とされ、一般の魚礁(沈下・埋没を織り込んだ脚部を有 しない場合)では、許容できる埋没量は小さいと考えられる。また、魚礁の埋没が滑動抵 抗の増加に寄与するかは埋没過程に関わる。例えば、激浪時に洗掘し、その後に埋没する 場合や、埋没していても激浪時に再洗掘される場合は滑動抵抗の増加に寄与しないと考え られるが、詳細は不明である。そこで本調査では、魚礁の沈下・埋没に関する知見を文献 レビューによって整理を行うとともに、簡単な実験によって滑動抵抗への沈下・埋没の影 響の可能性を検討した。 Ξ

実験については、表 4-1 に示す条件で行い、砂面 上での魚礁の挙動および安定性の増加の有無につ いて検討した。

なお、鋼製魚礁の沈下・埋没状況については、静 岡県、島根県、福岡県および長崎県が実施した効果 調査報告書によった。情報提供にご協力頂いた関係 者各位に謝意を申し上げる。

表	4-1	実験条件	
~ ~			

模型縮尺	1/36	
設置水深	57cm	
水底勾配	勾配 1/50	
と底質	中央粒径 0.12mm	
寸法	1辺5.8cmの立方体	
	部材断面 0.8×0.8cm	
	水中重量 0.388N	

2) 結果

a) **文献レビュー**

レビューに参照した文献を以下に示す。

- 糸洌長敬, 中村 充, 瀬戸雅文, 早川健二 (1990) 魚礁の滑動抵抗に関する研究. 水産土 木 26:13-18
- 鵜戸口俊克, 大河原禎親, 上北征男, 明田定満, 中泉昌光, 佐藤隆広(1991)十字礁の滑動 抵抗の現地試験.日本水産工学会学術講演会講演論文集:49-50
- 水上 繁樹, 谷山 正樹 (1997) 魚礁の滑動抵抗に関する実験. 日本水産工学会学術講演会 講演論文集 9:39-42
- Ingsrisawang V, Ban M, Kimura H (1995) Comparative study on the sinking of artificial reefs by local scour between laboratory and field experiments. Fish Eng 32:95-103
- 金俊圭,水谷法美,神野夏樹,古川清,岩田好一朗(1996)波による魚礁の局所洗掘と埋 没の特性に関する実験的研究. 海洋開発論文集 12:243-247

- Kimura H, Ingsrisawang V, Ban M (1994) A study on local scour of cylindrical artificial fish reef. Fish Eng 31:33-40
- 木村晴保,イングスリサワングヴィチャン,伴道一,平賀洋之 (1996) 流れによる魚礁の 局所洗掘深に関する模型実験の相似則.農業土木学会論文集 1996:671-675
- Sheng YP (2000) Physical characteristics and engineering at reef sites. In: William Seaman J (ed) Artificial reef evaluation with application to natural marine habitats. CRC Press, Boca Raton, Florida, U.S.A.
- 椹木亨,松見吉晴(1983)魚礁背後の水平渦流による地形変動機構について.海岸工学論 文集 30:288-291
- 椹木亨,松見吉晴,北口雅章(1984)魚礁周辺の局所洗掘とその対策工法について.海岸 工学論文集 31:345-349

これらの文献より、魚礁の沈下・埋没過程を整理すると、以下のように要約される。

- 魚礁の埋没は、局所洗掘、沈下と洗掘孔の拡大、埋積によって起こる(Sheng 2000 after Tian 1994)(最大洗掘深を越えて埋没し得ることに注意)(図 4-3-3-7 参照)。
- ② 底層流速が底質の砂の移動限界流速以下であっても魚礁周辺では局所流(渦流)によって洗掘が生じ得る(椹木・松見 1983)。
- ③ 最大洗掘深は砂の移動限界流速のときに発生し、流速がそれ以上大きくなっても増加 しない(木村ら 1996)。
- ④ 最大洗掘深は KC 数の増加に伴い増加するが、魚礁の形状、特に隅角部の有無によって 顕著に変化する(金ら 1996)。
- ⑤ 隅角部底面がすり鉢状に洗掘され、そこから板状の隙間が魚礁底面に沿って発達する。 その結果生じる接触面積の減少、支持荷重の集中により魚礁の沈下が起こる。魚礁は傾いたり滑ったりしながら沈んでいく(金ら 1996)。



- 図 4-3-3-7 可能性のある小型構造物の埋没機構 (Sheng 2000)
 - ※1 埋積作用:堆積物で地表の窪みを埋めて同一の基準面に一致させようとする 作用(岩石学辞典)
- ⑥ 魚礁の洗掘深の相似則(木村ら 1996)(図 4-3-3-8 参照)

- ・海砂は粒径の異なる砂粒子から構成され、洗掘の進行に伴い、洗掘孔の粒度組成が変 化し、洗掘深に影響
- ・砂粒径を魚礁の縮尺に等しくすることは一般に困難
- ・魚礁の周辺の平衡洗掘深は次式で統一的に表される。

$$\frac{d_{se}}{h} = f\left(\frac{h}{y_0}, S_F, \frac{u^*}{u^*c}\right)$$

ここに、*d_{se}*:平衡洗掘深、*h*:魚礁の高さ、*y*₀:水深、*S_F*:魚礁の幾何学的形状、 *u**:底面摩擦速度、*u***c*:砂の移動限界時の底面摩擦速度



図 4-3-3-8 u_*/u_* と d_*/h との関係 (木村ら 1996)

- ⑦ 魚礁の洗掘深の模型実験と現地実験(Ingsrisawang et al. 1995)(図 4-3-3-9 参照)
 - ・模型と実物との縮尺比は 1:20
 - ・両者の洗掘の発達過程はよく似ている
 - ・模型の洗掘孔の深さと実物の埋没深の魚礁形状による変化傾向も類似
 - ・流れを遮蔽する構造の魚礁ほど沈下量が大きい



図 4-3-3-9 魚礁の洗掘深の模型実験と現地実験結果(Ingsrisawang et al. 1995)

⑧ 魚礁の形状による違い(鋼製魚礁の場合)

鋼製魚礁の沈下・埋没状況について、水深の比較的深い事例を図 4-3-3-10、浅い事例を 図 4-3-3-11 に示す。水深の深い高層魚礁では埋没はほとんど見られていない。水深が深い ため、波動流速は比較的小さくなることに注意しなければならないが、水深が比較的浅い 場合でも鋼製魚礁の埋没はほとんど見られていない。以上の結果から、鋼製魚礁ではコン クリート魚礁と異なり、流れを遮蔽する部材が細くて少ないため、渦流域があまり発達し ない、その結果洗掘が起こり難く、沈下・埋没も起こり難いと推察される。



図 4-3-3-10 鋼製魚礁の沈下・埋没状況(水深の比較的深い事例)



図 4-3-3-11 鋼製魚礁の沈下・埋没状況(水深の比較的浅い事例)

b) 沈下・埋没の影響に関する実験的検討

① 実験結果

移動限界に近い不規則波(有義波高 $H_{1/3}$ =13.7cm、のちに 14.0cm、周期 $T_{1/3}$ = 2.4s)を与えた結果を図 4-3-3-12 に示す。まず波高 $H_{1/3}$ =13.7cm の波を与えると、洗掘と滑動が生じ、基部が多少埋没した。その後、 $H_{1/3}$ を 14.0cm に上げたものの、初期移動限界流速 u_c を超えても移動はみられず、安定化した。



図 4-3-3-12 流速の計測値と模型の移動状況(H_{1/3}=13.7⇒14.0cm、T_{1/3}=2.4s)

波高をもう少し高く(有義波高 H_{1/3}=16.8cm、周期 T_{1/3}=2.4s)した結果を図 4-3-3-13 に 示す。波の作用直後、基部が埋没し、その後わずかに動揺するにとどまっていた魚礁が、 u_c よりもある程度以上大きい流速が連続的に作用すると、移動を再開し、再洗掘されて転倒(横転、反転)した。



図 4-3-3-13 流速の計測値と模型の移動状況(H_{1/3}=16.8cm、T_{1/3}=2.4s)

② 実験結果のまとめ

- ・魚礁は初期の滑動と洗掘に伴い、基部が砂質底に埋没して安定化した(見掛けの摩擦係 数の増加)。
- ・安定化までの滑動量は小さく、埋没による見掛けの摩擦係数の増加が期待できる。
- ・洗掘や見掛けの摩擦係数の増加により、滑動よりも設計上の「転倒」(回転モーメントの 釣り合いのみを考慮した傾き)の方が起こりやすくなる。
- ・埋没後の実際の転倒(横転、反転)は、ある程度以上の強さの波動が連続的に作用し、 魚礁の基部が再洗掘されてから発生する(単独の極大波では起こらない)。
- ・実際の転倒は洗掘孔を中心に波の振動方向に起こり、一方向に回転・移動することはないと推察される。

3) 今後の課題

以上の結果より、今後の課題としては以下が挙げられる。

- ・見掛けの摩擦係数にどの程度の増加を見込めるかについては、より詳細な実験的検討が 必要である。
- 小型魚礁の場合は、洗掘により魚礁が大きく傾く可能性が高いため、「転倒」に対する現 在の安定計算は適切ではない。また、砂面上で横転、反転しても機能上の問題や破損が 生じない上下対称形の小型魚礁の場合は、性能照査を滑動または横転のいずれか一方に 対する安定計算のみに変更することで、所要安定質量を削減できる可能性がある。この 検討には、より詳細な実験が必要である。
1) 方法

今年度は、長期間の流速観測と海洋モデルによる数値解析が実施された福島県沿岸海域の事例を対象として海洋モデルの設計への利用可能性を検討した。用いた海洋モデルは、 青木ら(2015)の沿岸海洋モデルである。その計算領域を図 4-3-4-1 に、また主要条件を表 4-3-4-1 に示す。



表 4-3-4-1 海洋モデルの概要

式 15 11 時11	
ベースモデル	Regional Ocean Modeling
	System (ROMS)
水平解像度	1/90 ° ×1/90 ° (約 1
	km)
鉛直解像度	σ座標 20層
河川	1級2級河川
開境界条件	潮汐,外洋変動(FRA-
	ROMS:太平洋および我が国
	周辺の海況予測システム,
	水産総合研究センター)
気象条件	気象庁 GPV-MSM
計算対象期間	2013年1月~12月(1年
	間)

 141*
 143*

 図 4-3-4-1
 沿岸海洋モデルの対象領域と格子水深.

 図中、A~D点は現地調査地点を示す。

2) 結果

沿岸数値モデルと観測値との比較例1 (水深 30m)

沿岸側の観測点を代表して、水深 30mに位置する Sta.B(図 4-3-4-1 参照)の底層における、 2013年のスカラー流速の経時変化を図 4-3-4-2に示す。密度成層が発達する 6 月から 10 月 を除くと、観測結果と同程度の流速がモデルによっても再現されているが、密度成層期に はモデル結果の方がやや過小評価となる傾向にある。期間を通して底層流速が最大となる のは、大型台風の来襲時にあたる 2013年 10 月 16 日であり、最大流速値や発生時刻もモ デルでもよく再現されている。また、図 4-3-4-3 に日最大値の比較を示す。日最大値ではモ デル結果と観測結果は比較的良好な再現性を示しているが、経時変化でも認められたよう に夏季にはモデル側が過小評価となる傾向にあり、日最大値による比較においても観測結 果の方がやや大きい。夏季にモデル側が過小評価となる原因は、おそらく密度成層による 鉛直分布の再現性に課題が残っているものと推測される。



図 4-3-4-2 Sta.B における底層スカラー流速比較(上図:観測点の鉛直断面、中図:2013 年 における底層スカラー流速の経時変化、下図:2013 年 10 月の拡大)



図 4-3-4-3 Sta.B における底層スカラー流速の日最大値比較

② 沿岸数値モデルと観測値との比較例2(水深130m)

沖側の観測点を代表して、水深 130m に位置する Sta.D(図 4-3-4-1 参照)の底層における、 2013年のスカラー流速の経時変化を図 4-3-4-4 に示す。密度成層が発達する 6 月から 10 月 を除くと、観測結果と同程度の流速がモデルによっても再現されているが、密度成層期に はモデル結果の方がやや過小評価となる傾向にある。期間を通して底層流速が最大となる のは、2013年9月 10日であるが、この最大流速は数値モデル上では再現されておらず、 要因も不明である。図 4-3-4-5 の日最大値比較では、モデル結果と観測結果は比較的良好な 再現性を示しているが、経時変化でも認められたように夏季にはモデル側が過小評価とな る傾向にあり、日最大値による比較においても観測結果の方がやや大きい。夏季にモデル 側が過小評価となる原因は、おそらく密度成層による鉛直分布の再現性に課題が残ってい るものと推測される。



図 4-3-4-4 Sta.D における底層スカラー流速比較(上図:観測点の鉛直断面、中図:2013 年 における底層スカラー流速の経時変化、下図:2013 年 9 月の拡大)



図 4-3-4-5 Sta.B における底層スカラー流速の日最大値比較

③ 事例のまとめ

沿岸海洋モデルを用いた底層流速の解析結果について以下に整理する。

○ 対象海域における流速場の特徴

- ・潮流成分が非常に弱い(数 cm/s 程度)
- ・台風や冬季の爆弾低気圧など、気象擾乱の通過にともなる流速変化が大きい
- ・夏季の底層では内部潮汐の発達が大きい
- ・黒潮や親潮からの影響も無視できない
- ・外力の大きさについて(所見)
 - 気象擾乱 > 内部潮汐 ≒ 黒潮・親潮の影響 > 潮汐
- 日最大値は良好な再現性
- 最大流速も値はよく一致
- モデルでは再現できないような大きな流速も存在

○ 夏季にモデル側が過小評価となる傾向にある (表層では比較的良好な再現性が得られ ていることから、密度構造の再現性に問題が疑われる)

3) 今後の課題

主因となる外力が潮汐であれば、海洋モデルでなくてもある程度予測は可能であるが、 今回検討した事例のように潮汐以外が主因であれば、海洋モデルの利用以外の有効な手段 は考え難い。海洋モデルを漁場施設の設計に利用する際に想定される問題点としては、海 洋モデルを構築する際に高度な専門性と労力が要求されることが挙げられる。特に、潮汐、 外洋変動、気象擾乱、河川等の外力の与え方、海洋数値モデルの習熟が必要である。また、 様々な現象を考慮すると、少なくとも1年間以上の計算期間が望ましいが、設計流速の決 め方等については対象海域の外力等の条件によって異なると考えられる。今後より多くの 事例を収集、解析し、検討を重ねる必要がある。

引用文献

1) 青木一弘, 杉松宏一, 黒田寛, 瀬藤聡, 八木宏, 筧茂穂, 長谷川大介, 伊藤進一: 係留観 測および波浪・海洋結合モデルを用いた仙台湾における水温急変現象の解析, 土木学会論 文集 B2(海岸工学), Vol. 71, No. 2, p. I 421-I 426, 2015

4.4 津波漂流物対策技術の検討

4.4.1 ねらい

津波による漂流物は、東北地方太平沖地震津波や日本海中部地震津波などにより、 漁港施設や水産施設、漁港背後の集落などに多くの被害を与えた。

日本近海で発生が予測される津波においても、船舶などの漂流物による陸上施設へ の甚大な被害が予想され、その被害を最小限にするためには、漂流物対策は重要かつ 緊急な課題である。

すでに、漂流物の漂流状況の数値計算や構造物に作用する外力などについても研究 が進められ、港湾などでは、「津波漂流物対策施設設計ガイドライン」などが提案され ている。しかしながら、漁港特有の施設配置等の特性を勘案した漁港における漂流物 対策の考え方を検討し、とりまとめた資料はない。

本調査のねらいは、漁港の特性を踏まえた「漁港の津波漂流物対策施設設計ガイド ライン(仮称)」を作成することである。

4.4.2 方法

以下の課題について検討を行った。

○既往資料の収集整理

○漂流物対策の検討

○ガイドラインの作成

(1) 既往資料の収集整理

津波や漂流物に関する既往資料として、既往のガイドライン、マニュアル、既往文 献(海岸工学講演会、海洋開発シンポジウム他)、漂流物対策柵・杭等のメーカーパ ンフレット等を収集し、漂流物の外力、津波漂流物対策工、設計外力について整理し た。

(2) 漂流物対策の検討

上記「(1)既往資料の収集整理結果」を踏まえ、モデル地区における漂流物対策 施設の検討を行い、漂流物対策施設の計画手法および設計外力算定手法を提案した。 1)モデル地区の選定

モデル地区は漂流物による被害が予測される漁港地域であり、津波の規模、地域特性を勘案し、岩手県田老漁港と福井県小浜漁港の2漁港を選定した。ここで、田老漁港についてはL1津波波源及びモデル津波波源の2波源を対象とし、小浜漁港ではL1 津波波源のみを対象としたため、検討ケース数は3(=田老漁港2波源+小浜漁港1波源)である。

2) モデル地区における漂流物対策の検討

モデル地区である田老漁港と小浜漁港において、漂流シミュレーション(鴫原モデ ル・後藤モデル)を用い、代表的な対策工である防護柵について、効果的な対策工の 平面配置やその効果を検討した。

3) 漂流物対策の設計外力の検討

効果の検証された対策工について、津波による外力の算定法を検討する。

津波の来襲に伴い漂流物対策工に作用する外力として、漁船、車両などの漂流物衝 突力及び津波波力を考えた。

(3) ガイドライン(案)の作成

上記の検討結果をとりまとめて、「漁港の津波漂流物対策施設設計ガイドライン(仮称)」を作成した。ガイドライン(案)には、津波漂流物対策工の設計手法だけでなく、 配置手法の考え方や既往のシミュレーション(津波遡上シミュレーション)の結果(最 大浸水深および最大流速)の活用についても記載した。

(4) 検討委員会の実施

本業務の実施にあたっては、専門分野の知見を有する学識経験者を委員とする調査 検討委員会を設け、3回実施し、指導、助言を得ながら業務のとりまとめを行った。

委員は、専門を津波、漂流物、行政とする各有識者とした。

- ·松富 英夫:秋田大学工学(系)研究科(研究院) 教授(委員長)
- ·越村 俊一:東北大学(災害科学国際研究所) 教授
- ·八木 宏:防衛大学校 建設環境工学科 教授
- •阿部 幸樹:岩手県農林水産部 漁港漁村課 課長

4.4.3 調査結果

(1) 既往資料の収集整理

津波漂流物対策に関する既往文献として、津波漂流物による被災事例、および津波 漂流物対策に関する計画,設計ガイドラインを収集し、漂流シミュレーションに関す る論文および漂流物対策柵・杭等のメーカーパンフレットを収集した。

さらに、収集されたガイドラインなどの既往資料について、漂流物の種類と予想さ れる被害。漂流物対策施設の計画(配置手法)、設計外力の算定手法などに着目して整 理した。

1) 津波漂流物による被災事例

津波漂流物による被害は昭和南海地震津波、チリ地震津波(1960年、2010年)、十勝沖地震津波、日本海中部地震津波、北海道南西沖地震津波、東北地方太平洋沖地震 津波などにより、発生している。

主な漂流物は、漁船(船舶)、木材、車、オイルタンク、養殖施設、コンテナなどで ある。

被災状況の写真を写真4.4.1.1~4.4.1.4に示す。



北海道南西沖地震津波(北海道青苗漁港)



東北地方太平洋沖地震津波(宮城県石巻市)



北海道南西沖地震津波(北海道青苗漁港)



東北地方太平洋沖地震津波(宮城県気仙沼市)

写真 4.4.1.1 漁船による漂流被災例



北海道南西沖地震津波(北海道奥尻港)

東北地方太平洋沖地震津波(岩手県釜石市)

写真 4.4.1.2 車両による漂流被災例





1960 年チリ地震津波(北海道浜中町) 写真 4.4.1.3 木材に。

東北地方太平洋沖地震津波(宮城県寄磯漁港)





東北地方太平洋沖地震津波(宮城県気仙沼市) 写真 4.4.1.4 オイルタンクによる漂流被災例

津波漂流物の被害から想定される漂流物の種類と予想される被害について表 4.4.1 にとりまとめた。

漂流物	漂流の形態	予想される被害
	・船舶が背後地に打ち上げられ、また家	・船舶及び家屋や漁港施設等の破損
	屋・建屋等に衝突しながら漂流する。	・道路の利用に支障
小型船		・撤去費の発生
	・浸水に伴う沈没	・水域施設の利用に支障
		・引き上げ・撤去に係る費用の発生
	・船舶が陸上部に打ち上げられ、また家	・船舶及び家屋や漁港施設等の破損
	屋・建屋等に衝突しながら漂流する。	・道路の利用に支障
大型船		・撤去費の発生
	・浸水に伴う沈没	・水域施設の利用に支障
		・引き上げ・撤去に係る費用の発生
姜祜佐凯	・養殖施設等が固まりとなり湾内を漂流	・水域施設(航路・泊地)の利用に支障
<u> </u>	する。	・撤去費の発生
	・港内の車両が港背後の家屋等に衝突し	・道路の利用に支障
	ながら、長距離に渡って漂流する。	・家屋、漁港施設、漁船等の破損
車両		・撤去費の発生
	・引き波等により港内外の車両が水域施	・水域施設の利用に支障
	設に引き込まれる。	・引き上げ・撤去に係る費用の発生
ナイル	・津波によりタンクが移動、転倒する。	・漏えいしたオイル等の除去に係る費用の発生
タンク		・タンクの撤去に係る費用の発生
, , ,		・オイルの発火による火災の発生と被害の拡大
木材等	・木材が道路等に散乱する	・道路利用に支障
		・撤去費の発生
	・木材が水域施設等に散乱する	・水域施設の利用に支障
		 ・撤去費の発生
.	・ブレハブ・コンテナが津波により流さ	・ブレハフ・コンテナや、家屋・建屋・漁船等
フレハブ・	れて、転倒・破損する。また、家屋・	の破損
コンテナ	建屋・漁船等に衝突しながら漂流す	・道路利用の支障
	る。	・撤去費の発生

表 4.4.1 漂流物の種類と予想される被害発生の分類

2) 漂流物対策施設の効果

漂流物対策施設が設置された箇所において、対策効果が検証されている。設置され た対策工による効果事例を図 4.4.1 に示す。



図 4.4.1 漂流物対策施設効果事例(東北地方太平洋沖地震津波 えりも港、小型船舶)

以上の検討結果から、漁港地域に甚大な被害を与える漂流物は、漁船・車両・木材 (養殖施設)であり、以下のように分類できる。

- ○背後集落(建物)に被害を与えるものは漁船、車両が多い。
- ○水産施設(荷さばき場等)は漁船、車両による被害が多い。
- ○水域施設(航路、泊地)の埋せつは車両、木材(養殖施設)によるものが多い。
- ○漁港施設(防波堤、護岸等)の被害は漁船、車両によるものが多い。

また、漂流物対策施設は効果があることも検証された。

3) 既往ガイドラインの整理

既往のガイドラインの主な資料は以下となる

〇「津流波漂物対策施設設計ガイドライン」H26.3,沿岸技術研究センター,寒地港 湾技術研究センター

概要:

津波による漂流物被害低減のために、津波漂流を捕捉させる施設を対象とし、その計画・設計手法が取りまとめられているもの。

東日本大震災を踏まえて、H26.3に改訂。

〇「漁業地域の減災計画策定マニュアル〜みんなでつくる減災計画〜」H24.3, 水産 庁漁港漁場整備部

概要:

漁業地域における防災対策の推進を図ることを目的として、漁港管理者、海岸管 理者及び漁協・自治会等の自主防災関係者が、地震・津波による漁業地域の災害 に備えて取り組むべき対策について取りまとめたもの。

東日本大震災を踏まえて、平成23年度に改訂。

〇「漁港の津波避難に関するガイドライン(津波避難誘導デッキの計画・設計)【暫 定版】」、H26.6、漁港の津波避難に関する専門部会

概要:

漁港を含む漁業地域の防災の基本的な考え方を示す『災害に強い漁業地域づくり ガイドライン』(平成24年3月水産庁漁港漁場整備部)の考え方を基本に、対象 を漁港の津波避難に限定し、漁港や漁業地域の特殊性を考慮しつつ、主としてハ ード対策、特に津波避難誘導施設に関する具体的な計画・設計手法を示したもの。

〇「建築物荷重指針・同解説」H27 建築学会

概要:

建築物を設計する際に作用する津波による荷重の考えを整理したもの。

4) 津波漂流シミュレーションモデルの整理

津波漂流物対策施設の配置の効果検討をするためには、適切な数値シミュレーショ ンを選定する必要がある。

このシミュレーションにおいては、漂流物を質点或いは剛体として捉え、別途実施 した津波伝播遡上解析結果を入力データとして、個々の漂流物の平面2次元上の運動 (並進運動、回頭運動)を解析する手法が一般的に用いられている。このような、津波 漂流物の平面的な移動を対象とした解析手法は、表4.4.2のように大別される。

		· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·		772
		後藤のモデル	越村らのモデル	鴫原らのモデル
		流体内における質	潮流場における船舶の運	池谷ら(2005)により提
		点の運動方程式を基	動方程式を基本として導出	案された、モリソン式を
	基礎	礎式とする。(並進運	した、津波作用下における	拡張した評価式を基礎式
	方程式	動のみを考慮)	船舶の運動方程式を基礎式	とする。(並進運動及び水
			とする。(並進運動及び水平	平面内の回転運動を考
			面内の回転運動を考慮)	慮)
		漂流力は、モリソン	漂流力は、モリソン式を	漂流力は、モリソン式
	漂流力の	式により計算する。	拡張した方程式により計算	を拡張した方程式により
数	評価		する。	計算する。
値		衝空過程は未考慮。	運動量及び角運動量の保	運動量及び角運動量の
解		拡散係数に漂流物	存則により、漂流物同十の	保存則により、漂流物同
析		同十の衝空の影響が	衝空に伴う速度変化を計算	十の衝空に伴う速度変化
手	衝空力の	今まれる。	国人に イン 逆反 文 に と 出 手 する。	を計算する。また 建物
法	評価		, G	と漂流物との衝空につい
				ては 建物の質量を無限
				大とした上で同様の処理
				を行う。
		浸水深及び掃流力		水深が漂流物の喫水よ
		について 漂流開始・	と 湮流物と地面の間の摩	りも大きくなった時占で
	漂流開始·	終了のそれぞれの闘	客力の関係から、 漂流開	湾流を開始し、小さくな
	終了条件	値を設定する。	始・終了条件を設定する。	った時点で漂流を終了す
				うた。 る。
		〇計算負荷が比較的	〇回転運動や衝突運動を直	〇回転運動や衝突運動を
		小さいため、多量の	接計算するため、より詳	直接計算するため、よ
		漂流物群の解析に	細な取扱いが可能であ	り詳細な取扱いが可能
		適している。	a.	である。
		〇回転運動を考慮し	〇船舶の漂流計算を想定し	〇後藤の方法と比較して
		ていない分、個別の	た手法であり、任意形状	計算負荷が大きく、適
		漂流物についての	の漂流物への適用可能性	切に計算を実施するた
特省	数と適用範囲	解析精度が低い。	を判断する必要がある。	めに個々の漂流物の形
		〇漂流物数が少ない	〇後藤の方法と比較して計	状等に関する詳細な情
		場合の解析におい	算負荷が大きく、適切に	報が必要となる。
		ては、衝突を正確に	計算を実施するために	
		考慮できない。	個々の漂流物の形状等に	
			関する詳細な情報が必要	
			となる。	
		〇北海道厚岸漁港に	Oインドネシア・バンダア	〇水理模型実験結果と漂
		おける養殖施設の	チェ港における大型船舶	流シミュレーション結
		漂流解析 ¹	の漂流解析(橋本・越村ら	果の比較(モデルの妥
適月	月事例	〇北海道大津漁港に	(2009))	当性の検証)(加藤・鴫
		おける漁船及び車	〇気仙沼湾における大型漁	原ら(2013))
		両の漂流解析 ²	船の漂流解析	
			(Suga(2013))	
<u>+</u> +	× * *	後藤(1983)	小林ら(2005)	本多ら(2009)
			橋本・越村ら(2009)(2010)	加藤・鴫原ら(2013)

表 4.4.2 津波漂流シミュレーションモデルの比較

¹ 平成 18 年度 釧路港外津波対策検討業務(厚岸漁港津波対策検討編)報告書、平成 19 年 3 月、北海道開発局
 ² 平成 25 年度 大津漁港津波対策検討業務報告書、平成 25 年 10 月、北海道開発局

5) 津波漂流物対策計画(配置手法)

配置の考え方

既往のガイドラインより、漂流物対策の配置手法と課題について、表 4.4.3 にとり まとめた。これらは、機能維持すべき施設への対策と漂流が発生させない方法に大別 される。

表 4.4.3	浑波漂流对策上施設配直于法	

ガイドライン	配置の考え方	守るべき施設・発生防止法と課題
津波漂流物対策 施設設計ガイド ライン	減災効果が十分見込ま れ、平常時の土地利用 に支障がない場所に配 置	 ①機能を維持するために必要な水域施設(泊地・ 航路) ②経済活動において大きな影響のある水域施設 ③津波浸水範囲に存在する危険物取り扱い施設 (オイルタンク等) (課題)発生源については明確でない。
漁業地域の減災 計画策定マニュ アル	漂流物となる恐れのあ るものを事前に把握し、 漂流物発生防止策と併 せて被害拡大防止策に 取り組む	 ①漂流物発生防止対策 船舶・筏の係留方法の強化等 防止施設の配置として、 ②漂流物の発生源を囲む方法 ③防護対象(漂流物から守るもの)を囲む方法 ④応急対策時の漂流物・瓦礫の撤去・拡散防止 (課題)係留強化法、発生源の予測方法、守 るべき施設の考え方の記載が具体的でない。

ここでは、対策の考え方として以下のように整理する。

A) 漂流防止対策: 漂流させない対策(事前の対策)

B) 被害(衝突) 防止対策: 漂流物による衝突被害を防ぐ対策

C) 拡散(滞留) 防止対策: 泊地・航路への滞留対策

水産庁「漁業地域の減災計画策定マニュアル」の漂流物となる恐れのあるものを事前に把握し、漂流物発生防止策と併せて被害拡大防止策に取り組むことを基本とする。

② 配置手法

漂流物対策施設を配置する際に、すでに、津波遡上シミュレーションを実施された 結果(最大流速、最大浸水深など)を活用する手法と新たに漂流シミュレーションを 実施する手法が考えられる。

図4.4.2に配置手法の検討フロー図を示す。

津波遡上シミュレーションのデータを活用する場合には、大規模な津波の場合は、 過大評価となる可能性が高いので、留意が必要である。



図 4.4.2 津波漂流対策工施設配置手法

6)設計外力について

津波に起因する外力としては、以下の外力が考えられる。

- 津波波力
- 漂流物衝突力
- 津波を発生させる地震力

ここでは、津波波力の考え方と津波漂流物の衝突力について整理した。

① 津波波力の算定法

既往のガイドラインによる津波波力算定法を整理した結果を表 4.4.4.1 に示す。

表 4.4.4.1 より、流速による算定法と浸水深を用いた静水圧型に大別され、流速が 明確に把握できる場合は流速による波力算定法を用いることが考えられる。

② 津波漂流物による衝突力算定法

既往のガイドラインによる津波漂流物算定手法を表 4.4.4.2 に示す。

表 4.4.4.2 より、衝突力の算定法は対象により数多く提案されており、変形による エネルギー吸収を考慮した手法と代表的な衝突力算定法をそのまま用いる手法が提案 されている。

表 4.4.4.1 津波波力算定法

ガイドライン	算定方法	課題
津波漂流物対策施設 設計ガイドライン (港湾) 透過型漂流防止柵	抗力係数を使用した流速による抗 カ式で算定。	流速の時間変化(加速度) が考慮されていない。
漁港の津波避難に関 するガイドライン (漁港) 津波避難誘導デッキ	浸水深を用いた谷本式による算定。	
建築物荷重指針·同解 説(2015)建築学会 建築物	(1)水位・流速の時系列(2)最大水 位・最大流速がある場合は抗力係 数を使用した流れによる抗力式を 使用(3)最大浸水深のみの場合は 静水圧型波力で算定	流速の時間変化(加速度) が考慮されていない。

表 4.4.4.2 津波漂流物衝突力算定法

ガイドライン	算定方法	課題
津波漂流物対策施設 設計ガイドライン (港湾) 透過型漂流防止柵	漂流物による衝突エネルギーを漁 船の接岸エネルギー準じて算定。 対策施設の変形による、吸収エネ ルギーが衝突エネルギー以上とな るように設計し、漂流物を捕捉。	主に防止柵への作用力が 対象。衝撃的な力の算定法 として過小評価の可能性が ある。
漁港の津波避難に関 するガイドライン (漁港) 津波避難誘導デッキ	漂流物別に衝突力算定式を提示。 最大衝突力(最大流速時)を最も 安定性が厳しくなる位置(津波水 位の範囲内)に作用させる	施設まで漂流される過程の シナリオを想定し、設計に用 いる漂流物を選定する。。 最悪の状態を想定するため、 過大評価となる恐れがある
建築物荷重指針·同解 説(2015)建築学会 建築物	流木・コンテナを対象とした6種類 の評価式(松富, 池野ら, 水谷ら, 有川ら, FEMAの式)を提示。	複数の算定式が提示されて おり、選択が難しい。

(2) 漂流物対策の検討

既往資料の整理結果を踏まえ、モデル地区における漂流物対策施設の検討を行い、 漂流物対策施設の計画手法および設計手法を検証した。

1) モデル地区の選定

モデル地区は設計津波が大きく、太平洋側に位置する田老漁港(岩手県)と比較的 設計津波が低く、日本海側に位置する小浜漁港(福井県)とを選定した

2) 田老漁港における検討(昭和三陸地震津波)

昭和三陸地震津波の場合の、田老漁港における津波漂流物対策施設の検討概要を示 す。ここでは、施設配置計画の検討手法として、(a)津波伝播シミュレーション結果を 活用する方法、(b)漂流シミュレーションを行い活用する方法の配置計画例を作成する。

また、漂流物による衝突力について、津波漂流物のシミュレーションを後藤らの方 法と鴫原らの方法で計算を行い、既往資料(最大流速)の比較を行った。

検討条件

○守るべき施設 :給油施設、水域施設
 ○対象漂流物:船舶(10 t 、 5 t)
 ○対象津波:昭和三陸地震津波



図 4.4.3 対象施設と漁船配置図

② 津波遡上シミュレーション計算結果

津波遡上シミュレーションを実施し、最大浸水深、最大流速を算定した。計算結果 を図 4.4.4 に示す。図 4.4.4 より、対象地区の最大浸水深は 8m~9m 程度、最大流速は 7.0m/s~8.0m/s 程度となっている。



図 4.4.4 最大浸水深と最大流速分布

③ 対策効果の検討

給油施設の周囲に対策工を設けた場合の効果について検討した。 図 4.4.5 に対策工設置後の平面図を示す。



図 4.4.5 漂流物対策施設

津波漂流シミュレーションを後藤らの方法と鴫原らの方法で計算を行った。 対策工設置前後の漂流シミュレーション結果を図 4.4.6 に示す。



図 4.4.6 漂流シミュレーション結果(鴫原の方法による)

図4.4.6より、対策工に漂流物が補足されることがわかり、効果が認められた。

④ 対策工作用する外力の検討

漂流シミュレーションによる漂流物の衝突力と既往のデータ(最大流速)を用いた 衝突力の比較を行った。

シミュレーションの検討結果、後藤モデルと鴫原モデルの違いによる給油施設への 漂流物の衝突速度と衝突力を図 4.4.7 に示す。ここで、衝突力の算定には、以下に示 す池野らの方法を用いた。



- ・図 4.4.7 より、衝突速度は後藤モデルが 2.1m/s、鴫原モデルが 1.8m/s と有意な差は みられない。
- ・津波の最大流速は漂流物シミュレーションによる衝突流速の3倍程度となり、この場合の衝突力は、漂流物シミュレーション結果より得られる衝突力の20倍以上となることが判明した。このことから、設計津波が大きい場合は、既往データを利用すると過大設計になることが判明した。





3)田老漁港における検討(モデル地震津波)

田老漁港では、L1 津波である昭和三陸地震津波来襲時の堤外地における浸水深が最 大で 8m~9m 程度で、L1 津波来襲時の浸水深としては比較的大きな値となる。そこで、 昭和三陸地震津波の断層パラメータを田老漁港での浸水深が 4.0~5.0m となるように 調整した「モデル地震津波」についての検討を行うことで、中程度の津波が来襲した 場合の津波漂流物による外力特性についても検討した。

ここで、検討手法・検討条件・対策工配置は「2)田老漁港における検討(昭和三陸 地震津波)」に示したものと同様である。

① 津波遡上シミュレーション計算結果

津波遡上シミュレーションを実施し、最大浸水深、最大流速を算定した。計算結果 を図 4.4.8 に示す。図 4.4.8 より、対象地区の最大浸水深は 5m~6m 程度、最大流速は 4.0m/s~5.0m/s 程度となっている。



図 4.4.8 最大浸水深と最大流速分布

② 対策効果の検討

給油施設の周囲に対策工を設けた場合の効果について検討した。 図 4.4.9 に対策工設置後の平面図を示す。



図 4.4.9 漂流物対策施設

津波漂流シミュレーションを後藤らの方法と鴫原らの方法で計算を行った。 対策工設置前後の漂流シミュレーション結果を図 4.4.10 に示す。



図 4.4.10 漂流シミュレーション結果(鴫原の方法による)

③ 対策工作用する外力の検討

漂流シミュレーションによる漂流物の衝突力と既往のデータ(最大流速)を用いた 衝突力の比較を行った。

シミュレーションの検討結果、後藤モデルと鴫原モデルの違いによる給油施設への 漂流物の衝突速度と衝突力を図 4.4.11 に示す。ここで、衝突力の算定には、「2)田 老漁港における検討(昭和三陸地震津波)」と同様に池野らの方法を用いた。

- ・図 4.4.7 より、衝突速度は後藤モデルが 5.0m/s、鴫原モデルが 3.9m/s と優位な差は みられない。
- ・最大流速はシミュレーション結果による流速の1.2倍程度となり、この場合の衝突 力は、漂流物シミュレーション結果より得られる衝突力の1.5倍程度に収まってい た。このことから、設計津波が中程度の場合は、既往データを利用した場合にも漂 流物シミュレーションに基づく結果と同程度の値が得られるものと考える。

【津波諸元·漂流物衝突諸元】

		最大衝				
	後藤न	Eデル	鴫原	Eデル	是大洼波	是大
対象漂流物	最大 衝突速度 _(m/s)	衝突時 浸水深 (m)	最大 衝突速度 (m/s)	衝突時 浸水深 (m)	取八岸派 流速 (m/s)	最大 浸水深 (m)
係留船舶	_	_	3.0	1.1		
上架船舶	5.0	2.3	3.9	2.8	6.02	3.92
車両	—	_	1.9	2.0		





4) 小浜漁港における検討

小浜漁港における津波漂流物対策施設の検討概要を示す。

ここでは、施設配置計画の検討手法として、(a)津波伝播シミュレーション結果を活 用する方法、(b)漂流シミュレーションを行い活用する方法の配置計画例を作成する。 また、漂流物による衝突力について、津波漂流物のシミュレーションを後藤らの 方法と鴫原らの方法で計算を行い、既往資料(最大流速)の比較を行った。

① 検討条件

○守るべき施設:水域施設

○対象漂流物:車両、船舶10t、20t

○対象津波: 庄内沖地震津波



図 4.4.12 対象施設と漁船配置図

② 津波遡上シミュレーション計算結果

津波遡上シミュレーションを実施し、最大浸水深、最高水位を算定した。計算結 果を図 4.4.13 に示す。



図 4.4.13 最大浸水深と最大流速分布

図 4.4.13 より、対象地区の最大浸水深は 0.6m 程度(水位にして T.P.+2.0m 程度)、 流速は 1.0m/s 程度となっている。

③ 津波漂流シミュレーション結果

津波漂流シミュレーションを後藤らの方法と鴫原らの方法で計算を行った。対策工 設置前後の漂流シミュレーション結果を図 4.4.14 に示す。



図 4.4.14 漂流シミュレーション結果(後藤の方法による軌跡)

図 4.4.15 に漂流物対策施設付近の後藤モデル、鴫原モデルの流速と浸水深、津波遡 上シミュレーションによる最大浸水深、最大流速を示す。

図 4.4.15 より、漂流シミュレーションによる漂流物の衝突速度は、後藤のモデルの 場合が 0.56m/s であったのに対し、鴫原のモデルが 0.16m/s であった。当ケースでは 衝突速度が小さく、漂流距離も短いため、衝突のタイミングのずれにより衝突速度が 大きく異なったと推測する。

津波遡上シミュレーションによる最大流速は 0.72m/s であり、後藤のモデルによる 津波漂流物衝突速度(0.56m/s) と同程度であった。

田老漁港と同様に池野らの式による衝突力を検討すると、津波漂流シミュレーションでは約0.9kN、津波最大流速を用いた場合は1.6kNとなり、部材の設計上は地震力が大きくなると考えられる。

以上の検討より、津波水位が小さい場合には、津波漂流物シミュレーションを用い なくても、対策工の設計には津波遡上シミュレーションの最大浸水深、流速を用いる ことができると考えられる。

			最大種	突速度	最大津波	最大		
		後藤=	モデル	鴫原モデル				
	対象漂流物	最大 衝突速度 _(m/s)	衝突時 浸水深 (m)	最大 衝突速度 _(m/s)	衝突時 浸水深 (m)	流速 (m/s)	浸水深 (m)	
	車両	0.56	0.51	0.16	0.51	0.72	0.53	
2.0							■ 津波波力(kN/m
1.8							一 戶 / [/] / [KIN/III
16							■ 衝突力(kN)
1.0		0.14kN/m						
1.4								
12								
1.2								



図 4.4.15 漂流物の衝突速度と衝突力の比較

(3) 津波漂流物対策施設設計ガイドラインの作成

以上の検討結果を踏まえ、「漁港の津波漂流物対策施設設計ガイドライン(仮称)」 を作成した。ガイドライン(案)には、設計手法だけでなく、配置手法の考え方や既往 のシミュレーションの結果(最大浸水深および最大流速)の活用についても記載した。

1) 基本的な考え方

ガイドラインの作成にあたり基本的な考え方を整理した。

守るべき機能と施設

守るべき機能は、漁港の水産流通機能、陸揚げ準備機能とし、守るべき施設として、重要な係留施設(耐震岸壁等)および付随する水域施設(泊地、航路)、水 産施設等(荷さばき所等)、陸揚げ・準備施設とする。

漁港施設の対象範囲

本ガイドラインでは、図4.4.16に示す漁港の堤外地を主な対象範囲とする。



図 4.4.16 対象範囲(イメージ)

③ 対象とする津波

対象とする津波は発生頻度の高い津波(L1)を基本とする。

ただし、対象津波の発生頻度は、地域性や施設の重要度、耐用年数、費用対効 果を勘案し漁港管理者が判断してもよい。

津波の発生頻度の考え方*)は、水産庁の「平成23年東日本大震災を踏まえた漁 港施設の地震・津波対策の基本的な考え方、参考資料3「防波堤と防潮堤による多 重防護の活用」を参考とする。

④ 対象とする漂流物

対象鶴漂流物は比較的大きな被害を与える以下とする。

- 漁船(船舶)
- ○車両
- ○養殖施設(木材)

⑤ 対策の考え方

対策の考え方は次の3つ大別する。

- ○漂流防止対策:漂流させない対策(事前の対策)
- ○被害(衝突)防止対策:漂流物による衝突被害を防ぐ対策
- 拡散(滞留)防止対策: 泊地・航路への滞留対策

水産庁「漁業地域の減災計画策定マニュアル」の漂流物となる恐れのあるもの を事前に把握し、漂流物発生防止策と併せて被害拡大防止策に取り組むことを基 本とする。

検討の手順は p.10 図 4.4.2 津波漂流対策工施設配置手法に従うものとする。

2) 漁港の港の津波漂流物対策施設設計ガイドライン(案)の作成

ガイドラインの基本的な考え方を踏まえ、「漁港の津波漂流物対策施設設計ガイド ライン(案)の目次案を以下に示す。 「漁港の津波漂流物対策施設設計ガイドライン(案)」の目次案

- 1 ガイドラインについて
 - 1.1 ガイドラインの位置づけ
 - 1.2 ガイドラインの対象と適用範囲
 - 1.3 ガイドラインの構成(記載方法)
 - 1.4 用語の定義
- 2 漁港の漂流物対策の基本的な考え方
 - 2.1 漁港の漂流物対策の基本的な考え方
 - 2.2 漁港の漂流物対策の対象範囲
 - 2.3 対象施設(守るべき施設)
- 3 津波漂流物対策施設
 - 3.1 津波漂流物対策施設の基本的な考え方
 - 3.1.1 津波漂流物対策施設の基本的考え方
 - 3.1.2 津波漂流物対策施設の役割
 - (1) 目的
 - (2) 要求性能
 - (3) 性能規定
 - 3.2 津波漂流物対策施設の配置
 - 3.2.1 検討の手順
 - 3.2.2 基本条件の把握
 - (1) 漁港整備方針・利用状況の把握
 - (2) 漁港周辺の地理的条件の把握
 - (3) 漁港の漂流源の把握(種類・位置など)
 - (4) 対象施設の選定
 - 3.2.3 津波漂流物対策施設の配置計画
 - (1)対策施設配置計画の基本的考え方
 - (2) 漂流物対策方針の設定
 - (3) 漂流物対策施設配置計画
 - 3.3 津波漂流物対策施設の設計
 - 3.3.1 設計の基本的考え方
 - 3.3.2 設計条件の設定
 - 3.3.3 作用
 - (1) 作用津波の設定
 - (2) 地震力
 - (3) 津波波力
 - (4) 漂流物の衝突力
 - (5) その他 (留意事項)
 - 3.3.4 構造設計
 - 3.4 津波漂流物対策施設の計画・設計例
 - (参1)過去の津波災害での津波漂流物について
 - (参2) 津波漂流物対策施設の事例について
 - (参3) 漂流シミュレーションの活用について

(4) 検討委員会の実施

本業務の実施にあたっては、専門分野の知見を有する学識経験者を委員とする調査 検討委員会を設け、3回実施し、指導、助言を得ながら業務のとりまとめを行った。

委員は、専門を津波、漂流物、行政とする各有識者とした。

- ・松富 英夫 :秋田大学工学(系)研究科(研究院) 教授(委員長)
- ・越村 俊一 : 東北大学 (災害科学国際研究所 教授
- · 八木 宏 : 防衛大学校 建設環境工学科 教授
- ·阿部 幸樹 : 岩手県農林水産部 漁港漁村課 課長

1)第1回委員会

- 日 時: 平成 27 年 8 月 24 日 (月) 10:30~12:30
- 場 所:エッサム神田ホール6階大会議室(601)
- 参加者
 - 委員
 - ・松富 英夫:秋田大学工学(系)研究科(研究院) 教授(委員長)
 - ·越村 俊一:東北大学 災害科学国際研究所 教授
 - •八 木 宏:防衛大学校 建設環境工学科 教授
 - ·阿部 幸樹:岩手県農林水産部 漁港漁村課 課長
 - 水産庁
 - ·吉塚 靖浩:水産庁 漁港漁場整備部 整備課 課長
 - ·内田 智:水産庁 漁港漁場整備部 整備課 課長補佐
 - 事務局
 - ·影山 智将:一般財団法人 漁港漁場漁村総合研究所 理事長
 - •西崎 孝之:一般財団法人 漁港漁場漁村総合研究所 第1調査研究部部長
 - ・加藤 広之:一般財団法人 漁港漁場漁村技術研究所 第1調査研究部
 主席主任研究員他

議事内容

・調査の趣旨

- ・津波による漂流物による被災事例の整理
- ・漂流物対策施設に関する既往知見の整理
- 津波による漂流物対策に関する課題
- 今後の予定

課題

対処とする施設、漂流物などを明確にすること。

2) 第2回委員会

- 日 時:平成28年1月14日(木)13:30~15:30
- 場 所:エッサム神田ホール6階大会議室(601)

参加者

委員

- ・松富 英夫:秋田大学工学(系)研究科(研究院) 教授(委員長)
- ·越村 俊一:東北大学 災害科学国際研究所 教授
- · 八 木 宏: 防衛大学校 建設環境工学科 教授
- ·阿部 幸樹:岩手県農林水産部 漁港漁村課 課長

水産庁

·内田 智:水産庁 漁港漁場整備部 整備課 課長補佐

•朝倉 邦友:水産庁 漁港漁場整備部 整備課 漁港漁場専門官 事務局

- •西﨑 孝之:一般財団法人 漁港漁場漁村総合研究所 第1調査研究部部長
- ·加藤 広之:一般財団法人 漁港漁場漁村技術研究所 第1調查研究部
 - 主席主任研究員他

議事内容

- ・第1回委員会の主な意見と対応
- ・津波による漂流物対策の考え方と手法

基本的な考え方について

- 配置手法について
- 設計手法について
- ・モデル地区による検討
- ・ガイドラインの構成

課題

モデル地区については、田老漁港の対象津波が大きいため、対象津波の小さい箇所を追加すること。

シミュレーションの検討条件を精査すること

3) 第3回委員会

- 日 時: 平成 28 年 3 月 7 日 (月) 13: 30~15: 30
- 場 所:エッサム神田ホール6階大会議室(601)
- 参加者

委員

- ・松富 英夫:秋田大学工学(系)研究科(研究院) 教授(委員長)
- ・八木 宏:防衛大学校 建設環境工学科 教授

·阿部 幸樹:岩手県農林水産部 漁港漁村課 課長

- 水産庁
 - ·内田 智:水産庁 漁港漁場整備部 整備課 課長補佐
 - ·朝倉 邦友:水産庁 漁港漁場整備部 整備課 漁港漁場専門官
- 事務局
 - ·西崎 孝之:一般財団法人 漁港漁場漁村総合研究所 第1調査研究部部長
 - ・加藤 広之:一般財団法人 漁港漁場漁村技術研究所 第1調査研究部
 主席主任研究員他

議事内容

- ・第2回委員会の主な意見と対応
- ・モデル地区による検討
 漂流シミュレーションの計算結果
 モデル地区による設計手法について
- ・ガイドラインについて

4.4.4 今後の課題

(1)漁業地域での漂流物対策

本ガイドラインでは、堤外地を対象としているが、対象外である堤内地などにおけ る津波漂流物対策の考え方、対象となる漂流物について検討し、提案する必要がある

(2) 既往シミュレーションデータ活用範囲の明確化

既往データは、小浜漁港のように比較的小さい津波の場合に活用できるが、田老漁 港のように大きな津波の場合は過大な結果になる。既往データの適用範囲を明確にす る必要がある。

(3)費用対効果算定手法の検討

本調査では、費用対効果については、水産庁の「平成23年東日本大震災を踏まえた 漁港施設の地震・津波対策の基本的な考え方、参考資料3「防波堤と防潮堤による多重 防護の活用」を準用するように示しているが、検討例を示す必要がある。 4-5 自然環境に配慮した施設等の現状調査

4-5-1 ねらい

近年の沿岸域の開発や地球温暖化等の影響により水産動植物の産卵・育成の場とな る藻場・干潟が減少している。このような中、漁場環境を改善して海域全体の生産力の 向上を図るため、水産生物の生活史に対応した新たな取り組みである「水産環境整備」 が推進されている。しかしながら、過去に整備された自然環境に配慮した施設等につ いては、整備後のモニタリングは実施されているが、それらを集積してとりまとめて 整理した事例はない。このため、従来整備した自然環境に配慮した施設等についての 現状調査を行い、その結果を取りまとめて今後の取り組みに反映することにより「水 産環境整備」の効果的な実施に資する。

4-5-2 方法

(1)既存資料調査(アンケート調査) 都道府県管理者を対象に、① 自然調和型漁港づくり推進事業、磯焼け対策緊急整備事業により藻場造成を実施した地区の 把握、②藻場造成後のモニタリング調査の有無及び、③施設整備の際の造成藻場に係る検討資料の有無を問い合わせした。

その後、回答の中から、②及び ③の双方に該当する地区を抽出 し、内容の精査を行った。

その他に、水産工学会、土木学会から参考文献を整理した。

表 4-5-1 問い合わせシート



(2) 現地調査

上記とは別に、自然調和型漁港づくり推進事業の中で10年以上経過した5施設を 抽出し、現状を把握するための潜水目視観察を実施した(表-2)。

- ① A漁港(北海道・東北地方の日本海側)
- ② B漁港(中部地方の日本海側)
- ③ C漁港(瀬戸内海)
- ④ D漁港(九州地方東岸)
- 5 E 漁港(九州地方西岸)



表 4-5-2 現地調査の概要

(3) 課題問題点の分析・整理

上記(1)及び(2)より、施設における藻場の現状及び藻場の維持に影響を与える 阻害要因を特定し、対策手法、あるいは設計手法の関する検討を行った。

(4) 技術事例集の作成

上記(2)~(4)の結果を踏まえ事例集として取りまとめた。

4-5-3 結果

(1) 既存資料調査(アンケート)

問い合わせに対して 26 地区から回答が得られた(表 4-5-3)。その中の基本設計 とモニタリングに関する双方の資料のある都道府県に問い合わせ 6 か所の資料等を 貸与し、概要を整理した(表 4-5-4)。

回答	等事業箇所数 (N=26)	
事 業 夕	a. 自然調和型漁港づくり推進事業	19
尹 耒勹	b. 磯焼け対策緊急整備事業	7
	a.防波堤	16
	b. 離岸堤	0
	c. 潜堤	1
施設の種類	d. 人工リーフ	0
	e.藻場礁	7
	f. 投石	1
	g. その他	1
	a. ある	22
基本設計報告書の有無	b. ない	2
	c. その他	2
按款网声	a. ある	21
旭設区山	bない	5
エーカリンガの宇佐	a. 実施あり	23
モニタリンクの美施	b. 実施なし	3
モニタリング報告書の有	a. ある	20
	b. ない	5
····	c. その他	1
モニタリング 報告書 及び	a. 双方ある	19
基本設計報告書 双方有	b. 一方のみある	7

表 4-5-3 問い合わせ結果

(2) 現地調査からの課題問題点の分析・整理

現地調査の結果等を基に、造成藻場の現状を整理するとともに、磯焼けが感知されている場合においては、その阻害要因を分析し特定を行った。また、特定した阻害 要因については、ソフト対策、ハード対策別に対策手法を検討した。ソフト対策については、「改訂 磯焼け対策ガイドライン」(水産庁、2015)(以下「ガイドライン」 という。)の対策手法を参照して整理した(表 4-5-5、図 4-5-1)

事業概要 (自然調和型)	既設の外防波堤の改修工事(H7 年度~H10 年度)に併せて、内側背後に藻場マウンドを造成した。背後の藻場マウンドの規模は H7 年度 400 ㎡ (10×40m,水深 3.0~3.5m)、H9 年度 1495 ㎡ (23×65m,水深 3.5)。			
事前調査	 ・ウニ類の付着基盤が安定していれば、3m以浅の浅い水深帯に生殖巣指数の高い個体が生息する。 ・ウニ類は波の作用を強くうけない異形ブロック下層部や基礎ブロックの岩盤あるいは安定した転石の間に生息する。 			
		対象種	ミツイシコンブ、エゾバフンウニ、エゾアワビ等	
			 ・ウニ類の育成場・餌料藻場を期待する。 ・波浪による自然石の散逸を防ぐため背後に藻場マウンドを造成。 	
111111111111111111111111111111111111111	The second secon	設計時の	・事前調査より海藻現存量が多くウニ類の生殖巣指数が高いのは 2~3m 以浅で	
Man all the		配慮事項	あり、砂による埋没を考慮して海底面から 1m程度嵩上げした。	
THURSDAY AND	SB-1(新外防:H8) 2 地点		着生基質に大割石(0.3~1.0 t)を使用。コンブの着生およびウニの付着面が広	
1933	SB-2(新外防:H9) 3 地点		くなることを期待する。	
SB-3(新外防:H7)3地点			・設置4年目(H7区)のミツイシコンブの現存量は1,100g/m²、前年より約2倍増加。	
CTFFFF PERF	57(H7) 6地点 4 人	モニタリング	ェゾバアンウニは平均 20.7 個/m2、前年より 4 割減少。	
FEFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFF	SB-4(既外防) 6 地点	H11	・設置2年目(H9区)のミツイシコンブ現存量は339g/m ² 、前年より95%減少。エゾバ	
FTI:			7ンウ=は14.6個/m²と前年より1.3倍増加。	
	··///		ウニの多い場所はコンブは少ない傾向が窺える。しかし、全体的にはコンブが	
MB-1(南防) 4 地点	S9(H9)8地点 6地点	⇒गर /मा	繁茂しており、その理由は、防波堤が透過堤であり、背後の藻場マウンドの天端	
	a lot	青平1曲	水深が浅いことから、平磯のようなコンブの生育に程良い流動が起きていると思	
MB-2(南防) 5 地点			われる。	
南防波线	NB-1(西防) 6 地点 西防波堤 ◎ :水深別採取 0	<u>H.W.L+</u> ₩.L+ _2.0	5.4 +5.5 9.0 0.0 大都庄	

表 4-5-4(1) F 漁港



表 4-5-4(2) G 漁港

漁港の拡張整備に伴う埋立等によりハタハタの産卵・育成場所の良好な藻場が減少することを懸念し、沖防波場の背後に藻場マウンド 事業概要 を造成した。6年かけて段階的に施工。藻場マウンドの面積は13.200 m²(40m×330m)。 (自然調和型) ・ハタハタが産卵するガラモ場の水深は概ね2~9m程度。 事前調査 対象種 アカモク、ヨレモク、マメタワラ、ハタハタ(産卵場)等 ・産み付けられたハタハタ卵塊の流出を防ぐため沖防波堤背後に藻場 マウンドを造成する。 設計時の ・ハタハタが産卵する海藻の水深帯に合わせて小段を造成する。 配慮事項 ・沖防波堤が天然藻場から 100m 以上離れていることから、海藻のタネ の自然加入を期待せず、造成と併せて母藻投入を行う。 ・アカモク、ヨレモク、マメタワラの母藻投入(スポアバッグ法)を行った場 所を中心に藻場が拡大。 モニタリング ・冬季にはハタハタの卵塊を確認。 $H18 \sim 23$ ・アワビ、サザエ等が増加し、魚種は34種出現。メバル稚魚やマアジ幼 魚の蝟集等、幼稚魚を中心に季節的な来遊を確認。 設計通りの海藻が繁茂し、藻場面積も広がっている。冬季にはハタハタ 評価 産卵(卵塊)も確認された。また、植食動物のウニ(ムラサキウニ:H23 現存量 0.33 個/m2)は少ないので良好な藻場が形成されると思われる。。 16.30 \odot 1.1107 5 40 1.20 9 10 夜し田 D22 (L=)、0内、0. 5内ビック) 補養ブロック121気(木産協調気) N 70 - 21215C ARLINS mintrin) #雷方地(47.614) (2.58×1.88(45.02) Anterial HW70y 23015 寮 7.50 重要出行 織 ARIS (MARATON) 5.' IXXXXXXXXXXXX RESERVE 9.5 洗服防止マット

表 4-5-4 (3) H 漁港
事業概要 (自然調和型)	防波堤の新設・改修工事により消滅する藻場の復元を行うため、防波堤の前面に藻場マウンドを造成した。 3年かけて段階的に施工。藻場マウンドの面積は6,700 m²(330m×20.2m)。									
事前調査	・天然藻場はガラモ場で、概ね M.W. L. ・周囲のほぼ全域に藻場が形成されてい	+0.95m~D.L る。	5m まで分布している。							
		対象種	ホンダワラ、カジメ、ウミウチワ、マクサ等							
▲ 1/4 ▲ 1/4 ■ 200 ■ 200 ■ 200 ■ 200 ■ 200 ■ 200 ■ 200 ■ 200 ■ 200 ■ 200 ■ 200 ■ 200 ■ 200 ■ 200 ■ 200 ■ 200 ■ 200 ■ 200 ■ 20		設計時の 配慮事項	 ・藻場復元規模は消滅面積と同等規模とする。 ・天端水深は、海藻の被度が高い D.L4m に設定。 ・着生基質は、1.0トン内外自然石で、均しを行わずに設置。 ・天然藻場に隣接しているので、母藻投入等は行わない。 							
		モニタリング H14~16	 ・藻場は年度ごとに拡大し、3年後には藻場マウンドの約93%まで藻場が 復元した。 ・大型多年生のカジメも徐々に増えてきた。 							
A CONTRACTOR		評価	藻場マウンドは順調に海藻が生育し、被度も高くなっていることから、 十分に藻場が復元されたと思われる。							
日本1000000000000000000000000000000000000		HH H H H H H H H H H H H H H H H H H H	I. + 3.15 I. + 3.15 I. + 0.55 5.28 I. + 0.55 J. J							

表 4-5-4(4) I 漁港

事業概要 (自然調和型)	漁港整備にあたって、周辺海岸が県立自然公園 広捨石マウンド型の藻場マウンドとした。	であり、防波堤・護岸	岸に親水機能を持たせるため、防波堤の前面に潜堤を設置。潜堤全体を幅					
事前調査	・海藻は、岩盤・転石の自然海岸に多い、防波堤 ・水深 20m 以浅まで海藻が繁茂。また、波当たり	は鉛直部分よりも根目 が強い表層よりも若音	固め等の水平部分に多い。 干水深が深い場所に海藻が多い。					
		対象種	クロメ、アワビ、サザエ等					
		設計時の	・消波ブロックには、海藻の付着成長を促すために溝や特殊基盤を設置。					
		配慮事項	その他、流れ藻の滞留を促す鋼製枠組被覆を設置。					
		モニタリング	・9 年目のモニタリングで、潜堤のほぼ全域でクロメを中心とした藻場を確					
		H9~13, H17	認。					
		評価	当初は、ウミウチワを中心とした小型海藻群落を形成しその後大型海藻の					
			クロメーと遷移し、極相(安定した状態)に至っていると思われる。					
		307 =7.5	断面図 92.0 92.0 2.0 2.0 2.0 2.0 2.0 2.0 2.0 2.0 2.0					

表 4-5-4(5) J 漁港

事業概要 (自然調和型)	漁港の拡張工事と併せて、護岸の前面に小段を設けた藻場マウンドを造成した。							
事前調査	・漁港周辺はヤツマタモクが優占するガラ	モ場を確認されたが、	漁港にはホンダワラ類が確認されていない。					
		対象種	クロメ、アワビ、サザエ等					
	*	設計時の 配慮事項	 ・漁港は海底勾配が急なため、大規模な造成ができないことから、部分的に浅場や小段を設ける。 ・ウニが生息しないように隙間の少ない被覆ブロックを使用する。 ・漁港にはホンダワラ類が確認されていないので、母藻投入や種苗投入を行う。 					
MA CONTRACTOR		モニタリング	・母藻プレートを設置した翌年春、ヤツマタモクやマメタワラを中心と					
		H23~24 年	ガラモ場を確認。しかし、翌々春は80%近く減少した。					
		評価	ガラモ場の被度の低下の原因は、火山の噴火による火山灰が河川か ら流入した沈降堆積物による生育阻害と植食性魚類等の食害が考えら れる。					
			C 護岸(b工区) (ロープ式選番)					

表 4-5-4(6) K 漁港

(2) 現地調査からの課題問題点の分析・整理

現地調査の結果等を基に、造成藻場の現状を整理するとともに、磯焼けが感知されている場合においては、その阻害要因を分析し特定を行った。また、特定した阻害 要因については、ソフト対策、ハード対策別に対策手法を検討した。ソフト対策については、「改訂 磯焼け対策ガイドライン」(水産庁、2015)(以下「ガイドライン」 という。)の対策手法を参照して整理した(表 4-5-5、図 4-5-1)

表 4-5-5 現地調査結果総括表

漁港名称		A 漁港		B漁港		C漁港		D漁港		E漁港	
施	藻場造成機能付き施 設の構造形式	背後小段傾斜堤		潜堤付き幅広捨て石マウンド消波	堤防	前面消波工被覆防波堤ほか		潜堤付き幅広捨て石マウンド消波	堤防	前面小段付き消波工被覆防波均	是
設	施工完了年度	平成 8 年度		平成13年度		平成11年度		平成12年度		平成10年度	
Ø	対象藻場	コンブ場		ガラモ場		ガラモ場		ガラモ場		クロメ場+ガラモ場	
概	対象海藻	ホソメコンブ		ホンダワラ類		ホンダワラ類、ワカメ		クロメ、ホンダワラ類		ホンダワラ類	
要	施工経過年数(年)	19		14		16		15		17	
	造成面積(m))	-		14, 700m ⁴		8, 400 m ²		4, 600 m ²		9, 000m ⁴	
	水深帯(m)	0~6 被度階級 1 (極く点生) (5 % 去港)		4~8		0~10		4~7		0~10	
	海藻の繁茂状況	 被度階級1(極く点生) 		被度階級4 (密生)	被度階級 4 (密生)			被度階級4(密生)		被度階級3(疎生)	
	(平均被度)	(5%未満)		(60%)		(59%)	(59%)			(31%)	
機能	【被皮階級は磯焼け対策がイド 9インよ り、5:75% 以上、4:50~75% 3:25~50%、2:5~25%、1:5%	L.W.L±0.0mの消波ブロック上にエゾネジモクが Ⅱ	被度階級	局所的にイワガキの被度が高い(15~30%)場所 被度が下がる(被度階級3(疎生)~2(点生))。	iは海藻の						
計価	ALF. 0.0761	1:無筋サンゴ藻類		1:ノコギリモク		1:ワカメ		1: 201		1:ワカメ	
ш	出現優占種	2:イソガワラ科		2:3レモク		2:タマハハキモク		2: ノコギリモク		2:アカモク	
(上位3位まで)		3:ピリヒバ		3: クロメ		3:シダモク		3:アカモク		3:ノコギリモク	
		キタムラサキウニ:平均7.9個体/㎡、最大29個体/㎡		ムラサキウニ: 平均2.7個体/㎡、最大15個体/㎡		ムラサキウニ:平均0.2個体/㎡,最大1個体/㎡		マウントではササゴ:平均0.3個体/㎡、最大1個体		ムラサキウニ: 平均1.7個体/㎡、最大9個体/㎡、ガ	
	ウニ	測線外だが、キタムラサキウニが70個/㎡以上の高 密度域あり。	×		0		0	/㎡、天然礁ではムラサキウニ: 平均0.4個体/㎡、 最大4個体/㎡	0	ンガゼ属:平均1.1個体/㎡、最大13個/㎡	0
	植食性小型卷貝等	コシタカガンガラ:平均5.5個体/㎡、最大13個体/㎡	Δ	コンタカカンガラ: 平均1.6個体/㎡、ウラウズガイ: 平均 4.0個体/㎡、サザ゙エ: 平均0.3個体/㎡	0	アメフラシ:平均0.3個体/㎡、最大1個体/㎡、クロヘ リアメフラシ:平均0.1個体/㎡、最大1個体/㎡	0	ササ´エ:平均0.3個体/ m゚	0	ウラウズガイ:平均0.3個体/m、最大2個体/m、サ ザェ:平均0.1個体/m、最大1個体/m	0
	1										
		北海道には分布しない		観察中に確認していない。		観察中に確認していない。		観察中に確認していない。		水深7mの場所にメジナが20群体以下で確認。	
阻害	植食性魚類		-		-		-		-	※メジナは雑食性で、岩の表面に生える小型 の藻類が好むので海藻の幼芽が摂餌される可 能性がある。	Δ
要因	付着生物(競合動物)	特に顕著な個所はみられない。	0	局所的にイワガキの被度が高い(15~30%)場 所は、海藻の被度が下がる(被度階級3(疎生) ~2(点生))。	×	特に顕著な個所はみられない。	0	特に顕著な個所はみられない。	0	特に顕著な個所はみられない。	0
		特に顕萎な個所はみられない。		特に顕萎な個所はみられない。		特に顕美な個所はみられない。		特に顕美な個所はみられない。		特に顕萎な個所はみられない。	
	浮泥の堆積		0		0	101 Carder B. Communition of Contended 5	0		0		0
	海藻のタネ不足	近傍は磯焼け状態であるため、タネの供給は 少ないと思われる。	Δ	周辺に健全な薬場が見られるのでタネ不足は 考えにくい。	0	周辺に藻場マウンド部と同じ海藻種が優占して いることからタネ不足は考えにくい。	0	周辺に薬場マウンド部と同じ海薬種が優占して いることからタネ不足は考えにくい。	0	ホンダワラ類はタネが遠くに飛ばないことから、 流れ藻が来ない限り供給量はあまり期待でき ない。	۵
近	傍の藻場の状況	磯焼け		ガラモ場		ガラモ場		クロメ場		ワカメ、ガラモ場	
		ウニによる食害が要因と推察される。		いっている いってい ション						植食性魚類の出現、海藻のタネ不足が懸念され	れるが、深
	要因の特定	フーム-みる長音が安心と生産される。 ただし、周辺海域全体で磯焼けが見られることから、調査 範囲を拡大した追加調査が求められる。		いる。ただし、一部で藻場形成の不良域がみらオ 所はイワガキ付着による基質の競合が阻害要医 れる。	1、その場 しと推察さ					刻な磯焼けの状況ではないことから原因が特定	できない。
		●ソフト対策		(イワガキの被度が高い個所以外でけ)		特になし、終過観察		特になし、経過観察		●ソフト対策	
		● ノイ パネ 1.ウニの除去(ガイドライン P.80) ウニの生殖巣が大きくなる6~8月頃までに、スキュ によって ウニを除去してウニ密度を下げる。	ーバ潜水	特になし。経過観察 ●ソフト対策		特になし。栓迴戦祭		1111-16-C。 #II 加 K K		●フント対象 1.現状把握調査とそれに基づく要因の特定(カイド 簡易な現地実験を実施し原因を特定する。	[*] ラインP.64)
	対策手法 (案)	2.ホソメコンブの母藻投入(ガイドライン P.108)		(イワガキの被度が高い箇所において)						植食性鱼類・カゴ付きとカゴの毎日の母藻を移植	補して経過
		ホソメコンブが成熟する9~12月に、天然藻場から	子嚢斑が形	1.付着生物の除去(カイトラインP.120)						を観察する。	
		成された葉を集めてスポアパッグに入れて投入する。		溶水エルイワカキか回着9 る飯復ノロックの表	「国をプレ					海藻のタネ不足:海藻の成熟期にカゴ付きの基	、質を設置
		3.ノエンス(刀1ト71)P.103) ホンメコンゴの休井が出現する1~2月頃にウェフェ	、フた砂澤	されていることから 周辺のホンダワラ類が成熟	期(春)す					して幼芽の発芽を観察する。	
		する。ただし、波浪に弱く、浅所では移動・破損しやす 意する。	いので注	る前に除去すれば、周辺から海藻が加入しやす	u.						
×	※ソフト対策は、磯	●ハード対策									
煩	£け対策ガイドラインの	キタムラサキウニによる食害を軽減するため、背後り	∖段を嵩上								
\$	疹照ページを示す。	げ改良し、流れを強め流動を促進させる対策が必要	である。具								
		1本的には、コンフの幼芽時期(1~2月)の摂餌がコン た長に影響たちきることから、冬期における非後小月	フの繁茂・								
		エスに 影音を 学んる ここ い ら、 や 期 に お け る 育 彼 小 則 追 流 速 を 求 め 床 面 波 追 流 速 が キ な 人 ろ サ キ ム ー の	(v) 応囲波 摂館限奥			1					
		流速(0.40m/s)となる高さまで嵩上げをする。ただし。	当上げに								
		用いる石やブロックは、隙間がウニの住み場になりや	すいので								
1		注意する。また、浅海域は環境の年変動により対策	効果が維持								
		できない場合も考えられるため、定期的にモニタリン	グを実施			1					
		し、ワニか増えている場合にはソフト対策を実施する	•								



O阻害要因への対応

・【ソフト対策】 ウニ除去(ウニの生殖層の発達する6~8月頃にスキューバ潜水で除去)、ホソメコンブの母藻投入(9~12月に子嚢斑のあるものを投入)、ウニ進入防止フェンス(コンブの) 幼芽が出現する1~2月の間ウニフェンスを設置する) ※磯焼け対策ガイドライン(2015)参照

・【ハード対策】 キタムラサキウニによる食害を軽減するため、背後小段を嵩上げ改良し、流れを強め流動を促進させる対策が必要である。具体的には、コンブの幼芽時期(1~2月)の 摂餌がコンプの繁茂・生長に影響を与えることから、冬期における背後小段の底面波浪流速を求め、底面波浪流速がキタムラサキウニの摂餌限界流速(0.40m/s)となる高さまで嵩上げ をする。ただし、嵩上げに用いる石やブロックは、隙間がウニの住み場になりやすいので注意する。また、浅海域は環境の年変動により対策効果が維持できない場合も考えられるため、 定期的にモニタリングを実施し、ウニが増えている場合にはソフト対策を実施する。





O阻害要因の整理·分析·

・部分的にイワガキが優占し、海藻の被度が低下しているが、おおむね藻場が繁茂し良好な藻場である。

O阻害要因への対応

・イワガキの被度が高い箇所は海藻が成熟する前に付着生物の除去を実施する。その他の藻場は経過観察とする。

図 4-5-2 B 漁港(中部地方日本海側)



・海藻の生産力と食害生物の食圧のバランスは整っており、阻害要因への対策を施す必要はない。経過観察を継続する。ただし、アイゴの生息する海域であることから、 定期的に食害状況や藻場の植生の変化を把握するためのモニタリングを行うことが望ましい。調査は夏から秋にアイゴが藻場に出現する時期に行う。具体的な調査方 法は「磯焼ナ対策ガイドライン」P.52を参照。

図 4-5-3 C 漁港 (瀬戸内海)



O成功要因及び阻害要因の整理·分析

・ 藻場の形成阻害要因は特にない。

O阻害要因への対応

・海藻の生産力と食害生物の食圧のバランスは整っており、阻害要因への対策を施す必要はない。経過観察を継続する。

図 4-5-4 D 漁港 (九州東岸)



図 4-5-5 E 漁港 (九州西岸)

4-5-4 今後の課題

過去に整備された自然環境に配慮した施設等から、藻場機能の維持・管理において の対策手法が検討された。また、設計にフィードバックすべき留意点も確認できた。 なお、今後は次の課題等を検討、整理していく必要があると思われる。

- > 藻場のある沿岸域は、海況の変化や天候の異変、地域の開発の影響に曝され、藻 場面積は減少傾向にあり、自然環境に配慮した施設においても磯焼け状態のと ころが確認された。こうした施設の藻場機能の維持管理は、近年、定着してき た施設整備(ハード)と併せて実施されるソフト対策(磯焼け対策、モニタリ ング)は非常に有効な対策と考えられる。ただし、そのための調査手法や評価 方法が統一されていないため、各地の情報を横断的に比較検討することが難し いことがわかった。今回の分析方法をきっかけに、藻場機能の診断基準の標準 化を図る必要がある。
- 今回の表-5は、ガイドラインに沿って実施される「B1.現状把握調査とそれに基づく要因の特定」の作業から、現地調査で得られた多様な情報を整理、分析する具体的手法の一つとして活用できる可能性が確認された。今後は事例を増やし、その活用の可否等を検討することが必要である。
- 現地調査の結果の一時点での評価に帰する恐れがあることから、定期又は非定 期に複数回の現地調査を実施し、藻場の定性的な状況把握と評価に繋げるため の藻場機能の診断調査手法を構築する必要がある。
- 一方ではメンテナンスフリーで良好な藻場が10年以上形成されている施設もみられている。藻場造成型漁港構造物調査設計ガイドラインは、磯焼けが問題視される前に作成されており、良好な施設を詳細に調べ設計にフィードバックさせることが重要である。

平成27年度

自然環境に配慮した施設の現状

事例集

平成 27 年 3 月

水 産 庁 漁 港 漁 場 整 備 部 一般社団法人 水産土木建設技術センター

一 目 次 一

1. 調査概要 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	1
1. 1 調査の目的 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	1
1. 2 調査内容 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	1
1. 3 調査フロー ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	2
 調査結果・・・・・・ 	
2.1 アンケート調査(1) ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	3
2.2 アンケート調査(2) ・・・・・・・・・・・・・・・・・・	10
2. 3 既存資料 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	12
 2.4 現地調査 ····································	17
 自然環境に配慮した施設の要件と基準 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	30
3.1 設計時における施設の要件と基準 ・・・・・・・・・	30
3. 2 機能保全対策における要件 ・・・・・・・・・・・・・	39
去考迩約1 久目の遠担に閉する是近の調本研究(概要)	49
今 気 村 1	42
参考資料 2 主な海藻 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	62

参考資料3 代表的な植食動物 ・・・・・・・・・・・・・・ 63

1. 調査概要

1.1 調査の目的

近年の沿岸域の開発や地球温暖化等の影響により水産動植物の産卵・育成の場である藻 場・干潟が減少している。このような中、漁場環境を改善して海域全体の生産力の向上を 図るため、水産生物の生活史に対応した新たな取り組みである「水産環境整備」が推進さ れている。しかしながら、過去に整備された自然環境に配慮した施設等については、整備 直後のモニタリングは実施されているが、その後の現状があまり把握されていない。この ため、本調査では、これまでに整備されてきた自然環境に配慮した施設等の現状調査を行 い、その結果を取りまとめ、今後の「水産環境整備」の効果的な実施に反映させることを 目的とする。

1. 2 調査内容

(1) 全国アンケート調査

水産庁が平成27年度に実施した「藻場のモニタリングに関するアンケート」の結果を再 集計するとともに、19県から提供された資料等を整理した。

(2) 既存資料調査

都道府県管理者を対象に、①自然調和型漁港推進事業、磯焼け対策緊急整備事業により 藻場造成を実施された地区、②藻場造成後のモニタリング調査の有無、③施設整備の際の 造成藻場に係る検討資料についてアンケートを行った。その回答の中から、10 年程度経過 した 6 地区の報告書等を借用し、設計時の考え方やモニタリング結果の概要や課題等を整 理した。

(3) 現地調査

上記(2)とは別に、全国 5 ブロック(北海道、日本海側、太平洋側、瀬戸内海、九州)の なかで、造成藻場に関する情報を有する次の 5 漁港について、造成藻場の現況等を把握す るため、現地調査(潜水目視調査等)を実施した。

- ・江良漁港(北海道)
 ・富来漁港(石川県)
- ・丸山漁港(兵庫県)
 ・泊ヶ内漁港(大分県)
- 有喜漁港(長崎県)

(4) 課題問題点の分析・整理

集めた既存資料や調査結果から、藻場の現状や藻場の形成阻害要因を整理し、施設整備 における設計時の留意点を整理した。

(5) 技術事例集

上記の結果を事例集として取りまとめた。



図 1-1 調査フロー

2. 調査結果

2.1 アンケート調査(1)

水産庁が平成27年6月2日付けで都道府県に依頼した「藻場のモニタリングに関するア ンケートについて」(図2-1)を再集計し、都道府県の藻場およびモニタリング状況につい て把握した。

	都道府県名		đ	已入者所属					
		0	56	入者職氏	8				
1,	達場のモニタリング a.行って b.行って	を行っています ている → ていない →	か。 2 以降を回 1 1 以降を回	回答してくだ 回答してくだ	さい				
2,	モニタリングを行って また、モニタリングを a.県下 b.広域	ている海域の敵 行っている海峡 全域 () (湾などの地)	画を教えてく 或の位置及ひ 形的にまとま:	ださい。 「範囲を示し	した図を こ)	お送りくた	さい。		
	c.地域 d その((限定された)(限定された)	也先のみ)			r i			
3.	モニタリングを行ってなお、地区等で把	こいる項目はど 握内容が異な	のような項目	ですか? 川紙に地区	毎に把	握内容を	記載をお	願いします	r.
	a.面積 b.位置 c.藻場 d.藻場	の増減傾向を構成する海藻	海草の種類	e. f.ł g. h.	藻場の 直食性 底質、 その他	被度(海) 防物(ア 水温等の (栗海草の イゴ、ウニ 環境情報	植 <u>生</u> 状態 等)の増 8	の粗減傾
4.	2 の「b.広域」また 場合のみ回答) なお、地区等で異 a.磯焼 b.磯焼 c.水産 d.そのf	とは「c、地域」と なる場合は、 たけ対策を実施 は特により藻サ 生物の生活史 也(はどのような単 別紙に地区者 した範囲 島が減少して(上重要な箇	包囲ですか 別に記載をす いる範囲 所と判断し	(2で1 ら願いし ている)	「b.広域」 ,ます。 範囲	または「c	地域」を述	選択し
5.	モニタリングについてなお、地区等で異	て、頻度、これ。 なる場合は、)	までの回数、 別紙に地区自	開始年、直 前に記載をお	近の調	査年を教 /ます。	えてくださ	511a	
		頻度 ご	れまでの回数	開始	<u>年</u> 年	直近の調	周香年		

図 2-1(1) 藻場のモニタリングに関するアンケート用紙

 b.航空写真(ドローン等の無人機) g.衛星画像 c.船上目視 h.魚群探知機 d.潜水目視(ライン調査) i.ROV等水中 e.潜水目視(定点調査) j.その他(7. モニタリングにかかる費用はいくらですか。 ざっくりした金額で結構ですので、海岸線1km当りの金額を教えてください 千円/km 8. モニタリングを行っている主体(実行者)、委託により実施している場合は事業には単独事業の区分を教えてください。 たわ、地の第五期も34日のは、周期などに地区第二部長ちた地区以上ます	. サイドスキャンソナー コメラ ,
 e.潜水目視(定点調香) j.その他(7. モニタリングにかかる費用はいくらですか。 ざっくりした金額で結構ですので、海岸線1km当りの金額を教えてください。 モニタリングを行っている主体(実行者)、委託により実施している場合は事業 たは単独事業の区分を教えてください。 	
 ざっくりした金額で結構ですので、海岸線1km当りの金額を教えてください 千円/km モニタリングを行っている主体(実行者)、委託により実施している場合は事業 たは単独事業の区分を教えてください。 	Þ
 モニタリングを行っている主体(実行者)、委託により実施している場合は事業 たは単独事業の区分を教えてください。 	
 モニタリンクを行っている主体(実行者)、委託により実施している場合は事業 たは単独事業の区分を教えてください。 	
はの、地区守て共体る場合は、別和に地区均に記載をの限いします。	名及び国庫補助事
<u>主体(実行者)</u> a.県(調香会社) e.漁協(漁業者)	
 b.県(水産試験場等) f.民間ボランティア c.市(調査会社) g.その他(d.市(水産試験場等) 	
実施事業	
事業名 (#8), #(#0/83)	
9. モニタリング結果はどのように活用していますか。 (例:台帳を作成し管理している、保全計画を策定し対策を行っている	等)
10、モニタリング結果のまとめ方がわかるような資料の提供をお願いします。	

図 2-1(2) 藻場のモニタリングに関するアンケート用紙



図 2-1(3) 藻場のモニタリングに関するアンケート用紙

(1) アンケート結果

1)データ数

都道府県: 35件

データ数:144件 ※1つの県で地区を分けて提出されたものがある。

2)集計





3)まとめ

藻場の現状を把握するモニタリングは、ほとんどの都道府県で平成26年度以降から実施されている。ただし、県内全域などの広域にわたるモニタリングは少なく、地域が限定され、回数も年に1~2回程度の低予算のモニタリングが目立った。また、モニタリング予算の確保が難しいと言う多くの回答があり、その理由として、潜水のできる職員がいないため、委託となると費用が高くなること、広域を調査するために観測機器を使用すると費用が高くなる等の回答があった。

モニタリングを実施するにあたっての課題に対する回答

【人員・費用不足】

- 潜水調査が中心となるため、技術を備えた人材を確保する必要がある
- 慢性的なマンパワー不足。モニタリングに対する予算が極めて取りづらい
- 藻場調査には潜水作業が必要であるが、潜水可能な職員が限られている
- 潜水士の有資格者が少ないため、作業を潜水業者へ委託することが多く、費用がかかるため、限定的な活動となっている
- マンパワーが少なく、限られた項目でしかモニタリングが行えない。
- 水産試験場等が実施する場合、予算及びマンパワーが不足するため限られた範囲、項目でしかモニタリングが行えない
- 予算的、人的制約からモニタリング地点の増加は難しい状況である
- 現在、水産研究課が実施している内容のモニタリングについては、予算やマンパワーの面から、頻度、範囲や項目が限られている
- 調査人員や予算の面から、限られた範囲・項目でしかモニタリングを実施できない
- モニタリングは潜水士が必要で、その費用が高く、継続的に行うことが難しい
- モニタリング実施機関(民間委託)の選定や実施に伴う費用が課題である
- 海岸線が長いため県全体をカバーする調査には、労力と費用がかかり、短い間隔では 実施ができない
- 業者へ委託した場合、モニタリング費用が高い
- モニタリングの予算・体制等を維持することが難しい
- 経費面から、限定された範囲の藻場の消長を指標としており、海域の生産力を広範囲 かつ定量的に評価できない
- 県の財政状況が厳しくモニタリングに係る経費の確保が困難な状況である
- 研究機関のみで実施する場合は人手不足や技量不足、外注を考える場合は費用不足が 課題となっている
- 人員削減により水産技術職員(行政、研究員ともに)が減少しており、委託により実施せざるを得ない
- 現在は、目視による確認がほとんどで、技術的に未熟なことから定量的・科学的なモ

ニタリングが行えていない

- 費用が高く、調査範囲が限定される。また、費用の割に、結果の活用が限定的である
- モニタリングの予算確保が難しい
- モニタリング費用が高い、人員不足等により限られた範囲と項目しかモニタリングが 出来ない
- 現状では藻類組成等まで調べるにはモニタリング費用がかかるため、限られた範囲、
 限られた項目でしかモニタリングが行えていない
- 本県では限定された地先のみ魚群探知機、サイドスキャンソナー等の方法で調査しているが、県内全域で実施するには、モニタリング費用が高いため調査ができていない(漁業者からの聞き取りでカバーしている)
- 調査機器が高価で入手が難しい
- 広域のモニタリングを行うには費用が高額になってしまう

【モニタリング手法】

- 広域を効率的にモニタリングできる調査手法が確立されていない
- 統一したモニタリング方法がないままに各県で調査が実施されており、県内同一か所での経年変化は検討できるが、他県との比較ができない
- 限られた予算の場合、地区を限定するか、項目を限定する必要がある
- より簡易的なモニタリング手法の開発が必要である

【データ解析】

- 県下全域の調査を行うには航空写真による藻場分布調査が不可欠であるが、精度が粗く誤差を少なくすることが難しい
- データは取得できても十分な解析をするまでに、時間と解析ソフトが不足している

【モニタリング時期の制約】

- 予算執行の制度上、年度をまたぐ(3~4 月)時期に増産効果が発現する水産生物の調査が実施できない
- 調査時期が年度末から年度始まりであるため、補助事業等では実施しにくい

2.2 アンケート調査(2)

(1) アンケート調査

都道府県管理者に対し、①自然調和型漁港づくり推進事業、磯焼け対策緊急整備事業により藻場造成 を実施した地区、②藻場造成後のモニタリング調査の有無、③施設整備の際の造成藻場に係る検討資料 の有無を問い合わせるアンケート(図 2-10)を実施した。

2)市町村名								
3)事業名	a.自然調和型	漁港づくり推測	進事業 b.	磯焼け対策緊	急整備事業			
4)事業期間	平成 年度	[~ 平成	年度					
5)施設の種類		b.離岸堤	c.潜堤		-フ e.藻場	焦 f.扌	殳石	
	g.その他()			
6)事業規模	造成藻場	面積	m2	又は	延長 L=	m		
7)施設図面	平面図・断面	図がある場合	、図面の⊐ピー	を添付してご「	回答ください。	a.ある	bない	
藻場の把握状		 る事業にお	ける藻場の	把握状況	毎について	友えて下さ	<u></u>	
 1)海藻の繁茂状 a.実施している b.調査は実施し c.よく分からなし 	況に関するモニタ! ⇒ 実施年 ていない	リング調査を 度(平成 4	実施していま ⁻ ∓度 ~ 平成	すか。 年度)、 !	最近の実施年	月(平成	年	月頃)
	っい、ガ妹用け起生				ていますか			
2)実施したモニタ	イリノン 結末は 戦ロ	著(または資	*料)として取い	りまとめられ	しいますが。			
2)実施したモニタ a.ある(報告	*リンク	·書(または資	(料)として取り	りまとめられ)			

c.その他(

)

図 2-10 問い合わせアンケート用紙

(2) アンケート結果

b.ない

1)データ数

回答都道府県: 14件





2.3 既存資料

2.2アンケート調査(2)のアンケート結果から、藻場造成後にモニタリング調査を実施し、かつ施設整備の際の造成藻場に係る検討資料の保管が確認されている地区に問い合わせを行い、6漁港(図2-16)より報告書等を借用し内容の精査を行った。各漁港の概要を表2-1に示した。



表 2-1(1) 報告書を借用した漁港の概要

	①イタンキ漁港	②別苅漁港	
(1)事業の概要	漁港の改修工事において既設の沖防波堤を延長し、岬に接岸した突堤 を計画し、その際に自然調和型施設として背後に藻場マウンドを造成 した。	新設の防波堤建設予定地が未利用の場所であり、漁港の近傍に漁場が 望まれていたことから、自然調和型施設として背後に藻場マウンドを 造成した。	漁港の拡張整備 し、ハタハタの ていた沖防波堤 した。
(2)施工、構造形式 の概要	 ・H7~H10にかけて施工。 ・藻場マウンドはH7区が10×40m、天端水深-1.0m、H9区が23×65m、天端水深-1.0m。 	・H11~H16 にかけて施工。 ・藻場マウンドは 100 m×10m、天端水深-4m。	 ・H18~H23 に ・藻場マウンド 沖防波堤背後
(3)設計時に配慮 した事項	 ・藻場マウンドは、ウニ類の育成場・餌料藻場として、自然石を用いる。 ・事前調査結果から、海藻の現存量が多く、ウニ類の生殖巣指数が高い水深・2~・3m に着生基質を設置する。砂による埋没を考慮して海底面からは1m程度嵩上げする。 ・着生基質は、コンブの着生およびウニの付着面が、広くなるように大割石(0.3~1.0 t)が使用する。 	 ・藻場マウンドは、アワビ・ウニ類の育成場・餌料藻場として、防波 堤の背後に小段を造成する。 ・事前調査から、生息密度・生殖巣指数が高い水深・4m以浅に着生基 質を設置する。 ・着生基質は、海藻の着生促進効果を期待して、「被覆ブロック+海藻 付着機能素材」と「鋼製枠+自然石」が使用する。 	 ・藻場の構成種 たガラモ場と ・ガラモ場の生 海藻の水深帯 ・沖防波堤の建 入の可能性が
(4)対象種 (5)事前調査の主 な結果	 ミツイシコンブ、エゾバフンウニ、エゾアワビ ・ウニ類は着生基質が安定する水深 3m 以浅で、生殖巣指数の高い個 体が生息する。また、波の作用を強く受けない異形ブロックの下層 部や被覆ブロックと岩盤の隙間や安定した転石の問に生息する。 	ホソメコンブ、ウニ類、エゾアワビ ・水深 4m 以浅はホソメコンブの着生量が多く、エゾバフンウニの生 殖巣指数が高くなる傾向が窺えた。	アカモク、ヨレ ・ハタハタが産 ヨレモクが水 ・また、稚魚の である。
(6) モニタリング (7) モニタリング の主な結果	 H11 • H7 区の設置4年目では、ミツイシコンブの現存量が1,100g/m²、前年(592g/m²)より増加。エゾバフンウニは平均20.7個/m²、前年(333個/m²)より減少。 • H9 区の設置2年後では、ミツイシコンブの現存量が339g/m²、前年(6,821g/m²)より減少。エゾバフンウニは14.6個/m²と前年(11.5個/m²)より増加。 • 両区ともキタムラサキウニの生息密度は1個/m²以下。 	 H11~H16、H18(別の調査業務) ・造成当初はホソメコンブの生育が確認されたが、2年後から大型海藻の分布が認められなくなった。 ・ホソメコンブの生育は、新しい基質や比較的水深の浅い場所に多く分布する傾向がみられたが、H16にはいずれの地点でも確認されなくなった。 ・ウニ類は水深の深い箇所に多く分布していたが、H12以降は、水深3.0m以浅に多く分布するようにり、防波堤の延伸に伴い生息分布範囲が拡大した。 	 H18~H23 ・アカモク、ヨ 中心として藻 ・藻場の拡大に の魚類が出現 季節的な来遊 ・ハタハタの卵 ・母藻投入前に ンダワラ類の
(8)評価 (磯焼けの有無)	 ● ・防波堤は透過堤であり、ミツイシコンブの生育に好適な海水流動が得られている。また、エゾバフンウニが比較的多く出現しているが、 キタムラサキウニに比べて食圧が低いことも藻場が持続する要因と 考えられる。 	×(磯焼け) ・工事の進捗に伴い、当初はホソメコンブが確認されたが、2-3 年経 過すると分布が認められなくなった。 ・ホソメコンブの減少は、ウニ類の分布域の拡大による食圧増大の影 響と考えられる。	 ・海藻プレート おいて、藻場 ・必要に応じて ・藻場マウンド ナコが生息し れ、当初の目

