

平成 29 年度
水産基盤整備調査委託事業
漁港・漁場の施設の設計手法の高度化検討調査
報 告 書

水 産 庁
一般社団法人 水産土木建設技術センター
株 式 会 社 エ コ ー

目 次

調査概要

I.	耐震設計手法高度化の検討	I-1
II.	耐津波設計手法高度化の検討	II-1
III.	漁場の施設の設計手法高度化の検討	III-1
IV.	既存漁場施設の機能発揮状況調査	IV-1
V.	中層浮魚礁の流出軽減技術の検討	V-1

調査概要

1 目的

漁港・漁場の設計手法については、平成27年度に、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、よりの確かつ効率的な新たな体系として運用を開始した。

本事業は、漁港・漁場の施設の設計手法について、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・検討を行うものである。

漁港施設については、先般の東日本大震災での津波災害の被害実態等の検討結果を踏まえつつ、大規模な地震・津波災害において、施設の修復性や安全性の確保に係る施設設計方法の検討を行い、減災機能強化のための設計手法及び対策工法の確立を目指す。

漁場施設については、整備後の施設の現状等を踏まえた総合的な検討を行い、設計手法の確立を目指す。また、特に、近年、海水温の上昇など海洋環境の変化が各地で危惧されているところ、これらの魚礁機能への影響について調査を行う。さらに、近年、流出する事例が発生している中層浮魚礁について、これら事例を踏まえた流出軽減技術の検討を行う。

2 事業内容

本事業は次により実施することとする。

(1) 調査事項

- 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既存漁場施設の機能発揮状況調査
- ⑤中層浮魚礁の流出軽減技術の検討

(2) 調査の方法

①耐震設計手法高度化の検討

漁港施設に係る照査用震度の算定に関して、漁港の施設における周波数特性と変形量の関係式（以下「漁港用フィルター」という。）は、重力式係船岸に対応したものについては確立しているものの矢板式係船岸に対応したものは確立されていない。そこで、本調査では、平成27・28年度水産庁委託調査で得られた矢板式係船岸の周波数特性と変形量の知見を踏まえ、強固な地盤から軟弱な地盤（Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ種）までを網羅した漁港用フィルター関数を取りまとめる。また、このフィルター関数を使用して求められる照査用震度の妥当性を地震動波形を入力する二次元地震応答解析等により検証する。さらに得られた検証成果を踏まえ、「漁港・漁場の施設の設計参考図書」への反映を念頭においた文案を検討するものとする。

②耐津波設計手法高度化の検討

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、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、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。

そこで、水理模型実験等の結果を踏まえ、以下の検討及び取りまとめを行う。

(ア) 構造上の弱点箇所における設計方法及び対策工法

構造物の隅角部及び端部等を対象に平成28年度に検討した構造上の弱点箇所における設計方法及び対策工法について、津波波力の堤体全体にかかる流体力の計測や堤頭部・隅角部の平面実験等を活用した検討を行い、波力評価手法の検証を行い、設計手法をとりまとめる。

(イ) 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

作用時間の長い津波に対し、上部工パラペット構造の工夫による基礎マウンドの減災効果を検証する。また、発生頻度の高い津波を超える津波に対する、本体工の粘り強さの確保について、期待滑動量や経済性と安定性能上の比較など、設計に必要なアプローチの考え方の整理結果をふまえ、妥当性を検証し、設計手法をとりまとめる。

③漁場の施設の設計手法高度化の検討

漁場の施設に作用する流体力については、室内実験をベースにした沈設魚礁への流体力算定式や着底基質の安定重量算定式を提案したところであるが、これらの実海域での適用性については検証が不十分である。また、平成28年度の当該調査において、流体中における沈設魚礁の新たな挙動特性や設計流速の設定に関する課題等が明らかとなっている。

このため、漁場の施設に作用する流体力については、被災事例の分析や実験的な検証等によって、提案した各算定式の実海域での適用性を検証するものとする。また、沈設魚礁の安定性については、流体中における沈設魚礁の挙動特性や流速の設定に関する課題等を実験や数値シミュレーション等によって明らかにした上で、安定性の照査手法を検討するものとする。

④既存漁場施設の機能診断及び機能回復方法の検討

漁場を取り巻く情勢は変化しており、近年は、特に海水温の上昇など海洋環境の変化が各地で危惧されており、海域環境の変化によって漁場施設の機能の低下が起きている事例も見られている。

このため、平成28年度の調査で検討した施設種別以外の漁場施設について、経年的な機能発揮状況の変化について調査し、機能低下要因等を分析する。また、これまでの当該

調査における検討成果を基に、既存漁場施設の機能診断方法及び機能回復方法について検討するものとする。また、検討した成果については、技術参考資料を念頭においた文案を検討するものとする。

⑤中層浮魚礁の流出軽減技術の検討

中層浮魚礁はこれまで全国で約200基が設置されているが、係留索が切断し、礁体が流出する事例が発生し、中には流出警報発信機が正常に作動しなかった事例も見られる。このため、平成25年度～27年度の水産庁委託調査において、中層浮魚礁の流出事故の原因や流出警報発信機の耐久性の調査を行ったところである。本調査では、これらの調査結果および平成28年度における検討も踏まえ、中層浮魚礁の流出事例の防止・軽減を図るための検討を行う。

(3) 検討部会等の設置

2(1)①、②、③、⑤においては、有識者等による検討部会を設置し、指導・助言を受けることとする。また、必要に応じて有識者ヒアリングを行うものとする。

I . 耐震設計手法高度化の検討

I. 課題名

「平成29年度漁港・漁場の施設の設計手法の高度化検討調査」のうち耐震設計手法高度化の検討

II. 実施機関及び担当者名

一般社団法人 水産土木建設技術センター

調査研究部	部長	安藤 亘
調査研究部	主任研究員	武田真典
調査研究部	専門技術員	藤井照久
調査研究部	専門技術員	佐貫哲朗
調査研究部	専門技術員	佐藤秀政
調査研究部	専門技術員	西本敦範

III. 実施年度

平成29年度

IV. 緒言

係船岸の耐震設計において性能規定に応じた性能の照査には、現地に来襲する地震動の周波数特性および構造物に生ずる変形量を詳細に考慮できる方法を用いることが理想的である。二次元地震応答解析を行えばそれらを考慮した検討が可能である。一方、レベル1地震動に対する耐震性能照査に標準的に使用されている震度法については、そのような方法が存在していなかったが、平成19年に改定された「港湾の施設の技術上の基準・同解説」¹⁾ではフィルター関数を使用する方法が示されており、施設ごとの地盤や水深の違いによる周波数特性及び変形量を考慮した設計水平震度（照査用震度）の算出が可能となっている。港湾施設に比べて水深の浅い漁港の係船岸（岸壁・物揚場）についても、平成28年に改訂された「漁港・漁場の施設の設計参考図書」²⁾において重力式係船岸についてフィルター関数（いわゆる漁港フィルター）が示され、周波数特性及び変形量を考慮した設計水平震度の算出が可能となっている。

一方、漁港の係船岸に多く採用されている構造形式には重力式のほか矢板式がある（図-1参照）。漁港の矢板式係船岸のレベル1地震動に対する耐震設計は、「漁港・漁場の施設の設計参考図書」²⁾に掲載されている地域別震度を使用すれば多くの場合、変形と応力は許容できる範囲内に収まるが、地域別震度では軟質な地盤における地震動の増幅や係船岸の変形の増大等を詳細に考慮することができない。そのため、重力式係船岸と同様の考え方によるフィルター関数の提示が必要と考えられる。

平成27年度から矢板式係船岸のフィルター関数を提示することを目的とした検討が行われ、平成28年度に漁港の矢板式係船岸に適合するフィルター関数（案）として、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4つの方法で設定した方法①～④の4案が示された（図-2参照）。

平成29年度は、これらのフィルター関数（案）について、実際のレベル1地震動を用いた検討を行い、最も適用性の高いフィルター関数を決定するとともに、フィルター関数の妥当性の検証を行うものである。

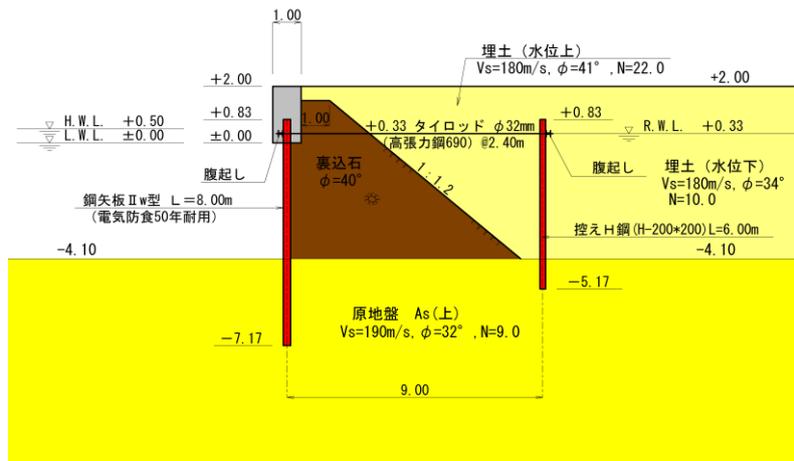


図-1 水深の浅い矢板式係船岸の例（水深-4.1m、I・II種地盤相当）

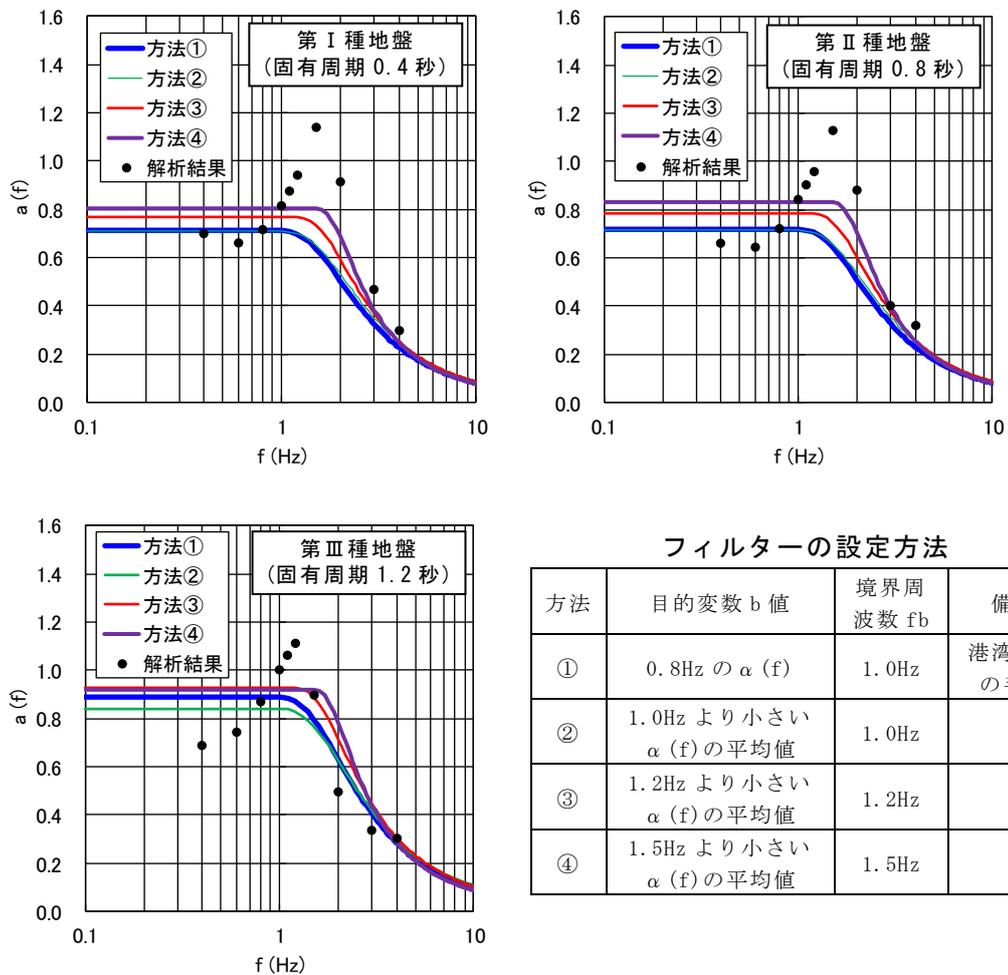


図-2 周波数特性考慮用フィルター（水深-4.1mの例）

V. 方法

(1) 地震動の継続時間の影響に対する検証および漁港用フィルター関数のとりまとめ

平成 28 年度に検討した矢板式係船岸用フィルター案①～④の中から、真値に対して誤差が小さい最適なフィルター案を決定する。また、平成 28 年度の検討では、「地震動の継続時間の影響」が十分に検証されていなかったため、継続時間の影響に関する補正式の検証を行う。検証にはレベル 1 地震動 3 波形程度を用い、残留変形量が 10 cm になるときの地表面応答加速度に対してフィルターの計算および継続時間の補正を行い、補正後の地表面加速度最大値より求まる照査用震度が本来求まるべき値に近いかなを評価する。

以上により、継続時間の影響に関する補正式の適用性を検証するとともに、最適なフィルターを決定する。

1) 検討フロー

本検討は、平成 28 年度に検討された矢板式係船岸用フィルター案①～④について、真値に対して誤差が最も小さくなる最適なフィルター案を決定するものである。

検討は、レベル 1 地震動 3 波形を用い、残留変形量が 10 cm になるときの地表面応答加速度に対してフィルターの計算および継続時間の補正を行い、補正後の照査用震度が本来求まるべき値に近いかなを評価する。そして、平成 28 年度検討の 4 波形の結果と合わせ、継続時間の影響に関する補正式の適用性を検証するとともに、最適なフィルターを決定する。図-3 に検討フローを示す。

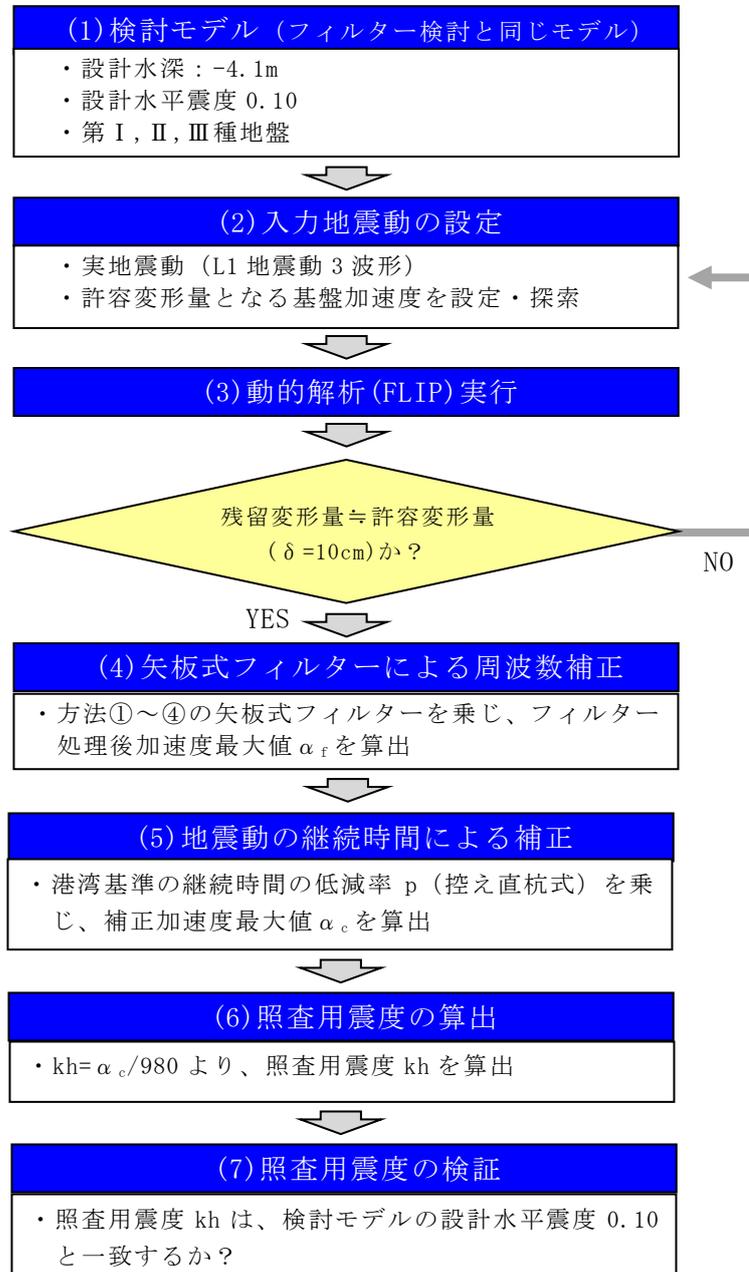


図-3 矢板式係船岸用フィルターの妥当性の検証フロー

2) 検討用地震動の設定

フィルター検証を行うレベル 1 地震動を決定するために、国総研港湾施設研究室ホームページ³⁾で公開されている全国の港湾のレベル 1 地震動のうち松の補正による地震動 (250 波形) についてクラスター分析を行い、代表波形を選出した。クラスター分析とは、混在するデータをいくつかの集団 (クラスター) に類型化する方法であり、本分析では地震動のスペクトルの特徴が明確になる 4 つのクラスターに類型化した。