③金浦漁港

指に伴う埋立等により、海岸線付近の良好な藻場が減少 D産卵・育成場所への影響が懸念されたため、計画され 是を自然調和型施設として、背後に藻場マウンドを造成

こかけて施工。

- ドは 40m×330m、天端水深・2~-9m。
- 後に藻場マウンドを造成。基質は被覆ブロック。
- はハタハタの産卵や貝類等生息場所、稚魚生育に適し さする。
- E育可能な水深帯及びハタハタの産卵水深を考慮して、 時に応じた小段を設ける。
- 設予定地が天然藻場から 100m 以上離れており新規加 が低いと予想され、母藻投入が実施する。

~モク、マメタワラ、ハタハタ

- €卵する海藻種の分布水深は、アカモクが水深 2~3m、 <深 3~6m、マメタワラが水深 6~9m である。
-)成育、成魚の生育場所としては、水深 4m 以深が良好
- レモク、マメタワラともに、母藻投入を行った場所を 真場が拡大した。
- ご伴い、アワビ、サザエ等の磯根資源が増加し、34 種 乱し、メバル稚魚やマアジ幼魚が蝟集。幼稚魚を中心に 差を確認された。

P塊が確認された。

には、被覆ブロックのカキ類やフジツボを除去するとホ つ着生に効果あることを確認した。

0

の移植やスポアバックによる母藻投入で、H23 時点に マウンド面積の 34%(444 ㎡)まで藻場が拡大した。 ウニ類の密度管理、カキやフジツボの除去されてきた。 ド上には、エゾアワビ、サザエ、イワガキ、ウニ類、マ 、H23 冬季調査ではハタハタの産卵(卵塊)も確認さ 的を概ね達成している。



表 2-1(2) 報告書を借用した漁港の概要

	④家島漁港	⑤浜田漁港	
(1)事業の概要	防波堤新設・改修工事によって消滅する藻場を復元するため、前面に	周辺海岸が県立自然公園であることから、漁港の北防波堤及び北護岸	係船岸や用地の
	藻場マウンドを造成した。	の整備にあたっては、防波堤・護岸の天端高を低くするとともに、潜	付加した。
		堤を親水機能、磯根資源との共生を図る構造とした。	
(2)施工、構造形式	・H14~H16にかけて施工。	・H8~H16にかけて施工。	・H19 -H23 に
の概要	・藻場マウンドは、330×20.2m、天端水深-4.0m。	・潜堤付き幅広捨石マウンド部(藻場マウンド)は、480×130m、天	・藻場マウント
		端水深-3~-22m。	を設けた構造
			・被覆ブロック
(3)設計時におけ	・周辺のホンダワラ類の被度の高い水深帯に、マウンド天端高を	・消波ブロックには、海藻の着生とアワビ、サザエの住み場となる溝	・整備予定地の
る配慮事項	D.L4m に設定された。	を設ける構造とし、海藻の着生・生長を促す特殊な基盤も設置する。	分的に藻場の
	・藻場の復元面積は消滅面積と同等面積(約 6,670 m)とされた。		・周辺で確認さ
	・着生基質は、自然に近い環境を創出するため、1.0 トン内外の石材		・投石はウニ類
	を均さずに設置された。		ニが生息しに
	・防波堤周辺にはガラモ場が形成され、タネの供給が期待できること		
	から、母藻投入等を行わないこととした。		
(4)対象種	ホンダワラ類	クロメ、アワビ、サザエ等	ヤツマタモク、
(5)事前調査の主	・島の沿岸部にはガラモ場が形成されている。	・クロメの被度は、コンクリート構造物よりも、岩盤・転石の方が被	·建設予定海域
な結果	・水深帯は、概ね M.W. L. +0.95m~D.L. ⁻ 5m。	度は高かった。コンクリート構造物の中では、鉛直部分よりも根固	モ場が確認さ
	・海藻の種類は、ホンダワラ、カジメ、ウミウチワ、マクサ等である。	め等の水平部分の方が被度は高い。	されていない
	・海水流動は(波当たり、流れ)は、島のほぼ全域に海藻が繁茂して	・水深が深くなるとクロメの被度は減少し、20m 以深では非常に少な	要と思われる
	いることから影響は少ないと思われる。	くなる。ただし、波当たりが強い場所では、漸深帯付近よりもやや	
		水深の深い場所の方が被度は高い。	
(6)モニタリング	H14~H16	H9~H13,H17	H23~H25
(7)モニタリング	・H16モニタリングまでに藻場マウンドの約 93%まで、藻場が復元さ	・消波ブロック設置後、約1年半はウミウチワを中心とした小型海藻	・小段への海濱
の主な結果	れた。	群落を形成し、約3年後にはウミウチワ、ウスカワカニノテ等の小	コナフキモク
	・食害動物のウニがわずかに出現しているが、影響はみられていない。	型海藻が優占した。しかし、5 年後からほぼ全域でクロメを中心と	ック上に設置
		する藻場が確認され、9年後は安定したクロメ場が形成された。	心とするガラ
		・アワビ、サザエも天然と同等に確認された。	られた。
			・近傍からのヒ
			 ・設置後約3⁴
			く減少したこ
(8)評価	Δ	0	
(磯焼けの有無)	・藻場マウンドの施工後の藻場復元面積は、H14 (10%)、H15(40%)、	・経年的に小型海藻から大型海藻へ遷移し、およそ9年で天然藻場と	・周辺に健全な
	H16 (約 93%)と順調に推移した。	同様の極相状態にあるクロメ場が形成された。	ったが、火山
	・H16時点で大型多年生のカジメも加入し、マウンド全域に広がって		チ状に海藻カ
	いることから、藻場マウンドは順調に海藻が繁茂しているが、ホン		
	ダワラ類は点生から疎生の状態である。		

⑥海潟漁港

の不足解消のための拡張工事に伴い、護岸に藻場機能を

こかけて施工。

ドは、水深 0.3~3.0m に幅最大 10m の小段と緩傾斜部 告。

いに母藻プレートによる人工種苗を取り付けた。

D海底勾配が急であるため藻場マウンドを造成せず、部 D形成を期待する小段を設ける。

された海藻種から小段の水深帯を 0.3~3.0m とする。 頁が棲息しやすく食害を引き起こす恐れがあるため、ウ こくい被覆ブロックを使用する。

マメタワラ

成の新城地区周辺ではマメタワラとヤツマタモクのガラ されていた。ただし、漁港周辺ではホンダワラ類が確認 いため、タネ不足が懸念され、母藻投入や種苗投入が必 る。

藻のタネ不足が懸念され、ヤツマタモク、マメタワラ、 クを着生させた母藻プレートを H23 年 1 月に被覆ブロ 置した。翌年の5月にはヤツマタモクやマメタワラを中 ラモ場が確認され、海藻プレートから拡大する箇所もみ

ヒジキ・ウミトラノオの着生が確認された。 年目(H25 年 2 月)には、5 月調査時に比べて 80%近 ことが確認された。

Δ

な藻場がないため、人工種苗を取り付け藻場の創出を図 山灰による沈降堆積物や植食性魚類の食害により、パッ が点生で分布する状況にある。



2. 4 現地調査

自然調和型漁港づくり事業の中で文献等により紹介されていた 5 漁港(図 2-17)について、現地調査(図 2-18 参照)を実施し、現在の状況を把握した。





表 2-2 現地調査の概要

					:	表2-3 現地調査結果総括表									
	漁港名称	江良漁港		富来漁港		丸山漁港		泊ヶ内漁港		有喜漁港					
施	藻場造成機能付き 施設の構造形式	背後小段傾斜堤		潜堤付き幅広捨て石マウンド消波	堤防	前面消波工被覆防波堤ほか		潜堤付き幅広捨て石マウンド消滅	8堤防	前面小段付き消波工被覆防波均	 是				
設	施工完了年度	平成8年度		平成13年度				平成12年度		平成10年度					
の	対象藻場	コンブ場 ホソメコンブ) 19 ー		コンブ場		ガラモ場		ガラモ場	-	ガラモ場		クロメ場+ガラモ場			
概	対象海藻			ホンダワラ類		ホンダワラ類、ワカメ		クロメ、ホンダワラ類		ホンダワラ類					
要	施工経過年数(年)			14		16		15		17					
	造成面積(m)			14, /00m		8, 400 m		4, 600m		9,000m					
	水深帯(m)	0~6				0~10				0~10					
+sis	海澡の繁茂状況 (平均被度)	 被度階級1(極く点生) (5%未満) L.W.L±0.0mの消波ブロック上にエゾネジモクが被度 階級 Ⅱ 1:無節サンゴ藻類 2:イソガワラ科 2:パピリビバ 										被度階級4 (密生) (59%)			
破能評価	※被度階級は「磯焼 け対策ガイドライン」 (H27)p115を参照			局所的にイワガキの被度が高い(15~30%): 藻の被度が下がる(被度階級3(疎生)~2(点	~30%)場所は海)~2(点生))。										
1曲	出現優占種 (上位3位まで)			1:/コギリモク 1: 2:ヨレモク 2 3:クロメ 3		1:ワカメ 2:タマハハキモク 3:シダモク		1:クロメ 2:ノコギリモク 3:アカモク		1:ワカメ 2:アカモク 3:ノコギリモク					
阻	ウニ	キタムラサキウニ:平均7.9個体/㎡、最大29個 体/㎡ 測線外だが、キタムラサキウニが70個/㎡以上 の高密度博あり	0	ムラサキウニ:平均2.7個体/㎡、最大15個体/ ㎡	×	ムラサキウニ:平均0.2個体/㎡,最大1個体/㎡	×	マウンドではササゴ:平均0.3個体/㎡、最大1 個体/㎡、天然礁ではムラサキウニ:平均0.4個 体/㎡、最大4個体/㎡	×	ムラサキウニ:平均1.7個体/㎡、最大9個体/ ㎡、ガンガゼ属:平均1.1個体/㎡、最大13個 /㎡	×				
害要因	植食性小型巻貝等	<u>コシダカカンカラ:</u> 平均5.5個体/㎡、最大13個 体/㎡	0	コシダカガンガラ:平均1.6個体/㎡、ウラウズガイ: 平均4.0個体/㎡、サザエ:平均0.3個体/㎡	×	アメフラシ:平均0.3個体/㎡、最大1個体/㎡、 クロヘリアメフラシ:平均0.1個体/㎡、最大1個体 /㎡	×	サザエ∶平均0.3個体/㎡	×	ウラウズガイ:平均0.3個体/㎡、最大2個体/ ㎡、サザェ:平均0.1個体/㎡、最大1個体/㎡	×				
(〇 有	植食性魚類	北海道には分布しない	_	観察中に確認していない	_	観察中に確認していない	_	観察中に確認していない	_	水深7mの場所にメジナが20群体以下で 確認 ※メジナは雑食性で、岩の表面に生える 小型の藻類が好むので海藻の幼芽が摂 餌される可能性がある。	Δ				
× 無	付着生物 (競合動物)	特に顕著な個所はみられない	×	局所的にイワガキの被度が高い(15~ 30%)場所は、海藻の被度が下がる(被度 階級3(疎生)~2(点生))	0	特に顕著な個所はみられない	×	特に顕著な個所はみられない		特に顕著な個所はみられない	×				
一対象外	浮泥の堆積	特に顕著な個所はみられない	×	特に顕著な個所はみられない	×	特に顕著な個所はみられない	×	特に顕著な個所はみられない	×	特に顕著な個所はみられない	×				
	海藻のタネ不足	近傍は磯焼け状態であるため、タネの供 給は少ないと思われる	Δ	周辺に健全な藻場が見られるのでタネ不 足は考えにくい	×	周辺に藻場マウンド部と同じ海藻種が優 占していることからタネ不足は考えにくい	×	周辺に藻場マウンド部と同じ海藻種が優 占していることからタネ不足は考えにくい	×	ホンダワラ類はタネが遠くに飛ばないこと から、流れ藻が来ない限り供給量はあまり 期待できない	Δ				
近	傍の藻場の状況	磯焼け		ガラモ場		ガラモ場		クロメ場		ワカメ、ガラモ場					
近傍の澡 場の 状況															
写 真 上段:施設全体 下段:藻場マウン ド部の代表的な状 況															




大型底生動物の生息状況
 ・植食動物は、キタムラサキウニ、コシダカガンガラ、カサガイ類などの個体が目立つ。
 ・キタムラサキウニの生息密度は、人工構造物上では5~10個体/m²、天然岩礁では20~40個体/m²と多い。
 ・水産有用種のエゾアワビが多く生息し、漁場として利用されている。

						測 線 調査其	名:消 月日:ゴ	則線1(清 平成274	江良漁 年9月1	港) 日
見察枠数		1	2	3	4	5	6	7	8	9
プレート番号		1	2	3	4	5	6	7	8	9
甚点からの距離	(m)	0.0	0.8	3.0	6.0	11.0	16.0	18.0	20.0	20.
と 深い 深い 深い こうちょう ほうしょう しょうしょう ほうしょう しょうしょう ほうしょう しょうしょう ひょうしょう 深い ひょうしょう ひょうしょう ひょうしょう ひょうしょう ひょうしょう ほうひょう 深い いっぽう ひょうしょう ひょうしょう ひょうしょう ひょうしょう ひょうしょう ひょうしょう ひょうしょう ひょうしょう ひょうしょう ひょう ひょうしょう ひょう ひょう ひょう ひょう ひょう ひょう ひょう ひょう ひょう ひ	(m)	0.0	0.5	2.0	3.6	3.5	3.8	5.0	5.8	6.8
大型褐藻類	[エゾ [*] ノネシ [*] モク	5								
毎	と [。] リヒハ [*]	25								
藥	アカハ	10								
・その他	イトグサ属	r								
草	イソガワラ科	5	15	r	r		r	r		
領	サンゴモ科(無節サンゴモ類)	30	25	25	10	10	60	60	10	r
	ソゾ属		r							
	イソギンチャク目	r								
付着動物	ムラサキインコカ゛イ	r								
	ウズマキゴカイ科								20	
	エゾ゛アワヒ゛	(rr)					(rr)			
	キタムラサキウニ※	(c)	(rr)	(r)	(rr)	(rr)	(rr)	(r)	(rr)	(r
	コシタ゛カカ゛ンカ゛ラ	(rr)	(rr)	(+)	(r)	(r)	(rr)	(r)	(rr)	(rı
	ユキノカサカ゛イ科		(cc)	(cc)	(+)	(rr)	(rr)			
十刑亡仕動物	イトマキヒトデ		(rr)	(rr)		(rr)		(rr)		
人至成主動初	原始腹足目※		(c)	(+)	(c)	(c)	(cc)	(r)	(rr)	
	ユキノカサカ゛イ		(r)	(+)	(rr)	(r)	(+)	(+)	(+)	
	レイシカ゛イ		(rr)			(rr)			(rr)	
	ミミカゴイ科						(rr)			
	エゾ゛サンショウ							(c)	(rr)	
A 昭	トラフク [*] 属			(rr)	(rr)			(rr)		
思現	リュウク゛ウハセ゛									(r

 2) 観察対象とする生物は海藻、付着動物、大型底生動物および魚類とした。
 3) 観察間隔は基質の変化点および植生が大きく変化する点とし、魚類以外の生物については 代表箇所の1m^{*}あたりの被度および概数を観察した。 大型褐藻類については、枠外に出現した場合には概観被度を観察結果に加えた。

また、魚類は代表箇所周辺半径2mの円内における種別概数を計数した。 4) 表中の数値は被度を、() 内の文字は概数を示す。

なお、被度が5%未満である場合は、rと示した。 概数の区分は以下の通りである。

【概数区分】

rr:5個体以下、r:10個体以下、+:20個体以下、c:50個体以下、cc:50個体よりも多い

5) 目視観察でやれたアメヤシーとた中には、ムガやかが混在していると思われる。 6) 原始腹足目とした種類はヨメガカサガイなどと思わるるが、一般的な生息水深と異なり、

漸深帯にも多数確認されたことから、目までの目視査定に止めた。

	目視観	察結果(自然調和型)	漁港	: 測	線2	2)]							
					1.31		•		測線	名:1	則線2(工良漁	港)
Arr -	611.30		1				-		調査其	月日: >	平成27:	年9月1	日
観察	<u>条件数</u>		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
71	<u>/一ト番号</u>		10		12	13	14	15	16	17	18	19	20
墨瓜	えからの距離((m)	0.0	0.8	3.0	6.0	8.5	11.0	13.5	16.0	17.6	19.2	19.5
水	() 一下に日本が	(m)	0.0	0.5	2.0	3.1	3.2	3.3	3.2	4.0	5.0	6.0	7.1
	大型褐澡類	エリ・ノネシ・モク	10	<u> </u>							<u> </u>		
			50										
		117 サ属	10	ļ					ļ		ļ		
~		ミル属	r										
海		<u></u>	r										
藻		ヤハス、シコロ	r						L		L		
:	その他	エリ* シコロ	r	ļ					ļ		ļ		
草	C */ 18	アカハ	r			l	l		L			L	
類		ワツナギソウ属	r	I			I		I		L		
		ハイウスバノリ属	r										
		イソガワラ科	r	r	r		r	r	r	r	r		
		サンゴモ科(無節サンゴモ類)	5	10	25	5	10	15	5	10	10	20	
		ソゾ属		1						r			
		イソギンチャク目	5										
	山羊毛山	ムラサキインコカ゛イ	10						-				
	刊有動物	オオヘヒ゛カ゛イ							r		r		
		海鞘亜綱(群体性)		l	1		1		1		l		
		エリ゛ハ゛フンウニ	(rr)										
		イトマキヒトデ	(rr)		(rr)	(rr)	(rr)	(rr)	(rr)	(rr)			
		エゾ゛アワヒ゛	(rr)						(rr)	(rr)			
		ユキノカサカ゛イ科	(rr)	(c)	(c)	(r)	(+)	(+)	(rr)	(rr)	(rr)		
		コシタ゛カカ゛ンカ゛ラ	(rr)	(rr)	(r)	(r)	(+)	(+)	(rr)	(r)	(rr)		
	正にたたました	キタムラサキウニジン	(+)	(rr)	(rr)	(rr)	(rr)	(r)	(+)	(+)	(+)	(r)	
	望底生動物	ユキノカサカ゛イ	(rr)	(rr)	(+)	(rr)	(+)	(r)	(rr)	(rr)	(+)	(rr)	
		原始腹足目※		(r)	(r)	(+)	(+)	(c)	(+)	(r)	(+)	(rr)	
		イホ゛ニシ				(r	(rr)				<u> </u>		
1		エリ゛サンショウ					(rr)	(c)	(c)	(r)	(cc)	(rr)	
		V イシカ [*] イ		1					1		(rr)		
		ミカ イ科		·							<u> </u>		
-		The second se											

7171

魚類

トラフク 属

リュウク゛ウハセ

【目視観察結果(天



天然の調査場所

(rr)

(rr)



天然:測線3)]					
	-	測 線	名:涯	則線3()	江良漁	港)
		調査期	月日: 马	<u> 产成274</u>	<u> 年9月1</u>	日 日
	1	2	3	4	5	6
	1	2	3	4	5	6
	0.0	2.0	3.0	5.0	20.0	25.0
	0.0	1.0	2.0	4.0	5.0	5.8
	r					
	5					
	25	15				
	r					
	r					
	70	50				
	r	r				
jサンゴモ類)	5	35	60	15	50	25
		r				
			r			
	5	5				
	5	r				
体性)		r				
				r	r	r
						r
	(r)	(rr)	(rr)			
	(rr)	(rr)			(rr)	
	(rr)	(+)	(r)	(r)	(rr)	(+)
	(rr)	(c)	(c)	(+)	(+)	(r)
	<u> </u>	(rr)	_ <u>``</u>			<u>`</u>
		(rr)	(rr)			
		(c)	(cc)	(rr)		
.		(r)	(rr)	(rr)	(rr)	
`··· ··· ·· ·· ·· ·· ·· ·· ·· ·· ·· ·· ·		\ <u>+</u> /	(rr)	(rr)	(rr)	
		<u> </u>		(c)	(cc)	(+)
			(rr)		((()))	
					(rr)	
					1 (エエノ /	1



【目視観察結果(自然調和型漁港:測線1)】

												調査其	月日:3	平成27:	面示[] 年 <u>5月</u> 2	8日
観察	枠数	数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
プレ	-	卜番号	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3			2	1
<u> </u> <u> </u>	かり	らの距離(m)	+1.3	0.0	2.6	5.2	10.4	30.0	35.0	40.0	44.0	48.0	61.9	62.0	63.1	67.
水		深(m)	-1.0	0.0	2.0	4.0	7.8	8.0	8.8	8.0	6.0	3.8	4.0	5.0	4.5	6.0
		<u>U</u> <u></u>	5	10	10									ļ	Ļ	ļ
	大	1947		90	r									ļ	ļ	
	型	アカモク		r			ļ	ļ	ļ		ļ			ļ	ļ	ļ
	褐	703		r	10	10	r	r	r	r	r	r	ļ	r	r	r
	藻	ヤナキ モク		[r	r	r			r	5	r				
	類	3/1/			50	10	40	20	20	50	80	80	5	r	r	
		/J7 ///		ļ	5	50	20	50	50	20	10	10	5	90	90	60
-		<u>ルング リフ</u> L° 11 L L *	70	-			10	10	10	10	-			-	-	-
		C / C/					ŀ	<u> </u>								
		AN7 79	D													
		<u> イハス ク サ</u> フカルレマンン [*]	r													
		<u>/////////////////////////////////////</u>	r													
		2.1マケ店	r	l			·									
		<u>ハルノ ノリ个字</u> オキツノII	r													
		<u>4 1 / / / / / / / / / / / / / / / / / / </u>	r						·							
		77)7.79	r				·									
海		ユ) フル [×] ラカ	1													
藻		77.77.	25	r												
		74/7/周	1	1			·	· · · · ·								
	z	<u>/ イリ/周</u> ++b、カ、+	r	r												
	D	リノク ノ リ シナカ [*] 井 尾	1	1 1											l	
	41	/4/ 9/周 /た*マ毛	1	1 1	1 1	1	1	1	1	1	1 1					<u> </u>
	105	11 ハイイ サリュッエ利 (毎 (空 サリュッエ)(五)	1	50	80	60	10	10	10	20	50	40	50	50	50	50
		リノコ モイギ (三、目)リノコ モス()	r	25	00	5	10	10	10	20	10	40 r	10	30	30	20
		ソハルフルーフリ ノロノカロ(利)	r	5	5	10	10	10	10	10	10	5	10	20	20	10
		<u>インフルフルF</u> イトカ [*] 井尾	r	r	r	10 r	30	20	20	10 r	10 r	r	10 r	1 <u>20</u>	- <u>20</u>	r 10
		-11/2 27両 テソカドサ利	r	·· · ·	r	r	- 50	- 20	- 20	r	r		·	r	r	r
		<u>/ / / / / / / / / / / / / / / / / / / </u>	r	<u> </u>		1		<u> </u>	<u> </u>	÷	<u> </u>		r	r	r	r
		7°55° 5° #		r												
		/ <u>、 / / / / / / / / / / / / / / / / / /</u>		r				<u> </u>								·····
		ヘリトリカニノテ属		r	5	5	10	10	10	r	r	r	r	r	r	
		シリヤハス			r			<u> </u>	1.0	- <u>-</u>						
		シマオオキ [*]	1000		r					5	r				1	1
		770/1		1	r	r			1	r	5	5	r	r	r	r
		海鞘亜綱(群体性)	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r			
		尋常海綿綱	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r
1년 		海鞘亜綱(単体性)	r	r	r	r			1	r	r	r	r	r	r	r
有利	ſ	苔虫綱		r										1		1
則	,	イワカ [、] キ		1	r				1	r	r	50	10	5	5	r
42		オオヘヒ゛カ゛イ			-		r	r	1		r					
		キクサ゛ルカ゛イ科							r							
+	亡	ウラウス゛カ゛イ	(rr)	(rr)	(rr)		(rr)	(rr)	(rr)	(rr)	(rr)	(rr)	(+)	(r)	(r)	(rr)
八)	化化	ムラサキウニ				(rr)	(rr)	(rr)	(rr)	(rr)			(+)	(+)		
1	土. 新	コシタ゛カカ゛ンカ゛ラ				(rr)					(rr)	(rr)	(rr)	(rr)		
モロノ	野川 ∯m	2773			[(rr)			(rr)					
æ,	121	##° x							(rr)	(rr)						
		ホシササノハヘ゛ラ										(rr)		(rr)	(rr)	(rr)
Æ		キュウセン										(rr)			(rr)	(rr)
忠称	i	ホンヘ゛ラ											(+)	(rr)	(rr)	(rr)
炒	¢	メハ゛ル														(r)
		79°1														(rr)
備考	1)	水深の基準は最低水面とし、換	算には網	場(平	之成27年	F潮汐	表.海」	-保安月	宁) の	惟算潮	位を用	いた。				
	2)	観察対象とする生物は海藻、付	着動物、	大型的	医生動物	勿およう	び魚類	とした	0							
									-							
	3)	観察間隔け基質の変化占お上び	植生が大	・きく辺	「化すう	ち点と	1. 鱼	暂以外	の生物	につい	いてけん	(一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一	Fhrの1 r	n゚゚゚゚゚ゕた	りの	

大型褐藻類については、枠外に出現した場合には概観被度を観察結果にかまた、魚類は代表箇所周辺半径2mの円内における種別概数を計数した。

 4)表中の数値は被度を、()内の文字は概数を示す。なお、被度が5%未満である場合は、rと示した。
 概数の区分は以下の通りである。
 【概数区公】

【概数区分】

rr:5個体以下、r:10個体以下、+:20個体以下、c:50個体以下、cc:50個体よりも多い

【目視観察結果(自然調和型漁港:測線2)】

測線名:測線2(富来漁港)

				調査其	月日:三	平成27	年5月2	8日
観察	《 枠∛	敗	1	2	3	4	5	6
プレ	/	卜番号		16	15	14	13	
基点	えかり	らの距離(m)	0.0	15.0	47	60	71	72.5
水		深(m)	0.0	7.8	4.0	3.9	8.0	9.0
		アカモク	r			r		
		イソモク	10			r	r	<u> </u>
	大	ワカメ	10	r	5	5	10	10
	型	ノコキ゛リモク	r	40	r	r	r	25
	褐	20×	r	25	r		r	5
	藻	ヨレモク	r	5	5	r	r	5
	類	ホンタ゛ワラ		r				ļ
		ヤツマタモク		r				l
		ヤナキ゛モク		5		5		
		7オノリ属	r					
		7オサ属	r	L				
		アミシ゛ク゛サ	r					
海		サナタ゛ク゛サ	r					
藻		ムカテ゛ノリ	r	L				I
		フタ゛ラク	r					L
		ケウルシク゛サ	r	5	10	r		I
	そ	サンゴモ科(無節サンゴモ類)	50	60	40	40	40	50
	の	ヘリトリカニノテ属	5	5	5	r	5	r
	他	イワノカワ科	5	5	r	r	r	20
		ウスカワカニノテ	25	r	r	r	r	r
		シオグサ属	r	r	r	r	r	r
		テンク゛サ科	r	r	r	r	r	r
		作"双科	r	r	r	r	r	r
		イトグサ属	r	r	r	r	r	r
		フクロノリ		r	80	60	60	40
		ムカデノリ科		r	r	r	r	r
		尋常海綿綱	r	r	r	r	r	r
		苔虫綱	r	r	r	r	r	r
ŀ	+	海鞘亜綱(群体性)	r	r	r		r	r
1	с С	海鞘亜綱(単体性)	r	r	r	r	r	r
1 1 1	∃ %-	アカフシ゛ツホ゛		r				I
男	9J Em	イワカ・キ		20	15	15	15	30
1:	0	ヒドロ虫綱		r	r	r	r	r
		オオヘヒ゛カ゛イ		r	r	r	5	5
		サンカクフシ゛ツホ゛		r	r	r	r	r
÷	庀	コシタ゛カカ゛ンカ゛ラ	(rr)	(r)	(rr)	(rr)	(rr)	(rr)
Л	広仕	ウラウス゛カ゛イ	(rr)	(r)	(rr)	(r)	(r)	(rr)
	工	++ * x		(rr)	(rr)	(rr)	(rr)	
刑	助	ムラサキウニ			(rr)	(r)	(rr)	(rr)
Ŧ	-120	キ゛ンタカハマカ゛イ				(rr)	(rr)	
		カサコ゛		(rr)			(rr)	l
魚	Ŕ	ホシササノハヘ゛ラ					(rr)	
米大	頁	ホンヘッテ					(rr)	(rr)
		スズッメダッイ						(c)

観察枠数 プレート番号 基点からの距離(n 深(カモク ワカメ ヤナギ・モク ツルモ フシスシ゛モク ヘ<u>ラヤハス</u>゛ ムカテ゛ノリ ムカデ ' リリ 上 ' リヒハ' ブオ ' リ底ハ' ブオ ' リ属 ブオサ属 とオンプ * 年科 (無節サンコ*モ類) ウ (カスカカニノテ セ、リトリカニノテ属 イキ*ス科 イトプ * 尾属 シワヤハス* フカノリ イワノカワ科 <u>イワノカワ科</u> サンコ[°]モ属 尋常海綿綱 サンカクフジツボ 苔虫綱 付着動物 <u>海鞘亜綱(群体性)</u> 海<u>鞘亜綱(単体性)</u> カンサ^{*}シゴ カイ科 _ <u>ヒト゛ロ 虫 綱</u> オオヘヒ゛カ゛イ <u>キクサ゛ルカ゛イ科</u> イワカ゛キ ₩´エ____ 大底 ヮウス゛カ゛イ 生動型物 コシタ゛カカ゛ンカ゛ラ 173 魚 類 ミタナゴ ヾ゙ル

天然藻場の調査場所



【目視観察結果(天然藻場:測線3)】

測線名:測線3(富来漁港) 調本期日,亚成27年5月28日									
1	则且为	3	4	5	6	7			
1	2	3	г		4	5			
0 0	5.0	10.0	14.0	15.0	40.0	65.0			
0.0	2.0	10.0	18	53	6.0	8.0			
r. 0	2.0	1. 0	1.0	0.0	0.0	0.0			
70	5								
10	5								
10 r	10				r				
·	- 10 r	r							
	70	30			5	r			
	r	5			50	80			
		r			<u> </u>				
		20			r				
 		40			5	r			
 		- <u>*</u> *	40		- Ŭ				
			r		r				
5			-		-				
 r									
 40	30								
 r	r								
r	r								
 r	r								
 10	5	10	50		40	40			
 10	r	r	r		r	r			
 r	20	20	r		30	10			
5	r	r	r		r	r			
r	r	r	r		r	r			
	r								
	5	r	r		5				
	20	r	r		15	10			
	<u> </u>	r	r		r	r			
r	r	r	r		r	r			
 r	r	r	r		r	r			
r	r	r	r		r	r			
 r	r	r	r		r	r			
r	r	r	r		r	r			
 r	r	r	<u></u>		r	r			
 ·	r	r	r		r	r			
 	r	r	r		- <u>+</u>	r			
 		r	r		r	r			
 		r	÷		r	r			
	(rr)	-			-	-			
	(rr)	(rr)	(rr)		(rr)	(rr)			
 	(rr)	(rr)	(rr)		(rr)	(rr)			
 	····· /	(rr)		(rr)					
 				·==/	(rr)				
		(rr)			(rr)				
					(rr)				
		and the second			(rr)	(rr)			
					/	/			



【目視観察結果(自然調和型漁港:測線1)】

測線名:測線1(丸山漁港) 観察枠数 プレート番号 基点からの距離(m) 5 15 25 30 32 0 2.5 深(m) 0.0 1.9 1.6 0.6 0.9 1.8 2.3 ダモク r 5 ホンダワラ属幼体(cf.シダモク) rlr <u>ンク サ</u> 10 r r r r r リマタ属 20 r 20 r 5 5 40 マサコ゜シハ r r r r 10 20 20 20 40 r r 25 r 30 r r r r 25 r 5 10 5 (ウスバノリ属 r 5 r r r 5 <u>ウスカワカニノラ</u> イキ[°]ス科 r r r r r 40 r s r r r r r r r r r r r r r r r r ゴモ科(無筋サンゴモ類) トク サ属 リカワ科 ケギサ屋 r r 叻゙シラ属 r r ルシク・サ r r r <u>____</u> カテ゜ノリ科 r r r r ·9° _7 ° + r r ° ŻŦ r r r アオサ属 r r r 5 r /」 15 r ズグサ r r r r r r オグサ属 フクロノリ r オショの科 r r <u>'ヤハス゛</u> カモト゛キ属 r オヘビ゛カ゛ィ r r 灰海綿綱 毎鞘亜綱(群体性) r r 5 r r r r 付着動 虫綱 r r r r r r #21/75 9# 海鞘亜綱(単体性) r r r r r r r 物 尋常海綿綱 r r r r r r r r r r r □虫綱 7.5 キ r カボガキ科 r r 大底 (rr) (rr) (rr) (rr) 動 型 物 (rr) ヘリアメフラシ マキヒトテ (+) (r) (+) (+) (rr) rr) (c) (rr) (+) (rr) (r) (r) (rr) 魚類 シササノハヘ、ラ (rr) スズ・メタ・イ (c)

【目視観察結果(自然調和型漁港:測線2)】

【目視観察結果(自然調和型漁港:測線3)】

測線名:測線3(丸山漁港)

調査期日:平成27年5月17日



観祭	枠3	 次	1	2	3	4	5
プレ	-	卜番号	20	19	18		17
基点	から	うの距離(m)	0	2.5	26	34	44
*	/v :	深(m)	0	1 7	2.3	2.8	3 2
L	L. 401	「木(III) 「カメ	20	r 1.1	15	60	60
Ľ	く他」	2/B* I.h	20	<u> </u>	10		
저	包類	h = J	and the second second				
F		フロト	-	-	-		r
		2T// /					
		/4/9周	<u>r</u>				
		773 2/1	15	r			
		ツ/マタ属	r	r			
		<u> </u>	r	r			
		<u> </u>	r	r	r		
		サンコ~モ科	r	r	r		
		70/カワ科	r	r	r		
		マクサ	40	20	20	60	60
		ツノムカテ゛	20	60	50	15	15
		コサベネモ	5	r	5	r	r
		2 カ リ	10	r	r	10	10
1		ハイウスバノリ属	r	10	10	r	r
<u>ن</u> ھر		フシツナキ	r	r	5	5	5
御	7	カイノリ	r	r	r	5	5
濼	t	7ミシ゚ク゚サ属	r	r	r	r	r
	0	ウスカワカニノテ	r	r	r	r	r
	他	/ギス科	r	r	r	r	r
		/\//***尾	r	r	r	r	r
		117 7/149 E°11En*	r	r		r	r
		τ, ² / 1	1			1	- 1
		//: / / シナカ [®] 井尾					
		フルフ リ/両 コル* 5 h				- <u>1</u>	- 1
		27 17 Set 11		<u> </u>			
		24279 Laborra (1)			ſ	<u>r</u>	<u> </u>
		<u>777827</u>			r		
		<u>クロカ ンフ)禹</u>			r	r	r
		4刀丁 /リ科			r	r	r
		7才サ属				r	<u>r</u>
		<u>シオミト ロ科</u>				r	r
		ヤハス・ク・サ				r	r
		770/1				r	r
		イソハキ:				r	r
		苔虫綱	r	r	r	r	r
		サンカクフシ゛ツホ゛	r	r	r	r	r
付		海鞘亜綱(群体性)	r	r	r	r	r
着		海鞘亜綱(単体性)	r	r	r	r	r
動		尋常海綿綱			r	r	r
物		th゙u虫綱			r	r	r
		オオヘヒ゛カ゛イ			r		
		イタホ゛カ゛キ科				r	r
大島	ξ.	アメフラシ	(rr)	(rr)			
4	E 6	7173	(11)	(11)	(rr)		
剪型的	io Io	トメトトテ* 尾			(11)		(rr
		し/し //////////////////////////////////	(r)	-			(II
		40 / 1 n ² h	(1)	(()	()	(-
4-		2/1 W +1/2 * 5	(+)	(rr)	(cc)	(cc)	
魚		h20 7	(rr)	(rr)	(rr)	(r)	(r)
頬		キュワセン	(rr)	(rr)	(rr)	(rr)	(rr
		<u> </u>		(c)			
		スス゛メタ゛イ		(r)	(rr)		

天然藻場の調査場所



備考1)水深の基準は最低水面とし、換算には網場(平成27年潮汐表.海上保安庁)の推算潮位を用いた。 2) 観察対象とする生物は海藻、付着動物、大型底生動物および魚類とした。 3) 観察間隔は基質の変化点および植生が大きく変化する点とし、魚類以外の生物については

代表箇所の1㎡あたりの被度および概数を観察した 大型褐藻類については、枠外に出現した場合には概観被度を観察結果に加えた。 また、魚類は代表箇所周辺半径2mの円内における種別概数を計数した。

表中の数値は被度を、()内の文字は概数を示す。

なお、被度が5%未満である場合は、rと示した。 概数の区分は以下の通りである。

【概数区分】

rr:5個体以下、r:10個体以下、+:20個体以下、c:50個体以下、cc:50個体よりも多い

		測線名	: 測線	4(丸山	漁港)
ALC IN	> ⊥h 3	調査期日	:半成	27年5)	月17日
観务	~ 种3		1	2	3
ブレ		<u>卜 畨 号</u>	20	19	18
基点	いい	らの距離(m)	0	20	25
水		深(m)	0	2	3.8
	*	シタ・モク	30	40	
	型	ワカメ	50	10	60
	褐	タマハハキモク	r	5	20
	藻	ツルモ			r
	現	マメタリラ			r
		ツノマタ属	5		
		シオグサ属	r		
		78° 70	r		
		オキツノリ	r		
		79-33	r		
		フクサ	20	40	
		*7.9 マキュ * シル * 11	- 20	40	
		v 7 7 w 11 + = *		1	
		// A// /	r	r	
		<u>コザ </u>	r	r	
		ンキンノリ	20	10	30
		<u> サナタ・ク・サ</u>	15	r	r
		カイノリ	10		. 5
		ウスカワカニノテ	5	r	r
		t° リヒハ*	5	r	r
海		ユカリ	r	10	r
藻		フシツナキ゛	r	15	r
	そ	ヤハス゜ク゜サ	r	r	15
	\mathcal{O}	7才サ属	r	r	r
	伷	ウ ミウチリ	r	r	r
		ハイウスハ゜ノ川尾	r	r	r
		7末川尾	r	¹	r
		/ 4 / / / / / / / / / / / / / / / / / /	 		
		A// / / / / / / / / / / / / / / / / / /	<u> </u>		
		フレル シノル両		- 1	-
		1/1/1 1/1/1/1/1/1/1/1/1/1/1/1/1/1/1/1/1		- 5	5
		7/コ 七件 (無即7/コ 七親)		r	10
		モザス 千庽		r	r
		77		r	r
		ムカテ・ノリ科			r
		<u> イワノカワ科</u>			r
		シオミト´ u 科·			r
		シリヤハス			r
		アミジグサ属			r
		フトモス゛ク			r
		カコ゛メノリ			r
		ワツナキ ジウ			r
		尋常海綿綱	r	r	
		th『中虫綱	r	r	
f	†	苔中綱	r	r	
灌	Ē.	海齡而綱(群体性)	5	r	r
重	助	144-TF1 コニルデリ ヘタナドト コニノ ホッカカフシッション	2	1	1
牜	勿	7 / H / / J / D	r.	r	
				r	
1.001-0	10.004.01	() () () () () () () () () () () () () (r	r
大型岛	:王動物	77772	(rr)	(rr)	
亻	ě	×^* //	(rr)	(r)	(r)
· 米	"。 百	209° 1			(rr)
*	ж	キュウヤン			(rr)

【目視観察結果(天然藻場:測線4)】





【目視観察結果(自然調和型漁港:測線1)】



【目視観察結果(天然藻場:測線2)】



天然藻場の調査場所





V E	コኺጚ尔加不(炽	אפורני 🖌 א								測線	名:1	則線1(有喜漁	港)
細索封	h.*/~	1		0	4	-	6	7	0	調査其	月日: -	半成27	<u>年5月1</u>	<u>4日</u> 19
観祭作	午 <u>级</u> - 上 釆 巳	1	11	10	4	5	6	6	8	9	10		12	13
ブレー 基占力	- F 留 ち いらの距離(m)	-1 3	0.0	0.9	17 1	18 6	23.5	34.9	43 6	46 3	51.8	53 4	56 7	59.2
水水	深(m)	+1 0	0.0	0.7	2.5	3.5	4 4	5 4	6.5	6.7	7.3	8 4	10.6	10 9
	上ジ*キ	r	1			0.0		011	01.0	011			1010	1010
J	大 タマハハキモク	r		İ.	1	1	1							
珥	型 イソモク	r	r	r	r	r	·····					1	1	1
衬	掲 「Jカメ	r	r	40	r	10	r	r	20	r	r	1	1	1
著	棄 アカモク		1	r	15	r	r	25	r	r	r	r	1	1
类	領 シマウラモク				r			r						
	ノコキ゛リモク									5	10	5		
	と [。] リヒハ [*]	r		<u> </u>		[l	l	L	l
	コスシ゛フシツナキ゛	r	r	ļ										
	ソゾ属	r	r	r	L	l	L					L	L	L
	サンゴモ科(無節サンゴモ類)	20	25	30	40	30	50	10	10	10	30	20	20	20
	ウスカワカニノテ	40	50	10	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r
	704	r	r	30	r	r	ļ	r	5	r	r	ļ	r	r
	<u> イトク・サ属</u>	r	r	r	r	r		r	r	r	r	r_	r	r
	モザス 午底	r	r	r	r	r		r	r	r	r	r	r	r
	1キ 入料	r	r 10	r	r	r	0.0	r	r	r	r	r	r	r 10
海	ノクレノリ オキツノII		1 10	0	40	- 10	- 30	40	50	60	30	40	r	10
藻	41779 24 * いい		1	1								1	1	1
	<u>小り ノ いい</u> カモッケ / 川		1	1	1				24	14				
ž	そ 人力 デ 川利		+		I	I		<u>I</u>	r	<u>I</u>				
0	$D \xrightarrow{AA} \frac{AA}{7} \frac{7}{7} \frac{7}{7} \frac{1}{7}$		1	1	- 1 r	- 1 r		- 1 	r	- <u>1</u>	r	r r	20	5
ft	也 7#71		1	1	r	¹		¹	- <u>1</u> .	±	<u> </u>	r r	r 20	r
	<u>, , , , , , , , , , , , , , , , , , , </u>		1	1		r		r		r		<u>† </u>	<u> </u>	<u> </u>
	イハ・ラノリ属		1	1				5	r	r	r	r	r	r
	ワツナギソウ属		1	1					r		-			
	EN .			1	[[·			r		r	r	r
	クロミル		1	Τ								r		
	シリヤハス゛		1									l r		1
	アオサ属											r	r	r
	ミソ゛オコ゛ノリ			L								r	r	r
	シオク゛サ属			<u> </u>	L	L						L	r	r
	ナンハ゛ンハイミル			ļ		ļ						ļ	r	r
	ツカサアミ			ļ	ļ	ļ	ļ					Ļ	r	r
	Pr=>+			<u> </u>			<u> </u>						r	r
	海鞘虫綱(単体性)	r		<u> </u>										
		20	5											
	た 中虫綱	r	r	r										
<i>(</i> +	台 出 裥	r	r	r										
百善	<u>オオハレ ガ オ</u> カソサ [*] シュ [*] カズ新	r	r	r	r	r		r	r		r	- r	<u> </u>	
動	// クリーンコー//1/1-1 / クホッカッキチル	1	r	+ ¹		¹		¹			<u> </u>	<u> </u>		
物	+ ソカクフシ [°] ツホ [°]		r	5	20	10	r	10	10	10	r	r		
124	海鞘 (群体性)		r	r		1		10	- 10	1.0	-	r r	1	<u> </u>
	キクサ ルカ イ科				r	r	·	r	r	r		<u> </u>		
	エホ ヤ		1	1						·	r			1
	尋常海綿綱		1	1								r	1	
	アカヒトテ゛												(rr)	(rr)
大底	そ イトマキヒトテ												(rr)	(rr)
生	ムラサキウニ			(r)	(rr)	(rr)	(r)	(rr)	(rr)					
動	〕 ガンガゼ属			1		(+)			(rr)		(rr)		(rr)	(rr)
型物	リウラウス゛カ゛イ			ļ					(rr)					ļ
	θθ° τ.			<u> </u>									(rr)	(rr)
[ホンヘ゛ラ		+	(rr)	(rr)	(r)	(rr)	(rr)	(rr)	(rr)	(rr)	(r)	Ļ	(rr)
~	ホシササノハヘ゛ラ			(rr)			(rr)	(rr)		(<u>rr</u>)	(+)	(<u>rr</u>)		(<u>rr</u>)
魚	スス・メターイ		+	l	(c)			(r)	(r)	(rr)	(+)	(+)	(<u>rr</u>)	(+)
類	<u> ガザゴ</u>		+	 		(rr)		(rr)	(rr)			ļ	(rr)	(rr)
	× +		+								(+)	<u> </u>		
	2º2 1		1	1	I						(rr)	1	1	

2) 観察対象とする生物は海藻、付着動物、大型底生動物および魚類とした。

3) 観察間隔は基質の変化点および植生が大きく変化する点とし、魚類以外の生物については代表箇所の1㎡あたりの 被度および概数を観察した。

大型褐藻類については、枠外に出現した場合には概観被度を観察結果に加えた。

また、魚類は代表箇所周辺半径2mの円内における種別概数を計数した。

4) 表中の数値は被度を、()内の文字は概数を示す。

なお、被度が5%未満である場合は、rと示した。 概数の区分は以下の通りである。

【概数区分】

rr:5個体以下、r:10個体以下、+:20個体以下、c:50個体以下、cc:50個体よりも多い

【目視観察結果(測線2)】

測線名:測線2(有喜漁港) 調査期日: 平成27年5月14日 1 2 3 4 5 6 7 8 観察枠数 プレート番号 基点からの距離(m) 18 17 16 15 14 13 12 +0.5 0.5 5 20 26 36 39 44 -0.7 0.4 2.6 3.6 4.0 6.0 8.0 10.0 深(m) 1マタモク 30 リモク 20 いキモク 5 スハ゛ノコキ゛リモク 5 ゾキ r r 50 r 15 r r r カモク ワカメ r r r 20 40 5 r 藻類 エント゛ウモク r r ホンダワラ属(cf.アカモク幼体) 5 r r /コキ゛リモク 20 5 マウラモク r ピリヒバ 5 r r 50 40 r r r r r ウスカワカニノテ r ソゴモ科(無節サンゴモ類) 10 5 20 20 20 30 20 20 r r 80 35 30 30 30 r r r r r r r 20 20 7/10/1 /グサ科 シオグサ属 r r r r r r r r r 5 5 r 海藻 r r r r 、クサ r r r r r r r r 5 ラ川属 r r r r r 5 r <thr</th> r r r カデノリ科 作双科 イトグサ属 r r r r r r r r r r r r ネサ シミル r いごンハイミル r r r r r r r r (ウスバノリ属 r r r r 7+11 r r r 、リ r r r ヤニシキ r r ヤハス ツカサノリ科 r r タオヤキ・ソウ r r オオヘヒ゛カ゛イ ヒハ゛リカ゛イモト゛キ r r r r r 20 r 40 10 10 10 30 r</ /カクフシ゛ツホ 付 尋常海綿綱 差 r r r r r r r r 苔虫綱 動 hフシ゛ツホ r 物 r r r r r 海鞘亜綱(群体性) r r 海鞘亜綱(単体性) r r r r r ・クザルガイ科 -(rr) (r) (rr) (rr) **ヽ**ラサキウ: ガンガゼ属 (rr) (rr) (rr) 大底 ラウズガイ (rr)(rr) (rr)生 (rr) 動 イトマキヒトテ (rr) 型物 /デヒトテ (rr) (rr) 1ナマコ (rr) (+) (r) (rr) (rr) (rr) ボメダイ (+) (c) (c) (cc) (c) 魚 類 ホシササノハヘ゛ラ (rr) (rr) (rr) (rr) (rr) (rr) (rr) Fyp j (cc) (rr) ウセン (rr)

【目視観察



天然藻場の調査場所



結果(天然藻場:	測約	泉3〕		X参	考	
		測線	名:消	則線3(2	有喜漁	港) 4 日
	1	<u>- 洞沮</u> 舟	3 1	1	-571	4 H
	6	5	4	3	2	1
É(m)	0 0	15.0	25	30	45	80
(m)	+1 0	0.0	1.0	2.0	4 0	5.0
7	50	01.0	11 0	r	n ¢	010
	10	90			r	
	r		r	80	r	10
		r				
		r				
			10	r	40	20
						r
/ 7	5	r				
	r		r			
+(無節サンゴモ類)	70	40	60	80	40	15
	20	5		r		r
2 2 2		r				
		r	15		r	r
			r		r	r
			terrest terrest		r	
					5	40
サ.禹						5
1 3 1/2						r
y						r
() () () () () () () () () () () () () (
制(早1平1生)	r					
细(形休州)	r	r r	r	r	r	
例 (#+)++(王)	1	- <u>1</u>	<u> </u>			
*九/科		r	r	r		
/+\`+			20	10	20	20
、 、 ツホ [×]			r	r	10	20
ћ [°]				5		
綿綱				r	r	
1					r	
们科					r	
	(rr)		(rr)		(rr)	
[*] ンカ [*] ラ			(rr)	(rr)	(rr)	
<u>`1</u>			(rr)	(rr)	(r)	(rr)
					(rr)	
	(rr)	(r)		(+)	(r)	(r)
		(rr)	(r)	(+)	(rr)	
1			(rr)	(r)	(rr)	
				(cc)		
				(r)		
2				(rr)		
7					(rr)	
7						(rr)



- 3. 自然環境に配慮した施設の要件と基準
- 3.1 設計時における施設の要件と基準

(1) 構造形式

漁場整備で行われてき た藻場造成で、必要とさ れる技術には、①その場 に適した海藻種の選定、 ②藻場造成が可能な場所 の選定、③着生基盤の整 備、④藻場形成を促進す るための種苗生産、⑤植 食動物の管理、⑥造成効 果の評価技術などがあり、 これらを海域に応じて適



正に組み合わせて整備されてきた。また、こうした手法で整備されても、沿岸域の環境変化(例えば、 海水温の上昇、台風の襲来など)によって効果がなくなることや時間の経過に伴って機能が劣化する ことは想定されおり、造成後のモニタリングと管理・運営を、適正かつ円滑に行うことを、漁場整備 では重要視されてきた。一方、漁港整備事業における自然環境に配慮した漁港整備のイメージは、図 3・1 のとおりである。この整備では、周辺の健全な天然藻場を模倣し、整備後の維持管理を行わないメ ンテナンスフリーを前提としており、造成後のモニタリング(自然調和型漁港づくり推進事業の場合 は、施工中、整備後3年間はモニタリングが実施されていた。)と管理・運営は、漁場整備のように重 要視されていないのが特徴である。ただし、当時は漁港整備事業における藻場造成の方法は、発展途 上の段階であったため、国や地方において調査・設計ガイドライン等が作成され、防波堤本体と潜堤 を組み合わせた潜堤付き防波堤、防波堤の基礎マウンドを延伸した幅広捨石マウンド式混成堤、並び に潜堤・人工リーフ等の構造形式が考案されている。これらの構造形式は、「漁港・漁場の施設の設計 参考図書(2015 年版)」(以下、黒本と言う)に示されている(図 3・2)。



図 3-2 藻場造成型漁港構造物の構造形式(例)¹⁾

No.	構造形式	漁港名	コンブ	クロメ	ホンダワラ類	ワカメ
1		江良	×			
	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	イタンキ	0			
	L 1	富来			0	0
2	*	丸山			0	0
		泊ヶ内		0	0	0
		金浦			0	
3	←	家島			Δ	
5	+++	有喜			Δ	
		海潟			×	
4		別苅	×			
5	+ **	浜田		0	0	

表 3-1 構造形式+海藻種別の繁茂状況

注)藻場マウンド上に対象種の被度が密生(50%以上)以上の分布である場合に〇、疎性(25%)以上の場合をA、点生(25%以下)を×とした。

No.	海域	地域	漁港名	コンブ	クロメ	ホンダ	ワカメ	磯焼け
						ワラ類		の有無
1		日本海側	江良	×				有
2	北海道		別苅	×				有
3		太平洋側	イタンキ	0				無
4		東北	金浦			0		無
5	日本海	中部	富来			0		無
6		中国	浜田		0	0		無
7	海口山海	鳴門海峡	丸山			0	0	無
8	湖户内海	播磨灘	家島			Δ		無
9		東岸	泊ヶ内		0	0		無
10	九州	西岸(橘湾)	有喜			Δ		やや有
11		鹿児島湾	海潟			×		やや有

表 3-2 地域別海藻の繁茂状況

注)藻場マウンド上に対象種の被度が密生(50%以上)以上の分布である場合に〇、疎性(25%)以上の場合をA、点生(25%以下)を×とした。

No.	漁港名	近傍の藻		阻害要因			
		場の有無	食害	外不足	浮泥等	の有無	
1	江良	×	0			有	
2	別苅	×	0			有	
3	イタンキ	0				無	
4	金浦	0				無	
5	富来	0				無	
6	浜田	0				無	
7	丸山	0				無	
8	家島	Δ				無	
9	泊ヶ内	0				無	
10	有喜	Δ	0	0		やや有	
11	海潟	×		0	0	やや有	

表 3-3 藻場形成の阻害要因

注) 藻場の有無については、藻場マウンド上に対象種の被度が密生(50% 以上) 以上の分布である場合に○、疎性(25%) 以上の場合を△、点生 (25%以下)を×とした。

阻害要因は、今回の調査で影響が強いと思われる場合に〇とした。

本調査の結果による表 3-1 から、構造形式では防波堤の前面に藻場マウンドを造成した場合は藻場 形成が良好であり、背後の場合はやや不良であることが窺える。また、表 3-2 から北海道日本海側の 磯焼け海域では、藻場形成が不良であるが、比較的磯焼けが深刻化していない海域では藻場が形成さ れている。

イタンキ漁港は、江良漁港および別苅漁港と同様の背後に藻場マウンドを造成された構造である。 しかし、イタンキ漁港の場合は、①磯焼け海域でない北海道太平洋側であること、②消波堤の背後で 海水が透過し流動が遮蔽しないこと、③マウンドの天端高が水深1m程度と浅いことが、コンブ場形 成に寄与したと推察する。なお、太平洋側で同様の構造形式の傾斜堤背後小段を利用した様似漁港に おいては、牧田ら(2008)²によれば、整備後10年以上経過した背後小段(藻場マウンド)には紅藻 類のみが出現していると報告されている。この相違は、天端水深(イタンキ漁港:水深1m、様似漁港: 水深4.2~5.0m)の違いによる流動環境が影響していると考えられる。

【補足】様似漁港の場合は、竹田ら(1999)³⁾が、背後小段の小段基部から中央部まではウニの摂餌、 中央部から先端部間は多年生小型紅藻類による基質の占有がミツイコンブ着生の阻害要因になってい るものと推察されている。

また、表 3-3 に示すとおり、家島漁港や海潟漁港の場合は、藻場マウンドが前面にありながら藻場 形成が不良、有喜漁港のように周囲に海藻が繁茂しているが、多年生の海藻への遷移、拡大する傾向 がみられていないようなところもある。この理由には、周辺に健全な藻場がないこと、あるいは少な い、または多年生の海藻が少ないため、海藻のタネ不足が影響していると推察する(図 3-3)。特に、 海潟漁港の場合は、藻場マウンドの被覆ブロック上に火山灰が堆積して、より新規加入がしにくい状況となっている。有喜漁港の場合は、1年生のアカモクやワカメが突出して繁茂するが、年変動があり 遷移が進んでいないように思われる。この理由には、大型の多年生海藻が少ないことが窺え、その証拠として、深部に繁茂する多年生のノコギリモクの遷移が遅いのは、①周囲にノコギリモクの群落が少ないこと、②植食動物が生息する海域で食害の影響もあって拡大しにくいためと推察する。

したがって、設計するにあたっては、現時点の藻場の形成状況をよく把握した上で、図 3-4 に示す 前面に藻場マウンドを配置する構造形式を前提として設計することが望ましい。特に、磯焼け海域で 造成する場合には、ハード整備に加えてソフト対策を行うことを前提とする設計を行い、遅くても施 工完了までにはソフト対策の体制を構築しておくことが必要である。



図 3-3(1) 藻場マウンドと近隣藻場との位置関係(北海道)



図 3-3(2) 藻場マウンドと近隣藻場との位置関係(本州)



図 3-3(3) 藻場マウンドと近隣藻場との位置関係(九州)



図 3-4 藻場が形成しやすい構造形式

- 施設要件① 周辺に良好な天然藻場が形成されていること(黒本 p464)。
- **基準の整理**:周辺・良好な天然藻場の定義を明確にしておく必要がある。
 - ◎ 周辺とは?
 隣接している、あるいは対象場所から 500m 以内に良好な天然藻場があること。
 ◎ 良好な天然藻場とは?

海藻被度が通年密生から濃生で、造成面積と同等、あるいはそれより広い藻場であること。

- 施設要件② 磯焼け海域で実施する場合の解説が示されていない。
- 基準の整理: 磯焼けを回復させるために造成される場合も考えられるが、その場合の考え方が示さ れていない。
 - ◎ 黒本では、「整備後に藻場の維持管理を行わないことを前提としている」が、磯焼け海域で実施する場合には、ハードとソフトが一体となった対策・管理が必要である
 - ◎ ハード:植食動物が生息しにくい構造形式 例えば、ウニによる食害が起きている海域では、背後小段の藻場マウンドとしない。消波ブロ ックの空隙は植食性魚類(ノトイスズミ、ブダイ)の住みかになるので注意する。





ブロックの溝に生息するウニ 被覆ブロックの隙間に蝟集するノトイスズミ 図 3-5 基質に植食動物が生息した事例

(2) 基質の形状

藻場マウンドを構成する被覆材(石材、被覆ブロック等)については、これまで海藻のタネの着生 促進や波浪が強い時でも根が活着し剥離しにくくするために表面を多孔質構造や基質表面を加工した 基質材、または生長を促進させる栄養塩を添加した基質材が考案されている。これらは、藻礁の一部、 あるいは部材の一部として用いられ、主に現場へ搬入後藻礁に取り付けられている。今回調査した場 所においても、これらの基質材が取り付けられており、その効果を確認した。



図 3-6 海藻の着生をしやすくした工夫例

富来漁港では、潜堤部に複数種のブロックを設置されている、設置 9 年後において形状の違いによ る被度の差は少なく、むしろ設置時期による付着動物との競合により、遷移の進むスピードに差がみ られた。また、丸山漁港でも、石材と被覆ブロックの被度には差がみられていない。さらに、江良漁 港と富来漁港では、同じ形状のブロックが使用されているが、江良漁港では海藻の繁茂がみられてい ない。このことから形状の効果は、磯焼け海域においては、長期間に亘って効用を持続するものでは ないと思われる。

	H10.4 据付	H10.5 据付	H10.9 据付	H11.8 据付
H11.3 撮影				
H12. 10 撮影				
H14. 10 撮影				
H27.5 撮影				

図 3-7 富来漁港の被覆ブロックの変遷一例

(3) 藻場造成型防波堤等の設計フロー(案)

上記の検討より、今後藻場造成型防波堤等の設計を実施するにあたっては、図 3-8 に示すフローで 実施することを提案する。



※赤枠部分が従来のフローへの追加項目

図 3-8 藻場造成型防波堤等の設計フロー(案)

参考文献

1)水産庁(2015):漁港・漁場の施設の設計参考図書,(公社)全国漁港漁場協会,464.

- 2)牧田ら(2007):防波堤背後小段における海藻繁茂の現状について,(国)寒地土木研究所,平成 19 年度 技術研究発表会.
- 3) 竹田ら(1999):自然環境調和型構造物における藻場の流速とウニの食害に関する研究,海岸工学論 文集,第46巻, pp.1221-1225.
- 4) 佐見ら(1999):浜田漁港における藻場造成を考慮した防波堤の効果評価,土木学会,海洋開発論文集 Vol.15, pp.147-152

3.2 機能保全対策における要件

社会資本の機能保全を効果的かつ効率的に実施していくため、施設の維持管理・更新等の最適化手法 である「ストックマネジメント」の導入が進められており、漁港施設においてはすでにストックマネジ メントが導入されて「手引き」等が示されている。しかし、藻場マウンドを付帯させた自然環境に配慮 した施設においては、藻場という生物的な機能をもつ施設であるため、これを対象とした手引き等が示 されていない。ここでは、本調査で得られた結果等から、自然環境に配慮した施設の藻場としての機能 診断、藻場を維持回復させる対策を行うための要件について検討する。なお、ストックマネジメント全 般に関しては、「水産基盤施設ストックマネジメントのためのガイドライン」(平成 27 年 5 月改訂)を 参照されたい。

(1) 適用範囲

自然環境に配慮し藻場機能を付帯した施設においては、天然藻場を模倣して藻場マウンドが造成さ れている。しかし、構造形式によっては植食動物による食害、海藻のタネ不足等により、磯焼けが発 生し藻場が衰退する場合がある。このため、藻場機能を回復・保持させるため、施設の更新・改修、 ソフト対策(植食動物の除去等)の機能保全対策を効果的、かつ効率的に行うことを目的とする。

(2) 実施のための技術上の課題

ストックマネジメントに関係する土木技術は、様々な調査研究が行われている。しかし、藻場造成 に関しては、部材等の老朽化に加えて、植生遷移(藻場を構成する海藻種や個体数が時間とともに変 化すること)を意識した効率的、効果的な管理手法は確立されていない。このため、磯焼け状態の藻 場マウンドについては、現状を把握して阻害要因を除去する磯焼け対策が必要となる。磯焼け対策の 具体的な方法は、磯焼け対策ガイドライン(水産庁,2015)に記載されているが、ガイドラインはソ フト対策が主流であり、施設の改修工事を伴う実施事例は紹介されていない。このため、今後は、モ デルとなる改修工事を実施し、データの蓄積・分析から、効果的な改修技術を開発する必要がある。

(3)機能保全対策の実施項目と流れ

機能保全対策を実施するにあたっては、①日常点検、②定期的な藻場の診断、③調査結果に基づく 藻場の将来予測、効率的な機能保全対策の比較検討、④所要の対策(工事)の実施、⑤調査・検討の 結果や対策に係る情報の蓄積等を、段階的・継続的に実施する必要がある。

- 日常点検:海中にあるため陸上から目視で確認することは難しいので、日頃から漁業者に、藻場の繁茂状況、流れ藻の出現、磯焼け発生、植食動物の出現、土砂の流入などについてヒアリングを行い、適切な日常管理を行うことが望ましい。
- ② 定期的な藻場の診断:県の水産研究機関や専門家と相談し、藻場の繁茂時期や透明度の良い冬場において、藻場調査を実施し、定量的に藻場の現状を把握する。
- ③ 将来予測:調査結果から、植生遷移の傾向、磯焼けが発生する可能性を予測し、対策が必要な 場合は対策手法を検討する。
- ④ 所要対策の実施:藻場の形成を阻害する要因を適切に除去する。
- ⑤ データの蓄積:調査結果や管理履歴のデータを蓄積し更新する。

(4) 機能診断調査

機能診断では、藻場マウンドの藻場の衰退の度合いを可能な限り定量的に把握し、その衰退、磯焼 けが起こっている要因を特定する必要がある。機能診断調査は、以下の3つの段階を基本として実施 する。

① 施設に関する資料収集、漁業者からの聴き取りによる事前調査

- 施設情報の収集(施設諸元、調査・設計図書、施工計画書、モニタリングの履歴)
- 周辺海域の藻場分布図(平面図、航空写真、衛星写真)
- 漁場としての利用状況(魚種、利用時期)
- 藻場造成の目的・目標値(海藻種、面積、被度)
- ② 藻場マウンドと天然藻場を対象とした藻場調査
 - 藻場調査の計画(延長方向、断面方向、測線数)
 - ダイバーによる自由遊泳による景観被度
 - ダイバーによる測線調査、あるいはスポット潜水調査
 - 海藻別の被度
 - 調査結果の整理(藻場分布図、海藻種別の被度結果表)

③ 試験研究機関や専門家による原因究明、および状況に応じて行う詳細調査

- 食害状況調査
- 水質・底質分析
- 流況調査

(5) 機能診断評価

藻場の診断から、藻場の遷移傾向・衰退予測や機能保全対策の検討を行うため、調査結果から明ら かになった藻場状態に基づき、藻場の植生状況がどの程度のレベルにあるかを総合的に評価し、藻場 マウンドの「健全度評価」を行う必要がある。

阻害要因	判断基準	判定結果
ウニ	密度による分類区分	
小型巻貝	密度による分類区分	
植食性魚類	魚類の出現多寡区分 摂餌痕の有無	
付着生物	被度、海藻の着生状況	
浮泥の堆積	浮泥の有無	
タネ不足	近傍の天然藻場の成熟状況 幼芽の出現状況	

表 3-4 藻場形成阻害要因のチェック案

(藻場の現状(老朽化)度(案)
	a:阻害要因がある(磯焼け状態にあり、
	藻場としての機能が損なわれている状
	能)
	b:特定できない(遷移の途中、あるいは
	軽微な減少がみられるものの、藻場とし
	ての機能が保持されている状態)
	c:阻害要因がみられない(良好な藻場
	が形成され問題がない状態)

(6)機能低下予測

藻場の衰退における将来予測は、複合的な要因により藻場の衰退が不明、あるいは特定できない場合が多いので、試験研究機関や専門家と相談して予測する。

(7) 機能保全対策

機能保全対策のうち、ソフト対策の具体的な手法は、磯焼け対策ガイドライン(水産庁,2015)を 参照されたい。工事を伴う対策手法については、図 3-9 に示すウニの食害を軽減させるアイデアが考 案されている。



図 3-9 ウニの食害を抑えて藻場を回復させる工法例

参考資料1

都道府県における藻場に関する 最近の調査研究(概要)

整理番号	01			
都道府県	青森県			
タイトル	三八地	区(八戸南浜漁場)漁場効	」果調査	
対象種	マコン	ブ、エゾアワビ	調査年月	平成25年7月

造成藻場の植相が安定する数年間、モニタリング調査を実施し、藻場の維持・保全手法の確立に役立 てるとともに、増殖礁の設置の適期や適水深等を把握し、次期藻場造成計画に反映させる効果調査を行 っている。主な調査項目は、マコンブ・動物(エゾアワビ・ウニ類)の生物調査、増殖礁の埋没状況。 三八地区水産環境整備事業八戸南浜漁場の調査結果は次のとおり。当増殖場は水深6mに縦50m、横 100mの場所に3段積み増殖礁を200基設置。

- マコンブの生育状況は、場所によって多い所、標準的な所、少ない所に分かれた。 コンブの多い増殖礁の平均個体数:332.0個体/m²(10167.9g/m²)
 コンブの生育標準増殖礁の平均個体数:135.2個体/m²(1362.4g/m²)
 コンブの少ない増殖礁の平均個体数:74.4個体/m²(708.1g/m²)
 対照区(天然礁)の平均個体数:1.4個体/m²(43.3g/m²)
- 2 エゾアワビ、ウニ類等動物の生息状況をマコンブの生育状況別に整理すると次のとおり。 コンブの多い増殖礁の平均個体数:0.8個体/m² (5.3g/m²)
 コンブの生育標準増殖礁の平均個体数:1.8個体/m² (99.9g/m²)
 コンブの少ない増殖礁の平均個体数:2.2個体/m² (96.7g/m²)
 対照区(天然礁)の平均個体数:11.3個体/m² (312.0g/m²)
- ③ 砂による埋没状況を下記の方法で観測した。0cm~141cmまでの範囲内で砂による埋没が確認され ている。



整理番号	02			
都道府県	宮城県			
タイトル	アワビ	調査		
対象種	エゾア	ワビ・キタムラサキウニ	調査年月	H23~

宮城県水産技術総合センター気仙沼水産試験場は、平成23年から年2~4回の頻度でアワビ・ウニ、藻場(アラメ場)の繁茂状況を定期的に調査をしている。これまでに10回の調査が実施され、経年的な変化が把握されている。得られた知見は、藻場回復手法を検討するための資料として地元漁協に情報提供されている。今後は、沿岸の主要なエゾアワビ漁場5点に範囲を拡大する予定。

調査方法は、100mのラインを幅2mの範囲(200m)で潜水目視観察を行い、ライン上に出現するアワ ビやウニの個体数を確認する。



図 調査地点(平成27年度)

【課題】

- 潜水可能な職員が限られている。
- 調査人員や予算の面から、調査範囲が限定的である。

整理番号	03			
都道府県	秋田県			
タイトル	秋田県	水産振興センター業務報告書		
対象種	ハタハ	<i>ф</i>	調査年月	平成26年8月

秋田県水産振興センターは、ハタハタの大規模な産卵場が形成される北浦漁港の地先において、ハタ ハタの産卵場の動態を把握するため、平成9年(1197)から毎年モニタリング調査を実施されている。 調査方法は、100m×100mの範囲を調査区に10地点を設け、船上から箱メガネで目視観察し、被度を 観測する。

表 北浦漁港地先定点における海藻密度の推移

区画	1997年	1998年	1999年	2000年	2001年	2002年	2003年	2004年	2005年	2006年	2007年	2008年	2009年	2010年	2011年	2012年	2013年
1	2	2	3	3	3	4	2	3	3	4	2	1	2	1	2	2	3
2	4	4	4	4	3	3	3	3	2	4	1	2	2	3	3	2	2
3	3	3	2	2	3	3	4	2	3	3	1	3	3	3	3	3	2
4	2	2	3	2	3	3	3	2	3	2	1	2	3	3	2	2	1
5	3	3	3	3	2	2	4	4	3	2	1	1	1	2	1	2	1
6	3	3	3	4	3	4	3	4	4	4	2	2	2	2	3	2	3
$\overline{\mathcal{O}}$	3	3	3	1	3	4	3	3	4	5	1	2	2	1	3	2	3
8	2	2	4	2	2	3	4	2	2	4	1	2	2	3	3	3	3
9	3	3	3	2	3	2	3	3	4	2	1	2	2	3	2	2	4
10	1	1	3	2	4	2	4	3	2	2	1	1	1	1	1	2	3
平均	2.6	2.6	3.1	2.5	2.9	3.0	3.3	2.9	3.0	3.2	1.1	1.8	2.0	2.2	2.3	2.2	2.5

※海藻密度は、水産庁(1997)漁場保全対策推進事業調査指針,p31-40に準拠。

- 1 (点 生):植性が疎らに点在する
- 2 (疎 性):植性が1/3未満である
- 3 (密 生):植性が1/3以上、1/2未満である
- 4 (濃 生):植性が1/2以上、3/4未満である
- 5 (濃密生):植性が3/4

【課題】

- 透明度が悪い場合に調査ができない。
- 観測位置の誤差が被度の評価に影響する。
- 経費面から限定された範囲の藻場の消長を指標としており、 図 調査定点 海域の生産力を広範囲かつ定量的に評価出来ない。
- 南方系ウニの増加が認められており、それらの影響と対策の必要性を検討する予定である。





整理番号	05			
都道府県	茨城県			
タイトル	生物モ	ニタリング事業(藻場)結果		
対象種	アラメ	、アワビ、ウニ	調査年月	H20. 7

平成20年7月の藻場(ひたちなか市平磯地先のザーザゴ磯、高磯沖)のモニタリング結果。

① ザーザコ磯

- アワビ漁場として利用されている海域。
- 1998~2007年度と同様にアラメの繁茂状況は良好で、平均育成密度は4.2株/㎡。
- アラメの幼体も見られ、藻場の更新も順調と思われる。
- 2 高磯沖藻礁
- 人工礁設置海域。
- 1998~2007年度はアラメが点生から疎生状態推移。今回はアラメの被度が増加し、平均育成密度は3.0株/m.
- と同様にアラメの繁茂状況は良好で、平均育成密度は4.2。
- アラメ以外にスガモ、オオバツノマタ、ヒロハノトサカキモドキ、ピリヒバが優占。



ひたちなか市平磯地先

【藻場の評価結果の推移(直近6年間)】(単位:株/㎡)

	2003	2004	2005	2006	2007	2008
ザーザコ磯	4.0	4.1	4.0	4.1	4.4	4.2
高磯沖	1.2	1.3	1.3	1.8	2.8	3.0

整理番号	06			
都道府県	千葉県			
タイトル	外海浅	毎域の海洋環境の把握と特性解明(外海域	^{找漁場環境調査}	事業)
対象種	アワビ、	サザエ、イセエビ、チョウセン、ハマグリ等	調査年月	H19~26

図1に示す海域において水質、底質、海藻植生などのモニタリング調査を行い、漁場環境の現況と長期的な変化を把握した。ここでは海藻類調査の結果を以下に示す。

- 千倉町川口地先におけるアラメ・カジメの株数は昨年とほぼ同程度。現存量は2~3倍に増加。
- 館山市伊戸地先では、10月中旬に大型台風2個が連続して房総半島沿岸を通過した影響によりアラメ、カジメが全て流出。ただし、台風後に着生したと見られる全長5cm未満のコバタが岩盤に多数 生えていることから、順調に生育すれば、再び濃密な大型海藻藻場が形成されると考えられた。



整理番号	07			
都道府県	富山県			
タイトル	富山湾	漁場環境総合調査		
対象種	マコン	ブ、エゾアワビ	調査年月	平成25年2月

富山県沿岸の藻場の分布状況を把握するため、デジタル航空カメラ(Vexcel UltraCamX F=100.5mm、 撮影高度:約1,400m)用いて航空写真撮影を行った。得られた341画像データから、水深20m以浅にお ける藻場分布図の作成と面積算出を行われた。また、併せて藻場の植生や被度に関する情報を得るため に潜水調査を平成24年1-2月に実施された。

富山県沿岸の藻場面積は1,067.08haと算出。内訳は、砂泥性藻場が322.5ha、岩礁性藻場が745.29ha。 また、91地点で実施した潜水調査(コドラート調査)では、藻場の構成主要種であるアマモが5~15m、 ワカメが2~10m、ツルアラメが3~20m、アカモクが3~10m、ヤツマタモクが2~10m、ノコギリモクが~ 15m、フシスジモクが2~10m、ヨレモクが2~15m、マクサが2~10mの水深帯で観察された。

今回の航空写真撮影による藻場調査では、海域によって濁り等の影響により、画像から水深10~15m 以深で判読が極めて困難な場合も含まれた。航空写真撮影による藻場調査は大まかに面的に把握を行っ たものと位置づけるべきとしている。また、平成13年に行った航空写真撮影による藻場調査との比較で は、平成13年の航空写真をデジタル化し、変化を確認したところ大きな増減はみられなかった。



図 富山県における有用海藻モニタリング地点

【課題】

- 航空写真撮影による藻場調査で明確に判断できなかった海域や大きく増減したとされる海域を対象に、潜水等の現地調査により、その状況を確認して行くことが必要である。
- 今後も現地調査を継続的に行っていくことによって、これまでの調査結果を活かすとともに、航空写真撮影による藻場状況調査の充実を期待する。

整理番号	08			
都道府県	石川県			
タイトル	水産多	面的機能発揮対策事業 輪	i島の里海を守る	会(南志見地区)のモニタリング
対象種	クロメ、	ツルアラメ、ホンダワラ類	調査年月	平成25年6月、11月

水産多面的機能発揮対策事業において、輪島の里海を守る会(南志見地区)が専門家にモニタリング

を依頼して実施された。

春と秋の測線2本の結果では、ホン ダワラ類が優占する密生の藻場が形 成され、サザエが生息していた。植 食動物による磯焼け状態を呈した場 所は確認されなかった。



調査地点(地図は国土地理院)

調	査測線	測線20	(6/26)	測線2(11/6)		
杠	幹番号	No.1	No.2	No.1	No.2	
起点から	の距離(m)	85	20	85	20	
観	察時刻	9:53	10:42	9:45	10:30	
測定	水深(m)	4.3	2.3	4.4	2.2	
水	深(m)	4.0	2.0	4.3	2.1	
比 高(m)		2.0<	0.5	2.0<	0.5	
	岩盤	100	100	100	100	
	大型海藻類	65	65	60	70	
景観被度	小型海藻類	25	20	20	20	
	無節サンゴモ	5	5	15	5	
%	固着動物等	+	+	+	+	
	裸面·砂地	5	10	5	5	

表 調査結果 (観察枠1m×1m)

表 水産有用動物の枠取り観察結果(観察範囲:1m×10m)

調査測線	測線2(6/26)		測線2(11/6)			
枠番号	No.1	No.2	No.1	No.2		
測定水深 (m)	4.0	2.0	4.3	2.1		
底質	岩	岩	岩	岩		
種名	個体数, (個体/㎡)	個体数, (個体/㎡)	個体数, (個体/㎡)	個体数, (個体/㎡)		
クロアワビ	0, (0.0)	0, (0.0)	0, (0.0)	0, (0.0)		
サザエ	19, (1.9)	4, (0.4)	39, (3.9)	7, (0.7)		
マナマコ	0, (0.0)	2, (0.2)	0, (0.0)	0, (0.0)		

整理番号	09				
都道府県	福井県				
タイトル	特別電源所在県科学技術振興事業による藻場分布調査				
対象種	クロメ、ツ	ソルアラメ、ホンダワラ類	調査年月	平成25年6月、11月	

藻場を回復させる漁場整備計画に活用するため、航空写真と潜水目視による県下全域の藻場の分布調 査が実施された。本調査は平成9年、平成16年、平成25年と3回実施されている。平成25年の費用は海岸 線1km当たり74千円程度であった。

藻場区分	計測区分	平成9年度藻場図	平成 16 年度藻場図	平成 25 年度藻場図
ガラモ場 実測値		2, 295ha (89. 7%) 651ha (95. 0%)		909ha (87.5%)
	補正値	987. 4ha	480ha	_
	H16比較值	1, 181ha (95. 2%)	560ha (91.8%)	324ha (90%)
	補正値 H16比較値	386. 2ha 388. 3ha		_
アマモ場	実測値	143ha (5.6%)	10. 9ha (1. 6%)	106ha (10.2%)
	H16比較值	38. 7ha (3. 1%)	7.3ha (1.2%)	30. 5ha (8. 5%)
クロメ場 実測値		4. 5ha (0. 2%)	17. 2ha (2. 5%)	Oha (0%)
	H16比較值	1. Oha (0. 2%)	17. 2ha (2. 8%)	Oha (0%)
アオサ場	オサ場 実測値 1.6ha(C		2. 1ha (0. 3%)	3. 3ha (0. 3%)
	H16比較值	1. 4ha (0. 1%)	2. 1ha (0.3%)	1. Oha ()
その他	実測値	115ha (4.5%)	4. 2ha (0.6%)	20. 3ha (1. 9%)
	H16比較值	17.4ha (1.4%)	4. 2ha (0. 7%)	4. Oha (1. 1%)
合 計	実測値	2, 559ha	685ha	1, 039ha
	補正値	1, 251. 5ha	514. 4ha	
	H16比較值	1, 240ha	610ha	360ha
	補正値 H16比較値	444. 7	419. 1	_

※H16 比較値とは、平成 16 年度に作成されている藻場区分図のうち、今年度および平成 9 年度の藻 場区分図と単純比較できる地先区分の合計値を示す。

上記の調査から、平成16年度時点における福井県内で磯焼けが起こっていないと判断されているが、 その後、磯焼けが発生している箇所が見受けられた。「磯焼け対策ガイドライン(2007)」の磯焼けの 定義と照らして、平成25年度の調査を整理すると、「淡水流入の影響」、「海底基質の占有」、「海底 基質の埋没」、「港湾建設による消失」が確認された。

【課題・今後の予定】

- 県下全域の調査を行うには航空写真による藻場分布調査が不可欠であるが、精度が粗く誤差を少なくすることが課題である。
- 藻場造成を実施した箇所において面積・被度・磯根資源のモニタリングを実施する予定。



整理番号	11					
都道府県	愛知県					
タイトル	アラメ	アラメ藻場再生緊急技術開発試験				
対象種	アラメ		調査年月	平成16年、17年、23年、24年	F	

定期的に、藻場再生技術開発に関する試験計画の立案等に利用するため県単独でモニタリングが実施 されている。

春と秋の測線2本の結果では、ホンダワラ類が優占する密生の藻場が形成され、サザエが生息していた。 植食動物による磯焼け状態を呈した場所は確認されなかった。

表 モニタリング結果例 (水産試験場前, 2012)

測線名: 水試前 調査年月日: 20120913 10 20 -0.6 -0.5
 30
 35
 40

 -0.8
 -0.9
 -1.0

 71
 80
 90
 100

 -3.7
 -4.1
 -4.2
 -4.4
 基点からの距離(m) 50 60 -1.2 -1.1 65 70 k深D.L. (m) -2.1 -3.1 -3.7 底質 岩盤 岩盤 岩盤 岩盤 岩盤 岩盤 岩盤 岩盤 業業 建築 建酸 岩盤 岩盤 岩盤 監督 学会権物 浸蓬 Colium fragile 浸色植物 浸蓬 Colium fragile 方を植物 浸蓬 Dictyopteris prolifer Dictyopteris undulata Ecklonia cava Sargassum horneri Sargassum horneri 和名 燕草類〈被禮率 r 5 20 5 40 15 15 10 5 r 5 r Sargassum macrocarpum Sargassum sp. 紅藻 Gelidium elegans ビリモク アワラ属 60 20 紅色植物 マクサ カニノテ属 ヒライボ トサカマツ 25 r 30 20 25 10 Amphiroa sp. Lithophyllum okamurae Prionitis crispata r 5 5 + 基点からの距離(m) 10 15 20 25 40 50 55 60 65 70 80 85 90 30 35 45 75 Z.0 1.0 測線水深断面図 0.0 (JU)-1.0 -2.0 -3.0 -4.0 -5.0 70 m (D. L. -3m) (D. L. -1m) 80 m (D. L. -4m) 100 m
 注1) 表中の
 は、枠取り水深帯を示す。

 注2) 表中の
 「r」は、被覆率1~3%を示す。

 注3) 表中の
 「+」は、被覆率1%未満を示す。
 【課題・今後の予定】 藻場の状態の変化や対策の効果を把握するため、無機環境(水温、塩分、栄養塩濃度等)とあわ せてモニタリングすることが望ましいと考えている。

整理番号	12			
都道府県	兵庫県			
タイトル	水産基	盤整備調査事業		
対象種	アラメ		調査年月	平成19年

水産環境整備事業等で藻場造成を行う際の指針を取りまとめるとともに、定期的にモニタリングが実施され、過去からの変遷を把握できる藻場分布図が作成された。

藻場造成指針を平成18年度に作成。藻場造成の基本的な考え方から始まり、県下の海藻草類の生活史 と環境条件、造成方法を示されている。また添付資料として、海域を15地区に分割した藻場分布の推移 がわかる図を整理した。



図 藻場造成に必要な3点セット

藻場造成では、上図に示す3点セットが同時に成立していないと造成は望めないと判断し、対象海域の3点セットを把握することが必要とされている(兵庫県:藻場造成指針,25)。


整理番号	13			
都道府県	鳥取県			
タイトル	藻場造	成アクションプラグラム		
対象種	アラメ		調査年月	平成15年

鳥取県沿岸の藻場の回復を図ることにより、豊かな漁場環境を維持・創出し、漁業生産の持続的な拡大を図ることを目的として、平成 15年度に「藻場造成アクションプラグラム」が策定された(モニタリ ングについての記載はない)。

「藻場造成アクションプラグラム」では、海藻の生育水深を概ね水 深5mまでとし、この水深帯でのアラメ場造成を推進している。本プロ グラム策定当時(平成15年頃)の鳥取県沿岸の藻場は減少傾向にあっ たが、磯焼けと呼ばれるような壊滅的な状態ではない。

アラメ場造成手法は、県内で実績のある「アラメの苗を移植する方法」が有効であるとして、鳥取県栽培漁業センターと連携して実施されている。移植方法は、アラメ株縄法とアラメプレート法の2種類、漁港施設(消波ブロック)や海岸施設(人エリーフ)の新設・既設構造



物に移植したり、漁業者やNPO等の保全活動(助成事業あり)で移植したりしている。 モニタリングは、水産技術職員が潜水調査(ライントランセクト法)を実施している。



図 アラメ移植方法 (左:アラメ株縄法、右:アラメプレート法)

- 水産技術職員の減少により、限られた項目しかモニタリングが行えない状況である。
- 県地先17点で被度調査を継続する予定である。

整理番号	14		
都道府県	岡山県		
タイトル	藻場モニタリング		
対象種	アマモ	調査年月	平成27年

藻場面積、位置、構成種、環境情報について、潜水目視及び魚群探知機、サイドスキャンソナー等に よるモニタリング調査を、東備地区水産環境整備事業(補助事業)と白石島地区漁港海岸工事(県単独 事業)で実施している。

【東備地区水産環境整備事業】

アマモ場造成工区は平成21年度からモニタリングを実施している。量としての目標値は、播種後10 年目の春季までに造成面積の80%の藻場形成を目指し、質としての目標値は、10年目の秋季までに2カ所 の天然藻場の平均株密度のうち、低い方の平均株密度の1/2とした。

播種後5年目のモニタリング結果によると、概ねアマモの生育環境は良好であり、アマモの面積、株 密度の増加が確認されている。

表 造成アマモ場の目標と評価方法

項目	1目標	質的目標	量的目標		
目標		2 箇所の天然アマモ場の平均株密度をそれぞれ測定し、低い方の平均株密度の1/2を質的目標とする。	i 播種エリア(mi)の 80%を造成する人工アマモ場の量的 とする。		
目标	票年次	播種年次の10年後の秋期	播種年次の10年後の春期		
場所	判定	アマモ生育基盤上の調査地点	播種エリア		
	比較対象	近隣の天然アマモ場 →現寺湾及び大多府島北岸の天然アマモ場	-		
ŧ	指標 株密度(株/㎡)		分布面積(M) アマモの繁茂期において、音響測深機によってアマモの分布範 囲を測定し、その面積で評価する。		
評価方法		アマモの衰退期において、潜水目視によって造成アマモ場と天 然アマモ場との生育状況を比較して評価する。			

※播種年次の5年後には、質的目標の中間評価を行い、今後の目標設定や評価方法等の再検討を行う。

【白石島地区漁港海岸工事】

平成6年度から人工海浜の設計 を進めるとともに、人工海浜計画 地におけるアマモ場保全対策とし て、平成23年度から1,525㎡の範囲 で移植と播種試験を実施し、平成 24年度までに1,275㎡の範囲へア マモを移植した。下図の平成26年6 月の分布図からは、拡大傾向はみ られていない。



図 サイドスキャンソナーによる藻場分布図(繁茂期:H26.6実施)

- 水産技術職員の減少により、限られた項目しかモニタリングが行えない状況である。
- 県地先17点で被度調査を継続する予定である。

整理番号	15			
都道府県	高知県			
タイトル	磯焼け	等沿岸域機能回復支援事業		
対象種	アラメ・	やカジメ、ホンダワラ類	調査年月	平成24~26年

高知県では平成14年度からウニ除去による藻場の再生を試みている。平成21年度から環境生態系保全 活動支援事業、平成25年度から水産多面的機能発揮対策事業の中で、漁業者を中心とする9つの活動組 織による磯焼け対策が実施されてきた。これら9つの活動組織で実施されたウニ除去後のウニの侵入状 況、海藻の回復状況を把握し、今後の磯焼け対策区を選定する資料として活用されている。

調査の結果、高知県の沿岸域の磯焼けはウニの食害が藻場の形成阻害要因とされ、継続的に除去する ことで、藻場が回復することが確認された。ただし、場所によってはスポアバッグと魚類除去を合わせ て実施する必要性があることも確認された。また、各地区の成果について、下記の基準を設けて整理し たところ、経過年数とともに対策が進み、平成25年度末では基準3が5地区、基準4が7地区に増えてい る(図1)。なお、基準5、6に到達した組織はまだない。

<成果基準>

1:磯焼け対策実施前

2:活動組織による磯焼け対策が実施されている。

3:対策区においてウニ類生息密度が低下し、小型藻類の繁茂や大型藻類の芽生えが確認できる。

4:対策区においてウニ 類生息密度が減少し、大型藻類の繁茂が確認できる。

5:磯焼け対策が継続的に実施され、再生藻場が維持されている。

6:磯焼け対策の効果が漁業資源の増加につながっている。



※ 凡例の1~6は上記の成果基準を表す

- 将来的には、基準5、6を満たすかについて判断したい。
- 統一的な手法がないままに各県で調査が実施されており、県内同一か所での経年変化は検討できるが、他県との比較等ができない。

整理番号	16				
都道府県	長崎県				
タイトル	MSS	SSと航空写真を活用した藻場マップの作成			
対象種			調査年月	平成25~26年	

MSS(マルチスペクトルスキャナー)と航空写真を活用した周年藻場及び春藻場の調査を2年かけ て実施した。得られた藻場マップと過去の環境省調査とを比較検討することで、今後の藻場回復のため の長期計画(策定中)に活用している。

MSS(マルチスペクトルスキャナー)は、リモート・センシングの一手段で複数の波長帯毎に画像 が得ることができる。この技術を活用し、海藻からの反射・放射の波長帯を走査映像にしたのが藻場マ ップである。また、航空機に搭載されたMSSは、飛行高度が低いため高分解能が得られるため、航空 写真と重ね合わせることで、視覚的にわかりやすい藻場マップを作ることができる。



図 MSSと航空写真を活用した藻場マップ

藻場マップ以外に得られたデータから、過去からの藻場面積の推移や地域区分毎の藻場の現状を把握 することが可能である。



- 今回のMSS調査は、対象水深を10m以浅としたこと、空気中の水蒸気や海水中の懸濁物の影響による誤差があるため、過去の調査に比べて過小評価等を有する。
- 藻場回復の計画を策定し、効果的な対策を実施するためにモニタリングは必要と考えている。ただし、次回のMSSによる藻場調査は未定である。

整理番号	17				
都道府県	熊本県				
タイトル	天草の	天草の漁業関係者によるヒジキ増殖			
対象種	ヒジキ		調査年月	平成26年	

天草地区では、近年の単価上昇と採取の手軽さから、ヒジキの増殖要望が高くなっている。そこで、 県の水研センターでは、平成24年度よりコンクリート基板を用いた増殖技術を開始し、平成25年度から は漁業者による実証試験が行われている。その結果、天然ヒジキの少ない場所でもヒジキ増殖が可能で あることを確認され、現在(平成26年)は管内12カ所にまで取り組みが拡大している。

増殖方法は、水槽に母藻を入れてコンクリート基板(透水プレート)に幼体を着生させる(図1)。 その後、基板の向き、高さを考慮して、基板を固定する(図2)だけである。ただし、夏の強い日差し と小型巻貝による食害対策(図3)として、基板を波板で覆う(漁業者のアイデア)ことが必要(図4)。

増殖の方法(基板作成) 4-2 増殖の方法(漁場への設置) A_{-2} 水層に母原を入れる 朝が出たら、海本島る道 新和 有明町 本灌 固定の方法・向き・地容の高さなど それぞれ試行錯誤しながら取り組みを実施 * で動物完成 図1 幼体の着生 図2 基盤の設置 <u>5 経過観察編</u> 5-2 日射・食害対策の実施 夏を超えられるか・ 《异战生えた 10 猫除けマット トリカルネット 液板 アイデアを出し合い 3地区とも対策を実施 人工芝 図3 強い日差しと食害 図4 食害対策

- ・台風等による転倒・流失を防止するための固定方法の検討。
- 県や市町の支援を受けながら、漁協や漁業者が中心となってより良いヒジキ増殖手法を解明して 行く予定である。

整理番号	18				
都道府県	宮崎県				
タイトル	藻場造	藻場造成のためのヤセウニ有効利用技術開発			
対象種	ヒジキ		調査年月	平成26年	

ウニの食圧が高い磯焼け海域では、生息するウニの生殖巣が未発達であるため、水産資源としての商 品価値が低いことがわかっている。そこで、県内の7活動組織を対象に、継続的なウニ除去(密度管理) を実施させウニの身入り改善の実証試験を行った。試験方法はウニを除去した「除去域」と除去してい ない「除去域外」のムラサキウニ20個体分のGSI(生殖巣熟度指数:生殖巣重量/体重×100)をt検定によ り比較した。身入りの基準は、漁業者からの聴き取りからGSIが6以上のものとした。調査の結果、7組 織中6組織で身入りの改善が認められた。十分な除去が行えている活動域では、ウニの身入り改善、並 びに小型海藻を中心に植生の回復も見られ、ウニ除去の有効性が確認されている。

宮崎県内は、海藻を食べる魚の影響が大きい場所もあり、そのような場所に大型海藻の藻場を回復さ せるのは今のところ困難と考えられているが、今回の調査結果により、高密度に生息するウニを除去す れば、小型海藻が回復し、ウニの身入り改善に繋がることが多くの場所で実証された。



図 ウニの生殖巣 (左:除去区、右:除去域外)