図-4 に、4 クラスターに分かれた段階での、各クラスター (クラスター番号 1~4 で表現) の平均値を示す。また、各クラスターの平均値に近いスペクトルをもつ L1 波形を各クラスターから 1 波または 2 波選出し、代表波形とした。代表波形を図-5 に示す。このうち、C1、C1' (昨年度は K と称した)、C2、C3 は 28 度に検討済みの波形であり、今年度は C2'、C4、C4' の 3 波形について検討を行うものである。表-1 は選出した代表波形と地域別震度の区分の関係を示したものであり、今年度検討の 3 波形は 28 度未検討であった B 地区、E 地区に該当するものである。

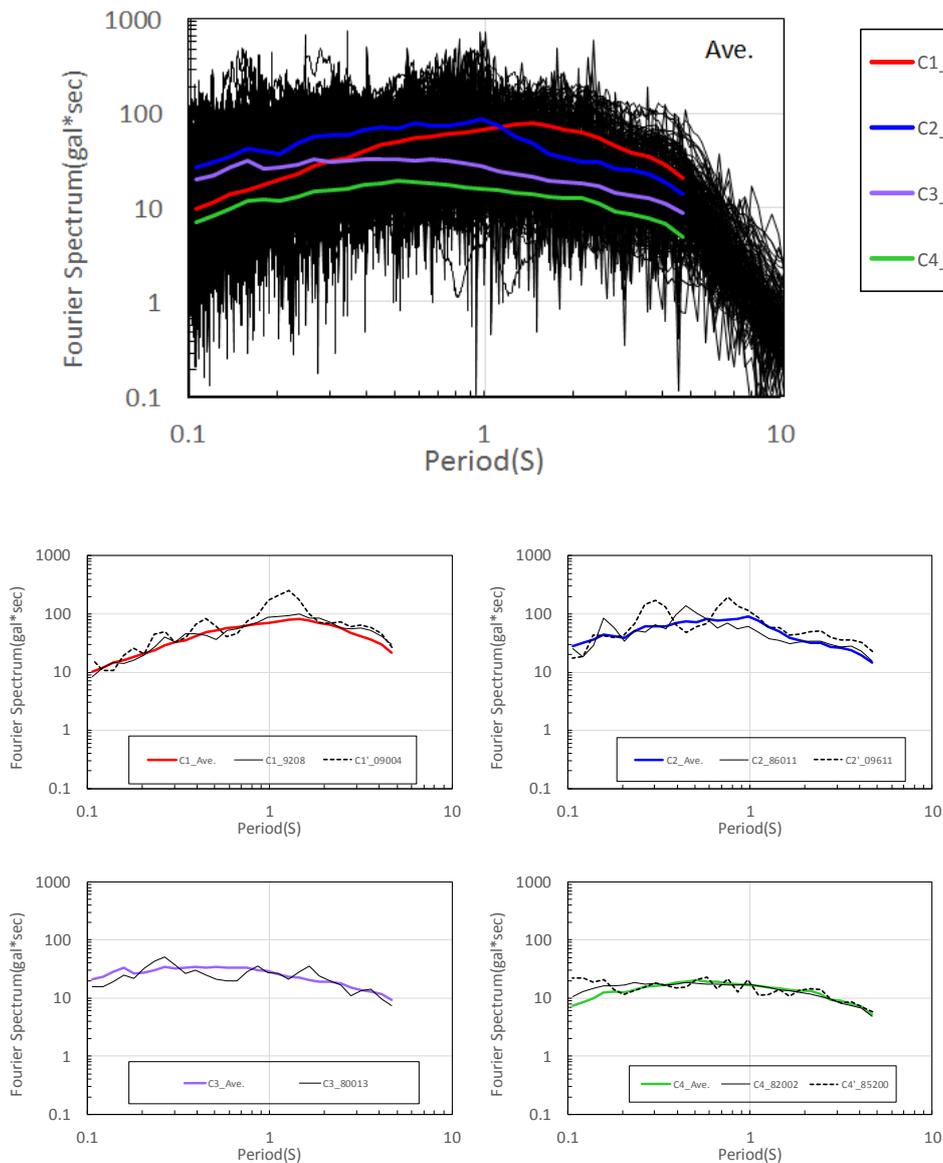


図-4 クラスター分析結果

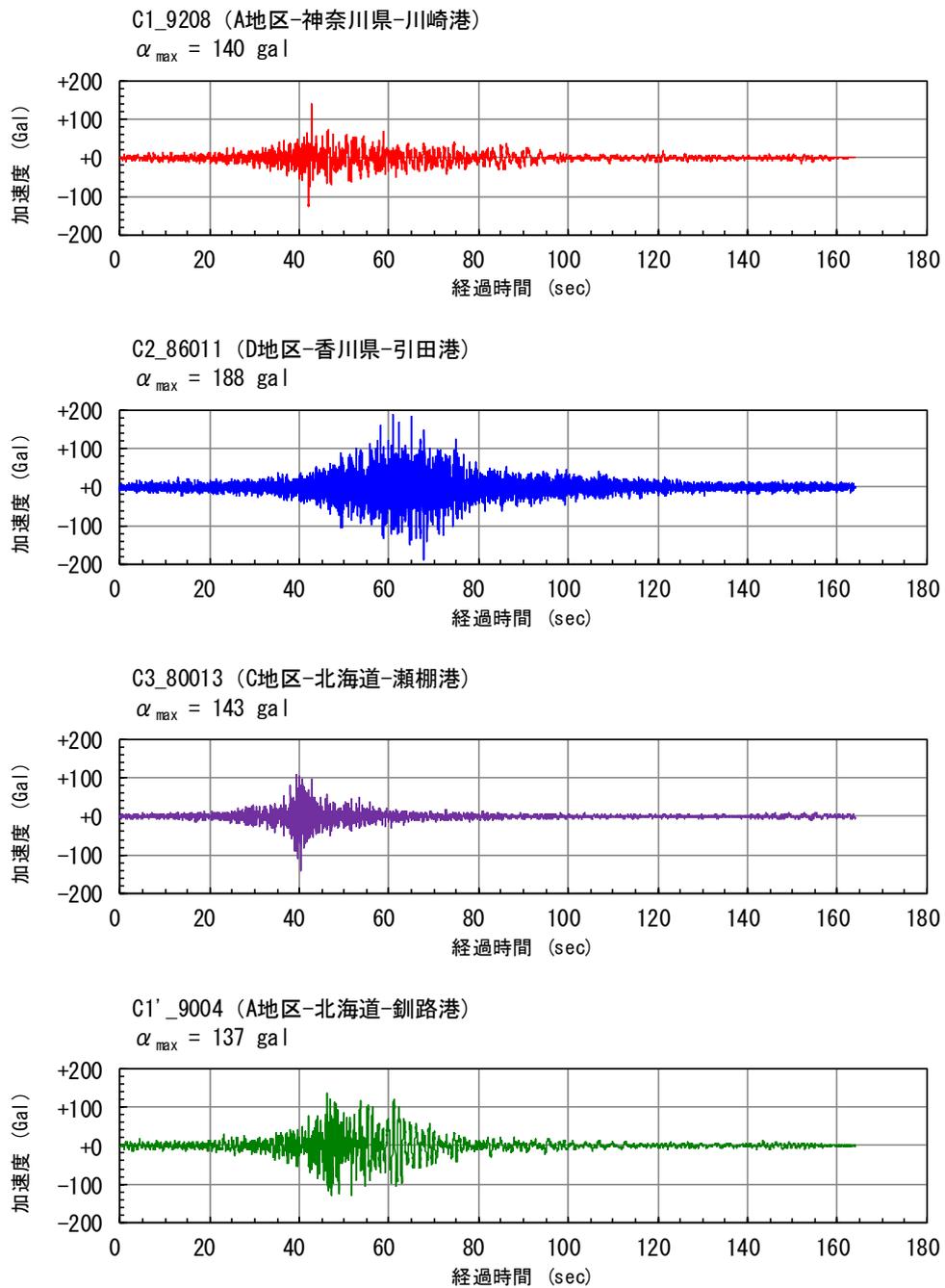


図-5(1) 検討用地震動 (28年度検討)

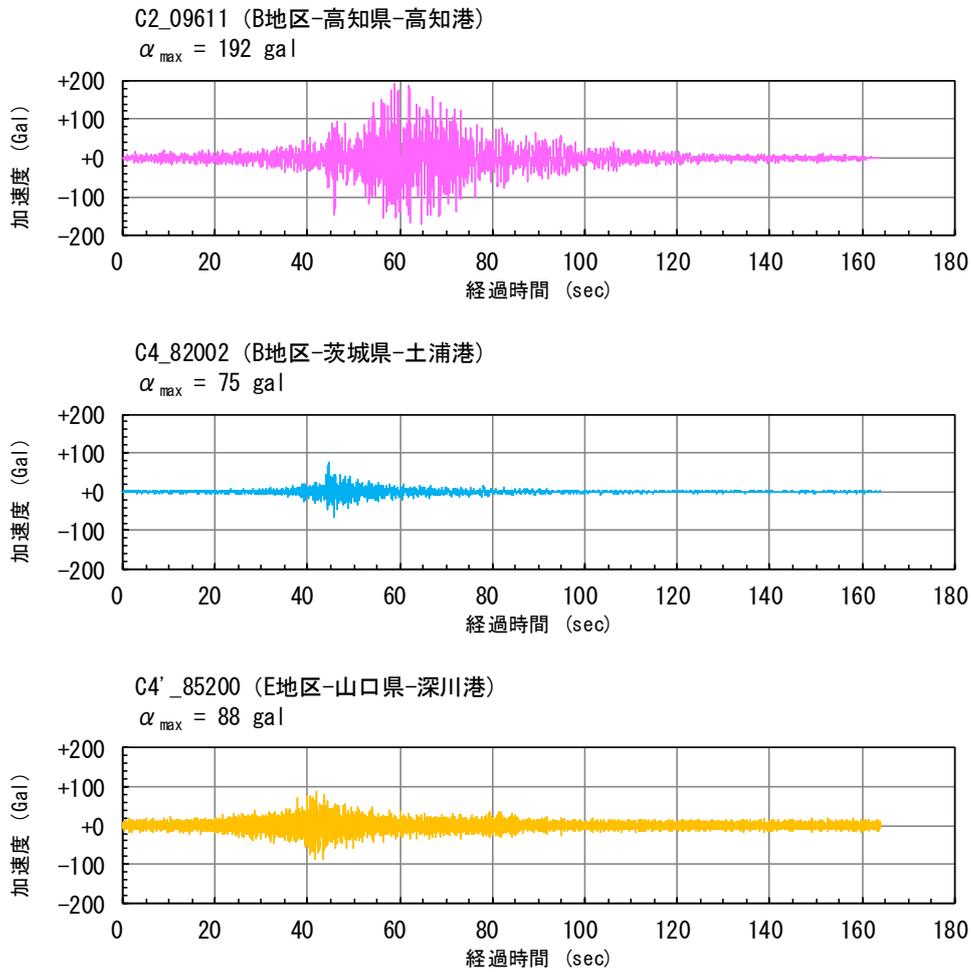


図-5(2) 検討用地震動 (今年度検討)

表-1 検討用地震動と地域別震度区分との関係

A 地区	B 地区	C 地区	D 地区	E 地区
C1 : 川崎港	C2' : 高知港	C3 : 瀬棚港	C2 : 引田港	C4' : 深川港
C1' : 釧路港	C4 : 土浦港			

黒 : 28 年度検討 赤 : 今年度検討

3) 検討モデル

検討モデルは、水産基盤整備調査委託事業「平成 28 年度漁港・漁場の施設の設計手法の高度化検討調査」においてフィルター検討に用いられた水深-4.1m のⅠ、Ⅱ、Ⅲ種地盤相当の 3 モデルとした。本モデルは、設計水平震度 $kh=0.10$ として設定された断面である。入力地震動は上述の 3 波形であり、検討ケースは 3 断面×3 波形=9 ケースである。

検討に用いる二次元地震応答解析ツールは、既往検討と同様に二次元非線形地震応答解析コード FLIP⁴⁾とした。

- ・ 設計水深：-4.1m
- ・ 設計水平震度： $kh=0.10$
- ・ 地盤条件：第Ⅰ，Ⅱ，Ⅲ種地盤相当
- ・ 入力地震動：C2', C4, C4'

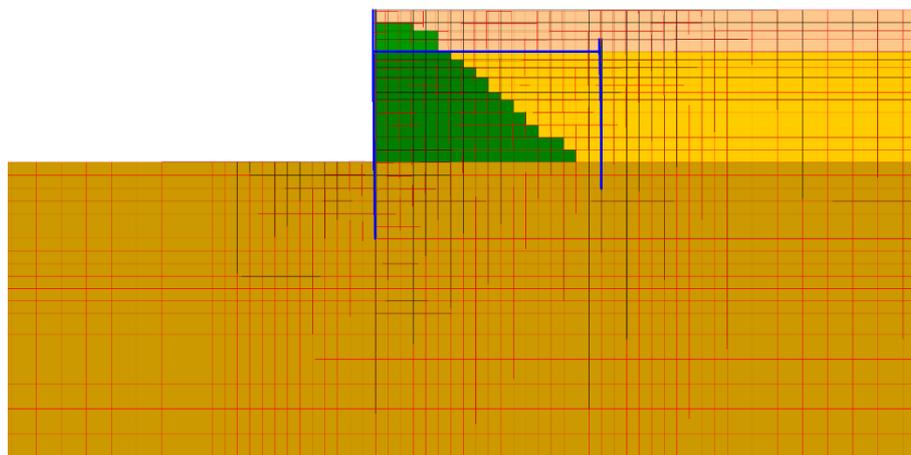


図-6 検討断面の有限要素モデル(水深-4.1m, Ⅰ種地盤の例)

(2) フィルター関数を使用して求められる照査用震度の妥当性の検証

(1)で決定した矢板式係船岸用フィルター関数および継続時間の補正式を用いて求めた照査用震度の妥当性の検証を行う。

検討は、まず(1)で決定したフィルターと継続時間補正式を使用して、10種類のレベル1地震動に対する照査用震度を試算する。そのうち、従来の地域別震度と照査用震度の震度差が最も大きくなる照査用震度を用いて断面を決定する。この断面について、断面決定に使用したレベル1地震動を入力する二次元地震応答解析を行い、求まる残留変形量が本来求まるべき値に近いかな否かの観点により、照査用震度の妥当性を検証する。

また、比較のため、従来の地域別震度を用いた断面も設定し、同様にレベル1地震動を入力する二次元地震応答解析を行い、その残留変形量を求める。そして、求まる残留変形量を比較することにより、照査用震度と地域別震度の差違を明らかにする。

1) 検討フロー

(1)で決定した矢板式係船岸用フィルター関数および継続時間の補正式を用いて求めた照査用震度の妥当性の検証を行う。図-7に検討フローを示す。

本検証では、まず(1)でとりまとめたフィルターと継続時間補正式を使用して、10種類のレベル1地震動に対する照査用震度を算定する。なお、本検討では入力波の振幅は調整せず、原波形をそのまま用いる。検討条件は、フィルター検討に用いたモデル条件(Ⅱ,Ⅲ種地盤相当、設計水深-4.1m)とする。

そのうち、「漁港・漁場の施設の設計参考図書」²⁾に掲載の地域別震度との差異が大きい波形を抽出し、その照査用震度を用いて断面を決定する。断面決定は、上記検討モデル条件とし、「漁港・漁場の施設の設計参考図書」²⁾に準拠して安定計算を行い決定する。

この断面について、断面決定に使用したレベル1地震動を入力する二次元地震応答解析(FLIP⁴⁾)を行い、求まる残留変形量が本来求まるべき値に近いかな否かの観点により、照査用震度の妥当性を検証する。ここで、本来求まるべき値はフィルター検討に用いた基準変形量10cmである。

また、比較のため、上記の波形が該当する地区の「漁港・漁場の施設の設計参考図書」²⁾にある地域別震度を用いて断面を決定し、同様にレベル1地震動を入力する二次元地震応答解析(FLIP⁴⁾)を行い、その残留変形量を求める。求まる残留変形量を比較することにより、照査用震度と地域別震度の差違を明らかにする。