	St.	除五	去域	除去	域外
	水深(D.L., m)	-0.7	-0.4	-1.3	-1.2
	景観被度(%)	95	95	80	85
	無節サンゴモ	15	5	70	75
	キレバモク	10	20		
	イソモク		5		
	ツクシモク		5	<u></u>	
	フクロノリ	30	25		
6	カゴメノリ	15	5		
9	ハリイギスノリ	15			
度	マクサ	+	5		
妝	ウミウチワ	+	5		
ŧ	フクリンアミジ	+			
増	アミジグサ	+			
	カイメンソウ	+		+	+
	ソゾsp	+			+
	モサズキ		10		
	ソフトコーラル			10	10
	イシサンゴ		+	+	+
(jut)	ムラサキウニ	(4)	(5)	(22)	(23)
本獎(ナガウニ		(1)	(6)	(2)
=	小型巻貝	(20<)	(20<)	(20>)	(20>)
長	シラヒゲウニ	(1)			

表 崎田の植生等(H27.2.19)

(崎田地区)除去行外→

【課題・今後の予定】

● 水産多面的機能発揮対策等で藻場保全活動が実施されている箇所のみ、植生や被度・ベントスを モニタリングする予定である。

-除去域(崎田地区)

 水産多面的機能発揮対策等で藻場保全活動が実施され、かつ大型海藻が確認される箇所のみ面積、 植生や被度・ベントスをモニタリングする予定台風等による転倒・流失を防止するための固定方 法の検討が必要である。

整理番号	19				
都道府県	鹿児島	県			
タイトル	鹿児島	県の藻場造成の取り組み			
対象種	ホンダワ	フラ類、ヒジキ、アサクサノリ	調査年月	平成26年	

平成25年度に鹿児島県が行った藻場造成の取り組みである。

【奄美海域の藻場造成試験】

奄美海域の①内湾性藻場と②リーフ性藻場(リーフ内に形成される藻場)で藻場造成のための調査と試験を実施された。波当たりの弱い①内湾性藻場(マジリモク)の平成24、25年における磯焼けは、魚(ア イゴ幼魚(スク))の食害であると考えられた。また、そのための対策として囲い網(縦20m×横20 m×高 さ3m 海面に達する高さ)が有効であったが、鳥除け装着ブロックは効果がないことが確認された。また、 リーフ性藻場でもカゴによって魚(アイゴ幼魚(スク))の食害を防げることが確認された。ただし、リー フでは波浪の影響を強く受けカゴが飛ばされることがわかった。

【海藻バンク造成事業】

市場価値の高い有用藻類増養殖技術の開発を目的に、ヒジキ種苗量産試験を行った。その結果、前年度 開発したヒジキの種苗培養シートの有効性は再確認されたが、シート管理の労力が多大で省力化を図る必 要がみられた。幼胚冷蔵試験では、冷蔵期間が長いほど、シートから流れてしまう幼胚の割合が多くなり、 また、生長が遅くなる傾向がみられた。コケムシ防除試験では、藻体を60分淡水に浸漬すればコケムシ類 を死滅させることが可能であるが、藻体の生長に影響を与えるため、浸漬は60分に抑える必要があると考 えられた。

【藻場回復高度化事業】

海藻の幼胚(タネ)をより確実に供給する手法の開発により、従来の藻場造成手法の低コスト化・低労 カを図るため、母藻投入のスポアバッグ法(紡錘型)と中層網法を改良された。また、母藻設置タイミン グを熟度より把握した。さらに、小規模造成試験により必要母藻量の定量化を検討した。





【現状】網目の異なる網の二枚重ね母藻を網地に絡ませる【改良】1枚網に母藻を結束バンドで固定する 【藻場の定期モニタリング】

水産多面的発揮対策事業を実施する指宿地区藻場保全会、山川地区藻場保全会の活動組織に対して、ラ イン調査によるモニタリング調査及び藻場造成技術指導等を行われた。

- 研究機関のみで実施するのであれば人手不足や技量不足、外注であれば費用不足である。
- ドローン等の利用による調査手法の向上が必要と考える。
- 上記の調査個所、内容を今後も継続していく予定である。

参考資料2 主な海藻

※ 分布は日本のみを記載した。

名称	分布	成体の大きさ
ホソメコンブ	北海道、青森県~茨城県北部	長さ 40~100 cm
アラメ	太平洋沿岸は岩手県以南~静岡県、日 本海沿岸は長崎県以北~京都府	茎の長さ 8~12 cm、中央葉は 長さ15~25 cm
カジメ	太平洋沿岸は房総半島以南~九州沿 岸、日本海沿岸は島根県隠岐~長崎県 対馬	茎は長さ 10 数cm~100 cm以 上、中央葉は長さ 20~30 cm
クロメ	太平洋沿岸は九州~東京湾湾口、日本 海沿岸は佐渡島以西、瀬戸内海	茎の長さは通常 3~50 cm、時 に100 cmになる。中央葉は長さ 15~50 cm
ワカメ	北海道稚内~根室間及び室蘭以東の太 平洋沿岸、伊豆七島、高知を除く日本各 地沿岸	長さは数 10 cm、時に 200 cmに 達する。
イソモク	太平洋岸関東以南、日本海岸青森県以 南九州	長さは 0.3~0.5m
アカモク	太平洋沿岸は岩手県以南、瀬戸内海、日 本海沿岸は北海道奥尻島以南	長さは 1~5m
ヤツマタモク	本州・四国・九州の沿岸に広く分布	長さは 1~2m
ノコギリモク	東北地方の太平洋沿岸を除いた地域、 本州・四国・九州沿岸	長さは 1~4m
ヨレモク	北海道東部と三陸沿岸を除く日本各地	長さは 2~3m
ホンダワラ	太平洋沿岸は岩手県~九州、日本海沿 岸は新潟県以西	長さは 1~5m
エンドウモク	本州太平洋岸中部以南、瀬戸内海、九 州、本州日本海沿岸(粟島まで)	長さは 0.5~0.6m
タマハハキモク	北海道南岸,本州中部から四、九州	長さは 0.5~1m
マメタワラ	本州太平洋岸中·南部、四国、九州、本 州日本海岸	長さは 1~2m
エゾノネジモク	日本海沿岸北海道から長崎県、および太平洋沿岸宮城県	長さは 1m
フシスジモク	北海道南·西岸、本州太平洋岸北部、瀬 戸内海、九州西北岸、本州日本海沿岸	長さは 0.8~1.5m

参考文献

改訂版 磯焼け対策ガイドライン (2015):水産庁

三重大学藻類研究室:http://soruipc2.bio.mie-u.ac.jp/

Weblio 辞書海藻編:http://www.weblio.jp/ontology/%E8%97%BB%E9%A1%9E_1

参考資料3 代表的な植食動物

※ 分布は日本のみを記載した。

名称	分布	成体の大きさ
キタムラサキウニ	太平洋沿岸は北海道~相模湾まで、日	殻径 10cm、殻高 5cm に達す
	本海沿岸は北海道~対馬	る
エゾバフンウニ	北海道全域、太平洋沿岸は宮城県女川	殻径 5 cm
	以北、日本海沿岸は山形庄内以北	
ムラサキウニ	本州・四国・九州南端までの沿岸	殻径 5~6 cm、高さ 2~3 cm前
		後
ガンガゼ	房総半島·相模湾以南	殻径 8 cm
バフンウニ	北海道南部日本海沿岸~九州南端に至	殻径5cm、高さ2cmに満たない
	る沿岸各地	
ナガウニ	房総半島以南	殻径 4 cm
アカウニ	日本海沿岸は北海道松前以南、太平洋	殻径 5∼8 cm
	沿岸は茨城県日立以南~鹿児島県大隈	
	諸島まで	
アイゴ	国内では下北半島以南の各地	全長 40 cm
イスズミ	南日本に広く分布	全長 70 cm
ノトイスズミ	本州中部以南	全長 50cm
ブダイ	南日本の岩礁域、太平洋沿岸は房総半	全長 45 cm
	島以南、日本海沿岸は隠岐諸島以南	
ニザダイ	太平洋岸は宮城県以南から沖縄県、日	全長 50 cm
	本海側は新潟県以南	
メジナ	北海道南部以南の日本各地	全長 60 cm
サザエ	対馬暖流域(北海道南部~鹿児島県)、	殻高 7~8cm
	黒潮流域(茨城県~鹿児島県)	
コシダカガンガラ	日本全域	殻径3 cm
クボガイ	房総半島~九州	殻径 2.5 cm
アメフラシ	日本全域	全長 10 cm

参考文献

改訂版 磯焼け対策ガイドライン (2015):水産庁

4.6 検討委員会等の設置

4.6.1 漁場の施設の設計手法高度化技術検討委員会

(1)委員の選定

的確かつ効率的な技術的助言・指導を得て研究成果の向上を実現するため、平成27 年度の検討項目を踏まえ、以下の委員を選定した。

●委員会メンバー

		氏	名	所	属	•	役	職	
委	員	大竹	臣哉	福井県立大学 海洋生! 海洋生物資源学科 教	物資液 受	原学	部		
,	1)	岡安	章夫	東京海洋大学大学院 済 海洋システム工学専攻	毎洋和 教打	斗学 受・	技術研 研究科	究科 長	
,	1)	田島	芳満	東京大学大学院 工学;	系研究	究科	社会	基盤学専攻	教授

(2) 検討委員会の開催

・第1回検討委員会
 日時:平成27年10月8日(木) 14:00~16:00
 場所:エッサム神田ホール 601

• 第 2 回検討委員会

日時:平成28年2月19日(金) 13:30~16:30 場所:エッサム神田ホール 601

・第3回検討委員会(委員との個別調整)
 日時:平成28年3月17日(木)大竹委員
 3月22日(火)岡安委員、田島委員

(3)委員会資料

委員会資料及び議事録は、以降にまとめて添付した。

平成27年度

漁港・漁場の施設の設計手法の高度化検討調査漁場の

施設の設計手法高度化技術検討委員会

第一回委員会

議事次第

日 時:平成28年10月8日(木)

14:00~16:00

場 所:エッサム神田ホール

1. 開 会

2. 水産庁挨拶

3.議事

- (1) 趣旨説明
- (2)委員長選出
- (3)調査全体計画
- (4) 着底基質の安定質量算定手法の検討
- (5) 沈設魚礁の安全性の照査法の検討
- (6) 海洋モデルによる流動情報の設計への使用方法
- (7)その他

4.閉 会

平成 27 年度

漁港・漁場の施設の設計手法の高度化検討調査漁場の

施設の設計手法高度化技術検討委員会

配布資料

- 出席者名簿
- 座席表
- 資料-1 平成 27 年度漁港・漁場の施設の設計手法の高度化検討調査 漁場の施設の設計手法高度化技術検討委員会 設立趣旨
- 資料-2 「漁場の施設の設計手法高度化の検討」に関する調査全体計画
- 資料-3 着定基質(石材)の安定質量算定手法の検討
- 補足資料 3-1 「着定基質(石材))の安定質量算定法」補足説明
- 資料-4 沈設魚礁の安全性の照査法の検討
- 補足資料 4-1 沈設魚礁の安全性の性能照査に関する補足
- 補足資料 4-2 沈設魚礁の流体力算定法(たたき台)
- 補足資料 4-3 漁場施設の安全性照査における「移動」について
- 補足資料 4-4 沈設魚礁の現地調査について
- 資料-5 流れによる設計流速決定における海洋モデルの利用方法
- 補足資料 5-1 流れによる設計流速決定における海洋モデルの利用方法に 関する補足

平成 27 年度

漁港・漁場の施設の設計手法の高度化検討調査 漁場の施設の設計手法高度化技術検討委員会

第一回委員会 出席者名簿

	所 属・役 職	氏	名	備	考
	福井県立大学 海洋生物資源学部海洋生物資源学科 教授	大竹	臣哉		
委員	東京海洋大学海洋科学技術研究科研究科長	岡安	章夫		
	東京大学 大学院 工学系研究科社会基盤学専攻 教授	田島	芳満		
北玄白	水産庁 漁港漁場整備部 整備課 課長補佐(総括班担当)	伊藤	敏朗		
小座门	水産庁 漁港漁場整備部 整備課 課長補佐(設計班担当)	内田	智		
	独立行政法人 水産総合研究センター 水産工学研究所 特任部長	明田	定満		
	独立行政法人 水産総合研究センター 水産工学研究所 水産土木工学部 部長	中山	哲嚴		
	独立行政法人 水産総合研究センター 水産工学研究所 水産土木工学部 生物環境グループ グループ長	川俣	茂		
	独立行政法人 水産総合研究センター 水産工学研究所 水産土木工学部 水産基盤グループ 主幹研究員	中村	克彦		
	独立行政法人 水産総合研究センター 水産工学研究所 水産土木工学部 生物環境グループ 主幹研究員	森口	朗彦		
事務局	独立行政法人 水産総合研究センター 水産工学研究所 水産土木工学部 水産基盤グループ 研究員	杉松	宏一		
	(一財)漁港漁場漁村総合研究所 第2調査研究部 部長	伊藤	靖		
	(一財)漁港漁場漁村総合研究所 第2調査研究部 主任研究員	吉野	真史		
	株式会社アルファ水工コンサルタンツ 東京本部 技術部 部長	綿貫	啓		
	国際気象海洋株式会社 技術顧問	滑川	順		
	国際気象海洋株式会社 技術部 銚子事業所 グループリーダー	小林	学		

(敬称略)

漁港・漁場の施設の設計手法の高度化検討調査

漁場の施設の設計手法高度化技術検討委員会

第一回委員会 座席表



平成27年度 漁港・漁場の施設の設計手法の高度化検討調査

漁場の施設の設計手法高度化技術検討委員会 設立趣旨

1. 趣 旨

漁港・漁場の設計については、平成27年度から、従来の「仕様規定型」から「性 能規定型」への移行を果たすとともに、これまでに蓄積された新たな技術的知見を 取り入れることにより、より的確かつ効率的な体系として見直しを行ったところで ある。

その一方、個別具体の設計手法について、これまでの検討で残された課題及び将 来的な課題に対応すべく、 技術の進歩、社会情勢・需要の変化等に応じた更なる 高度化を図るための調査・検討を引き続き行うこととしている。

そのうち、漁場の施設の設計については、昨年度までの検討により、室内実験を ベースにした外力の算定式等が提案されているものの、それらの実海域での実用性 については不明な部分が多く、設計手法への反映には至っていない状況である。

このため、学識経験者からなる検討の場を設置し、昨年度までの検討結果及び整 備後の施設の現状等を踏まえた総合的な検討を行い、漁場の施設の新たな設計手法 の確立を目指す。

2	委	員	会	の	委	員
					_	

	氏 名	所属
禾吕	卡桥 百共	福井県立大学 海洋生物資源学部
安貝	八门 臣成	海洋生物資源学科教授
	网 字 音士	東京海洋大学大学院 海洋科学技術研究科海洋システム
//		工学専攻 教授・研究科長
11	田島 芳満	東京大学大学院 工学系研究科 社会基盤学専攻 教授

3. 主な検討内容

- (1) 着定基質の安定質量算定手法の検討
- (2) 沈設魚礁の安全性の照査法の検討
- (3) 海洋モデルの利用による流れの設計条件の決定に関する検討
- (4) 以上を受けた漁場施設の設計法高度化の検討

4. スケジュール

全体計画3ヵ年のうち、平成27年度委員会を下記のとおり予定する。

平成 27 年 10 月(今回) : 第1回委員会
平成 27 年 12 月(予定) : 第2回委員会
平成 28 年 2 月(予定) : 第3回委員会

「漁場の施設の設計手法高度化の検討」に関する調査全体計画

項目	背景	H26 まで実施済事項	H27 実施予定事項	H27 討議・確認事項	H28 実施予定事項	H29 実施予定事項
着定基質(石	・石を単体で設置する	・算定式の見直し	・算定式の適用性検証	・これまでの検討	・新算定式の設計参考図書	
材)の安定質	場合の安定質量が大き	・水理模型実験	・水理模型実験	の妥当性確認	への反映に向けた検討	
量算定手法の	すぎる	①流れ場、流れ・波共	①群体設置と囲い礁付の	・水理模型実験、		
検討	・砕波/非砕波領域で	存場安定性検討(回	影響検討(造波水槽実	現地実験の内容、		
	安定質量に極端なギャ	流水槽実験~完了)	験)	妥当性確認と指		
※資料-3	ップあり	②波浪場の安定性検	・現地実験	導		
		討(造波水槽実験~	①波浪のより強い場での	・波・流れ共存場		
		単体設置は完了)	現地検証	での適用方法に		
		・現地実験		係る妥当性確認		
		①提案式の現地検証		と指導		
沈設魚礁の安	 山形沖高層魚礁被災 	・水理模型実験	・既往施設への算定式適用	・これまでと今後	・観測結果を基にした数値	・調査結果の総合検
全性の照査法	を契機に流体力算定法	①作用流体力の検討	性検証	の検討の妥当性	解析等による外力算定と	討
の検討	(モリソン式)を模型実	(全体模型)	①現地調査施設抽出(既往	確認	対象魚礁の流体力係数の	・新手法の設計参考
	験で再評価したところ	②流体力係数の検討	整備魚礁安定計算結果	・新手法の妥当性	模型実験による計測によ	図書への反映に向
※資料-4	過小評価であることが	(部材模型)	収集整理)	確認と指導	る新手法の妥当性検証	けた検討
	判明	・最大力係数 C _{Fmax} によ	②抽出施設への作用流体		・必要に応じて水理模型実	
	・円柱前提のモリソン	る流体力算定式提	力把握(波浪・流動観測)		験~砂地盤での沈下・埋没	
	式から複雑な魚礁へ適	案。	 砂地盤での滑動抵抗(造 		過程、新手法への適用検討	
	用可能な代替法必要	・波・流れ共存場への	波水槽での予備実験と		・設計参考図書への反映に	
		適用方法の提案	文献レビュー)		向けた取りまとめの検討	
海洋モデルに	・1/7 乗則等による流速		・海洋モデルを用いた数値	·方向性、数值解	・海洋モデルによる設計流	・調査結果の総合検
よる流れに関	鉛直分布は実現象と齟		解析による予測の可能	析手法の妥当性	速算定の可能性と課題の	討
する設計条件	齿 五 図口		性を検証(福島長期観測	を確認	抽出	・海洋モデルの設計
の検討	・長期流況観測は技術		との対比)		・設計参考図書への反映に	参考図書への反映
※資料-5	的・経費的困難有				向けた取りまとめの検討	に向けた検討

資料一3

平成27年度漁場の施設の設計手法高度化技術検討委員会

着定基質(石材)の安定質量算定 手法の検討

国立研究開発法人水産総合研究センター 水産工学研究所

国際気象海洋(株)

(一部、徳島県との共同研究により実施)

1. 背景(現状と問題点)

現行の石材の安定質量算定式:

$$M = CU^6$$

- *M*:安定質量(kg)、*U*:設計流速(m/s)
- C: 安定質量係数で、
- 1) 砕波領域(有義波高·水深比H_{1/3}/h≥1/2)
 - 〔25 単体で設置
- *C*={5 敷詰密度75%以上の群で設置
 - 1 囲い礁を設けて敷詰密度75%以上の群で設置
- (C値はモルタル底上の玉石での実験値;<mark>補足資料3-1 A1</mark>)
- 2) 非砕波領域(H_{1/3}/h<1/2、流れの場を含む)

C=0.04(検証されていない理論値;補足資料3-1 A2)

問題点

- C値は海底の粗度や石の密度などに依存する 係数で、これらを考慮できれば小さくできる可能 性がある。
- 石を単体で設置する場合の安定質量が大過ぎる(例えば、U=3.0m/sのとき、M=18.2t) ⇒
 生物学的に好ましくても、実施は困難
- 砕波/非砕波領域間でのC値の極端なギャップ



(砂による攪乱、ウニ移動の抑制に より大型海藻の繁茂が期待できる)



囲い礁を設けて群体設置 (基質の安定化により、①隠れ家となる 隙間ができることでウニの棲み場になる、 ②雑海藻が繁茂 ⇒大型海藻の生育が 阻害される可能性あり)

2. これまで(H25-26年度)の検討の概要

算定式の改善海底や石の条件を考慮し、適切な質量算定可能な式へ拡張 (補足資料3-1 A3)

単体設置の場合の安定質量:

$$M_{50} = \rho_s \left[\frac{K_m}{2\mu g \left(\rho_s / \rho - 1 \right)} \right]^3 U^6$$

*M*₅₀:安定質量の中央値
 K_m:石の形状と流れ状態に依存する係数
 μ:静止摩擦係数
 ρ_s、ρ:石と水の密度



・波の場 (造波水槽実験)

- 2.現地実験
- ・提案式の現地検証
- (2~3t級割石10個追跡)

結論 提案式の妥当性が示唆された

- ●提案式は、海底の粗度(摩擦係数)を変えても、 波の場でのKm値は概ね一定(Km=3.5) ⇒式の 妥当性が示唆
- ●最大波動流速と被害率との関係には、砕波領域と非砕波領域で明確な差はみられない⇒
 砕波/非砕波で分ける必要はない
- 流れの場でのK_mは2.3 ⇒ 波の場との極端な ギャップが解消
- ※砕波領域に割石を設置する場合、安定質量は従来に 比べ、大幅(約1/3)に軽減できることが試算され、現 地実験でも追認

2.1これまでの検討(1):回流水槽実験①





実験に用いた砕石100個

砕石100個を用いて、以下の流動条件で、被害率(移動した石の割合)と流速との関係を調べる

流速条件

- 1)非対称振動流(振動流+定常流)
 - 周期8s、5s、12s
- 2)振動流 周期12s
- 3)準定常流

模型条件

砕石平均高さ5cm

2.1これまでの検討(1):回流水槽実験②実験の1例



準定常流における高さ毎の流速の時間変化(7地点平均)

回流水槽実験のまとめ(U_{crit} :被害率10%のときの流速)

準定常流の場合の代表流速:

Case	流れの条件	$U_{\rm crit}({\rm cm/s})$	С	$U = \sqrt{\frac{1}{2} \int_{-\infty}^{h} u^2 dz} = 73 \text{ 6cm/s}$
1	非対称振動流(<i>T</i> =8s)	97.9	0.33	$V_h J_0$
2	非対称振動流 <i>(T</i> =5s)	92.5	0.47	結果の解釈 石の安定性は振動流よ
3	非対称振動流(<i>T</i> =12s)	99.1	0.31	が小さい)ほど、抗力係数は増加して
4	対称振動流(<i>T</i> =12s)	104.6	0.22	U _{crit} が低下。
5	準定常流	73.6	.6 1.185	→ 安全側の値として採用

2.2これまでの検討(2):造波水槽実験①





作用させた波による流速の測定例 x=0cm:実験区間中央、測定高さ:底上7cm^{4-6-a13}

波の条件を変えて、被害率(移動した石の割合)を調べる⇒岸向最大流 速と被害率との関係を検討

6

2.2これまでの検討(2):造波水槽実験② U_mと被害率の関係





エラーバー:95%信頼区間

- ●移動限界流速U_{crit}を被害率10%のU_mとして求める
- 周期によって結果が分かれた(原因不明)玉石底では、安全側の値として3.0s
 以外の周期の値からU_{crit}を求める

2.2これまでの検討(2):各実験条件における静止摩擦係数の測定



摩擦係数: μ=tanθ ここに、θ: 滑り出し直前の傾斜角

各試験底面で、砕石100個について 摩擦係数を測定



摩擦係数の中央値(50%点の値)は 設計標準値に近い。



現在の設計法の根拠となった実験(明田ら1992; モルタル底上の玉石)での摩擦係数も測定

明田ら(1992)の実験とほぼ同形 同大の玉石(約60g)100個 4-6-a15

2. 2これまでの検討(2):各実験条件におけるC値、μの中央値およびKm値

波 /	実験条件	С	μの中央値	K _m	
流れ			(設計標準値) 		平均
流れ	玉石底上の砕石(回流水槽実験)	1.85	0.81 (0.8)	2.3	2.3
波	玉石底上の砕石(造波水槽実験)	5.7	0.86 (0.8)	3.5	3.5
	玉砂利底上の砕石(造波水槽実験)	6.6	0.70	3.0	
	モルタル底上の砕石(造波水槽実験)	15.4	0.66 (0.5)	3.8	
	モルタル底上の玉石(明田らの実験)	25	0.53 (0.5)	3.5	

 湯カF_L 示速U ・ 市力F_D F_D = $\frac{1}{2}\rho C_{L}AU^{2}$ 下 F_D = $\frac{1}{2}\rho C_{D}AU^{2}$ 摩擦力 F= $\mu(W'-F_{L})$ 水中重量 $W' = Mg(1-\rho/\rho_{s})$

石の径D、質量M、面積Aの関係 $M = \rho \rho D^{3} \qquad \qquad \beta \left(M \right)^{2/3}$

$$M = \rho_s \alpha D^3$$

$$A = \beta D^2$$

$$\beta / \alpha^{2/3} lit, 形状による差が小さく、1.2程度$$

$$K_m \equiv \frac{\beta}{\alpha^{2/3}} C_F, \quad C_F \equiv C_D + \mu C_L$$

$$C_D > C_L \tau \mu litht a C_F \sigma g \ell litht a d \tau e \delta \delta \delta c \delta c \delta c$$

4-6-a16

2.2 これまでの検討(2):石材の安定質量算定式(修正案)

従来の算定式との整合性も考慮して以下を提示

 $M = \alpha \rho_s \left[\frac{K_m}{2\mu g (\rho_s / \rho - 1)} \right]^3 U^6$ CIC相当

M:石材の安定質量(t) μ:静止摩擦係数 ρ_s、ρ:石材と海水の密度(t/m³)

K_m: 質量算定係数。石材の形状に依存する実験係数で、波の場及び流れの場での割石の場合は、それぞれ*K_m*=3.5及び*K_m*=2.3としてよい。
 α: 石材の敷き詰め密度に依存する補正係数で、以下を用いることができる。

$$\alpha = \begin{cases} 1 & 単体で設置 \\ 0.2 & 敷き詰め密度75%以上の群で設置 \\ 0.04 & 囲い礁を設けて敷詰め密度75%以上の群で設置 \\ C= 5 \\ C= 1 \end{cases}$$

U:設計流速(m/s)。流れの場では、流速分布を考慮した底面から石材の天端までの二乗平均流速を用いる。実用的には次式で求められるU_cを用いることができる。

$$u(z) = U_0 \left(\frac{z}{z_0}\right)^n \quad \clubsuit \quad U_c = \sqrt{\frac{1}{b} \int_0^b u^2(z) dz} = \frac{1}{\sqrt{2n+1}} \left(\frac{b}{z_0}\right)^n U_0$$

z:底面からの高さ b:石材の高さ U₀:z=z₀における流速 n=1/7

2.2これまでの検討(2)提案式による試算と現地試験地への適用

H_0'	T ₀	<i>h</i> (m)	U _m	従来法によ	提	案式によるま	安定質量(t)	
(m)	(s)		(m/s)	単体設置	群体設置※	μ	単体設置	群体設置※
8	12	8	3.19	26.3 岩礁での標	5.3 準值	0.55 0.8	26.4 8.6	5.3 1.7
		6	2.88	14.3	2.9	0.8	4.6	0.9
3.8	16.6	8.4	3.52	47.6	9.5	0.8	15.5	3.1

 K_m =3.5、海底勾配1/50、 ρ_s =2.60t/m³ ρ =1.03t/m³のとき

従来法質量を基に 逆算された値

こでの設計流速(≫観測流速の最大値⇒過大?)	
------------------------	--

※ 囲い礁なし

徳島県木岐試験地



2012/11/22、2~3トン 級の割石を設置



2014/7/29 (徳島県 4-棚田教生氏撮影)

2014/10/3まで移動はみられない 観測された最大流速は2.6m/s (推定質量の中央値M₅₀=2.1×10³kg の割石が波動流速U=2.6m/sでも移動 しなかったことから、C値は C<M₅₀/U⁶=6.8 と推定され、μ=0.8のときの値C=8.1よ りも小さい。)

3. 改訂に向けての残された課題(論点)

提案式について

- 割石の群体設置と囲い礁を設けた場合の妥当性の実験的検証
 今回は単体設置でしか実験を行っていないため
 係数αで適切に評価できるか?
- 現地での検証

見直しにより安定質量が小さくなるため、より確実な検証データを得る

波と流れの共存場での適用
 実験的検証が困難であるため、運用方法の検討が必要



徳島県木岐での試験では、まだ移 動は確認できていない

観測された最大流速は2.6m/s 割石の推定質量M₅₀は2.1t C= M/U⁶ = 2100/2.6⁶ = 6.8 安定質量が従来(C=25)の約1/3に軽減 できるという提案式からの予想に合致

4.1今年度の検討(1) 模型実験による検証①

方法

底面:1/50斜面、玉砂利底

規則波10波を作用させて1個分以上移動した割合(被害率)を調べる

周期:2.0s、2.5s、3.0s、3.5s

波高:28~40cm

流速:ADVにより測定

これまでの実験で使用した砕石と同形同大で、密度の軽い複製砕石※100個を用い、単体設置のほか、下図の条件で移動限界流速を調べる

※ 模型縮尺をかえずに、実験水槽で発生可能な波で石が動くようにするため



4.1今年度の検討(1) 模型実験による検証② 今年度使用する砕石模型

石膏で型を取り、モルタルより密度の小さい補修補強材(eagle8)で砕石を複製



これまでの実験に用いた砕石 密度:2.5~2.6g/cm³



今年度の実験に用いる砕石模型 密度:1.4~1.6g/cm³

模型実験による検証③ 砕石模型の製作手順 4.1今年度の検討(1)



1)石膏を入れる器に油粘土 を土台に型を取る砕石を入 れる。続いて石膏を流し込む。



2)器から取り出す。



3)器から取り出し、粘土をは ずす。



4)砕石を取り出し、形状を確 認する。



5)砕石を取付け、石膏を流し 込む。模型材量を充填する 穴を確保する。



6)上側の石膏を外す。







8)上側の石膏型を外す。



9)砕石模型を取り外し、はみ 出た部分を整形する。



10)元の砕石と形状が同じで あることを確認。







4.2今年度の検討(2) 現地実験① 割石設置場所



木岐地区では波当たりが強くなる、割石はほとんど動かなかった

4.2今年度の検討(2) 現地実験② 志和岐地区に試験的に設置された割石

2~3トンクラスの割石10個
 徳島県での標準的藻場造成基質
 質量の実測値 範囲:1.16~3.01t、中央値:2.04t

2015/1/26





2015/7/29 加速度ロガー取り付 け直後(割石3個が すでに移動)





4.2今年度の検討(2) 現地実験③ 現地実験の方法

- 台風シーズン前(7月29日)に各 試験割石に加速度ロガーを取り 付け、流速計付波高計1台を近く に設置し、滑動時の波動流速を 調べられるようにする。
- 台風シーズン後(10月予定)に
 回収

移動限界流速を提案式からの

予測と比較



加速度ロガーの設定:測定周波数5Hz、記録トリガー±0.5G

ステンレスカバーを吊り下げ金具に固定





電磁流速計付水圧式波高計 1h毎に2Hzで20分計測

4-6-a25

資料一4

平成27年度漁場の施設の設計手法高度化技術検討委員会

沈設魚礁の安全性の照査法の検討

国立研究開発法人水産総合研究センター 水産工学研究所 (株)アルファ水エコンサルタンツ

国際気象海洋(株)
1. 背景(経緯と現状の問題点)

- ●山形沖での高層魚礁の被災(H15~17年)を契機に、流体力算定法が造波水槽での模型実験で再検討(H19~23) ⇒ 従来法(モリソン式の簡略的用法)は波力を過小評価することなどが判明
- H25~26年度、魚礁の流体力に関する様々な水理模型実験を追加実施。これまでの実験結果と既往知見も含めて問題点を再整理(補足資料4-1, B1)

モリソン式 $F = \frac{1}{2} \rho C_D A(u+U_c) | u+U_c | + \rho C_M V \frac{\partial u}{\partial t}$ $u = U_m \sin \theta$ Fが最大となる θ を求め、最大力 F_{max} を算出 T(1) ρ :水の密度、 C_D :抗力係数、 A:基準面積、u:水平波動流速、 U_c :流れによる設計流速、 C_M : 慣性力係数、V:基準体積、 $\partial u/\partial t$:水粒子加速度、 U_m :波

による流速振幅、θ:波の位相



2. これまでの検討の概要

沈設魚礁(主として高層魚礁)とその構成部材の水理模型実験(造波水槽、回流水槽での実験)により流体力係 数を調べ、以下の結論を得た。

(1)問題の再確認

- ①流体力係数は定数ではなく、KC数の関数として扱う必要がある
- ②従来法は流体力を大幅に過小評価する可能性がある
- ③部材流体力法(構成部材の流体力の合計を礁全体の流体力とする)では、部材間隔が密な大型魚礁の場合、流体力を過小評価する可能性がある

(2)主要な成果

- ①平均部材幅の定義により魚礁のKC数の適正化と部材や魚礁間の流体力係数の比較が可能になった。
- ②全体模型法(魚礁の全体模型を用いた実験により流体力係数を決定)では、魚礁の図心の位置での流速を代 表流速として妥当な推定値が得られる

(3)モリソン式の適用上の新たな課題と代替案

- ①複雑な形状の魚礁でモリソン式の係数 C_{D} 、 C_{M} 、Vを適切に決めることが困難(補足資料4-1, B2とB4)
- ②無次元波力である最大力係数C_{Fmax}は、複雑な構造であっても、KC数に対して単調減少し、定式化しやすい ③平均部材幅D_aを用いてKC数を適切に決めることによって、複雑な魚礁のC_{Fmax}がKC数の高い領域で主要構成



これらの結果と他の設 計基準等を参考に実 用的な見直し案(補足 資料4-2)を策定 KC数 K_c と平均部材幅 D_A の定義 $K_c = U_m T/D$ ここに、 U_m :波動流速振幅、T:周期、D:部材幅 複合部材から成る魚礁では、Dとして次式で定義される平均部材幅 D_A を用いる $D_A = \sum_i A_i D_i / A$ ここに、 $A_i \ge D_i$ はそれぞれ第*i*部材の基準面積と部材幅、Aは魚礁の基準面積: $A = \sum A_i$

2.1 これまでの検討(1) 最大力係数C_{Fmax}による方法の検討

モリソン式
$$F = \frac{1}{2}\rho C_D Au |u| + \rho C_M V \frac{\partial u}{\partial t}$$

代替法(波の場 の場合) $F_{\rm max} = \frac{1}{2} \rho C_{F \,\rm max} A U_m^2$

$$C_{F\max} = \frac{F_{\max}}{(1/2)\rho U_m^2 A}$$

*F*_{max}:最大水平力、*U_m*:最大水平流 速、*A*:基準面積



モリソン式では、基準体積Vを適切に決める必要があるが、多くの魚礁でそれが困難。 代替法では、次元解析的に決められた一つのパラ メータC_{Fmax}で表示。Vを決める必要がない。





kk-21

複雑な構造物で あっても高KC数 のとき、主要構成 部材の値に収束

AS



実験を行った全高層魚礁模型のKC数とC_{Fmax}との関係 (波の場)^{a29}

2.1 これまでの検討(2) モリソン式の代替法(提案式)

実験条件と異なり、実際の設計条件はほとんどの場合、波・流れ共存場。C_{Fmax}による方法を波・流れ共存場へ拡張適用したモリソン式の代替法として以下を提案

ここに、 ρ :水の密度、 C_{Fmax} :最大力係数、A:基準面積、 U_m :波による流速振幅、 C_{DS} :定常流中の抗力係数、 U_c :流れによる設計流速

実際上の問題

- 実際の条件(波が多方向的で、波と流れが交差)ではモリソン式の適用性にも問題あり
- 魚礁の設置海域(陸に近い)で、波と流れの向きが一致することは少なく、暴風時には両者は0°より有意に大きい角度で交差すると考えられ、波と流れの交差角を0°とする仮定は安全側過ぎる
- ●しかし、波と流れの交差角まで適切に定めるのは一般に困難



以上の状況下では、式(3)は実質的な問題もほとんどなく(補足資料4-1, B5)、C_{Fmax}による方法の頑強性と利便性に大きなメリットがあり、最良の選択と考えられる。

3. 改訂に向けての残された課題(論点)

- 従来の設計で滑動安全率が低い沈設魚礁では、移動している可能性が あるが、流体力算定法の見直しの妥当性には、現地での検証が不可欠
- 魚礁は移動しても効果には影響がないので、移動してもよいという意見もある。⇒見直しに際して議論が必要
- 大半の魚礁は砂地に設置され、砂に埋没することにより滑動抵抗が増加 する、または群体設置される魚礁の場合は、単体設置よりも滑動抵抗力 が増加する(現在の設計ではこれらは考慮されていない)という意見もあ る。⇒見直しに際して議論が必要



沈設魚礁の安全性照査の見直しでは、以下を検討 1)流体力算定法(案)の妥当性の現地検証 2)滑動抵抗の再検討(見直しの必要性も含む) 3)移動を許容した設計の是非(補足資料4-3)

4.1 検討計画(1) 流体力算定法の妥当性の現地検討



7

4.2検討計画(2) 滑動抵抗の再検討

- 1)砂質地盤上での沈下・埋没による滑動抵抗
- 27年度は、文献調査と簡単な模型実験により、問題点と方向性 を検討
- 2) 魚礁単体の群体設置による滑動抵抗 28年度以降、文献調査と模型実験により検討

資料一5

1

平成27年度漁場の施設の設計手法高度化技術検討委員会

流れによる設計流速の決定における 海洋モデルの利用方法

国立研究開発法人水産総合研究センター 水産工学研究所

背景(現状と問題点)

現在の方法 流れによる設計 流速の決め方は、沈設魚礁と 浮魚礁で異なる。

沈設魚礁の場合 一般に海図 等に記載されている表層での 最大流速U₀をV2.5(=1.58)倍し て流速の鉛直分布に1/7乗則 を仮定して検討する高さにおけ る設計流速U_cを算定 浮魚礁の場合 右図のとおり 水深によって流速の鉛直分布 を変える。



現在の方法の問題点

- ●U₀を√2.5倍する理論的根拠が妥当性を欠く(補足資料5-1)
- ●海洋の流れ構造は密度成層等により複雑化し、1/7乗則などの単純な理論計算が適用できる場面(一般には成層化していない浅海域)は限られている。

れた便官的な方法

●また、海洋での測流機器は進歩したが、大水深域での長期観測には、今日でも 技術的、経費的困難さがある。

背景(現状と問題点)

海洋モデルとその現状と問題点

- ●設計条件としての流れの速度を適切に決定するための実用的方法として、数値海洋モデル(「海洋モデル」と略記※1)の利用が考えられる。
- ●近年、水深が100mを超える大水深域での増殖場造成の設計が増えており、実際にそのような場合に海洋モデルが利用されつつある。
- ●しかし、海洋モデルについては、「設計参考図書」には記述(※2)がほとんどない。

※1 我が国周辺の海洋モデル

JCOPE 開発機関:(国研)海洋研究開発機構JAMSTEC. 主な目的:大気の天気予報と同様に海 中の天気予報を行い、海洋における現象の理解と予測精度向上を目指すもので、日本列島をカ バーする海洋モデル開発のさきがけ.衛星データ及び現場水温塩分データを海洋循環モデルに同 化し、空間分解能(水平1/12度格子、鉛直46層)で作成された再解析データFRA-JCOPE2が JAMSTECより無償提供.提供データは1993年からの日平均化された値. MOVE/MRI.COM 開発機関:気象庁.主な目的:気象庁の現業運用や温暖化予測、エルニーニョ 等気候予測

FRA-ROMS 開発機関:(国研)水産総合研究センター.主な目的:漁海況予報への活用、水産資源の変動要因解明、有害生物の漂流予測等

※2 現在の「設計参考図書」(p.756)での記述内容 流れは、時間的にも空間的にも複雑に変化する可能性があるため、長期間の流速観測 又は信頼できる流れの数値シミュレーションに基づき適切に定めることが望ましい が、・・・。

背景(現状と問題点)

海洋モデルの利用で想定される主な課題

- 信頼性の評価(観測値による検定方法. どの程度、観測値に適合 すれば利用可能か)。
- 適合性を改善するための手法の整理
- 設計値の決め方
 - 1) 予測誤差の考慮方法
 - 2)データの処理方法(日最大値またはイベント毎の最大値の時系 列処理などが想定)

3)解析期間の長さ

海洋モデルの利用に関する検討内容

目的

海洋モデルを利用した数値解析手法がどの程度の精度で、実際の大水深域(想定水深30~100m前後)での流れを再現できるかを、長期間の流速観測データが得られている海域(主として福島県沿岸を想定)を事例として検討し、「設計参考図書」での記述の充実を図る。

検討項目

- ・再現性、モデルのチューニング方法
- 鉛直分布
- ・推定誤差を考慮した設計流速の決定方法
- 流れの発生要因を考慮した設計流速の決定方法

今年度の検討内容

再解析モデルによる再現性を調べ、今後の検討のための粗解析を行う。

「着定基質(石材)の安定質量算定法」補足説明

A1 明田ら(1992)の実験

現在の着定基質(石材)の安定質量算定法は、明田ら(1992)の実験に基づく。明田らは、造波 水槽において勾配 1/50 のモルタル斜面上での石の安定性について以下の条件で移動限界流速を 調べた。

想定縮尺 1/25

1tの石材の模型として玉石(質量 64g)を用いる

単体設置のほか、下図のように敷き詰め密度を変えた群体設置と囲い礁を付けた場合での被害率 10%における移動限界流速を実験により調べる。



A2 非砕波領域における安定質量算定式

非砕波領域での質量算定係数 C=0.04 は、以下のようにして得られる。 摩擦力と抗力との釣り合いより

$$\mu(1-\rho/\rho_s)Mg = F_s C_D \frac{\rho}{2} U^2 A \tag{A2-1}$$

ここに、 μ :静止摩擦係数、 ρ :海水の密度、 ρ_s :基質の密度、 F_s :安全率、 C_D :抗力係数、g: 重力加速度、U:流速、A:基質の代表面積。Aは、直径dの球体を仮定すれば

$$M = \rho_{\rm s} \pi d^3/6 \tag{A2-2}$$

$$A = \pi d^2 / 4 \tag{A2-3}$$

より、次式で与えられる。

$$A = \frac{\pi}{4} \left(\frac{6M}{\pi\rho_s}\right)^{2/3} \tag{A2-4}$$

式(A2-4)を式(A2-1)に代入して変形すると、次式が得られる。

$$M = \frac{9\pi F_s C_D^{\ 3} \rho_s}{128g^3 \mu^3 (\rho_s / \rho - 1)^3} U^6$$
(A2-5)

 $C_{\rm D} = 0.5$ (球の値)、 $\mu = 0.8$ 、 $F_s = 1$ 、 $\rho = 1.03 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ 、 $\rho_s = 2.65 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ (石の値)、 $g = 9.8 \text{ m/s}^2$ とすると、式(A2-5)は次式となる。

 $M = 0.04U^{6}$ (M と U の単位: kg と m/s) (A2-6)

A3 提案式の導出

一般に、海底に設置された構造物には流れ方向の抗力に加えて流れに垂直方向の揚力が作用する(図 A3-1)。このとき、摩擦力と抗力の釣り合いより、次式が成り立つ。



図 A3-1 石材に作用する力

$$\frac{1}{2}\rho(C_D + \mu C_L)AU^2 = \mu Mg \left(1 - \frac{\rho}{\rho_s}\right)$$
(A3-1)

ここに、μ:静止摩擦係数、A:石材の基準面積、C_D:石材の抗力係数、C_L:石材の揚力係数、M:石材の質量、ρ、ρ_s:海水と石材の密度

石材の代表長さをDとして、その質量と基準面積をそれぞれ

$$M = \rho_s \alpha D^3, \quad A = \beta D^2 \tag{A3-2}$$

で表せば、基準面積は次式で与えられる。

$$A = \frac{\beta}{\alpha^{2/3}} \left(\frac{M}{\rho_s}\right)^{2/3} \tag{A3-3}$$

式(A3-1)に式(A3-3)を代入して整理すると、次式が得られる。

$$M = \frac{\beta^{3}}{\alpha^{2}} \frac{\rho_{s} C_{F}^{3}}{8\mu^{3} g^{3} (\rho_{s} / \rho - 1)^{3}} U^{6}$$
(A3-4)

ここに、C_Fは次式で定義される係数である。

$$C_F \equiv C_D + \mu C_L \tag{A3-5}$$

さらに係数 Kmを

$$K_m \equiv \frac{\beta}{\alpha^{2/3}} C_F \tag{A3-6}$$

で定義すると、式(A3-4)は次式に書き換えられる。

$$M = \rho_s \left[\frac{K_m}{2\mu g(\rho_s / \rho - 1)} \right]^3 U^6$$
(B3-7)

式(A3-7)の右辺の係数 $\beta/\alpha^{2/3}$ は、たとえば、球形の石で $\beta/\alpha^{2/3} = (\pi/4)/(\pi/6)^{2/3} \approx 1.21$ 、また直方体 $D \times D \times 2D$ (流れに垂直な向きの断面積が $D \times 2D$) で $\beta/\alpha^{2/3} \approx 1.26$ であり、石の形状によらず 1.2 程度 になると推察される。 C_F にも μ が含まれているが、一般に C_L は C_D に比べて小さいと仮定でき、 μ による変化(おそらく 0.6–0.9 程度)も大きくないので、式(A3-7)では概ね、石材の形状と流動 条件の違いが K_m により、また底面条件の違いが μ により評価されると考えられる。

沈設魚礁の安全性の性能照査に関する補足

B1 沈設魚礁の流体力算定の現行の方法とその問題点

項目	現行の方法	問題点
流 体 力 F _{max} の算定方法	明記されていないが、以下のモリソン 式に基づく	波・流れ共存場へのモリソン式の適用 に問題が指摘
	$F = \frac{1}{2}\rho C_D A(u + U_c) u + U_c + \rho C_M V \frac{\partial u}{\partial t}$	波と流れが交差する場合などに流体力 を過大評価
	$u = U_m \sin \theta$	
	F が最大となる位相 θ を求め、 F_{max} を	
	算定	
抗力係数 C_D	条件によらず一定	波動流中の C_D >定常流中の C_D
	多くの魚礁で定常流中の模型実験の値	ISO 等の標準的基準 (C_D は Re 数、KC
	が採用	数、相対粗度の関数、流れと波の流速
		比による)と異なる
		波動流中の値を決めるため、造波水槽
		での模型実験が必要
慣性力係数	一律に C _M =2、V=実容積	ISO 等の標準的基準と異なる
CMと基準体積		造波水槽での模型実験が必要
V		複雑な部材で Vを適切に定義するのが
		困難(補足説明 B2 参照)
波動流速 Um	有義波からの算定値(非砕波領域)	不規則波の波群中の最大波で最大流体
		力が発生するため、現行の方法は過小
		評価
流れの速度 U _c	表層での設計流速(=最大流速×1.6)	理論的に問題があり、妥当性の検証が
	から流速の鉛直分布に 1/7 乗則を仮定	ない。海洋モデル、観測機器等の最新
	して推定	技術の利用についての記述がない。

B2 沈設魚礁の基準体積を適切に決めることの困難さ

これまでは基準体積=実容積としているので、設計の実務計算では問題は生じなかったが、モ リソン式を常法にならって適用しようとすると、基準体積を決める際に困難が予想される。

一般に物体に作用する流体力のうち、水粒子の加速度に比例する成分、すなわち慣性力 *F_i*は、 物体の実容積 *V_s*を基準にして以下で表される。

$$F_i = \rho C_M V_s \frac{\partial u}{\partial t}, \quad C_M = 1 + C_a \tag{B2-1}$$

ここに、 C_a は付加質量係数。加速度する流体の中で静止している物体には、物体周辺の流体が乱 されない場合にも、物体の体積分の流体を $\partial u/\partial t$ で加速させるのと同じ力 $\rho V_s \partial u/\partial t$ が働く。その力 に加えて、実際には物体の周辺の流体も引きつられて動くため、その分の力が加わる。式(B2-1) は、加速する流体の中で物体とその周辺の体積 $C_a V_s$ の流体が引きつられて一体となって静止する ことで慣性力が発生することをイメージした仮想的モデルである。式(B2-1)は、大部分が円柱状部 材から成る海洋構造物ではほとんど問題なく適用できるが、構成部材の多くに板材が用いられて いる沈設魚礁では適切な表記でない。

例えば、迎角 90°の二次元平板の付加質量は平板の体積とは無関係で、ポテンシャル流れを仮定した理論では平板の幅 *D*を直径とする円柱相当体積の流体質量 $\rho \pi D^2 l/4$ (ここに、*l*:スパン長さ)になることが知られている。したがって、平板の基準体積 *V*=実容積とすると、*C*_Mが無限大になる可能性もあり、適切でない。そのため、*V* = $\pi D^2 l/4$ として *C*_Mを求められる。しかし、*C*_Mを実際に測定してみると、理論値の 1 よりもかなり大きい値になる(図 B2-1)。これは、平板の両端から境界層が剥離して大きな後流渦(剥離領域)が生じるためである。

大きな剥離領域を伴う板状の部材は、多くの魚礁(図 B2-2)に多用されている(鋼製魚礁では ほとんどの部材が板材)。このため、板材の基準体積を実容積にしてしまうと、*C*_Mが極端に大き い値になる可能性がある。しかし、ポテンシャル流れの場合の付加質量がわかっている板状の部 材は迎角 90°の二次元平板以外はほとんどないし、複雑な形状の板材の *V* を適切に決めることも 容易ではない。

V は本来、任意に定義することができる。しかし、物理的モデルを無視して定義すれば、①必ず実験を行って C_M を決めなければならない、②他の魚礁や部材との C_M の比較ができない、③魚 礁の形状を微修正するときにも実験により C_M を決めなければならない、という問題が生じる。



図 B2-1 平板の K_C-C_Dと K_C-C_Mの関係 記号は造波水槽実験の結果、黒線はその近似式 K_C:KC 数(=U_mT/D、U_mは流速振幅、T:波周期)



B3 モリソン式の適用性と限界

- モリソン式は、波の場、流れの場、波・流れ共存場でも適用できる実用式として広く用いられているが、波・流れ共存場での研究は少なく、適用性が議論されている。
- ・ 波の場の KC 数 K_cは、幅 D の部材に対して K_c=U_mT/D で表される。ここに、T と U_mは波動流 速の周期と振幅である。この無次元数は、波の半周期での水粒子軌道振幅と部材幅との比の大 きさを表す。同じ考えから波・流れ共存場での KC 数(拡張 KC 数という)を定義することが でき、波・流れ共存場での C_Dと C_Mが、拡張 KC 数に対して波単独の場合とほぼ同値になるこ とがいくつかの研究で示されている。
- しかしながら、波・流れ共存場、特に波と流れが交差したり、波が多方向的であったりする場合は、実験例は少ないが、モリソン式では現象を適切に表せないことが指摘されている。

B4 モリソン式を魚礁の設計に用いる場合の課題

- 一つの魚礁が様々な形状の部材から構成されていることから、部材の V は、C_Mが同程度の値になるよう定義することが望ましい。改訂案では、魚礁の主要部材として考えた角柱、アングル、平板、円柱の C_Mが、KC 数>60 の領域で、2.6~2.7 程になるよう、V の定義を検討した。この目標は、交差流の原理(解説 B4-1)等の導入によりある程度達成されたが、迎角が小さい平板(図 B4-1)のように目標からはほど遠い場合もあり、 V の定義に課題が残る。
- 魚礁では、複雑な渦を発生させるための面板、複雑な開口部のある円柱など、上述の代表部材 とは形状がかなり異なる部材も多く採用されている。そのような部材については、標準設計法 (案)では、それらの部材を囲う円柱状の領域をVとして定義する。ただし、この定義は、設 計の便宜を考慮した安全側の(過大な)設計値として提示するもので、その妥当性の検証は今 後の課題である。

解説 B4-1 迎角の影響評価 cross-flow principle の適用 流体力の計算では、"cross-flow principle" (交差流の原理)に基づき、部材軸に垂直な流速と 流体加速度の成分のみが用いられる。この原理は、定常流に適用できることが示されてきた が、振動流中でも α=45~90°の円柱での適用が確認されている(Sumer & Fredsøe 1997)。この ため、交差流の原理は一般に定常流と振動流に適用できる妥当な仮定とされている(API 2005, DNV 2010) $F_N = F_{DN} + F_{IN}$ $F_{DN} = (1/2)\rho C_{DN}A_{N}U_{N}|U_{N}|, \quad F_{IN} = \rho C_{MN}V_{N}\dot{U}_{N}$ $F_x = F_N \sin \alpha, F_z = F_N \cos \alpha$ ここに、 A_N, V_N:法線方向の基準面積と基準体積、 $C_{DN}, C_{MN}: \alpha=90^{\circ}$ のときの C_D と C_M $U_N = U \sin \alpha$ 交差流の原理 法線方向の流体力成分F_Nは、流速の法線成分U_Nで表現され、 流体力係数は迎え角αに独立である。 流れ方向における基準面積 $A=A_N \sin \alpha$ と基準体積 $V=V_N \sin \alpha$ から、 C_D 、 C_M は以下となる。 $C_D = \frac{F_{DN} \sin \alpha}{(1/2)\rho A U |U|} = C_{DN} \sin^2 \alpha$ $C_{M} = \frac{F_{IN} \sin \alpha}{\rho V \dot{U}} = C_{MN} \sin^{2} \alpha$



図 B4-1 振動流水槽での迎角のある平板の C_D 、 C_M の実験値(松本・岡島 2000) $C_D/\sin^2 \alpha \ge C_M/\sin^2 \alpha$ は交差流の原理から求められる $C_{DN} \ge C_{MN}$ に当たり、 迎角が小さい場合 を除き、迎角にほぼ独立 ⇒交差流の原理が適用できる⇒ 平板の基準面積と基準体積を $A=blsin^2 \alpha \ge V=(\pi/4)b^2lsin^2 \alpha$ で再定義すれば、 $C_D \ge C_M$ が迎角と独立になる。ただし、松本・ 岡島の実験では、厚さ t が比較的厚いため、迎角が小さくなると、その影響が無視できなく なり、 $C_D/\sin^2 \alpha = C_{DN}$ 、 $C_M/\sin^2 \alpha = C_{MN}$ の仮定が成立しなくなる。このことが交差流の原理が 適用できない理由の一つとして考えられる。

 モリソン式は、従来一般には円柱構造物に適用されてきた。円柱での C_Dと C_Mは高 KC 数でほ ぼ一定の値に収束し、設計値に採用されている。しかし、鋼製魚礁のように稜角部を有する部 材からなる構造物では、KC 数がかなり高い領域でも C_Mは収束せずに増加し続け、設計値を決 めにくいことが明らかになった(図 B4-2)。



図 B4-2 部材間隔の異なる高層魚礁模型の K_C-C_D と K_C-C_Mの関係 赤線と水色線: 平板とL型アングルの近似式

B5 流体力算定の従来法と見直し案との比較

- モリソン式の代替式(提案式)は、波と流れによる抗力を分けて考えるため、従来の方法より 流体力を小さく見積もる場合がある。しかし実際には、そのような条件は流れの卓越する特定 のrの範囲に限られ、またその低下はわずかである(図 B5-1)。したがって、流体力の過小評 価の危険性は実質的に無視できる。
- 図 B5-1の試算は、流体力算定式の見直しにより、設計流体力がどの程度変わるかを例示する。
 簡単化のため、主要な力の成分である抗力のみを比較している。方法1は設計波動流速の波高を有義波高から最大波高に変えた場合、方法2は波高に加えて、抗力係数を定常流の値から波動流中での値に変更した場合、方法3は提案式である。 ψ=C_D/C_{DS}は高層魚礁の実験における 典型的値として2を仮定した。
- グラフには、各方法と有義波基準の従来法による算定流体力の比をrに対して示した。提案式に相当する方法3は、方法2と方法1との中間に位置する。DNV(2010)の方法は、rが0付近では、方法2の曲線にあるが、r=0.3から方法1の曲線へ乗り換えることに相当し、大きなギャップを生じる。これに対して提案式は、方法2から方法1へ滑らかに移行し、また従来法より算定流体力が小さくなることはほとんどない。



補足資料4一2

1

沈設魚礁の流体力算定法(たたき台)

国立研究開発法人水産総合研究センター 水産工学研究所

沈設魚礁の流体力算定の流れ



<mark>論点1</mark>: α_wの導入の是非。導入 する場合は値をどうするか。 **1 r >0.8のとき、 $U_c^2/(U_c^2+U_m^2)$ >約0.95 **2 r <0.2のとき、 $U_m^2/(U_c^2+U_m^2)$ >約0.95

流体力算定式

流れの場の流体力算定式

F:流体力、 $\rho:$ 水の密度、 C_{DS} : 定常流の抗力係数、A:基準面積、 $U_c:$ 設計流速

波の場及び波・流れの共存場の流体力算定式

最大流体力は、式(3)と式(4)より最大のFを与える時間tを求めて算出するか、式(5)により直接算出する。

モリソン式
$$F = \frac{1}{2}\rho C_D A(u+U_c) |u+U_c| + \rho C_M V \frac{\partial u}{\partial t}$$
 式(3)

代替式
$$F_{\text{max}} = \frac{1}{2}\rho C_{F \max} A U_m^2 + \frac{1}{2}\rho C_{DS} A U_c^2$$
 式(5)

 C_D : 波動流中の抗力係数、u: 水平波動流速、 C_M : 慣性力係数、V: 基準体積、 $\partial u/\partial t$: 水粒子加速度、T: 波の周期、 C_{Fmax} : 最大力係数

流体力算定式の選択

波・流れ共存場では、波動流と流れの交差角θが明らかである場合は、式(6)により求められる合成流速ベクトル方向の波動流と流れの流速成分を用いて流体力を計算する。交差角が明らかでない場合は、 $\theta=0^{\circ}$ を仮定する。流体力算定式には、式(3)を用いることができるが、実用的には代替式(5)を用いてもよい。実際の流体力はrの増加とともに式(3)の算定値よりも低下し、流れの場の算定式(2)に近づく。式(5)はこの変化を実質的に表現できる。

KC数は、式(3)では平均流成分の影響を考慮した式(7)を用いるが、式(5)では波単独の 値(後述する式(11))を用いる。



$$\alpha = \arctan \frac{U_c \sin \theta}{U_m + U_c \cos \theta} \qquad \exists t(6)$$

設計方向の波動流速成分: $U_m \cos \alpha$ 設計方向の定常流流速成分: $U_c \cos(\theta - \alpha)$

s:半周期での流体の水平移動距離

モリソン式におけるC_DとC_Mは、適正な方法によって決定した実験値を用いる。 式(5)は、水平最大力を無次元化した係数を用いる方法である。この方法は、モリソン式 と異なり、波力の位相を求められないが、慣性力係数や基準体積を求める必要がない。

論点3: ベクトルの合成方法の是非

沈設魚礁の流体力係数の決定方法

流体力係数の決定方法には、以下の三つの方法がある。

全体模型法 構造物全体の模型を用いて風洞や実験水槽での流体測定に基づい て決定する方法

- 部材流体力法構造物を構成する各部材が流れの中に単独で存在すると仮定し て各部材の流体力係数を決定する方法。構造物全体の流体力は部材の流体 力の総和として算定する。
- 経験的推定法 試験的にまたは、過去に実海域に設置した同形同大の構造物の 追跡調査から流体力係数を推定する方法

複雑な形状を有する魚礁の流体力係数の妥当な設計値を得るためには、全体 模型法によらなければならない。部材流体力法は、部材間隔が粗い魚礁に適する 方法である。構成部材が単純で、その流体力係数が既知であれば実験を行わず に部材流体力法を用いて決定することができる。しかし、これらの二つの方法が基 づく模型実験では、現場での条件を正確には再現できない。模型の縮尺効果、波 の多方向性、波と流れの交差等により、流体力係数を過大評価する可能性がある。 実海域での流体力係数を求めるためには現地実験が不可欠である。そのための 簡易的方法が経験的推定法である。

流体力係数を決定する際の留意事項1

- 流体力係数(C_D、C_M、C_{Fmax})は、一般にレイノルズ数Re、クーリガン・カーペンター数 (KC数)K_C及び相対粗度の関数であり、流体力係数にはこれらを考慮した適切な設計 値を用いなければならない。
- 抗力係数及び慣性力係数とレイノルズ数との関係は、円柱についてはよく調べられているが、その他の形状の物体についての知見は非常に限られている。
- 抗力係数は、低Re領域では Reの増加に伴い低下するが、あるレイノルズ数の範囲で ほぼ一定の値を示し、臨界レイノルズ数を超えると、激減する。設計条件でのReが臨界 レイノルズ数を超える場合で、実験装置の性能上、その流れを発生できない場合は、安 全側の設計値として亜臨界域の値を用いることができる。
- ・抗力は、物体の全面と背面の圧力差に起因する圧力抗力と、粘性せん断力に起因する 摩擦抗力から成る。大きい抗力は物体背面に形成される剥離領域(後流渦)での圧力 低下に密接に関連した圧力抗力による。物体表面から境界層が剥がれて形成される剥 離領域は、円柱などの鈍い断面形状の物体では、剥離点が変化しやすく、レイノルズ数、 KC数、相対粗度や主流の乱れによっても大きく変化する。しかし、断面形状に鋭い角部 をもつ部材では、剥離点がほとんど変わらないため、抗力係数は、実用的にはレイノル ズ数や表面粗度に依存しないとされる(API 2005)。しかしながら、角型ブロックの抗力 係数が、Reが1.3×10⁵ほどを超えると、激減することを示した実験例があり(高木ら 1991)、円柱の場合と同様に臨界域で大幅に低下する可能性もある。

流体力係数を決定する際の留意事項2

- 抗力係数は定常流中と波動流中で異なることに注意しなければならない。一般に、 C_D>C_{DS}であるため、波が卓越する場で C_D=C_{DS}を仮定すると、主要な外力である波 力が過小評価される。魚礁模型を用いた実験では、波動流中のC_Dが定常流中のC_{DS} の2倍以上も大きいことがあり、この影響は無視できない。KC数が高い領域では、C_D はC_{DS}の値に近づくが、実験によらずC_D=C_{DS}を仮定することはできない。
- 慣性力係数は、抗力係数とともに、モリソン式を実験値に当てはめ、最適値を決定する必要がある(次頁参照)。KC数がある程度高くなると、実験値は、後流渦の形成によって、ポテンシャル理論から求められる付加質量の理論値と大きく異なる。このため、一般に慣性力係数の理論値を用いることは適切でない。
- 実験によって得られた慣性力係数は、基準体積との積で慣性質量を表すものであり、
 基準体積との組み合わせで決められることに注意すべきである。基準体積は、構造の
 多少の変更や他構造との比較ができるようにするため、一般には、部材の基準体積の合計によって表示することが望ましい。しかし、鋼製魚礁等の沈設魚礁では、形状が複雑であるため、適正に決め難い場合があり、任意性を完全に排除できない。そのことから、基準体積の定義も明らかにしておく必要がある。
- 波動流中でのC_DとC_Mは、KC数の関数として表示する。これらの係数は、レイノルズ数 依存にするが、実用的には縮尺模型実験で得られた値を安全側の設計値として用い ることができる。

波動流中での流体力係数の決定方法

実験によって得られたFとuの時系列データより、最小二乗法によって最も当てはまりのよい係数a、bを決定し、適正な基準面積と基準体積から、C_DとC_Mを決定する。



全体模型法の留意事項

- 流体力測定は、底面による壁面効果を考慮し、模型を底面に置いた状態で行う。
- 定常流中での抗力係数C_{DS}は、平均部材幅D_Aに基づくレイノルズ数Re(=U_cD_A/v) を考慮し、回流水槽、風洞等で測定した流体力に基づき決定する。ここに、D_Aは 式(10)で求められる平均部材幅である。
- 流路内に模型を設置すると、模型の閉塞によって流体力係数が変わるため、その 影響がない範囲で実験を行うことが望ましい。その目安は、一般に概ね5%以内の閉塞率とされるが、閉塞率がその目安を超える場合は、既存の文献(省略)を 参考にして流体力係数を適切に補正する必要がある。
- ・波動流中での流体力係数は、造波水槽での水理模型実験によって決定する。その係数はレイノルズ数だけでなく、KC数K_cに依存する。KC数は式(11)で表される。 ー般に、レイノルズ数が低い場合は、抗力係数は大きくなるため、縮尺模型の実験値は安全側の設計値として用いることができる。しかし、その反面、模型縮尺が 小さい場合は、過大な設計値になる可能性があるため、大型造波水槽を用いた 大縮尺の模型実験を行うことが望ましい。
- 基準面積及び基準体積は、一般に部材流体力法に準じて決定する。

魚礁の平均部材幅:
$$D_A = \sum_i A_i D_i / \sum_i A_i$$
 式(10)
ここに、 $A_i \ge D_i$ はそれぞれ第i部材の基準面積と幅
 $K_C = U_m T / D_A$ 4-6-a55 式(11)

9

部材流体力法の留意事項

1)部材の基準面積と基準体積は、設計流速のベクトル方向に対して主要部材 の流体力係数表(後出)を参考にして適正に定める。その際、複数の部材が接合 する場合や接近している場合は、類似する一つの部材とみなす方が適切である。

- 2) 部材流体力法の適用では、以下の項目を考慮しなければならない。
- 流体力係数は、長さ*l*と幅Dの比*l*/Dによって変化する。
- 流体力係数は、部材間隔と魚礁の大きさによっても変化する。
- 流体力係数は、流れ方向の部材間隔が密になるほど、遮蔽効果により低下するが、流れに直交する方向の部材間隔が密になると、逆に閉塞効果により増加する。
- ・定常流中では、遮蔽効果の方が強く影響し、部材の集合体の流体力係数は一般には 単独部材よりも低下するが、波動流中では、閉塞効果の方がより強く影響して単独部 材よりもむしろ増加する。ただし、その増加は、KC数の増加とともに減少し、KC数があ る一定値(概ね80)以上のとき、部材流体力法による算定値に漸近する。
- 魚礁の大きさが小さくなると、閉塞効果は小さくなり、部材流体力の和は安全側の設計 値を与えるが、逆に規模の大きい高層魚礁などの構造物では、閉塞効果により流体力 係数が増加する。
- 3)実用的観点から、以下の二要件が満たされれば、迎え角90°の二次元平板の 値を安全側の設計値として用いることができる。
 - ①構造が揚力を発生し難いこと
 - ②波の場または波・流れ共存場でKC数が高い(K_C >60)こと

経験的推定法の留意事項1

経験的推定法で沈設魚礁の流体力係数を推定する際は、以下に留意する。

- 1) 実海域に設置した魚礁が調査期間に破損、埋没または転倒していないことを明 らかにすること
- 2)その設置地点において、調査期間に魚礁が遭遇した流速の最大値を信頼でき る方法で推定すること

流体力係数は、全体模型法に準じた流体力算定式を用い、推定最大流速と摩擦係数、水中重量(最大流速発生時の予測値)から、流体力が摩擦力に等しいと 仮定して逆算する。逆算に用いる流体力算定式については、波・流れ共存場にお ける信頼できる算定法が確立されていないため、波動流成分または平均流成分 のどちらか一方の卓越成分を最大流速とし、波単独または流れ単独の場合の式 を用いる。

波動流が卓越する(r<0.5)場におけるC_{Fmax}の設計値は、次式により推定できる。

ここに、 $C_{Fmax,UL}$: C_{Fmax} の設計値、 μ :設計に用いた静止摩擦係数、 U_m :構造物が 遭遇した最大流速、A:基準面積、W: U_m 遭遇時における構造物の推定水中重量

経験的推定法の留意事項2

経験的推定法により求められる流体力係数は、その魚礁の上限値を表すもので、安全側の設計値として用いることができる。また、この方法の適用は、同形同大の魚礁に限るものとする。

経験的推定法によるC_{Fmax,UL}は、ある時点までの調査結果に基づく上限値であ り、C_{Fmax}の真値がそれよりも小さくなり得ることを想定している。したがって、その 後の調査でより小さいC_{Fmax,UL}値が得られれば、その都度設計値を更新できる。 C_{Fmax}は、一般にKC数の増加、すなわち波動流速の増加とともに低下するので、 設計波動流速がより大きい場であっても、安全側の設計値であると判断できる。 逆に、設計波動流速がより小さい場合は、C_{Fmax}が過小評価される可能性があ るが、同形同大の魚礁であれば、自動的に安全性が保証される。

様々な部材からなる魚礁の部材の流体カモデル

魚礁の構成部材が単独で存在する場合を想定して、以 下の事項を参考にして流体力係数を適切に定める。

- 基本的部材の流体力係数は、表(後出)を参考にして 定められる。
- 迎え角のある細長い部材では、交差流の原理により、 部材軸の法線方向の流速成分のみを用いて抗力と 慣性力を計算することができる。接線方向の流速成 分による力は一般に無視できる。
- 迎え角90°の円筒のように、内部に流れを遮る空間がある場合の基準体積は、内部空間を含む外周体積とする。
- 細長い部材または板材で、その軸または面が流れに 沿う向きの場合は、基準体積は部材の実容積とする。
- 形状の複雑な部材の基準体積は、水理実験や数値 解析に基づき適正に決める必要があるが、安全側の 設計値として部材幅を直径とする円柱の値を用いて もよい。
- 部材流体力法において、主要でない種々の部材の抗力係数と慣性力係数は、実験や数値解析に基づき決めることができるが、実用的に類似の物体のCosと付加質量の理論値を参考にして決めてもよい。



D:流れに垂直方向の部材幅 A_N:法線方向の投影面積 A:斜材の基準面積

迎角のある細長い部材の流 体カモデル

慣性力係数は、付加質量 m_a から次式で計算されるbを、 式(9)に代入して求められる。 $b=\rho V_r+m_a$ ここに、 V_r :部材の実容積

様々な部材の流体力係数

表1 様々な部材の基準面積(A)、定常流中の抗力係数(Cas)、基準体積(D)及び付加賀量の理論値。

形状。	寸 溃比。	A.,	レイノルス数	Case	V.a	付加質量。	
円柱。	1/d=1		-1	0.63.	1	-0	
	2.		-(0.68.		-1	1
1 yz	5.	1		0.74.)	-1		1
TA	10.,	đ.	0.9×10 ^{4.1}	0.82.	π <i>ά</i> 1/4.		1
4 ()	20.1	10.1	-t.	0.90.	nd.	not.	1
	40.1		-1	0.98.		100	
· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	00 ,1	0.1	10°~2×105	1.00.	10.0	ona 1/4.,	1
正方形角柱。	1/d=1.		1.1	1.05	1 1	al.	
NA	2.)			1.08		-1	
73	4.1	1		1.13.	-30		
T	5.	d.	3.6×10 ⁵ .1	1.14.	π <i>ά</i> [±] 1/4		
a.	10,1			1.25.	.1		3
to the	20.			1.50			3
8 .71	00,1			2.0.		1.51pmd 1/4.	ļ
平板。	1/d=1			1.14.	1	al.	l
	2.) 5.,			1.15		-1	
121				1.22.	-1	-1	3
	10.,	d.	(0.9~3.9)×	1.27.)	π <i>ά</i> 1/4.,	-1	
a	20.1		10.1	1.50.	1	100	
	∞ _{/1}			1.86.1		pπa ² 1/4.1	
L型部材。		1.1					
	1/d=∞,1	đi ,	0,9×10 ⁴ ,	2.0.1	πά1/4	at	

この係数表(未定稿)のほか、二 次元部材(円柱、正方形角柱、 平板、L型部材、十字部材、迎え 角のある正方形角柱と平板)の 抗力係数、基準面積、基準体積、 付加質量及び*C_{Fmax}の一*覧表を 作成する。

2:水の密度。

補足資料4-3

漁場施設の安全性照査における「移動」について

1. 緒言

沈設魚礁、着定基質等の漁場施設の設計では、設計外力に対して、滑動、転倒はともに 起こらないよう検討している。一方、大部分の漁場施設では、多少動いても、機能上の損 失や被害もほとんどないと考えられることから、むしろある程度の移動は許容して、経済 的な設計を行うべきという意見もある。このことは、安全性照査を行う際の前提条件にな るもので、予め明確にしておく必要がある。

2. 設計における許容すべき移動と移動を許容する際の技術的課題

1) 着定基質(割石)における安定質量と移動

漁場施設に用いられる割石は、形のふぞろいさに加えて、自然海底上にそのまま設置す るため、その安定性には大きなばらつきがある。このため、100%近い安全な設計は不経済 で、ある程度の移動は許容すべきである。しかし、どの程度の移動なら許されるかはこれ まで議論されていない。

現在の着定基質(石材)の安定質量算定式は、明田ら(1992)の実験を根拠としており、被 害率 10%での移動限界で定めている。明田らは、「海岸保全施設や港湾の外郭施設であるブ ロック積傾斜堤や離岸堤に使用される捨石や異形ブロックの Kd 値は、背後区域に及ぼす社 会経済的影響等を考慮して、被災率が 1%以下となるように定められる。一方、アワビ・ウ ニ類あるいはイセエビを対象とした増殖場は、天然の岩礁域や転石帯周辺に造成されるこ とが多い。そのため、周辺海域に及ぼす影響や経済性等を考慮して、石材の所要重量は、 石材の被災率が 10%以下となる移動限界流速から検討することとした。」と述べているが、 被害率(被災率)10%を用いた明確な根拠は示していない。

割石は設置初期に最も不安定で、移動すると、より安定な位置に落ち着き、ある程度の 波を受けた後の方が安定化すると考えられる。H25-26年度に実施した着定基質の安定質量 に関する実験では、規則的な波を数波与えて石 1 個分以上の距離移動したものを「被害」 として、設置初期状態を想定して被害率 10%での流速(被災限界流速)から安定質量係数 を求めた。したがって、割石が被災限界流速に繰り返し遭遇しても、被害率が 10%になる のは最初の遭遇時だけで、その後は安定化して割石が連続的に移動する事態にはならない と予想される。

2) 沈設魚礁の滑動に対する安定性

沈設魚礁の設計では暗黙の仮定として、沈設魚礁の滑動に対する安定性は摩擦力と水平 流体力との相対値で評価され、摩擦力は静止摩擦係数から、また水平流体力はその魚礁固

1

有の流体力係数から、決定論的に決められるとしている。つまり、被害率が入り込む余地 のない体系になっている。

3)移動量予測の問題

*CD、CM、*基準面積 *A、*基準体積 *V*は、流れに対する魚礁の向きが回転運動に伴い変化 するため、移動の予測技術を確立するのはかなり困難になる。さらに、移動量の予測には、 暴風時の極大流速だけでなく、時間変化(時系列モデル波形)も必要になるため、信頼で きる予測はさらに困難になる。

4)移動に伴う衝撃力に対する部材強度の問題

魚礁の移動に伴い、これまでの設計では考慮されていないような衝撃力が作用する可能 性がある。移動を許容する場合は、その力に対する部材の安全性を照査する必要があるが、 そのような検討はこれまでなされておらず、別途検討する必要がある。

3. 沈設魚礁が動くこと(滑動、転倒)による効果面での問題

1) 魚礁の機能低下

- (1) 魚礁効果が礁の高さによって発揮される場合
 - A) 礁高が高い一体型の大型魚礁が転倒する場合



図1 高層魚礁の転倒(山形県高層魚礁原因究明検討委員会報告書より)

B) 山積みした魚礁単体からなる群体礁の高さが低下する場合


図2 山積みにした魚礁単体から成る単位魚礁の例(人工魚礁漁場造成計画指針より)

(2) 魚礁効果が魚礁の構造によって発揮される場合

移動、転倒に伴い、構造部材が破損したり、機能部材が脱落したり、あるいは反転によ り機能を失うことにより、魚礁効果が低下することが考えられる。

(3) 魚礁単体の配置によって効果が発揮される場合

単位魚礁の配置間隔は、魚類の行動圏や蝟集効果に影響する重要な要因とされている。 したがって、単体の間隔が顕著に変化して配置に偏りが出るくらいになると、問題が発生 すると思われる。



図3 魚礁の配置例(人工魚礁漁場造成計画指針より)

2) 操業への影響

単位魚礁の配置間隔や配置方向は、操業方法にも影響する。 位置が確認できなくなるほど移動すれば、利用できなくなることも考えられる。

3. 結言

移動を許容する設計は、現時点では技術的に困難であり、また効果の面からも問題が多い。

1. 調查目的

沈設魚礁の魚礁効果を把握する生物モニタリング調査は実施されているが、魚礁設置後に流速を 測定し、魚礁施設の安定性を確認した調査事例はほとんどない。沈設魚礁の設計の見直しでは、実 際に沈設された魚礁の安定性を把握することが必要である。そこで、本調査では、現状の設計方法 で安全率が低い人工魚礁を対象に流速計を設置して最大流速を把握し、沈設魚礁の安定性を検討す ることを目的とする。

2. 対象魚礁の選定について

既設の人工魚礁(増殖礁を含む)の安定性を調査する場合、全国に設置してある魚礁のうち、移動(滑動)の可能性のある安全率の低い施設を選定する必要がある。また、移動(滑動)の有無を 把握するには、施工直後に各人工魚礁の位置情報が記録されていることが望ましい。

安全率の低い施設の選定は、水産庁に保存されている全国の沈設魚礁の安定計算表(H24、H25) から安全率の低い施設を抽出した。また、施工直後の沈設魚礁の出来型管理をどのように実施して いるか、全国の関連自治体にアンケート調査を実施し、施工後の魚礁の位置を面的に把握している 事例を把握した。

(1) 安全率の低い沈設魚礁の選定

平成24年と平成25年に各自治体から提出された沈設魚礁の安定計算表は約220件あった。現地 調査は水深が深いと調査しにくいことから、水深30m以浅に設置された増殖礁、人工魚礁の事例を 抽出した。その結果、安全率が低い事例は表1のように13件が抽出できた。このうち、底質が砂質 土で部材が砂中に没すると安定性が向上する可能性があることから、底質が岩や礫である実施例を 選択すると、4件が抽出できた。滑動の安全率は1.22~1.26であった。

ただし、後述するように、これらの沈設魚礁では施工後の出来型を面的な画像(サイドスキャン ソナーやマルチビームによる設置位置が明確な図)で管理していないことから、調査対象としては 移動の確認に課題があると考えられた。

26年度)
(平成 25 年度、
人工魚礁の事例
水深 30m 以浅に設置された増殖礁、
滑動の安全率が低く、
表1

その色	摘要欄	*** ***	***	0年後空中重量406.416kN	***	***	***	安定計算表の地区名・エ区 名空欄多く正しい位置不明	***	***	***	***	***	***	
举	転倒	3.99	2	2.68 3	2.02	2.09	3.18	12.7 ⁵	1.49	4.75	2.64	6.98	3.35	1.51	
安全	滑動	1.23	1.25	1.27	1.21	1.26	1.23	1.21	1.26	1.22	1.22	1.26	1.22	1.22	
基礎地盤の	地質	小型転石	工复砂	砂質土	砂	砂質土	砂質土	仰	砂質土	濑· 异	泥	礫(大礫・中礫)、転石(一部)	⑭	췞砚	
魚礁重量	W [kN]	26.21	201.7	476.192	423.18	125.14	171.4	334.75	39.78	150.51	79.69	97.77	118.539	125.48	
魚礁高さ	D [m]	0.9	3.25	6.5	5	3.25	3.9	1.95	2	2.1	2.33	1.1	2.3	10	
魚礁/ブロック名	(型式)	SGブロック(2.7t型)	FP魚礁3.25B-400型	SKSリーフ E450LT型 (422B)	FP魚礁5.00型	FP魚礁3.25型	ハニカム魚礁 BH33UQ型	セルブロック3連(B41)	クロスブロック4t型	セル-SDR(B46)型	カルベース付きFP2.00型	セル800-SBR型	シェルナース2.2型(KO534)	スリースターリーフI-9NF	
設計流速	Uo [m/s]	***	0.48	0.474	0.57	1.281	1.316	0.853	2.69	3.48	6.0	2.92	2.921	0.527	
周期	T [sec]	12.5	14	14	15	8.6	8.6	15.5	12.2	13.2	5.15	13.8	4 'L	10	
設計波向	[m] H	5.55	9.51	9.51	8.14	5.33	5.34		6.4	7.46	2.43	6.89	4.25	4.95	
設置水深	[ш] Ч	2.3 - 6.2	26	26	25	30	30	26	12.5	7.0 - 9.0	9.0 - 12.0	3.0 - 7.0	6.30 - 8.60	30	
	.0N	1	2	3	4	5	9	7	8	6	10	11	12	13	

着色部分;底質が砂礫、礫、岩、転石であると移動する可能性が大きい

(2) 計画や実施事例の設計に関する傾向

平成24年と平成25年に各自治体から提出された沈設魚礁の安定計算表のデータから、どのような魚礁(増殖礁)がどのような海域に設置するのか傾向を把握するため、ヒストグラムを作成した。結果を以下に示す

【主要な結果】

・水深 10m までの増殖礁が多く、水深 100m 程度(最深 155m)まで広範囲である。

・底質は砂礫や砂が多い。

・設計波高(有義波高)は6m~10mが多い。最大で15.18m。

・設計流速は 0.5、1.0m/s が多い。最大で 3.48m/s。

・魚礁の高さは5m以下が多い。最大で21mであり、高層魚礁はなかった。

・重量は150kNと大型が多い。最大で715.63kNであった。

・ 滑動の安全率は2以下、転倒は4以下が多いが、滑動で56.06、転倒で104.94と大きな 値の場合もある。





図 1-3 設計波高

図 1-2 底質





図 1-9 滑動の安全率

図 1-10 転倒の安全率

(3) 施工後の沈設魚礁の出来型管理

都道府県によって、沈設魚礁の出来型管理方法が異なる。既設の魚礁の移動を判断するためには、既 設魚礁の設置後にマルチビームやサイドスキャンソナー等で面的に設置位置が確認できていると判断し やすい。そこで、都道府県に出来型管理方法として面的な調査の実施の有無について、アンケート調査 を実施した。その結果を図2に示す。

ほとんどの都道府県では沈設時の報告書およびシングルビームによる音響探査で確認を実施している ことが判った。面的な配置調査は北海道、宮城、兵庫、福岡、長崎で実施していた。ただし、長崎県以 外は、水深が深い人工魚礁が対象であり、一部の魚礁のみの計測であった。

沈設した多くの増殖礁を面的に把握している県は長崎県のみであった。長崎県では平成25年以降施工 された増殖礁をサイドスキャンソナーで出来型を管理している。サイドスキャンソナーはマルチビーム に比較して、位置情報は不正確であるが、底質を判別できるので、施設が砂に埋没したりすると明確に 判別できる。また、魚礁の移動や転倒も周辺施設との相対的な位置から判別できる。

したがって、調査対象は長崎県の調査結果を参考に決定することが良いと考えられた。



図2 沈設魚礁の出来型管理に関するアンケート結果

(4) 長崎県の沈設魚礁(増殖礁)の安定性に関する情報

長崎県では、平成25年度からサイドスキャンソナーで出来型管理を実施している。これまでに調査を20件程度実施しており、対象は増殖礁であり水深30m以浅に設置されたものが多い。その中から増殖礁の移動に関する情報を得た。

野母崎2工区(水深10~12m)は、藻場造成用に設置された増殖礁であり、施工後のH26.2にサ イドスキャンソナーで出来型が確認されている(図3)。この施設は、捨石マウンド上に増殖礁とし て食害防止用のカゴ付きのコンクリートブロックが設置されている(図4)。魚礁メーカーの潜水調 査により移動・転倒が確認され、H26.7の台風時に捨石の移動に連動してブロックが移動したと考 えられている。H26.10にサイドスキャンソナーで再調査が実施され、ブロックの転倒を確認してい る(図3、図5)。なお、ブロック重量は83.6kNであり、安定計算では、滑動の安全率は1.83、転 倒の安全率は2.11である。



図3 野母崎2工区の施設配置確認図(S-1)(台風前後のサイドスキャン画像)



図4 k-hat リーフ B型





 $\overline{7}$

図5 状態確認図

平成 26 年 7 月の台風 8 号時の波高記録(伊王島のナウファス計測結果)を図 6 に示した。 7 月 10 日 には有義波高で 5.32m を記録した。



図6 平成26年7月の波浪(伊王島ナウファスデータ)

同海域の沖側(水深 23~24m)には砂地盤に直接設置された増殖礁(野母崎 3 工区)がある。台風 8 号通過後の H26.11 に実施された ROV 調査によるとブロックの移動等はないことが確認されている。

3 工区の魚礁は <u>FP 魚礁 1.5G 型が 2 段</u> に設置されている。その後、波浪によって移動しなければ、2 段のままで維持されるはずである。単体で設置されているとブロックの移動は判別しにくいが、2 段積み であればブロックの移動が分かりやすいと考えられる。

ブロック重量は 94.482kN であり、滑動の安全率は 1.26 (摩擦係数 $\mu = 0.5$; コンクリートとコンクリート)、転倒の安全率は 5.02 と算出されている。



図7 野母崎3工区の施工直後の状況

以上から、調査場所としては、すでに移動が確認されている野母崎2工区と2段積みで移動がわかり

易い3工区を選定することとした。

- 3. 調査の内容
- (1) 調査時期

9月17日に流速計の設置を実施した。バッテリーは2ヶ月以上持つので、11月下旬~12月上 旬まで継続調査を実施する。

(2) 流速測定

野母崎2工区(水深約12m)には波高計(WaveHunter)を設置した。3工区(水深約24m) に流速計(ADCP)を設置した。

- (3) 潜水による魚礁の状況調査 流速計の回収時に、対象とする魚礁群において潜水調査を実施し、洗掘、埋没、移動、転倒の 状況を確認する。
- (4) マルチビーム等による魚礁の位置の確認
 波浪観測終了後、マルチビーム等を使用して測量を実施し、沈設魚礁の移動・転倒・滑落等の
 確認を行うこととする。
- (5) データ解析

得られたデータを解析し、最大流速の発生時の波高や流速値を把握する。また、伊王島のナウ ファス記録(波高)との相関をとる。





3 工区 (ADCP)



カゴ付ブロック



位置図

図8 流速計設置状況(9月17日)

参考資料

【平成26年8号台風の概要】

7月3日に発生し、7日には930hPaまで気圧が下がった。大型で非常に強い台風になり、9~10日にかけて野母崎付近を通過した。9日は最大風速40m/s、10日は最大風速25m/sになった。



流れによる設計流速決定における海洋モデルの利用方法に関する補足

最大流速を√2.5倍する理由とその問題点

中村(1983)は、最大流速は短期間の測得潮流から調和分解により合成流速として予測可能 であるが、その予測潮流には数10分程度の変動流速を含まないとして、その値を、コロモゴ ロフの理論から慣性領域のエネルギーから理論的に求め、以下の補正式を提案した。

 $U_c = KU_z$

 $K = \sqrt{2.5}$

Kの値は、等方乱流場では合成流速の2乗はエネルギーに比例することと、エネルギーの流入部分(図中のA)が矩形で、慣性領域(図中のB)へエネルギーが渡されると仮定したとき にエネルギー比(A+B)/A=2.5になることから導かれる。

この補正式には、Aの領域が矩形であるという仮定は成り立たないこと、潮流は波動であり、エネルギーが乱流によって散逸する流れとは異なることなどが問題として挙げられる。



漁港・漁場の施設の設計手法の高度化検討調査漁場の施設の設計手法高度化技術検討委員会

平成 27 年度第一回委員会の指摘と対応

指摘者	指摘事項	対応
大竹委員長	・着底基質と沈設魚礁2種の検討で漁場施設全体を概ね網 羅できるのか設計システムを確認してほしい。	漁場施設全体は網羅されてい ないが、ご指摘の二つが多くの 漁場施設の設計手法の基礎と なっている。またそれらの見直 しにはまだ多くの課題が残さ れているため、集中的な検討が 必要と考えている。
大竹委員長	・異なる縮尺の実験で相似則を確認すべきである。	優先順位の問題はあるが、必要 に応じて次年度以降の課題と したい。
岡安委員	・現地実験で縮尺を 1/1 ではなく 1/2、1/3 とすればもっと 適切な検討ができるのではないか	現地試験の石は事業の付属で 設置して頂いたものであり、小 型の石の設置は要望したもの の不可能であった。 なお、小型の石でも設置には重 機が必要であり、また適切な実 験のためには石の形状等の不 揃さを考慮して相当数のサン プルの確保も必要となるため、 大がかりな工事になり、本事業 単独での実施は難しい。
大竹委員長 岡安委員	 ・新算定式の Cfmax がかかる項は物理的な意味が説明できないのではないか。 ・従来式のモリソン式にも問題があり、現実論として提案式を使うのは良いかもしれないが理論的な補強が必要。 	・第2回委員会資料、資料 4-1 で説明する。
大竹委員長	・コンクリート魚礁も提案式が適用できるか。	そのように考えている。また今 年度からは、コンクリート魚礁 を対象として検討を行うので、 その適用性についても明らか にできると考えている。
岡安委員 大竹委員長	 ・計算結果の精度がどの程度なのか見てみないとわからない。 齟齬が無いなら良いのではないか。ただし、大水深の流速データはその分野の先生の協力が必要。 ・まずは計算と観測の比較が必要。海洋モデルの設計への適用はその先の話だろう。 	・第 2 回委員会資料、資料 5 で説明する。
田島委員	 ・海洋モデルの計算の推定誤差が、設計に対してクリティカルなものとなるのか。誤差の評価が必要。 	・推定誤差自体を評価した例が ほとんどないため、なるべく多 くの事例を挙げて検討したい。

漁港・漁場の施設の設計手法の高度化検討調査漁場の施設の設計手法高度化技術検討委員会

議 事 抄 録

日時:平成 27 年 10 月 8 日 (木) 14:00~16:00 開催場所:エッサム神田ホール

(1)開会

◎事務局((一財)漁港漁場総合研究所 伊藤部長):

委員会を始めさせていただきます。本日はお忙しい中、委員の先生方ご出席いただきありがとうござ いました。これまで3年間性能設計ということで検討を進めてきたが、残された課題について更に3か 年かけて委員会で指導をいただきながら検討していきたい。

(2)水産庁挨拶

◎水産庁(伊藤課長補佐):

漁港漁場設計基準は12年ぶりに見直した。その成果として漁港漁場施設の設計参考図書を7月に公表 した。これは、学識経験者の指導を受けて3年間検討し、従来の仕様規定から性能規定の設計体系へと 転換するとともに、過去10年間の新たな知見を反映させた。しかし、漁場施設については3か年で議論 が尽きず課題が残ったため、更に3年間委員会を立ち上げて設計の高度化検討を進めたい。ついては、 委員の皆様からご指導をいただきたく、よろしくお願いします。

(2)出席者紹介

◎事務局(漁村総研 伊藤部長):(省略)

(3)委員長選出

◎事務局(漁村総研 伊藤部長):

ここで委員長を選出したいが、過去3か年調査の漁場WG座長をされていた大竹先生を推挙したい。 ご承認いただけたので大竹先生に委員長をお願いしたい。

◎大竹委員長:

3 年間 WG 座長を務めてきたが、まだ議論が足りないと判断されてこの委員会を立ち上げたと承って いる。皆様の協力の下、良い成果を上げたくよろしくお願いします。

(4)趣旨説明、調査全体計画

◎事務局(漁村総研 吉野主研):資料-1、資料-2:(省略)

◎質問·意見:

◎大竹委員長:

漁場施設は様々な形態があるが、議論の柱を着底基質の安定性、沈設魚礁の安全性、海洋モデルの3 本に設定した根拠を教えてほしい。また、設計条件(外力)と設計方法は分けて考えるべきではないか。

◎事務局:(水工研 川俣G長)

殆どの施設の設計法において、着底基質の安定性と沈設魚礁の安全性の記載を参照すべきとなっている。そのため、これらの施設を検討すれば概ね網羅できる。設計条件と設計方法を切り離すのは難しいと考える。

◎大竹委員長:

本当に2種の施設の検討で網羅できるのか設計システムを確認してほしい。また、昨年度までの改訂で何が変わったか明確にしてほしい。

◎事務局:(漁村総研 吉野主研):

システムチェック、3論点抽出について再度明確化する。

(5) 着底基質の安定質量算定手法の検討

◎事務局(水工研 川俣G長):資料-3:(省略)

◎質問·意見:

◎田島委員:

回流水槽実験は周期が 5~12s と実際に近いが、それで石材模型が小さいと加速度が効いて付加質量が かわる。その辺どう考えるか。周期が小さくなると加速度が効くようになり、実際に C が T=5s で最大 0.47 になっている。注意すべき。

◎事務局:(水工研 川俣G長)

振動流だとCが小さくなるが準定常流で1.85と大きくなるので安全側になり問題ない。加速度が効く 状況は造波実験で検討する。

◎大竹委員長:

異なる縮尺の実験はできるか。それにより相似則を確認すべきである。

◎事務局:(水工研 川俣G長)

今年度は難しい。次年度の課題としたい。

◎田島委員:

p.5 の被害率 10%の流速 Ucrit の定義を教えてほしい。

◎事務局:(水工研 川俣G長)

模型石が動く直前の最大流速である。

〇岡安委員:

現地実験で縮尺を1/1ではなく1/2、1/3とすればもっと適切な検討ができるのではないか。

◎事務局:(水工研 川俣G長)

調査サイトである徳島県で入手できる石の規格による。調査費用の面もある。

◎水産庁:(内田課長補佐)

異なる縮尺による水理模型実験、現地実験両者ともに次年度以降の課題としたい。

◎田島委員:

最終的に砕波、非砕波を分けないならば、非砕波の安定質量が従来より(0.04×U⁶)大きくなることが予 測されるので注意が必要。また、p.10 で設計流速として 1/7 乗則を用いているが、これは海洋モデルの検 討が活かされて変更することがあるのか。

◎事務局:(水工研 川俣G長)

着底基質整備海域の水深は浅いので、1/7乗則を前提として使っている。

◎岡安委員:

p.10の設計流速算出において、砕波・非砕波でのZoの取り方がキーとなる。砕波帯の流速鉛直分布は良くわかっていない。

◎事務局:(水工研 川俣G長)

波の場は境界層が薄いので底層流速、流れの場は1/7乗則を使うことで考えている。

〇岡安委員:

安定質量が U の 6 乗になるので、少しの流速の差が質量に大きく反映される。それによる経済的な変 化も考えておく必要がある。また、被災した際の金額も考慮して費用対効果的な検討が必要だろう。

◎大竹委員長:

被災事例があれば、その金額を検討すべき。また、着底基質が動いているかどうかも今後検討すべき。

◎水産庁:(内田課長補佐)

最近は着底基質の移動がわかるようになってきたので、今後できるだけ確認したい。

(6)沈設魚礁の安全性の照査法の検討

◎事務局(水工研 川俣G長):資料-4、(アルファ水工 綿貫部長):補足資料-4.4(省略)

◎質問·意見:

◎岡安委員:

高層魚礁を現地調査対象としなかった理由は何か。

◎事務局:(水工研 川俣G長)

高層魚礁は水深が深いので調査しにくい。また、高層魚礁は鋼材の組合せなので設計手法の変化に柔軟に対応できるが、コンクリート魚礁は型枠で形状が決まるので設計手法による影響が大きいという理由による。

◎田島委員:

実際に動いた原因は、設計波を Hmax としていなかったからなのか。それとも算定式の問題なのか。

◎事務局:(水工研 川俣G長)

両方だと考えている。算定式の係数も定常流・振動流で変わってくるので、その辺も重要と考える。

◎田島委員:

新算定式の Cfmax がかかる項をあえて流速の2 乗とする理由はなにか。

◎事務局:(水工研 川俣G長)

魚礁の形状は複雑なので、基準体積 V を適正に設定できない。そのため2 乗の式を提案した。

◎大竹委員長:

新算定式の Cfmax がかかる項は物理的な意味が説明できないのではないか。

◎岡安委員:

従来式のモリソン式を徹頭徹尾使い続けるのは問題があり、現実論として提案式を使うのは良いかも しれないが理論的な補強が必要。

◎事務局:(水工研 中山部長)

基本的に、水理模型実験によって Cfmax の適用性を確認していく考えである。

◎大竹委員長:

コンクリート魚礁もこの提案式で良いのか。また、可能なら実海域での1/2、1/3実験を行ってほしい。

◎事務局:(水工研 川俣G長)

大丈夫と思うが、実験で確認する。実海域試験は難しい面があるが検討する。

〇岡安委員:

部材として水平板があるならリフトフォースも考慮すべき。

◎事務局:(水工研 川俣G長)

注意事項とする。

◎水産庁:(内田課長補佐)

魚礁メーカーは、既往の算定式で困ったことは無いと認識している。そのため、昨年度までの成果は 設計参考図書に反映しなかった。今回明らかになった被災が補足資料 4-4 である。算定式を改訂するなら ば、こんなに困っていることがあるから改訂するというストーリーが必要。

◎田島委員:

Hmaxの使用が、算定式の改訂より支配的になる可能性もある。そこで設計に困ったことが無いというなら少々危険だろう。

◎事務局:(水工研 川俣G長)

流れのベクトル合成を全て1方向にまとめていた経緯もあるので、単純に大きくなるとは考えていない。

◎事務局:(水工研 中山部長)

ちょっとした時化で施設が動き、その上で少し砂に埋まり、より安定化するプロセスもあるだろう。

◎大竹委員長:

砂に埋まって安定化する現象については次回の議論とする。

(7)海洋モデルによる流動情報の設計への使用方法

◎事務局(水工研 川俣G長):資料-5(省略)

◎質問·意見:

◎岡安委員:

計算結果の精度がどの程度なのか見てみないとわからない。齟齬が無いなら良いのではないか。ただ し、大水深の流速データはその分野の先生の協力が必要。

◎水産庁:(内田課長補佐)

この項を論点にした理由を、もう少し丁寧に説明してほしい。

◎大竹委員長:

まずは計算と観測の比較が必要。海洋モデルの設計への適用はその先の話だろう。

◎田島委員:

計算の推定誤差が、設計に対してクリティカルなものとなるのか。誤差の評価が必要。

◎事務局:(水工研 川俣G長)

流速を1.2倍するなどして過小評価を防ぐことを考えている。

(8)その他

◎水産庁:(伊藤課長補佐)

設計法の検討を行うとともに、それによって波及する費用対効果にも配慮して検討を進めてほしい。

(9)閉会

◎事務局((一財)漁港漁場総合研究所 吉野主研)

以上いただいた意見を基に検討を進める。委員の皆様におかれては、今後もよろしくご指導を賜りた い。

漁港・漁場の施設の設計手法の高度化検討調査漁場の

施設の設計手法高度化技術検討委員会

第二回委員会

議事次第

日 時: 平成 28 年 2 月 19 日 (金)

13:30~16:30

場 所:エッサム神田ホール 601

1. 開 会

2. 水産庁挨拶

3. 議事

- (1)調査の背景と本調査の検討項目について
- (2)前回委員会の指摘と対応
- (3) 着底基質の安定質量算定手法の検討
- (4) 沈設魚礁の安全性の照査法の検討
- (5) 海洋モデルによる流動情報の設計への使用方法
- (6) 今後の課題
- (7)その他

4.閉 会

漁港・漁場の施設の設計手法の高度化検討調査漁場の 施設の設計手法高度化技術検討委員会 第二回委員会

配布資料

- 出席者名簿
- 座席表
- 資料-1 調査の背景と本調査の検討項目について
- 資料-2 第一回委員会の指摘と対応
- 資料-3 着定基質(石材)の安定質量算定手法の検討
- 資料-4 沈設魚礁の安全性の照査法の検討
- 補足資料 4-1 沈設魚礁の安全性の性能照査に関する補足
- 補足資料 4-2 漁場施設の安全性照査における「移動」について
- 資料-5 流れによる設計流速決定における海洋モデルの利用方法

漁港・漁場の施設の設計手法の高度化検討調査 漁場の施設の設計手法高度化技術検討委員会

名簿
孑

	所 属 · 役 職	氏	名	備	考
委員	福井県立大学 海洋生物資源学部海洋生物資源学科 教授	大竹	臣哉		
	東京海洋大学 海洋科学技術研究科 研究科長	岡安	章夫		
	東京大学 大学院 工学系研究科社会基盤学専攻 教授	田島	芳満		
水産庁	水産庁 漁港漁場整備部 整備課 課長	吉塚	靖浩		
	水産庁 漁港漁場整備部 整備課 課長補佐(設計班担当)	内田	智		
	水産庁 漁港漁場整備部 整備課 漁港漁場専門官	朝倉	邦友		
	独立行政法人 水産総合研究センター 水産工学研究所 特任部長	明田	定満		
	独立行政法人 水産総合研究センター 水産工学研究所 水産土木工学部 部長	中山	哲嚴		
	独立行政法人 水産総合研究センター 水産工学研究所 水産土木工学部 生物環境グループ グループ長	川俣	茂		
事務局	独立行政法人 水産総合研究センター 水産工学研究所 水産土木工学部 水産基盤グループ 主幹研究員	中村	克彦		
	独立行政法人 水産総合研究センター 水産工学研究所 水産土木工学部 水産基盤グループ 研究員	杉松	宏一		
	(一財)漁港漁場漁村総合研究所 第2調査研究部 主任研究員	吉野	真史		
	株式会社アルファ水工コンサルタンツ 東京本部 技術部 部長	綿貫	啓		
	国際気象海洋株式会社 技術部 銚子事業所 グループリーダー	小林	学		
	国際気象海洋株式会社 技術部 グループリーダー	門复	安曇		

(敬称略)

漁場の施設の設計手法高度化技術検討委員会

第二回委員会 座席表



平成27年度 漁港・漁場の施設の設計手法の 高度化検討調査 漁場の施設の設計手法高度化技術検討委員会

~~調査の背景と本調査の検討項目について~~

1.漁場造成施設設計の歴史

漁場施設設計の歴史の概要 漁場施設の歴史の概要 ● 1978以前: ● 1868~: →各種研究事例、文献(水産増養殖叢書26人 →沈船、割石、樹木、素焼土管 工魚礁の理論と実際(1976))等による設計 →個人事業、漁業者共同事業 ● 1978~: ● 1930年代~: →「沿岸漁場整備開発事業構造物設計指針」 →コンクリートブロック魚礁(1) (日本水産資源保護協会) →沿岸漁業振興対策事業における築磯 ● 1984~ 1952~ →「沿岸漁場整備開発事業構造物設計指針」 →浅海開発事業(築磯事業) (全国沿岸漁業振興開発協会) ● 1954~ 1992~ →コンクリート限定で人工魚礁を築磯から独立、 →「沿岸漁場整備開発事業施設設計指針」 1~4m規模一体型ブロック(2、3) (オレンジ本、全国沿岸漁業振興開発協会) ● 1974~ ● 2003~ →沿岸漁場整備開発法施行 「漁港・漁場の施設の設計の指針」 →大型・複雑形状(④)の人工魚礁整備が普及 (黒本、全国漁港漁場協会) →組立コンクリート、鋼材、FRP等の普及 ● 2014~ ● 1995~ 「漁港・漁場の施設の設計参考図書」 →35m超高層魚礁普及(⑤) • 2001~ (2) 4-1~18m (1)→漁港漁場整備法 \triangleleft →漁港・漁場の一体整備 F (3) **(4**) (5)

-6-a88

2.漁場造成施設の設計に関する近年の議論

◇実務に関する課題

◇要素技術に関する課題



3.魚礁の外力の把握及び安定性評価の課題

- ◇波浪・流況の把握に関する課題
 漁場施設に作用する流体力
 =波浪流+潮流+恒流
- ①波浪流:日本全国で概ね設定済みの漁港・港湾の 設計波から微小振幅波理論により所定の水深の流 速算出
- →H_{1/3}からH_{max} (≒1.6~2.0H_{1/3}) へ変更?流速は波 高に比例するため流体力へ与える影響大。
- 2潮流:整備位置における15昼夜流況観測または数 値解析等により所定の水深の流速算出
- 3 恒流:季節・年変動があるが整備位置における15昼 夜流況観測より所定の水深の流速算出、または②と 併せて海流とし、海図に記載されている流速を基に 1/7乗則で所定の水深の流速算出
- →観測結果と1/7乗則とは乖離。ただし観測で恒流の 最大値を得るには長期観測が必要でコスト的に困難。 数値解析(海洋モデル)が有望と考えられる。
- ④安定性:以上の課題がありながら漁場施設の被災 情報が少ないのは、1)波浪流過小、潮流・恒流過大 でバランス?、2)没水施設なので顕在化しないだけ、 という可能性もある。

適性な外力設定が必要

◇安定性評価に関する課題 モリソン式の適用性再検討



C_D:抗力係数、ρ:海水の密度、A:流れの方向の投影面積、u:流速、C_M:慣性 力係数、V:水中物体の体積

①慣性力係数C_Mの扱い:

C_Mは部材の形状、KC数(=u・T/D、T:波の周期、D円柱の直 径)、表面粗度によって変化する。沈設魚礁の部材はL 字、角柱、板と様々であり、更には生物付着による粗度 の変化もあるため、適正なC_Mの設定が困難である。 2慣性力項の体積Vの扱い:

モリソン式は円柱を前提としているが、沈設魚礁の部 材はL字、角柱、板と様々であり、その体積を実際に求 めることも困難である。

③施設全体に作用する流体力の積分:

沈設魚礁は大量の細かい部材の集合体であるため、 それぞれのC_M、Vを求めて施設全体に作用する流体力を 求めることは非常に難しい。

適性かつ簡略な安定性評価法が必要

両者を組み合わせた適性・妥当な施設設計手法の提案が求められる

4.本調査の検討項目概要

(1) 沈設魚礁の安全性の照査法の検討

・昨年度までの成果と課題

【成果】

①基本部材(角柱、L型アングル、平板)の流体力係数(C_D、C_M、C_{Fmax})の検討:KC数の関数として定式化

- ②従来法、全体模型法及び部材流体力法による流体力(波力)算定の比較検討(造波水槽での高層魚礁模型の滑動実験)
 - ・従来法: 流体力を大幅に過小評価する可能性大
 - ・全体模型法: 礁高/水深比が高い魚礁であっても、図心の高さでの水平流速を代表値として算定される水平流体力と摩擦 カから滑動限界を適切に推定できる
 - ・部材流体力法: 小型または部材間隔の粗い魚礁の場合は、波力を多少過大に算出する(安全側の設計としてそのまま利用できる)が、部材間隔の密な大型魚礁の場合は波力を過小評価する可能性がある

③モリソン式の代替法の検討

形状の異なる高層魚礁模型のKC数と最大力係数C_{Fmax}との関係の整理。設計のための定式化と推奨値の提示 【課題】

①波・流れ共存場での流体力算定法とその妥当性の現地検証、②滑動抵抗の再評価

・本調査での実施事項と見込まれる成果

①波·流れ共存場での流体力算定法とその妥当性の現地検証 【調査内容】

- ・全国の沈設魚礁(増殖礁も含める)の中から、検証に適した魚礁を探索(調査対象として2カ所選定)
- ・調査対象施設での波高・流速観測と魚礁の移動状況の把握(潜水目視及びマルチビームソナーによる)
- ・(1)遭遇した最大流速と最大流体力の推定、(2)水理模型実験による対象施設の流体力係数の測定 ⇒ 従来法と提案法に よる遭遇した最大流体力の推定

【見込まれる成果】

流体力算定の従来法と提案法の妥当性の検証

②滑動抵抗の再評価

【調査内容】

・魚礁の沈下・埋没に関する文献調査と模型実験(本実験は必要に応じて実施)による検討

・魚礁の群体設置に関する文献調査及び模型実験(本実験は必要に応じて実施)による検討

【見込まれる成果】

滑動抵抗の算定法の見直しの必要性と必要な場合の見直し案の策定



(2) 着定基質(石材)の安定質量算定手法の検討

・昨年度までの成果と課題

【成果】

①単体設置の場合の石材の安定質量について、石材の密度と底質条件を考慮できる拡張式の導出 その妥当性の模型実験による検証(被害率10%で定義した被災限界流速から係数を決定)

$$M = CU_m^6 \longrightarrow M = \alpha \rho_s \left[\frac{K_m}{2 \mu g (\rho_s / \rho - 1)} \right]^3 U^6$$

(従来法との整合性を図るため、群体と囲い礁 付設置の場合の係数をαで補正)

②底面最大流速算定法の検討

合田のモデルにより求められる最大波高(H_{1/250})から非線形波理論(フーリエ近似法など)または微小振幅波理論により不規 則波(砕波領域を含む)による底面最大流速を計算する方法の妥当性を実験的に検証し、後者の妥当性を確認。 【課題】

①割石の群体設置と囲い礁を設けた場合の妥当性の実験的検証、②現地での検証、③波・流れ共存場での適用

・本調査での実施事項と見込まれる成果 ①割石の群体設置と囲い礁を設けた場合の妥当性の実験的検証 【調査内容】 群体設置(50%、75%、100%)、囲い礁付群体設置(75%)の水理模型実験 【見込まれる成果】 試験底面 試験底面 囲い礁 敷詰密度、囲い礁有無に応じた提案式αの値 ②現地での検証 囲い礁付群体設置 群体設置 【調査内容】 (敷き詰め密度75%) (敷き詰め密度50%、75%、100%) 徳島県志和岐地区にて割石への加速度ロガーの取付と波高・流速計設置 【見込まれる成果】 移動限界流速を提案式からの予測と比較 ③波・流れ共存場での適用 【調査内容】 赤字:今回委員会 安定計算書を入手し、提案方法による事業への影響の評価 の報告・協議事項 【見込まれる成果】 提案手法の妥当性確認、見直しに伴う事業への影響予測 4-6-a92

・昨年度までの成果と課題

【成果】

①陸棚域(80~180m)でのADCPによる観測流速と数値海洋モデル(FRA-JCOPE2;入手データは日平均値)及び海洋潮汐モ デル(NAO.99Jb)による予測流速との比較。底層流速が極大化時に表層よりも大きくなる場合と、長周期成分(潮汐モデルでも 再現されていない)がむしろ恒流成分よりも卓越する現象を確認。

②深海(>200m)では、数値海洋モデル(FRA-JCOPE2)による予測流速が実測流速(浮魚礁ブイでの観測)に全体的によく一致することを事例的に確認。

【課題】

①数値海洋モデルによる予測流速(元データ)の妥当性の検証と設計に利用するための留意事項の整理

・本調査での実施事項と見込まれる成果

①数値海洋モデルによる予測流速(元データ)の妥当性の検証と設計に利用するための留意事項の整理 【調査内容】

長期間の流速観測データが得られている大水深域を事例として数値海洋モデル(FRA-ROMS)の妥当性の検証 予測誤差の評価

【見込まれる成果】

数値海洋モデルを設計に用いる際の適用性、留意事項の整理

(参考)漁場の施設の性能照査(※昨年度最終委員会資料5より抜粋)

- ●今回微修正する波による流速算定法には、従来法と同様に、算 定流速が非砕波領域と砕波領域との間で不連続となる課題あり
- ●漁場の施設では、そのほかにも多くの課題(下記)が残されており、来年度以降も引き続き検討が必要
- 検討を継続または新規に計画している課題
- 波の不規則性を考慮した外力算定方法への見直し
- 沈設魚礁の流体力算定法
 KC数等の影響を考慮した流体力係数への見直しと現地での検証
- 沈設魚礁の滑動抵抗の評価
 砂地盤への埋没、沈下の影響と群体設置の効果の評価
- 着定基質(石材)の安定質量算定式
 - 設置条件を考慮できる提案式の妥当性の検証
- 流れによる設計流速の決定法
 - 海洋モデルの適用性の検討と利用方法のマニュアル化

漁港・漁場の施設の設計手法の高度化検討調査漁場の施設の設計手法高度化技術検討委員会

平成27年度第一回委員会の指摘と対応

指摘者	指摘事項	対応
大竹委員長	・着底基質と沈設魚礁2種の検討で漁場施設全体を概ね網 羅できるのか設計システムを確認してほしい。	漁場施設全体は網羅されてい ないが、ご指摘の二つが多くの 漁場施設の設計手法の基礎と なっている。またそれらの見直 しにはまだ多くの課題が残さ れているため、集中的な検討が 必要と考えている。
大竹委員長	・異なる縮尺の実験で相似則を確認すべきである。	優先順位の問題はあるが、必要 に応じて次年度以降の課題と したい。
岡安委員	・現地実験で縮尺を 1/1 ではなく 1/2、1/3 とすればもっと 適切な検討ができるのではないか	現地試験の石は事業の付属で 設置して頂いたものであり、小 型の石の設置は要望したもの の不可能であった。 なお、小型の石でも設置には重 機が必要であり、また適切な実 験のためには石の形状等の不 揃さを考慮して相当数のサン プルの確保も必要となるため、 大がかりな工事になり、本事業 単独での実施は難しい。
大竹委員長 岡安委員	 ・新算定式の Cfmax がかかる項は物理的な意味が説明できないのではないか。 ・従来式のモリソン式にも問題があり、現実論として提案式を使うのは良いかもしれないが理論的な補強が必要。 	・資料 4-1 で説明する。
大竹委員長	・コンクリート魚礁も提案式が適用できるか。	そのように考えている。また今 年度からは、コンクリート魚礁 を対象として検討を行うので、 その適用性についても明らか にできると考えている。
岡安委員 大竹委員長	 ・計算結果の精度がどの程度なのか見てみないとわからない。 齟齬が無いなら良いのではないか。ただし、大水深の流速データはその分野の先生の協力が必要。 ・まずは計算と観測の比較が必要。海洋モデルの設計への適用はその先の話だろう。 	 ・資料5で説明する。
田島委員	 ・海洋モデルの計算の推定誤差が、設計に対してクリティカルなものとなるのか。誤差の評価が必要。 	・推定誤差自体を評価した例が ほとんどないため、なるべく多 くの事例を挙げて検討したい。

漁港・漁場の施設の設計手法の高度化検討調査漁場の施設の設計手法高度化技術検討委員会

議 事 抄 録

日時:平成 27 年 10 月 8 日 (木) 14:00~16:00 開催場所:エッサム神田ホール

(1)開会

◎事務局((一財)漁港漁場総合研究所 伊藤部長):

委員会を始めさせていただきます。本日はお忙しい中、委員の先生方ご出席いただきありがとうござ いました。これまで3年間性能設計ということで検討を進めてきたが、残された課題について更に3か 年かけて委員会で指導をいただきながら検討していきたい。

(2)水産庁挨拶

◎水産庁(伊藤課長補佐):

漁港漁場設計基準は12年ぶりに見直した。その成果として漁港漁場施設の設計参考図書を7月に公表 した。これは、学識経験者の指導を受けて3年間検討し、従来の仕様規定から性能規定の設計体系へと 転換するとともに、過去10年間の新たな知見を反映させた。しかし、漁場施設については3か年で議論 が尽きず課題が残ったため、更に3年間委員会を立ち上げて設計の高度化検討を進めたい。ついては、 委員の皆様からご指導をいただきたく、よろしくお願いします。

(2)出席者紹介

◎事務局(漁村総研 伊藤部長):(省略)

(3)委員長選出

◎事務局(漁村総研 伊藤部長):

ここで委員長を選出したいが、過去3か年調査の漁場 WG 座長をされていた大竹先生を推挙したい。 ご承認いただけたので大竹先生に委員長をお願いしたい。

◎大竹委員長:

3 年間 WG 座長を務めてきたが、まだ議論が足りないと判断されてこの委員会を立ち上げたと承って いる。皆様の協力の下、良い成果を上げたくよろしくお願いします。

(4)趣旨説明、調査全体計画

◎事務局(漁村総研 吉野主研):資料-1、資料-2:(省略)

◎質問·意見:

◎大竹委員長:

漁場施設は様々な形態があるが、議論の柱を着底基質の安定性、沈設魚礁の安全性、海洋モデルの3 本に設定した根拠を教えてほしい。また、設計条件(外力)と設計方法は分けて考えるべきではないか。

◎事務局:(水工研 川俣G長)

殆どの施設の設計法において、着底基質の安定性と沈設魚礁の安全性の記載を参照すべきとなっている。そのため、これらの施設を検討すれば概ね網羅できる。設計条件と設計方法を切り離すのは難しい と考える。

◎大竹委員長:

本当に2種の施設の検討で網羅できるのか設計システムを確認してほしい。また、昨年度までの改訂で何が変わったか明確にしてほしい。

◎事務局:(漁村総研 吉野主研):

システムチェック、3論点抽出について再度明確化する。

(5) 着底基質の安定質量算定手法の検討

◎事務局(水工研 川俣G長):資料-3:(省略)

◎質問·意見:

◎田島委員:

回流水槽実験は周期が 5~12s と実際に近いが、それで石材模型が小さいと加速度が効いて付加質量が かわる。その辺どう考えるか。周期が小さくなると加速度が効くようになり、実際に C が T=5s で最大 0.47 になっている。注意すべき。

◎事務局:(水工研 川俣G長)

振動流だとCが小さくなるが準定常流で1.85と大きくなるので安全側になり問題ない。加速度が効く 状況は造波実験で検討する。

◎大竹委員長:

異なる縮尺の実験はできるか。それにより相似則を確認すべきである。

◎事務局:(水工研 川俣G長)

今年度は難しい。次年度の課題としたい。

◎田島委員:

p.5 の被害率 10%の流速 Ucrit の定義を教えてほしい。

◎事務局:(水工研 川俣G長)

模型石が動く直前の最大流速である。

◎岡安委員:

現地実験で縮尺を1/1ではなく1/2、1/3とすればもっと適切な検討ができるのではないか。

◎事務局:(水工研 川俣G長)

調査サイトである徳島県で入手できる石の規格による。調査費用の面もある。

◎水産庁:(内田課長補佐)

異なる縮尺による水理模型実験、現地実験両者ともに次年度以降の課題としたい。

◎田島委員:

最終的に砕波、非砕波を分けないならば、非砕波の安定質量が従来より(0.04×U⁶)大きくなることが予 測されるので注意が必要。また、p.10 で設計流速として 1/7 乗則を用いているが、これは海洋モデルの検 討が活かされて変更することがあるのか。

◎事務局:(水工研 川俣G長)

着底基質整備海域の水深は浅いので、1/7乗則を前提として使っている。

◎岡安委員:

p.10の設計流速算出において、砕波・非砕波での Zo の取り方がキーとなる。砕波帯の流速鉛直分布は良くわかっていない。

◎事務局:(水工研 川俣G長)

波の場は境界層が薄いので底層流速、流れの場は1/7乗則を使うことで考えている。

◎岡安委員:
安定質量が U の 6 乗になるので、少しの流速の差が質量に大きく反映される。それによる経済的な変 化も考えておく必要がある。また、被災した際の金額も考慮して費用対効果的な検討が必要だろう。

◎大竹委員長:

被災事例があれば、その金額を検討すべき。また、着底基質が動いているかどうかも今後検討すべき。

◎水産庁:(内田課長補佐)

最近は着底基質の移動がわかるようになってきたので、今後できるだけ確認したい。

(6)沈設魚礁の安全性の照査法の検討

◎事務局(水工研 川俣G長):資料-4、(アルファ水工 綿貫部長):補足資料-4.4(省略)

◎質問·意見:

◎岡安委員:

高層魚礁を現地調査対象としなかった理由は何か。

◎事務局:(水工研 川俣G長)

高層魚礁は水深が深いので調査しにくい。また、高層魚礁は鋼材の組合せなので設計手法の変化に柔軟に対応できるが、コンクリート魚礁は型枠で形状が決まるので設計手法による影響が大きいという理由による。

◎田島委員:

実際に動いた原因は、設計波を Hmax としていなかったからなのか。それとも算定式の問題なのか。

◎事務局:(水工研 川俣G長)

両方だと考えている。算定式の係数も定常流・振動流で変わってくるので、その辺も重要と考える。

◎田島委員:

新算定式の Cfmax がかかる項をあえて流速の2 乗とする理由はなにか。

◎事務局:(水工研 川俣G長)

魚礁の形状は複雑なので、基準体積 V を適正に設定できない。そのため2 乗の式を提案した。

◎大竹委員長:

新算定式の Cfmax がかかる項は物理的な意味が説明できないのではないか。

◎岡安委員:

従来式のモリソン式を徹頭徹尾使い続けるのは問題があり、現実論として提案式を使うのは良いかも しれないが理論的な補強が必要。

◎事務局:(水工研 中山部長)

基本的に、水理模型実験によって Cfmax の適用性を確認していく考えである。

◎大竹委員長:

コンクリート魚礁もこの提案式で良いのか。また、可能なら実海域での1/2、1/3実験を行ってほしい。

◎事務局:(水工研 川俣G長)

大丈夫と思うが、実験で確認する。実海域試験は難しい面があるが検討する。

◎岡安委員:

部材として水平板があるならリフトフォースも考慮すべき。

◎事務局:(水工研 川俣G長)

注意事項とする。

◎水産庁:(内田課長補佐)

魚礁メーカーは、既往の算定式で困ったことは無いと認識している。そのため、昨年度までの成果は 設計参考図書に反映しなかった。今回明らかになった被災が補足資料 4-4 である。算定式を改訂するなら ば、こんなに困っていることがあるから改訂するというストーリーが必要。

◎田島委員:

Hmaxの使用が、算定式の改訂より支配的になる可能性もある。そこで設計に困ったことが無いというなら少々危険だろう。

◎事務局:(水工研 川俣G長)

流れのベクトル合成を全て1方向にまとめていた経緯もあるので、単純に大きくなるとは考えていない。

◎事務局:(水工研 中山部長)

ちょっとした時化で施設が動き、その上で少し砂に埋まり、より安定化するプロセスもあるだろう。

◎大竹委員長:

砂に埋まって安定化する現象については次回の議論とする。

(7)海洋モデルによる流動情報の設計への使用方法

◎事務局(水工研 川俣G長):資料-5(省略)

◎質問·意見:

〇岡安委員:

計算結果の精度がどの程度なのか見てみないとわからない。齟齬が無いなら良いのではないか。ただ し、大水深の流速データはその分野の先生の協力が必要。

◎水産庁:(内田課長補佐)

この項を論点にした理由を、もう少し丁寧に説明してほしい。

◎大竹委員長:

まずは計算と観測の比較が必要。海洋モデルの設計への適用はその先の話だろう。

◎田島委員:

計算の推定誤差が、設計に対してクリティカルなものとなるのか。誤差の評価が必要。

◎事務局:(水工研 川俣G長)

流速を1.2倍するなどして過小評価を防ぐことを考えている。

(8)その他

◎水産庁:(伊藤課長補佐)

設計法の検討を行うとともに、それによって波及する費用対効果にも配慮して検討を進めてほしい。

(9)閉会

◎事務局((一財)漁港漁場総合研究所 吉野主研)

以上いただいた意見を基に検討を進める。委員の皆様におかれては、今後もよろしくご指導を賜りた い。

1

着定基質(石材)の安定質量算定 手法の検討



現行の石材の安定質量算定式:

 $M = CU^6$

M:安定質量(kg)、U:設計流速(m/s) C:安定質量係数で、

砕波領域

- [25 単体で設置]
- *C*={5 敷詰密度75%以上の群で設置
 - 1 囲い礁を設けて敷詰密度75%以上の群で設置

(C値はモルタル底上の玉石での実験値)

非砕波領域

C=0.04(検証されていない理論値)

問題点

- ●石を単体で設置する場合の安定質量が大過ぎる (例えばU=3.0m/sのとき、 M=18.2 t) ⇒ 生物学的に好ましくても、物理的に実施は困難
 ● 砂波 / 非砂波領域間でのC値の極端なぜセップ
- 砕波/非砕波領域間でのC値の極端なギャップ

砂に薄く覆われた岩礁(冠砂域)



(砂による攪乱、ウニ移動の抑制に より大型海藻の繁茂が期待できる)



囲い礁を設けて群体設置 (基質の安定化により石の安定質量を小 さくできるが、隠れ家となる隙間ができる ことでウニの棲み場になったり雑海藻が 繁茂したりして大型海藻の生育が阻害さ れる可能性が高まる)



$$M = \alpha \rho_s \left[\frac{K_m}{2 \mu g \left(\rho_s / \rho - 1 \right)} \right]^3 U^6$$

M:石材の安定質量(t) μ:静止摩擦係数 ρ_s、ρ:石材と海水の密度(t/m³)

K_m: 質量算定係数。石材の形状に依存する実験係数で、波の場及び流れの場での割石の場合は、それぞれ*K_m*=3.5及び*K_m*=2.3としてよい。
 α: 石材の敷き詰め密度に依存する補正係数で、以下を用いることができる。

$$\alpha = \begin{cases} 1 & µ 体 で 設置 & 現行では C=25 \\ 0.2 & 敷き詰め密度75%以上の群で設置 & C=5 \\ 0.04 & 囲い礁を設けて敷詰め密度75%以上の群で設置 & C=1 \end{cases}$$

U:設計流速(m/s)。流れの場では、流速分布を考慮した底面から石材の天端までの二乗平均流速を用いる。実用的には次式で求められるU_cを用いることができる。

$$u(z) = U_0 \left(\frac{z}{z_0}\right)^n \quad \Longrightarrow \quad U_c = \sqrt{\frac{1}{b} \int_0^b u^2(z) dz} = \frac{1}{\sqrt{2n+1}} \left(\frac{b}{z_0}\right)^n U_0$$

z:底面からの高さ b:石材の高さ U₀:z=z₀における流速 n=1/7



提案式について

- 1)割石の群体設置と囲い礁を設けた場合の妥当性の実験的検証 これまでの検討では単体設置の場合しか実験を行っていない。 係数αによって適切に予測できるか?
 - ⇒ 水槽実験により妥当性を検討(検討項目1)
- 2) 現地検証

安定質量の算定値が提案式により小さくなるため、より確実な 検証データを得る必要がある。

- ⇒ 徳島県が試験的に単体で設置した割石の現地調査により検 討(検討項目2)
- 3) 波と流れの共存場での適用 実験的検証が困難であるため、運用方法の検討が必要

水槽実験による検討 実験方法①

実験水槽 2次元造波水槽(全長70m×幅0.7m×深さ2.2m) 勾配1/50の斜面上に試験床(玉砂利底)を設置した試験領域2.1×0.7mを設ける

実験手順

- 1) 砕石模型(次ページ参照)を単体、群体および囲い礁の中に群体で設置 群体設置は敷詰密度(※1)75%で実験
- 囲い礁は、断面(幅55mm×高さ45mm;高さ=砕石模型の平均高さ)の角材を 底面に貼り付けて製作。囲い礁内の敷詰密度は100%と75%で実験
- 2)所定の周期(2.0、2.5、3.0、3.5s)と振幅で波を10波発生させ、砕石模型の被災状況を調べる

被災=石1個分以上移動または反転した場合





※1 <u>敷詰密度</u> 石を最も密に敷き詰めた場合を100%とした面積当たりの石の個数の相対値



実験に用いた砕石の複製模型

H25-26年度の実験に使用した砕石100個と同形・同大で比重の軽い複製 模型を製作、使用 石膏で型を取り、密度の小さい補修補強材(eagle8)で砕石を複製



これまでの実験に用いた砕石 密度の中央値:2.62g/cm³



今年度実験に用いた砕石模型 (密度の中央値 $\rho_{\rm s}$ = 1.37 g/cm³)

▶ 水槽実験による検討 実験方法③

流速測定

試験領域の沖側と岸側端部付近(水深:65.8cmと61.8cm)に超音波式三次元流速計(Nortek社製Vectorino)を設置。底上7cmでの流速を50Hzで測定。

解析にはローパスフィルター(遮断周波数2Hz)等でノイズ除去した流速を使用 各観測点での水平流速の最大値を求め、両観測点での平均値を最大波動流速U_mを 求める





単体設置の場合の被害率





試験領域を上から撮影 ○で囲った石が「被災」と判断

被害率



被災限界流速(被害率10%点のU_m) U_{crit} = 26.9 cm/s

4-6-a109



群体設置(敷詰め密度75%)の場合の被害率







試験例(試験領域を上から撮影)



 $U_{\rm crit}$ = 38.6 cm/s



囲い礁有(敷詰め密度75%)の場合の被害率



(試験領域を上から撮影) 試験例



 $U_{\rm crit}$ = 43.2 cm/s



積相対頻度

実

試験床(玉砂利底)上の砕 石複製模型の静止摩擦係数 µの測定

測定方法

各砕石模型(全100個)につい て試験床片にランダムにおいて摩 擦角(滑り出し直前の角度) θ を3回測定。次式で μ を算出 μ = tan θ



µの中央値= 0.74



被災限界流速U_{crit}の提案式による計算値と実験値との比較

設置方法	方法 α U _a		_{it} (cm/s)	
		計算值	実験値	
単体	1	27.4	26.9	
群体(敷詰密度75%)	0.2	35.9	38.6	
囲い礁有(敷詰密度75%)	0.04	46.9	43.2	

提案式によるU_{crit}の計算値

$$U_{\rm crit} = \left(\frac{M_{50}}{\alpha \rho_s}\right)^{1/6} \left[\frac{K_m}{2\mu g(\rho_s / \rho - 1)}\right]^{-1/2}$$

 $M_{50} = 161.5g$, $\rho_s = 1.37 \text{ g/cm}^3$ $\rho = 1.00 \text{ g/cm}^3$, $K_m = 3.5$ $\mu = 0.74$, $g = 980.665 \text{ cm/s}^2$

U_{crit}の計算値は実験値にほぼ一致し、提案式の汎用性(設置方法、密度に対する)が確認



現地調査による検討 割石設置場所



木岐地区では波当たりが強くなく、割石はほとんど動かなかった



2014/12/25、2~3tクラスの割石(徳島県で藻場造成に用いる標準的基質)10個 が設置 設置場所の水深:8.4m(DL基準) 質量の実測値:1.16~3.01t(中央値:2.04t)



↑設置後間もない割石の状況(2015/1/26)_{4-6-a115}

現地調査による検討 調査方法

 台風シーズン前(7月29日)に各試 験割石に加速度ロガーを取り付け、 流速計付波高計1台を近くに設置。
 台風シーズン後(11月17日)に回収

移動限界流速を推定

●ベンチマークを設定し、そこから 各割石までの距離を測定



加速度ロガーの設定:測定周波数5Hz、記録トリガー±0.5G

ステンレスカバーを吊り下げ金具に固定





電磁流速計付水圧式波高計 1h毎に2Hzで20分計測

4-6-a116



志和岐地区に試験

2015/7/29 調査開始 割石3個がすでに移動または横転 13日前に台風が試験地を直撃





2015/7/29 加速 度ロガーを取り付 けた割石の例 横転した割石(下)



調査開始前に遭遇した台風11号 襲来時(2015/7/16)の天気図





9/14

9/21

月日

9/28

10/5

10/12 10/19 10/26

11/2

11/9

11/16

6

8/3

8/10

8/17

8/24

8/31

9/7



2015/8/22~23に電磁流速計で計測可能な上限(3m/s)を超える波動 流速が発生していた(水圧データから推定)

激浪時の流速が流速計の計測限界を超えていただけでなく、流速データにはセンサー部への生物被覆による影響により出力低下の問題がある。以下の検討では、水圧スペクトルから計算される波動流速が適正に得られたときの流速計の測定値によく一致する(下図や次頁の図)ことから、水圧から計算される波動流速を用いる。



水圧からの波動流速計算値(u_cal)と主変動流速成分(u_p)の時系列データの例 (2015/8/10 4:00~4:20) 注)主変動方向は流速の変動成分が最大になる向きとして定義。波の方向集中度が高い場合、 u_calとu_pは理論的に一致する。 4.6-a119

現地調査による検討 調査結果③



有義流速の流速計による測定値(変動流速成分の2乗平均×2)U_{s_meas}と水圧からの計算値(水圧スペクトルから計算される波動流速の2乗平均×2)U_{s_cal}及び 最大波動流速の水圧からの計算値U_{max cal}

U_{s_cal}はU_{s_meas}によく一致(⇒水圧データから波動流速の推定は妥当) 推定最大流速は3.5m/s





暴浪発生日(2015/8/22)の天気図



現地調査による検討 調査結果④



有義波動流速(U_s)と各割石で計測された最大加速度の時間変化 No.は割石の番号。最大流速発生時に動揺があったことが推察される。



割石(No.6~10)(上段:7/29、下段:9/4)



現地調査による検討 提案式による う 計算との比較

|試験割石は調査開始以前の台風11号襲来時に被災限界相当量(割石2個が石1個分 程度)移動して安定化し、8/22前後の暴浪時(推定最大波動流速3.5m/s程)に最 大9cm移動 ⇒ 試験割石10個が最初に8/22の暴浪に遭遇すればより移動したと 考えられる(ただし、移動量は被災限界相当かそれ以下)。⇒ 試験割石の被災限 界流速を3.5m/sと仮定(要確認)

次式より被災限界流速を試算すると、

けるための逆推定値

$$U_{\rm crit} = \left(\frac{M_{50}}{\alpha \rho_s}\right)^{1/6} \left[\frac{K_m}{2\mu g(\rho_s / \rho - 1)}\right]^{-1/2}$$

 M_{50} = 2.04t, α = 1, $\rho_{\rm s}$ = 2.59 t/m³, ρ = 1.03 t/m³, $g = 9.80665 \text{m/s}^2$

K_m = 2.3(流れの場の値)を仮定すると

K = 350be

r 'm				
μ	U _{crit} (m/s)	U _{crit} の推定値よ	μ	U _{crit} (m
0.8	2.50	りもかなり大き	0.8	3.09
1.0	2.80		1.0	3.45
1.6	3.54		1.05	3.54
\checkmark				

(K_mはレイノルズ数や KC数により小さくなる可 能性がある)

μだけでU_{crit}を推定値に近づ 現地ではµまたはKmあるいはその両方が模型 実験値と異なり、安定質量を提案式よりもさらに 小さくできる可能性が高い

● 今年度の検討 まとめ

- ●石材の安定質量算定の提案式は単体設置だけでなく、
 群体設置、囲い礁付きの場合にも妥当な推定値を与えることが模型実験によって確認された。
- ●しかし現地調査では、波浪に対する割石の安定性は提 案式からの予測よりも高く、安定質量がさらに小さく できる可能性があり、係数(µとK_m)の取り方に改良 の余地があることが示唆された。
- ●係数µとK_mの値を、現地調査により決定するのは難しいが、これまでの模型実験データの再解析と補足実験によりµのばらつきとK_mの周期依存性等を考慮して改良(関数化)することが考えられる。

現地での試験割石の被災限界流速は、台風11号による最大波動流速 の信頼できる推定値が得られれば、より明確にできる。このことに ついて可能であれば検討する。



沈設魚礁の安全性の照査法の検討

背景(経緯と現状の問題点)

- ●山形沖での高層魚礁の被災(H15~17年)を契機に流体力算定法について造波水槽での模型 実験で再検討(H19~23)した結果、従来法(モリソン式の簡略的用法)は波力を過小評価 することなどが判明
 - H25~26年度、魚礁の流体力に関する様々な水理模型実験を追加実施。これまでの実験結果 と既往知見も含めて問題点を再整理(補足資料4-1)

モリソン式
$$F = \frac{1}{2} \rho C_D A(u+U_c) | u+U_c | + \rho C_M V \frac{\partial u}{\partial t}$$

 $u = U_m \sin(2\pi t/T)$
 F が最大となるtを求め、最大力E…を算出
 τ (1)
 r (2)
 r (1)
 r (1)
 r (2)
 r (2)
 r (1)
 r (2)
 r (1)
 r (1)
 r (2)
 r (2)
 r (1)
 r (2)
 r



- モリソン式の代替法(提案式)

水理模型実験により、様々な形状の魚礁の最大波力の算定式として次式の妥当性と有用性が確認

波の場における代替法 $F_{\text{max}} = \frac{1}{2} \rho C_{F_{\text{max}}} A U_m^{-2}$ ρ :水の密度、 $C_{F_{\text{max}}}$:最大力係数(KC数の関数)、 A:基準面積、 U_m :最大波動流速^{×1}

※1 <mark>算出方法は検討課題</mark>(①最大波(H_{1/250}、T_{1/250}=T_{1/3})から微小振幅波理論により算出する 方法、②周波数スペクトルや方向分散性を考慮する方法などが考えられる)

実際の設計条件はほとんどの場合、実験条件と異なり、波・流れ共存場。C_{Fmax}による方法を 波・流れ共存場へ拡張適用したモリソン式の代替法^{※2}として以下を提案

波・流れ共存場での代替法 $F_{\text{max}} = \frac{1}{2} \rho C_{F \text{max}} A U_m^2 + \frac{1}{2} \rho C_{DS} A U_c^2$ $C_{DS} : 定常流中の抗力係数、$ $U_c: 設計で考慮する流れの速度$

※2 国際的な標準法であるモリソン式と併記

実際上の問題

- 実際の条件(波が多方向的で、波と流れが交差)ではモリソン式の適用性にも問題あり
- 魚礁の設置海域(陸に近い)で、波と流れの向きが一致することは少なく、暴風時には両者は0°より 有意に大きい角度で交差すると考えられ、波と流れの交差角を0°とする仮定は安全側過ぎる
- しかし、波と流れの交差角まで適切に定めるのは一般に困難



改訂に向けての検討課題

- ●従来の設計で滑動安全率が低い沈設魚礁では、移動している可能性があるが、流体力算定法の見直しの妥当性には、現地での検証が不可欠
- ●魚礁は移動しても効果には影響がないので、移動してもよいという意見もある。⇒見直しに際して議論が必要
- ●大半の魚礁は砂地に設置され、砂に埋没することにより滑動抵抗が増加する、または群体設置される魚礁の場合は、単体設置よりも滑動抵抗力が増加する(現在の設計ではこれらは考慮されていない)という意見もある。⇒見直しに際して議論が必要



沈設魚礁の安全性照査について以下を検討

- 1) 流体力算定法(案)の妥当性の現地検証
- 2) 滑動抵抗の再検討(見直しの必要性も含む)
- 3)移動を許容した設計の是非(補足資料4-2)



流体力算定法の妥当性の現地検証の流れ



⑦ 流体力算定法の妥当性の現地検証:調査対象施設 と調査の概要

- N県ではH25年度から出来型管理をサイドスキャンソナーで 実施している。
- A工区(水深約12m)は捨石マウンド上に増殖礁(カゴ付 ブロック)が間隔を空けて設置
- ・施工1年目に実施した効果調査の際にブロックの滑動が観察され、H26年11月にサイドスキャンソナー調査を実施。
- B工区はA工区の沖、水深約24mの砂質底にコンクリート魚 礁ブロックの2段積み(乱積)として設計。ブロックとブ ロックの摩擦係数は0.5であり、砂質地盤上のブロックより 滑動し易い。
- 今年度9月~12月にA工区に流速計付波高計を設置し、B工 区にADCPを設置して流速計測。
- 流速計回収時にマルチビーム測量を実施し、ブロックの滑 動等を確認した。



流体力算定法の妥当性の現地検証:調査結果(A工区)



~ 流体力算定法の妥当性の現地検証 : 調査結果(B工区)





流体力算定法の妥当性の現地検証:調査結果



増殖礁設置場所(A工区)での有義波高 H_{m0} とゼロクロス 有義波周期 $T_{1/3}$ および底面での有義波動流速の測定値 U_s と 計算値 $U_{s_{cal}}$ 、および岸向最大波動流速 $U_{c_{max_{cal}}}$ 計算値は波浪の方向分散性を無視 平均水深13.6m



沈設魚礁設置場所(B工区)での有義波高 H_{m0} とスペクト ルピーク周期 T_p および底層(z=2.1m)での平均流速 U_c

最大波動流速U_mの試算(粗計算)

 H_{m0} =2.8m、 T_p =8s、h=25mより、 有義波の流速 : U_m =0.42m/s 最大波 $H_{1/250}$ の流速 : U_m =0.76m/s


流体力算定法の妥当性の現地検証: まとめと今後の検討方向

今年度の調査期間中には両地点とも大きな流速は観察されず、移動も観察されなかった。

調査対象の増殖礁の移動は、2014年7月襲来の台風8号に よると考えられる。そのときに発生した最大波動流速を推 定する必要がある。







2014/7/8の天気図(日本気象協会より)



魚礁が砂地への沈下・埋没することによって滑動抵抗が増加することが指摘され、実験的に検討 されている(糸洌ら 1990、鵜戸口ら 1991、水上・谷山 1997)。

ただし、設計参考図書では沈設魚礁の要求性能として「洗掘、埋没又は沈下により設計対象施設の機能が低下しないよう考慮する」とされ、一般の魚礁(沈下・埋没を織り込んだ脚部を有しない場合)では、許容できる埋没量は小さい。

魚礁の埋没が滑動抵抗の増加に寄与するかは埋没過程に関わる。 激浪時に洗掘し、その後に埋没する場合 ⇒ 滑動抵抗の増加に寄与しない。 埋没していても激浪時に再洗掘される場合 ⇒ 滑動抵抗の増加に寄与しない。



魚礁の沈下・埋没に関する知見を文献レビューによって整理 簡単な実験によって沈下、埋没の影響の可能性を検討

沈下・埋没に関する文献レビュー

 ● 魚礁の埋没は、局所洗掘、沈下と洗掘孔の拡大、埋積に よって起こる(Sheng 2000 after Tian 1994)

(⇒最大洗掘深を越えて埋没し得ることに注意)

- 底層流速が底質の砂の移動限界流速以下であっても魚礁 周辺では局所流(渦流)によって洗掘が生じ得る(椹 木・松見 1983)
- 最大洗掘深は砂の移動限界流速のときに発生し、流速が それ以上大きくなっても増加しない(木村ら 1996)
- 最大洗掘深はKC数の増加に伴い増加するが、魚礁の形状、 特に隅角部の有無によって顕著に変化する(金ら 1996)
- 隅角部底面がすり鉢状に洗掘され、そこから板状の隙間が魚礁底面に沿って発達する。その結果生じる接触面積の減少、支持荷重の集中により魚礁の沈下が起こる。魚礁は傾いたり滑ったりしながら沈んでいく(金ら 1996)



可能性のある小型構造物の埋没機構(Sheng 2000)

※1 埋積作用:堆積物で地表の窪みを埋めて同一の基準面に一致させようとする作用(岩石学辞典)



魚礁の洗掘深の相似則(木村ら 1996)

・海砂は粒径の異なる砂粒子から構成され、洗掘の進行に伴い、洗掘孔の粒度組成が変化し、洗掘深に影響
・砂粒径を魚礁の縮尺に等しくすることは一般に困難
・魚礁の周辺の平衡洗掘深は次式で統一的に表される。

$$\frac{d_{se}}{h} = f\left(\frac{h}{y_0}, S_F, \frac{u_*}{u_{*c}}\right)$$

ここに、 d_{se} :平衡洗掘深、h:魚礁の高さ、 y_0 :水深、 S_F :魚礁の幾何学的形状、







魚礁の洗掘深の模型実験と現地実験(Ingsrisawang et al. 1995)





魚礁の形状による違い(鋼製魚礁の場合)

鋼製魚礁(高層魚礁)では埋没はほとんどみられていない。





魚礁の形状による違い(鋼製魚礁の場合)

水深が比較的浅い場合でも鋼製魚礁の埋没はほとんどみられない。





- 1) 糸洌長敬, 中村 充, 瀬戸雅文, 早川健二 (1990) 魚礁の滑動抵抗に関する研究. 水産土木 26:13-18
- 2) 鵜戸口俊克, 大河原禎親, 上北征男, 明田定満, 中泉昌光, 佐藤隆広 (1991) 十字礁の滑動抵抗の現地試験. 日本水産工学会学術講演会講演論文 集:49-50
- 3) 水上 繁樹, 谷山 正樹 (1997) 魚礁の滑動抵抗に関する実験. 日本水産工学会学術講演会講演論文集 9:39-42
- 4) Ingsrisawang V, Ban M, Kimura H (1995) Comparative study on the sinking of artificial reefs by local scour between laboratory and field experiments. Fish Eng 32:95-103
- 5) 金俊圭, 水谷法美, 神野夏樹, 古川清, 岩田好一朗 (1996) 波による魚礁の局所洗掘と埋没の特性に関する実験的研究. 海洋開発論文集 12:243-247
- 6) Kimura H, Ingsrisawang V, Ban M (1994) A study on local scour of cylindrical artificial fish reef. Fish Eng 31:33-40
- 7) 木村晴保, イングスリサワングヴィチャン, 伴道一, 平賀洋之 (1996) 流れによる魚礁の局所洗掘深に関する模型実験の相似則. 農業土木学会論文 集 1996:671-675
- 8) Sheng YP (2000) Physical characteristics and engineering at reef sites. In: William Seaman J (ed) Artificial reef evaluation with application to natural marine habitats. CRC Press, Boca Raton, Florida, U.S.A.
- 9) 椹木亨, 松見吉晴 (1983) 魚礁背後の水平渦流による地形変動機構について. 海岸工学論文集 30:288-291

10) 椹木亨, 松見吉晴, 北口雅章 (1984) 魚礁周辺の局所洗掘とその対策工法について. 海岸工学論文集 31:345-349



砂面上での魚礁の安定性(増加するか否か)について検討するため 角型魚礁の模型を用いた予備実験を実施

実験条件

模型縮尺:1/36

設置水深:57cm

海底地形と底質

勾配:1/50、中央粒径:0.12mm 魚礁諸元

礁体形状:1辺5.8cmの立方体部材形状:幅0.8cmの正四角柱水中重量:0.388N

沈下・埋没の影響に関する実験的検討:結果①



基部が多少埋没(安定化) 4·6·a144







基部が埋没した状態



再洗掘され、転倒(横転、反転)

沈下・埋没の影響に関する実験的検討:まとめ

- ●魚礁は初期の滑動と洗掘に伴い、基部が砂質底に埋没して安定化(見掛けの摩擦係数の増加)
- ●安定化までの滑動量は小さく、埋没による見掛けの摩擦係数の増加が期待できる
- ●洗掘や見掛けの摩擦係数の増加により、滑動よりも設計上の「転倒」(回転モーメントの釣り合いのみを考慮した傾き)の方が起こりやすくなる
- ●埋没後の実際の転倒(横転、反転)は、ある程度以上の強さの波動が連続的に作用し、魚礁の基部が再洗掘されてから発生する(単独の極大波では起こらない)
- ●実際の転倒は洗掘孔を中心に波の振動方向に起こり、一方向に回転・移動することはないと推察



見掛けの摩擦係数にどの程度の増加を見込めるかについては、より詳細な実験的検討が必要
 小型魚礁の場合は、洗掘により魚礁が大きく傾く可能性が高いため、「転倒」に対する現在の安定計算は適切でない。また、砂面上で横転、反転しても機能上の問題や破損が生じない上下対称形の小型魚礁の場合は、性能照査を滑動または横転のいずれか一方に対する安定計算のみに変更することで、所要安定質量を削減できる可能性がある。この検討には、より詳細な実験が必要

資料-5

1

平成27年度 漁港・漁場の施設の設計手法の高度化検討調査 漁場の施設の設計手法高度化技術検討委員会

流れによる設計流速決定における海洋モデルの利用方法

背景(現状と問題点)

現在の方法 流れによる設計 流速の決め方は、沈設魚礁と 浮魚礁で異なる。

沈設魚礁の場合 一般に海図 等に記載されている表層での 最大流速U₀をV2.5(=1.58)倍し て流速の鉛直分布に1/7乗則 を仮定して検討する高さにおけ る設計流速U_cを算定 浮魚礁の場合 右図のとおり

水深によって流速の鉛直分布 を変える。



の調査・研究があまり進んでいなかった時代につくられた便宜的な方法

現在の方法の問題点

- ●U₀をv2.5倍する理論的根拠が妥当性を欠く。
- ●海洋の流れ構造は密度成層等により複雑化し、1/7乗則などの単純な理論計算が適用できる場面(一般には成層化していない浅海域)は限られている。
- ●また、海洋での測流機器は進歩したが、大水深域での長期観測には、今日でも 技術的、経費的困難さがある。





背景(現状と問題点)

海洋モデルとその現状と問題点

- ●設計条件としての流れの速度を適切に決定するための実用的方法として、数値海洋モデル(「海洋モデル」と略記※1)の利用が考えられる。
- ●近年、水深が100mを超える大水深域での増殖場造成の設計が増えており、実際にそのような場合に海洋モデルが利用されつつある。
- ●しかし、海洋モデルについては、「設計参考図書」には記述(※2)がほとんどない。

※1 我が国周辺の海洋モデル

JCOPE 開発機関:(国研)海洋研究開発機構JAMSTEC. 主な目的:大気の天気予報と同様に海中の 天気予報を行い、海洋における現象の理解と予測精度向上を目指すもので、日本列島をカバーす る海洋モデル開発のさきがけ.衛星データ及び現場水温塩分データを海洋循環モデルに同化し、空 間分解能(水平1/12度格子、鉛直46層)で作成された再解析データFRA-JCOPE2がJAMSTECより無償 提供.提供データは1993年からの日平均化された値.

MOVE/MRI.COM 開発機関:気象庁.主な目的:気象庁の現業運用や温暖化予測、エルニーニョ等 気候予測

FRA-ROMS 開発機関:(国研)水産総合研究センター.主な目的:漁海況予報への活用、水産資源の変動要因解明、有害生物の漂流予測等

※2 現在の「設計参考図書」(p.756)での記述内容

流れは、時間的にも空間的にも複雑に変化する可能性があるため、長期間の流速観測 又は信頼できる流れの数値シミュレーションに基づき適切に定めることが望ましい が、・・・。

背景(現状と問題点)

海洋モデルの利用で想定される主な課題

- 信頼性の評価(観測値による検定方法. どの程度、観測値に適合 すれば利用可能か)。
- ●適合性を改善するための手法の整理
- ●設計値の決め方
 - 1) 予測誤差の考慮方法
 - 2)データの処理方法(日最大値またはイベント毎の最大値の時系 列処理などが想定)
 - 3)解析期間の長さ

海洋モデルの概要



ベース: Regional Ocean Modeling System (ROMS) 計算領域: 宮城、福島、茨城県海域(左図) 水平解像度: 1/90° × 1/90° (約1km) 鉛直解像度: σ座標 20層 河川: 1級2級河川 開境界条件:潮汐, 外洋変動 (FRA-ROMS:太平洋および我が国周辺の 海況予測システム、水研センター) 気象条件: **気象庁GPV-MSM** 計算対象期間: 2013年1月~12月(1年間) 図中、茨城県沖A点、福島県沖B~D点は現地調査地点

D点(水深130m, モデル上水深131m)における比較を示す

今回はB点(水深30m,モデル上水深49m)と、

モデル結果比較,岸側, Sta.B



モデル結果比較,沖側, Sta.D



底層スカラー流速比較(モデル:海底上6m、観測値:海底上4m)

まとめ 〇 同海域における流速場の特徴

- ・潮流成分が非常に弱い(数cm/s程度)
- ・台風や冬季の爆弾低気圧など、気象擾乱の通過にともなる流速変化が大きい
- ・夏季の底層では内部潮汐の発達が大きい
- ・黒潮や親潮からの影響も無視できない
- ・外力の大きさについて(所見)
 - 気象擾乱 > 内部潮汐 = 黒潮 親潮の影響 > 潮汐
- 〇日最大値は良好な再現性
- 最大流速も値はよく一致
- O モデルでは再現できないような大きな流速も存在
- ○夏季にモデル側が過小評価となる傾向にある
 - (表層では比較的良好な再現性が得られており、密度構造の再現性に課題?)

漁場の施設の設計への利用について

- 海洋モデルを構築する際に、高度な専門性と労力が要求される
 - ・潮汐、外洋変動、気象擾乱、河川等の外力の与え方、海洋数値モデルへの理解が必要
 - ・様々な現象を考慮すると、少なくとも1年間以上の計算期間が望ましい
- 〇 観測データ等が不足していて最大流速の予見が困難な場合は有効
 - ・主因となる外力が潮汐であれば、海洋モデルでなくてもある程度予測は可能
 - ・潮汐以外が主因であれば、海洋モデルの利用以外の有効な手段は考え難い
 - 海洋数値モデルを使う場合、対象とする施設や設計流速の決め方等、

4-6-a155 **今後も議論を進める必要がある**

9

沈設魚礁の安全性の性能照査に関する補足

B1 沈設魚礁の流体力算定の現行の方法とその問題点

項目	現行の方法	問題点
流体力 F _{max}	明記されていないが、以下のモリソン	波・流れ共存場へのモリソン式の適用
の算定万法	式に基つく	に問題が指摘
	$F = \frac{1}{2}\rho C_D A(u + U_c) u + U_c + \rho C_M V \frac{\partial u}{\partial t}$	波と流れが交差する場合などに流体力 を過大評価
	$u = U_m \sin 2\pi t / T$	
	F が最大となる時間 t を求め、 F_{max} を算	
抗力係数 C_D	条件によらす一定	波動流中の $C_D > 定常流中の C_D$
	多くの魚礁で定常流中の模型実験の値	$ $ ISO 等の標準的基準 (C_D は Re 数、KC)
	が採用	数、相対粗度の関数、流れと波の流速
		比による)と異なる
		波動流中の値を決めるため、造波水槽
		での模型実験が必要
慣性力係数	一律に C _M =2、V=実容積	ISO 等の標準的基準と異なる
CMと基準体積		造波水槽での模型実験が必要
V		複雑な部材で Vを適切に定義するのが
		困難(補足説明 B2 参照)
波動流速 Um	有義波からの算定値(非砕波領域)	不規則波の波群中の最大波で最大流体
		力が発生するため、現行の方法は過小
		評価
流れの速度 U _c	表層での設計流速(=最大流速×1.6)	理論的に問題があり、妥当性の検証が
	から流速の鉛直分布に 1/7 乗則を仮定	ない。海洋モデル、観測機器等の最新
	して推定	技術の利用についての記述がない。

B2 沈設魚礁の基準体積を適切に決めることの困難さ

これまでは基準体積=実容積としているので、設計の実務計算では問題は生じなかったが、モリソン式を常法にならって適用しようとすると、基準体積を決める際に困難が予想される。

一般に物体に作用する流体力のうち、水粒子の加速度に比例する成分、すなわち慣性力 *F_i*は、 物体の実容積 *V_s*を基準にして次式で表される。

$$F_i = \rho C_M V_s \frac{\partial u}{\partial t}, \quad C_M = 1 + C_a$$
(B2-1)

ここに、*C*_aは付加質量係数。加速度する流体の中で静止している物体には、物体周辺の流体が乱 されない場合にも、物体の体積分の流体を∂u/∂t で加速させるのと同じ力 ρ*V*_s∂u/∂t が働く。その力 に加えて、実際には物体の周辺の流体も引きつられて動くため、その分の力が加わる。式(B2-1) は、加速する流体の中で物体とその周辺の体積 *C*_a*V*_sの流体が引きつられて一体となって静止する ことで慣性力が発生することをイメージした仮想的モデルである。式(B2-1)は、大部分が円柱状部 材から成る海洋構造物ではあまり問題なく適用できるが、構成部材の多くに板材が用いられてい る沈設魚礁では適切な表記でない。

1

例えば、迎角 90°の二次元平板の付加質量は平板の体積とは無関係で、ポテンシャル流れを仮定した理論では平板の幅 *D*を直径とする円柱相当体積の流体質量 $\rho\pi D^2 l/4$ (ここに、*l*:スパン長さ)になることが知られている。したがって、平板の基準体積 *V*=実容積とすると、*C*_Mが無限大になる可能性もあり、適切でない。そのため、*V* = $\pi D^2 l/4$ として *C*_Mを求められる。しかし、*C*_Mを実際に測定してみると、理論値の 1 よりもかなり大きい値になる(図 B2-1)。これは、平板の両端から境界層が剥離して大きな後流渦(剥離領域)が生じるためである。

大きな剥離領域を伴う板状の部材は、多くの魚礁(図 B2-2)に多用されている(鋼製魚礁では ほとんどの部材が板材)。このため、板材の基準体積を実容積にしてしまうと、*C*_Mが極端に大き い値になる可能性がある。しかし、ポテンシャル流れの場合の付加質量がわかっている板状の部 材は迎角 90°の二次元平板以外はほとんどないし、複雑な形状の板材の *V* を適切に決めることも 容易ではない。

Vは本来、任意に定義することができる。しかし、物理的モデルを無視して定義すれば、①必ず実験を行って C_M を決めなければならない、②他の魚礁や部材との C_M の比較ができない、③魚 礁の形状を微修正するときにも実験により C_M を決めなければならない、という問題が生じる。



図 B2-1 平板の K_C-C_Dと K_C-C_Mの関係 記号は造波水槽実験の結果、黒線はその近似式 K_C: KC 数(=U_mT/D、U_mは流速振幅、T:波周期)



図 B2-2 実際の沈設魚礁の例

B3 モリソン式の適用性と限界

- モリソン式は、波の場、流れの場、波・流れ共存場でも適用できる実用式として広く用いられ ているが、波・流れ共存場での研究は少なく、適用性が議論されている。
- ・ 波の場の KC 数 K_cは、幅 D の部材に対して K_c=U_mT/D で表される。ここに、T と U_mは波動流 速の周期と振幅である。この無次元数は、波の半周期での水粒子軌道振幅と部材幅との比の大 きさを表す。同じ考えから波・流れ共存場での KC 数(拡張 KC 数という)を定義することが でき、波・流れ共存場での C_Dと C_Mが、拡張 KC 数に対して波単独の場合とほぼ同値になるこ とがいくつかの研究で示されている。
- しかしながら、波・流れ共存場、特に波と流れが交差したり、波が多方向的であったりする場合は、実験例は少ないが、モリソン式では現象を適切に表せないことが指摘されている。

B4 モリソン式を魚礁の設計に用いる場合の課題

- 一つの魚礁が様々な形状の部材から構成されていることから、部材の V は、C_Mが同程度の値になるよう定義することが望ましい。改訂案では、魚礁の主要部材として考えた角柱、アングル、平板、円柱の C_Mが、KC 数>60の領域で、2.6~2.7程になるよう、Vの定義を検討した。この目標は、交差流の原理(解説 B4-1)等の導入によりある程度達成されたが、迎角が小さい平板(図 B4-1)のように目標からはほど遠い場合もあり、 Vの定義に課題が残る。
- 魚礁では、複雑な渦を発生させるための面板、複雑な開口部のある円柱など、上述の代表部材 とは形状がかなり異なる部材も多く採用されている。そのような部材については、標準設計法 (案)では、それらの部材を囲う円柱状の領域をVとして定義する。ただし、この定義は、設 計の便宜を考慮した安全側の(過大な)設計値として提示するもので、その妥当性の検証は今 後の課題である。

解説 B4-1 迎角の影響評価 cross-flow principle の適用 流体力の計算では、"cross-flow principle" (交差流の原理)に基づき、部材軸に垂直な流速と 流体加速度の成分のみが用いられる。この原理は、定常流に適用できることが示されてきた が、振動流中でもα=45~90°の円柱での適用が確認されている (Sumer & Fredsøe 1997)。この ため、交差流の原理は一般に定常流と振動流に適用できる妥当な仮定とされている (API 2005、DNV 2010)。



$$\begin{split} F_{N} &= F_{DN} + F_{IN} \\ F_{DN} &= (1/2)\rho C_{DN}A_{N}U_{N} |U_{N}|, \quad F_{IN} = \rho C_{MN}V_{N}\dot{U}_{N} \\ F_{x} &= F_{N}\sin\alpha, F_{z} = F_{N}\cos\alpha \\ \text{こここ,} \\ A_{N}, V_{N} &: 法線方向の基準面積と基準体積, \\ C_{DN}, C_{MN}: \alpha = 90^{\circ} \quad \text{のときの} C_{D} & \geq C_{M} \\ U_{N} &= U\sin\alpha \end{split}$$

交差流の原理 法線方向の流体力成分 F_N は、流速の法線成分 U_N で表現され、 流体力係数は迎え角 α に独立である。

流れ方向における基準面積 $A=A_N \sin \alpha$ と基準体積 $V=V_N \sin \alpha$ から、 C_D 、 C_M は以下となる。

 $C_D = \frac{F_{DN} \sin \alpha}{(1/2)\rho A U[U]} = C_{DN} \sin^2 \alpha \qquad \qquad C_M = \frac{F_{IN} \sin \alpha}{\rho V \dot{U}} = C_{MN} \sin^2 \alpha$



図 B4-1 振動流水槽での迎角のある平板の C_D 、 C_M の実験値(松本・岡島 2000) $C_D/\sin^2 \alpha \geq C_M/\sin^2 \alpha$ は交差流の原理から求められる $C_{DN} \geq C_{MN}$ に当たり、 迎角が小さい場合を除 き、迎角にほぼ独立 ⇒交差流の原理が適用できる⇒ 平板の基準面積と基準体積を $A=bl\sin^2 \alpha \geq$ $V=(\pi/4)b^2l\sin^2 \alpha$ で再定義すれば、 $C_D \geq C_M$ が迎角と独立になる。ただし、松本・岡島の実験では、 厚さ t が比較的厚いため、迎角が小さくなると、その影響が無視できなくなり、 $C_D/\sin^2 \alpha = C_{DN}$ 、 $C_M/\sin^2 \alpha = C_{MN}$ の仮定が成立しなくなる。このことが交差流の原理が適用できない理由の一つとし て考えられる。

 モリソン式は、従来一般には円柱構造物に適用されてきた。円柱での C_Dと C_Mは高 KC 数でほ ぼ一定の値に収束し、設計値に採用されている。しかし、鋼製魚礁のように稜角部を有する部 材からなる構造物では、KC 数がかなり高い領域でも C_Mは収束せずに増加し続け、設計値を決 めにくいことが明らかになった(図 B4-2)。



図 B4-2 部材間隔の異なる高層魚礁模型の K_C-C_D と K_C-C_Mの関係 赤線と水色線: 平板とL型アングルの近似式

B5 モリソン式の代替法

最大力係数 CFmax を次元解析によって次式で定義する。

$$C_{F\max} = \frac{F_{\max}}{(1/2)\rho U_m^2 A}$$
(B5-1)

ここに、 F_{max} :最大波力(図 B5-1)。 $C_{F\text{max}}$ は KC 数、レイノ ルズ数などの無次元数の関数と考えられるが、様々な形状の 魚礁模型を用いた波力測定により、 $C_{F\text{max}}$ は KC 数の関数で 与えられることがわかった(図 B5-2)。またモリソン式では 基準体積 Vを適切に決める必要があるが、多くの魚礁ではそ れが困難であり、 $C_M c$ KC 数の関数として決め難い。これ に対して、代替法では $C_{F\text{max}}$ が複雑な形状であっても高 KC 水平波力Fx (symp) (sym

水平流速の時間変化の例

数のとき、主要構成部材の値に近づき、定式化しやすいこと、基準面積 $A \ge C_{Fmax}$ のみで最大波力を算出できること、 C_{Fmax} が不明の場合でも、KC 数の大きい領域($K_C > 60$)では安全側の設計値として平板の値を代用できることなどの実用に適した優れた特長があることもわかった。

以上の実験結果は波の場に限られるが、実際のほとんどの設計条件は波・流れ共存場であるため、上式を適用するための工夫が必要である。H26の検討では、沿岸域では波と流れがある程度 交差するが、同一方向としてベクトル合成する従来の方法では流速を過大評価し過ぎると考え、 また実際の設計の便宜を考慮して、次式を提案した。

$$F_{\max} = \frac{1}{2} \rho C_{F\max} A U_m^2 + \frac{1}{2} \rho C_{DS} A U_c^2$$
 (

5

ここに、C_{DS}:定常流中の抗力係数、U_c:設計で考慮する流れの速度。



図 B5-2 様々な魚礁模型の KC 数と C_{Fmax} との関係

B6 流体力算定の従来法と見直し案との比較

- 代替式(B5-2)は、波と流れによる抗力を分けて考えるため、従来の方法より流体力を小さく算出する場合がある。しかし実際には、そのような条件は流れの卓越する特定の r=U_c/(U_m+U_c) (ここに、U_c:定常流速、U_m:波動流速)の範囲に限られ、またその低下はわずかである(図 B6-1)。したがって、流体力の過小評価の危険性は実質的に無視できる。
- 図 B6-1の試算は、流体力算定式の見直しにより、設計流体力がどの程度変わるかを例示する。
 簡単化のため、主要な力の成分である抗力のみを比較している。方法1は設計波動流速の波高を有義波高から最大波高に変えた場合、方法2は波高に加えて、抗力係数を定常流の値から波動流中での値に変更した場合、方法3は提案式である。 ψ = C_D/C_{DS}は高層魚礁の実験における 典型的値として2を仮定した。
- グラフには、各方法と有義波基準の従来法による算定流体力の比をrに対して示した。提案式に相当する方法3は、方法2と方法1との中間に位置する。DNV(2010)の方法は、rが0付近では、方法2の曲線にあるが、r=0.3から方法1の曲線へ乗り換えることに相当し、大きなギャップを生じる。これに対して提案式は、方法2から方法1へ滑らかに移行し、また従来法より算定流体力が小さくなることはほとんどない。



補足資料-4.2

漁場施設の安全性照査における安定性について

1. 緒言

沈設魚礁、着定基質等の漁場施設の設計では、設計外力に対して、滑動、転倒はともに 起こらないよう検討している。一方、大部分の漁場施設では、多少動いても、機能上の損 失や被害もほとんどないと考えられることから、むしろ<u>ある程度の動きは許容して、経済</u> 的な設計を行うべきという意見もある。このことは、<u>安全性照査を行う際の前提条件</u>にな るもので、予め明確にしておく必要がある。

2. 設計における許容すべき移動と移動を許容する際の技術的課題

1)着定基質(石材)における安定質量と移動

漁場施設に用いられる<u>割石の安定性は、その形状と設置海底の不均一性のため、大きく</u> <u>ばらつく</u>。このため、100%の安全な設計は不経済で、ある程度の移動は許容すべきである が、どの程度の移動なら許されるかはこれまで議論されていない。

<u>現在検討中の着定基質(石材)の安定質量算定式は、明田ら(1992)の実験に準じて被害率</u> 10%での移動限界で定めている。ただし、明田らは「海岸保全施設や港湾の外郭施設であ るブロック積傾斜堤や離岸堤に使用される捨石や異形ブロックの Kd 値は、背後区域に及ぼ す社会経済的影響等を考慮して、被災率が1%以下となるように定められる。一方、アワビ・ ウニ類あるいはイセエビを対象とした増殖場は、天然の岩礁域や転石帯周辺に造成される ことが多い。そのため、<u>周辺海域に及ぼす影響や経済性等を考慮して、石材の所要重量は、</u> 石材の被災率が10%以下となる移動限界流速から検討することとした。」と述べているが、 被害率(被災率)10%の明確な根拠は示していない。

<u>割石は設置初期に最も不安定で、移動すると、より安定な位置に落ち着き、ある程度の</u> <u>波を受けた後の方が安定化する</u>と考えられる。<u>H25-26 年度に実施した着定基質の安定質量</u> に関する実験では、規則的な波を 10 波与えて石 1 個分以上の距離移動したものを"被害" として、設置初期状態から被害率 10%での流速(被災限界流速)で安定質量を決めている。 このため、<u>石が被災限界流速に繰り返し遭遇しても、被害率が 10%になるのは最初の遭遇</u> 時だけで、その後は安定化して割石が連続的に移動する事態にはならない。

2) 沈設魚礁の滑動に対する安定性

沈設魚礁の設計では、沈設魚礁の滑動に対する安定性は摩擦力と水平流体力との相対値 で評価され、摩擦力は静止摩擦係数から、また水平流体力はその魚礁固有の流体力係数か ら決められると仮定されているため、被害率が入り込む余地のない設計体系になっている。

3)移動量予測の問題

*C*_D、*C*_M、基準面積、基準体積は、流れに対する魚礁の向きが回転運動に伴い変化するため、移動の予測技術の確立はかなり困難になる。さらに移動量の予測には、暴風時の極大流速だけでなく、時間変化(時系列モデル波形)も決めなければならず、難しい課題となる。

4)移動に伴う衝撃力に対する部材強度の問題

魚礁の移動に伴い、これまでの設計では考慮されていないような衝撃力が作用する可能 性がある。移動を許容する場合は、その力に対する部材の安全性の照査が必要になるが、 そのような検討はこれまでなされておらず、解決しなければならない課題となる。

3. 沈設魚礁が動くこと(滑動、転倒)による効果面での問題

1) 魚礁の機能低下

- (1) 魚礁効果が礁の高さによって発揮される場合
 - A) 礁高が高い一体型の大型魚礁が転倒する場合



図1 高層魚礁の転倒(山形県高層魚礁原因究明検討委員会報告書より)

B) 山積みした魚礁単体からなる群体礁の高さが低下する場合



図2 山積みにした魚礁単体から成る単位魚礁の例(人工魚礁漁場造成計画指針より)

 $\mathbf{2}$

(2) 魚礁効果が魚礁の構造によって発揮される場合

移動、転倒に伴い、構造部材が破損したり、機能部材が脱落したり、あるいは反転によ り機能を低下、喪失することが考えられる。

(3) 魚礁単体の配置によって効果が発揮される場合

単位魚礁の配置間隔は、魚類の行動圏や蝟集効果に影響する重要な要因とされている。 したがって、単体の間隔が顕著に変化して配置に偏りが出るくらいになると、問題が発生 すると思われる。



図3 魚礁の配置例(人工魚礁漁場造成計画指針より)

2) 操業への影響

単位魚礁の配置間隔や配置方向は、操業方法にも影響する。 位置が確認できなくなるほど移動すれば、利用できなくなることも考えられる。

3. 動きを許容する簡便な方法(案)

移動を許容する設計は、現時点では技術的に困難であり、また効果の面からも問題が多い。しかし、全く動きを許容しない設計は安全側すぎて不経済となる場合も少なくないと考えられる。そこで、設計条件を緩和するための可能性のある方法として、以下の2つの方法を示す。

1)静止摩擦係数の確率分布を考慮する方法

<u>従来の設計では静止摩擦係数μの値として一般に標準値(定数)が用いられているが</u>、μ にはかなりのばらつきがあり(図4参照)、摩擦抵抗は当然その影響を受ける。摩擦係数は 施設の設置位置によって大きく異なり、設置後に波浪等により<u>わずかに移動して摩擦係数</u> <u>のより大きい位置に落ち着く</u>ことが考えられる。この過程を設計に折り込むことには、漁 場の施設が一般に重力式構造物(重量のみで安定性を確保する構造物)で、かつ多少滑動 しても問題が生じないことから、ある程度の合理性がある。μの確率分布でどの分位値(10% 点、50%点=中央値など)をとるべきかについては、μの確率分布から決められるものと思 われる。



図4 静止摩擦係数の確率密度分布の測定例(玉石底上の砕石の場合)

2) "転倒"に対する安定計算を物理的転倒に変更する方法

現在の設計では、"転倒"に対する安全性は転倒モーメントの釣り合いのみで考えられて いる。しかし以下の場合は、多少の動揺(傾き)では被災には至らない(図5)ので、安 全性照査を実際の転倒に至る限界に変更することで、安定質量を軽減できる可能性がある。

- 主要な外力が波浪である
- ② 魚礁が傾いても流体力が顕著に増加しない
- ③ 魚礁が揺動しても壊れない(小型魚礁、軟質底)



図5 "転倒"と判断されても被災にはならない例(左)と注意すべき例(右)

漁港・漁場の施設の設計手法の高度化検討調査漁場の施設の設計手法高度化技術検討委員会

平成27年度第二回委員会の指摘と対応

指摘者	指摘事項	対応
田島委員	【(1)調査の背景と本調査の検討項目について】 ・実際に転倒等している事例を集めて課題を抽出すること が必要である。	没水施設ということもあり、調 査事例が少ない。既往最大クラ スの気象擾乱を受けた安全率 の低い施設の調査を行う。
田島委員	【(4)沈設魚礁の安全性の照査法の検討】 ・波高、周期のスケールを変えて比較検討することも必要 だろう。	下記事務局提案の適用範囲検 討にて行う。
田島委員 岡安委員 大竹委員長	 【(4)沈設魚礁の安全性の照査法の検討】 CFmax では抗力のみで加速度による力が表せないのではないか。 注釈としてある KC 数以上では適用できるといった注意書きが必要だろう。 魚礁には、側面に設けて魚類の侵入や流れの通過を促進する穴がある。それに関して、どの程度の大きさならば提案式が使えるといった検討も必要。 	CFmax の理論的根拠を示す資 料を作成し、委員に詳細に説明 する。
大竹委員長	【(4)沈設魚礁の安全性の照査法の検討】 ・沈下埋没の実態把握が必要である。	今後、既往の文献、調査につい て確認を進める。ただし、本調 査では、砂地に設置した魚礁が 多少埋没した場合に滑動抵抗 がどの程度増加するかを対象 にしており、沈下・埋没の問題 は検討対象外である。
大竹委員長	【(4)沈設魚礁の安全性の照査法の検討】 ・移動の許容については、論点を整理して明確にし、課題 を抽出すべき。許容値をどこまで設計に取り込めるか。 そのためにも移動の実態を知りたい。もう少し議論を深 める必要がある。	安定とみなされる範囲を施設 タイプごとに検討し、マトリッ クス形式でまとめる。
田島委員	【(5)海洋モデルによる流動情報の設計への使用方法】 ・1/7 乗則の適用の問題性からモデル利用が浮上したが、 利用についてはもう少し議論やデータ蓄積が必要であろ う。どのような場合なら使えるのか考えてほしい。	事例をなるべく多く収集し、ご 指摘の適用性についても検討 する。
事務局	【(6) 今後の課題】 ・ 沈設魚礁設計の提案手法の適用範囲検討について、今後 の議題とさせてほしい。	_

平成 27 年度

漁港・漁場の施設の設計手法の高度化検討調査漁場の施設の設計手法高度化技術検討委員会

議 事 抄 録

日時:平成 28 年 2 月 19 日 (金) 13:30~16:30 開催場所:エッサム神田ホール

(1)開会

◎事務局(水工研 明田部長):

委員会を始めさせていただきます。本日は年度末のお忙しい中、委員の先生方ご出席いただきありが とうございます。昨年度までの調査で一定の成果は出ているが、今年度は魚礁、着底基質に着眼して設 計手法の高度化について議論を進めていきたい。3人の先生におかれましてはよろしくご指導いただきた い。

(2)水産庁挨拶

◎水産庁(吉塚課長):

本日は先生方ご多忙の中委員会にご出席いただきありがとうございます。仕様規定から性能設計への 移行、近年の技術の進歩を鑑みて設計手法の改訂を進めてきたが、漁場施設については技術的知見が十 分でなかったため、それを深める意味でこの委員会を行うこととした。先生方の貴重なご意見を賜れれ ば幸いであり、よろしくご指導をお願いいたします。

(3)委員長挨拶

◎大竹委員長:

委員の先生方お集まりいただいてありがとうございます。前回委員会からある程度時間が経過したの で、進捗したところを説明してほしい。

(4)調査の背景と本調査の検討項目について、前回委員会の指摘と対応

◎事務局(漁村総研 吉野主研):資料-1、資料-2:(省略)

◎質問·意見:

◎大竹委員長:

漁場には様々な施設があるが、今回は2種が対象となっている。これらの設計条件をどのように考え るか。港湾は Hmax を使っているがそれに準じるのか。潮流等流れの鉛直分布をどのように変えていく のか。等々大きな課題になっている。そこで水産庁に聞きたいが、本委員会での議事は、設計参考図書 の修正を念頭にとりまとめることを求められているのか確認したい。

◎水産庁:(内田課長補佐)

必ずしも、設計指針を改訂することのみを前提とした議論を本委員会にお願いしているわけはなく、 残された課題について、様々な知見を大きな視点で議論して頂きたい。

◎大竹委員長:

委員は研究者として、事業のことはわからないが、技術に関する事項については対応できる。

◎水産庁:(内田課長補佐)

検討していただいた改善策は、すぐに設計参考図書へ反映させるものと今後研究を継続するものの2 つに分けて対応することとなるのではないか。

◎田島委員:

実際に転倒等している事例を集めて課題を抽出することが必要である。

◎事務局:(漁村総研 吉野主研)

没水施設ということもあり、調査事例が少ない。そのため、本当に被災していないのか、被災しても 顕在化していないのかわからないというのが現状である。今後この調査の中で、安全率の低い施設が既 往最大クラスの気象擾乱を受けた際に調査に行くことも考えている。

◎事務局:(水工研 中山部長)

最近は魚礁メーカーも様々な施策を講じているので、被災はほとんどないと聞いている。

(5) 着底基質の安定質量算定手法の検討

◎事務局(水工研 川俣G長):資料-3:(省略)

◎田島委員:

U⁶式は質量と抗力のバランスの式と理解しているが、そうだと比重が変わると係数も変わるのではないか。

◎事務局(水工研 川俣G長):

それを考慮してある。導出については前回委員会資料に記載されている。

3

◎田島委員:

現地調査の割石のサイズは?また、加速度の経時変化によると 10 月 10 日に加速度が検出されている 石と検出されていない石がある。これを移動の有無とできないか。

◎事務局(水工研 川俣G長):

割石サイズは 1.16~3.01t である。10月10日の加速度は微小でノイズの可能性がある。

◎田島委員:

実験結果では周期の効果が認められるが、そうなると加速度に影響する。慣性力も効いてくるのではないか。

◎事務局(水工研 川俣G長):

そのとおりだが、実際には反流、マイナスの流速で動いている。

◎岡安委員:

それは波形がゆがむということか。

◎事務局(水工研 川俣G長):

そのとおり。

◎岡安委員:

加速度が検出されても、結局は石が動いていないのはどのようなことか。

◎事務局(水工研 川俣G長):

石がロッキングしていることである。

〇大竹委員長:

設計流速は何を使うのか。

◎事務局(水工研 川俣G長):

作用波から求められる最大流速を使う。

◎岡安委員:

施工については、石の密度が単体、75%、囲い礁付の三択しか想定しないのか。係数αを滑らかに変化

4
させられるなら選択の幅が広がる。また、囲い礁の高さはどのように決めているか。石が飛び出すよう な移動は観察されたか。

◎事務局(水工研 川俣G長):

密度については、その3種で実事業の内容を包含できると考えている。囲い礁高さは石と同程度。石 が飛び出すような移動は観察されなかった。

◎岡安委員:

被災の定義は実験では移動の有無になるが、実施設でもその定義は妥当か。多少動いても問題ないの ではないか。

◎事務局(水工研 川俣G長):

動いて他の意思と当たって割れることもある。被災の定義は妥当と考えている。

◎大竹委員長:

囲い礁の石と内部の石の移動特性は違ってくるか。また、この考えで求められる質量の石材で地元は 合意するだろうか。

◎事務局(水工研 川俣G長):

恐らくほとんど変わらない。質量については生物的判断も加わるが問題ないと思う。

◎水産庁:(内田課長補佐)

石が砂にめり込んで摩擦係数が大きくなることはあるか。

◎事務局(水工研 川俣G長):

あるだろうが、安全側を見込んで変更しないほうが良い。

◎大竹委員長:

追加の現地調査を行う予定はあるか。

◎事務局(水工研 川俣G長):

新たな現地調査は行わず、これまでの結果を基にまとめていきたい。

◎大竹委員長、岡安委員、田島委員:

5

4-6-a171

新たな現地調査は行わず、これまでの結果を基にまとめていくことで合意する。

(6)沈設魚礁の安全性の照査法の検討

◎事務局(水工研 川俣G長、アルファ水工 綿貫部長):資料-4、補足資料-4.1、補足資料-4.2:(省略)

【提案式について】

◎田島委員:

提案式は抗力のみを考慮し、加速度は非考慮なのか。

◎事務局(水工研 中山部長):

両方を繋げている。両者に位相差はあるが、KC 数が大きく慣性力項は小さいので良い線行っている。 設計流速なので、最大値を押さえればよい。部材が大きくなると KC 数が小さくなるが、魚礁のような部 材自体は小さい場合は問題にはならない。また、この式一本とするわけではなく、モリソン式と併記と したい。

◎大竹委員長:

実際の魚礁の KC 数はどの程度か。

◎事務局(水工研 川俣G長):

概ね60以上である。

◎田島委員:

流速の 2 乗を使うと安全側になるので、この考えで良いと思う。また、波高、周期のスケールを変え て比較検討することも必要だろう。

◎岡安委員:

補足資料-4.1 の p.5 で CM が KC 数に合わせて大きくなるが、KC 数が大きくなると慣性力項の寄与が 小さくなるため、結局結果にはあまり影響しないだろう。

◎田島委員:

大きな魚礁の適用に問題ないか。

◎事務局(水工研 川俣G長):

高層魚礁は幼生期のほとんどが空隙なので問題ない。円筒型の魚礁には若干の懸念があるが、大きな

穴があるので問題ないと思う。

◎岡安委員:

大きくなるほど空隙が大きくなり抗力が卓越する。魚礁内に死水域があると慣性力が効いてくるが、 それほど大きくはならないだろう。ただし、注釈としてある KC 数以上では適用できるといった注意書き が必要だろう。

◎大竹委員長:

魚礁の穴に関して、どの程度の大きさならば使えるといった検討も必要。

◎事務局(水工研 中山部長):

メーカー側の努力も必要。CD は既出だが、振動流中の実験も行うべき。

◎岡安委員:

本来ならばレイノルズ数も関連付けねばならないだろう。

◎事務局(水工研 川俣G長):

難しい。平板ならば実スケール実験を行っており、計算と実験で値は整合していた。

【現地調査について】

◎田島委員:

A、B両方で動いているが、摩擦係数はどのような値を使っているか。

◎事務局(アルファ水エ 綿貫部長):

Bはコンクリート同士なので 0.5 を使っていると思う。確認した上で、今後作用流体力の検討を行う。

【沈下埋没について】

◎水産庁(内田課長補佐):

経年変化での沈下と、設計上の問題による沈下の両者があるのか。

◎大竹委員長:

両方あるだろう。魚礁整備においては、きちんと地盤の調査を行っていないことが多い。沈下埋没には実態把握が必要だが、そのような、例えばアンケート調査のようなことができるか。

4-6-a173

◎事務局(水工研 中山部長):

魚礁協会等で行っていると思う。調べてみる。

◎水産庁(内田課長補佐):

海中施設なので管理という考えが無かったのが現状である。

◎岡安委員:

経年変化である程度は沈むだろうが、復旧に多大なコストを要するならば諦めることも考えるべき。 構造によって沈みやすい施設があるなら問題である。

◎大竹委員長:

水産庁で状況調査を行っているなら委員会で出してほしい。

◎水産庁(内田課長補佐):

過去のデータを調べる。

【移動について】

◎田島委員:

移動量を考慮するということは、外力の作用時間も定めねばならないが、その辺どのように考えているか。

◎事務局(水工研 中山部長):

実施することは可能だが、そこまで適用すべきかは議論が必要。許容値は通常魚礁なら施工精度程度 は許容し、高層魚礁は転倒につながるので許容しないという考え方もある。

◎大竹委員長:

課題をもう少し絞るべき。許容値をどこまで設計に取り込めるか。そのためにも移動の実態を知りたい。

◎水産庁(内田課長補佐):

結局、例えば着底基質なら石1個、石2個という議論に帰着してしまう。

◎事務局(水工研 中山部長):

着底基質なら被害率でまとめるが、魚礁は難しい。

〇大竹委員長:

この件については、もう少し議論を深める必要がある。

(7)海洋モデルによる流動情報の設計への取り組み

◎事務局(水工研 杉松研究員):資料-5:(省略)

◎岡安委員:

日最大値は概ね合っているが、その発生時刻は合っていないということで良いか。

◎田島委員:

設計に使うなら、ある擾乱イベントのみ精度が確保されればよいという考えもある。。

◎岡安委員:

そのイベント発生有無が計算を回さないとわからないところが苦しい。

◎大竹委員長:

1/7 乗則という便利な方法の精度が低いことがわかり、その対処案としてモデル利用が浮上した。ただ し、利用についてはもう少し議論やデータ蓄積が必要であろう。どのような場合なら使えるのか考えて ほしい。

(8)今後の課題

◎事務局(漁村総研 吉野主研):

沈設魚礁設計の提案手法の適用範囲検討について、今後の議題とさせてほしい。

〇大竹委員長:

魚礁を公共事業で整備しているのは日本だけであり、日本が技術でリードできる分野である。そのため、データを蓄積するような組織も必要だろう。

(9)その他

特に無し。

◎事務局(水工研 明田部長)

以上いただいた意見を基に検討を進める。委員の皆様におかれては、今後もよろしくご指導を賜りたい。

漁港・漁場の施設の設計手法の高度化検討調査漁場の施設の設計手法高度化技術検討委員

会

平成 27 年度第二回委員会の指摘と対応

指摘者	指摘事項	対応
田島委員	【(1)調査の背景と本調査の検討項目について】 ・実際に転倒等している事例を集めて課題を抽出するこ とが必要である。	没水施設ということもあり、調 査事例が少ない。できるだけ多 くの事例を収集したいところ であるが、設置水深が深く、調 査はコスト的にも技術的にも 難しいため、的を絞って実施し たい。
田島委員	【(4) 沈設魚礁の安全性の照査法の検討】 ・波高、周期のスケールを変えて比較検討することも必要 だろう。	下記事務局提案の適用範囲検 討にて行う。
田島委員 岡安委員 大竹委員長	 【(4)沈設魚礁の安全性の照査法の検討】 •CFmax では抗力のみで加速度による力が表せないのではないか。 ・注釈としてある KC 数以上では適用できるといった注意書きが必要だろう。 ・魚礁には、側面に設けて魚類の侵入や流れの通過を促進する穴がある。それに関して、どの程度の大きさならば提案式が使えるといった検討も必要。 	CFmax の理論的根拠を示す資 料を作成し、委員に詳細に説明 する。
大竹委員長	【(4)沈設魚礁の安全性の照査法の検討】 ・沈下埋没の実態把握が必要である。	本調査では、砂地に設置した魚 礁が多少埋没した場合に滑動 抵抗がどの程度増加するかを 対象にしており、沈下・埋没の 問題は検討対象外である。
大竹委員長	【(4)沈設魚礁の安全性の照査法の検討】 ・移動の許容については、論点を整理して明確にし、課題 を抽出すべき。許容値をどこまで設計に取り込めるか。 そのためにも移動の実態を知りたい。もう少し議論を深 める必要がある。	安定とみなされる範囲を施設 タイプごとに検討、整理する。
田島委員	【(5)海洋モデルによる流動情報の設計への使用方法】 ・1/7 乗則の適用の問題性からモデル利用が浮上したが、 利用についてはもう少し議論やデータ蓄積が必要であろ う。どのような場合なら使えるのか考えてほしい。	事例をなるべく多く収集し、ご 指摘の適用性についても検討 する。
事務局	【(6) 今後の課題】 ・沈設魚礁設計の提案手法の適用範囲検討について、今後 の議題とさせてほしい。	_