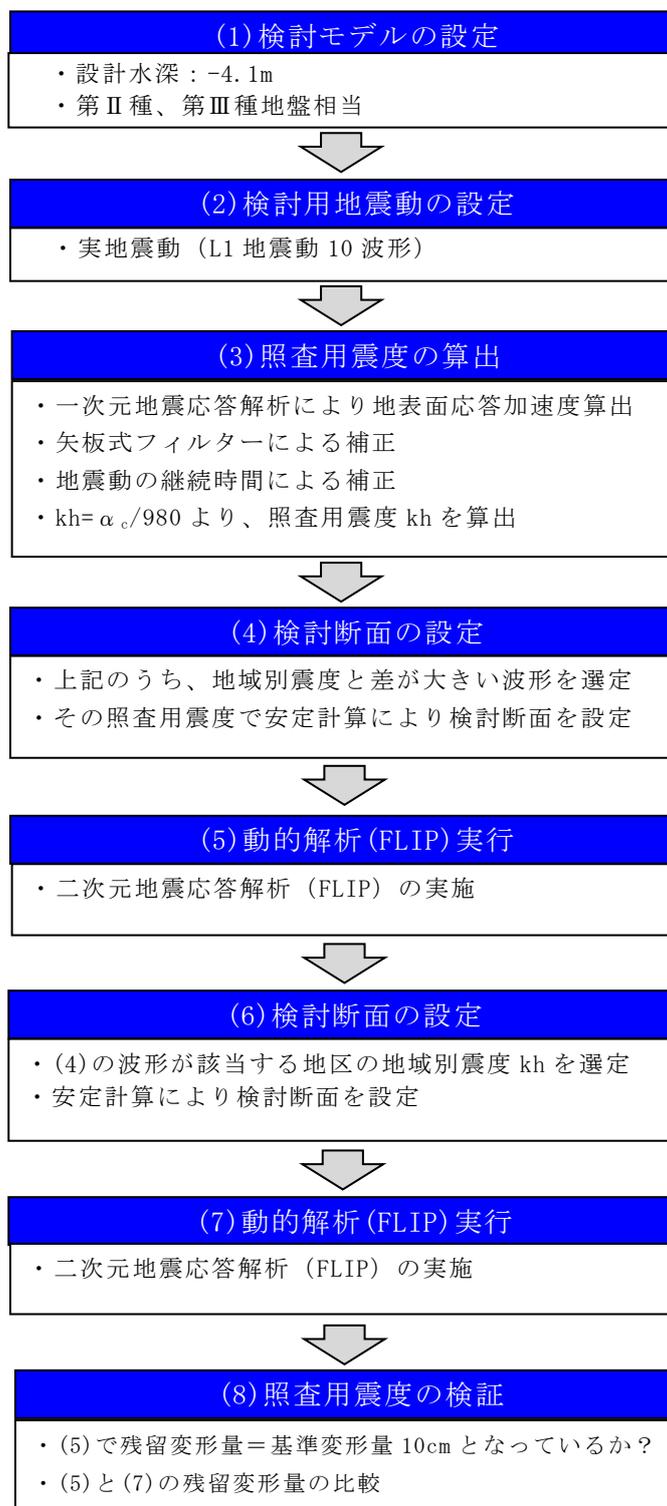


図-7 矢板式フィルターによる照査用震度の妥当性の検証

2) 検討用地震動の設定

本検証に用いるレベル1地震動を決定するために、(1)と同様に国総研港湾施設研究室ホームページ³⁾で公開されている全国の港湾のレベル1地震動のうち松の補正による地震動(250波形)についてクラスター分析を行い、代表波形を選出した。本検証では、10個のクラスターに類型化し、各クラスターの平均値に近いスペクトルをもつL1波形の代表波形とした。

図-8に、10クラスターに分かれた段階での、各クラスター(クラスター番号1~10で表現)の平均値を示す。また、図-9に各クラスターの代表波形を、表-2に代表波形と地域別震度との関係を示す。

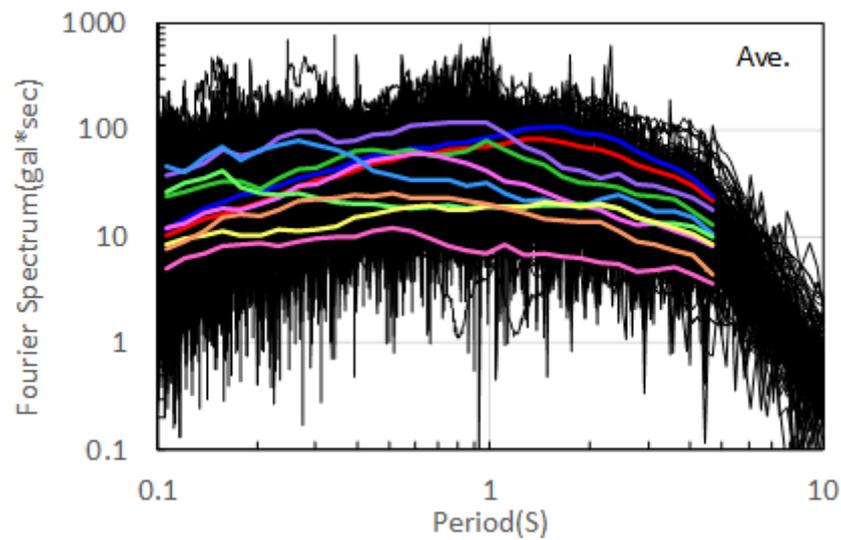


図-8(1) クラスタ分析結果 (10 波形)

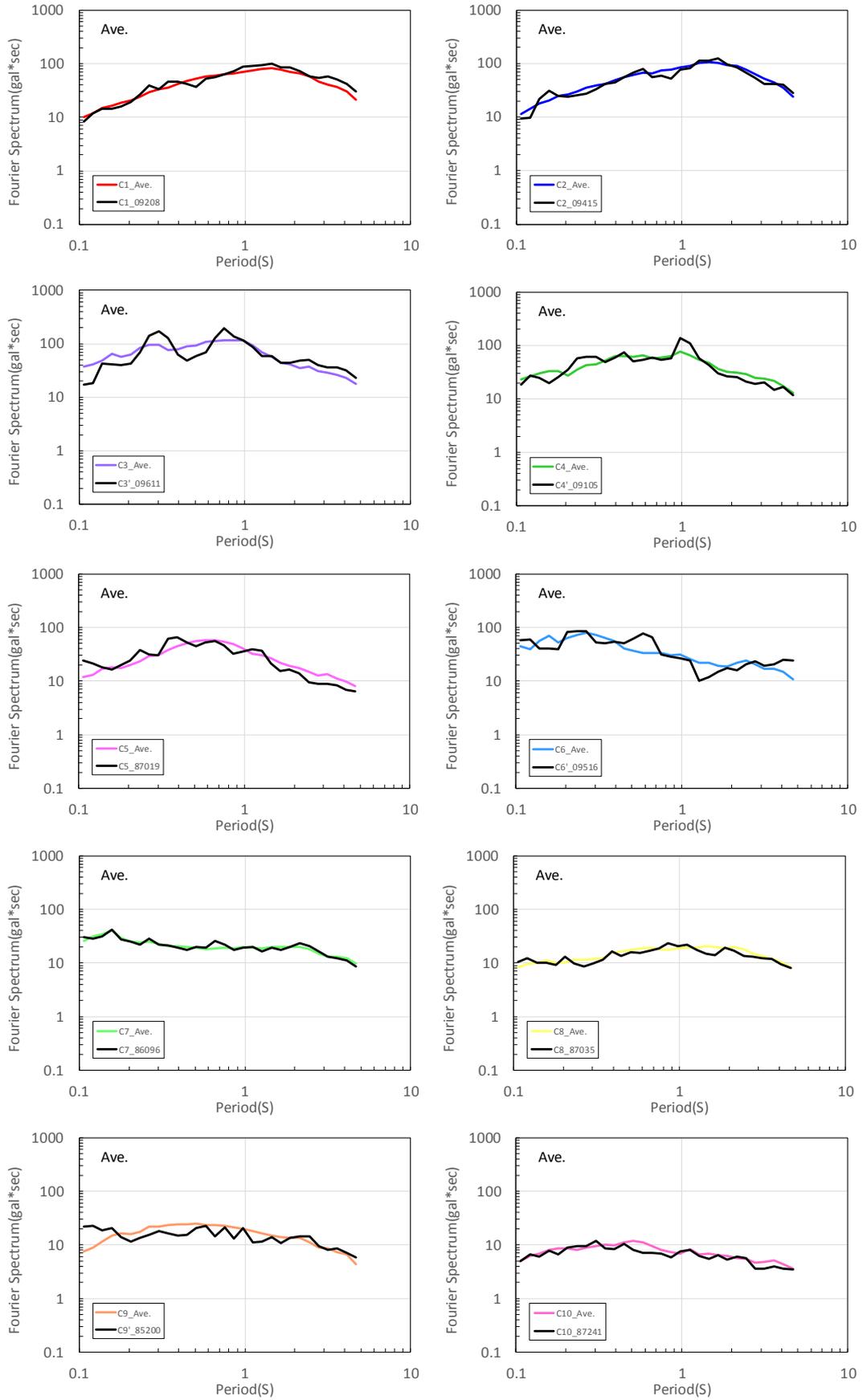


図-8(2) クラスター分析結果 (10 波形)