平成 27 年度

漁港・漁場の施設の設計手法の高度化検討調査漁場の施設の設計手法高度化技術検討委員会

議 事 抄 録

日時:平成28年2月19日(金) 13:30~16:30 開催場所:エッサム神田ホール

(1)開会

◎事務局(水工研 明田部長):

委員会を始めさせていただきます。本日は年度末のお忙しい中、委員の先生方ご出席いただきありがと うございます。昨年度までの調査で一定の成果は出ているが、今年度は魚礁、着底基質に着眼して設計手 法の高度化について議論を進めていきたい。3人の先生におかれましてはよろしくご指導いただきたい。

(2)水産庁挨拶

◎水産庁(吉塚課長):

本日は先生方ご多忙の中委員会にご出席いただきありがとうございます。仕様規定から性能設計への 移行、近年の技術の進歩を鑑みて設計手法の改訂を進めてきたが、漁場施設については技術的知見が十分 でなかったため、それを深める意味でこの委員会を行うこととした。先生方の貴重なご意見を賜れれば幸 いであり、よろしくご指導をお願いいたします。

(3)委員長挨拶

〇大竹委員長:

委員の先生方お集まりいただいてありがとうございます。前回委員会からある程度時間が経過したの で、進捗したところを説明してほしい。

(4)調査の背景と本調査の検討項目について、前回委員会の指摘と対応

◎事務局(漁村総研 吉野主研):資料-1、資料-2:(省略)

◎質問·意見:

〇大竹委員長:

漁場には様々な施設があるが、今回は2種が対象となっている。これらの設計条件をどのように考え るか。港湾は Hmax を使っているがそれに準じるのか。潮流等流れの鉛直分布をどのように変えていく のか。等々大きな課題になっている。そこで水産庁に聞きたいが、本委員会での議事は、設計参考図書の 修正を念頭にとりまとめることを求められているのか確認したい。

4-6-a178

◎水産庁:(内田課長補佐)

必ずしも、設計指針を改訂することのみを前提とした議論を本委員会にお願いしているわけはなく、残 された課題について、様々な知見を大きな視点で議論して頂きたい。

〇大竹委員長:

委員は研究者として、事業のことはわからないが、技術に関する事項については対応できる。

◎水産庁:(内田課長補佐)

検討していただいた改善策は、すぐに設計参考図書へ反映させるものと今後研究を継続するものの2 つに分けて対応することとなるのではないか。

◎田島委員:

実際に転倒等している事例を集めて課題を抽出することが必要である。

◎事務局:(漁村総研 吉野主研)

没水施設ということもあり、調査事例が少ない。そのため、本当に被災していないのか、被災しても顕 在化していないのかわからないというのが現状である。今後この調査の中で、安全率の低い施設が既往最 大クラスの気象擾乱を受けた際に調査に行くことも考えている。

◎事務局:(水工研 中山部長)

最近は魚礁メーカーも様々な施策を講じているので、被災はほとんどないと聞いている。

(5) 着底基質の安定質量算定手法の検討

◎事務局(水工研 川俣G長):資料-3:(省略)

◎田島委員:

U⁶ 式は質量と抗力のバランスの式と理解しているが、そうだと比重が変わると係数も変わるのではないか。

◎事務局(水工研 川俣G長):

それを考慮してある。導出については前回委員会資料に記載されている。

〇田島委員:

現地調査の割石のサイズは?また、加速度の経時変化によると 10 月 10 日に加速度が検出されている 石と検出されていない石がある。これを移動の有無とできないか。

◎事務局(水工研 川俣G長):

割石サイズは1.16~3.01tである。10月10日の加速度は微小でノイズの可能性がある。

〇田島委員:

実験結果では周期の効果が認められるが、そうなると加速度に影響する。慣性力も効いてくるのではないか。

◎事務局(水工研 川俣G長):

そのとおりだが、実際には反流、マイナスの流速で動いている。

◎岡安委員:

それは波形がゆがむということか。

◎事務局(水工研 川俣G長):

そのとおり。

◎岡安委員:

加速度が検出されても、結局は石が動いていないのはどのようなことか。

◎事務局(水工研 川俣G長):

石がロッキングしていることである。

〇大竹委員長:

設計流速は何を使うのか。

◎事務局(水工研 川俣G長):

作用波から求められる最大流速を使う。

◎岡安委員:

施工については、石の密度が単体、75%、囲い礁付の三択しか想定しないのか。係数αを滑らかに変化

させられるなら選択の幅が広がる。また、囲い礁の高さはどのように決めているか。石が飛び出すような 移動は観察されたか。

◎事務局(水工研 川俣G長):

密度については、その3種で実事業の内容を包含できると考えている。囲い礁高さは石と同程度。石が 飛び出すような移動は観察されなかった。

◎岡安委員:

被災の定義は実験では移動の有無になるが、実施設でもその定義は妥当か。多少動いても問題ないので はないか。

◎事務局(水工研 川俣G長):

動いて他の意思と当たって割れることもある。被災の定義は妥当と考えている。

〇大竹委員長:

囲い礁の石と内部の石の移動特性は違ってくるか。また、この考えで求められる質量の石材で地元は合意するだろうか。

◎事務局(水工研 川俣G長):

恐らくほとんど変わらない。質量については生物的判断も加わるが問題ないと思う。

◎水産庁:(内田課長補佐)

石が砂にめり込んで摩擦係数が大きくなることはあるか。

◎事務局(水工研 川俣G長):

あるだろうが、安全側を見込んで変更しないほうが良い。

〇大竹委員長:

追加の現地調査を行う予定はあるか。

◎事務局(水工研 川俣G長):

新たな現地調査は行わず、これまでの結果を基にまとめていきたい。

◎大竹委員長、岡安委員、田島委員:

5

4-6-a181

新たな現地調査は行わず、これまでの結果を基にまとめていくことで合意する。

(6)沈設魚礁の安全性の照査法の検討

◎事務局(水工研 川俣G長、アルファ水工 綿貫部長):資料-4、補足資料-4.1、補足資料-4.2:(省略)

【提案式について】

◎田島委員:

提案式は抗力のみを考慮し、加速度は非考慮なのか。

◎事務局(水工研 中山部長):

両方を繋げている。両者に位相差はあるが、KC 数が大きく慣性力項は小さいので良い線行っている。 設計流速なので、最大値を押さえればよい。部材が大きくなると KC 数が小さくなるが、魚礁のような部 材自体は小さい場合は問題にはならない。また、この式一本とするわけではなく、モリソン式と併記とし たい。

〇大竹委員長:

実際の魚礁の KC 数はどの程度か。

◎事務局(水工研 川俣G長):

概ね60以上である。

◎田島委員:

流速の2乗を使うと安全側になるので、この考えで良いと思う。また、波高、周期のスケールを変えて 比較検討することも必要だろう。

◎岡安委員:

補足資料-4.1 の p.5 で CM が KC 数に合わせて大きくなるが、KC 数が大きくなると慣性力項の寄与が 小さくなるため、結局結果にはあまり影響しないだろう。

◎田島委員:

大きな魚礁の適用に問題ないか。

◎事務局(水工研 川俣G長):

高層魚礁は幼生期のほとんどが空隙なので問題ない。円筒型の魚礁には若干の懸念があるが、大きな穴

があるので問題ないと思う。

◎岡安委員:

大きくなるほど空隙が大きくなり抗力が卓越する。魚礁内に死水域があると慣性力が効いてくるが、それほど大きくはならないだろう。ただし、注釈としてある KC 数以上では適用できるといった注意書きが 必要だろう。

〇大竹委員長:

魚礁の穴に関して、どの程度の大きさならば使えるといった検討も必要。

◎事務局(水工研 中山部長):

メーカー側の努力も必要。CD は既出だが、振動流中の実験も行うべき。

◎岡安委員:

本来ならばレイノルズ数も関連付けねばならないだろう。

◎事務局(水工研 川俣G長):

難しい。平板ならば実スケール実験を行っており、計算と実験で値は整合していた。

【現地調査について】

◎田島委員:

A、B両方で動いているが、摩擦係数はどのような値を使っているか。

◎事務局(アルファ水エ 綿貫部長):

B はコンクリート同士なので 0.5 を使っていると思う。確認した上で、今後作用流体力の検討を行う。

【沈下埋没について】

◎水産庁(内田課長補佐):

経年変化での沈下と、設計上の問題による沈下の両者があるのか。

〇大竹委員長:

両方あるだろう。魚礁整備においては、きちんと地盤の調査を行っていないことが多い。沈下埋没には 実態把握が必要だが、そのような、例えばアンケート調査のようなことができるか。

7

4-6-a183

◎事務局(水工研 中山部長):

魚礁協会等で行っていると思う。調べてみる。

◎水産庁(内田課長補佐):

海中施設なので管理という考えが無かったのが現状である。

◎岡安委員:

経年変化である程度は沈むだろうが、復旧に多大なコストを要するならば諦めることも考えるべき。構 造によって沈みやすい施設があるなら問題である。

〇大竹委員長:

水産庁で状況調査を行っているなら委員会で出してほしい。

◎水産庁(内田課長補佐):

過去のデータを調べる。

【移動について】

〇田島委員:

移動量を考慮するということは、外力の作用時間も定めねばならないが、その辺どのように考えているか。

◎事務局(水工研 中山部長):

実施することは可能だが、そこまで適用すべきかは議論が必要。許容値は通常魚礁なら施工精度程度は 許容し、高層魚礁は転倒につながるので許容しないという考え方もある。

◎大竹委員長:

課題をもう少し絞るべき。許容値をどこまで設計に取り込めるか。そのためにも移動の実態を知りたい。

◎水産庁(内田課長補佐):

結局、例えば着底基質なら石1個、石2個という議論に帰着してしまう。

◎事務局(水工研 中山部長):

着底基質なら被害率でまとめるが、魚礁は難しい。

◎大竹委員長:

この件については、もう少し議論を深める必要がある。

(7)海洋モデルによる流動情報の設計への取り組み

◎事務局(水工研 杉松研究員):資料-5:(省略)

◎岡安委員:

日最大値は概ね合っているが、その発生時刻は合っていないということで良いか。

◎田島委員:

設計に使うなら、ある擾乱イベントのみ精度が確保されればよいという考えもある。。

◎岡安委員:

そのイベント発生有無が計算を回さないとわからないところが苦しい。

◎大竹委員長:

1/7 乗則という便利な方法の精度が低いことがわかり、その対処案としてモデル利用が浮上した。ただし、利用についてはもう少し議論やデータ蓄積が必要であろう。どのような場合なら使えるのか考えてほしい。

(8)今後の課題

◎事務局(漁村総研 吉野主研):

沈設魚礁設計の提案手法の適用範囲検討について、今後の議題とさせてほしい。

◎大竹委員長:

魚礁を公共事業で整備しているのは日本だけであり、日本が技術でリードできる分野である。そのため、データを蓄積するような組織も必要だろう。

(9)その他

特に無し。

◎事務局(水工研 明田部長)

以上いただいた意見を基に検討を進める。委員の皆様におかれては、今後もよろしくご指導を賜りた い。

漁場の施設の設計手法高度化の検討 次年度計画について

(国研)水産総合研究センター 水産工学研究所 国際気象海洋(株) (株)アルファ水エコンサルタンツ

着定基質(石材)の安定質量算定法の検討

これまでの提案式は以下のとおり

$$M = \alpha \rho_s \left[\frac{K_m}{2 \mu g(\rho_s / \rho - 1)} \right]^3 U^6$$

M:石材の安定質量(t) μ:静止摩擦係数 ρ_s、ρ:石材と海水の密度(t/m³)

 $\alpha = \begin{cases}
1 & 単体で設置 \\
0.2 & 敷き詰め密度75%以上の群で設置 \\
0.04 囲い礁を設けて敷詰め密度75%以上の群で設置
\end{cases}$ $K_m = \begin{cases}
3.5 波の場 \\
2.3 流れの場 \\
2.3 流れの場
\end{cases}$

 $U = \begin{cases} U_m & i columination (U_m: 最大波動流速) \\ U_c & i columination (U_c: 底面から石の高さまでの2乗平均流速) \end{cases}$

今年度の結論と課題

模型実験レベルでは、提案式は全体的に概ね妥当な推定値を与えることが確認 された。しかし、現地調査では、提案式は現行式よりも改善されたものの、ま だかなり過大な安定質量を算出することも示された(安定質量算定値は現行式 で46t、提案式で15t、実際は約2t)。この問題は、模型実験結果でみられた周 期による系統的差異に関係し、提案式をその差異も適切に説明できるよう修正 できれば、解決するものと考えられる(補足資料1参照)。 着定基質の安定質量算定法:次年度計画

流速の評価方法と係数(K_mとµ)の値の再検討

これまでの模型実験データの再解析と補足実験により提案式の見直しを 行う。現地調査の結果に適合することも確認する。

- ※ 波動流速の代表値として、従来用いてきた岸向最大流速U_{max}を平均流速振幅 U_aに変更すべきかは以下の理由により検討を要する。
- ① U_aに変更すると、波・流れ共存場へ拡張し難くなる可能性がある(U_aの物理的根拠が少し曖昧になる)。 U_aよりもU_{rms}(実効流速)の方がよい代表値になる可能性もある。
- $②K_m$ が流体力係数(C_D または C_{Fmax})に比例することから、流速の代表値を U_{max} のままとして K_m をKC数の関数として見直すことで U_{min} の影響を評価できる可能性がある。

波の場の場合 $K_C = \underbrace{U_{\text{max}}T}_{D}$ 半周期で流体が移動する距離a(正弦波の 流速なら $a=U_{\text{max}}T/\pi$)に比例する量

非対称の波動流速や 波・流れ共存場の場合 $K_C = \frac{\pi(a + U_c T)}{D}$ (拡張KC数)

ここに、

U_{max}:最大波動流速、U_c:流れの速度、T:波の周期、D:物体の幅







H25年度の実験に用いた 砕石100個(M₅₀=293g) 砕石の被災限界流速を以下の流速条件で調べる 流速条件

- 1)非対称振動流(振動流+定常流)周期8~12s 2)対称振動流 周期12s
- ●振動流の周期が長いため、流体力係数(C_Dまた はC_{Fmax}すなわちK_m)が低下して移動限界流速 が増加すると予想される
- ●どの流速評価値(U_a、U_{max}、U_{rms}など)がより 良いかがわかる



沈設魚礁の安全性の照査法の検討:次年度計画

沈設魚礁の安全性の照査法について以下を検討

1) 流体力算定法の現地検証(継続)

今年度、施設の移動が確認された2工区について、①移動原因と考えられている激浪(2014年7月の台風8号)時の流速を、気象データから波浪のシミュレーションにより推算、②模型実験により施設の流体力係数を測定、③流体力算定の従来法と提案法で最大流体力を推定し、現状との対比により両者の妥当性を比較検討する。

2) 砂質底上での安全性の照査法に関する実験的検討

砂面上での魚礁模型の安定性に関する造波水槽実験を行う。

不規則波実験により、初期滑動限界、および洗掘後の滑動限界と転倒(横転、回転)限界を調べる。波高の確率分布を考慮した、これらの限界の推定 方法を検討する。

3) 照査法の妥当性に関する沈設魚礁の実態調査(追加)

照査法見直しの必要性については現場での情報が不足している。更なる判断材料を得るため、層積みまたは乱積みされたコンクリート魚礁を対象に実態調査を行う。

照査法の妥当性に関する沈設魚礁の実態調査

- 今年度は、沈設魚礁の移動状況を位置の変化から把握できる施設を全国の施設の 中から抽出。しかし、そのような調査に適する施設は、正確な設置位置情報がないなどの理由により、4カ所(すべて最近の同一県)に限られた。このような調査方法を全国の魚礁調査に適用するのは難しい。
- 全国的調査の可能性のある方法として、層積みまたは乱積みされたコンクリート 魚礁の高さの変化に焦点を当てた調査が考えられる。積み上げられた魚礁の高さ も設計の目標値とされ、施工後、シングルビームの音響測深等により調査されて いる。そこで、層積みまたは乱積みされた魚礁の高さが魚礁の落下により低下し ていないかを調べる。
- 今年度収集した全国の安定計算表(H24~25年度、約220件)の中から該当する 施設を抽出。さらに、比較的大きい波浪に遭遇した予想される(ナウファス等の 波浪データや天気図などから推測)魚礁を絞り込んで調査を実施。



層積み魚礁の例



乱積み魚礁の例

7

海洋モデルの利用による流れの設計条件の決定 に関する検討:次年度計画

検証事例の蓄積

海域によって外力等の条件が異なるため、検証事例の積み重ねが必要である。

現時点では、長期流速観測と海洋モデルによる数値計算を行っている茨城沖を検討対 象海域に予定。

※海洋モデルでは日平均化されたデータしか保存されていない。日平均化されたデー タであれば、高知県沖の浮魚礁での流速観測データとの比較も可能。 平成 27 年度漁場の施設の設計手法高度化技術検討委員会 委員説明資料 2016/3/9 作成

最大力係数 CFmax について

H27 年度第2回委員会において、C_{Fmax}は加速度による力(慣性力)を考慮していない、あるいは慣性力が卓越する大型の魚礁の場合は問題になるといった意見があった。そのようなことはないことを以下に示す。

説明

1) 支配的な物理法則に基づく次元解析(江守一郎 1985) による説明

流体力
$$F = F_D + F_I$$
 (1)

抗力
$$F_D = \rho u^2 l^2 \propto \rho U_m^2 l^2$$
 (2)

慣性力
$$F_I = \rho \frac{u}{t} l^3 \propto \rho \frac{U_m}{T} l^3$$
 (3)

ここに、 ρ :流体の密度、 $u = U_m \sin(2\pi t/T)$:波動流速、l:物体の代表長さ

慣性力と抗力の比を

$$\frac{F_I}{F_D} = \alpha \frac{\rho U_m l^3 / T}{\rho U_m^2 l^2} = \alpha \frac{l}{U_m T} = \frac{\alpha}{K_C}$$
(4)

ここに、 $K_C = U_m T/l$ 、 α :係数(KC 数に依存)

とおく。式(1)の両辺を F_D で割ると、

$$\frac{F}{F_D} = 1 + \frac{F_I}{F_D} = 1 + \frac{\alpha}{K_C}$$
 (5)

すなわち、次式が得られる。

$$\frac{F}{\rho U_m^2 l^2} \propto 1 + \frac{\alpha}{K_C} \tag{6}$$

したがって、次式で定義される CFmaxも Kcの関数(主要パイナンバーが KC 数)である。

$$C_{F\max} \equiv \frac{F_{\max}}{\rho U_m^2 l^2} \tag{7}$$

流体力に粘性力も重要であれば、式(1)の右辺に粘性力 $F_V = \mu u l \propto \mu U_m l$ (μ :流体の粘性係数)を 加える。その場合は、 C_{Fmax} が KC 数だけでなく、レイノルズ数 $Re = U_m l/\nu$ ($\nu \equiv \mu/\rho$)の関数になることが 示される。 2) 微分方程式からの説明

$$F = \frac{1}{2}\rho u^2 C_D A + \rho \frac{\partial u}{\partial t} C_M V = \rho U_m^2 C_D A \sin^2 \frac{2\pi t}{T} + C_M V \rho U_m \frac{2\pi}{T} \cos \frac{2\pi t}{T}$$
(8)

式(8)の両辺を(1/2) ρ Um2Aで割ると、

$$\frac{F}{\rho U_m^2 A/2} = C_D \sin^2 \frac{2\pi t}{T} + \frac{2C_M}{K_C'} \cos \frac{2\pi t}{T}$$
(9)

ここに、 $K_C' = U_m TA/(\pi V)$ ($U_m T/\pi$ は半周期の水粒子軌道振幅であることに注意)

 $y = F/\rho U_m^2 A$ 、 $x = \cos(2\pi t/T)$ とおくと、式(9)は次式となる。

$$y = C_D (1 - x^2) + \frac{2C_M}{K_C} x \tag{10}$$

したがって、 $F = F_{\text{max}}$ (すなわち、yが最大)となるときのxは $\partial y / \partial x = 0$ より、

$$\frac{\partial y}{\partial x} = -2C_D x + \frac{2C_M}{K_C} = 0 \tag{11}$$

よって

$$x = \frac{C_M}{C_D K_C'} \tag{12}$$

式(10)と式(12)より y の最大値、 すなわち CFmax は次式で表される。

$$C_{F_{\text{max}}} = C_D \left[1 - \left(\frac{C_M}{C_D K_C'} \right)^2 \right] + \frac{2C_M^2}{C_D K_C'^2}$$
(13)

 $C_D \& C_M$ は共に KC 数の関数である場合、式(13)は、 C_{Fmax} も KC の関数であることを表す。

まとめ

- ・次元解析から導かれる最大力係数 CFmax は主要パイナンバーの関数として近似される。
- 主要パイナンバーとして KC 数、レイノルズ数などが考えられるが、CD、CMの主要パイナンバーが KC 数であれば、CFmaxの主要パイナンバーも KC 数となる。その場合は、CFmaxは抗力と慣性力との比(すなわち KC 数)とは無関係に、CFmaxは KC 数の関数として表すことができる。
- •モリソン式では原理的に任意の流速波形に対して最大流体力を求めることができる。
- これに対して、C_{Fmax}の式では流速波形が正弦波で近似できることを前提としている。しかし、沈設魚礁の設計では、正弦波形の波動流速が仮定されているので、波の場では式(13)が成立する。また、波・流れ共存場での C_{Fmax}の提案式では、波による力と流れによる力は独立で、流体力は両者の和として表されると仮定されているので、式(13)は同様に成り立つ。すなわち、C_{Fmax}の式はモリソン式と同様に KC 数に無関係に適用され、設計体系としても矛盾しない。

着定基質(石材)の安定質量算定式の再検討のための試算

提案式による安定質量算定の精度は、現行の算定式に比べて大幅に向上する ことが期待される。しかしながら、模型実験や現地調査の結果の中には提案式 では説明しきれていない変動もみられ、単体での割石の設置を行うにはより精 度の高い算定手法の構築が必要である。

提案式の推定精度が十分でない原因として、提案式は従来式と同様に作用外 力は最大流速のみで評価している点が挙げられる。浅海域での波動流の場合は、 非線形性が強く、石の安定性には岸向最大流速だけでなく、流速の非対称性も 重要であると考えられる。

本補足資料では、これまで実験でみられた周期による系統的差異や模型実験 結果と現地調査結果との差異が岸向最大流速だけでなく、沖向最小流速にも関 係している可能性を示唆する試算結果を得たので、報告する。







玉石底上の単体設置の場合(流速の再評価)





現地調査結果(抜粋)



は上側)

最大流速発生時における流速波形



4.6.2 津波漂流物対策の技術検討調査委員会

(1)委員の選定

的確かつ効率的な技術的助言・指導を得て研究成果の向上を実現するため、平成 27 年度の検討項目を踏まえ、以下の委員を選定した。

●委員会メンバー

		氏	名	所 属 ・ 役 職
委	員	松富	英夫	秋田大学工学(系)研究科(研究院) 教授
j	11	越村	俊一	東北大学 災害科学国際研究所 教授
,	11	八木	宏	防衛大学校 建設環境工学科 教授
j	11	阿部	幸樹	岩手県農林水産部 漁港漁村課 課長

- (2) 検討委員会の開催
 - ・第1回検討委員会
 日時:平成27年8月24日(月) 10:30~12:30
 場所:エッサム神田ホール 601
 - ・第2回検討委員会
 日時:平成28年1月14日(木) 13:30~15:30
 場所:エッサム神田ホール 601
 - ・第3回検討委員会 日時:平成28年3月7日(月) 13:30~15:30 場所:エッサム神田ホール 601

(3)委員会資料

委員会資料及び議事録は、以降にまとめて添付した。

平成27年度津波漂流物対策の技術検討調査委員会

第1回 委員会

議事次第

日 時:平成 27 年 8 月 24 日(月)10:30~12:30

場 所:エッサム神田ホール6階会議室(601)

- 1. 開 会
- 2. 挨拶
- 3. 配付資料の確認
- 4. 委員及び出席者の紹介、委員長の選任
- 5. 委員長挨拶
- 6. 議事
 - (1)調査の趣旨 [資料-1]
 - (2) 漂流物対策施設に関する既往知見の整理 [資料-2]
 - (3) 津波による漂流物被災事例の整理 [資料-3]
 - (4) 津波による漂流物対策に関する課題 [資料-4]
 - (5)今後の予定 [資料-5]
 - (6)その他
- 7. 閉 会

平成 27 年度津波漂流物対策の技術検討調査検討委員会

第1回 委員会

配布資料

<配付資料>

- ・議事次第
- ・出席者名簿
- ・座席表

・平成27年度津波漂流物対策の技術検討調査検討委員会設置要綱

- 資料-1 業務の趣旨
- 資料-2 漂流物対策施設に関する既往知見の整理
- 資料-3 津波による漂流物被災事例の整理
- 資料-4 津波による漂流物対策に関する課題
- 資料-5 今後の予定
- 参考資料-1 漂流物に関する既往知見
- 参考資料-2 津波による漂流物の被災事例

平成27年度津波漂流物対策の技術検討調査委員会

第1回 委員会の論点

漂流物対策施設に関する既往知見の整理

○既往知見の整理方法について論点とする。

- ・漂流物による衝突力の算定法の整理は適切か?
- ・漂流物対策施設の配置に関する整理は適切か?
- ・漂流物対策施設の整理は適切か?

津波による漂流物による被災事例の整理

○被災事例に整理から検討課題を論点とする。

・被災事例の整理方法は適切か?

津波による漂流物対策に関する課題

〇ガイドライン作成に向けた課題を論点とする。
 ・以下の課題は適切か
 津波漂流物衝突力の算定方法体系化
 漁港における対策施設の配置方法
 漂流対策施設(漂流防止策など)以外の漂流物防止対策

平成 27 年度津波漂流物対策の技術検討調査検討委員会

座席表





津波漂流物対策の技術検討調査委員会(第1回)

資料-1

調査の趣旨

2015年 8月24日

漁港の特徴

(1) 立地特性

漁港海岸は集落と隣接、一体化しているため、以下のような特性がある。
 ①漁港の背後に集落が密集している。
 ②狭隘な地形に位置している場合が少なくない。

(2) 施設特性

漁港は漁業活動との関係から以下のような特性がある。
①市場や荷さばき所等の施設が立地している。
②燃油施設や製氷施設が漁港と隣接している。
③背後地の利用とアクセス性を重視した整備が行われている。
④漁船が係留する施設が市場などに隣接している。
⑤漁業関係者などの駐車スペースが隣接している。

(3) 漂流物被災の特性

漁船や車両などの漂流物により、漁業集落や水産関係施設、係留施設 などに甚大な被害を与え、漁業活動の再開への支障となっている。

漁港の特徴



漁港における主たる漂流物

漁港には、漂流物化するものおよび漂流物により被災する施設が多く存在する。 <u>漂流物により、漁港施設・水産施設・背後集落に甚大な被害を</u> <u>引き起こしている。</u>

漁港で発生する主な漂流物 〇漁船 〇車両 〇養殖施設 〇木材 〇その他(石油タンク他) 被災した主な施設 **O集落(家屋など)** 〇漁港施設(荷さばき所・岸壁・防波堤など) 〇水産施設


既往の調査の経緯

津波による漂流物は、東北地方太平沖地震津波や日本海中 部地震津波などにより、<u>漁港施設や水産施設、漁港背後の集</u> 落などに多くの被害を与えた。日本近海で発生が予測される 津波においても、<u>船舶などの漂流物による陸上施設への甚大</u> な被害が予想され、その<u>被害を最小限にするため</u>には、<u>漂流</u> 物対策は重要かつ緊急な課題である。 漂流物の漂流状況の数値計算や構造物に作用する外力な

<u>どについても研究が進められ</u>、港湾などでは、「津波漂流物対 策施設設計ガイドライン」などが提案されている。



<u>漁港特有の施設配置等の特性を勘案した漁港における漂流 物対策の考え方</u>を検討し、<u>漁港の特性を踏まえた「漁港の津</u> <u>波漂流物対策施設設計ガイドライン(仮称)」を作成する必要</u> がある。

調査フロー



資料-2

津波による漂流物被災事例の整理

2015年 8月24日

津波漂流物による被災事例(漁船)





1993年北海道南西沖地震津波により漁船が家屋へ衝突し、倒壊した例(北海道青苗漁港周辺)

東北地方太平洋沖地震津波により埠頭背後に漂流 し、打ち上げられた漁船(北海道厚岸漁港)

津波漂流物による被災事例(漁船)



1993年北海道南西沖地震津波により水域施設内に沈没した漁船(北海道青苗漁港)





東北地方太平洋沖地震津波による漁船の打ち上げ 漁港施設への衝突例(岩手県箱崎漁港)

東北地方太平洋沖地震津波により打ち上げられた 漁船の陸上建物への衝突例(宮城県石巻市) 4-6-b15

津波漂流物により被災事例(車両)



東北地方太平洋沖地震津波により漂流し建物に 打ち上げられた車(宮城県仙台市名取川周辺)



東北地方太平洋沖地震津波により漂流し、水産施設に打ち上げられた車(岩手県釜石港)



東北地方太平洋沖地震津波による車両の漂流 陸上建物への衝突(宮城県塩釜港)

津波漂流物により被災事例(車両)



北海道南西沖地震津波により漂流し、水域施設から引き上げられる車(北海道奥尻港)

東北地方太平洋沖地震津波により漁港施設内に打 ち上げられた車(茨城県平潟漁港)

津波漂流物により被災事例(木材)



1960チリ地震津波により漂流した木材が家屋を 倒壊した事例(北海道浜中町)





東北地方太平洋沖地震津波により漂流物で被害を 受けた漁協施設(岩手県島の越漁港)

木材により埋め尽くされた漁港水域施設 4(高城県寄磯漁港)

津波漂流物により被災事例(養殖筏)



2010チリ地震津波に伴う養殖筏の漂流による、航路 泊地の埋塞(宮城県気仙沼市)

東北地方太平洋沖地震津波により外郭施設、係留施 設に衝突した、多数の養殖筏(岩手県両替漁港)

津波漂流物対策施設の効果の事例



えりも港 漁船捕捉



漂流防止柵

東北地方太平洋沖地震津波(北海道開発局)

津波漂流物対策施設の効果の事例



釧路港 車両捕捉



漂流防止柵

東北地方太平洋沖地震津波(北海道開発局)

4-6-b21

被災事例の整理

- 施設に基大な被害を与える漂流物は、漁船・車両・木材</u>である。
 被害は背後集落、水産施設、水域施設、漁港施設</u>に多い。
 背後集落(建物)に被害を与えるものは漁船、車両が多い。
 水産施設(荷さばき場等)は漁船、車両による被害が多い。
 水域施設(航路、泊地)の埋せつは車両、木材によるものが多い。
 漁港施設(防波堤、護岸等)の被害は漁船、車両によるものが多い。
- ・津波<u>漂流物対策施設</u>により、<u>漂流物を阻止した例</u>がある。



資料-3

漂流物対策施設に関する既往知見の整理

2015年 8月24日

既往知見の整理(対象とした資料)

- ・ 津波漂流物対策に関する計画,設計ガイドライン
 ①「津波漂流物対策施設設計ガイドライン」、H26.3
 沿岸技術研究センター,寒地港湾技術研究センター
 ②「漁業地域の減災計画策定マニュアル〜みんなでつくる
 減災計画〜」H24.3,水産庁漁港漁場整備部
 ③「漁港の津波避難に関するガイドライン(津波避難誘導デッ
 - キの計画・設計)【暫定版】」、H26.6、漁港の津波避難に関 する専門部会
- ・既往文献(海岸工学講演会、海洋開発シンポジウム他)
- ・ 漂流物対策柵・杭等のメーカーパンフレット

既往ガイドラインでの漂流物対策施設の配置計画

ガイイドラン	配置の考え方	守るべき施設・発生防止法と課題		
津波漂流物対策 施設設計ガイド ライン	減災効果が十分見込ま れ、平常時の土地利用 に支障がない場所に配 置	 ①機能を維持するために必要な水域施設(泊地・ 航路) ②経済活動において大きな影響のある水域施設 ③津波浸水範囲に存在する危険物取り扱い施設 (オイルタンク等) (課題)発生源については明確でない。 		
漁業地域の減災 計画策定マニュ アル	漂流物となる恐れのあ るものを事前に把握し、 漂流物発生防止策と併 せて被害拡大防止策に 取り組む	 ①漂流物発生防止対策 船舶・筏の係留方法の強化等 防止施設の配置として、 ②漂流物の発生源を囲む方法 ③防護対象(漂流物から守るもの)を囲む方法 ④応急対策時の漂流物・瓦礫の撤去・拡散防止 (課題)係留強化法、発生源の予測方法、守 るべき施設の考え方の記載が具体的でない。 		
$\overline{\mathbf{U}}$				
	対策施設配置手法を提案する。 3			

既往ガイドラインでの漂流物による衝突力 の算定方法

ガイドライン	対象漂流物と対策 施設	設計外力の設定方法	課題			
津波漂流物 対策施設設 計ガイドライ ン	【対象漂流物】 船舶, 車両, 流木、コ ンテナ等 【対象施設】 透過型漂流防止柵	漂流物による衝突エネルギー を漁船の接岸エネルギー準じ て算定。 対策施設の変形による、吸収 エネルギーが衝突エネルギー 以上となるように設計し、漂流 物を捕捉。	主に防止柵への作用力が 対象。衝撃的な力の算定法 として過小評価の可能性が ある。			
漁港の津波 避難に関す るガイドライ ン	【対象漂流物】 船舶, 車両, 流木, 養殖施設等 【対象施設】 津波避難誘導デッキ	漂流物別に衝突力算定式を提 示。 最大衝突力(最大流速時)を最 も安定性が厳しくなる位置(津 波水位の範囲内)に作用させ る	施設まで漂流される過程の シナリオを想定し、設計に 用いる漂流物を選定する.。 最悪の状態を想定するため、 過大評価となる恐れがある。			
$\overline{\mathbf{V}}$						
漂流物による衝突の算定方法を体系化する。						

代表的な漂流シミュレーションモデル

モデル	概要	特徵、課題
後藤のモデル 後藤(1983) 海岸エ 学講演会論文集	質点(粒子)の運動方程式を 使用。 漂流力はモリソン式で評価。 拡散は確率論的に扱う。	広域の多数の漂流状況の予測に適している。 計算負荷が少なく設定すべきパラメータ数が少ない 【課題】 建物,漂流物間の衝突過程が考慮されていない。 回転運動が考慮されていない。
越村らのモデル 小林・越村・久保 (2005)関西造船協 会論文集	船舶の運動量,角運動量 保存式を使用。漂流力は拡 張したモリソン式により評価。	船舶の漂流過程を詳細な計算が可能である。 衝突による速度変化が精度良く計算可能である。 【課題】 設定すべきパラメータが多い。 計算負荷が比較的大きい。
鴫原らのモデル 加藤・鴫原・丹治 (2013)漁港漁場漁 村研究所調査研究 論文集	剛体の運動量,角運動量 保存式を使用。漂流力は拡 張したモリソン式により評価。	回転運動を考慮した漂流物の取り扱いが容易。 建物,漂流物間の接触が精度よく算定可能。 【課題】 設定すべきパラメータが多い。 計算負荷が比較的大きい。

数値シミュレーションの活用方法を提案する。

4-6-b28

資料-4

津波による漂流物対策に関する課題

2015年 8月24日

既往調査からの結論

【既往ガイドライン】

- ●「津波漂流物対策施設設計ガイドライン」
 - 透過型漂流防止施設が主な設計対象である。船舶,車両,流木他の 衝突エネルギーが漁船の接岸エネルギーに基づき提示されている。
 - 津波波力は流れによる抗力式で算定する。
- ●「漁業地域の減災計画策定マニュアル」
 - ・事前の対策として「漂流物の発生源を囲む方法」、「防護対象(漂流物から守るもの)を囲む方法」の2つ方法が提示されている。
 ・漂流シミュレーション(後藤の大法)の計算例が紹介されている。
 - 漂流シミュレーション(後藤の方法)の計算例が紹介されている。
- ●「漁港の津波避難に関するガイドライン」
 - ・津波避難誘導デッキに作用する船舶,車両,流木,養殖施設等について 衝突力の算定式が提示されている。
 - ・津波波力は谷本式より算定する。
 - ・守るべき施設の立地条件、施設利用状況がガイドラインにより異なる。
 - ・具体的な漂流物施設配置手法は提示されていない。
 - ・衝突力、津波波力の算定手法がガイドラインにより異なる。
 - ・数値シミュレーションの活用を示しているガイドラインもあるが、 対策施設配置への活用方法は示されていない。

既往調査からの結論

【既往資料(文献・パンフレットなど)】

- 漂流シミュレーションモデル
 - 「後藤のモデル」は、漂流物を粒子として扱う方法であり、比較的簡便なため、
 活用例が多い。例えば、「漁業地域の減災計画策定マニュアル」
 - 「越村らのモデル」「鴫原らのモデル」は、「後藤のモデル」から回転運動の考慮 や漂流物間、構造物との衝突過程の考慮等の拡張がされている。
 設定すべきパラメータが多いが、より精度の高いシミュレーションが可能であり、
 配置計画等への活用が期待される。
- 漂流物対策施設
 - ・透過型の漂流防止施設(防止柵、防止柱、通称「津波バリアー」)
 設置箇所、捕捉対象によりガードケーブルタイプ、単柱タイプ等がある。
 施工実績が多い。「津流波漂物対策施設設計ガイドライン」での主に設計対象。
 - ・防護工(伊藤ら,2012)
 - 津波避難ビルに支柱を配置し、漂流物衝突防止と避難ビルに作用する波圧 低減効果を図るもの。津波波形、防衛工の配置の検討が進行中。
 - ・漁船の漂流防止方法(加藤ら,2009)

津波による流れにより漁船の係留索に働く最大張力の算定式を提案。 破断しない係留索の径の目安に活用可能。漂流シミュレーションを活用して、 係留索強化、係留方法を改善する漂流防止対策の効果の確認が可能³

施設配置における課題

〇施設配置手法が明確でない

● 漂流物発生防止

船舶・筏の係留方法の強化の具体的な目安や効果の確認方法が必要。

- 漂流物流出防止(発生源を特定し、漂流防止施設で発生源を囲む方法)
 漂流物の種類,量を把握するための、船舶、車両、木材、養殖筏等が
 漂流化する条件(開始条件,終了条件)の具体的な設定方法が明確でない。 流出防止施設の配置方法、効果の確認方法が明確でない。

 具体的な計画事例が少ない。
- 漂流物流入防止(漂流物から守る施設を設定し、防護対象施設を囲む方法) 漁港の利用状況を踏まえた漂流物から守るべき施設の設定方法が明確でない。 施設に流入する漂流物の種類(船舶、車両、木材、養殖筏等)やその設計条件 (速度・方向等)の具体的な設定方法が示されていない。 漂流物の衝突による被害の算定方法が具体的に示されていない。 具体的な流入防止施設の選定・配置の方法や効果の確認方法が明確でない。

 漂流物・瓦礫の撤去・拡散防止対策

撤去・拡散防止のために<mark>漂流物を集約する</mark>対策方法の検討が必要。

● 漂流シミュレーションの活用方法が明確に記載されていない。

外力算定法他における課題

〇津波による外力の算定法

- ●漂流物衝突力の外力算定法がガイドラインなどにより異なり、 体系化されていない。
- ●津波波力の算定法がガイドラインなどにより異なり、体系化されていない。

〇対策施設(防止柵等)以外の対策手法

- ●漂流物対策施設(防止柵など)以外の対策手法が体系化されていない。
 - ・係留ロープの強化、・係留方法(縦付け・横付け)
 - ・数値シミュレーションを活用した効果の検証方法
- ●被害の生じないように漂流物を集約する施設
 - ・集約するための施設の配置方法
 - ・数値シミュレーションを活用した効果の検証方法

課題解決に向けた検討内容

○施設配置手法が明確でない ➡ <u>モデル地区による数値シミュレーション</u> <u>を活用した検討</u>

〇津波による外力の算定法

➡ <u>モデル地区を対象とした試設計よる検討</u>

〇漂流防止策以外の対策効果検証

➡ <u>モデル地区による数値シミュレーション</u> <u>を活用した検討</u>

津波漂流物対策の技術検討調査委員会(第1回)

資料-5



2015年 8月24日



- 漁港の利用を踏まえ、漂流物となる可能性のあるものを設定する。
- ・ 漂流物化防止対策、流出防止対策施設、流入防止対策施設(守るべき施設)を設定する。
- モデル地区におけるシミュレーション結果及び漁港の水産施設などの配置から対策施設の効果を検証する。
- 漂流物化しない対策手法の効果を検証する。
- ・ 漂流対策施設の<u>配置による効果</u>、漂流物化させない<u>対策効果な</u>

 どを検討する。



漂流物対策施設に作用する

設計外力の算定法の提案

- ・ 漂流物対策施設に作用する外力の整理を行う。
 衝突力、津波波力など
- 設計外力に関する既往提案式の適用性の検討を行う。

①衝突力算定手法
 ②津波波力算定手法
 ③許容値の整理

・漂流物対策施設の外力算定式の検討結果を示す。



漂流物対策施設 配置•設計手法の提案

- 漂流物対策施設の配置・設計手法を整理する。
 - ①<u>漁港の特性</u>を踏まえた<u>効果的な施設配置計画手法の提案</u> ②施設設計に必要となる外力算定手法の提案

・衝突力、津波波力など



漁港における漂流物対策施設の<u>効果的な配置手法</u>、 <u>設計手法をとりまとめ、ガイドラインを作成する。</u>



調査フロー



4-6-b40

参考資料-1 漂流物に関する既往知見

1. 津波漂流物対策に関する計画,設計ガイドライン

- (1)「津流波漂物対策施設設計ガイドライン」H26.3,沿岸技術研究センター,寒地港湾技術研究セン ター
 - ・津波漂流物対策施設は、従来の防波堤や防潮堤等の津波浸水を防ぐ施設と異なり、津波による漂流物被害低減のために、津波漂流を捕捉させる施設である。H21.3 に津波漂流物対策施設について、その計画・設計手法が取りまとめられているもの。
 - ・東日本大震災を踏まえて、H26.3に改訂。
- (2)「漁業地域の減災計画策定マニュアル〜みんなでつくる減災計画〜」H24.3,水産庁漁港漁場整備 部
 - ・漁業地域における防災対策の推進を図ることを目的として、漁港管理者、海岸管理者及び漁協・
 自治会等の自主防災関係者が、地震・津波による漁業地域の災害に備えて取り組むべき対策について取りまとめたもの。東日本大震災を踏まえて、平成23年度に改訂。
 - ・災害による被害の最小化を図ること(減災)を目標として、①漁業地域における地域住民・就労者・来訪者の安全性の確保、②水産物生産流通機能の確保、③漁港・漁村の総合的な防災対策の 3つの観点から、災害に強い漁業地域づくりに必要な基本的な考えがとりまとめられている。

(3)漁港の津波避難に関するガイドライン(津波避難誘導デッキの計画・設計)【暫定版】、H26.6、漁 港の津波避難に関する専門部会

- ・漁港を含む漁業地域の防災の基本的な考え方を示す『災害に強い漁業地域づくりガイドライン』
 (平成 24 年 3 月 水産庁漁港漁場整備部)の考え方を基本に、対象を漁港の津波避難に限定し、
 漁港や漁業地域の特殊性を考慮しつつ、主としてハード対策、特に津波避難誘導施設に関する具体的な計画・設計手法を示したものである。
- ・堤外地にある漁港の利用者の安全性確保のため、避難場所への速やかな避難ができるよう、地域 における取組と整合のとれた津波避難対策が策定され、安全で迅速な津波避難のための適切な施 設が整備されることを目標とする。

2. 漂流物対策施設の配置の考え方

(1) 「津波漂流物対策施設設計ガイドライン」

「津波漂流物対策施設設計ガイドライン」における施設の配置計画の考え方は次の通りである。

3.1.3. 施設の配置計画

津波漂流物対策施設は、減災効果が十分見込まれ、かつ平常時の土地利用に支障にならた い位置に配置する。平常時の土地利用の調整においては関係者と十分な合意形成を図りつつ 検討する必要がめる。

津波漂流物対策施設で守るべき港湾地域では、

- ・耐震強化岸壁の機能を維持するために必要な水域施設(泊地・航路)
- ・港湾経済活動において大きな影響のある水域施設
- ・津波浸水範囲に存在する危険物取り扱い施設(オイルタンク等)

を例示している。周辺において、漂流物と成りうるものの形状および数量などを把握する漂流物調 査を行い、漂流物の現状に基づく各種危険性を想定しながら検討することが重要としている。



図-3.1.6 津波漂流物対策施設の配置計画

- (2)「漁業地域の減災計画策定マニュアル」
- ・漂流物防止施設について次のように解説している。

漂流物施設は、漁船や養殖筏、車両等が津波により漂流することを防ぎ、漂流物による被害の拡大 を防止するための施設。漂流防止柵の他、防潮林や既存のフェンス・ポール等も有効である。漂流防 止施設の配置は、<u>漂流物の発生源を囲む方法</u>、<u>防護対象(漂流物から守るもの)を囲む方法</u>がある。(用 語集より)

・減災対策を策定する各段階での「漂流物対策」関連項目は次の通りである。

①災害	雪予防(事	前の対策)	(2)発算	從直後		③応急	息対応時	
①-1 ハザー	11.44 - 1º	・ハザードマップの	2-1	情報収集	・情報収集・伝達	@_1 ·		・緊急輸送ルートの
	マップ	作成とレベルアッ	(2)-2	等	・職員・人員の参集	3-1		7#/Q
111	7	(2)-3		·避難勧告·誘導	(3)-2		・漂流物・瓦礫の撤	
1)-2	①-2 避難行動 ①-3 避難行動 ①-4 避難所	・避難行動のルール	2-4	避難対応	・避難場所への避難		生活の維 持	去・拡散防止
(1)-3		 ・災害時要援護者の 支援体制の構築 	(2)-5		 ・災害時要援護者の 避難支援 	3-4		・オーブンスペースの注用
1-4		 ・安全な避難場所・ 避難路の確保 	(2)-6		 ・避難所の立ち上げ と収容 	3-5		・公共インフラ施設の広急復旧
(1)-5		・非常用備品の準 備・点検	(2)-7	_ 被災状況 _ の確認	・公共インフラ施設 の被災状況の確認	3-6	産業の維 持	 水産基盤施設等の 応急復旧
(1)-6	4.22	 ・緊急時の連絡体制 の構築 	2-8		 ・水産基盤施設等の 被災状況の確認 	3-7		・代替施設の手配
1 -7	体制整備	・発災時対応の人員 確保	(Z)-9		 ・漁船・漁具・養殖 施設等の損傷有無 の確認 	(3)-8		 ・漁船・漁具・養殖 施設等の損傷部品 の調達・修理
1-8	啓発・普 及	 ・事前の啓発・普 及・訓練 	(2)-10) - - - ク ? - 2 3 孤立対応	 ・漁業地域間ネット ワークの情報収集 	3-9	コミュニ ティの維 持	 応急仮設住宅の建設・管理
(1)-9		・漁業地域間ネット ワークの構築	(Z)-11		・広域ネットワークによる支援要請	3-10		 応急仮設住宅への 入居
(1)-10	ネットワ	 ・広域ネットワークの構築 	(2)-12		・関係機関への支援	(3)-11		・被災者の健康管理
1-11	ークの構 築	 緊急時の協力依頼 先の確保 	(2)-13		要請・集落孤立への対応	3-12	支援受入 体制	・ポランティア受け 入れ準備
①-12		 ・漁港施設の耐震 化・耐浪化 	@-14	オーブンスペース	・オーブンスペース の確認	3-13	損害保険	・保険金の申請
①-13	孤立防止	 漁業集落の孤立防 止対策 	(2)-15	水門・陸	・水門・陸閘等の安			
(1)-14	オープン スペース の確保	・オーブンスペース の把握・確保	Q-16	漂流物	・漂流物の滞留の有 無確認			
1-15		・公共インフラ施設 の日常点検	@-17	危険物	危険物による被害 への対応			
①-16	日常点検	 水産基盤施設等の 日常占給 	(2)-18	火災	 ・火災による被害へ の対応 			
(1)-17		 ・漁船・漁具・養殖 施設等の日常点検 						
(1)-18	水門・陸 閘	 ・水門・陸閘等の安 全かつ迅速な操作 に関する検討 						
()-19	漂流物対 策	・漂流物発生防止対 策						
1)-20	危険物対策	危険物による被害 拡大防止						
1-21	火災防止	 ・火災による被害拡 大防止 						
1-22	損害保険	・損害保険の活用						

対策項目一覧表

各段階の内容は次の通りである。

①災害予防(事前の対策)

①-17 漁船・漁具・養殖施設等の日常点検

- 漁業者は、漁船・漁具・養殖施設等の係留ロープや部材の劣化による被災(漂流物化)を防止 するため、日常点検を行う。
- 係留ロープが劣化している場合は交換することはもとより、劣化していない場合でも太いロー プに交換するなど、日頃から津波による漂流物対策を講じる。

①-19 漂流物発生防止対策

- 津波による漂流物が、航路や泊地に漂流し岸壁の利用に支障を及ぼすほか、陸上に散乱し漁業
 生産活動に支障をきたす恐れがある。
- 漁港やその周辺において、津波の来襲によって漂流物となるおそれのある漁船やプレジャーボート、蓄養殖施設、漁具、車両等の位置や数量などの状況を把握する。また、想定する津波に対してそれらが漂流物となるどうかを確認した上で、漂流物対策を検討する。
- · 漂流物の発生を防止するための事前の対策として、以下の取り組みを推進する。
 - 漁船やプレジャーボート、養殖イケス等の係留ロープを太くするなど係留方法の強化
 - 漁船やプレジャーボート等の保管場所・方法の変更
 - 車両の保管位置、駐車位置の変更
 - 上屋の耐波性強化 など
- ・ 漂流物の発生防止対策と併せて、被害の拡大を防止するために以下の取り組みを推進する。
 - 漂流防止柵などの漂流防止施設の設置
 - 早期撤去作業体制などによる漂流物影響低減対策

②発生直後

(2-16 漂流物の滞留の有無確認

津波が来襲した場合、津波注意報・警報が解除された後、市町村は漁港管理者・漁協と連携して漁港内の漂流物の滞留の有無を確認する。

③応急対応時

③-2 漂流物・瓦礫の撤去・拡散防止

- 市町村は、海上ルートの確保の観点および漁業の早期回復の観点から、速やかに漂流物の撤去・ 拡散防止に取りかかる。
- 事前に協定を結んだ建設業協会等に撤去作業を手配し、撤去した漂流物や瓦礫は、事前に指定したオープンスペースに仮置きする。

・H18.3 版では、計画に際して数値シミュレーションの活用が推奨され、参考情報として津波漂流シミ ュレーションの予測事例が紹介されている。漂流物(養殖筏,漁船,商用車)の挙動は後藤の方法が用 られている。

後藤智明(1983):津波による木材の流出に関する計算、30回海岸工学講演会論文集、pp.594-597.

(3)「漁港の津波避難に関するガイドライン」

「漁港の津波避難に関するガイドライン」では、漂流物対策施設の配置については、直接触れられてい ないが、対象漂流物が置かれている場所から、津波避難誘導デッキ(守るべき施設)まで漂流される過 程のシナリオを想定し、設計に用いる漂流物を選定する方法が提案されている。

i)漁港管理者へのヒアリング・港勢調査に基づき対象となる漂流物を想定する。

ii) 津波避難誘導デッキの配置、漂流物が置かれている場所から漂流物が衝突する過程のシナリオ想 定し、設計に用いる漂流物を絞り込む。

iii)漁港管理者との協議により対象漂流物を決定する。

【衝突に係わるシナリオの作成例】

対象漂流物として、漁船が選定された場合のシナリオの作成例を以下に紹介する。

(a) 漂流物になる漁船が係留・停泊している水域(対象とする水域)

漂流物となって津波避難誘導デッキに衝突する可能性が高い漁船が係留・停泊している水域 (対象とする水域)を想定する。この時の対象とする水域(津波避難誘導デッキの前面水域)の イメージを図Ⅲ-9に示す。



3. 津波漂流物による衝突力の算定方法

- (1)「津波漂流物対策施設設計ガイドライン」における算定方法
- ・船舶、車両、流木、コンテナについて衝突エネルギーの算定式を提示
- ・船舶の衝突エネルギーは、漁船の接岸エネルギー(「漁港・漁場の設計の手引き」)に準じて算定する。 衝突形態により縦付け、横付けの接岸の算定式を使い分ける。

③衝突形態

施設や係留の状況、支柱間隔等をから船舶の衝突形態を選定し、適切な算定式を使用するものとする。



図-3.4.6 船舶の衝突形態"

・漂流物対策施設(支柱、補足スクリーン、基礎構造)の変形による吸収エネルギーの算定式が提示さ れており、吸収エネルギーが衝突エネルギー以上となるように設計し、漂流物を捕捉する。
(2)「漁港の津波避難に関するガイドライン」における算定方法

・船舶、車両、流木、養殖施設等について衝突力の算定式を提示。

・基本的に最大衝突力(最大流速時)を最も安定性が厳しくなる位置(津波水位の範囲内)に作用させ ることを提案している。

	算定外力	津波	算定式	諸係数	対象物
漂流物衝突力	流木 ⁶⁾	発生頻度高の 高い津波	松冨の式	縦衝突	漁港管理者へのヒアリ ング・航空写真などから 貯木場の有無を確認す る。 貯木所関係者へのヒア リングにより木材諸元を 設定する。
	船舶(漁船) 7)		池野らの式	角柱・横衝突・3 次元 (<i>C</i> _{M4} =1.5)	 港勢調査の収集整理よ り対象船舶諸元を設定する。 常時係留している最大 トン数の漁船を選定する。
	自動車 ⁸⁾		松富の提案する 手法	自動車の衝突速度 と衝突力の関係 <i>Cm4</i> =0.5~1.9	漁港管理者へのヒアリ ング・既存資料により、 漁港内及び近隣の駐車場 位置、自動車諸元を設定 する。
	その他 ⁷⁾		池野らの式	対象とする漂流物 があった場合設定す る。	漁港管理者へのヒアリ ングにより、養殖筏など 津波時に漂流物として危 険性のある躯体の有無を 確認する。

表Ⅲ-9 漂流物衝突力の算定式

(参考文献)

6):流木衝突力の実用的な評価式と変化特性(土木学会論文集 No. 621/II-47, 1999.5, 111-127)

7):砕波段波津波による波力と漂流物の挙動・衝突力に関する実験的研究(海岸工学論文集 第48巻,2001,846-850)

8):駐車場における自動車転落事故を防止するための装置等に関する設計指針」(国土交通省 2009)

4. 津波漂流シミュレーションモデル

4.1 津波漂流シミュレーションモデルの概要

津波漂流物対策施設の平面的な配置の検討を目的とした数値解析においては、津波により生じる複数 の漂流物の移動を、逐次個別に追跡することが必要となる。この際には、漂流物を質点或いは剛体とし て捉え、別途実施した津波伝播遡上解析結果を入力データとして、個々の漂流物の平面2次元上の運動(並 進運動、回頭運動)を解析する手法が一般的に用いられている。このような、津波漂流物の平面的な移動 を対象とした解析手法は、表-4.1のように大別される。各手法の詳細について、次頁以降に示す。

r					
		後藤のモデル	越村らのモデル	鴫原らのモデル	
	基礎方程式	流体内における質点の運	潮流場における船舶の運動方	池谷ら(2005)により提案さ	
		動方程式を基礎式とする。	程式を基本として導出した、津波	れた、モリソン式を拡張した	
		(並進運動のみを考慮)	作用下における船舶の運動方程	評価式を基礎式とする。(並進	
			式を基礎式とする。(並進運動及	運動及び水平面内の回転運動	
			び水平面内の回転運動を考慮)	を考慮)	
	海法もの	漂流力は、モリソン式に	漂流力は、モリソン式を拡張し	漂流力は、モリソン式を拡	
米石	凛流力の 評価	より計算する。	た方程式により計算する。	張した方程式により計算す	
剱				る。	
1但	-	衝突過程は未考慮。	運動量及び角運動量の保存則	運動量及び角運動量の保存	
肝		拡散係数に漂流物同士の	により、漂流物同士の衝突に伴う	則により、漂流物同士の衝突	
1) エ	年中上の	衝突の影響が含まれる。	速度変化を計算する。	に伴う速度変化を計算する。	
于 :±	餌突刀の ━━/==			また、建物と漂流物との衝突	
Д	青平1四			については、建物の質量を無	
				限大とした上で同様の処理を	
				行う。	
		浸水深及び掃流力につい	漂流物に作用する流体力と、漂	水深が漂流物の喫水よりも	
	漂流開始 ▪	て、漂流開始・終了のそれ	流物と地面の間の摩擦力の関係	大きくなった時点で漂流を開	
	終了条件	ぞれの閾値を設定する。	から、漂流開始・終了条件を設定	始し、小さくなった時点で漂	
			する。	流を終了する。	
		〇計算負荷が比較的小さい	〇回転運動や衝突運動を直接計	〇回転運動や衝突運動を直接	
		ため、多量の漂流物群の	算するため、より詳細な取扱い	計算するため、より詳細な	
		解析に適している。	が可能である。	取扱いが可能である。	
		〇回転運動を考慮していな	〇船舶の漂流計算を想定した手	〇後藤の方法と比較して計算	
		い分、個別の漂流物につ	法であり、任意形状の漂流物へ	負荷が大きく、適切に計算	
烓徨	*と 適田 節 囲	いての解析精度が低い。	の適用可能性を判断する必要	を実施するために個々の漂	
1যাদ		〇漂流物数が少ない場合の	がある。	流物の形状等に関する詳細	
		解析においては、衝突を	〇後藤の方法と比較して計算負	な情報が必要となる。	
		正確に考慮できない。	荷が大きく、適切に計算を実施		
			するために個々の漂流物の形		
			状等に関する詳細な情報が必		
			要となる。		
適用事例		〇北海道厚岸漁港における	Oインドネシア・バンダアチェ港	〇水理模型実験結果と漂流シ	
		養殖施設の漂流解析	における大型船舶の漂流解析	ミュレーション結果の比較	
		〇北海道大津漁港における	(橋本・越村ら(2009))	(モデルの妥当性の検証)	
		漁船及び車両の漂流解	〇気仙沼湾における大型漁船の	(加藤・鴫原ら(2013))	
			漂流解析(Suga(2013))		
参考文献		後藤(1983)	小林ら(2005)	本多ら(2009)	
			橋本・越村ら(2009)(2010)	加藤・鴫原ら(2013)	

表-4.1 津波漂流シミュレーションモデルの比較

1 平成 18 年度 釧路港外津波対策検討業務(厚岸漁港津波対策検討編)報告書、平成 19 年 3 月、北海道開発局

² 平成 25 年度 大津漁港津波対策検討業務報告書、平成 25 年 10 月、北海道開発局

4.2 後藤の方法

後藤(1983)は、個々の漂流物を質点とみなした場合の運動方程式として式 1.1 を、漂流物の拡散を考慮した漂流物の移動経路の算定式を式 1.2 のとおりに提案した。漂流物の移動・停止条件は、浸水深及 び掃流力の閾値を漂流物毎に与えることで設定した。

下記の方程式では、式 1.2 における拡散係数の導入により漂流物同士の衝突を考慮している。また、 式 1.1 の右辺第 3 項、第 4 項は、モリソン式による津波の漂流力である。

$m\frac{d\vec{u}}{dt} = \rho V \frac{d\vec{u}}{dt}$	$\frac{d\vec{U}}{dt} + \rho V(C_M - 1)\frac{d\vec{u}_s}{dt} + \frac{1}{2}\rho C_D A\vec{u}_s u_s \cdots
$\vec{x} = \vec{x}_0 + \int_0^t \vec{u}$	$dt + \sum_{k=0}^{n\Delta t} \sqrt{24\kappa\Delta t} (\varepsilon_k - \frac{1}{2}) (\varepsilon_k: 0.0 \sim 1.0 \mathcal{O} - 様乱数) \dots (\ddagger 1.2)$
ここで、	
m,V,ρ	∶漂流物の質量、体積及び水の密度
\vec{x}, \vec{x}_0	∶漂流物の最終位置ベクトル及び初期位置ベクトル
$\vec{u}, \vec{U}, \vec{u}_s$:漂流物の速度ベクトル、津波の流速ベクトル、及び津漂流物の津波に対する相対流速
5	ベクトル
C_M, C_D, κ, A	:漂流物の付加質量係数、流水抵抗係数、拡散係数及び漂流物の接水投影面積

【計算手法の特徴と適用範囲】

- ・回転運動等の剛体運動や衝突運動を考慮していない分、計算負荷が他のモデルと比較して少ないた め、多量の漂流物群についての解析に適している。
- ・個別の漂流物についての解析精度は低く、漂流物数が少ない場合には衝突現象を正確に評価できな い可能性がある。
- ・個別の漂流物について、以下の6種類のパラメータを設定する必要がある。漂流開始・終了の判定 は、浸水深或いは流速があらかじめ設定した漂流開始の閾値との比較により行う。

①質量

②体積

③付加質量係数

④流水抵抗係数

⑤漂流開始条件

⑥漂流終了条件

【計算手法の適用事例1(北海道厚岸漁港)】

「平成 18 年度 釧路港外津波対策検討業務(厚岸漁港津波対策検討編)報告書、平成 19 年 3 月」において、図-4.1 に示す厚岸漁港のカキ養殖施設の津波来襲時の挙動の把握を目的とした、津波解析及び漂流物解析が実施された。

解析条件を表-4.2 に示し、解析結果を図-2.2 に示す。当業務の場合は、1000 程度の同形の漂流物を 同時に解析することで、漂流物群の広域的な挙動を把握することが目的であったため、後藤の方法が適 していたと考えられる。



図-4.1 「平成18年度 釧路港外津波対策検討業務」における 漂流物シミュレーションの目的(当該業務の報告書より抜粋)

項目		設定内容	
	基礎方程式	非線形長波方程式	
津		・十勝沖・釧路沖の地震(M8.2)	
ルシ	対象波源	・根室沖・釧路沖の地震(M8.3)	
Ш		・500 年間隔地震(M8.6)	
그	潮位条件	厚岸漁港における朔望平均満潮位(T.P.+0.707m)	
Ĩ	計算領域	波源域~厚岸湾内	
ショ	計算格子間隔	900m-300m-100m-50m-10m	
ョン	計算時間	3 時間	
	計算時間間隔	0. 2sec	
漂流	基礎方程式	後藤(1983)の方法	
シミュレーシ	対象漂流物	養殖施設(初期配置は図-2.2を参照)	
	漂流開始条件	流速 1. 0m/s 以上	
ョン	漂流終了条件	浸水深が喫水(0.5m)以下となった場合	

表-4.2 漂流物シミュレーションの解析条件



図-4.2「平成18年度 釧路港外津波対策検討業務」における

漂流物シミュレーションの結果(500年間隔地震津波)(当該業務の報告書より抜粋)

【計算手法の適用事例2(北海道大津漁港)】

「平成25年度 大津漁港津波対策検討業務報告書、平成25年10月」において、北海道大津漁港を対象とした津波漂流シミュレーションが実施された。漂流計算の基礎方程式に回転運動に関する方程式が含まれておらず、計算手法は後藤の方法を基本としていると考える。但し、拡散係数により漂流物同士の衝突を考慮する代わりに、エネルギー保存則により衝突前後の漂流物の流速を算定する手法が採用されている(また報告書にでは、「衝突による回転についても考慮する」との記載もあるが、詳細は不明である)。

計算手法及び計算条件の概要を図-2.3に、計算結果を図-2.4に示す。当業務の検討では、漂流物の 大きさスケールが漁港の大きさスケールと比較して十分に小さいために、対策施設の検討にあたって回 転運動を詳細に取り扱う必要がないことから、後藤の方法で十分であったと考えられる。

4-6-1 検討概要

本章においては、漂流物調査結果を基に対象漂流物を設定した上で、将来港形(漁船保管施 設用地の嵩上げ後)における津波シミュレーション結果を用いて「モリソン式」に基づく漂流 シミュレーションを実施する。これにより、漁港内の漂流物の輸送方向等を明らかにし、漂 流による危険物タンクへの影響の有無、及び航路・泊地への流出等の有無を評価して、津波 漂流物対策施設の平面配置について検討する。さらに、津波漂流物対策施設を配置した漂流 シミュレーションを実施し、同施設による漂流物の補足効果を検討する。

漂流シミュレーションの検討概要を整理すると表 4-6-1 に示すとおりである。

	【漂流計算】 〇モリソン式により漂流力を算定
	$F = \frac{1}{2}\rho_0 C_{DC} A_C U_C - U (U_C - U) + C_M \rho_0 V \frac{\partial U_C - U }{\partial t}$
	- (流れの抗力項) (慣性力の項)
	F : 抗力(N) U : 浮体の運動速度 (m/s)
数値モデル	$ ho_0$: 流体の密度(海水の場合、1,030kg/m³) $C_{\scriptscriptstyle DC}$: 流れに対する抗力係数
	A_c : 浮体の没水部の流れ方向の投影面積 (m^2) C_M : 付加質量係数(慣性力係数)
	U_c : 流れの速度 (m/s) V : 浮体の没水部の体積 (m ³)
	【漂流物及び構造物との衝突】
	○エネルギー保存則より、物体及び構造物との衝突による漂流方向・速度の 変化を表慮
	○漂流する物体の平行移動回転を考慮
計算メッシュ	将来港形(漁船保管施設用地の嵩上げ後)の津波シミュレーションの6次領域
時間ステップ	(1001 / ソンユ)の計算結末を外力として使用 0.1 秒
計算時間	3時間
	漁船(20t クラス) : 21.4m×5.1m(喫水 1.0m)、質量 61.2t
漂流物サイズ	PB(0~3t クラス):9.9m×2.4m(喫水 0.2m)、質量 9.2t
	車両(普通乗用車) : 5.0m×2.0m(喫水 0.5m)、質量 2.5t
Your Yala day (a)	漁船(20t クラス) :浸水深≧1.0m となった場合、陸域へ遡上(浸水深は岸壁上)
漂流条件	PB(0~3t クラス) :浸水深≧0.2m となった場合、漂流 東西(並译垂田市) 、浸水深≥0.5m しねっち用人、漂流
	早回(首週米用早): (欠小休≦0.0m となつに場合、保加
検討ケース	○ケースB:津波漂流物対策施設あり

表 4-6-1 漂流シミュレーションの検討概要

図-2.1 「平成25年度 大津漁港津波対策検討業務」における

漂流物シミュレーションの概要(当該業務の報告書より抜粋)



図-4.3 漂流シミュレーションによる漂流物の軌跡 (上段:津波対策施設が未整備の場合、下段:津波対策施設が整備済の場合)

4.3 越村らの方法

小林ら(2005)は、潮流場における船舶移動についての基礎方程式が、津波作用下における船舶の漂流 に対して適用可能であると考え、個々の漂流物の並進運動及び水平面内の回転運動(回頭運動)を逐次追 跡可能な数値解析手法を提案した。その後、橋本・越村ら(2009)、(2010)や0hta(2012)により小林ら(2005) の手法が拡張され、海底摩擦による船舶の着底移動を考慮する手法や、係留ロープの破断の判定に基づ いて係留船についての漂流シミュレーションを実施する手法、漂流物の各セクションに作用するモーメ ントを個別に計算することでより精度良く回頭運動を計算する手法等が導入された。また、当手法に基 づく漂流シミュレーション結果の活用方法として、シミュレーション結果に基づいて船舶の避難解析を 実施する手法(Murayama(2013))や、漂流船舶の衝突力を推定することで被害想定に活用する手法 (Suga(2013))等が提案された。

橋本・越村ら(2010)により提案された運動方程式及び回転速度についての方程式は、それぞれ式 1.3、 式 1.4 のとおりである。ここで、方程式が定義されている座標系は、漂流物空間固定座標系(漂流物の長 軸方向が X 軸、短軸方向が Y 軸)である。

また、当手法では運動量及び角運動量の保存則に基づき、漂流物の衝突前後の流速値を算定すること で、漂流物の衝突過程を計算している。

漂流力ベクトルはモリソン式を拡張した式 1.5 で定義され、海底摩擦力ベクトルは摩擦係数μを用いた式 1.6 で定義される。漂流物分割による回転モーメントは式 1.7 により計算される。また、船体の回転に伴う抵抗モーメントは、式 1.8 により計算される。

$\vec{F}_H = \frac{\rho}{2} L du_s^2 \vec{C}$	$f_D(\theta_c, h/D) + \rho V \vec{C}_M \cdot \frac{d\vec{u}_s}{dt} \cdots
$\vec{F}_F = (m - \rho V)g$	<i>τμ</i> ····································
$N_D = \sum_{i=1}^{n_D} (Y_i \times l_i)$	
$N_R = \frac{\rho}{2} L^2 du_s N$	$\int_{\Omega} \Omega - \frac{\rho}{64} L^4 dC_{D_s} \Omega \Omega \cdots (\ddagger 1.8)$
ここで、	
\vec{C}_{M}, C_{Ds}	∶付加質量係数ベクトル、流水抵抗係数の船側方向の平均値
$\vec{C}_D, \theta_c, h/D$	∷流水抵抗係数ベクトル(相対流向及び水深・喫水比の関数)、相対流向、水深/喫水比
μ, Y_i, l_i	∶摩擦係数、各セグメントに働く作用力、漂流物重心から各セグメント重心までの距離
L,d	∶漂流物の長さ、喫水
$N^{'}{}_{\Omega}$:小林ら(2005)により実験的に求められた回転モーメント係数

【計算手法の特徴と適用範囲】

- ・回転運動や衝突運動を、個々の漂流物について直接計算するため、より詳細な取扱いが可能となる。
- ・漂流開始・終了条件を、流体力と底面との摩擦力の比較に基づき、直接計算することが可能である。
 浸水深や流速等に漂流開始・終了の閾値を設ける後藤の方法と比較して、より正確な判定が可能であると共に、漂流物の着底時の滑動を考慮することが可能である。
- ・後藤の方法と比較すると、計算負荷が大きい。
- ・各漂流物の漂流特性は、以下の6種類のパラメータによって決定づけられる。後藤(1983)の方法と 比較すると、適切な計算の実施のためにより多くの情報が必要となる。

①質量

②漂流物の形状に関するパラメータ(幅、長さ、喫水、慣性モーメントを含む)

- ③流水抵抗係数ベクトル
- ④付加質量係数ベクトル
- ⑤付加慣性モーメント
- ⑥漂流物の回転に伴う回転モーメント係数
- ⑦漂流物と底面との摩擦係数、係留力

【計算手法の適用事例1(インドネシア・バンダアチェ港)】

橋本・越村ら(2009)は、上記の手法に基づく漂流物シミュレーションにより、2004 年スマトラ島沖地 震津波の際の大型船舶の漂流状況を再現することで、当手法の大型船舶の漂流予測手法としての妥当性 を示した。ここで当研究においては、漂流物の滑動(漂流物が底面に接しながら、流体力により滑動する 状態)を考慮することで、実現象の再現性を向上させている。

計算条件を図-4.4 に示し、2004 年スマトラ島沖地震津波における実際の漂流船舶についての再現計 算結果を図-4.5 に示す。当研究の場合のように、船舶の大きさスケールが計算対象範囲の大きさスケー ルに対して無視できない場合には、漂流物の回転を考慮した当手法が妥当であると考える。



図-4.4 漂流シミュレーションの計算条件(橋本・越村ら(2009)より抜粋)



計算による停止位置は、実際の位置よりも 約300m離れているが、その漂流距離は整合し ている。このことから、本モデルによって大 型船舶の漂流過程を良好に再現できることが 分かった。(橋本・越村ら(2009)より抜粋)

図-4.5 漂流シミュレーションによる船舶の漂流軌跡と実際の漂流位置の比較(橋本・越村ら(2009)より抜粋)

【計算手法の適用事例 2(気仙沼湾)】

Suga (2013)は、上記の手法に基づく漂流物シミュレーションにより、2011 年東北地方太平洋沖地震津 波により内陸に漂流した漁船の漂流状況を再現し、手法の妥当性を示した。さらに、漂流物の初期条件 の細かな違いにより、漂流物の漂流経路が大きく異なることを示した。再現計算の計算条件および計算 結果を図-4.6に示す。また、船舶の初期条件による漂流経路の変化図を図-4.7に示す。



図-4.6 漂流シミュレーション(再現計算)の計算条件及び計算結果(Suga(2013)より抜粋)

Table 3. Parameter set determined by the field measurement of 39 ships in Kesennuma Bay.				
Ship type	Length (m)	Breadth (m)	Draft (m)	Displacemen (tonnage)
А	41.2	7.7	2.0 - 3.0	350 - 530
В	56.9	9.6	2.0 - 3.0	600 - 900



Fig. 9. Variations in ship drift wake depending on its initial conditions (Kyotoku Maru No.18). (a): Comparison of a total of 20 simulation cases varying the initial position at 10 m intervals, and (b): Comparison of a total of 12 simulation cases varying the initial bow angle at 30° intervals.

図-4.7 初期条件による漂流経路の変化(Suga(2013)より抜粋)

4.4 鴫原らの方法

本多ら(2009)は、モリソン式を拡張した池谷ら(2005)の評価式により漂流物へ作用する流体力を評価 し、漂流物の並進運動及び回頭運動についての運動方程式を示すと同時に、漂流物の乗り上げ(座礁)、 漂流物の相互衝突、漂流物と建物側面との衝突を考慮するモデルを提案した。加藤・鴫原ら(2013)は、 本多ら(2009)の提案した手法に基づく数値解析結果が、実験結果を良好に再現することを確認した。

加藤・鴫原ら(2013)の用いた運動方程式及び回転速度についての方程式を式 1.9~式 1.11 に示す。ここで、ωは水深/吃水の関数として式 1.11 で定義される重み関数である。また、当手法では運動量及び 角運動量の保存則に基づき、漂流物の衝突前後の流速値を算定することで、漂流物の衝突過程を計算している。方程式が定義されている座標系は、漂流物空間固定座標系(漂流物の長軸方向が X 軸、短軸方向 が Y 軸)である。

$m(\frac{d\vec{u}}{dt} + \vec{\Omega} \times$	$\vec{u}) = (1 - \sigma)\vec{F}_{D1} + \sigma\vec{F}_{D2} + \vec{F}_M \dots (\pm 1.9)$
$(I_{zz} + J_{zz})\frac{d\Omega}{dt}$	$\frac{2}{2} = (1 - \sigma)M_{DZ1} + \sigma M_{DZ2} + M_{MDZ} \cdots (\textbf{I} 1.10)$
$\varpi = \begin{cases} 1.0 - \frac{0.9}{0.2} \\ 0.0 \end{cases}$	$\frac{5}{2}(\frac{h}{D} - 1.0): 1.0 < \frac{h}{D} < 1.2$ $5 : 1.2 < \frac{h}{D}$ (式 1. 11)
ここで、	
$m, \vec{u}, \vec{\Omega}$	∶漂流物の質量、漂流物の速度ベクトル、及び回転角速度ベクトル
$ec{F}_{D1},ec{F}_{D2},ec{F}_{M}$:流れが側壁に対して垂直な方向に変化することによって生じる抗力、流れが側壁の方
	向に変化することによって生じる抗力、慣性力
I_{zz}, J_{zz}, M_{DZ1}	:慣性モーメント、付加慣性モーメント、流れが側壁の方向に変化することによって生
	じる抗力
M_{DZ2}, M_{MDZ}	∶流れが水平方向に変化することによって生じる抗力、慣性力
D,h	☆漂流物の喫水、水深

式 1.9 の運動方程式中の抗力は、式 1.12~式 1.14 で定義される。ここで、積分記号の下添字は、積分 対象とする面を示している (sm: 船首、sn: 船尾、ps: 左舷、sb; 右舷)。

$$\vec{F}_{D1} = \frac{\rho}{2} \left(\iint_{Sm} C_{Dx1} u_x |u_x| dY dZ + \iint_{Sn} C_{Dx1} u_x |u_x| dY dZ \right) \cdots (\vec{\pi} \ 1. \ 12)$$

$$\vec{F}_{D2} = \frac{\rho}{2} u_G^{-2} B D \left(\begin{array}{c} C_{DX2} \frac{u_{Gx}}{|u_{Gx}|} \\ C_{DY2} \frac{u_{Gy}}{|u_{Gy}|} \end{array} \right) \cdots (\vec{\pi} \ 1. \ 13)$$

$$\vec{F}_M = \frac{\rho}{2} C_M D \left(\begin{array}{c} L \iint_{Sm} \frac{\partial u_x}{\partial t} dY + L \iint_{Sn} \frac{\partial u_x}{\partial t} dY \\ B \iint_{\rho_N} \frac{\partial u_y}{\partial t} dX + B \iint_{Sv} \frac{\partial u_y}{\partial t} dX \end{array} \right) \cdots (\vec{\pi} \ 1. \ 14)$$

ここで、	
C_{Dx1}, C_{Dy1}	∷漂流物の側壁位置に置いて、壁面に垂直方向に作用する力の抗力係数
C_{Dx2}, C_{Dy2}	:流れが平面方向に変化することによって生じる力の、長軸方向・短軸方向の抗力係数
\vec{u}_G, C_M	:漂流物の重心の速度ベクトル、付加質量
B,L,l	∷漂流物の幅、長さ、モーメントレバー(漂流物の形状に依存する量)

式-1.10の回転速度に関する方程式中の抗力は、式1.15~式1.17で定義される。

$$M_{DZ1} = \frac{\rho}{2} (-\iint_{sm} C_{Dx1} u_x | u_x | YdYdZ - \iint_{sn} C_{Dx1} u_x | u_x | YdYdZ + \iint_{ps} C_{Dy1} u_y | u_y | XdXdZ + \iint_{sn} C_{Dy1} u_y | u_y | XdXdZ) \cdots (\ddagger 1.15)$$

$$M_{DZ2} = lF_{D2} \cdots (\ddagger 1.16)$$

$$M_{DZ} = -\frac{\rho}{2} C_M DL \left(\iint_{sm} Y \frac{\partial u_x}{\partial t} dY + \iint_{sn} Y \frac{\partial u_x}{\partial t} dY \right) + \frac{\rho}{2} C_M DB \left(\iint_{ps} X \frac{\partial u_y}{\partial t} dX + \iint_{sv} X \frac{\partial u_y}{\partial t} dX \right) \cdots (\ddagger 1.17)$$

【計算手法の特徴と適用範囲】

- ・回転運動等の剛体運動や衝突運動を、個々の漂流物について直接計算するため、より高精度な計算 が可能である。
- ・後藤の方法と比較すると、計算負荷が大きい。
- ・各漂流物の漂流特性は、以下の6種類のパラメータによって決定づけられる。後藤(1983)の方法と 比較すると、適切な計算の実施のためにより多くの情報が必要となる。

①質量

②漂流物側壁における抗力係数の分布

③長軸方向及び短軸方向の抗力係数

④漂流物の形状に関するパラメータ(幅、長さ、モーメントレバー、喫水等含む)

⑤付加質量係数

⑥付加慣性モーメント

【計算手法の適用事例】

加藤・鴫原ら(2013)は、上記の手法による漂流シミュレーション結果が水理模型実験結果を良好に再 現しているとして、当手法の妥当性を確認した。一方で、一部の船舶の漂流経路における、実験結果と 計算結果の不整合については、初期条件の細かな差異が、漂流経路に大きく影響したためと結論づけて いる。検討対象モデルの概観を図-4.8に示し、計算条件の概要を表-4.3に示す。また、実験結果と解 析結果との比較を図-4.9~図-4.10に示す。



図-4.8 検討対象モデルの概観(加藤・鴫原ら(2013)より抜粋)

項目	設定
入射波条件	入射波波高(全振幅):4cm
	入射波周期:20sec
対象漂流物	船舶(漁船及びボートを4種類・計9隻)
	【代表諸元】
	漁船:全長 25cm、喫水 1cm
	ボート:全長 20cm、喫水 1.5cm

表-	4.3	計算条件一覧
11	- .0	







図-4.10 漂流軌跡の実験結果と計算結果の比較(加藤・鴫原ら(2013)より抜粋)

(参考文献)

- 後藤智明(1983):津波による木材の流出に関する計算,土木学会論文集B2(海岸工学), Vol. 30, pp. 594-597.
- 小林英一・越村俊一・久保雅義(2005): 津波による船舶の漂流に関する基礎研究, 関西造船協会論文集, 第243号, pp.49-56.
- 池谷毅・朝倉良介・藤井直樹・大森政則・武田智吉・柳沢賢(2005):浮体に作用する津波波力の実験と 評価方法の提案,土木学会論文集B2(海岸工学),第52巻,pp.761-765.
- 橋本貴之・越村俊一・小林栄一(2009):津波による大型船舶の漂流挙動解析-インドネシア・バンダア チェにおける事例-,土木学会論文集B2(海岸工学), Vol.65, No.1, pp.316-320.
- 橋本貴之・越村俊一・小林栄一・藤井直樹・高尾誠(2010):津波来襲時における船舶漂流・座礁モデル
- を用いた臨海都市域危険度マップの開発,土木学会論文集B2(海岸工学), Vol. 66, No. 1, pp. 236-240. 本多和彦・富田孝史・西村大司・坂口章(2009):多数の津波漂流物を解析する数値モデルの開発,海洋 開発論文集,第25巻, pp. 39-44, 2009.
- Masako Murayama, Eiichi Kobayashi, Hideaki Kondo, and Shunichi Koshimura(2010): A Research on Ships Evacuation Simulation due to a Tsunami Attack in the Seto Inland Sea, Proceedings of
- the Twentieth(2010) International Offshore and Polar Engineering Conference, 2010
- 加藤広之・鴫原良典・丹治雄一(2013):津波による船舶等の漂流に関する調査研究, (一財)漁港漁場漁 村研究所,調査研究論文集No.24, 2013.
- Ryo Ohta, Eiichi Kobayashi, Shunichi Koshimura, Masako Murayama(2012) : Evaluation of Anchored Ship Motion Under Tsunami Attack, International Society of Offshore and Polar Engineers, 2012
- Yusuke Suga, Shunichi, Koshimura, and Ei-ichi Kobayashi(2013) : Risk Evaluation of Drifting Ship by Tsunami, Journal of Disaster Research, Vol.8, No.4, 2013

5. 漂流物対策施設の整理

既往文献(海岸工学講演会、海洋開発シンポジウムや漂流物対策柵・杭等のメーカーのHP,パン フレットより整理した。

5.1 透過型漂流防止施設

通称「津波バリアー」と呼ばれる漂流物施設であり漂流物防止施設(防止柵、防止柱)として施工実績 が多い。「津流波漂物対策施設設計ガイドライン」で主に設計対象として施設である。以下の3タイプに 分類して施設の概要と実績が示されている。



高潮・津波バリアー研究会 HP より

●ガードケーブルタイプ

施設名称	津波バリアー	
タイプ名	ガードケーブルタイプ	
施設写真		
	北海道えりも町	
施設概要・特長	 津波による漂流物を捕捉する施設です。支柱に漂流物が衝突して損傷を受けても、構造物全体としては破壊せず、漂流物対策施設としての機能を保持します。 施設の両端にある端部支柱と、その間の中間支柱で構成されており、それぞれの支柱は基礎部を有しています。 支柱間は捕捉スクリーンで結ばれており、支柱と捕捉スクリーンにより漂流物を捕捉します。 支柱には鋼管が用いられ、捕捉スクリーンにはワイヤロープが用いられます。 	
設置箇所または 防護対象施設	捕捉対象:押し波時における漁船、コンテナや木材等。 引き波時における車両等。 設置箇所:港内と陸との境となる岸壁。	
標準構造	5m~10m 5m~10m 5m~10m 10m 10m 10m 10m 10m 10m 10m	
施工実績	北海道釧路市 北海道広尾町 北海道2015町 北海道厚岸町 高知県須崎市	

高潮・津波バリアー研究会 HPより

●単柱タイプ



高潮・津波バリアー研究会 HP より

●ガードレールタイプ

施設名称	津波バリアー				
タイプ名	ガードレールタイプ				
施設写真	<image/> <image/>				
施設概要・特長	 津波により漂流する車両等を捕捉する施設です。 道路で使用されるガードレールと同じく、支柱とレールの組合せ構造です。 				
設置箇所または 防護対象施設	捕捉対象:車両等。 設置箇所:駐車場等の周囲等。				
標準構造	wy w				
施工実績	北海道釧路市				

高潮・津波バリアー研究会 HPより

5.2 杭式の漂流物衝突防止工(防衝工)

伊藤ら(2012)は、円筒型の津波避難ビルを漂流物の衝突から守る目的で、杭式の漂流物衝突工(以下、 防護工と記す)の配置した構造形式を提案し、防護工が、漂流物の衝突防止だけでなく、津波避難ビル に作用する波圧の低減効果があることを数値シミュレーション(VOF 法による数値流体解析)により示し た。



図-5.1 数値計算による波力の検討例(伊藤ら(2012)より)

伊藤ら(2013)は、水理模型実験により、津波波形と防護工配置の違いおよび防護工の形状が波力低減 効果に及ぼす影響を検証した。その結果、防衛工が津波の波力低減効果を有することを検証したが、防 衛工の配置や形状、津波波形および津波規模の組み合わせと大きく関連し、防衛工が波力を増大する場 合もあったと報告している。

(出典)

伊藤一教,羽角華奈子,橋本貴之,今村文彦(2012):津波避難施設の立地計画及び設計に関する検討,土木学 会論文集 B2 (海岸工学),68(2), p. I_271-I_275.

伊藤 一教,羽角 華奈子,織田 幸伸,今村 文彦(2013):漂流物対策として防衝工を配置した津波避難ビルに 作用する津波波力に関する水理実験,土木学会論文集 B2 (海岸工学),69(2),p.I_811-I_815.









(b) 段波波形 図-9 最大水平波力の比較

図-5.3 配置・津波波形の違いによる波力の検討結果(伊藤ら(2013)より)

5.3 漁船の漂流化防止方法(係留索強化・係留方法)

加藤ら(2009)は、平面2次元および1次元定常流における水理模型実験により漁船等の小型船舶を対象に津波に対する挙動と係留索に作用する張力を系統的にとりまとめ、実用的な張力算定式の提案を行った。

さらに、津波漂流シミュレーションに張力算定式により得られる張力と係留索の破断強度との関係を 漁船の漂流開始条件として導入した. 宮城県波路上漁港をモデルに明治三陸地震による津波漂流シミュ レーションを実施して, 漂流防止対策の検討を実施している。

主な結論は以下の通りである。

- ・船舶が岸壁に横付けの状態で接岸された状態で,船の長さ方向から津波が入射する場合、係留索に最 大張力が発生する瞬間は2点係留の状態であっても,片側の係留・船舶索は緊張が緩み,1点係留の状 態とみなしてよいことを明らかにした。
- ・津波による流れを受ける際に係留索に働く最大張力は、船舶の質量、付加質量(係留条件により変わる)、係留索の種類(材質:ヤング率)、船体速度(津波の流速に等しいとする)より算定される。付加質量は係留条件(縦付け,横付け)により変わる。最大張力の算定結果は水理模型実験に良く一致した。



・数値シミュレーション等により津波の流速を想定できる地域では,張力算定式により破断しない係留 索の径が推定され,漁船の漂流防止対策として径を大きくする際の目安として活用できる。

・張力算定式による張力と係留索の破断強度の大小関係を漁船の漂流開始条件とした津波漂流シミュレーションを実施した.これにより係留索の径を太くすることや係留方法を改善する漂流防止対策の効果を以前よりも具体的にかつ視覚的に判りやすく示すことが可能となった.また,漁船の係留索・係留方法の改善だけではなく,漁船の係留位置や漂流防止策の配置位置の検討等にも適用可能と考えられる。



図-12 CASE1 従来の手法



図-13 CASE2 (算定式導入) 係留索径30mm



図 漂流開始条件に最大張力算定式を使用した漂流シミュレーション結果の比較例

(出典)

加藤広之・三宅健一・齋藤正文・藤間功司・鴫原良典(2009)「津波による漁船等小型船舶の係留索に作用する 張力算定式の提案と適用例」、漁港漁場漁村研究所調査研究論文集、 No. 20.