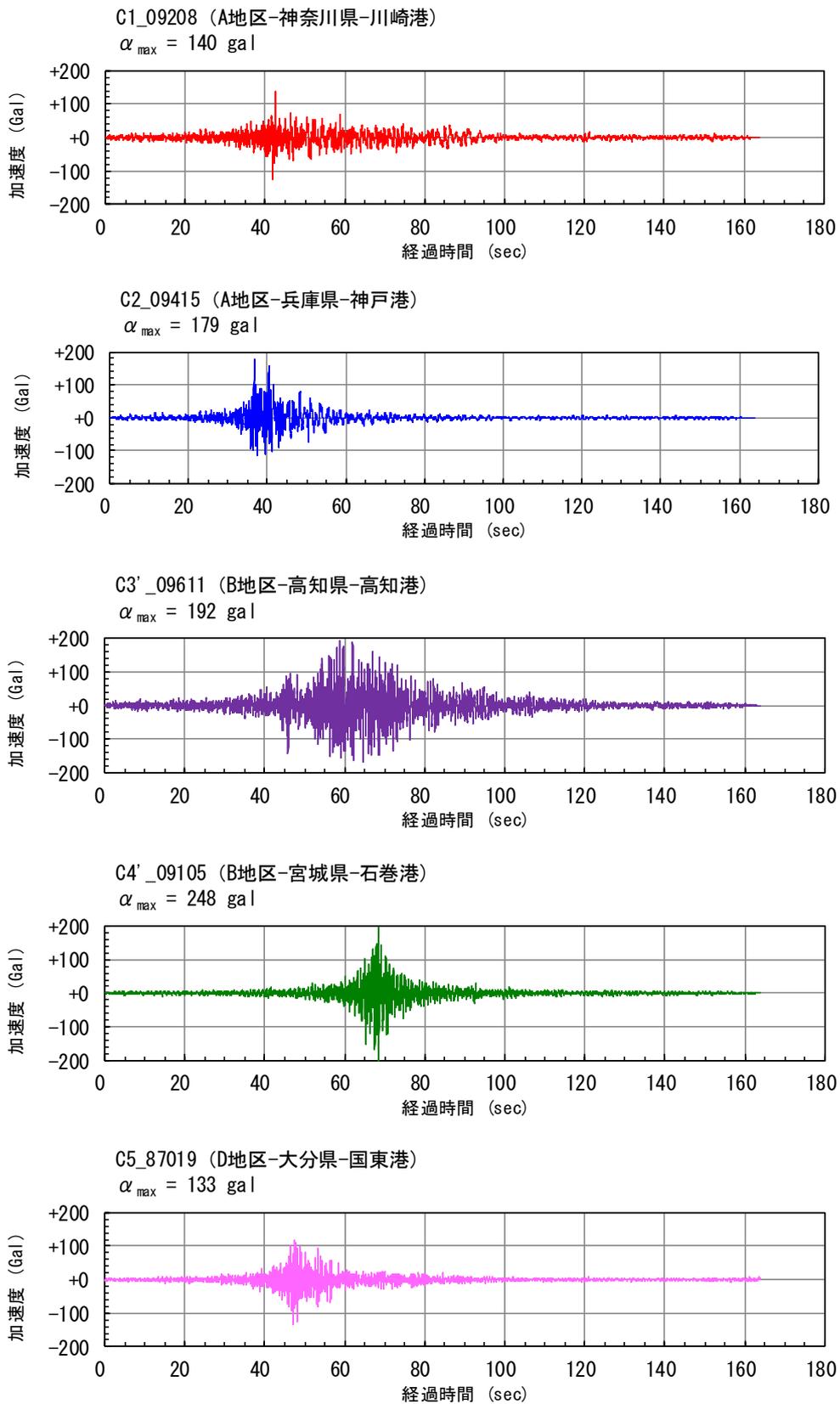


図-9(1) 検討用地震動(10波形)

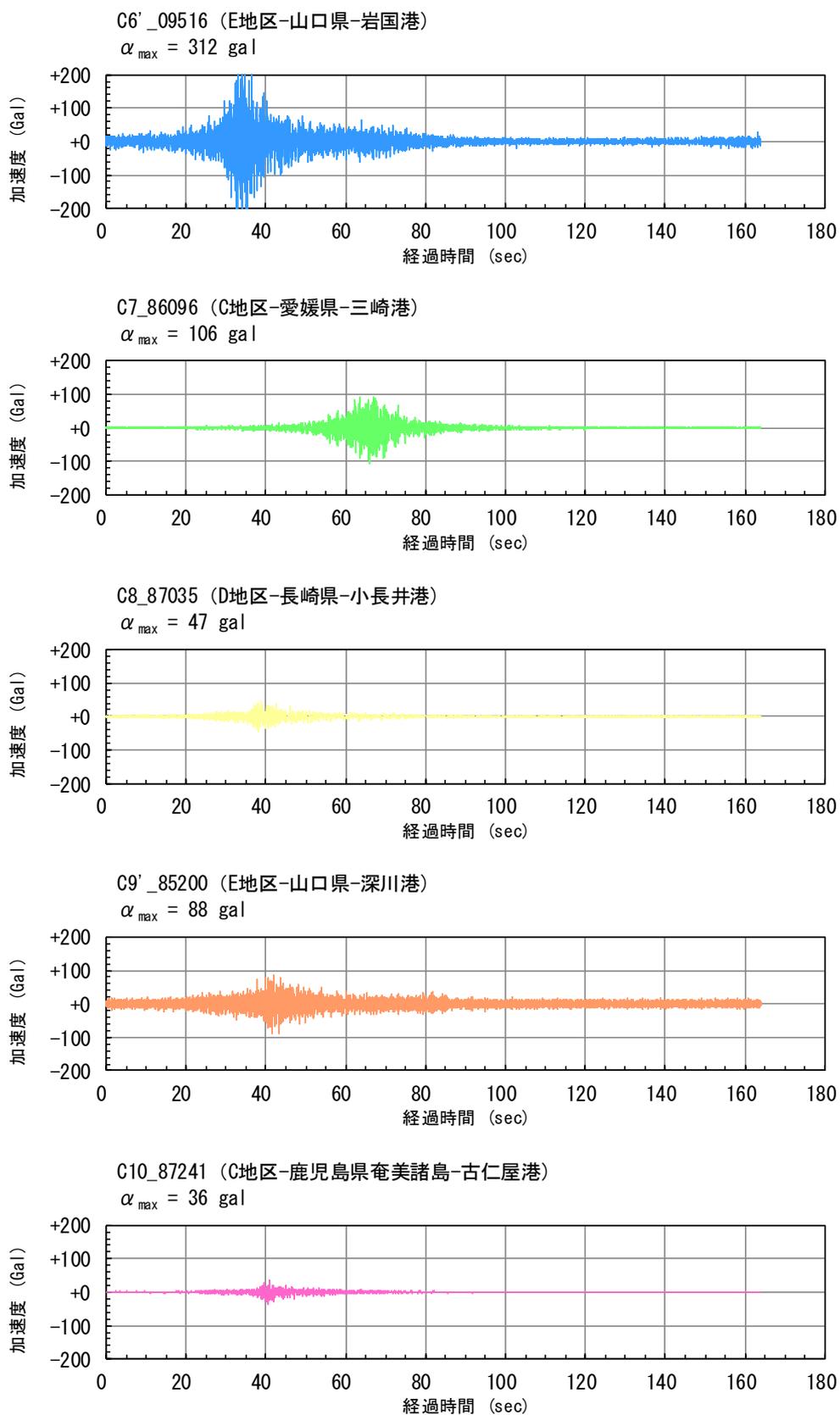


図-9(2) 検討用地震動(10波形)

表-2 検討用地震動と地域別震度区分との関係

A 地区	B 地区	C 地区	D 地区	E 地区
C1:川崎港 C2:神戸港	C3:高知港 C4:石巻港	C7:三崎港 C10:古仁屋港	C5:国東港 C8:小長井港	C6:岩国港 C9:深川港

表-3 地域別の工学的基盤最大加速度及び設計水平震度

	A 地区	B 地区	C 地区	D 地区	E 地区
	北海道(根室, 釧路, 十勝, 日高), 関東(千葉県, 東京都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), 関東(茨城県), 近畿(京都府), 四国(徳島県, 高知県)	北海道(胆振, 渡島, 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, 留萌), 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, 長崎県の五島列島, 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, 対馬及び対馬, 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

(注1) 第四紀層(沖積層、洪積層)の厚さが、下記のいずれかの場合()書の設計水平震度を用いる。

① 一般の砂及び粘土地盤の厚さが25m以上の場合

② 軟弱地盤の厚さが5m以上の場合

ここでいう軟弱地盤とは、N値が4以下の砂地盤、または一軸圧縮強度が20kPa以下の地盤であり、通常の軟弱地盤の概念とは若干異なる。

(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・フェリーが発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、親水性を考慮した護岸及び防波堤である。

(注4) 外郭施設は、親水施設及び道路護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【2015年版】p.160」

VI. 結果

(1) 地震動の継続時間の影響に対する検証および漁港用フィルター関数のとりまとめ 1) 動的解析 (FLIP) の結果

岸壁天端の残留水平変形量を 10cm となる場合の FLIP 解析結果の一例 (I 種地盤相当、C4 波形の場合) を示す。解析結果は、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。

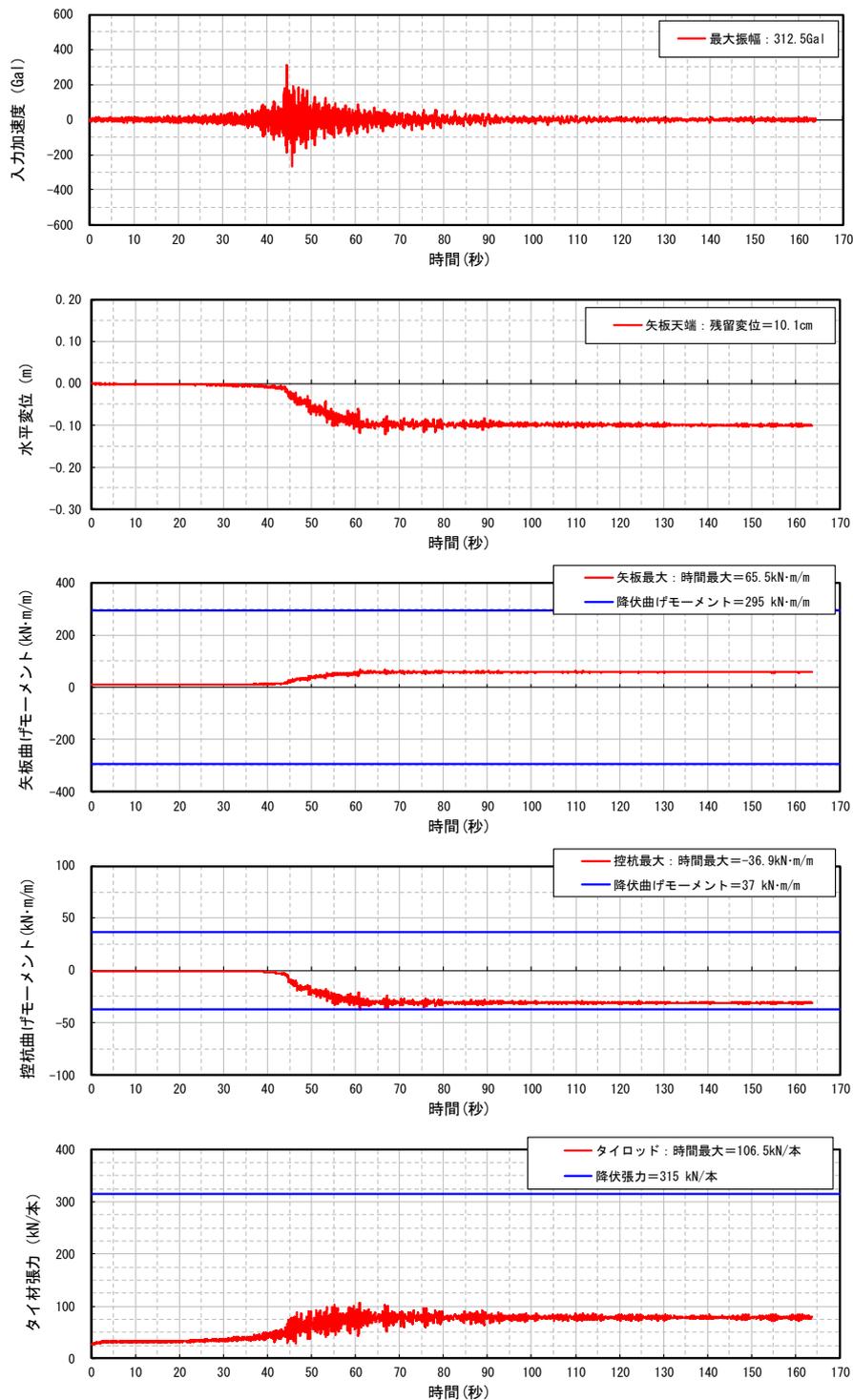


図-10 FLIP 解析結果 (変形量 $\delta=10\text{cm}$ 、I 種地盤相当、C4 波形)

図-11 は岸壁天端の残留変形量が 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、10cm 変形時には、I 種地盤相当の C4 波形で控え杭が降伏に近くなっているが、全てのケースで部材の降伏はみられなかった。漁港岸壁の耐震設計は、レベル 1 地震動に対して部材応力の降伏を許容しないため、本検証においても降伏に達しない解析ケースを対象とすることが望ましく、この観点から本解析結果は検証の素材として問題ないものといえる。

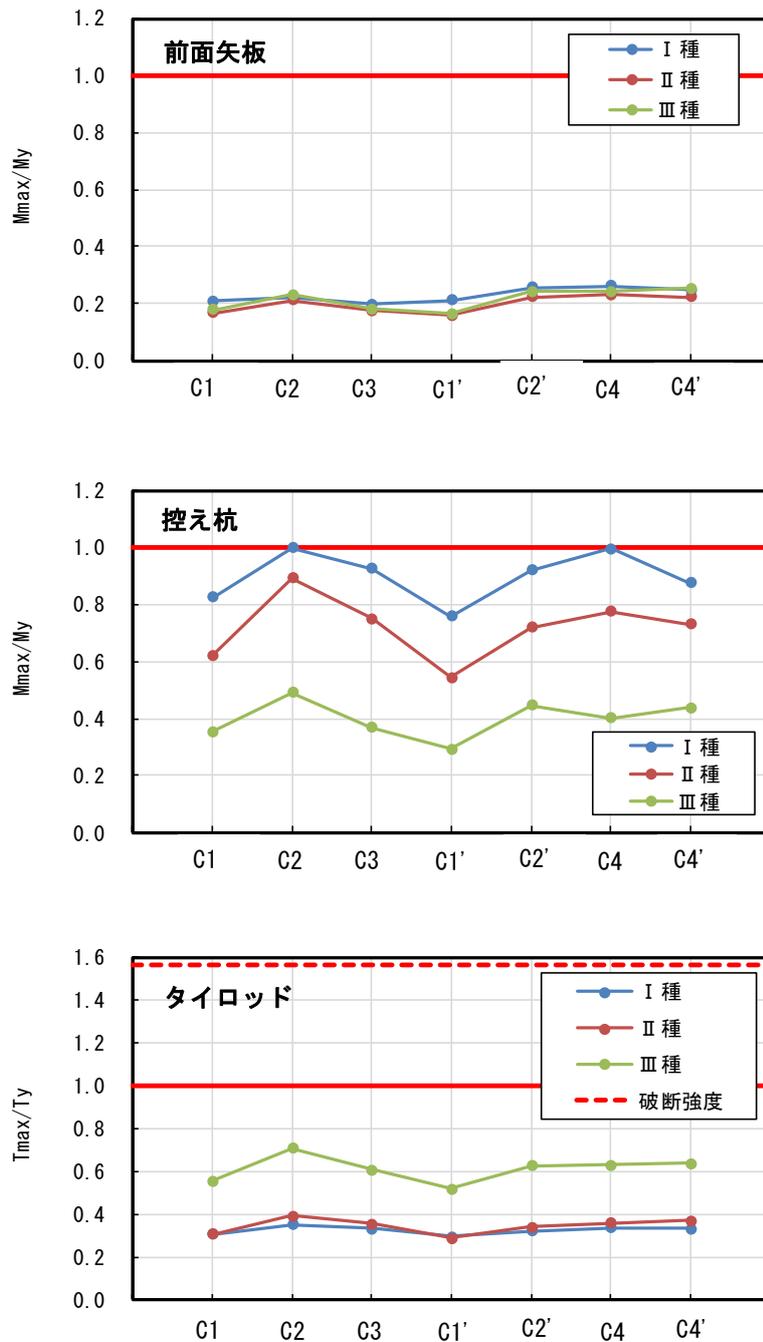


図-11 部材に発生する最大応力と降伏応力の比 (レベル 1 地震動入力時)