参考資料-2 津波漂流物による被災事例と対策施設効果事例

1. 漁港等における津波漂流物の発生事例について

1.1. 漁港等における津波漂流物の概要

津波の来襲に伴って、漁港や港湾等で生じた津波漂流物に関する資料(調査報告書、新聞記事、雑文等) を収集整理し、表-1.1~表-1.8にとりまとめた。

年	名称	場所 (地名)	津波高 (m)	漂流物の 種類	漂流物による 被害の概要	写真 番号
1944	昭和東南海 地震津波	三重県 尾鷲市	津波高 6m	小型船 ¹ (船種不明)	 ・小型船が陸に打ち上がり、家屋に衝突した ・「住民の話によれば、港内の多数の船がこの地域に乗上げ、被害を増加させたという」(原文引用) 	写- 1.1
1946	昭和南海 地震津波	和歌山県 海南市	津波高 3m	小型船 ⁶ (漁船)	・漁船が陸に打ち上げられ、家屋等に衝突した	写- 1.2
1946	昭和南海 地震津波	和歌山県 田辺市	津波高 5m	小型船 ² (漁船)	・漁船が市街地に打上げられ、家屋に衝突した	写- 1.3
1960	チリ 地震津波	北海道 霧多市	津波高 4m	小型船 ³ (漁船)	・市街地に漁船・木材が漂流し、家屋に衝突した	写- 1.4
1960	チリ 地震津波	青森県 八戸市	津波高 5m	小型船⁴ (漁船)	・漁船が背後地へ打ち上げられた。	写- 1.5
1960	チリ 地震津波	岩手県 大槌町	津波高 4m	小型船 (漁船) ⁵	・道路に漁船が乗り上げた	写- 1.6
1960	チリ 地震津波	岩手県 大船渡市	津波高 5m	大型船⁴	・300t 級の機帆船が岸壁に乗り上げた	写- 1.7
1968	十勝沖 地震津波	北海道 十勝港	全振幅 3m	大型船 ⁶ (漁船)	・津波により漁船が岸壁に打ち上げられた	写- 1.8
1983	日本海中部 地震津波	秋田県 能代港	津波高 5m	小型船 ⁶ (漁船)	・津波により漁船が対岸に打ち上げられた	写- 1.9
1993	北海道南西 沖地震津波	北海道 青苗漁港	津波高 12m	漁船 • 車両 ^{3, 7}	・漁船・車両が家屋に衝突し、破壊する被害が生じ た	写- 1.10
1993	北海道南西 沖地震津波	北海道 青苗漁港	津波高 12m	漁船 ⁸	・津波により漁船が漂流し、水域施設に沈没した	写- 1.12
1993	北海道南西 沖地震津波	北海道 奥尻港	津波高 4m	漁船 ⁹	・奥尻港において、津波により漁船が打上げられ、 転覆した	写- 1.12

表-1.1 船舶(漁船等)の漂流事例1

¹羽鳥ら(1981):尾鷲市に遡上した津波の調査-1944 年東南海・1960 チリおよび 1854 安政津波、地震研究所旬報、Vol. 56、pp. 245-263 ²南海道地震の被害について(http://www.pref.wakayama.lg.jp/prefg/080100/saigai/saigai05.htm)、和歌山県県土整備部 ³管内港湾漁港波浪津波対策検討業務、平成 19 年 3 月、(社)寒地港湾技術研究センター

⁴土木技術、1960年、土木技術社

⁵チリ地震津波誌、岩手県大槌町、1961

^{*}港湾と背後地域における間接被害を含めた津波被害波及過程及びその評価方法、平成18年6月、国土技術政策総合研究所資料

⁷北海道南西沖地震災害と復興の概要の紹介(http://www.pref.hokkaido.lg.jp/sr/gkg/hokkaidonanseiokijisin.htm)、北海道水産林務部 漁港漁村課

⁸港湾と背後地域における間接被害を含めた津波被害波及過程及びその評価方法、平成18年6月、国土技術政策総合研究所資料

⁹港湾と背後地域における間接被害を含めた津波被害波及過程及びその評価方法、平成18年6月、国土技術政策総合研究所資料

表- 1.2	船舶(漁船等)の漂流事例 2	
--------	----------------	--

年	名称	場所 (地名)	津波高 (m)	漂流物の ^{種類}	漂流物による 被害の概要	写真番 号
2004	インド 洋津波	インドネシア国 ベルワラ漁港	津波高 20m	小型船 ¹ (漁船)	・漁船が押し波によって海岸に打ち寄せられた	なし
2004	インド 洋津波	インドネシア国 バンダアチェ市	津波高 20m	大型船 ¹ (発電船)	・発電船 (長さ 60m、幅 20m) が係留地点から 3km 内 陸まで打上げられた	写- 1.13
2011	東北地方太平 洋沖地震津波	北海道 厚岸漁港	津波高 4m	小型 ² (漁船)	・港内に停泊中の漁船が背後地に漂流した	写- 1.14
2011	東北地方太平 洋沖地震津波	北海道 大津漁港	津波高 4m	小型 ³ (漁船)	・船揚場の上架漁船の転倒、岸壁係留漁船の転覆・ 接触	写- 1.15
2011	東北地方太平 洋沖地震津波	青森県 八戸港	津波高 6m	大型船4	・大型船舶が陸に打ち上げられ、家屋に衝突した	写- 1.16
2011	東北地方太平 洋沖地震津波	青森県 八戸漁港	津波高 6m	大型⁵ (漁船)	・津波により漁船が街内に進入した。	写- 1.17
2011	東北地方太平 洋沖地震津波	岩手県 釜石港	津波高 16m	大型船 ^{3, 6}	・釜石港で大型船が岸壁に打上げられた	写- 1.18
2011	東北地方太平 洋沖地震津波	岩手県 釜石市	津波高 21m	大型船 ⁷ (漁船)	・漁船がケーソンに衝突した	写- 1.19
2011	東北地方太平 洋沖地震津波	宮城県 石巻市	津波高 8m	小型船 ⁸ (ボート)	・陸上に打ち上げられた船が、石巻商工信用組合の 建物に衝突した	写- 1.20
2011	東北地方太平 洋沖地震津波	宮城県 気仙沼港	津波高 9m	大型船 ⁷ (マグロ 漁船)	・津波により、約 400t のマグロ漁船が陸に打ち上 げられた	写- 1.21

¹新たな津波被害予測に関する研究、平成18年10月、国土交通省国土技術研究会資料

²朝倉、寺田(2012):東日本大震災における厚岸漁港の被害と今後の漁港防災対策について、平成23年度技術研究発表会(寒地土木研究所) 3

⁴津波被害の概要と安全対策、平成23年10月、北海道運輸局中小造船業・舶用工業経営技術講習会資料

⁵2011 年 3 月 11 日 (https://www.toonippo.co.jp/tokushuu/20110311jishin/20110311.html)、東奥日報

⁶釜石湾口防波堤の被災メカニズム(http://www.scopenet.or.jp/main/h_shinsai/pdf/07_hisaizyoukyou/hisaino_tokucho.pdf)、(一財) 港湾空港総合技術センター

⁷東日本大震災による被害の状況(http://www.jfa.maff.go.jp/j/kikaku/wpaper/h22_h/trend/1/shinsai.html)、水産庁

⁸「3.11 キヲクのキロク、そしてイマ。」(http://www.20thcas.org/?cat=11)、気仙沼市



写-1.1 1944年昭和東南海地震津波による小型船漂流(三重県尾鷲市)



写-1.2 1946年昭和南海地震津波による小型船打上げ(和歌山県海南市)



・漁船が市街地に打上げられ、家屋に衝突した

写-1.3 1946年昭和南海地震津波による小型船漂流(和歌山県田辺市)



写-1.4 1960年チリ地震津波による小型船の市街地への打上げ(北海道霧多市)



写-1.5 1960年チリ地震津波による小型船漂流(青森県八戸市)



写-1.6 1960年チリ地震津波による小型船漂流(岩手県大槌町)



写-1.7 1960年チリ地震津波による大型船打上げ(岩手県大船渡市)



写-1.8 1968年十勝沖地震津波による漁船打上げ(北海道十勝港)



・能代港を遡上する津波(数波目で漁船が対岸に打上げられている)

写-1.9 1983年日本海中部地震津波による漁船打上げ(秋田県能代港)



写-1.10 1993年北海道南西沖地震津波による漁船打上げ(北海道青苗漁港)



写-1.11 1993 年北海道南西沖地震津波による水域施設内に沈没した漁船(北海道青苗漁港)



写-1.12 1993年北海道南西沖地震津波による漁船打上げ・転覆(北海道奥尻港)



・内陸 3km まで打上げられた大型船舶(発電船)

写-1.13 2004年インド洋津波による大型船舶(発電船)の打ち上げ(インドネシア国バンダアチェ市)



・厚岸漁港の背後に漂流した漁船

写-1.14 2011 年東北地方太平洋沖地震津波による漁船の打ち上げ(北海道厚岸漁港)



・大津漁港における漁船同士の衝突や、転覆の発生

写-1.15 2011 年東北地方太平洋沖地震津波による漁船の衝突被害(北海道大津漁港)



写-1.16 2011年東北地方太平洋沖地震津波による漁船の打ち上げ(青森県八戸漁港)



写-1.17 2011 年東北地方太平洋沖地震津波による漁船の打ち上げ(青森県八戸漁港)


写-1.18 2011 年東北地方太平洋沖地震津波による漁船の打ち上げ(岩手県釜石港)



・漂流した漁船がケーソンに衝突した

写-1.19 2011 年東北地方太平洋沖地震津波による漁船の打ち上げ(岩手県箱崎漁港)



写-1.20 2011 年東北地方太平洋沖地震津波により打ち上げられた漁船の衝突(宮城県石巻市)



写-1.21 2011 年東北地方太平洋沖地震津波による大型漁船の打ち上げ(宮城県気仙沼港)

表-1.3 車両の漂流事例

年	名称	場所 (地名)	津波高 (m)	漂流物 の種類	漂流物による 被害の概要	写真 番号
1993	北海道 南西沖地震津波	北海道 青苗漁港	津波高 12m	漁船・ 車両 ^{1, 2}	・漁船・車両が家屋に衝突した	写- 1.10
1993	北海道 南西沖地震津波	北海道 奥尻港	津波高 4m	工事車両 ³	・奥尻港において、停泊中の工事車両が津 波漂流物となって港内に流入し、港湾機 能や災害復旧活動の大きな支障となった	写- 1.22
2011	東北地方太平洋沖 地震津波	青森県 尻労漁港	津波高 3m	車両 ⁴	・津波により、車両が港内に移動した	写- 1.23
2011	東北地方太平洋沖 地震津波	宮城県 塩釜港	津波高 7m	車両5	・車両が塩釜港湾事務所の建物に衝突した	写- 1.24
2011	東北地方太平洋沖 地震津波	宮城県 仙台市	津波高 m	車両6	・漂流した車両が陸上建物に衝突した	写- 1.24
2011	東北地方太平洋沖 地震津波	岩手県 釜石港	津波高 21m	車両 ⁷	・漂流した車両が水産施設に衝突した	写- 1.24
2011	東北地方太平洋沖 地震津波	茨城県 平潟漁港	津波高	車両8	・漂流した車両が漁港施設内に打ち上げら れた	写- 1.24

-14-

¹北海道南西沖地震災害と復興の概要の紹介(http://www.pref.hokkaido.lg.jp/sr/gkg/hokkaidonanseiokijisin.htm)、北海道水産林務部 漁港漁村課

²管内港湾漁港波浪津波対策検討業務、平成19年3月、(社)寒地港湾技術研究センター

³釧路港における津波漂流物対策の取り組みについて、平成 19 年 10 月、国土交通省国土技術研究会資料

⁴2011 年 3 月 12 日(https://www.toonippo.co.jp/tokushuu/20110311jishin/20110311.html)、東奥日報

⁵釜石湾口防波堤の被災メカニズム(http://www.scopenet.or.jp/main/h_shinsai/pdf/07_hisaizyoukyou/hisaino_tokucho.pdf)、(一財) 港湾空港総合技術センター

⁶釜石湾口防波堤の被災メカニズム(http://www.scopenet.or.jp/main/h_shinsai/pdf/07_hisaizyoukyou/hisaino_tokucho.pdf)、(一財) 港湾空港総合技術センター

⁷釜石湾口防波堤の被災メカニズム(http://www.scopenet.or.jp/main/h_shinsai/pdf/07_hisaizyoukyou/hisaino_tokucho.pdf)、(一財) 港湾空港総合技術センター

⁸釜石湾口防波堤の被災メカニズム(http://www.scopenet.or.jp/main/h_shinsai/pdf/07_hisaizyoukyou/hisaino_tokucho.pdf)、(一財) 港湾空港総合技術センター



写-1.22 2011年東北地方太平洋沖地震津波による大型漁船の打ち上げ(北海道奥尻島)



写-1.23 2011年東北地方太平洋沖地震津波による車両の港内への転落(青森県尻労漁港)



写-1.24 2011年東北地方太平洋沖地震津波による車両の打ち上げ(宮城県塩釜港)



写-1.25 2011年東北地方太平洋沖地震津波による車両の打ち上げ(宮城県仙台市名取川周辺)



写-1.26 2011 年東北地方太平洋沖地震津波による漂流車両の水産施設に衝突(岩手県釜石港)



写-1.27 2011 年東北地方太平洋沖地震津波による車両の打ち上げ(茨城県平潟漁港)

表-1.4 木材の漂流事例

年	名称	場所 (地名)	津波高 (m)	漂流物 の種類	漂流物による 被害の概要	写真番号
1946	昭和南海 地震津波	高知県 須崎市	津波高 2m	木材 ^{1,2}	 ・湾奥にあった貯木場の木材が津波の引き波で流出したものが市街地に流入し被害を一層大きくさせた。 ・街の中は、桟橋付近から原町辺りまで流れ出た木材の山でした。亡くなった人は、木材にさらわれた人が多かったようです。(原文引用) 	写- 1.28
1990	チリ地震津波	北海道 浜中町	津波高 4m	木材3	・木材が流出し、家屋を倒壊した	写- 1.29
1993	北海道南西沖 地震津波	北海道 青苗漁港	津波高 12m	木材⁴	・木材が流出し、背後地への散乱や水域施設(航 路・泊地)への流入が生じた	写- 1.30
2011	東北地方太平 洋沖地震津波	岩手県 島越漁港	津波高 m	木材⁵	・漂流した木材が水産関連施設に衝突した	写- 1.31
2011	東北地方太平 洋沖地震津波	茨城県 寄磯漁港	津波高 m	木材6	・漂流した木材が泊地を埋め尽くした。	写- 1.32

¹漂流物対策(http://www.city.susaki.lg.jp/life/detail.php?pcflg=PC&hdnKey=429)、須崎市役所

²津波被災者のお話(http://www.pa.skr.mlit.go.jp/kouchi/minatosyoukai/susakikou/hisaishanoohanashi.html)、須崎港

³北海道南西沖地震災害と復興の概要の紹介(http://www.pref.hokkaido.lg.jp/sr/gkg/hokkaidonanseiokijisin.htm)、北海道水産林務部 漁港漁村課

⁴北海道南西沖地震災害と復興の概要の紹介(http://www.pref.hokkaido.lg.jp/sr/gkg/hokkaidonanseiokijisin.htm)、北海道水産林務部 漁港漁村課

⁵北海道南西沖地震災害と復興の概要の紹介(http://www.pref.hokkaido.lg.jp/sr/gkg/hokkaidonanseiokijisin.htm)、北海道水産林務部 漁港漁村課

⁶北海道南西沖地震災害と復興の概要の紹介(http://www.pref.hokkaido.lg.jp/sr/gkg/hokkaidonanseiokijisin.htm)、北海道水産林務部 漁港漁村課



写-1.28 1946年昭和南海地震津波による木材の流出(高知県須崎港)



写-1.29 1960 年チリ地震津波により流出した材木が家屋尾倒壊した(北海道浜中町)



写-1.30 1993年北海道南西沖地震津波による木材の水域施設への流入(北海道青苗漁港)



写-1.31 2011 年東北地方太平洋沖地震津波による漂流した木材が水産施設に衝突(岩手県島の越漁港)



写-1.32 2011 年東北地方太平洋沖地震津波による漂流木材の泊地流入(宮城県寄磯漁港)

年	名称	場所 (地名)	津波高 (m)	漂流物 の種類	漂流物による 被害の概要	写真番号
1944	昭和東南海 地震津波	三重県 二木島	津波高 7m	石油 タンク ¹	・重油タンクが、津波により 300m 以上押し 流された	なし
2004	インド洋 津波	インドネシア国 クルエンヤラ	津波高 20m	オイル タンク ²	・オイルタンク(高さ 11m、直径 17m)が、津 波により 300m 移動した	写- 1.33
2011	東北地方 太平洋沖 地震津波	宮城県 気仙沼港	津波高 9m	オイル タンク ³	・オイルタンクの漂流により火災が発生し た	写- 1.34

表-1.5 オイルタンクの漂流事例



写-1.33 2004 年スマトラ沖地震津波によるオイルタンクの移動(インドネシア国クルエンヤラ)

¹藤井、今村(2010):津波に伴う屋外タンクと漂流物による被害に関する実用的評価手法の提案、自然災害科学 J. JSNDS 28-4 371-386 ²新たな津波被害予測に関する研究、平成18年10月、国土交通省国土技術研究会資料

³津波被害の概要と安全対策、平成23年10月、北海道運輸局中小造船業・舶用工業経営技術講習会資料



写-1.34 2011 年東北地方太平洋沖地震津波によるオイルタンクの漂流(宮城県気仙沼港)

表-1.6 養殖筏の漂流事例

年	名称	場所 (地名)	津波高 (m)	漂流物 の種類	漂流物による 被害の概要	写真番号
2010	チリ地震津波	宮城県 気仙沼湾	津波高 1~2m	養殖筏 ¹	 ・養殖施設等が固まりとなり湾内を漂流すること で、水域施設の船舶航行の妨げとなる。 	写- 1.35
2011	東 北 地 方 太 平 洋沖地震津波	岩手県 両替漁港	津波高 m	養殖筏 ²	・漂流した養殖筏が漁港施設に衝突。	写- 1.36



写-1.35 2010年チリ地震津波に伴う養殖筏の漂流による、水域施設(航路泊地)の埋塞(宮城県気仙沼市)

¹津波による養殖施設の漂流対策(2010 年チリ津波調査結果報告)、(一財)漁港漁場漁村総合研究所 平成 21 年度調査研究論文集 No. 21 ²津波による養殖施設の漂流対策(2010 年チリ津波調査結果報告)、(一財)漁港漁場漁村総合研究所 平成 21 年度調査研究論文集 No. 21



写-1.36 2011 年東北地方太平洋沖地震津波による漂流養殖筏の漁港施設に衝突(岩手県両替漁港)

年	名称	場所 (地名)	津波高 (m)	漂流物 の種類	漂流物による 被害の概要	写真 番号
2011	東北地方 太平洋沖 地震津波	北海道 大津漁港	津波高 4m	漁具1	平成23年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震に 伴う津波は、本漁港にも大きな被害をもたらし、約4.4mの 津波が来襲、係留中の漁船はもとより、用地(漁船保管用 地)に上架している漁船や漁具等をも漂流させ、漁船の衝 突や転覆等の損害を与えた。 <u>また流出した漁具等が泊地を</u> 埋没させるなど、漁業活動の早期再開が妨げられた	なし

表-1.7 漁具等の漂流事例

表-1.8 プレハブ・コンテナ等の漂流事例

年	名称	場所 (地名)	津波高 (m)	漂流物 の種類	漂流物による 被害の概要	写真番号
2011	東 北 地 方 太 平 洋沖地震津波	北海道 大津漁港	津波高 4m	プレハブ 倉庫 ¹	プレハブ建屋が 200m 程度流されて移動した	写- 1.37



・プレハブ建屋(直売所)が 200m 以上流された後、横転した。

写-1.37 2011 年東北地方太平洋沖地震津波に伴うプレハブ小屋の漂流(北海道大津漁港)

-26-

¹平成23年東北地方太平洋沖地震による北海道沿岸の港湾・漁港等被害調査速報、2011年3月、寒地土木研究所

1.2. 漂流物の種類と漂流及び予想される被害の分類

上記の資料収集整理結果を基に、漂流物や漂流の形態及び予想される被害を表-1.9のとおりに分類した。

漂流物	漂流の形態	予想される被害
	・船舶が背後地に打ち上げられ、また家屋・	・船舶及び家屋や漁港施設等の破損
	建屋等に衝突しながら漂流する。	・道路の利用に支障
小田山		・撤去費の発生
小空加	・浸水に伴う沈没	・水域施設の利用に支障
		・引き上げ・撤去に係る費用の発生
	・船舶が陸上部に打ち上げられ、また家屋・	・船舶及び家屋や漁港施設等の破損
	建屋等に衝突しながら漂流する。	・道路の利用に支障
大型船		 撤去費の発生
八王加	・浸水に伴う沈没	・水域施設の利用に支障
		・引き上げ・撤去に係る費用の発生
	・養殖施設等が固まりとなり湾内を漂流す	・水域施設(航路・泊地)の利用に支障
養殖筏	る。	・撤去費の発生
	・港内の車両が港背後の家屋等に衝突しな	・追路の利用に支障
	から、長距離に渡って漂流する。	・家屋、漁港施設、漁船寺の破損
乗用車	고 한 번 여 년 년 번 여 한 국 국 양 신 년 전 관	・撤去費の発生
	・引さ波寺により港内外の単両か水域施設	・水域施設の利用に文陣
	に引き込まれる。	・引き上け・撤去に係る貧用の発生
	、決定にとした、たが投動、転倒する	- そういしたナイルなの除さに反て弗田の発生
オイル	・洋放によりダングが移動、転倒する。	・
タンク		・ナイルの登山による東市の光土
	・大材が道路等に勘乱する	- 消費利用に支防
	水材が進出すに飲むする	道山村市に文件・拗夫費の発生
資材		
(木材等)		 ・水域施設の利用に支障
		 ・撤去費の発生
	・プレハブ・コンテナが津波により流され	・プレハブ・コンテナや、家屋・建屋・漁船等の
プレハブ・	て、転倒・破損する。また、家屋・建屋・	破損
コンテナ	漁船等に衝突しながら漂流する。	・道路利用の支障
		・撤去費の発生

表- '	1.9	漂流物の	種類と漂流及	なび被害発	生の分類
1		/示 //し 1/2 マノ	「主人見 」 「 不 / し / ノ	ᄾᅛᇄᇧᇧᇧ	

2. 津波漂流物対策施設の効果の事例

北海道の3港において津波漂流物対策施設の効果が報告されている。(「東北地方太平洋沖地震による津波における津波漂流物対策の効果について」北海道開発局) (1)えりも港



係留してあった漁船が津波により移動。対策施設により捕捉。 津波高;+3.6m程度 延長;50m 高さ;約3.3m (D.L.+5.9m)

-28-

(2)十勝港



係留してあった漁船が津波により移動。対策施設により捕捉。

津波高;+3.7m以上

〔タンク側〕延長;72.2m 高さ;2.2m (D.L.+4.80m)

〔船揚場側〕延長;69.3m 高さ;4.6m (D.L.+7.20m) ~3.0m (D.L.+5.60m)

-29-



駐車している自動車が津波により移動散乱。軽自動車が対策施設により捕捉。 津波高;+3.0m程度 延長;260m 高さ;約1m (D.L.+3.41m) 平成 27 年度津波漂流物対策の技術検討調査委員会

第2回 技術検討委員会

議事次第

日 時:平成28年1月14日(木)13:30~15:30 場 所:エッサム神田ホール6階中会議室(601)

1. 開 会 【13:30~13:31 (1分)】 2. 挨拶 【13:31~13:35(4分)】 3. 配付資料の確認 【13:35~13:40(5分)】 4. 委員及び出席者の紹介 【13:40~13:45 (5分)】 5. 議 事 (1) 主な意見と対応 [資料-1] 【13:45~13:55(説明5分、質疑5分)】 (2) 津波による漂流物対策の考え方と手法 [資料-2] 【13:55~14:45(説明35分、質疑15分)】 ・基本的な考え方について ・配置手法について ・設計手法について (3) モデル地区による検討 [資料-3] 【14:45~15:10(説明15分、質疑10分)】 (4) ガイドラインの構成 [資料-4] 【15:10~15:20(説明5分、質疑5分)】 【15:20~15:25(説明5分)】 (5) その他 6. 連絡事項 【15:25~15:29(説明4分)】 7. 閉 会 【15:29~15:30 (説明1分)】

平成27年度津波漂流物対策の技術検討調査検討委員会

第2回 技術検討委員会

配布資料

<配付資料>

- ・議事次第
- 出席者名簿
- ・座席表
- 第2回技術検討委員会の論点
- 第1回議事録
- 資料-1 第1回委員会の主な意見と対応
- 資料-2 津波による漂流物対策について
 - 資料-2.1 基本的な考え方
 - 資料-2.2 配置手法について
 - 資料-2.3 設計手法について
- 資料-3 モデル地区による検討
- 資料-4 ガイドラインの構成
- 参考資料-1 シミュレーションの検証
- 参考資料-2 モデル地区における検討
- 参考資料-3 津波漂流物対策施設設計ガイドラインより抜粋

平成 27 年度津波漂流物対策の技術検討調査委員会

第2回 技術検討委員会の論点

第1回委員会の主な意見と対応

○意見に対する対応を論点とする。

・主な意見に対する対応は適切か

津波による漂流物対策について

○基本的な考え方を論点とする。

- ・対象となる漂流物源、防護すべき施設は適切か
- ・検討条件(設計津波他)、適用範囲は適切か
- ・対策の考え方は妥当か
 - 発生防止対策、漂流物衝突防止対策、滞留防止対策
- ・費用対効果の考え方は妥当か

○配置計画について論点とする。

- ・シミュレーションの活用方法は妥当か
- ・配置計画のフローは適切か

○設計外力について

- ・設計外力の考え方は妥当か
- ・外力算定式は適切か

モデル地区による検討

- ○モデル地区における検討内容を論点とする。
 - ・防護すべき施設の選定は適切か
 - ・漂流物の選定シナリオは適切か
 - ・対策効果の検証は妥当か

ガイドラインの構成

○目次案について論点とする。

・記載内容は適切か

平成 27 年度津波漂流物対策の技術検討調査検討委員会

第2回 技術検討委員会 出席者名簿

(敬称略)

区分	氏 名	所 属	職名	備考
	◎松冨 英夫	秋田大学大学院 工学資源学研究科土木環境工学専攻	教授	
	八木 宏	防衛大学校 システム工学群建設環境工学科	教授	
委員	越村 俊一	東北大学 災害科学国際研究所 災害リスク研究部門 広域被害把握研究分野	教授	
	阿部 幸樹	岩手県 農林水産部漁港漁村課	課長	

◎座長 (案)

区分	氏 名	所属	職名	備考
水産庁	吉塚 靖浩	水産庁 漁港漁場整備部 整備課	課 長	欠
	内田 智	水産庁 漁港漁場整備部 整備課	課長補佐	
	朝倉 邦友	水産庁 漁港漁場整備部 整備課	漁港漁場 専門官	
	山崎将志	水産庁 漁港漁場整備部 整備課	係長	

区分	氏 名	所属	職名	備考
事務局	影山 智将	一般財団法人 漁港漁場漁村総合研究所	理事長	
	西﨑 孝之	一般財団法人 漁港漁場漁村総合研究所 第1調査研究部	部 長	
	加藤広之	一般財団法人 漁港漁場漁村技術研究所 第1調査研究部	主席主任 研究員	
	竹原 洋一郎	一般財団法人 漁港漁場漁村技術研究所 第1調査研究部	主任研究員	
	奥野 正洋	(株)アルファ水工コンサルタンツ 東京本部	副本部長	
	佐藤 勝弘	(株)アルファ水工コンサルタンツ 東京本部 技術部	部 長	

資料-1

波漂流物対策の技術検討調査委員会 第1回委員会の主な意見と対応案(1/4)

主な意見	対応
(1) 調査の趣旨について	
 ・漂流物の対象について(松冨委員長) 漂流物として、船舶・車両以外にも港内滞留 を起こすものがあるのではないか。 	 ・その他、漁具や木材等(防潮林を含む)も 港内滞留を起こす。本検討では、これを養 殖施設に代表させて検討に加えることと する。(資料-2のとおり)
(2) 津波による漂流物による被災事例の整理に	ついて
 ・防潮林について(阿部委員) 東日本大震災では、津波による防潮林が漂流 物となり被害が発生している。防潮林なども 対象とするのか。 	・防潮林やその他の木材等も漂流物となり被 害をもたらすものの1つであるが、本検討 では、養殖施設に代表させて、検討に加え ることとしている。(資料-2のとおり)
 ・計算対象範囲について(越村委員) 漁港地域(防潮林などを含めた)実態を踏ま え、ケーススタディを実施する必要がある。 	・今後の課題とする。
 ・被災事例について(松冨委員長) 被災事例に石油タンクをいれるべきである。 	・ご指摘通りとする。
 ・消波ブロックについて(松冨委員長) 消波ブロックを漂流物の対象とするのか 	 ・海岸構造物の被災であると考え、対象外と する。
(3) 漂流物対策施設に関する既往知見の整理	
 ・対策手法の配置計画について(越村委員) 配置対象となる漂流物を決める必要があるのでは無いか。 ・性能規定化し、漂流物対策を一般化するためには、地域毎の特性(港形、漁船停泊位置など)があり、また、対象施設の条件などを考慮するとガイドラインの整理には3回の委員会では難しいのではないか。 ・新しい避泊地など、大規模の対策を考えるのか現状の準まで対策を立てるのか 	 ・本検討は、現状の港形での対策を前提とし、 新たな避泊地の造成などの大規模な整備は 対象としない。 ・守るべき施設と漂流物となる対象を明確に する。(資料-2のとおり) ・今年度内にできることを整理する。
 ・対象について(理事長) 対象として守るべき施設を明確すべきではないか ・漁船などは、発災後も重要な資産であり、漂流させない対策が必要ではないか。 	

津波漂流物対策の技術検討調査委員会

第1回委員会の主な意見と対応案(2/4)

主な意見	対応
(3) 漂流物対策施設に関する既往知見の整理	
・ガイドラインについて(松冨委員長)	・対象漂流物としては、漁船・車両・養殖
対象となる漂流物を特定すべきである。	施設とする。(資料-2のとおり)
・重要度について(阿部委員)	・地域特性や重要度を考慮する。
施設の重要度を考慮した漂流対策を考えるべ	
きである。	
・被災事例について(八木委員)	・資料については収集、整理し、計算の検証
シミュレーションの妥当性の検証には、被災	を行う。(資料-2のとおり)
事例が重要であり、検証できる資料はあるの	
カュ	
・ 衝突力について (松冨委員長)	・参考にする。
衝突力については、建築学会で整理した資料	
があるので参考にすること。	
・漂流シミュレーションについて(松冨委員長)	・開発中のモデルが適用できるか検討する。
新たなシミュレーションを開発するのか	・既往のモデルについて、調査する
特殊なモデルを使わない方が良い。	・汎用性を考慮して検討する。
・シミュレーションについて(越村委員)	
シミュレーションモデルは3つに限らず、多	
くのモデルについて検討すべきではないか。	

津波漂流物対策の技術検討調査委員会

第1回委員会の主な意見と対応案(3/4)

(4)津波による漂流物対策に関する課題	
主な意見	対応
 ・モデルの適用性について(越村委員) モデルや効果の適用限界など明記すべきである。 検討対象外の条件では被害が出ることなどを 	 ・適用限界、条件などは明確にできるものは 記載する。
記載した方が良い	
 ・費用対効果について(理事長) L1対象である以上、費用対効果について記述 	・費用対効果については、考え方を記載する。 ・記載すべき頂日を敷理する
 ・ガイドラインの対象について(松冨委員長) 費用対効果、係留の方法、減災対策など含め 整理すること。 	 (資料-2のとおり)
 ・減災について(理事長) 堤外地は L1 でも被害が出てよいという考え 方があり、それで減災の概念がある。 粘り強い構造のようなことも考慮すべきでは ないか 	
 ・対象となる津波について(松冨委員長) L1 津波を対象とするのか。 施設の耐用年数などを考慮し、対象となる津 波を決めても良いのではないか。 ・対象となる津波について(阿部委員) 岩手のL1 津波はかなり大きいので、施設に より、対象となる津波を検討すべきではない か。 ・遠地津波について(越村委員) 地形などの条件で被害が違うため、遠地津波 	 ・対象津波はL1を基本とし、津波の特性(近地・遠地)や施設の重要性を考慮した考え方をガイドラインに記載する。
も対象とすべきではないか。	
 ・シミュレーションの検証について(八木委員) 漁船、車、養殖などのシミュレーションの検 証に用いる資料はあるのか。 それは、モデル地区で検証するのか。 	 ・各漂流物の資料のある地区で検証を行う。 (資料-3のとおり) ・モデル地区は検証されたモデルにより、検討する。(資料-2のとおり)
 ・シミュレーションの実施について(松冨委員長) シミュレーションは実施しないといけないような整理にするのか。 シミュレーションを実施し、対策を立てる方向で一般化すべきではないか。 	 ・広く漁港で実施されている津波伝播シミュレーションの活用についても検討を進める。 また、詳細に検討する場合は、別途、漂流シミュレーションの活用を提案することを検討する。(資料-3のとおり)

津波漂流物対策の技術検討調査委員会

第1回委員会の主な意見と対応案(4/4)

(5)今後の対応		
主な意見	対応	
 ・津波波力算定式について(松冨委員長) 津波波力算定式は水産庁の式をもちいるのか。 適用性を検討するのか。 	 ・波力算定式の適用性を検討する。 (資料-2のとおり) 	
 ・設計手法について(八木委員) 対策工の具体的な設計法について、ガイドラインでは、記載するのか。 	 ・港湾のガイドラインにならい、記載する 予定としている。 	

資料-2

1

平成27年度 津波漂流物対策の技術検討調査 第2回技術検討委員会

~津波による漂流物対策の考え方と手法~

2016年 1月14日

4-6-b111

調査の背景と目的

津波による漂流物は、東北地方太平沖地震津波や日本 海中部地震津波などにより、漁港施設や水産施設、漁港 背後の集落などに多くの被害を与えた。日本近海で発生 が予測される津波においても、船舶などの漂流物による 陸上施設への甚大な被害が予想され、その被害を最小限 にするためには、漂流物対策は重要かつ緊急な課題であ る。

漁港の特性を踏まえた「漁港の津波漂流物対策施 設設計ガイドライン(仮称)」をとりまとめる。

調査フロー



3

資料-2.1

基本的な考え方について

守るべき機能と対象施設

守るべき機能

水産物の流通機能、陸揚げ機能や重要な準備機能を対象 とする。

守るべき施設

重要な係留施設(陸揚岸壁等)および前面の水域施設(泊地、航路)、背後の荷さばき所、補給施設等を対象とする。



守るべき対象施設の対象範囲 本ガイドラインでは、漁港の堤外地を主な対象範囲とする。



6

対象とする漂流物

本ガイドラインでは、比較的被害事例の多い ・<u>船舶(漁船)・車両・養殖施設(筏)</u> を中心に記述する。

漁港で発生する主な漂流物

- ▪船舶(漁船)
- ・車両
- •養殖施設(筏)
- ·漁具
- •防潮林, 貯留木材
- 石油タンク等



1993年北海道南西沖地震津波により漁船が家屋へ衝突し、倒壊した例(北海道青苗漁港周辺)



津波漂流物により被災事例(漁船・車両)



東北地方太平洋沖地震津波により打ち上げられ た漁船の陸上建物への衝突例(宮城県石巻市)

東北地方太平洋沖地震津波により漂流し、水産施設に打ち上げられた車両(岩手県釜石港)


水域施設の養殖筏等による滞留事例





チリ地震津波(2010)に伴う養殖筏の漂流による、航路泊地の埋塞(宮城県気沼市)

東北地方太平洋沖地震津波に伴う木材により埋め尽くされた漁港水域施設(宮城県石巻市)

•養殖施設(筏)

→水域施設(泊地・航路)の滞留対策の対象となる 漁具や木材(含む防潮林)等漂流物の代表として扱う



発生頻度の高い津波(L1)を基本とする。

なお、対象津波の発生頻度は、地域性や施設の重要度、耐用年数、費用対効果等を勘案し漁港管理 者が判断してもよい。

津波の発生頻度^{*)}・費用対効果の考え方は、水産庁の「平成23年東 日本大震災を踏まえた漁港施設の地震・津波対策の基本的な考え 方、参考資料3「防波堤と防潮堤による多重防護の活用」を参考と する。

*) 津波の発生確率をグーテンベルク・リヒター則を用いて推定。

10



便益の算定フロー(水産庁「基本的な考え方」より)



11



対策の考え方は次の3つに大別される。

①漂流発生防止対策

漂流させない対策(事前の対策)

②衝突防止対策

漂流物による衝突被害を防ぐ対策

③拡散·滞留防止対策

泊地・航路への滞留被害を防ぐ対策

本ガイドラインでは、②衝突防止対策と③拡散・滞留防止対策を主 に記載する。

水産庁「漁業地域の減災計画策定マニュアル」の考え方

「漂流物となる恐れのあるものを事前に把握し、漂流物発生防止策と併せて被 害拡大防止策に取り組むこと」を基本ピする。

参考: 衝突防止対策の検討手順

守るべき施設(防護対象施設)の選定

漂流し衝突する恐れのある漂流物(種類・位置)の選定

漂流物の衝突可能性の範囲(防護範囲)と

漂流物の衝突時の流速・方向等条件(外力条件)の想定

衝突防止対策施設と対策範囲(配置計画)を設定し、 対策効果^{*)}を検証する

*) 減災効果、費用対効果等

参考:拡散・滞留防止対策の検討手順

守るべき施設(防護対象施設)の選定

滞留防止対策施設と対策範囲(配置計画)を設定し、 対策効果^{*)}を検証する

*) 減災効果、費用対効果等

資料-2.2

配置計画手法について

施設配置計画の検討方法

- 漂流物対策の施設配置計画の検討は、 以下の2つ
- ・既往津波伝播シミュレーション結果を活用する方法
- ・新たに漂流シミュレーションを活用する方法

なお、配置計画の検討に際して 新たな漂流物シミュレーションの実施が前提ではない。 津波伝播シミュレーション結果は必要である。

既存シミュレーション結果を活用する方法



17

漂流シミュレーションを活用する方法



参考:シミュレーションの活用法の比較

	考え方	特長·課題
既存のシミュレ ーション結果を 活用する場合	最大水位,最大流速分布 を使用する。 最大流速により漂流の可 能性を判定する。 施設位置の流速・方向に より衝突力と範囲を算定 する。	新たな漂流シミュレーションを行わ ないので比較的簡便の計画可能 である。 対策施設の規模・範囲が過大とな る恐れがある。
新たに漂流シミ ュレーションを行 う場合	漂流物の移動範囲, 速度 が計算されるので、衝突 力と範囲をより的確に推 定できる。	対策施設の規模・範囲をより合理 的に設定できる。 漂流シミュレーションに期間・費用 が必要となる。
	<u> </u>	
モデノ	ル地区での適用・	試算により検討

資料-2.3

設計外力について

外力算定方法について

- 対象とする外力として
 - ·地震力
 - •津波波力
 - ・漂流物の衝突力
- などの外力算定法について記述する。

地震力については、漁港の手法を記載する。

津波波力, 漂流物の衝突力については、漁港の手法、 港湾の手法、建築学会の手法などを記載し、その適用条 を明確にする。

21

参考: 漂流物による衝突力の算定法比較

ガイドライン	算定方法	課題
津波漂流物対策施設 設計ガイドライン (港湾) 透過型漂流防止柵	漂流物による衝突エネルギーを漁 船の接岸エネルギー準じて算定。 対策施設の変形による、吸収エネ ルギーが衝突エネルギー以上とな るように設計し、漂流物を捕捉する。	主に防止柵への作用力が対 象。衝撃的な力の算定法とし て過小評価の可能性がある。
漁港の津波避難に関 するガイドライン (漁港) 津波避難誘導デッキ	漂流物別に衝突力算定式を提示。 最大衝突力(最大流速時)を最も安 定性が厳しくなる位置(津波水位の 範囲内)に作用させる。	施設まで漂流される過程の シナリオを想定し、設計に用 いる漂流物を選定する.。 最悪の状態を想定するため、 過大評価となる恐れがある
建築物荷重指針•同解 説(2015)建築学会 建築物	流木・コンテナを対象とした6種類 の評価式(松富, 池野ら, 水谷ら, 有川ら, FEMAの式)を提示。	複数の算定式が提示されて おり、選択が難しい。



参考:津波波力の算定法の比較

ガイドライン	算定方法	特長·課題
津波漂流物対策施設 設計ガイドライン (港湾) 透過型漂流防止柵	抗力係数を使用した流速による 抗力式で算定。	流速の時間変化(加速度)が考 慮されていない。
漁港の津波避難に関 するガイドライン (漁港) 津波避難誘導デッキ	浸水深を用いた谷本式による算 定。	取り扱いが簡便である。
建築物荷重指針·同解 説(2015)建築学会 建築物	設計用データとして (1)浸水深・流速の時系列 (2)最大浸水深・最大流速 (3)最大浸水深のみ の場合についてそれぞれ算定 方法を提示。	 (1)の場合は、モリソン式 (2)の場合は、抗力係数を使用した流れによる抗力式 (3)の場合は、静水圧型波力式により算定する。
_	$\overline{\mathbf{U}}$	
	モデル地区で比較	確認 23

4-6-b134

資料-3

平成27年度

津波漂流物対策の技術検討調査 第2回技術検討委員会

モデル地区による検討

モデル地区による検討状況



- モデル地区:田老漁港
- 施設配置計画の検討手法

 (a)津波伝播シミュレーション結果を活用する方法
 (b)漂流シミュレーションを行い活用する方法の計画・設計例を作成する。
- 外力に関する既往提案式について検討する
 ①津波波力
 ②漂流物による衝突力(今回報告)

検討フロー





〇守るべき施設:給油施設
 〇対象漂流物:最多の船舶(10トンGT)避難施設ガイドラインの考え方を準用
 〇対象津波:昭和三陸地震津波(L1津波)



津波伝播シミュレーション結果



最高水位分布

最大流速分布

4-6-b140

漂流物(船舶)の条件

漂流物(船舶)諸元



漂流物(船舶)初期配置 $_{4-6-b141}$

漂流シミュレーション検討例



対象施設付近の漂流物の流速及び衝突エネルギー

対策配置効果の検証

衝突防止対策施設 給油施設周辺に衝突防止杭を配置

効果の確認

衝突防止対策実施前 <u>給油施設</u> <u>し</u> <u>10</u>


衝突防止対策実施後(拡大)



代表的な漂流物の軌跡₄₃

漂流物よる衝突力の検討

検討条件

	最大値	後藤モデル	鴫原モデル
浸水深(m)	6.50	4.86	2.61
流速(m/s)	7.30	1.54	1.11
備考	(a)津波伝播シミュレ-ション 結果を使用する方法	(b)漂流シミュレ する方法	ーション結果を活用 (衝突時の値)

衝突力の算定結果



池野らの提案式

$$\frac{F_H}{gM} = SC_{MA} \left\{ \frac{V_H}{(g^{0.5} D^{0.25} L^{0.25})} \right\}^{2.5}$$

F_H: **漂流物の衝突力**(tf), *g*: 重力加速度(*m*/*s*²), M: 漂流物の質量(*t*)S: **係数**(= 5.0), *C_{MA}*: 付加質量係数, *V_H*: **漂流物の衝突速**度(m/s), D: **漂流物の代表**高(m)

C_{MA} = 1.5 (円柱横向き、3次元)

資料-4

「漁港の津波漂流物対策施設設計ガイドライン(仮称)」の骨子(素案)

- 1 ガイドラインについて
 - 1.1 ガイドラインの位置づけ
 - 1.2 ガイドラインの対象と適用範囲
 - 1.3 ガイドラインの構成(記載方法)
 - 1.4 用語の定義
- 2 漁港の漂流物対策の基本的な考え方
 - 2.1 漁港の漂流物対策の基本的な考え方(減災ガイドラインより)
 - ・対策(漂流防止対策、被害防止(衝突)対策、拡散防止(滞留)対策)に ついて
 - ・対象津波
 - ·費用対効果
 - 2.2 漁港の漂流物対策の対象範囲
 - · 漁港(堤外地)
 - 2.3 対象施設(守るべき施設)
 - ・重要な係留施設(耐震岸壁等)、それに付随する水域施設(泊地・航路)お よび水産施設等(荷さばき場等)
 - ・その他
 - 注)水産流通機能維持のための施設とする。
- 3 津波漂流物対策施設
 - 3.1 津波漂流物対策施設の基本的な考え方
 - 3.1.1 津波漂流物対策施設の基本的考え方
 - ·漂流防止対策、被害防止(衝突)対策、拡散(滞留)防止対策
 - 3.1.2津波漂流物対策施設の役割
 - (1) 目的
 - (2) 要求性能
 - (3) 性能規定
 - 3.2 津波漂流物対策施設の配置
 - 3.2.1 検討の手順
 - 注)既往シミュレーションを活用する場合、新たに計算する場合の2案 3.2.2 基本条件の把握
 - (1) 漁港整備方針・利用状況の把握
 - (2) 漁港周辺の地理的条件の把握
 - (3) 漁港の漂流源の把握(種類・位置など)
 - (4) 対象施設の選定
 - 3.2.3 津波漂流物対策施設の配置計画
 - (1) 対策施設配置計画の基本的考え方
 - (2) 漂流物対策方針の設定
 - (3) 漂流物対策施設配置計画
 - ・漂流物選定のシナリオ

- ・対策効果の検証
- ・費用対効果など
- 3.3 津波漂流物対策施設の設計
 - 3.3.1 設計の基本的考え方
 - 3.3.2 設計条件の設定
 - 3.3.3作用
 - (1) 作用津波の設定
 - (2) 地震力
 - (3) 津波波力
 - (4) 漂流物の衝突力
 - 3.3.4 構造設計
 - ・構造設計の考え方
 - ・構造設計手法
- 3.4 津波漂流物対策施設の計画・設計例
 - モデル地区例
 - ・漂流シミュレーション有り、無しの場合
 - ・漂流シミュレーションと適用限界
- (参1)過去の津波災害での津波漂流物について 写真集
- (参2) 津波漂流物対策施設の事例について 津波バリアーとそれ以外
- (参3) 漂流シミュレーションの活用について 活用方法、適用限界

参考資料-1

シミュレーションの検証

1. 計算手法

1.1. 津波伝播遡上解析

(1) 基礎方程式

津波伝播遡上解析の基礎方程式は、「津波浸水想定の手引き、ver.2.00」(国土交通省)に基づき、以下 に示すとおりに設定した。

【連続式】

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0$$
【運動方程式】

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{M^2}{D}\right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{MN}{D}\right) + gD \frac{\partial \eta}{\partial x} + \frac{gn^2}{D^{7/3}} M \sqrt{M^2 + N^2} = 0$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{MN}{D}\right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{N^2}{D}\right) + gD \frac{\partial \eta}{\partial y} + \frac{gn^2}{D^{7/3}} N \sqrt{M^2 + N^2} = 0$$
ここに、 η は静水面からの水位変化量、D は水底から水面までの全水深、g は重力加速度、
n はマニングの粗度係数、M,N は x, y 方向の流量フラックスである。
(出典: 津波浸水想定の手引き v2.00、P.14)

(2) 差分法

境界差分法については、空間差分にはスタッガード格子を用い、時間差分にはリープフロッグ法を用いた。また、運動方程式の移流項には一次風上差分を用い、摩擦項は数値発散を防ぐために陰的に差分 化した。



図-1.1 時間・空間座標中の水位・流量の定義位置

(3) 条件

1) 沖側境界条件

計算領域の外縁部では、進行性長波の特性条件に基づく方法(岩崎・楊(1974)*)により津波を自由透 過させた(無反射境界)。

2)陸側·遡上境界

① 遡上境界

陸側では、岩崎ら(1979)**の方法により、遡上境界条件を設定した。海域から遡上端までを計算対象 領域として設定し、その周辺格子への遡上の有無(計算範囲拡張の有無)を、津波先端部の水深が限界水 深を越えるか否かで判定するものである。本業務では、津波先端部での限界水深を、0.01mとした。 遡上境界条件の模式図を図-1.2に示す。



図-1.2 遡上境界条件の模式図

^{*}岩崎敏夫・楊沢民(1974):三陸大津波の数値実験,第21回海岸工学論文集,pp.83-89.

^{**}岩崎敏夫・真野明(1979):オイラー座標による二次元津波遡上の数値計算、第26回海岸工学論文集、 pp. 70-74.

2 越流境界

越流条件については、本間(1940a*、1940b**)の越流公式を用いた。図-1.3に越流公式 とその概念図を示す。



図-1.3 越流公式と概念図

③ 領域接続条件

本業務では、計算時間間隔・格子間隔の異なる複数の計算領域を入れ子状に組み合わせる(ネスティング)ことで、波源域を含む広範囲の海域を計算領域内に収めながら、計算対象領域¥を十分な空間解像度 で再現した。

ここで、計算領域の境界における地形・水位・流量の接続には、柴木(2004)***の方法を用いた。概要 は以下のとおりである。

【計算領域の設定】

接続境界において、2つの領域(大領域、小領域)が重複するように設定する。(図-1.4参照)

【地形の接続】

領域が重複する接続領域においては、地形データを以下のとおりに設定する。

- 小領域の接続領域における各格子の水深は、重複する大領域の格子の水深と一致させる。
- 大領域の接続領域における各格子の水深は、各格子の範囲内にある小領域の格子の最大水深で置き換える。また、各格子の範囲内にある小領域格子の水深は、すべて範囲内の最大水深で置き換える。

【水深・水位・流量の接続】

接続領域における水深・水位・流量は、他領域の値を内挿することで算出する。(図-1.4参照)

^{*}本間仁(1940a):低溢流堰堤の流量係数、土木学会誌、Vol. 26、No. 6、pp. 635-645.

^{**}本間仁(1940b):低溢流堰堤の流量係数、土木学会誌、Vol. 26、No. 9、pp. 849-862.

^{***}柴木秀之(2004):波浪・高潮・津波の数値計算と沿岸防災支援システムへの応用に関する研究



図-1.4 領域接続の模式図

1.2. 津波漂流物解析

(1)後藤(1983)の方法

後藤(1983)は、個々の漂流物を質点とみなした場合の運動方程式として式 1.1 を、漂流物の拡散を考慮した漂流物の移動経路の算定式を式 1.2 のとおりに提案した。漂流物の移動・停止条件は、浸水深及 び掃流力の敷居値を漂流物毎に与えることで設定した。

下記の方程式では、式 1.2 における拡散係数の導入により漂流物同士の衝突を考慮している。また、 式 1.1 の右辺第 3 項、第 4 項は、モリソン式による津波の漂流力である。

【計算手法の特徴と適用範囲】

- ・回転運動等の剛体運動や衝突運動を考慮していない分、計算負荷が他のモデルと比較して少ないため、 多量の漂流物群についての解析に適している。
- ・個別の漂流物についての解析精度は低く、漂流物数が少ない場合には衝突現象を正確に評価できない 可能性がある。
- ・個別の漂流物について、以下の6種類のパラメータを設定する必要がある。漂流開始・終了の判定は、 浸水深或いは流速があらかじめ設定した漂流開始の敷居値との比較により行う。

①質量

②体積

③付加質量係数

④流水抵抗係数

⑤漂流開始条件

⑥漂流終了条件

(2) 加藤・鴫原(2013) の方法

本多ら(2009)は、モリソン式を拡張した池谷ら(2005)の評価式により漂流物へ作用する流体力を評価 し、漂流物の並進運動及び回頭運動についての運動方程式を示すと同時に、漂流物の乗り上げ(座礁)、 漂流物の相互衝突、漂流物と建物側面との衝突を考慮するモデルを提案した。加藤・鴫原ら(2013)は、 本多ら(2009)の提案した手法に基づく数値解析結果が、実験結果を良好に再現することを確認した。

加藤・鴫原ら(2013)の用いた運動方程式及び回転速度についての方程式を式1.3~式1.5に示す。ここで、ωは水深/吃水の関数として式1.5で定義される重み関数である。また、当手法では運動量及び角運動量の保存則に基づき、漂流物の衝突前後の流速値を算定することで、漂流物の衝突過程を計算している。方程式が定義されている座標系は、漂流物空間固定座標系(漂流物の長軸方向がX軸、短軸方向がY軸)である。

$m(\frac{d\vec{u}}{dt} + \vec{\Omega} \times$	\vec{u}) = $(1 - \omega)\vec{F}_{D1} + \omega\vec{F}_{D2} + \vec{F}_{M}$ (式 1.3)
$(I_{zz} + J_{zz})\frac{dg}{d}$	$\frac{\Omega}{t} = (1 - \sigma)M_{DZ1} + \sigma M_{DZ2} + M_{MDZ} \qquad (\vec{x} \ 1.4)$
$\varpi = \begin{cases} 1.0 - \frac{0.95}{0.2} (\frac{h}{D} - 1.0) : 1.0 < \frac{h}{D} < 1.2 \\ 0.05 : 1.2 < \frac{h}{D} \\ \dots \\ \dots \\ (\vec{\mathbf{x}} \ 1.5) \end{cases}$	
ここで、	
$m, \vec{u}, \vec{\Omega}$:漂流物の質量、漂流物の速度ベクトル、及び回転角速度ベクトル
$\vec{F}_{D1}, \vec{F}_{D2}, \vec{F}_{M}$:流れが側壁に対して垂直な方向に変化することによって生じる抗力、流れが側壁の方
	向に変化することによって生じる抗力、慣性力
I_{zz}, J_{zz}, M_{DZ1}	:慣性モーメント、付加慣性モーメント、流れが側壁の方向に変化することによって生
	じる抗力
M_{DZ2}, M_{MDZ}	:流れが水平方向に変化することによって生じる抗力、慣性力
D,h	:漂流物の喫水、水深

式 1.9 の運動方程式中の抗力は、式 1.12~式 1.14 で定義される。ここで、積分記号の下添字は、積分 対象とする面を示している(sm:船首、sn:船尾、ps:左舷、sb;右舷)。



6

ここで、

C_{Dx1}, C_{Dy1}	:漂流物の側壁位置に置いて、壁面に垂直方向に作用する力の抗力係数
C_{Dx2}, C_{Dy2}	:流れが平面方向に変化することによって生じる力の、長軸方向・短軸方向の抗力係数
\vec{u}_G, C_M	:漂流物の重心の速度ベクトル、付加質量
B,L,l	:漂流物の幅、長さ、モーメントレバー(漂流物の形状に依存する量)

式-1.4の回転速度に関する方程式中の抗力は、式1.9~式1.11で定義される。

$$M_{DZ1} = \frac{\rho}{2} \left(-\iint_{sn} C_{Dx1} u_x |u_x| Y dY dZ - \iint_{sn} C_{Dx1} u_x |u_x| Y dY dZ + \iint_{\rho s} C_{Dy1} u_y |u_y| X dX dZ + \iint_{sn} C_{Dy1} u_y |u_y| X dX dZ \right) \dots (\ddagger 1.9)$$

$$M_{DZ2} = lF_{D2} \dots (\ddagger 1.10)$$

$$M_{DZ} = -\frac{\rho}{2} C_M DL \left(\iint_{sm} Y \frac{\partial u_x}{\partial t} dY + \iint_{sn} Y \frac{\partial u_x}{\partial t} dY \right) + \frac{\rho}{2} C_M DB \left(\iint_{\rho s} X \frac{\partial u_y}{\partial t} dX + \iint_{sv} X \frac{\partial u_y}{\partial t} dX \right) \dots (\ddagger 1.11)$$

【計算手法の特徴と適用範囲】

- ・回転運動等の剛体運動や衝突運動を、個々の漂流物について直接計算するため、より高精度な計算が 可能である。
- ・後藤の方法と比較すると、計算負荷が大きい。
- ・各漂流物の漂流特性は、以下の6種類のパラメータによって決定づけられる。後藤(1983)の方法と比較すると、適切な計算の実施のためにより多くの情報が必要となる。

①質量

②漂流物側壁における抗力係数の分布

③長軸方向及び短軸方向の抗力係数

- ④漂流物の形状に関するパラメータ(幅、長さ、モーメントレバー、喫水等含む)
- ⑤付加質量係数
- ⑥付加慣性モーメント
2. 解析手法の検証

2.1. 再現目標の設定

チリ地震津波(2010)を対象とした津波伝播遡上解析を実施し、その結果を入力条件として気仙沼湾内 の養殖筏を対象とした津波漂流物解析(後藤(1983)の方法及び加藤・鴫原(2013)の方法)を実施し、解析 結果とチリ地震津波(2010)来襲時の養殖筏の被災状況を比較することで、津波漂流物解析手法の適用性 を検証した。エラー!参照元が見つかりません。に、当該津波来襲時における養殖筏の被災状況を示す。



図-1.1 ナリ地震津波(2010)による養殖役の被災状況 (気仙沼漁業協同組合による養殖筏被害状況調査結果)



図-1.2 チリ地震津波(2010)による養殖筏の被災状況 (気仙沼市による養殖筏被害状況調査結果)

2.2.計算モデルの構築

(1) 津波伝播解析モデルと計算条件の設定

1)計算条件の概要

本業務で使用した津波伝播遡上解析モデルの計算手法・計算条件の概要を表-1.1に示す。また、計算 条件の各項目の詳細は、次頁以降に示すとおりである。

			再現計算		
	基礎方程式		線形長波方程式(チリ沿岸部~日本近海)		
			非線形長波方程式(北海道~東北の太平洋沿岸域全域)		
			時間差分:Leap-Flog 差分法		
	主公注		空間差分:スタッガード格子による差分		
	左万 広		移流項:一次風上差分		
-			摩擦項:陰的差分		
計算		沖側	無反射・透過境界		
手法	培史	陸側	遡上境界(450m格子領域以下で沿岸部全域遡上境界とした)		
	現介 冬姓	越流	本間の越流公式 (1940)		
	жп	生能多年	・岩崎・真野(1979)の方法		
		九峏木什	・最小水深:0.01m		
	領域接続	冬世	・地形の接続:柴木 (2004)の方法を採用。		
	庾-33]女机	жп	・水位・流量の接続:柴木(2004)の方法を採用。		
	その他の設定		緯度によるコリオリカの変化を考慮した		
	波源条件	1	チリ地震津波(2010)(USGSモデル*、波源倍率 1.57(※))		
	潮位条件		潮位(T. P. +0. 00m)		
			※チリ地震津波来週中(発震20時間後~)において潮位が有意に		
			変化していたことや、養殖筏被災時の潮位が水域により異な		
			っていたと考えられることなどから、計算潮位を一意に定め		
			ることは困難と考えた。従って本業務では、養殖筏設置個所		
			の水深が十分に深く、水深が漂流力に与える影響が小さいと		
			考え、計算潮位を基準水面(T.P.±0m)で設定した。		
	計算領域		チリ沿岸部~気仙沼湾を含む北海道~東北の太平洋沿岸域全域		
計算	計算格子間隔		• 5' -1350m-450m-150m-50m-10m		
条件	計算時間		36 時間		
	計算時間間隔		5° : 2.0sec, 1350m~10m : 0.1sec		
	抽形冬件		GEBCO(全球水深データ)		
	地形余件		海底地形デジタルデータ(M7000 シリーズ)(日本水路協会)		
	粗度条件		小谷ら(1998)*の指標に基づき、土地利用状況に応じて設定。		
	構造物	データ化対象	海岸堤防、河川堤防、漁港・港湾施設		
	条件	破堤条件	なし		
			河川流は考慮しない		
	河川の水位条件		(養殖筏に作用する漂流力の評価にはほとんど影響しないと判		
			断した)		

表-1.1 津波伝播解析モデル 計算条件概要(再現計算)

(※)…計算津波高と津波痕跡高の関係が、相田(1977)の指標を満足するように調整した。

^{* &}quot; 2010 Significant Earthquake and News Headlines Archive, Earthquake Hazards Program, USGS"

⁽http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eqinthenews/2010/us2010tfan/)

^{**} 小谷美佐・今村文彦・首藤伸夫:GIS を利用した津波遡上計算と被害推定法,海岸工学論文集,第45巻,pp.356-360,1998.

2) 波源モデル

チリ地震津波(2010)の波源モデルとして、U.S. Geological Survey(USGS)のEarthquake Hazards Programが公開している地震データベース(Significant Earthquake Archive)に登録されている断層パラ メータ*を採用した。但し、計算津波高が気仙沼湾内の津波痕跡高さを再現できるように、すべり量に定 数(後述の検討により、定数=1.57で設定)を乗じた場合の断層パラメータを用いた。

当断層パラメータに基づいて Okada (1995)の方法により計算した初期水位分布図を、図 1.1 に示す。



図 1.1 初期水位分布図(チリ地震津波(2010)、Okada(1995)の方法により算定)

^{* &}quot; 2010 Significant Earthquake and News Headlines Archive, Earthquake Hazards Program, USGS" (http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eqinthenews/2010/us2010tfan/)

3) 計算領域及び地形条件の設定

再現計算では、計算領域及び計算格子間隔を表-1.2及び図-1.8~図-1.10に示すとおりに設定した。 チリ沖に設定した津波波源域から日本近海までの津波の伝播は、5'格子間隔のモデルによる線形長波 方程式に基づき解析し、日本近海から検討対象域(気仙沼湾)までの津波の伝播は、1350m 格子間隔~10m 格子間隔のモデルにより非線形長波方程式に基づいて解析した。日本近海から検討対象域までの解析に 用いたモデルにおいて、ネスティングにより沖合から検討対象に向かって格子間隔を小さくしていくこ とで、沿岸部を含む日本近海全域を計算領域に含めつつ、検討対象域である気仙沼湾内を精度よく計算 できるように設定した。

計算領域	計算格子間隔	基礎方程式	基礎データ	
チリ沖~日本近海	5′	線形長波方程式	・GEBCO(全球水深データ)	
沖合(日本近海)	1350m			
Ļ	450m			
Ļ	150m	非線形長波方程式	・海底地形デジタルデータ (M7000 シリーズ)	
↓ ↓	50m			
計算対象(気仙沼湾)	1 Om			

表-1.2 計算領域と計算格子間隔



図-1.3 計算に用いた地形データと計算領域の配置(5′格子領域)



図-1.4 計算に用いた地形データと計算領域の配置(1350m 格子領域~150m 格子領域)







図-1.6 計算に用いた地形データと計算領域の配置(50m 格子領域~10m 格子領域)

4) 計算時間及び計算時間間隔の設定

a)計算時間

チリ地震(2010)の発生時刻は2月27日6時34分(UTC)であり、日本沿岸域におけるチリ地震津波(2010) の第一波到達時刻は2月28日5時頃で、地震発生から22~23時間後であった。また、日本沿岸域にお いてチリ地震津波(2010)による水位擾乱が卓越していたのは、第一波到達時から12時間程度であった。 上記を踏まえ、計算時間は<u>36時間(≒23+12時間)</u>で設定した。

b)計算時間間隔

計算時間間隔は、以下の考え方に基づいて、領域毎に表-1.3に示すとおりに設定した。

- ・計算時間間隔は、計算が安定となる条件(C.F.L.条件)を満足するように設定した。
- ・C.F.L. 条件を満足していても発散が生じる場合には、計算の安定性を考慮し水位の擾乱等が発生しな いように計算時間間隔を十分小さく設定した。

C.F.L. 条件

$$\Delta t \leq \frac{\Delta x}{\sqrt{2gh_{max}}}$$

ここに、 Δt は計算時間間隔、 Δx は計算格子間隔、hmaxは最大水深、gは重力加速度である。
(出典:津波浸水想定の手引き v2.00、P.38)

計算領域	計算格子 間隔	計算時間 間隔	C.F.L. 条件による判定
波源域	5′ (約 9000m)	2.0秒	$\Delta x / \Delta t \sqrt{2gh_{\text{max}}} = 9300 / 2.0 \times \sqrt{2 \times 9.8 \times 10600} = 10.2 > 1.0 \Rightarrow 0 \text{K}$
↓ ↓	1350m	0.9秒	$\Delta x / \Delta t \sqrt{2gh_{\text{max}}} = 1350 / 0.9 \times \sqrt{2 \times 9.8 \times 9500} = 3.5 > 1.0 \Rightarrow \text{OK}$
Ļ	450m	0.9秒	$\Delta x / \Delta t \sqrt{2gh_{\text{max}}} = 450 / 0.9 \times \sqrt{2 \times 9.8 \times 2600} = 2.2 > 1.0 \Rightarrow 0 \text{K}$
Ļ	150m	0.3秒	$\Delta x / \Delta t \sqrt{2gh_{\text{max}}} = 150 / 0.3 \times \sqrt{2 \times 9.8 \times 440} = 5.4 > 1.0 \Rightarrow \text{OK}$
↓ J	50m	0.1秒	$\Delta x / \Delta t \sqrt{2gh_{\text{max}}} = 50 / 0.1 \times \sqrt{2 \times 9.8 \times 150} = 9.2 > 1.0 \Rightarrow \text{OK}$
✓ 計算対象	1 Om	0.1秒	$\Delta x / \Delta t \sqrt{2gh_{\text{max}}} = 10/0.1 \times \sqrt{2 \times 9.8 \times 125} = 2.0 > 1.0 \Rightarrow \text{OK}$

表-1.3 計算時間間隔の設定

5) 構造物条件

本業務では、10m 格子領域内に位置する漁港・港湾・海岸施設のうち、10m 格子モデルで表現できない 線的構造物を、構造物データとして設定した。構造物データの配置及び高さの分布は、図-1.11 に示す とおりである。



図-1.7 構造物データ設定図

6) 津波漂流物解析条件の設定

現地踏査結果や航空写真等に基づき、本解析の解析対象である養殖筏の寸法及び漂流開始・停止条件 を表-1.4のとおりに設定した。対象漂流物の分布及び概観を、図-1.12に示す。

項目		設定値	設定の考え方と参考資料	
	縦幅	9. Om	宮城県漁業協同組合HP*を参考に設定	
筏	横幅	5.4m	宮城県漁業協同組合HP*を参考に設定	
形	木材直径	0. 2m	林野庁HP**を参考に設定	
状	木材間隔(縦方向)	8本	宮城県漁業協同組合HP*を参考に設定	
	木材間隔(横方向)	10 本	宮城県漁業協同組合HP*を参考に設定	
筏	木材密度(スギを想定)	400kg/m^3	スギの代表的な密度を設定	
里量	筏総重量	6300kg	$400 \times (9.0 \times 8+5.4 \times 10) \times 0.2^{2} \pi = 6300$	
漂流開始条件		1m/s 以上	藤間ら(2010)***を参考に設定	

表-1.4 漂流物諸元

^{* 「}みやぎの海のさかな図鑑 カキ養殖」、宮城県漁業協同組合 HP(http://www.jf-miyagi.com/omotenashi/html/zukan12b.html)

^{**} 東日本大震災被害沿岸部(岩手県陸前高田市・宮城県石巻市)へのカキ養殖筏用丸太の供給と養殖漁業の復興支援について、林野庁HP (www.rinya.maff.go.jp/tohoku/sidou/pdf/24k32.pdf)

^{***}藤間ら(2010): 2010 年チリ津波による養殖施設の被害調査、地域安全学会便概集、No. 26、2010.06



図-1.8 津波漂流シミュレーションの解析対象とした養殖筏の配置範囲

(2) 再現性の評価と適用性の確認

1) 津波伝播遡上解析結果の再現性検証

東北大学津波痕跡データベースに登録されている、気仙沼湾内におけるチリ地震津波(2010)の津波痕跡高(信頼度Aの痕跡のみ)と、当該地点(図-1.14参照)における計算津波高の比較を表-1.5及び図-1.13に示す。ここで上記の計算結果は、津波痕跡高と計算津波高の関係性が下記の相田(1977)の指標を満足するように、断層すべり量に定数(=1.57)を乗じた場合のものであり、このとき計算結果に基づくK値及び κ 値が下記の式 1.4を満足していることから(K値:1.00、 κ 値:1.44)、上記の定数が妥当であると判断する。



^{**}津波浸水想定の設定の手引き Ver.2.00、平成24年10月、国土交通省

番号 (i)	痕跡高(Ri)	計算高(Hi)	痕跡 頢则	信頼度	痕跡詳細	Ki=Ri/Hi	log(Ki)	log(Ki)^2
1	0.56	0.41	浸水高	Α	気仙沼湾魚市場裏の浸水先端	1.37	0.31	0.10
2	0.64	1.14	浸水高	A	鶴ヶ浦防潮堤のゲートの壁道路の遡上先端	0.56	-0.58	0.33
3	0.72	1.10	浸水高	Α	気仙沼湾エースポート裏の浸水先端	0.65	-0.42	0.18
4	0.74	1.43	浸水高	Α	杉ノ下漁港浸水した道路	0.52	-0.66	0.43
5	0.88	1.00	浸水高	Α	松岩漁港片浜マリーナわきの浸水先端	0.88	-0.13	0.02
6	0.88	0.89	浸水高	Α	波路上漁港	0.99	-0.01	0.00
7	0.89	1.28	浸水高	Α	長磯浜漁港岸壁の付近の痕跡	0.70	-0.36	0.13
8	0.89	0.83	浸水高	Α	大川河道内の浸水先端	1.07	0.07	0.00
9	0.89	0.60	浸水高	Α	大川曙橋上流の石渡商店内の堤防にある排水	1.48	0.39	0.16
10	0.91	1.14	浸水高	Α	鶴ヶ浦防潮堤のゲートの壁	0.80	-0.23	0.05
11	0.92	1.10	浸水高	Α	気仙沼湾エースポート裏の浸水先端	0.84	-0.18	0.03
12	0.98	0.87	浸水高	Α	湾奥部 防潮堤前花壇下	1.13	0.12	0.01
13	1.01	1.00	浸水高	Α	蜂ヶ先作業場の壁	1.01	0.01	0.00
14	1.05	1.15	浸水高	Α	エースポートエースポート前面岸壁	0.91	-0.09	0.01
15	1.21	1.15	浸水高	Α	気仙沼湾佐繁魚問屋	1.05	0.05	0.00
16	1.24	1.15	浸水高	Α	気仙沼湾エースポート前	1.08	0.08	0.01
17	1.30	1.03	浸水高	A	小々汐船揚場の遡上先端	1.26	0.23	0.05
18	1.39	0.89	浸水高	Α	気仙沼湾奥部鹿折川河口付近の防潮堤前	1.56	0.45	0.20
19	2.19	0.87	浸水高	Α	湾奥部防潮扉下	2.52	0.92	0.85

|--|



図-1.9 チリ地震津波(2010)による津波痕跡高と計算津波高さの比較

20

4-6-b167



図-1.10 チリ地震津波(2010)による気仙沼湾内の津波痕跡高分布(出典:東北大学津波痕跡データベース)

2) 津波伝播遡上解析結果

津波伝播遡上解析結果として、最高水位分布及び最大流速分布図を、図-1.15~図-1.16に示す。

- ・気仙沼湾の湾口から湾奥に向かうに従い、最高水位が大きくなっている様子が分かる。湾奥における せり上がりの影響によるものと考える。(図-1.15参照)
- ・気仙沼湾の狭窄部における流速の発達を確認した。水域によっては、流速は 2.0m/s 以上までに達して おり、水域が特に大きくなった箇所(図-1.16参照)は養殖筏の被災範囲と概ね一致していた。



図-1.11 最高水位分布(チリ地震津波(2010))



図-1.12 最大流速分布(チリ地震津波(2010))

3) 津波漂流物解析結果

津波漂流物解析結果として、被災した漂流物の分布を図-1.17 に示し、後藤モデル及び鴫原モデルの 場合の代表的な漂流物の軌跡を図-1.18、図-1.19 に示す。

いずれの解析モデルにおいても、解析結果における漂流物の被災状況は、気仙沼漁港港奥部を除いて、 実際の被災状況をよく再現していたと考える。気仙沼漁港の養殖筏の被災状況の不整合については、当 該水域が静穏であるためにアンカー重量が他水域よりも小さかったこと等が原因として想定される。



図-1.13 被災漂流物の分布の比較



図-1.14 後藤モデルの場合の代表漂流物の軌跡



図-1.15 鴫原モデルの場合の代表漂流物の軌跡

参考資料-2

モデル地区における検討

(田老漁港)

1. 計算モデルの構築

1.1. 津波解析条件の設定

(1) 解析条件の概要

本業務で使用した津波伝播解析モデルの計算手法・計算条件の概要を表-1.1に示す。また、計算条件 の各項目の詳細は、次頁以降に示すとおりである。

			再現計算		
	基礎方程式		非線形長波方程式		
			時間差分:Leap-Flog 差分法		
	主公注		空間差分:スタッガード格子による差分		
	左方法		移流項:一次風上差分		
₩			摩擦項:陰的差分		
訂		沖側	無反射・透過境界		
チチ	倍臾	陸側	遡上境界(全格子領域について遡上境界を設定)		
- 注	经供	越流	本間の越流公式(1940)		
14		失端冬姓	岩崎・真野(1979)の方法		
			最小水深:0.01m		
	領城按編	客性	地形の接続:柴木(2004)の方法を採用。		
	<u>限</u> 以按视末件		水位・流量の接続:柴木(2004)の方法を採用。		
	その他の設定		コリオリカ等は考慮しない		
	油 酒冬州	_	昭和三陸地震(発生頻度の高い津波)		
	<i>波</i> 源余件		断層パラメータ:相田 (1977)のモデル		
	潮位条件		潮位(T. P. +0. 80m、危険側の潮位として朔望平均満潮位を設定)		
	計算領域		東北地方〜北海道を含む日本沿岸全域		
	計算格子間隔		1350m-450m-150m-50m-10m		
	計算時間		3 時間		
計	計算時間間隔		1350m~5m : 0.1sec		
算			GEBCO(全球水深データ)		
条	地形久州	_	海底地形デジタルデータ(M7000 シリーズ)(日本水路協会)		
件	地形未行	-	田老漁港計画平面図		
			数値標高モデル(5m 格子)(国土地理院)		
	粗度条件		小谷ら(1998)*の指標に基づき、土地利用状況に応じて設定。		
	構造物	データ化対象	海岸堤防、河川堤防、漁港・港湾施設		
	条件	破堤条件	なし		
	河川の水位条件		河川流は考慮しない (漂流物に作用する漂流力の評価には影響しないと判断した)		

表-1.1 津波伝播解析モデル 計算条件概要(モデル計算)

^{**} 小谷美佐・今村文彦・首藤伸夫:GIS を利用した津波遡上計算と被害推定法,海岸工学論文集,第45巻,pp.356-360,1998.

(2) 波源モデルの設定

検討対象波源は、検討対象である田老漁港の設計津波(発生頻度の高い津波)である、昭和三陸地震津 波とした。初期水位分布は、当該地震の断層パラメータから、0kada(1995)の方法により設定した。断層 パラメータを表-1.2に示し、初期水位分布図を図-1.1に示す。

緯度	経度	深さ	走向	傾斜角	すべり角	断層長	断層幅	すべり量
(°)	(°)	(km)	(°)	([°])	(°)	(km)	(km)	(m)
40. 16	144. 50	1.0	180. 0°	45. 0°	270°	185. 0	50. 0	6.6

表-1.2 断層パラメータ(昭和三陸沖地震津波、相田(1977))





(3) 計算領域及び地形条件の設定

本計算に用いた計算領域及び計算格子間隔は、表-1.3及び図-1.2~図-1.4に示すとおりである。 波源域から検討対象周辺までの津波の伝播は、1350m 格子間隔~5m 格子間隔のモデルにより非線形長 波方程式に基づいて解析した。日本近海から検討対象域までの解析に用いたモデルについては、ネステ ィングにより沖合から検討対象に向かって格子間隔を小さくしていくことで、波源域を計算領域に含め つつ、検討対象域である田老漁港周辺を精度よく計算できるように設定した。

計算領域	計算格子間隔	基礎方程式	基礎データ		
	1350m	線形長波方程式			
波源域	450m		 ・GEBC0(全球水深データ) ・海底地形デジタルデータ (M7000 シリーズ) ・田老漁港計画平面図 ・数値標高モデル 		
↓ 	150m				
↓	50m	非線形長波方程式			
1	25m				
田老漁港	5m		(5m 格子、国土地理院)		

表-1.3 計算領域と計算格子間隔



図-1.2 計算に用いた地形データと計算領域の配置(1350m 格子領域~25m 格子領域)





図-1.3 計算に用いた地形データと計算領域の配置(25m 格子領域~5m 格子領域)

図-1.4 計算に用いた地形データと計算領域の配置(5m 格子領域)

(4) 計算時間及び計算時間間隔の設定

当該波源により発生した津波に伴う漁港周辺海域の水位擾乱が、最大波と比較して十分に小さくなる までの時間として、<u>3時間</u>で設定した。

a)計算時間間隔

計算時間間隔は、表-1.4に示すとおり、領域毎に設定した。また、設定の考え方は以下のとおりである。

- ・計算時間間隔は、計算が安定となる条件(C.F.L.条件)を満足するように設定した。
- ・C.F.L. 条件を満足していても発散が生じる場合には、計算の安定性を考慮し水位の擾乱等が発生しないように計算時間間隔を十分小さく設定した。

C. F. L. 条件 $\Delta t \leq \frac{\Delta x}{\sqrt{2gh_{\max}}}$	
ここに、Δtは計算時間間隔、Δxは計算格子間隔、hmaxは最大水深、gは重力加速度である。 (出典:津波浸水想定の手引き v2.00、P.38)

計算領域	計算格子 間隔	計算時間 間隔	C.F.L. 条件による判定
波源域	1350m	0.1秒	$\Delta x / \Delta t \sqrt{2gh_{\text{max}}} = 1350 / 0.1 \times \sqrt{2 \times 9.8 \times 9500} = 31.2 > 1.0 \Rightarrow 0 \text{K}$
l ↓	450m	0.1秒	$\Delta x / \Delta t \sqrt{2gh_{\text{max}}} = 450 / 0.1 \times \sqrt{2 \times 9.8 \times 2600} = 19.8 > 1.0 \Rightarrow 0 \text{K}$
Ļ	150m	0.1秒	$\Delta x / \Delta t \sqrt{2gh_{\text{max}}} = 150 / 0.1 \times \sqrt{2 \times 9.8 \times 930} = 11.1 > 1.0 \Rightarrow \text{OK}$
Ļ	50m	0.1秒	$\Delta x / \Delta t \sqrt{2gh_{\text{max}}} = 50 / 0.1 \times \sqrt{2 \times 9.8 \times 150} = 9.3 > 1.0 \Rightarrow \text{OK}$
↓ ↓	25m	0.1秒	$\Delta x / \Delta t \sqrt{2gh_{\text{max}}} = 10 / 0.1 \times \sqrt{2 \times 9.8 \times 85} = 6.1 > 1.0 \Rightarrow \text{OK}$
 計算対象	5m	0.1秒	$\Delta x / \Delta t \sqrt{2gh_{\text{max}}} = 5 / 0.1 \times \sqrt{2 \times 9.8 \times 36} = 1.9 > 1.0 \Rightarrow \text{OK}$

表-1.4 計算時間間隔の設定

(5) 構造物条件

本業務では、5m 格子領域内に位置する漁港・港湾・海岸施設のうち、線的構造物を構造物データとして設定した。構造物データの配置及び高さの分布は図-1.5 に示すとおりである。

田老漁港の漁港台帳に基づき、構造物の配置・高さを2011年東北大震災前のものに設定した上で、第 一線防潮堤の天端高さを、田老漁港海岸の海岸保全施設の計画天端高である T.P.+14.7m に修正して設定 した。



図-1.5 構造物データ設定図

(6) 粗度条件

5m 格子領域におけるマニングの粗度係数分布は、2011年東北地方大震災発生前の航空写真より判読した土地利用条件に応じて設定した。本業務で設定した粗度係数分布図を図-1.6に示す。



図-1.6 田老漁港におけるマニングの粗度係数分布図

1.2. 津波漂流物解析条件の設定

津波漂流物解析の対象漂流物は船舶のみとした。またその諸元は、当該漁港の利用漁船の代表的諸元 として、10t 船のものを採用した。諸元の一覧を表-1.5 に示し、漂流物の初期配置を図-1.7 に示す。

項目	設定値		
船舶重量	10. 0t	5.0t	
船長	13. Om	11.0	
船幅	3.5m	2.8m	
喫水	2. Om	1.8m	
漂流開始条件	水深が喫水以上 (危険側を考慮して船舶係留は考慮しない)		

表-1.5 漂流物(船舶)諸元





2. 計算結果の整理

2.1. 津波伝播解析結果

津波伝播解析の結果として、最高水位分布及び最大流速分布を図-2.1及び図-2.2に示し、水位・流 速の経時変化図を図-2.3~図-2.7に示す。これらの図より、以下のことが分かる。

- ・南防波堤南側の領域(南防波堤及び導流れ堤、崖、防潮堤に囲まれた範囲)や、防潮堤の隅角部において、最高水位が大きくなっていた。上記のように、2 面或いは3 面を構造物に囲まれた範囲は水が滞留しやすい分、水位のせり上がりが顕著であったと考える。(図-2.1 参照)
- ・港内において、港口から防潮堤前面に向かって最高水位が大きくなっているのは、防潮堤におけるせり上がりの影響が、防潮堤から離れるに従って小さくなるためと考える。最高水位は、港口部ではT.P.+7.0m~8.0m程度であったのに対し、防潮堤前面ではT.P.+12.0m程度まで上昇していた。(図-2.2 参照)
- ・漁港周辺において流速の発達が顕著であったのは、南防波堤と東防波堤の開口部や、東防波堤と西防 波堤先端部の間の狭窄部であった。特に、東防波堤と西防波堤先端部(図-2.2参照)の間の狭窄部では、 最大流速が 9.0m/s 程度に達していた。
- ・昭和三陸沖地震は正断層地震であるため、これによる津波は引き波からはじまる津波であった。1 波目 引き波時には、漁港前面において T. P. -10.0m 程度まで水位が低下した。但し、沖防波堤をはじめとす る漁港外郭施設により流れの流出が妨げられていたため、港内での水位低下は T. P. -1.0m 程度であっ た。(図-2.3参照)
- ・押し波時には主に沖防波堤の南側を通って漁港前面に津波が到達し、港口前面や南防波堤前面における水位が上昇した後、港口や漁港背後の水路(河口が南防波堤の南に位置する)を通過して流れが港内 に進入した。(図-2.4~図-2.5 参照)
- ・引き波時においては、主に港口を通って港外に津波が流出していた。(図-2.7参照)



図-2.1 最高水位分布図(田老漁港、昭和三陸地震津波)



図-2.2 最大流速分布図(田老漁港、昭和三陸地震津波)



図-2.3 発震34分後の水位・流速分布(田老漁港、昭和三陸地震津波)



図-2.4 発震37分後の水位・流速分布(田老漁港、昭和三陸地震津波)



図-2.5 発震38分後の水位・流速分布(田老漁港、昭和三陸地震津波)



図-2.6 発震 39 分後の水位・流速分布(田老漁港、昭和三陸地震津波)


図-2.7 発震41分後の水位・流速分布(田老漁港、昭和三陸地震津波)

2.2. 津波漂流物解析結果

代表点における漂流物の軌跡の比較図を図-2.8~図-2.13 に示す。また、設計対象施設内における津 波漂流物の衝突エネルギーの経時変化の比較を図-2.15~図-2.16 に示す。

・設計対象施設に作用する最大衝突エネルギーは、後藤モデルの場合が12,000(kN・m)程度であり、鴫原 モデルの場合が2,000(kN・m)程度であった。これは、後藤モデルにおける漂流物衝突時の速度が津波 流速と同程度の4m/s~5m/s程度であるのに対し、鴫原モデルにおいては漂流物の速度は2m/s程度で あり、津波流速の半分以下であったことが原因である。

17



図-2.8 津波漂流物解析結果における、代表的な漂流物の軌跡1



図-2.9 津波漂流物解析結果における、代表的な漂流物の軌跡2



図-2.10 津波漂流物解析結果における、代表的な漂流物の軌跡3



図-2.11 津波漂流物解析結果における、代表的な漂流物の軌跡4



図-2.12 津波漂流物解析結果における、代表的な漂流物の軌跡 5



図-2.13 津波漂流物解析結果における、代表的な漂流物の軌跡 6



図-2.14 津波漂流物解析結果における、代表的な漂流物の軌跡 6



図-2.15 設計対象施設予定地における漂流物の流速及び衝突エネルギーの最大値の時系列(後藤モデル)



図-2.16 設計対象施設予定地における漂流物の流速及び衝突エネルギーの最大値の時系列(鴫原モデル)

22

参考資料-3

津波漂流物対策施設設計ガイドラインより抜粋

1. 参考としたガイドライン

・津波漂流物対策施設設計ガイドライン(港湾)

- ・漁港の津波避難に関するガイドライン (漁港)
- ·建築物荷重指針·同解説(2015) 建築学会

2. 津波波力の算定方法

(1)津波波力算定方法(港湾·漁港)

【水平波力(港湾)】

津波漂流物対策施設に対して、津波漂流物捕捉後に作用する津波 波力として、以下の式であらわされる抗力を示している。

$$F_D = C_D \frac{Y_w}{2g} A U^2 \qquad \qquad U: \hat{\pi} \mathbb{R}$$

【水平波力(漁港)】

津波避難施設(脚)に作用する波力は、谷本式から静水圧を差し引いた式を示している。

Pmax 1	$Z \rightarrow$	
= 2.2	1	刀 _{mux} :取入遗上水沫
pgnmax \	3nmax/	2:陸上地面を基準とした上向き正の座標

【鉛直波力(漁港)】

(2)津波波力算定方法(建築)

津波避難施設(床板)に作用する津波上揚力は、以下の橋桁近似式 を示している。

$\frac{Z}{-} = -2.18$	$(\frac{q_z}{1}) + 1.16$	<i>α_H</i> :津波浸水深
an	$(\rho g \alpha_H)$	qx:単位面積あたりの津波上揚力

【水平力】以下のいずれか 0 (1)抗力と慣性力の和の最大値(水理模型実験結果の平均) (2)Fr<1の場合に、最大浸水深に基づく式の水深係数=1.5とする (3)最大浸水深に基づく式において、Fから求めた水深係数と、最大流速時の) 水位流速の時系列あり 浸水深を用いる 水位流速 の情報 最大浸水深· 【水平力】以下のいずれか 最大流速あり (1)真大没水豆と真大流達の2単の時に係数を乗じた値 津波先端部 (2)最大点達と最大点道豊玉時の後水流から変圧分布を推定する 【松園力】「と同様 田山、津波市用田について、上記(1)の実圧を静水圧 分布に置き換えた場合の浸水溜を用い、反対面における水源を0とする。 最大浸水深 あり 建築物 操圧力・調水洗入は上記と同様。 の位置 【水平力】最大浸水深の2乗に係数を乗じた値 【鉛直力】 ①と同様。但し、津波作用面についての最大浸水深の15倍~ 津波非端部 30倍の値を用い、反対面における水深を0とする。揚圧力・海水流入は上 水位流速記と同様。 の時系列あり 水位流速 4 【水平力】浸水深と流速の2乗の積が最大となる場合の抗力 の情報 (鉛直力) ①と同様 最大浸水深· 最大流速あり 【水平力】最大浸水深と最大流速の2乗の積に係数を乗じた値 6 最大浸水深 【<u>鉛直力】</u>②と同様。但し、反対面の浸水深は作用面と等しいとする。 あし 6 【水平力】水深、波速、Fi計算した流速の2乗と浸水深との積が最大となる場合の抗力 (鉛直力)③と同様。但し、反対面の浸水深は作用面と等しいとする。

1

3. 衝突力の算定方法

(1)漂流物衝突力の算定方法(港湾)

漁港・漁場の施設の設計の手引(2003年度版)に示されている、接 岸エネルギーの計算式を応用した以下の式により、船舶の衝突エネ ルギーで評価することとしている。 また、車両、流木、コンテナについても、同様の考え方に基づいて衝 突エネルギーを算出している。

【船舶の衝突エネルギー】 $W = W_0 + W' = W_0 \star (\pi/4) D^2 L \gamma_w$ W:仮想重量(kN),W0:排水トン数(kN) $E = WV^2/(2g)$

W':付加質量(kN),D:喫水(m),L:船の長さ(m), γw:海水の単位堆積重量(kN/m³)

【車両の衝突エネルギー】

上記の式において、D=(カタログ重量/γw)÷(車両の長さ×幅)とする。また、車両が漂流す る冠水高さは、車両の喫水+車両の床下空間高さとする

【流木・コンテナの衝突エネルギー】 木材・コンテナを船舶に見立て、上記の式をそのまま適用する。

(2)漂流物衝突力の算定方法(漁港)

流木、船舶(漁船)。車両の衝突力の算定方法として、以下を示して いる。

【流木の衝突力】

松富の式を示している。 $\frac{F_m}{\gamma D^2 L} = 1.6 C_{MA} \left\{ \frac{V_{AO}}{(gD)^{0.5}} \right\} \left(\frac{\sigma_f}{\gamma L} \right)$ 【船舶の衝突力】 池野らの式を示している。 2.5 V_{H} F_H

 $= SC_{M4} \left\{ \frac{r_{H}}{(g^{0.5} D^{0.25} L^{0.25})^{-1}} \right\}$ gM

【車両の衝突力】

車両の漂流速度は、自長の20倍程度の距離 を漂流後に、流速と概ね等しくなると仮定に基づ く松富の手法(右図の読み取り)により計算する。



F_H: 漂流物の衝突力(甘), g: 重力加速度(m/s^2), M: 漂流物の質量(r)S: (系数(= 5.0), C_{MA} : 付加質量(係数, V₂):漂流物の衝突速度(m/s), D: 漂流物の代表高(m). EA: 木材の弾性係数



(3)漂流物衝突力の算定方法(建築)

流木の漂流力算定手法として、上記の松富の式、池野らの式を示す と共に、流木・コンテナの漂流力計算式として以下を示している。 【流木・コンテナの衝突エネルギー】

・水谷らの式を示している。

$$F_l = 2\rho_w \eta_w B_c V^2 + \frac{WV_x}{gd_l} \qquad \begin{array}{c} F_l : \pi \\ \rho_w : \pi \\ V_x : \Box \end{array}$$

F₁:漂流衝突力(kN),d_t:衝突時間(s),η_m:最大遡上水位(m), ρ_w:水の密度(t/m³),B_c:コンテナ幅,g:重力加速度(m/s²) V_x:コンテナの漂流速度(m/s),W:コンテナ重量(t),

・有川らの式を用いて計算をする。

$$\begin{split} F_l &= \gamma_p \left(\frac{4\sqrt{a}}{3\pi} \frac{1}{k_1 + k_2}\right)^{2/5} \left(\frac{5}{4} \, \widetilde{m}\right) V^{2/5} \\ \widetilde{m} &= \frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2}, k = \frac{1 - v^2}{\pi E} \end{split}$$

・FEMAの式を用いて計算をする。

 $F_l = C_m u_{max} \sqrt{km}$

 $F_i: 銜突力 (kN), a: 銜突面半径の半分, E: ヤング率<math>(N/m^2)$ V: 衝突速度 $(m/s), \gamma_p: 塑性によるエネルギー 減衰効果 <math>(t/m^3)$ 添字1,2は衝突体と被衝突体を示す。

F₁:衝突力(kN),*C_m*:付加質量係数(推奨値:2.0), *u_{max}*:最大流速(*m/s*),*m*:漂流物の質量(kg) k:漂流物の有効剛性

4-6-b202

平成 27 年度津波漂流物対策の技術検討調査委員会

第3回 技術検討委員会

議事次第

日 時:平成28年3月7日(月)13:30~15:30 場 所:エッサム神田ホール6階大会議室(601)

- 1. 開 会 **(**(1) 13 : 30**]** 2. 挨拶 【13:30~13:35(5分)】 3. 配付資料の確認 【13:35~13:40 (5分)】 4. 委員及び出席者の紹介 【13:40~13:45 (5分)】 5. 議 事
 - (1) 主な意見と対応 [資料-1] 【13:45~13:55(説明5分、質疑5分)】 (2) モデル地区による検討 [資料-2] 【13:55~14:35(説明20分、質疑20分)】
 - ・漂流シミュレーションの計算結果
 - ・モデル地区による試設計について
 - (3) ガイドラインについて
- 【14:35~15:15(説明20分、質疑20分)】

- (4)その他
- 6. 挨拶
- 7. 閉 会

【15:20~15:25 (5分)】

【15:15~15:20 (説明5分)】

[資料-3]

平成27年度津波漂流物対策の技術検討調査検討委員会

第3回 技術検討委員会

配布資料

<配付資料>

- ・議事次第
- 出席者名簿
- ・座席表
- 第3回技術検討委員会の論点
- ・第2回議事録

資料-1 第2回委員会の主な意見と対応

資料-2 モデル地区による検討

資料-3 ガイドラインについて

参考資料-1 モデル地区における漂流シミュレーション

参考資料-2 ガイドライン(案)

平成 27 年度津波漂流物対策の技術検討調査委員会

第3回 技術検討委員会の論点

第2回委員会の主な意見と対応

- ○意見に対する対応を論点とする。
 - ・主な意見に対する対応は適切か

モデル地区による検討

○モデル地区について論点とする。

- ・対象となる地区は田老、小浜の2地区で良いか
- ○モデル地区における検討内容を論点とする。
 - ・防護すべき施設の選定は適切か
 - ・漂流物漂流物を発生させない対策工は適切か

Oシミュレーションについて論点とする

- ・シミュレーションモデルの活用の考え方は妥当か
 既往計算結果の活用方法、計算モデルによる違い
- ・シミュレーションの検討条件は適切か

漂流物の配置などを含めた検討条件の設定方法

○試設計について

・設計計算は妥当か

ガイドラインについて

○ガイドラインについて論点とする。

- ・構成は適切か
- ・基本的な考え方、対象は適切か
- ・記載漏れなどがないか

平成 27 年度津波漂流物対策の技術検討調査検討委員会

第3回 技術検討委員会 出席者名簿

(敬称略)

区分	Ì	氏	名	所 属	職名	備考
		◎松冨	英夫	秋田大学大学院 工学資源学研究科土木環境工学専攻	教授	
		八木	宏	防衛大学校 システム工学群建設環境工学科	教授	
委員		越村	俊一	東北大学 災害科学国際研究所 災害リスク研究部門 広域被害把握研究分野	教授	欠
		阿部	幸樹	岩手県 農林水産部漁港漁村課	課長	

◎座長 (案)

区分	氏 名	所属	職名	備考
水産庁	吉塚 靖浩	水産庁 漁港漁場整備部 整備課	課長	
	内田 智	水産庁 漁港漁場整備部 整備課	課長補佐	
	朝倉 邦友	水産庁 漁港漁場整備部 整備課	漁港漁場 専門官	
	山崎将志	水産庁 漁港漁場整備部 整備課	係長	

区分	氏 名	所属	職名	備考
事務局	影山 智将	一般財団法人 漁港漁場漁村総合研究所	理事長	欠
	西﨑孝之	一般財団法人 漁港漁場漁村総合研究所 第1調査研究部	部長	
	加藤広之	一般財団法人 漁港漁場漁村技術研究所	主席主任	
		第1調査研究部	研究員	
竹原 洋一郎		一般財団法人 漁港漁場漁村技術研究所 第1調査研究部	主任研究員	欠
奥野 正洋 (株)アルファ水エコンサルタン 東京本部		(株)アルファ水工コンサルタンツ 東京本部	副本部長	
	佐藤勝弘	(株)アルファ水工コンサルタンツ 東京本部 技術部	部長	
	冨澤 伸樹	(株)アルファ水工コンサルタンツ 東京本部 企画部	本部長補佐	

資料-1

津波漂流物対策の技術検討調査委員会 第2回委員会の主な意見と対応案(1/2)

主な意見	対応
(1) 基本的な考え方について	
 ・対象範囲について(越村委員) 対象を堤外地と限定するのはどうか。 	 ・今回のガイドラインとしては、対象を狭めているが、誤解を受けないようガイドラインの書き方に留意する
 ・配置計画方法について(松富委員長) 漂流シミュレーションを実施する判断基準が必要。 	 ・モデル地区の結果を踏まえて整理する。 漂流源、重要な施設があり、津波遡上が 予測されるような漁港とする。 資料-2
 ・検証データについて(松富委員長) シミュレーション検証のための資料はあるか。 	 気仙沼におけるチリ地震津波で検証を実施している。 第2回参考資料
 ・設計外力について(松富委員長) 地震力のガイドラインでの記述は、他の津 波波力・衝突力の記述とのバランスを考え て記述すること。 	・ガイドライン記述時に、既往知見を踏ま え、留意して記述する。 資料-3
(2) モデル地区の検討について	
 ・パラメーターの設定(越村委員,松富委員長) 設定条件によって計算結果が変わる。 少し漂流物の形状パラメーターを少し変え 計算をやった方が良い。 	・モデル地区の結果を踏まえて検討した。 拡散係数、配置方法などを変えて計算を 実施した。 資料—2
 ・対策工について(阿部委員) 管理者の立場から言うと、部分的な柵だけ では合意が得られないので全周に配置する ことになる。 	・全周に配置して再計算する。 対策工法の配置の際の記述に留意する。 資料—2
 ・漂流物の速度について(越村委員) 点で考えずエリアで見てどのくらいの漂流 物が来るかのレンジを確率論的に検討する こと。 	・エリアでレンジを計算結果を整理した。 資料—2
・船舶ついて(松富委員長) より当たりやすい条件を検討条件とした方 が良い。船舶は満載でなく空の条件とした 方がよい。	・配置などの検討条件および船舶は空の状 態として再計算した。 資料—2

津波漂流物対策の技術検討調査委員会

第2回委員会の主な意見と対応案(2/2)

主な意見	対応
(3) ガイドライン骨子について	
 ・モデル地区数について(阿部委員,松富委員長) 1地区では少ないのではないか。田老は、 津波の条件が、厳しい所であり、少し、小さいところも必要ではないか。 	 ・モデル地区として小浜漁港(福井県)と 田老漁港の津波水位を調整したケースを 追加して検討した。 資料-2
 ・期間について(越村委員,松富委員長) 施設設計では、作用する外力とその性質, 要求性能、性能規定が一番重要である。 3月までにいけるか心配である。 	 ・第3回委員会で案を示し、議論して頂い き、3月までには修正したい。 資料-3

資料-2

平成27年度

津波漂流物対策の技術検討調査 第2回技術検討委員会

~モデル地区についての検討結果~

2016年3月7日

4-6-b209



2.1 モデル地区の選定

【モデル地区の選定】

モデル地区は、<u>比較的設計津波が低く日本海側に位置する小浜漁港</u>(福井県)と、<u>設計津波</u> が大きく太平洋側に位置する田老漁港(岩手県)を選定した。

検討ケースとしては、上記2漁港にそれぞれの設計津波を作用させた2ケース(田老漁港:浸水深8.0m程度、小浜漁港:浸水深1.0m程度)に加えて、浸水深が上記2ケースの中間程度となるように、田老漁港(岩手県)にモデル地震津波(津波規模L1以下、浸水深4.0m程度)を作用させたケースの、計3ケースを設定した。

ケース	漁港名	対象波源	津波の 規模
1	田老漁港	昭和三陸地震津波	浸水深
	(岩手県)	(発生頻度の高い津波)	8.0m程度
2	田老漁港 (岩手県)	モデル地震津波	浸水深 4.0m程度
3	小浜漁港	庄内沖地震津波	浸水深
	(福井県)	(発生頻度の高い津波)	1.0m程度



2.1 モデル地区の選定

【モデル地区の概観】



2.1 津波伝播遡上解析結果(田老漁港、昭和三陸地震)

【田老漁港(岩手県)】



2.1 津波伝播遡上解析結果(田老漁港、モデル地震)

【田老漁港(岩手県)】





2.1 津波伝播遡上解析結果(小浜漁港、庄内沖地震)

【小浜漁港(福井県)】

800

○津波伝播遡上解析条件
 ・基礎式:非線形長波方程式 ・対象津波:庄内沖地震津波(相田(1987)モデル)・潮位:H.W.L.=T.P.+0.50m
 ・対象地形:国土地理院数値標高モデル(5mメッシュ) ・堤防高:漁港施設・海岸施設の現況天端高



1100

検討条件の設定とシミュレーション結果

2.2 検討の流れ



2.2 計算手法の設定(基礎式)

【計算手法の概要】

・津波漂流物解析手法である後藤(1983)の方法及び鴫原ら(2013)の方法を示す。 <u>後藤のモデル</u>

【概要】

後藤(1983)により提案された、個々の漂流物を質点とみなした場合の運動方程式と、漂流物の拡散を 考慮した漂流物の移動経路の算定式を用いる方法である。漂流物の移動・停止条件は、浸水深または 掃流力の敷居値を漂流物毎に与えることで設定する。

【特徴と適用】

回転運動等の剛体運動や衝突運動を考慮していない分、個別の漂流物についての解析精度は低いが、計算負荷が他のモデルと比較して小さく、多数の漂流物群の解析に適している。

<u>鴫原のモデル</u>

【概要】

本多ら(2009)により提案された、モリソン式を拡張した池谷ら(2005)の評価式により漂流物へ作用す る流体力を評価し、漂流物の並進運動及び回頭運動についての運動方程式を期組織としており、漂流 物の乗り上げ(座礁)、漂流物の相互衝突、漂流物と建物側面との衝突を考慮できるモデルである。こ のモデルは、加藤・鴫原ら(2013)により、実験結果を良好に再現できることが確認されている。 【特徴と適用】

回転運動等の剛体運動や衝突運動を、個々の漂流物について直接計算するため、より高精度な計算が可能であるが、後藤の方法と比較して計算負荷が大きい

・後藤智明(1983):津波による木材の流出に関する計算,土木学会論文集B2(海岸工学), Vol.30, pp.594-597.

・池谷毅・朝倉良介・藤井直樹・大森政則・武田智吉・柳沢賢(2005):浮体に作用する津波波力の実験と評価方法の提案, 土木学会論文集B2(海岸工 学), 第52巻, pp.761-765.

・本多和彦・富田孝史・西村大司・坂口章(2009):多数の津波漂流物を解析市る数値モデルの開発,海洋開発論文集,第25巻,pp.39-44,2009. ・加藤広之・鴫原良典・丹治雄一(2013):津波による船舶等の漂流に関する調査研究,(一財)漁港漁場漁村研究所,調査研究論文集No.24,2013.

9

2.2 計算手法の設定(確率的評価手法)

【外力の確率的評価の考え方】

菅・越村・小林(2012)は、現時点では船舶の漂流運動を規定する要素に不確実性が多いため、異なる初期条件について試行計算を実施した上で、確率的に外力を評価する手法を推奨している。

本検討では上記の考え方を踏まえて、後藤のモデル、鴫原のモデルのそれぞれに おいて初期配置、初期パラメータを少しずつ変更しながら設定し、その計算結果を集 計することで、外力を確率的に評価する(確率分布として評価する)こととした。

初期条件を一意に決める場合(イメージ) 確率的に評価する場合(イメージ)

漂流物	初期 配置	拡散 係数	… (その他)	衝突力 (kN)
船舶A	配置1	1.0		100.0

計算結果を設計

外力として採用

・菅裕介・越村俊一・小林英一(2012):2011年東北地方太
 平洋沖地震津波による気仙沼湾における大型船舶の漂流・
 座礁の解析, 土木学会論文集B2(海岸工学), Vol. 68, pp. 251-255.



2.2 計算手法の設定(確率的評価手法)

【初期配置設定の考え方】

各種津波漂流物について、初期配置エリアを設定し、津波漂流物の初期配置を各 エリア内で少しずつ変えながら、試行計算を実施する。



【初期パラメータ設定の考え方】 後藤のモデル:一様乱数の発生方法 鴫原のモデル:漂流物の方位(±15°⁴の範囲内で変更)

2.3 計算条件の設定(検討ケース)

【検討ケース】

本検討では、検討ケースを以下のとおりに設定した。

番 号	対象 漁港	対象波源	津波漂流物対策の 有無	漂流物 配置数	計算手法等
1	田老漁港 (岩手県)	昭和三陸地震津波 (発生頻度の高い津波)	対策なし(現況)	係留船(10t):245隻 上架船(5t):62隻 車両:160台	【計算手法】 ・後藤のモデル ・鴫原のモデル
2		最大浸水深:8.0m程度	 ・津波漂流物衝突防止柵 ・津波漂流物流出防止柵 		の2通り 【パラメータ設定】
3	田老漁港 (岩手県)	モデル地震津波	対策なし(現況)	係留船(10t):245隻 上架船(5t):62隻	・後藤のモテル: 9パターン ・鴫原のモデル:
4		最大浸水深:4.0m程度	 ・津波漂流物衝突防止柵 ・津波漂流物流出防止柵 	1 単	7パターン
5	小浜漁港 (福井県)	庄内沖地震津波 (発生頻度の高い津波)	対策なし(現況)	係留船(20t):35隻 係留船(10t):293隻 車両:216台	
6		最大浸水深:1.0m程度	▪ 津波漂流物流出防止柵	- - . ∠ ∪ □	
			4-6-b221		4.0

2.3 計算条件の設定(防護対象と対策方針)

【防護対象施設と対策工(田老漁港)】

田老漁港のケースにおける防護対象施設と対策工を、下図のとおりに設定した。



2.3 計算条件の設定(漂流物の諸元)

【漂流物の諸元 (田老漁港)】

田老漁港のケースについては、津波漂流物の諸元と初期配置を以下の通りに設定 した。

〇漂流物の諸元 (田老漁港)

〇漂流物の配置 (田老漁港)



「自動車ガイドブック、(社)日本自動車工業会」を参考に設定した。 X2 ※3「漁港·漁場の施設の設計の手引き、2015年度版、的^{約1993}」を参考に、漁船の重量は総トン数の3倍で設定した。14

…車両(普通乗用車)

2.3 計算条件の設定(防護対象と対策方針)

【防護対象施設と対策工(小浜漁港)】 小浜漁港のケースにおける防護対象施設と対策工を、下図のとおりに設定した。



O防護対象施設 ▪水域施設(泊地)

○津波漂流物対策工
 漂流物流出防止柵
 ⇒駐車車両の水域施設
 への流出を防止するための柵

2.3 計算条件(漂流物の諸元)

【漂流物の諸元 (小浜漁港)】

小浜漁港のケースについては、津波漂流物の諸元を以下の通りに設定した。 〇漂流物の諸元 (小浜漁港)

設定値 項目 係留船① 係留船2 車両 20t 船 漂流物 10t 船 車 両 船長 13.0m ^{×1} 17.0m^{×1} 5.0m^{×2} (m) 船幅 3.5m^{×1} 4.3m^{×1} 2.0m^{×2} (m) 喫水 1.9m(空載時)^{※1} 2.1m(空載時)※1 0.5m^{×2} (m) 重量 30.000kg ^{%3} 60.000kg^{×3} 2.500kg^{×2} (kg) 方位 係留・駐車実態に基づく方位±15°(鴫原のモデル) 乱数の発生(後藤のモデルのみ): その他 乱数の発生方法を少しずつ変えながら試計算を実施 漂流 水深が喫水以上(危険側を考慮して係留は考慮しない) 条件



「漁港・漁場の施設の設計の手引き、2015年度版、pp.194」に記載される値を準用した。 X1

 $\times 2$ 「自動車ガイドブック、(社)日本自動車工業会」を参考に設定した。

※3「漁港·漁場の施設の設計の手引き、2015年度版、前2195」より、漁船の重量は総トン数の3倍で設定した。

16

·船舶位置(10t船)

·**船舶位置**(5t**船**)

…車両(普通乗用車)

2.4 津波漂流物解析結果(田老漁港、昭和三陸地震)

【衝突回数(石油タンク)の集計】





【衝突漂流物の代表的な軌跡*】

*漂流物種別の上位3位までの衝突流速を生じた漂流物の軌跡を抽出
2.4 津波漂流物解析結果(田老漁港、昭和三陸地震)

【衝突回数(流出防止柵)の集計】







*漂流物種別の上位3位までの衝突流速を生じた漂流物の軌跡を推出

2.4 津波漂流物解析結果(田老漁港、昭和三陸地震)

【対策施設に作用する外力】

- ・最大津波流速が漂流物の最大衝突速度を上回っていた。最大流速の発生と漂流物の衝突のタイミング は必ずしも一致しないことに起因すると考える。
- ・石油タンクの場合、最大浸水深及び最大流速に基づく津波波力+衝突力(1387.0kN)が、津波漂流物解析に基づく津波波力+衝突力(75.3kN)と比較して著しく大きくなった。
- ・車両流出防止柵の場合、最大浸水深及び最大流速に基づく津波波力+衝突力(759.1kN)が、津波漂流物解析に基づく津波波力+衝突力(411.0kN)と比較して大きくなった。



2.4 津波漂流物解析結果(田老漁港、昭和三陸地震)

【車両流出防止柵の対策効果】



2.5 津波漂流物解析結果(田老漁港、モデル地震)

【衝突回数の集計】



【衝突漂流物の代表的な軌跡】



2.5 津波漂流物解析結果(田老漁港、モデル地震)

【衝突回数の集計】



【衝突漂流物の代表的な軌跡】



2.5 津波漂流物解析結果(田老漁港、モデル地震)

【対策施設に作用する外力】

- ・最大津波流速が漂流物の最大衝突速度を上回っていた。最大流速の発生と漂流物の衝突のタイミング は必ずしも一致しないことに起因すると考える。
- ・石油タンクの場合、最大浸水深及び最大流速に基づく津波波力+衝突力(957.7kN)は、津波漂流物解析 に基づく津波波力+衝突力(585.8kN)よりも大きいものの、概ね同程度であった。
- ・車両流出防止柵の場合、最大浸水深及び最大流速に基づく津波波力+衝突力(173.3kN)が、津波漂流物解析に基づく津波波力+衝突力(108.3kN)よりも大きいものの、概ね同程度であった



2.5 津波漂流物解析結果(田老漁港、モデル地震津波)

【車両流出防止柵の対策効果】



2.6 津波漂流物解析結果(小浜漁港、庄内沖地震津波)

・後藤のモデルにおいては、岸壁上の車両が押し波によって浮き上がった車両が引き波時に岸壁に流 出する結果を得た。一方鴫原モデルの場合は、津波の来襲に伴って車両が陸域を僅かに滑動するのみ であった。

【衝突漂流物の代表的な軌跡】

【衝突回数の集計】



2.6 津波漂流物解析結果(小浜漁港、庄内沖地震津波)

【対策施設に作用する外力】

・車両流出防止柵の場合、最大浸水深及び 最大流速に基づく津波波力+衝突力 (1.61kN)が、津波漂流物解析に基づく津波 波力+衝突力(0.87kN)と比較して大きいも のの、概ね同程度であった。

【津波諸元·漂流物衝突諸元】

	最大衝突速度					
	後藤モデル		鴫原モデル		早十进进	旦十
対象漂流物	最大 衝突速度 _(m/s)	衝突時 浸水深 (m)	最大 衝突速度 _(m/s)	衝突時 浸水深 (m)	版八年版 流速 (m/s)	最大 浸水深 (m)
車両	0.56	0.51	0.16	0.51	0.72	0.53



【車両流出防止柵の対策効果】



3 漂流物シミュレーションの実施の判断

モデル地区での検討結果より、今回の検討範囲では浸水深さが中程度であれば、既往津 波計算結果を用いて検討してよく、浸水深が大きい場合は漂流物シミュレーションが望ましい 結果となった。

漂流シミュレーションが必要な場合は、後藤モデルを用い、特に重要な施設で、詳細な検討が必要な場合は鴫原モデルを用いても良いと判断される。

ケー	浸水深が大きい	浸水深が中程度の	浸水深が小さい
	(8.0m程度)場合	(4.0m程度)場合	(1.0m程度)場合
ス	田老漁港·昭和三陸地震津波	田老漁港・モデル地震津波	小浜漁港・庄内沖地震津波
評価	漂流物シミュレーションを	既往の検討結果を	既往の検討結果を
	実施することが望ましい	用いても良い	用いても良い
計算結果の傾向	衝突時流速が最大津波流速と 比較して著しく小さくなっていた。 ⇒衝突時流速=最大流速とする と、過大評価となる可能性があ る。	 ・後藤モデルの場合は、衝突 時流速が最大津波流速と比較してやや小さい程度であった。 ・鴫原モデルの場合は衝突時流速が最大津波流速と比較して小さかった。 ⇒衝突時流速=最大流速とおくと、やや過大となる可能性があるものの、一定以上の妥当性を得られる4-6-b236 	 ・後藤モデルの場合は、衝突時 流速が最大津波流速と比較し てやや小さい程度であった。 ・鴫原モデルの場合は衝突時 流速が最大津波流速と比較し て小さくなっていた。 ⇒衝突時流速=最大流速とおく と、やや過大となる可能性があ るものの、一定以上の妥当性 を得られる。

4 設計例(田老漁港・石油タンク防護施設の例)

【対象施設】

・田老漁港・石油タンク防護施設

【設計条件(モデル地震津波)】

	項目值				
津波諸元	最大浸水深(津波)	3.92m			
	質量(漂流物)	15t			
海运物	付加質量係数(漂流物)	2.0			
凉 川 彻 封元	代表高さ(漂流物)	2.8m			
記し	代表長さ(漂流物)	11.0m			
	喫水(漂流物)	1.8m			
畄圦昋	最大衝突速度(漂流物)	5.0m/s			
凉儿彻	衝突時水深(漂流物)	2.3m			
胜彻祏朱	最大衝突力(漂流物)	556.4kN			

【漂流物衝突位置】

施設にとっての危険側を想定し、杭の上端部に対して水平に衝突するものとした。



【支柱高さの設定】

当該施設の最大浸水深が3.92mであり、この高さの 漂流物を防護できる高さとして、G.L.+4.0mで設定。

【構造形式】 支柱タイプを想定した。



4設計例(田老漁港・石油タンク防護施設の例)

以下の2通りの方法により、構造諸元を検討した。

①「池野らの式」により衝突力を算出し、杭を片持ち梁と見立てて、許容応力度法により計算する方法。 ②「津波漂流物対策施設設計ガイドライン」に示されている、対策施設の変形による、吸収エネルギーが、 衝突エネルギー以上となるように設計する方法。

		 ①の手法 	②の手法
計算条件	外力	556.4kN(衝突荷重)	548.1kN・m(衝突エネルギー)
	材料	 ・管形:1,200mm(最小の規格として設定) ・肉厚:19mm(最小の規格として設定) ・腐食量:6.0mm(0.2mm×30年) ・断面2次モーメント:8.28×10⁻³(m⁴) ・断面係数:1.39×10⁻²(m³) 	 ・管形:1,300mm(最小の規格として設定) ・肉厚:14mm(最小の規格として設定) ・腐食量:6.0mm(0.2mm×30年) ・断面2次モーメント:6.59×10⁻³(m⁴) ・断面係数:1.02×10⁻²(m³) ・塑性断面係数:1.31×10⁻²(m³)
 計算 果		 ■杭固定端に発生する曲げモーメント M=556.4×4.0=2225.6 kN・m ■発生応力 σ=225.6 / (1.39×10⁻²) = 160115 kN/m² = 160.1 N/mm²>185 N/mm²(許容応力度) ⇒OK 	 ■杭に生じる反力 衝突荷重:1,105.2kN 発生応力:4,951.0kN/m 設計降伏応力:5,390.0kN/m ■吸収エネルギー 杭・地盤系:34.3kN・m 局部変形:514.3kN・m 514.3+34.3=548.6>548.1kN/m⇒OK

29

4基本設計(田老漁港・石油タンク防護施設の例)

衝突力の算定を2通りの方法により行い、構造諸元を比較

①津波計算の最大流速より算定

②漂流シミュレーション(後藤モデル)の衝突速度より算定

「池野らの式」により衝突力を算出し、杭を片持ち梁と見立てて、許容応力度法により計算する方法で比較。

		津波計算の最大流速より算定	漂流シミュレーション(後藤モデル) の衝突速度より算定	
₽	外力	885.0kN(衝突荷重) (衝突速度=6.02m/s)	556.4kN(衝突荷重) (衝突速度=5.0m/s)	
异 条 件	材料	 ・管形:1,300mm(最小の規格として設定) ・肉厚:22mm(最小の規格として設定) ・腐食量:6.0mm(0.2mm×30年) ・断面2次モーメント:1.29×10⁻²(m⁴) ・断面係数:2.01×10⁻²(m³) 	 ・管形:1,200mm(最小の規格として設定) ・肉厚:19mm(最小の規格として設定) ・腐食量:6.0mm(0.2mm×30年) ・断面2次モーメント:8.28×10⁻³(m⁴) ・断面係数:1.39×10⁻²(m³) 	
計 算 結 果		 ■杭固定端に発生する曲げモーメント M=885.0×4.0=3540.0 kN・m ■発生応力 σ=3540.0 / (2.01×10⁻²) =176119 kN/m² =176.1 N/mm²>185 N/mm²(許容応力度)⇒OK 	 ■杭固定端に発生する曲げモーメント M=556.4×4.0=2225.6 kN・m ■発生応力 σ=225.6 / (1.39×10⁻²) =160115 kN/m² =160.1 N/mm²>185 N/mm²(許容応力度)⇒OK 	

4-6-b240

資料-3

平成27年度 津波漂流物対策の技術検討調査 第3回技術検討委員会

~ガイドラインについて~

平成28年3月7日

4-6-b241

基本的な考え方①

〇守るべき機能と対象施設守るべき機能

漁港の水産流通機能、陸揚げ準備機能の維持とする。

守るべき施設

重要な係留施設(耐震岸壁等)および付随する水域施設 (泊地、航路)、水産施設等(荷さばき所等)、陸揚げ・準備 施設とする。

1

基本的な考え方(2)

守るべき対象範囲

荷捌き所や水域施設など重要な守るべき施設が含まれる範囲、主に堤外地を基本とする。



T漁港の例

基本的な考え方③

対象とする津波

発生頻度の高い津波(L1)を基本とする。 なお、対象津波の発生頻度は、地域性や施設の重要 度、耐用年数、費用対効果を勘案し漁港管理者が判断 してもよい。

津波の発生頻度の考え方^{*)}は、水産庁の「平成23年東日本大震 災を踏まえた漁港施設の地震・津波対策の基本的な考え方、参 考資料3「防波堤と防潮堤による多重防護の活用」を参考とす る。

基本的な考え方④

対象とする漂流物

- 比較的、大きな被害事例が多い以下とする。
 - •船舶(漁船)
 - ・車両
 - •養殖施設(木材)

上記以外の漁港で発生する主な漂流物

- ▪防潮林
- •漁具 等

対策の考え方は次の3つ大別される。

①漂流防止対策

漂流させない対策(事前の対策)

②被害(衝突)防止対策

漂流物による衝突被害を防ぐ対策

③拡散(滞留)防止対策

泊地・航路への滞留対策

水産庁「漁業地域の減災計画策定マニュアル」の漂流物となる 恐れのあるものを事前に把握し、漂流物発生防止策と併せて 被害拡大防止策に取り組むこと を基本とする。



本ガイドラインは、以下の構成で示すものである。

章	頁	内容
第1章	1~4	ガイドラインの位置づけ、対象、構成、用語の定義について説明
第2章	5~8	漁港の漂流物対策の基本的な考え方、対策によって防護する範 囲と施設について説明
第3章	9~	津波漂流物対策施設の基本的な考え方、配置計画ならびに設計 手法等について説明
資料編		過去の津波災害から見る漂流物、津波漂流物対策施設の事例、 漂流シミュレーションの活用方法等について説明

本ガイドラインは、以下の記述方法で記載している。

「【基本的考え方】一

各項目の冒頭に必要に応じて基本的考え方を整理

【解 説】

基本的考え方を文章、図表、写真等で解説

「参考情報】
 ・事例、参考データ等を掲載する場合はこの枠囲み
 コラム、トピックス、人の話等
 4-6-b247

作成例

2. 漁港の漂流物対策の考え方

2.1 漁港の漂流物対策の考え方

「【基本的考え方】一

漁港の漂流物対策は、①漂流発生防止対策、②衝突防止対策、③拡散・滞留防止対策 に大別される。また、検討に際する対象津波は「発生頻度の高い津波(L1)」を基本と する

【解 説】

(1) 対策

① 漂流発生防止対策

「災害に強い漁業地域づくりガイドライン」では、漂流物の発生を防止するための事 前の対策として、以下に示す主にソフト面での取り組みの推進を掲げている。

- 漁船やプレジャーボート、養殖イケス等の係留ロープを太くするなど係留方法の強化(係留ロープの強化による効果について)
- ・ 漁船やプレジャーボート等の保管場所・方法の変更
- 漁間期の小型漁船などの高所保管
- 放置艇対策の徹底
- · 車両の保管位置、駐車位置の変更 など

本ガイドラインでは、後述の衝突防止及び拡散・滞留防止を目的とした主にハード面 での対策を中心に記載するものとし、本項に示すソフト対策については、上記ガイドラ インもしくは「漁業地域の減災計画策定マニュアル〜みんなでつくる減災計画〜²」を 参照とする。



- 1. ガイドラインについて
- 1.1 ガイドラインの目的
- 1.2 ガイドラインの位置づけ
- 1.3 ガイドラインの適用
- 1.4 ガイドラインの構成
- 1.5 用語の定義
- 2. 漁港の漂流物対策の考え方
- 2.1 漁港の漂流物対策の考え方
- 2.2 漁港の漂流物対策の対象範囲
- 2.3 対象施設(守るべき施設)
- 3. 津波漂流物対策施設
- 3.1 津波漂流物対策施設の考え方
- 3.1.1 津波漂流物対策施設の考え方
- 3.1.2 津波漂流物対策施設の役割
- (1) 目的
- (2) 要求性能
- (3) 性能規定
- 3.2 津波漂流物対策施設の配置
- 3.2.1 検討の手順
- 3.2.2 基本条件の把握
- (1) 漁港整備方針・利用状況の把握
- (2) 漁港周辺の地理的条件の把握
- (3) 漁港の漂流源の把握(種類・位置など)
- (4) 対象施設の選定

- 3.2.3 津波漂流物対策施設の配置計画
- (1) 対策施設配置計画の考え方
- (2) 漂流物対策方針の設定
- (3) 漂流物対策施設配置計画
- 3.3 津波漂流物対策施設の設計
- 3.3.1 設計の考え方
- 3.3.2 設計条件の設定
- 3.3.3 作用
- (1) 作用津波の設定
- (2) 地震力
- (3) 津波波力
- (4) 漂流物の衝突力
- (5) その他(留意事項)
- 3.3.4 構造設計
- 3.4 津波漂流物対策施設の計画・設計例
- (参1) 過去の津波災害での津波漂流物について
- (参2) 津波漂流物対策施設の事例について
- (参3) 漂流シミュレーションの活用について

4-6-b250

参考資料 - 1

モデル地区における漂流シミュレーション

1. 計算	算手法の整理	1
1.1.	検討の流れと計算手法	1
1.2.	外力の確率的評価について	2
1.3.	設計外力評価手法	3
2. 計算	章モデルの構築	6
2.1.	モデル地区の選定と検討ケースの設定	6
2.2.	津波解析条件の設定	8
(1)	解析条件の概要	8
(2)	波源モデルの設定	10
(3)	計算領域及び地形条件の設定	13
(4)	計算時間及び計算時間間隔の設定	18
(5)	構造物条件	19
(6)	粗度条件	21
2.3.	津波漂流物解析条件の設定	23
(1)	田老漁港	23
(2)	小浜漁港	25
3. 計算	算結果の整理	26
3.1.	津波伝播遡上解析結果(田老漁港,昭和三陸地震津波)	26
3.2.	津波伝播遡上解析結果(田老漁港、モデル地震津波)	36
3.3.	津波伝播遡上解析結果(小浜漁港、庄内沖地震津波)	45
4. 津泳	皮漂流物解析結果	49
4.1.	津波漂流物解析結果(田老漁港)	49
(1)	漂流物軌跡の整理	49
(2)	衝突速度及び津波外力の集計結果	56
(3)	対策工の効果	63
4.2.	津波漂流物解析結果(田老漁港、モデル地震津波)	65
(1)	漂流物軌跡の整理	65
(2)	衝突速度及び津波外力の集計結果	72
(3)	対策工の効果	79
4.3.	津波漂流物解析結果(小浜漁港、庄内沖地震津波)	81
(1)	漂流物軌跡の整理	81
(2)	衝突速度及び津波外力の集計結果	86
(3)	対策工の効果	90

【目次】

1. 計算手法の整理

1.1.検討の流れと計算手法

モデル地区を対象とした津波漂流物解析の流れを図-1.1 に示す。ここで、津波伝播遡上解析の基礎式として非線形長波方程式を、津波漂流物解析の基礎式として後藤のモデル及び鴫原のモデルを採用した。計算手法の詳細については、参考資料-1の「1.計算手法」に示すとおりである。



図-1.1 検討フロー図

1.2.外力の確率的評価について

菅ら(2012)^{*}は、現時点では船舶の漂流運動を規定する要素に不確実性が多いため、異なる初期 条件について試行計算を実施した上で、確率的に外力を評価する手法を推奨している。

本検討では上記の考え方を踏まえて、後藤のモデル、鴫原のモデルのそれぞれについて初期配置、初期パラメータを少しずつ変更しながら設定し、その計算結果を集計することで、外力を確率的に評価する(確率分布として評価する)こととした。

外力の確率的な評価についての模式図を図-1.2 に示す。また、初期配置の設定方法に関する 模式図を図-1.3 に示す。また本検討では、後藤のモデル及び鴫原のモデルについて、それぞれ 以下のパラメータを試行的に変更しながら計算を実施することとした。

・後藤のモデル:乱数の発生方法

・鴫原のモデル:漂流物の初期方位(±15°の範囲で変更)



図-1.2 外力の確率的な評価に関する模式図



図-1.3 初期配置の設定方法に関する模式図

^{*}菅裕介・越村俊一・小林英一(2012):2011 年東北地方太平洋沖地震津波による気仙沼湾における大型船舶の漂流・座礁の解析, 土木学会論文集 B2(海岸工学), Vol. 68, pp. 251-255.

1.3.設計外力評価手法

設計外力の評価手法については、既存の提案式の中から適用可能と判断されるものを選定して 用いることとした。本検討で参照した基準・ガイドラインと、各資料に示される提案式の概要を 表-1.1に示す。既存の提案式の一覧を表-1.2~表-1.3に示す。

基準・ガイ	津波漂流物対策施設設計	漁港の津波避難に関する	建筑杨芬香七头,自叙书
ドライン名 ガイドライン		ガイドライン	建筑物何里伯虹・内斛就
発刊者	(財)沿岸技術研究センター (社)寒地港湾技術研究センター	漁港の津波避難に関する専門 部会(水産庁)	日本建築学会
発刊年月	平成 26 年 3 月	平成 26 年 6 月	平成 27 年 2 月
	漂流物による衝突エネル	漂流物の種類別(流木、船	流木・コンテナを対象と
	ギーを漁船の接岸エネル	舶、車両)に衝突力算定式を	した以下の衝突力算定式
	ギー(漁港・漁場の施設の	提示している。	を提示している。
	設計の手引き、2003 年度	・流木:松冨の式	・流木:松冨の式、池野ら
笛史士法	版)準じて算定。	・船舶:池野らの式	の式、有川らの式
异足刀冮	対策施設変形によるエネ	・車両:松冨の手法	・コンテナ:水谷らの式、
	ルギー吸収が、衝突エネル	最大衝突力(最大流速時)を	有川らの式、FEMA 式
	ギー以上となるように設	最も安定性が厳しくなる位	
	計することとしている。	置(津波水位の範囲内) に作	
		用させる。	
	対策施設の変形に伴う漂	漂流物の衝突速度が当該地	複数の算定式が提示され
	流物の補足を想定してお	点における津波の最大流速	ているものの、選定の基
課題等	り、衝撃的な力の評価手法	と同程度であると仮定して	準は明確にされていな
	としては過小となる可能	いるため、過大評価となる	l 1.
	性がある。	可能性がある。	

表-1.1 既存資料及び提案式の一覧

ガイド ライン		ガイドラインに おける位置付け	評価式	変数	参考 文献																		
津波漂流物 対策施設設 計ガイドラ イン	・支柱間が漂流物で遮ら れた場合の流れの力の 算出方法として提示。		$F_D = C_D \frac{\gamma_W}{2g} A U^2$	C _D :抗力係数 A:流れ方向投影面積m ²) γ _W :海水の単位堆積重量kN) g:重力加速度(m/s ²) U:津波流速(m/s)	一般的な 抗力の式																		
漁港の津波 避難に関す るガイドラ イン	・津波避難施設の脚部に ; 作用する波力として提 示。		$\frac{P_{\max}}{\rho g \eta_{\max}} = 2.2 \left(1 - \frac{Z}{3\eta_{\max}} \right)$	P _{max} :最大津波波圧(N/m ²) ρ:流体の密度(kg/m ³) g:重力加速度(m/s ²) η _{max} :最大遡上水深(m) Z:陸上地面を基準とした 上向き正の座標	谷本ら ¹																		
	津波先端部の水平力	(A) 浸水深と流速 の時系列が利用で きる場合(4 通りの 算定式を提示)	$F = C_{D1} \frac{\rho B(h(t)v(t)^2)_{max}}{2g}$ $C_{D1} = 2.0 + \frac{5.4h_{max}}{D} (0.01 < \frac{h_{max}}{D} < 0.17)$ $F = \left(\frac{C_{D2}}{2} \rho Bh(t)v(t)^2 + C_M \rho BWh(t) \frac{\partial v(t)}{\partial t}\right)$ $C_{D2} = 2.0, C_M = 1.0(0.01 < \frac{h_{max}}{D} < 0.17)$ $F = \frac{a^2}{D} \rho Bgh_{-m}^2, a = 1.5, (F_{-n}(t) < 1.00) \ddagger \Box$	B:建築物の見付幅(m) W:建築物の奥行幅(m) h(t):浸水深の時系列(m) v(t):流速の時系列(m/s) h _{max} :最大浸水深(m) v _{max} :最大流速(m/s) h _{vmax} :最大流速時の浸水深(m) g:重力加速度(m/s ²)	ファウジ ら ² 東京大学 ³																		
			$F = \frac{a^2}{2} \rho Bgh_{\max}^2$ $a = 1 \neq 0.5(1+\xi)F_r^2 (1 < F_r < 4, \xi = 0.4)$	ρ : 海水密度(kg / m³) D : 海岸線からの距離(m) p _m : 波圧(kN / m²)	有川・大家 ら ^₄																		
建築物荷重		(B)最大浸水深と	$F = \frac{C_{D3}}{2} \rho B h_{\text{max}} v_{\text{max}}^2$, $C_{D3} = 1.3 + 6.3 \frac{h_{\text{max}}}{D}$	h _{f max} : 構造物前面の	ファウジ ら ²																		
指針・同聨 説(2015)																			É	最大流速か利用で きる場合(2 通りの 算定式を提示)	$p_m = \begin{cases} \rho g(h_{f \max} - z) \\ \rho g(h_{f \max} - z) + \rho v_{\max}^2 \end{cases}$	最大浸水深(<i>m</i>) v _{max} : 構造物近傍の 最大流速(<i>m/s</i>)	「月光ら⁵
															(C)最大浸水深が 利用できる場合	$F = \frac{a^2}{2} \rho Bgh_{\rm max}^2$	z:地面からの高さm) F.:フルード数	国土交通 省 ⁶					
	津波非先端部の抗力	 (A)浸水深と流速 の時系列が利用で きる場合 (B)浸水深と流速 の時系列が利用で きる場合 (C)浸水深と流速 の時系列が利用で きる場合 	$F_{D} = \frac{1}{2} \rho C_{D} (v(t)^{2} h(t))_{\max} B$ $F_{D} = \frac{1}{2} \rho C_{D} v_{\max}^{2} A_{\max}$ $F_{D} = \frac{1}{2} \rho C_{D} v_{\max}^{2} A_{\max}$ $v_{max} = F_{D} \sqrt{gh}$,	一般的な 抗力の式																		

表-1.2 津波波力に関する既往算定式の一覧

¹谷本勝利・鶴谷広位置・中野晋(1984):1983年日本海中部地震津波による津波力と埋立護岸の被災原因の検討、第31回海岸工学講演会論文集、pp.257-261. 2ファウジアフマド・鴫原良典・藤間功司・水谷法美:陸上構造物に作用する津波波力の推定手法に関する考察、土木学会論文集 B2(海岸工学)、Vol.65、No.1、pp.321 ~325、2009.

³東京大学生産技術研究所(2011):平成 23 年度建築基準整備促進事業 40 津波危険地帯における建築基準等の整備に資する検討中間報告書その 21

^{*}有川大郎・大家隆行:防潮堤背後の建物に作用する津波力に関する実験的検討、土木学会論文集 B2(海岸工学)、Vol.70、No.2、pp.1-806~1-810、2014、 *有光剛・大江位置也・川崎浩司:構造物前面の浸水深と流速を用いた津波波圧の評価手法に関する水理実験、土木学会論文集 B2(海岸工学)、Vol.68、No.2、pp.1-776 ~1-780、2012

[『]平成 23 年国土交通省告示第 1318 号,津波浸水想定を設定する際に想定した津波に対して安全な構造方法等を定める件、2011.

ガイドライン	ガイドラインにおける位置付け等	評価式		対象 湮流物
津波漂流物対策 施設設計ガイド ライン	漁港・漁場の施設 の設計の手引 (2003年度版)に示	$W = W_0 + (\pi / 4)D^2 L\gamma_W$ $D = WV^2 / 2g$	W:仮想重量(kN) W ₀ :排水トン数(kN) D:喫水(m)	<u>赤加物</u> 船舶
	されている、接岸 エネルギーの計算 式を応用した式と して、衝突エネル ギー算定式を示し	上記の式において、 $D = \frac{W}{\gamma_W LB}$ とする。 上記の式を、木材・コンテナを船舶に見立て	L:船長(m) γ _w :海水の単位 体積重量(kN) L:車両長さ(m)	車両 流木・
	ている。	た上で、そのまま適用する。	B:車両幅(m)	コンテナ
漁港の津波避難 に関するガイド ライン	流木の衝突力算出 方法として、松冨 の式 ⁷ を示してい る。	$\frac{F_1}{rD^2L} = 1.6C_{MA} \left\{ \frac{\nu_{A0}}{(gD)^{0.5}} \right\}^{1.2} \left(\frac{\sigma_f}{\gamma L} \right)^{0.4}$ $F_1: 衝突力(kN), C_{MA}: 見かけの質量計数(段波)$ 常流では 1.9), A0: 流木の衝突速度(m/s), D 流木の長さ(m), f: 流木の降伏応力(kgf/m ²)) 重力(kg/m ³), g: 重力加速度(m/s ²)	, サージでは 1.7 , 定 : 流木の直径(m) <i>, L</i> : , :流木の単位体積	流木
	流木の衝突力算出 方法として、池野 ら [®] の式を示して いる。	$\frac{F_1}{gM} = SC_{MA} \left\{ \frac{V_H}{g^{0.5} D^{0.25} L^{0.25}} \right\}^{2.5}$ F_1: 衝突力(kN), S: 係数(5.0), C_MA: 付加質量計数 次元), 1.5(三次元), 角柱横向き: 2.0~4.0(二 円柱縦向き: 2.0 程度,球: 0.8 程度), V_H : 則 流物の代表(m), M: 漂流物の質量(kg), g: 重力	((円柱横向き:2.0(二 次元),1.5(三次元), &波流速(m/s), <i>D</i> :漂 り加速度(m/s ²)	流木
建築物荷重指	松冨の式を提示	上記と同じ		流木
針 ・ 同 解 説	池野らの式を提示	上記と同じ		流木
(2015)	コンテナの衝突力 算出方法として、 水谷ら ^{9,10} の式を提 示。	$F_{1} = 2\rho_{w}\eta_{m}B_{c}V_{X}^{2} + \frac{WV_{X}}{gd_{t}}$ $F_{1} : 漂流衝突力(kN), d_{t} : 衝突時間(s), \{m} : 最.$ 水の密度(t/m3), $B_{c} : \exists \sum fm(m), V_{X} : \exists \sum fw(m), V_{X} : \exists \sum fw(m), J_{X} : \exists \sum fw(m), J_{X} : J = J$ $W : \exists \sum fm(m), J_{X} : J = J$	大遡上水位(m),	コンテナ
	流木・コンテナの 衝突力算出方法と して、有川らの式 ^{11,12} を提示。	$F_{1} = \gamma_{p} \chi^{2/5} \left(\frac{5}{4} \widetilde{m} \right) v^{2/5} \chi = \frac{4\sqrt{a}}{3\pi} \frac{1}{k_{1} + k_{2}} k = \frac{1-\pi}{2\pi}$ $F_{1} : 衝突力(kN), a : 衝突面半径の 1/2(m), E : ト版)(N/m^{2}), : ポアソン比, m : 質量(kg), _{\rho} : 塑性によるエネルギー減衰効果(0.25), m 体と被衝突体を示す。$	$\frac{v^2}{dt}$ $\widetilde{m} = \frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2}$ ヤング率(コンクリー :衝突速度(m/s),	流木 コンテナ
	流木・コンテナの 衝突力算出方法と して、FEMA 式 ¹³ を 提示。	$F_1 = \overline{C_m u_{\text{max}} \sqrt{km}}$ $F_1: 衝突力(kN), C_n: 付加質量計数(2.0 を推奨) m: 漂流物の質量(kg), k: 漂流物の有効剛性$,	流木 コンテナ

表-1.3 漂流物衝突力に関する既往算定式の一覧

⁷ 松冨英夫:流木衝突力の字梅雨的な評価式と変化特性、土木学会論文集、N0.621、pp.111~127、1999.

⁸池野正明・田中寛好:陸上遡上津波と漂流物の衝突力に関する実験的研究、海岸工学論文集、第50巻、pp.721~725、2003.

⁹ 水谷法美・高木祐介・白石和睦・宮島正悟・富田孝史:エプロン上のコンテナに作用する津波力と漂流衝突力に関する研究、海岸工学論文 集、第 52 巻、pp.741 ~ 745、2005.

¹⁰ 廉慶喜・水谷法美・白石和睦・宇佐美敦浩・宮島正悟・富田孝史:陸上遡上津波によるコンテナの漂流挙動と漂流衝突力に関する研究、海 岸工学論文集、第54巻、pp.846~850、2007.

¹¹ 有川太郎・鷲崎誠・:津波による漂流木のコンクリート壁面破壊に関する大規模実験、土木学会論文集 B2(海岸工学)、Vol.66、No.1、pp.781 ~785、2010.

¹² 杉村義広・三辻和弥:津波により転倒した建物のきそについて その2)今後の津波対策への提言.シンポジウム 東日本大震災からの教 訓 これからの新しい国つくり、pp.199~202、2012.3.

¹³ FEMA:Guidelines for Design of Structures for Vertical Evacuation, FEMA P.646, 2012

2. 計算モデルの構築

2.1.モデル地区の選定と検討ケースの設定

本検討では、浸水規模の異なる3つのモデル地区・波源の組合せのそれぞれについて、津波漂 流物対策を実施する場合としない場合の検討を実施した。検討ケースは下表に示すとおりである。 また、対象漁港の概観及び津波漂流物対策の概要を図-2.1~図-2.2に示す。

津波漂流物対策 漂流物 対象漁港 対象波源 計算手法等 号 配置数 の有無 昭和三陸地震津波 田老漁港 対策なし(現況) 係留船(10t):245隻 【計算手法】 1 (岩手県) (発生頻度の高い 上架船(5t):62隻 ・後藤のモデル 津波) 車両:160台 ・鴫原のモデル の2通り 津波漂流物衝突防止柵 最大浸水深: 【パラメータ設定】 津波漂流物流出防止柵 2 8.0m 程度 ・後藤のモデル: 9パターン ・鴫原のモデル: 田老漁港 モデル地震津波 対策なし(現況) 係留船(10t):245隻 3 7パターン 上架船(5t):62隻 (岩手県) 最大浸水深: 車両:160台 津波漂流物衝突防止柵 4.0m 程度 津波漂流物流出防止柵 4 小浜漁港 庄内沖地震津波 対策なし(現況) 係留船(20t):35 隻 5 (福井県) (発生頻度の高い 係留船(10t):293隻 車両:216台 津波) 津波漂流物流出防止柵 最大浸水深: 6 1.0m 程度

表-2.1 検討ケース一覧



図-2.1 防護対象施設と対策工(田老漁港)



図-2.2 防護対象施設と対策工(小浜漁港)

2.2.津波解析条件の設定

(1) 解析条件の概要

本業務で使用した津波伝播解析モデルの計算手法・計算条件の概要を表-2.2、表-2.3 に 示す。

			再現計算					
	基礎方程式		非線形長波方程式					
	差分法		時間差分:Leap-Flog 差分法 空間差分:スタッガード格子による差分					
			移流項:一次風上差分 摩擦項:陰的差分					
÷⊥		沖側	無反射・透過境界					
訂答	培田	陸側	遡上境界(全格子領域について遡上境界を設定)					
异	境介 冬件	越流	本間の越流公式(1940)					
于法	까다	生误冬供	岩崎・真野(1979)の方法					
14		៸ឞᄳភ៶᠇	最小水深:0.01m					
	缅博运给	冬件	地形の接続:柴木(2004)の方法を採用。					
	识垗按紞沂什		水位・流量の接続:柴木(2004)の方法を採用。					
	その他の設定		コリオリ力等は考慮しない					
			昭和三陸地震(発生頻度の高い津波)					
	油酒冬胡	_	断層パラメータ:相田(1977)のモデル					
	<i>ルメル</i> ホホート		昭和三陸地震					
			断層パラメータ:相田(1977)のモデルのすべり量を 0.5 倍					
	潮位条件		潮位(T.P.+0.80m、危険側の潮位として朔望平均満潮位を設定)					
	計算領域		東北地方~北海道を含む日本沿岸全域					
計	計算格子	間隔	1350m-450m-150m-50m-10m					
算	計算時間	3	3時間					
条件	計算時間	間隔	1350m~5m:0.1sec					
1+	地形条件		GEBCO(全球水深データ)、海底地形デジタルデータ(M7000 シリーズ)(日本水路協会)、田老漁港計画平面図、数値標高モデル(5m 格子)(国土地理院)					
	粗度条件		小谷ら(1998)*の指標に基づき、土地利用状況に応じて設定。					
	構造物	対象	海岸堤防、河川堤防、漁港・港湾施設					
	条件	破堤条件	なし					
	うりのっと	/	河川流は考慮しない					
	河川の水位余件		(漂流物に作用する漂流力の評価には影響しないと判断した)					

表-2.2 津波伝播解析モデル 計算条件概要(田老漁港)

^{**}小谷美佐・今村文彦・首藤伸夫:GIS を利用した津波遡上計算と被害推定法,海岸工学論文集,第45巻,pp.356-360,1998.

			再現計算		
	基礎方程式		非線形長波方程式		
			時間差分:Leap-Flog 差分法		
	羊厶注		空間差分:スタッガード格子による差分		
	左方法		移流項:一次風上差分		
<u>+</u> 1			摩擦項:陰的差分		
計		沖側	無反射・透過境界		
昇	接田	陸側	遡上境界(全格子領域について遡上境界を設定)		
于	- 児介 - タ/	越流	本間の越流公式(1940)		
法	示什	<u> </u>	岩崎・真野(1979)の方法		
		元靖余件	最小水深:0.01m		
	人石 + + + 六 /:::		地形の接続:柴木(2004)の方法を採用。		
	領域接続条件		水位・流量の接続:柴木(2004)の方法を採用。		
	その他の設定		コリオリカ等は考慮しない		
	油酒 夕//	F	庄内沖(1833)地震津波 (発生頻度の高い津波)		
	<i>汲</i> 源余件		断層パラメータ:相田(1989)のモデル		
	潮位条件		潮位(T.P.+0.50m、危険側の潮位として朔望平均満潮位を設定)		
	計算領域		日本海と北海道~北九州までの日本海側沿岸部を含む領域		
	計算格子間隔		1350m-450m-150m-50m-10m-5m		
	計算時間	3	12 時間		
計	計算時間	間隔	領域 1:2.7s、領域 2:0.9s、領域 3:0.3s、領域 4~領域 6:0.1s		
算			GEBCO(全球水深データ)		
条	地形夕州	F	海底地形デジタルデータ(M7000 シリーズ)(日本水路協会)		
件	地形赤门	F	小浜漁港計画平面図、小浜漁港漁港台帳		
			数値標高モデル(5m 格子)(国土地理院)		
	粗度条件	ŧ	小谷ら(1998) […] の指標に基づき、土地利用状況に応じて設定。		
	構造物	データ化対象	海岸堤防、河川堤防、漁港・港湾施設		
	条件	破堤条件	なし		
	河川の水位条件		河川流は考慮しない (漂流物に作用する漂流力の評価には影響しないと判断した)		

表-2.3 津波伝播解析モデル 計算条件概要(小浜漁港)

[…]小谷美佐・今村文彦・首藤伸夫:GIS を利用した津波遡上計算と被害推定法,海岸工学論文集,第45巻,pp.356-360,1998.

(2) 波源モデルの設定

検討対象波源は、検討対象である田老漁港の設計津波(発生頻度の高い津波)である、昭和三陸 地震津波と、モデル地震津波(昭和三陸地震津波のすべり量を 0.5 倍としたもの)した。初期水位 分布は、当該地震の断層パラメータから、Okada(1995)の方法により設定した。断層パラメータを 表-2.4 に示し、初期水位分布図を図-2.3 に示す。

绘度	级府	~ ~	主白	临约在	オベリ色	表函目	派到高	すべい旦
絳 反	紅反	木C	正凹	1頃赤十円	タイリ用	的層衣	的喧害	タイリ里
(°)	(°)	(k m)	(°)	(°)	(°)	(k m)	(k m)	(m)
40.16	144.50	1.0	180.0°	45.0°	270 °	185.0	50.0	6.6

表-2.4 断層パラメータ(昭和三陸沖地震津波、相田(1977))



10
緯度	経度	深さ	走向	傾斜角	すべり角	断層長	断層幅	すべり量
(°)	(°)	(km)	(°)	(°)	(°)	(km)	(km)	(m)
40.16	144.50	1.0	180.0°	45.0°	270 °	185.0	50.0	3.3

表-2.5 断層パラメータ(モデル地震津波、相田(1977)モデルのすべり量を0.5 倍としたもの)





緯度	経度	深さ	走向	傾斜角	すべり角	断層長	断層幅	すべり量
(°)	(°)	(k m)	(°)	(°)	(°)	(k m)	(k m)	(m)
39.00	139.425	2.0	10.0°	60.0°	90 °	50.0	40.0	7.95
38.50	138.900	2.0	40.0°	60.0°	61 °	70.0	40.0	7.95

表-2.6 断層パラメータ(庄内沖地震津波、Okada(1995))



図-2.5 初期水位分布図(庄内沖地震津波)

(3) 計算領域及び地形条件の設定

1) 田老漁港

本計算に用いた計算格子間隔及び地形データは、表-2.7 及び図-2.6~図-2.8 に示すとおり である。波源域から検討対象周辺までの津波の伝播は、1350m 格子間隔~5m 格子間隔のモデルに より非線形長波方程式に基づいて解析した。ネスティングにより沖合から検討対象に向かって格 子間隔を小さくしていくことで、波源域を計算領域に含めつつ、検討対象域である田老漁港周辺 を精度よく計算できるように設定した。

計算領域	計算格子間隔	基礎方程式	基礎データ	
波源域	1350m	線形長波方程式	・GEBCO(全球水深データ)	
121130-10	450m		・海底地形デジタルデータ	
	150m		(M7000 シリーズ) ・田老漁港計画平面図 ・数値標高モデル	
	50m	非線形長波方程式		
	25m		(5m 格子、国土地理院)	
田老漁港	5m			

表-2.7 計算領域と計算格子間隔



図-2.6 計算に用いた地形データと計算領域の配置(1350m格子領域~25m格子領域)





図-2.7 計算に用いた地形データと計算領域の配置(25m 格子領域~5m 格子領域)

図-2.8 計算に用いた地形データと計算領域の配置(5m格子領域)

2) 小浜漁港

本計算に用いた計算格子間隔及び地形データは、表-2.7 及び図-2.6~図-2.8 に示すとおり である。波源域から検討対象周辺までの津波の伝播は、1350m 格子間隔~5m 格子間隔のモデルに より非線形長波方程式に基づいて解析した。日本近海から検討対象域までの解析に用いたモデル については、ネスティングにより沖合から検討対象に向かって格子間隔を小さくしていくことで、 波源域を計算領域に含めつつ、検討対象域である小浜漁港周辺を精度よく計算できるように設定 した。

表-2.8	計算領域と計算格子間隔

計算領域	計算格子間隔	基礎方程式	基礎データ	
	1350m	線形長波方程式	・GEBCO(全球水深データ)	
波 源域	450m		 ・海底地形デジタルデータ (M7000 シリーズ) (日本水路協会) ・小浜漁港計画平面図、 	
	150m			
	50m	非線形長波方程式		
小浜渔港	25m		小浜漁港漁港台帳 ・数値標高モデル(5m 格子)	
3 77 7/10	5m		(国土地理院)	



図-2.9 計算に用いた地形データと計算領域の配置(1350m格子領域~25m格子領域)



図-2.10 計算に用いた地形データと計算領域の配置(25m 格子領域~5m 格子領域)





(4) 計算時間及び計算時間間隔の設定

当該波源により発生した津波に伴う漁港周辺海域の水位擾乱が、最大波と比較して十分に小さ くなるまでの時間として、田老漁港の場合は3時間で、小浜漁港の場合は12時間で設定した。

a) 計算時間間隔

計算時間間隔は、表-2.9~表-2.10 に示すとおり、領域毎に設定した。また、設定の考え方は以下のとおりである。

・計算時間間隔は、計算が安定となる条件(C.F.L.条件)を満足するように設定した。

・C.F.L.条件を満足していても発散が生じる場合には、計算の安定性を考慮し水位の擾乱等が発 生しないように計算時間間隔を十分小さく設定した。



計算領域	計算格子 間隔	計算時間 間隔	C.F.L.条件による判定
波源域	1350m	0.1秒	$\Delta x / \Delta t \sqrt{2gh_{\text{max}}} = 1350 / 0.1 \times \sqrt{2 \times 9.8 \times 9500} = 31.2 > 1.0$ OK
	450m	0.1秒	$\Delta x / \Delta t \sqrt{2gh_{\text{max}}} = 450 / 0.1 \times \sqrt{2 \times 9.8 \times 2600} = 19.8 > 1.0$ OK
	150m	0.1秒	$\Delta x / \Delta t \sqrt{2gh_{\text{max}}} = 150 / 0.1 \times \sqrt{2 \times 9.8 \times 930} = 11.1 > 1.0$ OK
	50m	0.1秒	$\Delta x / \Delta t \sqrt{2gh_{\text{max}}} = 50 / 0.1 \times \sqrt{2 \times 9.8 \times 150} = 9.3 > 1.0$ OK
	25m	0.1秒	$\Delta x / \Delta t \sqrt{2gh_{\text{max}}} = 10/0.1 \times \sqrt{2 \times 9.8 \times 85} = 6.1 > 1.0$ OK
計算対象	5m	0.1秒	$\Delta x / \Delta t \sqrt{2gh_{\text{max}}} = 5 / 0.1 \times \sqrt{2 \times 9.8 \times 36} = 1.9 > 1.0$ OK

表-2.9 計算時間間隔の設定(田老漁港)

表-2.10 計算時間間隔の設定(小浜漁港)

計算領域	計算格子 間隔	計算時間 間隔	C.F.L.条件による判定
波源域	1350m	2.7秒	$\Delta x / \Delta t \sqrt{2gh_{\text{max}}} = 1350 / 2.7 \times \sqrt{2 \times 9.8 \times 6700} = 1.38 > 1.0$ OK
	450m	0.9秒	$\Delta x / \Delta t \sqrt{2gh_{\text{max}}} = 450 / 0.1 \times \sqrt{2 \times 9.8 \times 2900} = 2.10 > 1.0$ OK
	150m	0.3秒	$\Delta x / \Delta t \sqrt{2gh_{\text{max}}} = 150 / 0.1 \times \sqrt{2 \times 9.8 \times 2800} = 2.13 > 1.0$ OK
	50m	0.1秒	$\Delta x / \Delta t \sqrt{2gh_{\text{max}}} = 50 / 0.1 \times \sqrt{2 \times 9.8 \times 620} = 4.54 > 1.0$ OK
	25m	0.1秒	$\Delta x / \Delta t \sqrt{2gh_{\text{max}}} = 10 / 0.1 \times \sqrt{2 \times 9.8 \times 60} = 7.29 > 1.0$ OK
計算対象	5m	0.1秒	$\Delta x / \Delta t \sqrt{2gh_{\text{max}}} = 5 / 0.1 \times \sqrt{2 \times 9.8 \times 15} = 2.92 > 1.0$ OK

(5) 構造物条件

本業務では、5m 格子領域内に位置する漁港・港湾・海岸施設のうち、線的構造物を構造物デー タとして設定した。構造物データの配置及び高さの分布は、図-2.12 に示すとおりである。

1) 田老漁港

田老漁港の漁港台帳に基づき、構造物の配置・高さを 2011 年東北大震災前のものに設定した上で、第一線防潮堤の天端高さを、田老漁港海岸の海岸保全施設の計画天端高である T.P.+14.7m に 修正して設定した。



図-2.12 構造物データ設定図

2) 小浜漁港

小浜漁港本港地区周辺における構造物データの配置及び高さの分布は、図-2.12 に示すとおり である。



図-2.13 構造物データ設定図

(6) 粗度条件

5m 格子領域におけるマニングの粗度係数分布は、2011 年東北地方大震災発生前の航空写真より 判読した土地利用条件に応じて設定した。本業務で設定した粗度係数分布図を図-2.14 に示す。



図-2.14 田老漁港におけるマニングの粗度係数分布図(田老漁港)



図-2.15 マニングの粗度係数分布図(小浜漁港)

2.3.津波漂流物解析条件の設定

(1) 田老漁港

津波漂流物解析の対象漂流物は、衝突エネルギーが比較的大きいと考えられる、車両、船舶(係 留、上架)とした。また、漂流物の諸元の詳細について、船舶については「漁港・漁場の施設の設 計の手引き、2015 年度版、pp.194」を、車両については「自動車ガイドブック、(社)日本自動車 工業会」を参考に、表-2.11 に示すとおりに設定した。

また、津波漂流物の初期配置については、図-2.16に示すとおりに設定した。

	設定値				
	係留船	上架船	車両		
漂流物 種別	10t 船	5t 船	普通乗用車		
配置箇所	船舶の係留実態がある岸 壁に、等間隔に船舶を配 置した。	現地で実際に船舶が上架 している船揚場・用地に、 等間隔に船舶を配置し た。	現地で実際に車両が駐車 しているエリアに、等間 隔に車両を配置した。 将来、駐車場としての利 用が見込まれている図- 2.16 のエリアに、等間 隔に車両を配置した。		
船長(m)	13.0m (1)	11.Om (1)	5.0m (2)		
船幅(m)	3.5m (1)	2.8m (1)	2.0m (2)		
喫水(m)	1.9m(空載時) (1)	1.8m(空載時) (1)	0.5m (2)		
重量(kg)	30,000kg (3)	1 5 ,000kg (3)	2,500 k g (2)		
漂流 閉始冬件	後藤のモデル:水深が喫水り	 上(危険側を考慮して船舶係留 新止摩擦力 ト	習は考慮しない)		
喫水(m)重量(kg)漂流開始条件	1.9m(空載時) (1) 30,000kg (3) 後藤のモデル:水深が喫水以 鴫原のモデル:津波漂流力か	1.8m(空載時) (1) 15,000kg (3) した(危険側を考慮して船舶係留 「静止摩擦力以上	0.5m (2) 2,500kg (2) 留は考慮しない)		

表-2.11 漂流物(船舶)諸元

1)「漁港・漁場の施設の設計の手引き、2015年度版、pp.194」に記載される値を準用した。

2)「自動車ガイドブック、(社)日本自動車工業会」を参考に設定した。

3)「漁港・漁場の施設の設計の手引き、2015 年度版、pp.195」より、漁船の重量は総トン数の 3 倍で設定した。



図-2.16 津波漂流物(船舶)初期配置

(2) 小浜漁港

津波漂流物解析の対象漂流物は、衝突エネルギーが比較的大きいと考えられる、車両、船舶(係 留、上架)とした。またその諸元は、当該漁港の利用漁船の代表的諸元として、10t 船のものを採 用した。また、漁港内に係留されているほとんどの船舶が空載状態にある実態から、本検討にお いても漁船の諸元として空載時のものを採用した。諸元の一覧を表-2.11 に示し、漂流物の初期 配置を図-2.16 に示す。

漂流物の諸元については、船舶については「漁港・漁場の施設の設計の手引き、2015 年度版、 pp.194」を、車両については「自動車ガイドブック、(社)日本自動車工業会」を参考に設定した。

項目	係留船	係留船 (川崎岸壁)	車両				
漂流物種別	10t 船	20t 船	普通乗用車				
船長(m)	13.Om	17.Om	5.Om				
船幅(m)	3.5m	4.7m	2.Om				
喫水(m)	1.9m(空載時)	2.1m(空載時)	0.5m				
重量(kg)	30,000 [*] kg	60,000 [*] kg	2,500kg				
漂流開始条件	水深が喫水以上 (危険側を考慮して船舶係留は考慮しない)						

表-2.12 漂流物(船舶)諸元

*:「漁港・漁場の施設の設計の手引き、2015 年度版、pp.195」より、漁船の重量 は総トン数の3倍で設定した。



図-2.17 津波漂流物(船舶)初期配置

計算結果の整理

3.1. 津波伝播遡上解析結果(田老漁港,昭和三陸地震津波)

津波伝播解析の結果として、最高水位分布、最大浸水深、最大流速分布を図-3.1~図-3.3 に 示し、水位・流速の経時変化図を図-3.4~図-3.9 に示す。これらの図より、以下のことが分か る。

- ・南防波堤南側の領域(南防波堤及び導流れ堤、崖、防潮堤に囲まれた範囲)や、防潮堤の隅角部 において、最高水位が大きくなっていた。上記のように、2 面或いは 3 面を構造物に囲まれた 範囲は水が滞留しやすい分、水位のせり上がりが顕著であったと考える。(図-3.1参照)
- ・港内において、港口から防潮堤前面に向かって最高水位が大きくなっているのは、防潮堤におけるせり上がりの影響が、防潮堤から離れるに従って小さくなるためと考える。最高水位は、港口部ではT.P.+7.0m~8.0m程度であったのに対し、防潮堤前面ではT.P.+12.0m程度まで上昇していた。(図-3.3参照)
- ・漁港周辺において流速の発達が顕著であったのは、南防波堤と東防波堤の開口部や、東防波堤
 と西防波堤先端部の間の狭窄部であった。特に、東防波堤と西防波堤先端部(図-3.3 参照)の
 間の狭窄部では、最大流速が9.0m/s 程度に達していた。
- ・昭和三陸沖地震は正断層地震であるため、これによる津波は引き波からはじまる津波であった。
 1 波目引き波時には、漁港前面において T.P.-10.0m 程度まで水位が低下した。但し、沖防波堤をはじめとする漁港外郭施設により流れの流出が妨げられていたため、港内での水位低下は T.P.-1.0m 程度であった。(図-3.4参照)
- ・押し波時には主に沖防波堤の南側を通って漁港前面に津波が到達し、港口前面や南防波堤前面 における水位が上昇した後、港口や漁港背後の水路(河口が南防波堤の南に位置する)を通過し て流れが港内に進入した。(図-3.5~図-3.9参照)



図-3.1 最高水位分布図(田老漁港、昭和三陸地震津波)



図-3.2 最大浸水深分布図(田老漁港、昭和三陸地震津波)



図-3.3 最大流速分布図(田老漁港、昭和三陸地震津波)



図-3.4 発震36分後の水位・流速分布(田老漁港、昭和三陸地震津波)



図-3.5 発震37分後の水位・流速分布(田老漁港、昭和三陸地震津波)



図-3.6 発震38分後の水位・流速分布(田老漁港、昭和三陸地震津波)



図-3.7 発震39分後の水位・流速分布(田老漁港、昭和三陸地震津波)



図-3.8 発震40分後の水位・流速分布(田老漁港、昭和三陸地震津波)



図-3.9 発震41分後の水位・流速分布(田老漁港、昭和三陸地震津波)

3.2. 津波伝播遡上解析結果(田老漁港、モデル地震津波)

津波伝播解析の結果として、最高水位分布、最大浸水深、最大流速分布を図-3.1~図-3.3 に 示し、水位・流速の経時変化図を図-3.4~図-3.9 に示す。

モデル地震津波の断層パラメータは、昭和三陸地震津波のパラメータのうち、すべり量のみを 0.5 倍としたものである。従って、水位・水深・流速は昭和三陸地震のものと比較して小さくな っているものの、来襲特性等の基本的な津波特性は昭和三陸地震のもの概ね一致していた。



図-3.10 最高水位分布図(田老漁港、昭和三陸地震津波)



図-3.11 最大浸水深分布図(田老漁港、昭和三陸地震津波)



図-3.12 最大流速分布図(田老漁港、昭和三陸地震津波)



図-3.13 発震 36 分後の水位·流速分布(田老漁港、昭和三陸地震津波)



図-3.14 発震 37 分後の水位·流速分布(田老漁港、昭和三陸地震津波)



図-3.15 発震 38 分後の水位·流速分布(田老漁港、昭和三陸地震津波)



図-3.16 発震 39 分後の水位·流速分布(田老漁港、昭和三陸地震津波)



図-3.17 発震40分後の水位·流速分布(田老漁港、昭和三陸地震津波)



図-3.18 発震41分後の水位·流速分布(田老漁港、昭和三陸地震津波)

3.3. 津波伝播遡上解析結果(小浜漁港、庄内沖地震津波)

小浜漁港周辺および設計対象施設周辺の、最高水位分布、最大浸水深分布、最大流速分布を図-3.19~図-3.21 に整理した。整理の結果より得られた考察は以下のとおりである。

- ・最高水位は、沿岸部で D.L.+1.8m 程度まで上昇した。このため、漁港各所の岸壁で浸水が生じた。最高水位が最も大きくなったのは、川崎岸壁前面であり、D.L.+2.0m 程度まで上昇した。
 川崎岸壁は海岸線が陸側に入り組んだ箇所に位置しているため、せり上がりによる水位上昇が顕著であったと考える。
- ・西津船溜の背後地については、両岸の堤防での越流は生じなかったものの、西津船溜岸壁での
 越流により、背後地が浸水した。
- ・外郭施設の先端部や突端部の周辺で、流速が増大した。最大流速が最も大きくなったのは北防 波堤東側端部で、最大流速は3.4m/s であった。
- ・最低水位は、沿岸部で D.L.-1.3m~-1.5m 程度まで低下した。



図-3.19 最高水位分布図(小浜漁港)


図-3.20 最大浸水深分布図(小浜漁港)



図- 3.21 最大流速分布図(小浜漁港)

- 4. 津波漂流物解析結果
- 4.1.津波漂流物解析結果(田老漁港)
- (1) 漂流物軌跡の整理

代表的な漂流物の軌跡の比較図を図-4.1~図-4.11 に示す。

- ・初期位置の僅かなずれや、計算モデルの違いにより、軌跡が大きく異なることを確認した。この傾向 は、全ての漂流物種について確認できた。
- ・係留船舶については、押し波により陸上の標高が高い箇所に打上げられてそこで停止する場合と、引き波により港外に流出し、漂流する場合の2通りを確認した。
- ・上架船舶・車両についても、標高の高い位置で停止する場合と引き波により港外に流出する場合の2 通りの軌跡パターンが確認できたが、初期位置が陸上にある分、陸上に打上げられる確率の方が大きかった。
- ・漂流物に対して平均的(2~3メッシュ平均)な漂流力を作用させる鴫原モデルよりも、漂流物を質点として扱うために局所的な漂流力の変化の影響を受けやすく、さらに拡散係数を考慮している後藤モデルの方が、軌跡のばらつき(初期地形の僅かなずれに伴う軌跡の差)が大きかった。



図-4.1 津波漂流物解析結果における、代表的な漂流物(係留船舶)の軌跡1



図-4.2 津波漂流物解析結果における、代表的な漂流物(係留船舶)の軌跡2



図-4.3 津波漂流物解析結果における、代表的な漂流物(係留船舶)の軌跡3



図-4.4 津波漂流物解析結果における、代表的な漂流物(係留船舶)の軌跡4



図-4.5 津波漂流物解析結果における、代表的な漂流物(係留船舶)の軌跡5



図-4.6 津波漂流物解析結果における、代表的な漂流物(係留船舶)の軌跡6



図-4.7 津波漂流物解析結果における、代表的な漂流物(上架船舶)の軌跡1



図-4.8 津波漂流物解析結果における、代表的な漂流物(上架船舶)の軌跡2



図-4.9 津波漂流物解析結果における、代表的な漂流物(車両)の軌跡1



図-4.10 津波漂流物解析結果における、代表的な漂流物(車両)の軌跡2



図-4.11 津波漂流物解析結果における、代表的な漂流物(車両)の軌跡3

- (2) 衝突速度及び津波外力の集計結果
- 1) 衝突速度の集計結果

各施設に衝突した漂流物の代表的な軌跡(最大衝突速度を生じたパターンにおいて、当該施設に衝突した全漂流物の軌跡)を、図-4.12~図-4.13に示す。また、石油タンク防護柵及び車両流出防止柵への衝突速度の集計結果を、表-4.1~

表-4.2及び図-4.14~図-4.15に示す。

- ・石油タンクについては、上架船舶や車両が引き波によって泊地に流出する過程において衝突する場合が多かった(図-4.12参照)。
- ・車両については、全ての漂流物が、西護岸を越流してきた押し波によって泊地に流出していた(図-4.13 参照)。
- ・石油タンクに対する衝突速度は、後藤モデルが最大 2.1m/s で、鴫原モデルが最大 1.9m/s であり、概 ね同程度であった。一方流出防止柵については、鴫原モデルの場合が最大 6.3m/s で、後藤モデルの場 合が最大 3.2m/s であり、鴫原モデルの方が大きくなっていた。後藤モデルと鴫原モデルで抗力係数の 考え方が異なっているため、津波衝突直後の流速については漂流物の流速の差が大きくなるものと考 える。



図-4.12 石油タンクへの衝突漂流物の代表的な軌跡



図-4.13 車両流出防止柵への衝突漂流物の代表的な軌跡

流速(m/s)	係留船舶	上架船舶	車両	流速(m/s)	係留船舶	上架船舶	車両
0.0 ~ 0.5				0.0 ~ 0.5		0.1	1.1
0.5 ~ 1.0				0.5 ~ 1.0			5.0
1.0 ~ 1.5		0.9		1.0 ~ 1.5		8.6	2.3
1.5 ~ 2.0		2.1		1.5 ~ 2.0			6.0
2.0 ~ 2.5		2.1		2.0 ~ 2.5			
2.5 ~ 3.0				2.5 ~ 3.0			
3.0 ~ 4.0				3.0 ~ 4.0			
5.0 ~ 6.0				5.0 ~ 6.0			
6.0 ~ 7.0				6.0 ~ 7.0			
8.0 ~ 10.0				8.0 ~ 10.0			
合計	0.0	5.1	0.0	合計	0.0	8.7	14.4

表-4.1 1パターン当りの石油タンクへの平均衝突回数(左:後藤モデル、右:鴫原モデル)





図-4.14 衝突時流速毎の平均衝突回数(石油タンク、上段:後藤モデル、下段:鴫原モデル)

流速(m/s)	係留船舶	上架船舶	車両	流速(m/s)	係留船舶	上架船舶	車両
0.0 ~ 0.5			0.4	0.0 ~ 0.5	1.9	0.1	1.7
0.5 ~ 1.0	10.2		16.0	0.5 ~ 1.0	9.3	2.9	8.4
1.0 ~ 1.5	2.8		36.6	1.0 ~ 1.5	4.3		4.4
1.5 ~ 2.0	6.4		70.1	1.5 ~ 2.0	20.7		2.3
2.0 ~ 2.5	4.3		33.4	2.0 ~ 2.5	2.3		0.3
2.5 ~ 3.0	0.9		5.6	2.5 ~ 3.0			26.9
3.0 ~ 4.0	0.1		0.2	3.0 ~ 4.0			19.4
5.0 ~ 6.0				5.0 ~ 6.0			32.0
6.0 ~ 7.0				6.0 ~ 7.0			1.7
8.0 ~ 10.0				8.0 ~ 10.0			
合計	24.8	0.0	162.3	合計	38.4	3.0	97.1

表-4.2 1パターン当りの流出防止柵への平均衝突回数(左:後藤モデル、右:鴫原モデル)





図-4.15 衝突時流速毎の平均衝突回数(流出防止柵、上段:後藤モデル、下段:鴫原モデル)

2) 外力の算出結果

石油タンク及び流出防止柵について、津波諸元及び津波漂流物衝突に関する諸元を表-4.3、表-4.5 に整理した。また漂流物対策施設の諸元として杭タイプ(図-4.16参照)を想定し、その諸元を図-4.16 の通りに設定した上で、上記の数値を用いて漂流物衝突力を池野の式で、津波波圧を抗力式で算出して 表-4.4、表-4.6 に整理した。

- ・石油タンクの場合、衝突時の浸水深と最大浸水深に差がある上に、衝突時の流速が比較的遅かった。 このため、最大浸水深及び最大流速に基づく津波波力(172.7kN/m)の方が、漂流物の衝突力と衝突時津 波波力の和(75.3kN)よりも大きくなった。
- ・車両流出防止柵の場合、最も衝突速度が大きくなった鴫原モデルの場合の衝突速度・衝突浸水深を用いて算出した漂流物の衝突力と衝突時津波波力の和(411.0kN)の方が、最大浸水深及び最大流速に基づく津波波力(211.4kN/m)よりも大きくなった。

【抗力式(出典:津波漂流物対策施設設計ガイドライン)】

$$F_{D} = C_{D} \frac{\gamma_{W}}{2g} hU^{2} \dots (\vec{x} 4.1)$$
ここで、 F_{D} :単位幅当りの抗力(kN/m)、 C_{D} :抗力係数(円柱:1.0、角柱:2.0 など)
 γ_{W} :海水の単位体積重量(=10.1kN/m³)、 h :浸水深(m)、 U :流速(m/s)
【池野らの式(出典:漁港の津波避難に関するガイドライン)】

$$F_{H} = gMSC_{M} \left(\frac{V}{g^{0.5}D^{0.25}L^{0.25}}\right)^{2.5} \dots (\vec{x} 4.2)$$
ここで、 F_{H} :漂流物の衝突力(kN)、 C_{D} :抗力係数(円柱:1.0、角柱:2.0 など)
 γ_{W} :海水の単位体積重量(=10.1kN/m³)、 h :浸水深(m)、 U :流速(m/s)

津波漂流物対策施設(支柱タイプ)の模式図



図-4.16 対策施設の基本的な構造と諸元(想定)

表-4.3 対策	う 施設に作用す	る外力に関す	する諸元(石	「油タンク	防止柵)
----------	----------	--------	--------	-------	------

		最大衝	突速度			
	後藤モデル		鴫原音	Eデル	最大津波	最大
対象漂流物	最大 衝突速度 (m/s)	衝突時 浸水深 (m)	最大 衝突速度 (m/s)	衝突時 浸水深 (m)	取八岸滅 流速 (m/s)	浸水深 (m)
係留船舶	-	-	-	-		
上架船舶	2.1	5.2	1.8	1.2	6.83	7.23
車両	-	-	1.9	1.2		

表-4.4 衝突力及び津波波力の算出結果(石油タンク防止柵)

【津波衝突力と津波波力の比較】

	漂流物衝突力 (kN)			(高さ)	津波波力 7.5mの円柱、C _D (kN/m)	津波波力+漂流物衝突力 (kN)		
対象漂流物	後藤モデルの 衝突速度 を用いる場合	鴫原モデルの 衝突速度 を用いる場合	津波諸元 を用いる場合	後藤モデルの 衝突時浸水深 ・流速	鴫原モデルの 衝突時浸水深 ・流速	最大浸水深 及び最大流速	後藤モデルの 場合	鴫原モデルの 場合
係留船舶	-	-	1902.9	-	-		-	-
上架船舶	63.6	43.3	1214.3	11.7	2.0	172.7	75.3	45.3
車両	-	16.7	408.8	-	2.2		-	18.9

津波漂流物対策施設(支柱タイプ)の模式図



図-4.17 対策施設の基本的な構造と諸元(想定)

		最大衝	突速度			
	後藤刊	Eデル	鴫原音	Eデル	最大津波	最大
対象漂流物	最大 衝突速度 (m/s)	衝突時 浸水深 (m)	最大 衝突速度 (m/s)	衝突時 浸水深 (m)	流速 (m/s)	浸水深 (m)
係留船舶	2.8	1.4	2.4	1.4		
上架船舶	-	-	0.9	0.8	7.68	7.01
車両	3.2	1.7	6.3	3.8		

表-4.5 対策施設に作用する外力に関する諸元(車両流出防止柵)

表-4.6 衝突力及び津波波力の算出結果(車両流出防止柵)

【津波衝突力と津波波力の比較】

	漂流物衝突力 (kN)			(直径1.0m·	津波波力 高さ7.0mの円柱 (kN/m)	津波波力+漂流物衝突力 (kN)		
対象漂流物	後藤モデルの 衝突速度 を用いる場合	鴫原モデルの 衝突速度 を用いる場合	津波諸元 を用いる場合	後藤モデルの 衝突時浸水深 ・流速	鴫原モデルの 衝突時浸水深 ・流速	最大浸水深 及び最大流速	後藤モデルの 場合	鴫原モデルの 場合
係留船舶	204.6	139.2	2549.5	5.6	4.1		210.2	143.3
上架船舶	-	7.6	1626.8	-	0.3	211.4	-	8.0
車両	61.4	333.8	547.7	8.9	77.2		70.3	411.0

(3) 対策工の効果

各モデルについて、代表的なケース(最大衝突速度が生じたケース)における、各施設の衝突漂流物の 軌跡を図-4.18~図-4.19に整理した。

・本ケースについては、流出防止柵を設けることで、車両の泊地への流出を 100%防ぐことができる結果 を得た。



64

- 4.2. 津波漂流物解析結果(田老漁港、モデル地震津波)
- (1) 漂流物軌跡の整理

代表的な漂流物の軌跡の比較図を図-4.20図-4.30に示す。

- ・初期位置の僅かなずれや、計算モデルの違いにより、軌跡が大きく異なることを確認した。この傾向 は、全ての漂流物種について確認できた。
- ・係留船舶については、押し波により陸上の標高が高い箇所に打上げられてそこで停止する場合と、引き波により港外に流出し、漂流する場合の2通りを確認した。
- ・上架船舶・車両についても、標高の高い位置で停止する場合と引き波により港外に流出する場合の2 通りの軌跡パターンが確認できたが、初期位置が陸上にある分、陸上に打上げられる確率の方が大きかった。
- ・漂流物に対して平均的(2~3 メッシュ平均)な漂流力を作用させる鴫原モデルよりも、漂流物を質点として扱うために局所的な漂流力の変化の影響を受けやすく、さらに拡散係数を考慮している後藤モデルの方が、軌跡のばらつき(初期地形の僅かなずれに伴う軌跡の差)が大きかった。



図-4.20 津波漂流物解析結果における、代表的な漂流物(係留船舶)の軌跡1



図-4.21 津波漂流物解析結果における、代表的な漂流物(係留船舶)の軌跡2



図-4.22 津波漂流物解析結果における、代表的な漂流物(係留船舶)の軌跡3



図-4.23 津波漂流物解析結果における、代表的な漂流物(係留船舶)の軌跡4



図-4.24 津波漂流物解析結果における、代表的な漂流物(係留船舶)の軌跡5



図-4.25 津波漂流物解析結果における、代表的な漂流物(係留船舶)の軌跡 6



図-4.26 津波漂流物解析結果における、代表的な漂流物(上架船舶)の軌跡1



図-4.27 津波漂流物解析結果における、代表的な漂流物(上架船舶)の軌跡2



図-4.28 津波漂流物解析結果における、代表的な漂流物(車両)の軌跡1



図-4.29 津波漂流物解析結果における、代表的な漂流物(車両)の軌跡2



図-4.30 津波漂流物解析結果における、代表的な漂流物(車両)の軌跡3

- (2) 衝突速度及び津波外力の集計結果
- 1) 衝突速度の集計結果

各施設に衝突した漂流物の代表的な軌跡(最大衝突速度を生じたパターンにおいて、当該施設に衝突した全漂流物の軌跡)を、図-4.31~図-4.32 に示す。また、石油タンク防護柵及び車両流出防止柵への衝突速度の集計結果を、表-4.7~表-4.8 及び図-4.33~図-4.34 に示す。

- ・石油タンクについては、上架船舶については押し波によって、車両については引き波によって泊地に 流出する過程で衝突が生じていた(図-4.12参照)。
- ・車両流出防止柵については、9割程が、西護岸を越流してきた押し波によって泊地に流出していた。一 方で、西護岸基部周辺に位置する一部の車両については、押し波により防潮堤側に移動した後、河川 側に流出していた(図-4.13参照)。
- ・石油タンクに対する衝突速度は、後藤モデルが最大 5.0m/s で、鴫原モデルが最大 3.9m/s であり、概 ね同程度であった。上架船舶が押し波によって石油タンクに衝突していたため、引き波によって衝突 した昭和三陸地震津波の場合よりも、流速が大きくなっていた。
- ・車両流出防止柵に対する衝突速度は、後藤モデルが最大3.9m/s、鴫原モデルが最大3.8m/s 程度であり、 概ね同程度であった。



図-4.31 石油タンクへの衝突漂流物の代表的な軌跡



図-4.32 車両流出防止柵への衝突漂流物の代表的な軌跡

流速(m/s)	係留船舶	上架船舶	車両	流速(m/s)	係留船舶	上架船舶	車両
0.0 ~ 0.5				0.0 ~ 0.5	0.1	0.1	0.6
0.5 ~ 1.0				0.5 ~ 1.0		0.1	
1.0 ~ 1.5				1.0 ~ 1.5		0.1	
1.5 ~ 2.0				1.5 ~ 2.0	0.7	2.0	
2.0 ~ 2.5				2.0 ~ 2.5		1.3	
2.5 ~ 3.0		0.4		2.5 ~ 3.0		2.6	1.0
3.0 ~ 4.0		2.6		3.0 ~ 4.0		5.1	
5.0 ~ 6.0				5.0 ~ 6.0			
6.0 ~ 7.0				6.0 ~ 7.0			
8.0 ~ 10.0				8.0 ~ 10.0			
合計	0.0	3.0	0.0	合計	0.9	11.4	1.6





図-4.33 衝突時流速毎の平均衝突回数(石油タンク、上段:後藤モデル、下段:鴫原モデル)

流速(m/s)	係留船舶	上架船舶	車両	流速(m/s)	係留船舶	上架船舶	車両
0.0 ~ 0.5	1.8		0.2	0.0 ~ 0.5	1.0		1.0
0.5 ~ 1.0	1.7		3.7	0.5 ~ 1.0	28.7		4.3
1.0 ~ 1.5	0.9		14.8	1.0 ~ 1.5	6.1		29.6
1.5 ~ 2.0			30.1	1.5 ~ 2.0	3.0		12.0
2.0 ~ 2.5			8.6	2.0 ~ 2.5	1.9		16.0
2.5 ~ 3.0	0.1		12.1	2.5 ~ 3.0	0.6		16.9
3.0 ~ 4.0	0.6		31.4	3.0 ~ 4.0	0.3		6.6
5.0 ~ 6.0				5.0 ~ 6.0			
6.0 ~ 7.0				6.0 ~ 7.0			
8.0 ~ 10.0				8.0 ~ 10.0			
合計	5.0	0.0	100.9	合計	41.6		86.3

表-4.8 1パターン当りの流出防止柵への平均衝突回数(左:後藤モデル、右:鴫原モデル)





図-4.34 衝突時流速毎の平均衝突回数(流出防止柵、上段:後藤モデル、下段:鴫原モデル)

2) 外力の算出結果

石油タンク及び流出防止柵について、津波諸元及び津波漂流物衝突に関する諸元を表に整理した。また漂流物対策施設の諸元として杭タイプ(図-4.16参照)を想定し、その諸元を図-4.16の通りに設定した上で、上記の数値を用いて漂流物衝突力を池野の式で、津波波圧を抗力式で算出して表に整理した。

- ・石油タンクの場合、衝突時の流速が最大津波流速と同程度であった。このため、最大浸水深及び最大 流速に基づく津波波力(72.7kN/m)よりも、漂流物の衝突力と衝突時津波波力の和(585.5kN)よりも1オ ーダー程度大きくなった。
- ・車両流出防止柵の場合、最も衝突速度が大きくなった鴫原モデルの場合の衝突速度・衝突浸水深を用 いて算出した漂流物の衝突力と衝突時津波波力の和(582.8kN)の方が、最大浸水深及び最大流速に基づ く津波波力(34.5kN/m)よりも大きくなった。

【抗力式(出典:津波漂流物対策施設設計ガイドライン)】

$$F_{D} = C_{D} \frac{\gamma_{W}}{2g} hU^{2} \dots (式 4.1)$$
ここで、 F_{D} :単位幅当りの抗力(kN/m)、 C_{D} :抗力係数(円柱:1.0、角柱:2.0 など)
 γ_{W} :海水の単位体積重量(=10.1kN/m³)、 h :浸水深(m)、 U :流速(m/s)
【池野らの式(出典:漁港の津波避難に関するガイドライン)】

$$F_{H} = gMSC_{M} \left(\frac{V}{g^{0.5}D^{0.25}L^{0.25}}\right)^{2.5} \dots (式 4.2)$$
ここで、 F_{H} :漂流物の衝突力(kN)、 C_{D} :抗力係数(円柱:1.0、角柱:2.0 など)
 γ_{W} :海水の単位体積重量(=10.1kN/m³)、 h :浸水深(m)、 U :流速(m/s)

津波漂流物対策施設(支柱タイプ)の模式図



図-4.35 対策施設の基本的な構造と諸元(想定)

表-4.9 文	対策施設に作用す	る外力に関す	る諸元(石油タン	ク防止柵)
---------	----------	--------	----------	-------

		最大衝	突速度				
	後藤	Eデル	鴫原音	Eデル	最大津波	最大	
対象漂流物	最大 衝突速度 (m/s)	衝突時 浸水深 (m)	最大 衝突速度 (m/s)	衝突時 浸水深 (m)	取八岸滅 流速 (m/s)	浸水深 (m)	
係留船舶	-	-	3.0	1.1			
上架船舶	5.0	2.3	3.9	2.8	6.02	3.92	
車両	-	-	1.9	2.0			

表-4.10 衝突力及び津波波力の算出結果(石油タンク防止柵)

【津波衝突力と津波波力の比較】

対象漂流物	漂流物衝突力 (kN)			津波波力 (直径1.0m・高さ4.0mの円柱(C _D 値∶1)) (kN)			津波波力+漂流物衝突力 (kN)	
	後藤モデルの 衝突速度 を用いる場合	鴫原モデルの 衝突速度 を用いる場合	津波諸元 を用いる場合	後藤モデルの 衝突時浸水深 ・流速	鴫原モデルの 衝突時浸水深 ・流速	最大浸水深 及び最大流速	後藤モデルの 場合	鴫原モデルの 場合
係留船舶	-	235.3	1386.9	-	4.7		-	240.0
上架船舶	556.4	289.8	885.0	29.4	21.1	72.7	585.8	311.0
車両	-	15.6	297.9	-	3.6		-	19.2

津波漂流物対策施設(支柱タイプ)の模式図



図-4.36 対策施設の基本的な構造と諸元(想定)

		最大衝					
	後藤刊	Eデル	鴫原音	Eデル	最大津波	最大 浸水深 (m)	
対象漂流物	最大 衝突速度 (m/s)	衝突時 浸水深 (m)	最大 衝突速度 (m/s)	衝突時 浸水深 (m)	流速 (m/s)		
係留船舶	4.2	2.1	2.4	1.4			
上架船舶	-	-	-	-	4.41	3.46	
車両	3.4	1.0	3.8	1.9			

表-4.11 対策施設に作用する外力に関する諸元(車両流出防止柵)

表-4.12 衝突力及び津波波力の算出結果(車両流出防止柵)

【津波衝突力と津波波力の比較】

対象漂流物	漂流物衝突力 (kN)			津波波力 (直径1m・高さ3.5mの円柱(C _D 値:1)) (kN)			津波波力+漂流物衝突力 (kN)	
	後藤モデルの 衝突速度 を用いる場合	鴫原モデルの 衝突速度 を用いる場合	津波諸元 を用いる場合	後藤モデルの 衝突時浸水深 ・流速	鴫原モデルの 衝突時浸水深 ・流速	最大浸水深 及び最大流速	後藤モデルの 場合	鴫原モデルの 場合
係留船舶	563.9	139.2	637.0	19.0	4.1		582.8	143.3
上架船舶	-	-	406.5	-	-	34.5	-	-
車両	71.4	94.3	136.8	5.9	14.0		77.3	108.4

(3) 対策工の効果

各モデルについて、代表的なケース(最大衝突速度が生じたケース)における、各施設の衝突漂流物の 軌跡を図-4.37~図-4.38 に整理した。

・本ケースについては、流出防止柵を設けることで、車両の泊地への流出を 90%程度防ぐことができる結果を得た。また計算結果より、西護岸の基部周辺にも同様の施設を設けることで、流出防止率を 100%まで向上可能と推定した。





- 4.3. 津波漂流物解析結果(小浜漁港、庄内沖地震津波)
- (1) 漂流物軌跡の整理

代表的な漂流物の軌跡の比較図を図-4.39~図-4.46に示す。

- ・船舶については、喫水に比べて陸上における浸水深が小さいため、船舶の打ち上がりは生じず、津波の来襲に伴って船舶が泊地を漂流する結果を得た。後藤のモデルの鴫原のモデルで漂流範囲が異なるのは、最低漂流流速の使用プログラムによる違いによるものである。
- ・車両については、ほとんどの車両は押し波により内陸側に押し込まれた後に停止する挙動をとったが、 浸水深の最も大きかった北側の用地において、後藤のモデルの場合に一部が引き波で泊地に流出する 結果を得た。また、泊地に流出しないまでも、計算上押し波により岸壁の際まで移動した車両もあり、 これらの車両については流出の懸念があると考える。



図-4.40 津波漂流物解析結果における、代表的な漂流物(係留船舶)の軌跡1


図-4.42 津波漂流物解析結果における、代表的な漂流物(係留船舶)の軌跡4



図-4.44 津波漂流物解析結果における、代表的な漂流物(係留船舶)の軌跡6



図-4.46 津波漂流物解析結果における、代表的な漂流物(車両)の軌跡

- (2) 衝突速度及び津波外力の集計結果
- 1) 衝突速度の集計結果

各施設に衝突した漂流物の代表的な軌跡(最大衝突速度を生じたパターンにおいて、当該施設に衝突した全漂流物の軌跡)を図-4.47 に示す。また、石油タンク防護柵及び車両流出防止柵への衝突速度の集計 結果を、表-4.13 及び図-4.48 に示す。

- ・車両については、押し波或いは引き波によって車両が流出防止柵に衝突した。衝突速度は後藤のモデ ルの場合の方が大きく、最大で0.56m/sであった。
- ・平均衝突回数については、後藤のモデルと鴫原モデルの場合で概ね一致していた。鴫原モデルの場合
 も、後藤のモデルと同様の軌跡をたどって岸壁際まで漂流した車両がいくつかあったためである。



図-4.47 北側用地における津波漂流物(車両)の軌跡

流速(m/s)	係留船舶	上架船舶	車両	流速(m/s)	係留船舶	上架船舶	車両
0.0 ~ 0.1			2.8	0.0 ~ 0.1			5.6
0.1 ~ 0.2			3.6	0.1 ~ 0.2			1.9
0.2 ~ 0.3			0.8	0.2 ~ 0.3			
0.3 ~ 0.4			1.4	0.3 ~ 0.4			
0.4 ~ 0.5			1.8	0.4 ~ 0.5			
0.5 ~ 0.6			0.1	0.5 ~ 0.6			
0.6 ~ 0.7				0.6 ~ 0.7			
0.7 ~ 0.8				0.7 ~ 0.8			
0.8 ~ 0.9				0.8 ~ 0.9			
0.9 ~ 1.0				0.9 ~ 1.0			
合計	0.0	0.0	10.4	合計	0.0	0.0	7.4

表-4.13 1 パターン当りの石油タンクへの平均衝突回数(左:後藤モデル、右:鴫原モデル)





図-4.48 衝突時流速毎の平均衝突回数(石油タンク、上段:後藤モデル、下段:鴫原モデル)

2) 外力の算出結果

石油タンク及び流出防止柵について、津波諸元及び津波漂流物衝突に関する諸元をに整理した。また 漂流物対策施設の諸元として杭タイプ(図-4.16参照)を想定し、その諸元を図-4.16の通りに設定した 上で、上記の数値を用いて漂流物衝突力を池野の式で、津波波圧を抗力式で算出して表-4.15に整理した。

・最も衝突速度が大きくなった後藤モデルの場合の衝突速度・衝突浸水深を用いて算出した漂流物の衝 突力と衝突時津波波力の和(1.7kN)の方が、最大浸水深及び最大流速に基づく津波波力(0.1kN/m)より も大きくなった。

【抗力式(出典:津波漂流物対策施設設計ガイドライン)】

$$F_{D} = C_{D} \frac{\gamma_{W}}{2g} hU^{2} \dots (\vec{x} 4.1)$$
ここで、 F_{D} :単位幅当りの抗力(kN/m)、 C_{D} :抗力係数(円柱:1.0、角柱:2.0 など)
 γ_{W} :海水の単位体積重量(=10.1kN/m³)、 h :浸水深(m)、 U :流速(m/s)
【池野らの式(出典:漁港の津波避難に関するガイドライン)】

$$F_{H} = gMSC_{M} \left(\frac{V}{g^{0.5}D^{0.25}L^{0.25}}\right)^{2.5} \dots (\vec{x} 4.2)$$
ここで、 F_{H} :漂流物の衝突力(kN)、 C_{D} :抗力係数(円柱:1.0、角柱:2.0 など)
 γ_{W} :海水の単位体積重量(=10.1kN/m³)、 h :浸水深(m)、 U :流速(m/s)

津波漂流物対策施設(支柱タイプ)の模式図



図-4.49 対策施設の基本的な構造と諸元(想定)

表-4.14 対策施設に作用する外力に関する諸元(石油タンク防止柵)

		最大衝				
	後藤	Eデル	鴫原	Eデル	最大津波	最大
対象漂流物	最大 衝突速度 (m/s)	衝突時 浸水深 (m)	最大 衝突速度 (m/s)	衝突時 浸水深 (m)	取八戸版 流速 (m/s)	最八 浸水深 (m)
車両	0.56	0.51	0.16	0.51	0.72	0.53

表-4.15 衝突力及び津波波力の算出結果(石油タンク防止柵)

【津波衝突力と津波波力の比較】

対象漂流物		漂流物衝突力 (kN)		(直径0.5m	津波波力 ·高さ1.0mの円相 (kN/m)	津波波力+漂流物衝突力 (kN)		
	後藤モデルの 衝突速度 を用いる場合	鴫原モデルの 衝突速度 を用いる場合	津波諸元 を用いる場合	後藤モデルの 衝突時浸水深 ・流速	鴫原モデルの 衝突時浸水深 ・流速	最大浸水深 及び最大流速	後藤モデルの 場合	鴫原モデルの 場合
車両	0.8	0.0	1.5	0.1	0.0	0.1	0.9	0.1

(3) 対策工の効果

各モデルについて、代表的なケース(最大衝突速度が生じたケース)における、各施設の衝突漂流物の 軌跡を図-4.38 に整理した。

・本ケースについては、流出防止柵を設けることで、車両の泊地への流出を 100%防ぐことができる結果 を得た。



図-4.50 流出防止柵への衝突漂流物の代表的な軌跡の、対策の有無による違い

参考資料 - 1

(補足)

モデル地区における漂流シミュレーション(検証例)

【目次】

1. 計	算手法	1
1.1.	津波伝播遡上解析	1
(1)	基礎方程式	1
(2)	差分法	1
(3)	境界条件	2
1.2.	津波漂流物解析	5
(1)	後藤(1983)の方法	5
(2)	加藤・鴫原(2013)の方法	6
2. 解	析手法の検証	8
2.1.	再現目標の設定	8
2.2.	計算モデルの構築	. 10
(1)	津波伝播解析モデルと計算条件の設定	. 10
(2)	再現性の評価と適用性の確認	. 19

1. 計算手法

1.1.津波伝播遡上解析

(1) 基礎方程式

津波伝播遡上解析の基礎方程式は、「津波浸水想定の手引き、ver.2.00」(国土交通省)に基づき、以下 に示すとおりに設定した。

【連続式】 $\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0$ 【運動方程式】 $\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{M^2}{D}\right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{MN}{D}\right) + gD \frac{\partial \eta}{\partial x} + \frac{gn^2}{D^{7/3}} M \sqrt{M^2 + N^2} = 0$ $\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{MN}{D}\right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{N^2}{D}\right) + gD \frac{\partial \eta}{\partial y} + \frac{gn^2}{D^{7/3}} N \sqrt{M^2 + N^2} = 0$ ここに、 η は静水面からの水位変化量、D は水底から水面までの全水深、g は重力加速度、 n はマニングの粗度係数、M,N は x, y 方向の流量フラックスである。

(2) 差分法

境界差分法については、空間差分にはスタッガード格子を用い、時間差分にはリープフロッグ法を用いた。また、運動方程式の移流項には一次風上差分を用い、摩擦項は数値発散を防ぐために陰的に差分 化した。



図-1.1 時間・空間座標中の水位・流量の定義位置

(3) 境界条件

1) 沖側境界条件

計算領域の外縁部では、進行性長波の特性条件に基づく方法(岩崎・楊(1974)*)により津波を自由透 過させた(無反射境界)。

2) 陸側·遡上境界

遡上境界

陸側では、岩崎ら(1979)**の方法により、遡上境界条件を設定した。海域から遡上端までを計算対象 領域として設定し、その周辺格子への遡上の有無(計算範囲拡張の有無)を、津波先端部の水深が限界水 深を越えるか否かで判定するものである。本業務では、津波先端部での限界水深を、0.01mとした。 遡上境界条件の模式図を図-1.2に示す。



図-1.2 遡上境界条件の模式図

^{*}岩崎敏夫・楊沢民(1974):三陸大津波の数値実験,第21回海岸工学論文集, pp. 83-89.

^{**}岩崎敏夫・真野明(1979):オイラー座標による二次元津波遡上の数値計算、第26回海岸工学論文集、 pp. 70-74.

越流境界

越流条件については、本間(1940a*、1940b**)の越流公式を用いた。図-1.3に越流公式 とその概念図を示す。



図-1.3 越流公式と概念図

領域接続条件

本業務では、計算時間間隔・格子間隔の異なる複数の計算領域を入れ子状に組み合わせる(ネスティング)ことで、波源域を含む広範囲の海域を計算領域内に収めながら、計算対象領域¥を十分な空間解像度で再現した。

ここで、計算領域の境界における地形・水位・流量の接続には、柴木(2004)***の方法を用いた。概要 は以下のとおりである。

【計算領域の設定】

接続境界において、2つの領域(大領域、小領域)が重複するように設定する。(図-1.4参照)

【地形の接続】

領域が重複する接続領域においては、地形データを以下のとおりに設定する。

- 小領域の接続領域における各格子の水深は、重複する大領域の格子の水深と一致させる。
- 大領域の接続領域における各格子の水深は、各格子の範囲内にある小領域の格子の最大水深で置き換える。また、各格子の範囲内にある小領域格子の水深は、すべて範囲内の最大水深で置き換える。

【水深・水位・流量の接続】

接続領域における水深・水位・流量は、他領域の値を内挿することで算出する。(図-1.4参照)

^{*}本間仁(1940a):低溢流堰堤の流量係数、土木学会誌、Vol. 26、No. 6、pp. 635-645.

^{**}本間仁(1940b):低溢流堰堤の流量係数、土木学会誌、Vol. 26、No. 9、pp. 849-862.

^{***}柴木秀之(2004):波浪・高潮・津波の数値計算と沿岸防災支援システムへの応用に関する研究



図-1.4 領域接続の模式図

1.2.津波漂流物解析

(1)後藤(1983)の方法

後藤(1983)は、個々の漂流物を質点とみなした場合の運動方程式として式 1.1 を、漂流物の拡散を考慮した漂流物の移動経路の算定式を式 1.2 のとおりに提案した。漂流物の移動・停止条件は、浸水深及び掃流力の敷居値を漂流物毎に与えることで設定した。

下記の方程式では、式 1.2 における拡散係数の導入により漂流物同士の衝突を考慮している。また、 式 1.1 の右辺第 3 項、第 4 項は、モリソン式による津波の漂流力である。

【計算手法の特徴と適用範囲】

- ・回転運動等の剛体運動や衝突運動を考慮していない分、計算負荷が他のモデルと比較して少ないため、 多量の漂流物群についての解析に適している。
- ・個別の漂流物についての解析精度は低く、漂流物数が少ない場合には衝突現象を正確に評価できない 可能性がある。
- ・個別の漂流物について、以下の6種類のパラメータを設定する必要がある。漂流開始・終了の判定は、 浸水深或いは流速があらかじめ設定した漂流開始の敷居値との比較により行う。

①質量

②体積

③付加質量係数

④流水抵抗係数

⑤漂流開始条件

⑥漂流終了条件

(2)加藤・鴫原(2013)の方法

本多ら(2009)は、モリソン式を拡張した池谷ら(2005)の評価式により漂流物へ作用する流体力を評価 し、漂流物の並進運動及び回頭運動についての運動方程式を示すと同時に、漂流物の乗り上げ(座礁)、 漂流物の相互衝突、漂流物と建物側面との衝突を考慮するモデルを提案した。加藤・鴫原ら(2013)は、 本多ら(2009)の提案した手法に基づく数値解析結果が、実験結果を良好に再現することを確認した。

加藤・鴫原ら(2013)の用いた運動方程式及び回転速度についての方程式を式1.3~式1.5に示す。ここで、ωは水深/吃水の関数として式1.5で定義される重み関数である。また、当手法では運動量及び角運動量の保存則に基づき、漂流物の衝突前後の流速値を算定することで、漂流物の衝突過程を計算している。方程式が定義されている座標系は、漂流物空間固定座標系(漂流物の長軸方向がX軸、短軸方向がY軸)である。

$m(\frac{d\vec{u}}{dt} + \vec{\Omega} \times$	\vec{u}) = $(1 - \sigma)\vec{F}_{D1} + \sigma\vec{F}_{D2} + \vec{F}_{M}$ (式 1.3)
$(I_{zz} + J_{zz})\frac{dg}{dt}$	$\frac{\Omega}{t} = (1 - \sigma)M_{DZ1} + \sigma M_{DZ2} + M_{MDZ} \qquad (\ddagger 1.4)$
$\varpi = \begin{cases} 1.0 - \frac{0.9}{0.00000000000000000000000000000000$	$\frac{95}{2}(\frac{h}{D} - 1.0): 1.0 < \frac{h}{D} < 1.2$ $95 : 1.2 < \frac{h}{D}$ (式 1.5)
ここで、	
$m, \vec{u}, \vec{\Omega}$:漂流物の質量、漂流物の速度ベクトル、及び回転角速度ベクトル
$\vec{F}_{D1}, \vec{F}_{D2}, \vec{F}_{M}$:流れが側壁に対して垂直な方向に変化することによって生じる抗力、流れが側壁の方
	向に変化することによって生じる抗力、慣性力
I_{zz}, J_{zz}, M_{DZ1}	:慣性モーメント、付加慣性モーメント、流れが側壁の方向に変化することによって生
	じる抗力
M_{DZ2}, M_{MDZ}	:流れが水平方向に変化することによって生じる抗力、慣性力
D,h	:漂流物の喫水、水深

式 1.3 の運動方程式中の抗力は、式 1.6~式 1.8 で定義される。ここで、積分記号の下添字は、積分対象とする面を示している(sm:船首、sn:船尾、ps:左舷、sb;右舷)。

$$\vec{F}_{D1} = \frac{\rho}{2} \left(\iint_{Sm} C_{Dx1} u_x |u_x| dY dZ + \iint_{Sn} C_{Dx1} u_x |u_x| dY dZ \right)$$

$$\vec{F}_{D2} = \frac{\rho}{2} u_G^{-2} B D \left(\begin{array}{c} C_{Dx2} \frac{u_{Gx}}{|u_{Gx}|} \\ C_{DY2} \frac{u_{Gy}}{|u_{Gy}|} \end{array} \right)$$

$$\vec{F}_{M} = \frac{\rho}{2} C_M D \left(\begin{array}{c} L \iint_{Sm} \frac{\partial u_x}{\partial t} dY + L \iint_{Sn} \frac{\partial u_x}{\partial t} dY \\ B \iint_{ps} \frac{\partial u_y}{\partial t} dX + B \iint_{Sv} \frac{\partial u_y}{\partial t} dX \end{array} \right) \dots (\vec{x} 1.8)$$

6

ここで、

C_{Dx1}, C_{Dy1}	:漂流物の側壁位置に置いて、壁面に垂直方向に作用する力の抗力係数
C_{Dx2}, C_{Dy2}	:流れが平面方向に変化することによって生じる力の、長軸方向・短軸方向の抗力係数
\vec{u}_G, C_M	:漂流物の重心の速度ベクトル、付加質量
B,L,l	:漂流物の幅、長さ、モーメントレバー(漂流物の形状に依存する量)

式-1.4の回転速度に関する方程式中の抗力は、式1.9~式1.11で定義される。

$$M_{DZ1} = \frac{\rho}{2} (-\iint_{sm} C_{Dx1} u_x | u_x | Y dY dZ - \iint_{sn} C_{Dx1} u_x | u_x | Y dY dZ + \iint_{ps} C_{Dy1} u_y | u_y | X dX dZ + \iint_{sn} C_{Dy1} u_y | u_y | X dX dZ) \dots (\vec{\mathfrak{r}, 1.9})$$

$$M_{DZ2} = lF_{D2} \dots (\vec{\mathfrak{r}, 1.10})$$

$$M_{DZ} = -\frac{\rho}{2} C_M DL \left(\iint_{sm} Y \frac{\partial u_x}{\partial t} dY + \iint_{sn} Y \frac{\partial u_x}{\partial t} dY \right) + \frac{\rho}{2} C_M DB \left(\iint_{ps} X \frac{\partial u_y}{\partial t} dX + \iint_{sv} X \frac{\partial u_y}{\partial t} dX \right) \dots (\vec{\mathfrak{r}, 1.11})$$

【計算手法の特徴と適用範囲】

- ・回転運動等の剛体運動や衝突運動を、個々の漂流物について直接計算するため、より高精度な計算が 可能である。
- ・後藤の方法と比較すると、計算負荷が大きい。
- ・各漂流物の漂流特性は、以下の6種類のパラメータによって決定づけられる。後藤(1983)の方法と比較すると、適切な計算の実施のためにより多くの情報が必要となる。

①質量

②漂流物側壁における抗力係数の分布

③長軸方向及び短軸方向の抗力係数

④漂流物の形状に関するパラメータ(幅、長さ、モーメントレバー、喫水等含む)

⑤付加質量係数

⑥付加慣性モーメント

2. 解析手法の検証

2.1.再現目標の設定

チリ地震津波(2010)を対象とした津波伝播遡上解析を実施し、その結果を入力条件として気仙沼湾内 の養殖筏を対象とした津波漂流物解析(後藤(1983)の方法及び加藤・鴫原(2013)の方法)を実施し、解析 結果とチリ地震津波(2010)来襲時の養殖筏の被災状況を比較することで、津波漂流物解析手法の適用性 を検証した。図-2.1~図-2.2に、当該津波来襲時における養殖筏の被災状況を示す。



図-2.1 チリ地震津波(2010)による養殖後の被災状況 (気仙沼漁業協同組合による養殖筏被害状況調査結果)



図-2.2 チリ地震津波(2010)による養殖筏の被災状況 (気仙沼市による養殖筏被害状況調査結果)

2.2.計算モデルの構築

(1) 津波伝播解析モデルと計算条件の設定

1) 計算条件の概要

本業務で使用した津波伝播遡上解析モデルの計算手法・計算条件の概要を表-2.1に示す。また、計算 条件の各項目の詳細は、次頁以降に示すとおりである。

			再現計算				
	其碑方程	! *	線形長波方程式(チリ沿岸部~日本近海)				
計算	至视了了任	-10	非線形長波方程式(北海道~東北の太平洋沿岸域全域)				
			時間差分:Leap-Flog 差分法				
	美分注		空間差分:スタッガード格子による差分				
	至川位		移流項:一次風上差分				
			摩擦項:陰的差分				
		沖側	無反射・透過境界				
手法	培典	陸側	遡上境界(450m格子領域以下で沿岸部全域遡上境界とした)				
	^児 2℃ 冬件	越流	本間の越流公式(1940)				
	까다	生神冬件	・岩崎・真野(1979)の方法				
		ᅸᄳᆓᆡᅮ	・最小水深:0.01m				
	領域接続条件		・地形の接続:柴木(2004)の方法を採用。				
			・水位・流量の接続:柴木(2004)の方法を採用。				
	その他の	設定	緯度によるコリオリカの変化を考慮した				
	波源条件	:	チリ地震津波(2010)(USGS モデル゛、波源倍率 1.57())				
			潮位(T.P.+0.00m)				
			チリ地震津波来週中(発震20時間後~)において潮位が有意に				
			変化していたことや、養殖筏被災時の潮位が水域により異な				
	潮位条件		っていたと考えられることなどから、計算潮位を一意に定め				
			ることは困難と考えた。従って本業務では、養殖筏設置個所				
			の水深が十分に深く、水深が漂流力に与える影響が小さいと				
			考え、計算潮位を基準水面(T.P.±Om)で設定した。				
	計算領域	2	チリ沿岸部~気仙沼湾を含む北海道~東北の太平洋沿岸域全域				
計算	計算格子	間隔	• 5 -1350m-450m-150m-50m-10m				
条件	計算時間]	36 時間				
	計算時間	間隔	5°:2.0sec、1350m~10m:0.1sec				
	地形条件		GEBCO(全球水深データ)				
			海底地形デジタルデータ(M7000 シリーズ)(日本水路協会)				
	粗度条件	:	小谷ら(1998) […] の指標に基づき、土地利用状況に応じて設定。				
	構造物	データ化対象	海岸堤防、河川堤防、漁港・港湾施設				
	条件	破堤条件	なし				
			河川流は考慮しない				
	河川の水	位条件	(養殖筏に作用する漂流力の評価にはほとんど影響しないと判				
			断した)				

表-2.1 津波伝播解析モデル 計算条件概要(再現計算)

()…計算津波高と津波痕跡高の関係が、相田(1977)の指標を満足するように調整した。

^{* &}quot;2010 Significant Earthquake and News Headlines Archive, Earthquake Hazards Program, USGS"

⁽http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eqinthenews/2010/us2010tfan/)

^{**} 小谷美佐・今村文彦・首藤伸夫:GIS を利用した津波遡上計算と被害推定法,海岸工学論文集,第45 巻, pp.356-360, 1998.

2) 波源モデル

チリ地震津波(2010)の波源モデルとして、U.S. Geological Survey(USGS)の Earthquake Hazards Program が公開している地震データベース(Significant Earthquake Archive)に登録されている断層パラ メータ*を採用した。但し、計算津波高が気仙沼湾内の津波痕跡高さを再現できるように、すべり量に定 数(後述の検討により、定数=1.57 で設定)を乗じた場合の断層パラメータを用いた。

当断層パラメータに基づいて Okada (1995)の方法により計算した初期水位分布図を、図 2.1 に示す。



図 2.1 初期水位分布図(チリ地震津波(2010)、Okada(1995)の方法により算定)

^{* &}quot; 2010 Significant Earthquake and News Headlines Archive, Earthquake Hazards Program, USGS" (http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eqinthenews/2010/us2010tfan/)

3) 計算領域及び地形条件の設定

再現計算では、計算領域及び計算格子間隔を表-2.2及び図-2.4~図-2.6に示すとおりに設定した。 チリ沖に設定した津波波源域から日本近海までの津波の伝播は、5'格子間隔のモデルによる線形長波 方程式に基づき解析し、日本近海から検討対象域(気仙沼湾)までの津波の伝播は、1350m格子間隔~10m 格子間隔のモデルにより非線形長波方程式に基づいて解析した。日本近海から検討対象域までの解析に 用いたモデルにおいて、ネスティングにより沖合から検討対象に向かって格子間隔を小さくしていくこ とで、沿岸部を含む日本近海全域を計算領域に含めつつ、検討対象域である気仙沼湾内を精度よく計算 できるように設定した。

計算領域	計算格子間隔	基礎方程式	基礎データ
チリ沖~日本近海 沖合(日本近海)	5	線形長波方程式 (球面座標系)	・GEBCO(全球水深データ)
	1 3 50m		
	450m	北海亚百法之四子	
	150m	非線形長波力程式	・海底地形デジタルデータ (M7000 シリーブ)
	50m		
計算対象(気仙沼湾)	10m		

表-2.2 計算領域と計算格子間隔



図-2.3 計算に用いた地形データと計算領域の配置(5 格子領域)

12



図-2.4 計算に用いた地形データと計算領域の配置(1350m格子領域~150m格子領域)







図-2.6 計算に用いた地形データと計算領域の配置(50m 格子領域~10m 格子領域)

4) 計算時間及び計算時間間隔の設定

a) 計算時間

チリ地震(2010)の発生時刻は2月27日6時34分(UTC)であり、日本沿岸域におけるチリ地震津波(2010) の第一波到達時刻は2月28日5時頃で、地震発生から22~23時間後であった。また、日本沿岸域にお いてチリ地震津波(2010)による水位擾乱が卓越していたのは、第一波到達時から12時間程度であった。 上記を踏まえ、計算時間は36時間(≒23+12時間)で設定した。

b) 計算時間間隔

計算時間間隔は、以下の考え方に基づいて、領域毎に表-2.3に示すとおりに設定した。

- ・計算時間間隔は、計算が安定となる条件(C.F.L.条件)を満足するように設定した。
- ・C.F.L. 条件を満足していても発散が生じる場合には、計算の安定性を考慮し水位の擾乱等が発生しな いように計算時間間隔を十分小さく設定した。



計算領域	計算格子 間隔	計算時間 間隔	C.F.L.条件による判定
波源域	5 (約 9000m)	2.0秒	$\Delta x / \Delta t \sqrt{2gh_{\text{max}}} = 9300/2.0 \times \sqrt{2 \times 9.8 \times 10600} = 10.2 > 1.0$ OK
	1350m	0.9秒	$\Delta x / \Delta t \sqrt{2gh_{\text{max}}} = 1350 / 0.9 \times \sqrt{2 \times 9.8 \times 9500} = 3.5 > 1.0$ OK
	450m	0.9秒	$\Delta x / \Delta t \sqrt{2gh_{\text{max}}} = 450 / 0.9 \times \sqrt{2 \times 9.8 \times 2600} = 2.2 > 1.0$ OK
	150m	0.3秒	$\Delta x / \Delta t \sqrt{2gh_{\text{max}}} = 150 / 0.3 \times \sqrt{2 \times 9.8 \times 440} = 5.4 > 1.0$ OK
	50m	0.1秒	$\Delta x / \Delta t \sqrt{2gh_{\text{max}}} = 50 / 0.1 \times \sqrt{2 \times 9.8 \times 150} = 9.2 > 1.0$ OK
計算対象	10m	0.1秒	$\Delta x / \Delta t \sqrt{2gh_{\text{max}}} = 10/0.1 \times \sqrt{2 \times 9.8 \times 125} = 2.0 > 1.0$ OK

表-2.3 計算時間間隔の設定

5) 構造物条件

本業務では、10m 格子領域内に位置する漁港・港湾・海岸施設のうち、10m 格子モデルで表現できない 線的構造物を、構造物データとして設定した。構造物データの配置及び高さの分布は、図-2.7 に示すと おりである。



図-2.7 構造物データ設定図

6) 津波漂流物解析条件の設定

現地踏査結果や航空写真等に基づき、本解析の解析対象である養殖筏の寸法及び漂流開始・停止条件 を表-2.4のとおりに設定した。対象漂流物の分布及び概観を、図-2.8に示す。

項目	3	設定値	設定の考え方と参考資料
	縦幅	9.Om	宮城県漁業協同組合 HP [*] を参考に設定
筏	横幅	5.4m	宮城県漁業協同組合 HP [®] を参考に設定
形	木材直径	0.2m	林野庁 HP**を参考に設定
状	木材間隔(縦方向)	8本	宮城県漁業協同組合 HP [®] を参考に設定
	木材間隔(横方向)	10 本	宮城県漁業協同組合 HP [®] を参考に設定
筏	木材密度(スギを想定)	400kg/m ³	スギの代表的な密度を設定
里壘	筏総重量	6300kg	$400 \times (9.0 \times 8+5.4 \times 10) \times 0.2^2 =6300$
漂洗	漂流開始条件		藤間ら(2010)***を参考に設定

表-2.4 漂流物諸元

^{* 「}みやぎの海のさかな図鑑 カキ養殖」、宮城県漁業協同組合 HP(http://www.jf-miyagi.com/omotenashi/html/zukan12b.html)

^{**} 東日本大震災被害沿岸部(岩手県陸前高田市・宮城県石巻市)へのカキ養殖筏用丸太の供給と養殖漁業の復興支援について、林野庁HP (www.rinya.maff.go.jp/tohoku/sidou/pdf/24k32.pdf)

^{***}藤間ら(2010): 2010 年チリ津波による養殖施設の被害調査、地域安全学会便概集、No. 26、2010.06



図-2.8 津波漂流シミュレーションの解析対象とした養殖筏の配置範囲

(2) 再現性の評価と適用性の確認

1) 津波伝播遡上解析結果の再現性検証

東北大学津波痕跡データベースに登録されている、気仙沼湾内におけるチリ地震津波(2010)の津波痕跡高(信頼度Aの痕跡のみ)と、当該地点(図-2.10参照)における計算津波高の比較を表-2.5及び図-2.9 に示す。ここで上記の計算結果は、津波痕跡高と計算津波高の関係性が下記の相田(1977)の指標を満足するように、断層すべり量に定数(=1.57)を乗じた場合のものであり、このとき計算結果に基づくK値及び κ 値が下記の式 1.4を満足していることから(K値: 1.00、 κ 値: 1.44)、上記の定数が妥当であると判断する。



^{**}津波浸水想定の設定の手引き Ver. 2.00、平成 24 年 10 月、国土交通省

番号(i)	<u>痕跡高(Ri)</u> (m)	<u>計算高(Hi)</u> (m)	痕跡 種別	信頼度	痕跡詳細	Ki=Ri/Hi	log(Ki)	log(Ki)^2
1	0.56	0.41	浸水高	Α	気仙沼湾魚市場裏の浸水先端	1.37	0.31	0.10
2	0.64	1.14	浸水高	Α	鶴ヶ浦防潮堤のゲートの壁道路の遡上先端	0.56	-0.58	0.33
3	0.72	1.10	浸水高	Α	気仙沼湾エースポート裏の浸水先端	0.65	-0.42	0.18
4	0.74	1.43	浸水高	Α	杉ノ下漁港浸水した道路	0.52	-0.66	0.43
5	0.88	1.00	浸水高	Α	松岩漁港片浜マリーナわきの浸水先端	0.88	-0.13	0.02
6	0.88	0.89	浸水高	Α	波路上漁港	0.99	-0.01	0.00
7	0.89	1.28	浸水高	Α	長磯浜漁港岸壁の付近の痕跡	0.70	-0.36	0.13
8	0.89	0.83	浸水高	Α	大川河道内の浸水先端	1.07	0.07	0.00
9	0.89	0.60	浸水高	Α	大川曙橋上流の石渡商店内の堤防にある排水	1.48	0.39	0.16
10	0.91	1.14	浸水高	Α	鶴ヶ浦防潮堤のゲートの壁	0.80	-0.23	0.05
11	0.92	1.10	浸水高	Α	気仙沼湾エースポート裏の浸水先端	0.84	-0.18	0.03
12	0.98	0.87	浸水高	Α	湾奥部 防潮堤前花壇下	1.13	0.12	0.01
13	1.01	1.00	浸水高	Α	蜂ヶ先作業場の壁	1.01	0.01	0.00
14	1.05	1.15	浸水高	Α	エースポートエースポート前面岸壁	0.91	-0.09	0.01
15	1.21	1.15	浸水高	Α	気仙沼湾佐繁魚問屋	1.05	0.05	0.00
16	1.24	1.15	浸水高	Α	気仙沼湾エースポート前	1.08	0.08	0.01
17	1.30	1.03	浸水高	Α	小々汐船揚場の遡上先端	1.26	0.23	0.05
18	1.39	0.89	浸水高	Α	気仙沼湾奥部鹿折川河口付近の防潮堤前	1.56	0.45	0.20
19	2.19	0.87	浸水高	Α	湾奥部防潮扉下	2.52	0.92	0.85

- 衣- Z.3 ナリ地辰/手収/2010/による/手収/限/が向し計 昇/手収向さり/L	表-2	2.5	チリ地震津波((2010)による	6津波痕跡高と	:計算津波高さの比	較
---	-----	-----	---------	-----------	---------	-----------	---



図-2.9 チリ地震津波(2010)による津波痕跡高と計算津波高さの比較

20



図-2.10 チリ地震津波(2010)による気仙沼湾内の津波痕跡高分布(出典:東北大学津波痕跡データベース)

2) 津波伝播遡上解析結果

津波伝播遡上解析結果として、最高水位分布及び最大流速分布図を、図-2.11~図-2.12に示す。

- ・気仙沼湾の湾口から湾奥に向かうに従い、最高水位が大きくなっている様子が分かる。湾奥における せり上がりの影響によるものと考える。(図-2.11参照)
- ・気仙沼湾の狭窄部における流速の発達を確認した。水域によっては、流速は 2.0m/s 以上までに達して おり、水域が特に大きくなった箇所(図-2.12参照)は養殖筏の被災範囲と概ね一致していた。



図-2.11 最高水位分布(チリ地震津波(2010))



図-2.12 最大流速分布(チリ地震津波(2010))

3) 津波漂流物解析結果の整理と再現性の検証

養殖筏の被災状況の比較

津波漂流物解析結果として、被災した漂流物の分布を図-2.13 に示し、後藤モデル及び鴫原モデルの 場合の代表的な漂流物の軌跡を図-2.14、図-2.15 に示す。

いずれの解析モデルにおいても、解析結果における漂流物の被災状況は、気仙沼漁港港奥部を除いて、 実際の被災状況をよく再現していたと考える。気仙沼漁港の養殖筏の被災状況の不整合については、当 該水域が静穏であるためにアンカー重量が他水域よりも小さかったこと等が原因として想定される。







図-2.14 後藤モデルの場合の代表漂流物の軌跡


図-2.15 鴫原モデルの場合の代表漂流物の軌跡

養殖筏の漂流状況との比較

津波来襲時に気仙沼合同庁舎の屋上より撮影された映像から、確認される津波漂流物の移動状況を認、 津波漂流物解析結果と比較することでその妥当性を検証した。

図-2.16 に、映像より確認された漂流物の移動状況を示す。2/28 15:51 の映像で、湾奥に向かって進行する養殖筏等の漂流物群の先端が、蜂ヶ崎の東側に到達したことが確認できる。また、2/28 15:55 の 映像で、漂流物群の先端部が蜂ヶ崎の西側に到達したことを確認した。映像より、当該漂流物は4分15 秒で450m程度移動したことが確認できるため、漂流速度は1.5m/s~2.0m/s程度であったと推算できる。 また、②の位置から③の位置(約 300m と推定)までの漂流には、6分程度を要していたため、当該区間の 漂流速度は0.5m/s程度であったと推算できる。

図-2.16 に示した漂流物の挙動と、代表的な漂流物の軌跡を図に示す。ここで、ビデオの映像より図-2.16 の気仙沼漁港(小々潮)以東より来襲してきたものと推測する。

28



図-2.16 2010年チリ地震津波来襲時における養殖筏等の漂流の様子

漁港の津波漂流物対策施設設計ガイドライン(案)

平成28年3月

水產庁漁港漁場整備部

~まえがき~

平成28年3月 水産庁漁港漁場整備部長 高吉 晋吾

平成 27 年度津波漂流物対策の技術検討調査委員会 委員長挨拶

秋田大学大学院 工学資源学研究科 教授 松富 英夫

平成 27 年度 津波漂流物対策の技術検討調査検討委員会 委員名簿

【委員】

氏	名		所属
委員長	松冨	英夫	秋田大学大学院
			工学資源学研究科 土木環境工学専攻
			教授
	八木	宏	防衛大学校
			システム工学群 建設環境工学科
			教授
	越村	俊一	東北大学
			災害科学国際研究所 災害リスク研究部門 広域被害把握研究分野
			教授
	阿部	幸樹	岩手県
			農林水産部漁港漁村課
			課長

【事務局】

氏名	所属
吉塚 靖浩	水産庁 漁港漁場整備部 整備課
	課長
内田智	水産庁 漁港漁場整備部 整備課
	課長補佐
朝倉 邦友	水産庁 漁港漁場整備部 整備課
	漁港漁場専門官
西崎孝之	一般財団法人 漁港漁場漁村総合研究所 第1調査研究部
	部長
加藤 広之	一般財団法人 漁港漁場漁村総合研究所 第1調査研究部
	主席主任研究員
竹原 洋一郎	一般財団法人 漁港漁場漁村総合研究所 第1調査研究部
	主任研究員
奥野 正洋	株式会社アルファ水エコンサルタンツ 東京本部
	副本部長
佐藤 勝弘	株式会社アルファ水エコンサルタンツ 東京本部 技術部
	部長
冨澤 伸樹	株式会社アルファ水エコンサルタンツ 東京本部 技術部
	チームリーダー
五十嵐 雄介	株式会社アルファ水エコンサルタンツ 東京本部 技術部
	主任

目 次

1. ガイ	ゲラインについて
1.1	ガイドラインの目的1
1. 2	ガイドラインの位置づけ1
1.3	ガイドラインの適用1
1.4	ガイドラインの構成3
1.5	用語の定義
2. 漁港	きの漂流物対策の考え方5
2. 1	漁港の漂流物対策の考え方5
2. 2	漁港の漂流物対策の対象範囲7
2.3	対象施設(守るべき施設)8
3. 津波	皮漂流物対策施設
3.1	津波漂流物対策施設の考え方9
3. 1.	.1 津波漂流物対策施設の考え方9
3. 1.	2 津波漂流物対策施設の役割9
3. 2	津波漂流物対策施設の配置10
3. 2.	.1 検討の手順
3. 2.	.2 基本条件の把握
3. 2.	.3 津波漂流物対策施設の配置計画14
3.3	津波漂流物対策施設の設計
3. 3.	.1 設計の考え方
3. 3.	.2 設計条件の設定
3. 3.	.3 作用
3. 3.	.4 構造設計
3.4	津波漂流物対策施設の計画・設計例43

1. ガイドラインについて

1.1 ガイドラインの目的

先に発生した東北地方太平洋沖地震津波(2011年3月)や日本海中部地震津波(1983 年5月)では、津波に起因する漂流物が漁港施設や水産施設、漁港背後の集落などに多 くの被害をもたらした。近い将来に起こる可能性が高い東海・東南海・南海地震等にお いても、船舶をはじめとした漂流物が、陸上施設に甚大な被害をもたらすことが想定さ れ、その被害を最小限にするためにも漂流物対策は重要かつ喫緊の課題である。

本ガイドラインは、漁港の特性を踏まえた津波による漂流物対策のための施設(以下、 津波漂流物対策施設)の配置計画及び設計手法に係る基本的な考え方をとりまとめた ものである。

1.2 ガイドラインの位置づけ

本ガイドラインは、「災害に強い漁業地域づくりガイドライン¹」中の"IV 周到な災 害予防 3.漁港・漁村の防災力の向上 3-6 漂流物による被害の拡大防止"について、 この具体的手法の1つを示したものである。

1.3 ガイドラインの適用

本ガイドラインは、漁港管理者が、主に海岸保全施設で防護されていない堤外地等に ついて、津波の発生時に漂流物による被害から重要な漁港機能を守るための災害予防 対策を講ずる際に活用されるものとして取りまとめている。

(1) 対象とする範囲

本ガイドラインの主な対象範囲は、漁港の堤外地(荷捌き所や水域施設などの守るべき施設が含まれる範囲)を基本とする(図 1-1)。

(2) 対象とする者

本ガイドラインの主な対象者は、漁港管理者とする。

(3) 対象とする漂流物

漁港で発生する主な漂流物としては、船舶、車両、養殖施設、漁具、防潮林, 貯留木 材、石油タンク等が挙げられる。本ガイドラインでは、上記の中でも比較的被害事例の 多い下記3つを対象とする(写真 1-1)。

^{1 「}災害に強い漁業地域づくりガイドライン」平成24年3月、(社)全国漁港漁場協会



写真 1-1 漁港で発生する主な漂流物



図 1-1 本ガイドラインの主な対象範囲

1.4 ガイドラインの構成

本ガイドラインは、漁港の特性を踏まえた漂流物対策及び津波漂流物対策施設に係る基本的な考え方を以下の構成で示すものである。

章	頁	内容
笠1音	1~4	ガイドラインの位置づけ、対象、構成、用語の定義について説
和工卒		明
労の音	5~8	漁港の漂流物対策の基本的な考え方、対策によって防護する範
<i> </i>		囲と施設について説明
空り卒	9~	津波漂流物対策施設の基本的な考え方、配置計画ならびに設計
第3草		手法等について説明
資料編		過去の津波災害から見る漂流物、津波漂流物対策施設の事例、
		漂流シミュレーションの活用方法等について説明

表 1-1 ガイドラインの構成

本ガイドラインは、基本的考え方、解説、参考情報およびコラムを以下の記述方法で記載している。

r【基本的考え方】-

各項目の冒頭に必要に応じて基本的考え方を整理

【解 説】

基本的考え方を文章、図表、写真等で解説

【参考情報】
 ・事例、参考データ等を掲載する場合はこの枠囲み
 コラム、トピックス、人の話等

1.5 用語の定義

•

本ガイドラインの記載内容に関して、基本的な用語を以下に解説する。

・ 漂流物:津波により浮遊・漂流する物質のうち、海上の漁船や養殖筏、陸上の車両や市場 内の資機材等、周辺に物理的な影響を及ぼすおそれがあるもの。

> **4** 4-6-b383

2. 漁港の漂流物対策の考え方

2.1 漁港の漂流物対策の考え方

┌【基本的考え方 】−

漁港の漂流物対策は、①漂流発生防止対策、②衝突防止対策、③拡散・滞留防止対策 に大別される。また、検討に際する対象津波は「発生頻度の高い津波(L1)」を基本と する

【解 説】

(1) 対策

① 漂流発生防止対策

「災害に強い漁業地域づくりガイドライン」では、漂流物の発生を防止するための事 前の対策として、以下に示す主にソフト面での取り組みの推進を掲げている。

- 漁船やプレジャーボート、養殖イケス等の係留ロープを太くするなど係留方法の強化(係留ロープの強化による効果について)
- ・ 漁船やプレジャーボート等の保管場所・方法の変更
- ・ 漁間期の小型漁船などの高所保管
- 放置艇対策の徹底
- ・

 車両の保管位置、駐車位置の変更 など

本ガイドラインでは、後述の衝突防止及び拡散・滞留防止を目的とした主にハード面 での対策を中心に記載するものとし、本項に示すソフト対策については、上記ガイドラ インもしくは「漁業地域の減災計画策定マニュアル〜みんなでつくる減災計画〜²」を 参照とする。

2 衝突防止対策

東北地方太平洋沖地震津波では、津波の直接的な外力はもとより、漂流物化した漁船 や車両等の衝突により、人やモノが損傷、倒壊した事例が数多く報じられている。

前述の「災害に強い漁業地域づくりガイドライン」には、"漂流防止柵等の漂流防止 施設は、漁船やプレジャーボート等の移動を抑え、破損を軽減する効果を有する"とあ り、このことは、漂流防止施設が衝突防止対策としての役割を果たしているとも言える。 漂流防止施設、即ちここで言う衝突防止対策としては、主に次のものがある。

· 漂流防止柵

² 「漁業地域の減災計画策定マニュアル〜みんなでつくる減災計画〜」平成 24 年 3 月、(社)全国漁港漁場 協会

- 杭
- ・ 水門や自動昇降型の機能を有するゲート
- ・ 防潮林の設置
- ・ 既存のフェンスやポールなどの強化

③ 拡散·滞留防止対策

東北地方太平洋沖地震津波では、津波による漂流物が漁港内の泊地や航路に漂着・滞留し、岸壁の利用に多大な支障を及ぼしたことは記憶に新しい(写真 2-1)。

このような漂流物の漁港内(水域施設)への拡散・滞留被害を軽減するために、①漂 流発生防止対策で述べたソフト中心の対策と併せて、②衝突防止対策で述べた漂流防 止柵をはじめとする漂流防止施設の設置を推進することが肝要である。



写真 2-1 木材により埋め尽くされた漁港水域施設(宮城県石巻市)

なお、漂流物対策における費用対効果の考え方は、「平成23年東日本大震災を踏まえ た漁港施設の地震・津波対策の基本的な考え方³」中の"参考資料3 防波堤と防潮堤に よる多重防護の活用"を参考とする。

(2) 対象津波

本ガイドラインでは、漂流物対策の検討(津波漂流物対策施設の配置・設計 ※後述 参照)において、対象とする津波を「発生頻度の高い津波(L1)」を基本とする。

なお、対象津波の発生頻度は、地域性や施設の重要度、耐用年数、費用対効果を勘案 し、漁港管理者が判断してもよいものとする。

³「平成 23 年東日本大震災を踏まえた漁港施設の地震・津波対策の基本的な考え方」平成 26 年 1 月、 水産庁

2.2 漁港の漂流物対策の対象範囲

┏【基本的考え方 】ー

本ガイドラインでは、漂流物対策の対象範囲について、漁港の堤外地(守るべき施設 が含まれる範囲)を基本とする

【解 説】

「1.3(1)対象とする範囲」で述べたように、本ガイドラインの主な対象範囲は、漁港の堤外地(荷捌き所や水域施設などの守るべき施設が含まれる範囲)を基本とする



図 2-1 漂流物対策の対象範囲(再掲)

2.3 対象施設(守るべき施設)

┏【基本的考え方 】──

漂流物対策により"守るべき施設"は、水産物の生産・流通機能を確保するのに不可 欠な諸施設とする。

【解 説】

「災害に強い漁業地域づくりガイドライン」では、"3つの観点2つの柱"として"水産物生産・流通機能の確保"の重要性を説いている。

これを踏まえると、漂流物対策により"守るべき機能"ならびに"守るべき施設"は 以下の通りである。

水産物の生産・流通機能

● 守るべき施設

重要な係留施設(耐震岸壁等)、これに付随する水域施設(泊地・航路)、背後の荷捌 き施設、補給施設(給油施設等)

※上記機能の確保に不可欠な諸施設

3. 津波漂流物対策施設

3.1 津波漂流物対策施設の考え方

┏【基本的考え方 】ー

津波漂流物対策施設は、漂流物化した漁船や車両等の衝突による被害を軽減する、ま た漂流物の漁港内(水域施設)への拡散・滞留被害を軽減することを目的とした施設で あり、代表的なものとして漂流防止柵や杭などが挙げられる。

【解説】

3.1.1 津波漂流物対策施設の考え方

本ガイドラインで扱う津波漂流物対策施設は、前述の通り、漂流物化した漁船や車両 等の衝突による被害を軽減する、また漂流物の漁港内(水域施設)への拡散・滞留被害 を軽減することを目的とした施設であり、代表的なものとして漂流防止柵や杭などが 挙げられる。

同施設の設置にあたっては、岸壁、護岸等の施設の利用目的や背後施設の用地利用に 配慮し防護対象を明確にした上で、岸壁、背後施設等の利用者と日常的な利用に関する 協議を踏まえ配置計画を立てるほか、想定される津波の高さやそれに伴う流れの速さ、 想定される漂流防止対象物等に関する検討が必要である(「災害に強い漁業地域づくり ガイドライン」より)。

3.1.2 津波漂流物対策施設の役割

津波漂流物対策施設の役割について以下に示す。

(1) 目的

漂流物化した漁船や車両等の衝突による被害を軽減すること、養殖施設等の漂流物 の漁港内(水域施設)への拡散・滞留被害を軽減すること。

(2) 要求性能

津波漂流物対策施設の要求性能は、以下の要件を満たしていること。

- ・ 航路・泊地への拡散・滞留被害を軽減すること出来るよう適切なものとする。

(3) 性能規定

津波波力、衝突力、地震力に対して安定性・機能性を維持すること。

4-6-b388

3.2 津波漂流物対策施設の配置

┌【基本的考え方】-

津波漂流物対策施設の配置計画の検討は、(1)既往の津波伝播シミュレーション結果 を活用する方法と、(2)新たに漂流シミュレーションを活用する方法の2つの方法を基 本とする。

【解 説】

3.2.1 検討の手順

津波漂流物対策施設の配置計画の検討は、以下の2つの方法を基本とする。図 3-1~ 図 3-2 に各方法の検討フローを示すとともに、

表 3-1 には各方法の考え方ならびに特徴・課題を示す。

(1) 既往の津波伝播シミュレーション結果を活用する方法

(2) 新たに漂流シミュレーションを活用する方法

なお、配置計画の検討に際しては、津波伝播シミュレーションの結果が不可欠である が、漂流シミュレーションの実施は必須ではない。



図 3-1 施設配置検討フロー(既往の津波伝播シミュレーション結果を活用する方法)



図 3-2 施設配置検討フロー(新たに漂流シミュレーションを活用する方法)

方法	考え方	特徴・課題
既往の津波伝播シ	最大水位、最大流速分布を使用す	新たな漂流シミュレーションを
ミュレーション結	る。	行わないので比較的簡便に計画
果を活用する方法	最大流速により漂流の可能性を	が可能である。
	判定する。	対策施設の規模・範囲が過大とな
	施設位置の流速・方向により衝突	る恐れがある。
	力と範囲を算定する。	
新たに漂流シミュ	漂流物の移動範囲、速度が計算さ	対策施設の規模・範囲をより合理
レーションを活用	れるので、衝突力と範囲をより的	的に設定できる。
する方法	確に推定できる。	漂流シミュレーションに期間・費
		用が必要となる。

表 3-1 各方法の考え方ならびに特徴・課題

3.2.2 基本条件の把握

津波漂流物対策施設の配置計画の検討においては、対象とする漁港の整備方針や利 用状況、地理的条件、そして当該漁港に影響を及ぼし得る漂流源などの基礎的な条件に ついて把握する。

(1) 漁港整備方針・利用状況の把握

① 漁港整備方針の把握

津波漂流物対策施設の配置計画の検討に先立ち、対象とする漁港の整備事業基本計 画書にある"整備の方針"を把握して、漂流物対策が当初方針に対して齟齬等ないかを 確認する。

漁港利用状況の把握

防護対象者を設定するため、漁港及びその周辺にいる利用者について、利用内容、利 用エリア、利用時期・利用時間帯を整理する(下記参照)。

● 漁港及び周辺の防護対象者の内容把握

対象となる漁港及び周辺エリアには、漁業就業者・市場関係者・水産物流通業者、漁業・水産関連企業従事者、市場見学者や食堂や直販所の利用者、及び海洋性レクリエー ションの利用者等が集散している。

漁港及びその周辺にいる人々は、時期・時間帯によってその数が大きく変動するため、 避難対象者の設定にあたっては、漁業関係においては、漁業種類別に時期毎、時間毎に その行動を整理する。また、漁港への来訪者についても利用目的別に時期毎、時間毎に その行動を整理する。

● 防護対象者数の把握

前述の内容について、統計データや漁協等からのヒアリングにより、概略の利用者数 を把握・推定する。

漁港内でも、エリアによって利用者が集散する状況が異なる場合が多くあり、エリア 別に利用者の集中状況を整理することが必要な場合もある。

(2) 漁港周辺の地理的条件の把握

漁港内の津波漂流物対策施設の配置計画にあたって、施設の位置を検討するための 条件となる漁港周辺の地形、防潮堤(海岸堤防)の位置及び関連する周辺の整備・開発計 画について整理する。

① 漁港周辺の地形

漁港及び周囲の地形を踏まえて、漂流物の衝突可能性の範囲及び水域(泊地・航路)

4-6-b391

への流入・滞留可能性の範囲を基礎資料(計画平面図、地形図等)や現地踏査によって 確認する。

② 構造物の状況

本ガイドラインの対象範囲(堤外地)に存在する防潮堤、防波堤等の構造物について、 高さ・幅員・延長・構造形式を台帳等の基礎資料や現地踏査によって把握する。

③ 周辺の整備・開発計画

現状の把握に加え、今後の整備・開発の計画(復旧・復興整備を含む)についても把握 する。

(3) 漁港の漂流源の把握(種類・位置など)

漂流物対策の基本条件である漂流源(漂流物となり得る対象物)について把握する。 具体的には、本ガイドラインで対象とする漂流物である船舶や車両、さらには養殖施設 の種類・位置について、基礎資料(港勢調査、漁場図等)や現地踏査によって確認する。

(4) 対象施設の選定

前述の漁港整備方針・利用状況を踏まえて、対象とする漁港において守るべき施設 (重要な係留施設、これに付随する水域施設、背後の荷捌き施設、補給施設)を選定す る。

3.2.3 津波漂流物対策施設の配置計画

「3.2.1 検討の手順」に沿って津波漂流物対策施設の配置計画を行う。配置計画の検 討に際しては、前述の通り"既往の津波伝播シミュレーション結果を活用する方法"も しくは"新たに漂流シミュレーションを活用する方法"を用いる。

(1) 対策施設配置計画の考え方

基本条件の把握で得られた結果ならびに数値シミュレーション結果に基づき、漂流 物対策の必要性について検討を行う。その結果、対策が必要と判断された場合には、対 策施設の配置計画(案)作成および工法の選定を行い、検討した津波漂流物対策施設の 対策効果(減災効果、費用対効果)の検証を通じて、対策施設配置・工法を決定する。

(2) 漂流物対策方針の設定

漂流物対策は、漂流物の衝突、拡散・滞留可能性の範囲(防護範囲)と、漂流物の流 速・方向等条件(外力条件)を適切に考慮して、現地状況に応じた対策方針を設定する。 また、漁港利用者をはじめとする地域住民との合意形成を通じて、環境面(景観等)や 利用面(漁業活動に支障を来さない配置等)にも十分に配慮することが望ましい。

(3) 漂流物対策施設配置計画

① 漂流物対策の必要性の検討

i)既往の津波伝播シミュレーション結果を活用する方法

対象とする漁港において守るべき施設が存在する場合、当該地域で過去に実施した 津波伝播シミュレーション結果(最大水位・最大流速分布)を使用して、漂流物になり 得る対象物(船舶・車両・養殖施設)の漂流の可能性を判定し、漂流物対策の必要性を 検討する。以降に、既往の津波伝播シミュレーション結果を活用する場合の検討例を示 す。



ii)新たに漂流シミュレーションを活用する方法

対象とする漁港において漂流物対策の必要性を検討する際に、漂流シミュレーションを活用する方法もある。漂流シミュレーションは、漂流物の移動範囲、速度が計算されるため、衝突力と漂流範囲をより的確に推定することが出来る。漂流シミュレーションについては、後述の参考資料3を参照とする。

以下に、漂流シミュレーションを活用する場合の検討例を示す。



② 対策施設の配置計画(案)の作成

i)既往の津波伝播シミュレーション結果を活用する方法

前述の必要性の検討にて「漂流物対策が必要」と判定された場合、守るべき施設(こ こでは水域施設)と漂流物の位置関係や想定される流向を勘案して、津波漂流物対策施 設の配置を検討する。



図 3-3 津波漂流物対策施設の配置案 (既往の津波伝播シミュレーション結果に基づく)

ii)新たに漂流シミュレーションを活用する方法

前述の必要性の検討にて「漂流物対策が必要」と判定された場合、シミュレーション 結果を踏まえて、津波漂流物対策施設の配置を検討する。



③ 対策施設の工法の選定

津波漂流物対策施設は、対象とする漁港の特性に応じて工法を選定する。

例えば、主たる漂流物が船舶、車両、ドラム缶など中小規模のものであれば、ガード ケーブルタイプの漂流防止柵が適している(図 3-5)。逆に、主たる漂流物が比較的大 きなものに限られる場合は、杭式が適している(図 3-6)。大きなものから中小規模の ものまでを捕捉する場合は、フェンスタイプの漂流防止柵が適している(図 3-7)⁴。

このように、捕捉する漂流物の種類や守るべき施設等に応じて適切な工法を選定することが重要である。





図 3-6 杭式



^{4 「}津波漂流物対策施設設計ガイドライン」平成26年3月、一般財団法人沿岸技術研究センターほか

4-6-b397

④ 対策効果の検証

津波漂流物対策を講じることによる減災効果、費用対効果について、「平成23年東日本大震災を踏まえた漁港施設の地震・津波対策の基本的な考え方」中の"参考資料3 防 波堤と防潮堤による多重防護の活用"を参考に算定し、対策効果の検証を行う。

⑤ 対策施設配置・工法の決定

前述の一連の過程を経て、一定の対策効果が認められることを確認した上で、津波漂 流物対策施設の配置と工法を最終決定する。

なお、環境面(景観等)や利用面(漁業活動に支障を来さない配置等)への配慮など、 対策の検討段階から漁港利用者をはじめとする関係者との十分な合意形成を図ること が望ましい。 3.3 津波漂流物対策施設の設計

┌【基本的考え方 】ー

津波漂流物対策施設の設計は、当該施設に作用する外力(地震力・津波波力・衝突力) を現地の特性に応じて適切に定め、対象津波来襲時にも漂流物対策としての機能を保 持するように各種構造諸元を設定する。

【解説】

3.3.1 設計の考え方

津波漂流物対策施設の設計は、当該施設に作用する外力(後述の"3.3.3 作用"参照) を現地の特性に応じて適切に定め、対象津波来襲時にも漂流物対策としての機能を保 持するように各種構造諸元を設定する。

3.3.2 設計条件の設定

津波漂流物対策施設の設計条件は、自然条件、経済的・社会的条件、自然環境に及ぼ す影響、工事や施設の維持管理に係る経済性などを考慮して、施設の安全性と機能が確 保されるよう適切に定める。

3.3.3 作用

本ガイドラインにて津波漂流物対策施設の設計に用いる作用の形態は、地震力、津波波力、漂流物の衝突力とし、これらを現地の特性に応じて適切に考慮するものとする。

(1) 作用津波の設定

作用津波は、前述の 2.1(2) 対象津波で述べたように「発生頻度の高い津波(L1)」と する。

(2) 地震力

地震力は、下記2つの設計震度のうち、大きい方を用いる*。

- a)「漁港・漁場の施設の設計参考図書⁵」の"第2編 設計条件 第11章 地震力"に 示す震度(表 3-2)。
- b)発生頻度の高い津波を生じさせる地震で求まる設計震度
- ※「漁港・漁場の施設の設計参考図書」中の"設計水平震度を決めることは、「来襲する地震動」の 大きさにしたがって「構造物に働く地震力」を数値化することに該当する"に基づく。

4-6-b399

^{5 「}漁港・漁場の施設の設計参考図書」平成28年3月、(公社)全国漁港漁場協会

表 3-2 地域別の工学的基盤最大加速度及び設計水平震度

	北海道(根室,釧 路,十勝,日高), 関東(千葉県,東京 部の八丈島及び小笠 原諸島を除く地域, 神奈川県),中部(福 井県,静岡県、愛知 県),近畿(三重県, 滋賀県,大阪府,兵 庫県,和歌山県)	東北(青森県の尻屋 崎以南の太平洋岸, 岩手県,宮城県,福 島県),岡東(茨城 島県),近畿(京都 府),四国(徳島県, 高知県)	北海道(胆振、渡 高,檜山),東北(青 森県の尻屋崎以南の 太平洋岸を除く地 域,秋田県,山形 県),中部(新潟県, 富山県,石川県), 中国(鳥取県,広島 県),四国(愛媛 県),九州(熊本県, 大分県,宮崎県,鹿 児島県の奄美諸島)	北海道(網走,後 志,石狩,空知,留 南),中国(島根県, 岡山県),四国(香川 県),九州(佐賀県, 長崎県の五島列島, 壱岐及び対馬を除く 地域,鹿児島県の奄 美諸島を除く地域, 沖縄県の大東諸島を 除く地域)	北海道(宗谷),関東 (東京都の八丈島及 び小笠原諸島),中 国(山口県),九州 (福岡県,長崎県の 五島列島,壱岐及び 対馬,沖縄県の大東 諸島)
係留施設A	0.18 (0.22)	0.16 (0.19)	0.14 (0,17)	0.13 (0.16)	0.10 (0.12)
親水施設	0.18 (0.22)	0.16 (0.19)	0.14 (0.17)	0.13 (0.16)	0.10 (0.12)
係留施設B	0.15 (0.20)	0.13 (0.16)	0.12 (0.14)	0.11 (0.13)	0.08 (0.10)
外郭施設	0.15 (0.20)	0.13 (0.16)	0.12 (0.14)	0.11 (0.13)	0.08 (0.10)
工学的基盤の最 大加速度(Gal)	350	250	200	150	100

古十異なる。 (注2) 係留施設Aは、耐震強化岸壁、耐震強化岸壁に準じる岸壁及びその他の耐震性能を強化する岸壁、又は定期船・フェリーが奄着 する岸壁であることを基本とする。係留施設Bは、係留施設A以外の岸壁及び物揚場である。 (注3) 親水施設は、親水性を考慮した漢岸及び防波堤である。 (注4) 外郭施設は、親水施設及び道路渡岸を除く外郭施設である。

※漁港・漁場の施設の設計参考図書より引用

(3) 津波波力

津波波力については、表 3-3 に示す既存のガイドライン、指針等で各々論じられて いる。具体の算定方法等は表 3-4 に示す通りであり、これらの中から対象とする漁港 の適用条件に応じて適宜選択することとする。

ガイドライン・指針	算定方法	課題
 ①津波漂流物対策施設 設計ガイドライン 【(財)沿岸技術研究センター、(社)寒地港湾 技術研究センター】 	抗力係数を使用した流速による抗 力式で算定。 【対象】透過型漂流防止柵	波力の形態(津波先端にあ たるか否か)を考慮してい ない。支柱が対象である ため、鉛直方向の力を評 価していない。
②漁港の津波避難に関 するガイドライン 【水産庁】	浸水深に基づき津波の力を算定。 【対象】津波避難誘導デッキ	波力の形態(津波先端にあ たるか否か)を考慮してい ない。
③建築物荷重指針・同 解説(2015) 【日本建築学会】	 (1)水位・流速の時系列 (2)最大水位・最大流速がある場合、抗力式を使用 (3)最大浸水深のみの場合は静水 圧型波力式で算定 【対象】建築物 	

表 3-3 津波波力の評価方法

表 3-4 津波波力に関する既往算定式の一覧

No.		適用条件	評価式	変数	参考 文献
1	支柱間が漂流物で遮ら れた場合の流れの力の 算出方法として提示。		$F_D = C_D \frac{\gamma_W}{2g} A U^2$	C _D :抗力係数 A:流れ方向投影面積(m ²) y _w :海水の単位堆積重量(kN) g:重力加速度(m/s ²) U:津波流速(m/s)	一般的な 抗力の式
2	② 津波避難施設の脚部に 作用する波力として提 示。		$\frac{P_{\max}}{\rho g \eta_{\max}} = 2.2 \left(1 - \frac{Z}{3\eta_{\max}} \right)$	 P_{max}:最大津波波圧(N/m²) ρ:流体の密度(kg/m³) g:重力加速度(m/s²) η_{max}:最大遡上水深(m) Z:陸上地面を基準とした 上向き正の座標 	谷本ら
	津波生	(A) 浸水深と流速 の時系列が利用で きる場合(4.通りの	$F = C_{D1} \frac{\rho B(h(t)v(t)^2)_{\text{max}}}{2g}$ $C_{D1} = 2.0 + \frac{5.4h_{\text{max}}}{D} (0.01 < \frac{h_{\text{max}}}{D} < 0.17)$ $F = \left(\frac{C_{D2}}{2} \rho Bh(t)v(t)^2 + C_M \rho BWh(t)\frac{\partial v(t)}{\partial t}\right)$ $C_{D2} = 2.0, C_M = 1.0(0.01 < \frac{h_{\text{max}}}{D} < 0.17)$	B:建築物の見付幅(m) W:建築物の奥行幅(m) h(t):浸水深の時系列(m) v(t):流速の時系列(m/s) h _{max} :最大浸水深(m) v _{max} :最大流速(m/s) h :最大流速時の浸水深(m)	ファウジ ら ⁷
	端部の水平	昇止八で(症小)	$F = \frac{a^2}{2}\rho Bgh_{\max}^2, a = 1.5, (F_r(t) < 1.00) $ $F = \frac{a^2}{2}\rho Bgh_{\max}^2$ $a = 1 \pm 0.5(1 + \xi)F_r^2 (1 < F_r < 4, \xi = 0.4)$	g:重力加速度(m/s ²) ρ:海水密度(kg/m ³) D:海岸線からの距離(m) p _m :波圧(kN/m ²)	東京大学 ⁸ 有川・大 家ら ⁹
3	力	 (B)最大浸水深と 最大流速が利用で きる場合(2通りの 算定式を提示) 	$F = \frac{C_{D3}}{2} \rho B h_{\text{max}} v_{\text{max}}^2, C_{D3} = 1.3 + 6.3 \frac{h_{\text{max}}}{D}$ $p_m = \begin{cases} \rho g(h_{f \text{max}} - z) \\ \rho g(h_{f \text{max}} - z) + \rho v_{\text{max}}^2 \end{cases}$	h _{fmax} :構造物前面の 最大浸水深(m) v _{max} :構造物近傍の 鼻士流速(m/s)	ファウジ ら ² 有光ら ¹⁰
		(C)最大浸水深が 利用できる場合	$F = \frac{a^2}{2} \rho Bgh_{\rm max}^2$	z:地面からの高さ(m) F _r :フルード数	国土交通 省 ¹¹
	津波非先端部の抗力	 (A)浸水深と流速 の時系列が利用できる場合 (B)浸水深と流速 の時系列が利用できる場合 (C)浸水深と流速 の時系列が利用できる場合 	$F_{D} = \frac{1}{2} \rho C_{D} (v(t)^{2} h(t))_{\max} B$ $F_{D} = \frac{1}{2} \rho C_{D} v_{\max}^{2} A_{\max}$ $F_{D} = \frac{1}{2} \rho C_{D} v_{\max}^{2} A_{\max}$ $v_{\max} = F_{r} \sqrt{g h_{\max}}$		一般的な 抗力の式

※表の No. は、前表(表 3-3)のガイドライン・指針の番号と符合

⁶「1983年日本海中部地震津波による津波力と埋立護岸の被災原因の検討、第31回海岸工学講演会論文集、pp.257-261」昭和59年、 谷本勝利・鶴谷広位置・中野晋

⁷「陸上構造物に作用する津波波力の推定手法に関する考察、土木学会論文集 B2(海岸工学)、Vol.65、No.1、pp.321~325」平成 21 年、 ファウジアフマド・鴫原良典・藤間功司・水谷法美

⁸「平成 23 年度建築基準整備促進事業 40 津波危険地帯における建築基準等の整備に資する検討中間報告書その 21」平成 23 年、東京大 学生産技術研究所

⁹「防潮堤背後の建物に作用する津波力に関する実験的検討、土木学会論文集 B2(海岸工学)、Vol.70、No.2、pp.1-806~1-810」平成 26 年、有川太郎・大家隆行

¹⁰「構造物前面の浸水深と流速を用いた津波波圧の評価手法に関する水理実験、土木学会論文集 B2(海岸工学)、Vol.68、No.2、pp.1-776 ~1-780」平成 24 年、有光剛・大江位置也・川崎浩司

^{11「}津波浸水想定を設定する際に想定した津波に対して安全な構造方法等を定める件」平成 23 年、国土交通省告示第 1318 号

(4) 漂流物の衝突力

漂流物の衝突力については、表 3-5 に示す既存のガイドライン、指針等で各々論じ られている。具体の算定方法等は表 3-6 に示す通りであり、これらの中から対象とす る漁港の適用条件に応じて適宜選択することとする。

ガイドライン・指針	算定方法	課題
 ①津波漂流物対策施設 設計ガイドライン 【(財)沿岸技術研究センター、(社)寒地港湾 技術研究センター】 	漂流物による衝突エネルギーを漁船 の接岸エネルギー準じて算定。 対策施設の変形による、吸収エネル ギーが衝突エネルギー以上となるよ うに設計し、漂流物を捕捉する。	主に防止柵への作用力が 対象。衝撃的な力の算定 法として過小評価の可能 性がある。
②漁港の津波避難に関するガイドライン【水産庁】	漂流物別に衝突力算定式を提示。 最大衝突力(最大流速時)を最も安 定性が厳しくなる位置(津波水位の 範囲内)に作用させる。	施設まで漂流される過程 のシナリオを想定し、設 計に用いる漂流物を選定 する。最悪の状態を想定 するため、過大評価とな る恐れがある。
③建築物荷重指針・同 解説(2015) 【日本建築学会】	流木・コンテナを対象とした6種類 の評価式(松富,池野ら,水谷ら,有 川ら,FEMAの式)を提示。	複数の算定式が提示され ており、選択が難しい。

表 3-5 漂流物の衝突力の評価方法

r						
No.	ガイドラインに	評価式		対象		
	おける位置付け等	发致	四 /2:扫云目(1)1)	漂流物		
(1)	() () () () () () () () () () () () () ($W = W_0 + (\pi/4)D^2L\gamma_W$	W:仮想重重(kN)	<i> </i>		
	の 設 訂 の 手 列 (2003 年度版) に示	$D = WV^2 / 2\sigma$	W_0 : 排水トン数(kN)			
	されている。接岸		D:喫水(m)	+		
	エネルギーの計算	上記の式において、	L:船長(m)	里阿		
	式を応用した式と	D= <u>₩</u> とする。	γ _w :海水の単位			
	して、衝突エネル	$\gamma_W LB$	体積重量(kN)			
	ギー算定式を示し	上記の式を、木材・コンテナを船舶に見立て	L:車両長さ(m)	流木・		
	ている。	た上で、そのまま適用する。	B:車両幅(m)	コンテナ		
2	流木の衝突力算出	$F \qquad \left(\begin{array}{c} \nu \end{array} \right)^{1.2} \left(\boldsymbol{\sigma} \right)^{0.4}$	1	流木		
	方法として、松冨	$\left \frac{T_1}{r D^2 I} = 1.6 C_{MA} \left\{ \frac{V_{A0}}{(r D)^{0.5}} \right\} = \left \frac{\sigma_f}{r I} \right $				
	の式12を示してい	$\begin{array}{c c} rD \ L \\ \hline (gD) \ \end{bmatrix} \ (\gamma L)$				
	る。	F_1 : 衝突力(kN), C_M : 見かけの質量計数(段波)	,サージでは 1.7,定			
		常流では 1.9), ν_{A0} : 流不の衝矢速度 (m/s), L 法士の長さ(m) - 法士の際代応力 (h-f(m ²))	1: 流への 単 (m), L:			
			, γ: 流木の単位 (平傾			
	流木の衝空力管出			流木		
	方法として 池野	$\frac{F_1}{V_H} = SC_{H} \left\{ \frac{V_H}{V_H} \right\}$		1/11/1		
	ら13の式を示して	$gM \qquad				
	いる。	F ₁ : 衝突力(kN), S: 係数(5.0), C _M : 付加質量計数	<u> </u>			
		次元), 1.5(三次元), 角柱横向き : 2.0~4.0(二	二次元),1.5(三次元),			
		円柱縦向き:2.0程度,球:0.8程度), V _H :段	波流速(m/s), D:漂流			
		物の代表(m), M: 漂流物の質量(kg), g: 重力	加速度(m/s²)			
(3)	松富の式を提示	上記と同じ		流木		
	池野らの式を提示	上記と同じ		流木		
	コンテナの衝突力	$F_{x} = 2\rho n B V_{x}^{2} + \frac{WV_{x}}{W}$		コンテナ		
	鼻出方法として、	$r_1 = \rho_w r_m \sigma_c r_X + gd_t$				
	小谷らの丸を 坦元	F_1 :漂流衝突力(kN), d_t :衝突時間(s), η_m :最	と大遡上水位(m), ρ _w :			
	JE/No	水の密度(t/m3), B _c :コンテナ幅(m), V _x :コン	テナの漂流速度(m/s),			
		₩: コンテナ質量(t), g:重力加速度(m/s ²)				
	流木・コンテナの	$E = u + \frac{2}{5} \left(5 \right) \frac{1}{2} = \frac{1}{5} = \frac{1}{5} \frac{1}{5} = \frac{1}{5} \frac{1}{5} = \frac{1}{5} \frac{1}{5} = \frac{1}{5} \frac{1}{5} \frac{1}{5} = \frac{1}{5} \frac{1}{5} \frac{1}{5} = \frac{1}{5} \frac{1}{5} \frac{1}{5} \frac{1}{5} = \frac{1}{5} \frac{1}$	$-v^2 \propto m_1 m_2$	流木		
	衝突力算出方法と	$\Gamma_1 = \gamma_p \chi \qquad \left(\frac{-m}{4}\right) D \qquad \chi = \frac{-m}{3\pi} \frac{k_1 + k_2}{k_1 + k_2} \qquad k = -\frac{-m}{3\pi} \frac{k_1 - k_2}{k_1 - k_2}$	πE $m = \frac{1}{m_1 + m_2}$	コンテナ		
	して、有川らの式	F_1 : 衝突力(kN), a: 衝突面半径の $1/2$ (m), E:	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·			
	10,11を提示。	ト版) (N/m ²), ν:ポアソン比, m: 質量(kg),	<i>v</i> :衝突速度(m/s),			
		γ _p : 塑性によるエネルギー減衰効果(0.25), μ	nやkの添え字は衝突			
		体と被衝突体を示す。				
	流木・コンテナの	$F_1 = C_{-} u_{-} \sqrt{km}$		流木		
	衝突力算出方法と	<u>1</u> 加max E・衝空力(kN) C・付加質畳計粉(90た堆将)		コンテナ		
	して、FEMA 式 [™] を	 μ. μ. χ. J. (MIV), ω. ΓΙ/Π貝里町数(2.0 2 指突) m. 連流物の質量(kg) k. 連流物の有効副性 	,umax.以ノNルビ(III/ S),			
	旋 不。					

表 3-6 漂流物の衝突力に関する既往算定式の一覧

※表の No. は、前表(表 3.5)のガイドライン・指針の番号と符合

¹⁷「津波により転倒した建物の基礎について その2)今後の津波対策への提言.シンポジウム 東日本大震災からの教訓 こ れからの新しい国つくり、pp.199~202」平成24年3月、杉村義広・三辻和弥

^{12 「}流木衝突力の字梅雨的な評価式と変化特性、土木学会論文集、NO.621、pp.111~127」平成 11 年、松冨英夫.

 ¹³「陸上遡上津波と漂流物の衝突力に関する実験的研究、海岸工学論文集、第50巻、pp.721~725」平成15年、池野正明ら
 ¹⁴「エプロン上のコンテナに作用する津波力と漂流衝突力に関する研究、海岸工学論文集、第52巻、pp.741~745」平成17年、水谷法美・高木祐介・白石和睦・宮島正悟・富田孝史

¹⁵ 「陸上遡上津波によるコンテナの漂流挙動と漂流衝突力に関する研究、海岸工学論文集、第 54 巻、pp.846~850」平成 19 年、廉慶喜・水谷法美・白石和睦・宇佐美教浩・宮島正悟・富田孝史

 ¹⁶「津波による漂流木のコンクリート壁面破壊に関する大規模実験、土木学会論文集 B2(海岸工学)、Vol.66、No.1、pp.781~785」平成 22 年、有川太郎・鷲崎誠

^{18 「}Guidelines for Design of Structures for Vertical Evacuation, FEMA P.646」2012 年、FEMA

3.3.4 構造設計

- (1) 構造諸元の設定
- 支柱の高さ

支柱の高さは、捕捉スクリーンの機能が損なわれないよう、捕捉スクリーンの支柱へ の取り付け構造を考慮し、適切な高さを確保する。

【解説】

釧路港の事例¹⁹では、支柱高さは、対象船舶の甲板面までの高さを包括するように決定した。これは、甲板面の高さは船の重心よりも上にあるので、支柱の高さが甲板面の高さ以上あれば漂流物が支柱を乗り越えないと考えたものである。釧路港の事例を図3-8に示す。



図 3-8 支柱の高さ(釧路港の事例)

^{19 「}釧路港東港区津波漂流物対策施設実施設計業務」平成18年11月、北海道開発局

2 支柱間隔

支柱間隔は、対象漂流物が捕捉されるよう、対象漂流物の諸元や経済性により、適切 に設定する。

【解説】

支柱間隔は、対象漂流物諸元、設計浸水深、設計流速等から、経済性も考慮し適切に 設定する必要がある。釧路港の事例では、支柱間隔の異なる3ケースについて支柱、捕 捉スクリーン、支柱基礎コンクリートの総合比較を行い、支柱間隔を決定した。



図 3-9 支柱間隔(釧路港の事例)

なお、ワイヤロープを設置する作業は人力で行っており、端部固定金具におけるロー プ長の調整代が一般的には 10 数cmであることから、支柱間隔が大きくなりすぎると施 工できないこととなる。

施工という観点から、「ロープの施工時のたるみ並びに設計初期引張力時の伸び」と 「可能調整代」の関係や、過去の施工実績を考慮すると、標準的な中間支柱間隔は最大 10m程度、端部支柱間隔は最大100m程度であると考えられる。

表 3-7 支柱間隔ごとの必要調整長(参考)

必用調整長(mm) 鋼製↓10の場合		端部支	、柱間隔(m)	K.
		60 100	100	150
山間士特	5	56	93	139
中间又往	10	63	104	157
	15	74	123	185
(m)	20	90	150	225

必用調整長(m	nm)	端部支	[柱間隔(m))
鋼製ゆ14の場合		60	100	150
+ 88 + ++	5	36	60	90
中间文社	10	62	104	156
(ini) Pipi	15	106	177	266
(m)	20	168	280	420

必用調整長(mm) 鋼製 φ18の場合		端部支柱間隔(m)		
		60	100	150
中間支柱 間隔 (m)	5	41	68	102
	10	113	180	203
	15	234	390	586
	20	404	673	1.009

表中、黄色の網掛け部分は、端部支柱での調整代に対して個別の配慮が必要となる。
(2) 端部支柱の設計

① 端部支柱による衝突エネルギーの吸収

端部支柱に衝突し捕捉された漂流物の衝突エネルギーは、支柱の梁変形と衝突点の 支柱断面の局部変形(凹み)で吸収するものとする。

【解説】

i) 梁変形による吸収エネルギー

梁変形による吸収エネルギーは(式 3.3.1)で計算できる。

$$E_p = P_o \delta_{pa} \qquad (\mathbf{\vec{x}} \ \mathbf{3}, \mathbf{3}, \mathbf{1})$$

 P_0 は、衝突箇所で生じる反力の最大値で、支柱下端の曲げ降伏(全断面塑性条件)から 決まる荷重であり、(式 3.3.2)によって算出される。

$$P_{O} = \frac{Z_{p} \sigma_{yd}}{H}$$
(zt 3.3.2)

ここに、

 σ_{yd} :動的降伏応力(=1.2× σ_{y})

- σ_y :静的降伏応力((式 3.3.3)参照)
- *Zp* : 支柱の塑性断面係数

H :荷重作用高さ

支柱の静的降伏応力の算定については、鋼材の加工硬化を考慮し、次式で算出する。

STK400 の場合
$$\sigma_{y} = 527.5 \left(\frac{D}{t_{p}}\right)^{-0.104} (N/mm^{2})$$

STK490 の場合 $\sigma_{y} = 527.5 \left(\frac{D}{t_{p}}\right)^{-0.104} (N/mm^{2})$ (式 3.3.3)

なお、鋼材の加工硬化を考慮した(式 3.3.3)の適用範囲(実験範囲)は、管径/肉厚 比(D/t_p)が $8 < D/t_p < 110$ の場合であり、この範囲を外れる支柱については別途、適切な 検討を行うものとする。

端部支柱では、鋼管支柱の基部に局部座屈が発生する時を終局限界とする。局部座屈 発生時の塑性変位量 *δ_{pa}*は、(式 3.3.4) によって求められる。また、*θ_{pa}*は塑性回転角 で、局部座屈が発生する限界角度を示している。

$$\delta_{pa} = \theta_{pa} H$$
 (£ 3.3.4)
 $\theta_{pa} = \frac{1.355}{D/t_p}$ (£ 3.3.5)



図 3-10 支柱下端の局部座屈の概念

ii) 局部変形(凹み)よる吸収エネルギー

局部変形(凹み)よる吸収エネルギーの最大値は、(式 3.3.6)で与えられる。

$$E_R = P_o \frac{\delta_{Lo}}{1.8}$$
 (式 3.3.6)

ここに、*P*。は、衝突箇所で生じる反力の最大値で、支柱下端の曲げ降伏(全断面塑性 条件)から決まる荷重であり、(式 3.3.2)で算出できる。

また、 *δ*_{Lo}は、荷重 *P*_oに対する凹み量で、(式 3.3.7)で算出できる。

$$\delta_{Lo} = D \left\{ \frac{4(D - t_p)^2}{KHt_p} \right\}^{1.25} = D \left\{ \frac{4Z_p}{KHt_p^2} \right\}^{1.25}$$
(\$\pi \$3.3.7)

(式 3.3.7)は、荷重と凹み量の関係を示す修正 Ellinas 式と呼ばれる(式 3.3.8) と(式 3.3.2)から導かれたものである。

$$P = \frac{1}{4} K \sigma_{yd} t_p^2 \left(\frac{\delta_L}{D} \right)^{0.8}$$
 (式 3.3.8)



- D : 鋼管径
- δ_L :局部変形量($\leq D$ を適用範囲とする)
- *t*_p : 鋼管肉厚
- K : 実験定数(K=185)
- σ_{vd} :動的降伏応力(= $1.2 \times \sigma_v$)
- σ_y :静的降伏応力((式 3.3.3)参照)
- Z_p: 支柱の塑性断面係数
- *H* : 荷重作用高さ



図 3-11 局部変形(凹み)の概念

iii) 衝突エネルギーに対する安定照査

端部支柱による吸収エネルギー E_{T} は、支柱の断面性能によって一義的に定まり、(式 3.3.9)で算出される。吸収エネルギーが漂流物の衝突エネルギーを超えていることを 確認する。

$$E_T = E_R + E_p$$

(式 3.3.9)



図 3-12 端部支柱による吸収エネルギー

② 捕捉スクリーンからの伝達力に対する検討

端部支柱には、捕捉スクリーンからの反力を保持する機能が必要である。そのために、 捕捉スクリーンが抗力を受ける場合や漂流物を捕捉した場合の捕捉スクリーンからの 反力に対して安全であることを確認しなければならない。

【解説】

- 1) 捕捉スクリーンが抗力のみを受けている状態に対しては、支柱は静的設計を行う ものとし、支柱の静的降伏応力に対する安定照査を行う。
- 2) 端部支柱あるいは捕捉スクリーンが漂流物を捕捉した状態については、支柱の塑 性変形を許し、支柱の動的降伏応力を用いて安定性照査を行う。
- 3) 捕捉スクリーンからの反力として、張力ならびに捕捉スクリーン軸直角方向の反 力が作用する。

(3) 中間支柱の設計

① 中間支柱による衝突エネルギーの吸収

中間支柱による九州エネルギーは、中間支柱の梁変形によるものとする。補足スクリ ーンとしてワイヤロープ等を設置する場合は、ワイヤロープ等の伸びによるエネルギ ー吸収を見込むことができる。中間支柱の許容変形量は、中間支柱基部の柱傾斜角 15 度とする。

【解説】

i) 梁変形による吸収エネルギー

柱基部が塑性変形する荷重 P_0 は、端部支柱と同様に(式 3.3.10)より算定される(各 記号の説明は(式 3.3.2)参照)。

$$P_{O} = \frac{Z_{p} \sigma_{yd}}{H}$$
 (式 3.3.10)

支柱の漂流物衝突位置での変形量δ15は、

$$\delta_{15} = H \tan 15^{\circ}$$
 (式 3.3.11)

梁変形による吸収エネルギーEp15は、

$$E_{p_{15}} = P_0 \delta_{15}$$
 (式 3.3.12)



図 3-13 支柱の許容最大変位角

ii) 捕捉スクリーンによる吸収エネルギー

中間支柱に漂流物が衝突した場合には、中間支柱は捕捉スクリーンと一体となって 変形する。補足スクリーンは、その両隣にある中間部支柱に支持されており、中間支柱 の変形および捕捉スクリーンの伸びにより漂流物の衝突エネルギーを吸収する。



図 3-14 中間支柱に漂流物が衝突した場合の変形・荷重の概念図

このような状態での捕捉スクリーンによる吸収エネルギー $\sum ER_i$ は、変形による吸収 エネルギー E_{p15} に比較して十分小さいと考えられる場合が多く、そのため設計業務では、 多くの場合、捕捉スクリーンによる吸収エネルギー $\sum ER_i$ は無視される。

iii) その他の吸収エネルギー

端部支柱と同様に、局部変形(凹み)によるエネルギー吸収を見込むこともできる。 ただし、このエネルギーは梁変形と比較して小さく、実務設計では考慮しないことが多い。

iv) 衝突エネルギーに対する安定照査

中間支柱による吸収エネルギー E_T は、(式 3.3.13)で算出される。この吸収エネルギー E_T が漂流物の衝突エネルギーを超えていることを確認する。

$$E_T = E_{n15} + \sum ERi$$

(式 3.3.13)

② 捕捉スクリーンからの伝達力に対する検討

中間支柱には、捕捉スクリーンからの反力を保持する機能が必要である。そのために、 捕捉スクリーンが抗力を受ける場合や漂流物を捕捉した場合の捕捉スクリーンからの 反力に対して安全であることを確認しなければならない。

【解説】

- 1) 捕捉スクリーンが抗力のみを受けている状態に対しては、支柱は静的設計を行う ものとし、支柱の静的降伏応力に対する安定照査を行う。
- 2) 中間支柱あるいは捕捉スクリーンが漂流物を捕捉した状態については、支柱の塑 性変形を許し、支柱の動的降伏応力を用いて安定性照査を行う。
- 3) 中間支柱では捕捉スクリーンをスライド支承としており、捕捉スクリーンからの 反力としては、捕捉スクリーン軸直角方向の反力のみが作用する。

(4) 杭の設計

(1) 杭基礎への衝突エネルギーに対する検討

杭基礎を用いる場合には、基礎杭自体の変形によるエネルギー吸収ならびに漂流物 衝突位置での局部変形(凹み)によるエネルギー吸収を考慮することができる。

基礎杭の地上突出部は、浅い基礎の場合の支柱と同様の防衛機能を有するものであ るが、基礎杭は弾性設計を行っており、支柱下端の曲げに対する塑性ヒンジの発生は期 待できず、浅い基礎(コンクリート基礎)のように独立した支柱設計という概念は存在 しない。

杭(支柱)の局部変形(凹み)によるエネルギー吸収については、基礎杭の安全性を確 保できる衝突部反力から計算される。

【解説】

i) 杭の挙動解析法

基礎杭の挙動解析は、「港研方式」によることができる。基本式は以下のとおりである。

$$EI\frac{d^4y}{dx^4} = -P = -pB \tag{$\frac{1}{3}$. 3. 14}$$

ここに、

- *EI*: 杭の曲げ剛性(kN・m²)
- x : 地表面からの深さ(m)
- *y* : 深さ*x*における杭の変位(m)
- *P* : 深さ*x*における杭の単位長さ当たりの地盤反力(kN/m)
- p: 深さxにおける杭の単位面積当たりの地盤反力(kN/m²) $p = \frac{P}{B}$
- *B* : 杭幅(m)

ここでは、「基礎杭の地中部最大曲げモーメントM_{max}が杭の降伏モーメントM_R(式

3.3.17) に達するような水平荷重 F max 」が作用した状態でのエネルギー吸収を、杭 の最大エネルギーと考える。最大吸収エネルギーは、水平荷重 F max 作用時の漂流物 衝突位置での杭の変位量(式 3.3.16) から算出される杭・地盤系での吸収エネルギー En(式 3.3.15)と、水平荷重 F max 作用時の漂流物衝突位置での杭の局部変形(凹 み)量(式 3.3.21)から算出される吸収エネルギー E_R (式 3.3.20)の合計とする。

支柱の設計で考えた塑性変形による吸収エネルギー E_RとE_pは、支柱下端の変位が

拘束されており、支柱下端に塑性ヒンジが発生することを想定したものである。これに 対し、基礎杭の設計は杭の挙動が弾性限界内であることを条件とするものである。した がって、支柱での梁変形による吸収エネルギー *Ep* は期待できない。

ただ、平成19年に実施した高潮・津波バリア研究会の実験結果によると、衝突エネ

ルギーが小さな時点でも梁変形に優先して局部変形が生じており、衝突エネルギーが 増加するにつれて変形が局部変形から梁変形に移行している。このことから、杭基礎の 場合においても、水平荷重 *F* max に対応した局部変形が発生し、エネルギー *E*_R が吸収 されるものとした。

ii) 地盤の横抵抗定数

港研方式では地盤を以下の二つに区分して考える。

1) S型地盤

標準貫入試験値Nが深さとともに直線的に増加する。

実例;一様な密度の砂地盤、正規圧密の粘土地盤など

2)C型地盤

標準貫入試験値Nが深さによらず一定である。

実例:表面の締まった砂地盤、大きな先行圧密を受けた粘性土地盤など検討にあたり、 最初に検討地点の地盤がS型地盤であるかC型地盤であるかを区分する必要があるが、 決める際には、杭の横抵抗に支配的な範囲だけを考えればよい。一般には、地表から 0.5 $0_{m1} \sim 0_{m1} (0_{m1}$ は頭部自由杭の曲げモーメント第一ゼロ点の深さ)までを考えれば十分であ る。S型とC型の中間的な場合も多いが、どちらか近い方として扱えばよい。

次に、地盤の横抵抗定数を設定する必要があるが、図 3-15~図 3-16 から定数を求 めることができる。



図 3-15 N値とksとの関係(S型地盤)



図 3-16 N値とkcとの関係(C型地盤)

iii) 基本挙動の解析

地盤の横抵抗定数k_s・k_c、杭の剛性EI、荷重作用位置h、作用荷重Fの諸条件から、「港湾の施設の技術上の基準・同解説」(平成19年7月:社団法人 日本港湾協会)の第4編第2章2.4.5「杭の静的最大軸直角方向抵抗力」に示される「基準曲線表(頭

 y_0 : 地表面変位(m)

 i_0 :地表面におけるたわみ角(rad)

部自由杭)」を用い、以下の項目を算出する。

- M_{max} :地中部最大曲げモーメント(kN・m)
- ℓ_{m1}:頭部自由杭の曲げモーメント第一ゼロ点の深さ(m)

iv)単杭構造としての解析

前述の、地表面変位やたわみ角の値を用い、「湾曲の施設の技術上の基準・同解説」 (平成 19 年 7 月:社団法人 日本港湾協会)の第 4 編第 5 章 9.2.4[2]③「単杭構造」に 準じて、吸収エネルギー *E*ⁿ を計算する。

$$E_n = \frac{1}{2} F y_{top}$$
 (式 3.3.15)
 $y_{top} = A_1 y_0 + A_2 i_0 h + \frac{Fh^3}{3EI}$ (式 3.3.16)
ここに、
 y_{top} :載荷点変位(m)

- y₀ :処女載荷時の海底面変位(m)
- *i*₀ :処女載荷時の海底面たわみ角(rad)
- *F* :水平方向の作用(N)
- *h* :載荷点高さ(m)
- *EI* :杭の剛性(Nm²)
- A1,A2 :繰り返し載荷による影響係数

表 3-8 影響係数

	最大変位を 求めるとき	柱の変形に上る限収 エネルギーを求めるとさ	礁留変位を 求めるとき
A	1.4	0, 4	0,8
A ₂	1.2	0 б	0, 5

なお、処女載荷時とは、過去にその荷重レベルに対する荷重載荷履歴がない状態を指 す。



図 3-17 杭の変形による吸収エネルギー

v) 計算の手順

図 3-18、図 3-19に示すように本検討には繰り返し計算が必要で、まず、仮定とした杭の最大吸収エネルギーを算出するため、地中部に発生する杭の最大曲げモーメントと耐力モーメントが等しくなるような作用荷重 F max を、試行錯誤法によって決定する。この F max 作用時の En (式 3.3.15) と E_R (式 3.3.20)の合計が、仮定した杭の最大吸収エネルギーとなる。

仮定した杭の最大吸収エネルギー(杭の最大曲げモーメント=耐力モーメントとな る作用荷重時)が漂流物の衝突エネルギーを超えるよう、杭の断面を変更し、所要の杭

断面を決定する (図 3-18 図 3-18)。

次に、最大吸収エネルギーが漂流物の衝突エネルギーを上回ることが確認されたの ち、衝突エネルギー作用時の杭の発生応力等を計算したい場合には、吸収エネルギーが 衝突エネルギーに等しくなるような*F*を算出し、この*F*作用時の杭の発生最大曲げモー メント*M* max から、杭の発生応力を算出することができる(図 3-19)。



図 3-18 STEP-1:部材確定の手順



図 3-19 STEP-2:作用荷重の決定、根入れ長の決定

港研方式では杭を弾性体として取り扱っているので、杭の降伏モーメント M_R は以下の式で算出する。

$$M_R = Z\sigma_{dy}$$
 (式 3.3.17)
ここに、
 Z : 杭の断面係数
 σ_{dy} : 鋼材の設計降伏応力

また、鋼材の設計降伏応力 σ_{dy} は、衝撃力に対する割り増しならびに鋼材の加工硬化 を考慮し、次式で計算するものとする。

$$\sigma_{dy} = 1.2\sigma_{y} \qquad (式 3.3.18)$$

$$STK400 の場合 \qquad \sigma_{y} = 527.5 \left(\frac{D}{t_{p}}\right)^{-0.104} (N/mm) \qquad (式 3.3.19)$$

$$STK490 の場合 \qquad \sigma_{y} = 703.3 \left(\frac{D}{t_{p}}\right)^{-0.104} (N/mm)$$

なお、鋼材の加工硬化を考慮した(式 3.3.19)の適用範囲は、8 < *D* / *tp* < 110 で あるため、この範囲を外れる杭については、別途適切な検討を行うものとする。

vi)基礎杭の吸収エネルギー

基礎杭全体の吸収エネルギーは、(式 3.3.2) に示した E_n に、(式 3.3.20) の E_R を 加算して算出する。STEP-1の検討では $F = F_{max}$ として計算する。

$$E_{R} = \frac{1}{1.8} F \cdot \delta_{L}$$
 (式 3.3.20)
$$\delta_{L} = D \left\{ \frac{4F}{K \sigma_{yd} t_{p}^{2}} \right\}^{1.25}$$
 (式 3.3.21)

ここに

- D : 鋼管径
- δ_L : 局部変形量($\leq D$ を適用範囲とする)
- *t_p* : 鋼管肉厚
- K :実験定数(K=185)
- σ_{yd} :動的降伏応力(=1.2× σ_y)
- σ_v :動的降伏応力((式 3.3.3 参照))

② スクリーンからの伝達力に対する検討

支柱の機能を併せ持つ基礎杭には、捕捉スクリーンからの反力を保持する機能が必要である。そのために、スクリーンが抗力を受ける場合や漂流物を捕捉した場合の捕捉 スクリーンからの反力に対して安全であることを確認しなければならない。

【解説】

- スクリーンが抗力のみを受けている状態に対しては、基礎杭は「港湾の施設の技術上の基準・同解説」(平成19年7月:社団法人 日本港湾協会)の第4編第4章
 5.2.5「構造部材の性能照査(4)」等に準拠して解析し、杭に発生する応力が静的降伏応力を超過していないことを確認する。
- 2) スクリーンが漂流物を捕捉した状態については、支柱の動的降伏応力を用いて安定 照査を行う。
- 3) 端部支柱として機能する基礎杭については、スクリーンからの反力として、張力な らびにスクリーン軸直角方向の反力が作用する。
- 4) 中間支柱として機能する基礎杭については、スクリーンからの反力としては、スク リーン軸直角方向の反力のみが作用する。

3.4 津波漂流物対策施設の計画・設計例

津波漂流物対策の技術検討調査委員会 第3回委員会の主な意見と対応案(1/2)

主な意見	対応			
(1) 主内見と対応				
・特になし				
(2) モデル地区の検討結果について				
 ・田老の波源モデルについて(松冨委員長) 波源モデルはスケール則で実施しているのか。 	・波源モデルはすべり量で調整している。			
 ・確率的手法について パラメータを増やしており、わかりやくなった。(八木委員) 確率的手法となっているが、これは、確率 的手法ではないと考えられる。(松冨教授) 	 ・確かに多くのケースで計算し、外力は最 大値をとっている。衝突回数は平均化し ているので、確率的ともいえると考えた が表現を修正する。 			
・計算条件ついて(松冨委員長) 普通車両の重量が大きいようである。 その他の条件は良い。	・車両の重量は確認する。			
 ・モデル地区の計算結果について 小浜漁港は浸水深が 1.0m と小さいが、漂流 対策施設の効果が出ている。浸水深が小さ い場合でも対策施設が必要になる良い例で ある。(松富教授) 津波遡上シミュレーション結果はどのくら いの浸水深まで適用できるのか(八木委員) 今回3ケースを実施しているが、地形条件 などもあるので、モデルケースを増やさな いと遡上シミュレーションの活用範囲を決 めるのは難しいのではないか(松富委員 長・八木教授) ・モデルの使い分けはどうするのか(八木委 	 ・試計算の結果では、概ね 4.0m 程度の浸水深と考えている。 ・田老のモデルケースと小浜の間のケースがあると活用範囲が明確になると考えられる。今後の課題としたい。 ・通常の場合は、後藤モデルで実施し、詳価を検えい環境医点で、として、 			
 貞) ・実際の施設の設計例は記載するのか(松富 委員長・八木委員) 	細な検討は鴫原モデルとする。 ・ガイドラインには、記載する。			

津波漂流物対策の技術検討調査委員会

第3回委員会の主な意見と対応案(2/2)

主な意見	対応
(3)ガイドラインについて	
 ・対象範囲について 田老地区の防波堤が変わっているので、対象範囲を変更すること。(阿部委員) 堤外地とは表現しないほうが良いのではないか(松富委員長) 	・修正する。 ・漂流物が堤内地から来襲することも考え られるので、表現を工夫する。
 ・対象となる漂流物について(松冨委員長) なるべく多くの漂流物を記載すること 	・修正する
 ・ガイドラインについて ガイドラインが設計者には重要であるの で、完成前に内容を確認したい。(阿部委員・八木委員) 最終的な確認は水産庁の確認後、委員長が 行う。(松冨委員長) 	 ・原案ができ次第、各委員に配布し、意見を伺う。 ・委員長に最終確認を得る。