2) 照査用震度の算定

岸壁天端の残留水平変形量が 10cm となる場合の地表面応答加速度から照査用震度を以下の方法で算出した。

i) 地表面応答加速度

残留変形量が 10cm となる場合の二次元動的解析 (FLIP⁴) から岸壁背後の地表面における応答加速度最大値 α を求めた。算定結果を図-12 に示す。

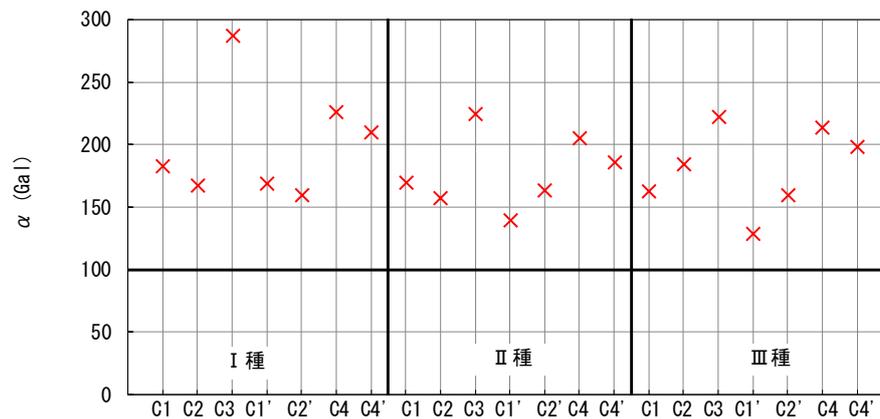


図-12 地表面応答加速度の算定結果

ii) フィルター補正後の応答加速度

平成 28 年度検討の方法①～④の矢板式フィルターを用いて、地表面応答加速度 α をフィルター補正し、加速度最大値 αf を求めた。表-4、5 および図-13 に方法①～④の矢板式フィルターを、表-6 にフィルター補正後の応答加速度 αf の算定結果を示す。

$$\alpha(f) = \begin{cases} b & (f \leq f_b(\text{Hz})) \\ \frac{b}{1 - \{g(f)\}^2 + c_1 g(f)i} & (f > f_b(\text{Hz})) \end{cases} \quad \dots \text{式(1)}$$

$$g(f) = c_6(f - f_b) \quad \dots \text{式(2)}$$

$$b = c_2 \frac{H}{H_R} + c_3 \frac{T_b}{T_{bR}} + c_4 \frac{T_u}{T_{uR}} + c_5 \quad \dots \text{式(3)}$$

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)

T_{bR} : 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)

T_{uR} : 壁体下地盤の基準初期固有周期 (= 0.4s)

表-4 フィルター設定方法の一覧

方法	目的変数 b 値	境界周波数 fb	備考
①	0.8Hz の $\alpha (f)$	1.0Hz	港湾基準の手法
②	1.0Hz より小さい $\alpha (f)$ の平均値	1.0Hz	
③	1.2Hz より小さい $\alpha (f)$ の平均値	1.2Hz	
④	1.5Hz より小さい $\alpha (f)$ の平均値	1.5Hz	

表-5 変形量 $\delta=10\text{cm}$ に対するフィルター係数

係数	方法①	方法②	方法③	方法④
c1	12.003	9.925	11.695	14.877
c2	0.534	0.801	1.036	1.632
c3	1.932	1.416	1.581	0.866
c4	-0.958	-0.702	-0.777	-0.410
c5	0.162	0.141	0.071	-0.018
c6	0.083	0.090	0.088	0.084
fb	1.000	1.000	1.200	1.500

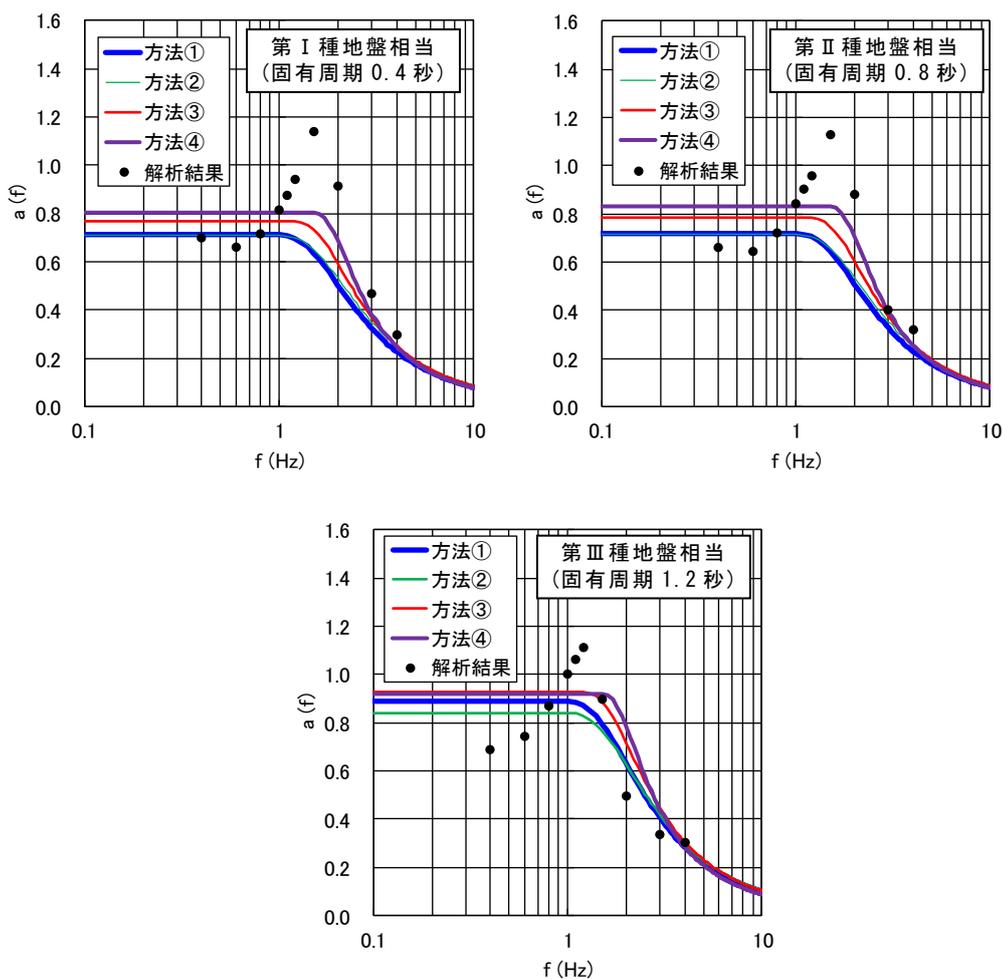


図-13 周波数特性考慮用フィルター (水深-4.1m)

表-6 フィルター補正後の応答加速度の算定結果

地盤条件	地震波	地表面応答 加速度 (gal)	フィルター補正後の応答加速度 α_f				備考
			方法①	方法②	方法③	方法④	
I 種	C1	182.8	96.64	99.62	106.41	114.20	川崎港
	C2	167.4	71.45	75.44	84.65	92.86	引田港
	C3	287.5	110.85	114.87	124.63	130.64	瀬棚港
	k	169.0	106.16	106.62	115.77	120.11	釧路港
	C2'	159.5	77.59	80.41	88.25	92.71	高知港
	C4	226.1	72.71	77.99	83.74	88.79	土浦港
	C4'	210.0	85.93	91.32	99.97	112.76	深川港
II 種	C1	169.6	101.99	103.64	112.90	123.96	川崎港
	C2	157.2	76.65	79.92	91.66	103.10	引田港
	C3	224.3	118.74	121.99	134.38	143.56	瀬棚港
	k	139.8	104.34	103.27	112.65	117.28	釧路港
	C2'	163.7	87.09	89.11	97.31	105.99	高知港
	C4	205.3	73.59	78.81	85.75	92.90	土浦港
	C4'	185.9	81.10	85.54	99.51	113.90	深川港
III 種	C1	163.0	133.86	128.43	142.57	146.56	川崎港
	C2	184.1	136.93	132.81	146.96	153.82	引田港
	C3	222.4	157.62	153.71	170.52	168.90	瀬棚港
	k	128.5	113.45	106.29	116.74	113.86	釧路港
	C2'	159.3	108.31	105.31	119.66	121.22	高知港
	C4	213.8	111.20	107.29	121.71	129.16	土浦港
	C4'	198.3	130.68	128.99	150.95	160.93	深川港
平均値			102.71	103.40	114.60	121.30	
標準偏差			23.46	20.69	23.47	22.35	

iii) 継続時間の補正

以下の港湾基準の地震動の継続時間補正式¹⁾より低減率 p を求め、継続時間補正後の加速度最大値 α_c を求めた。表-7 に継続時間補正後の加速度最大値 α_c の算定結果を示す。また、図-14 に継続時間補正前後の加速度最大値の比較を示す。いずれのフィルターを用いた場合にも、継続時間補正後の加速度最大値 α_c はフィルター処理後の加速度最大値 α_f よりもばらつきが小さくなっており、式(4)の港湾基準の地震動の継続時間補正式をそのまま用いることができると考えられる。しかしながら、方法①および②のフィルターを用いた場合、継続時間補正後の加速度最大値 α_c が 100Gal よりも小さくなることから、方法③および④のフィルターと組合せて使用するのが良いと考えられる。

$$p = 0.35 \ln(S/\alpha_f) - 0.20 \quad \dots \text{式(4)}$$

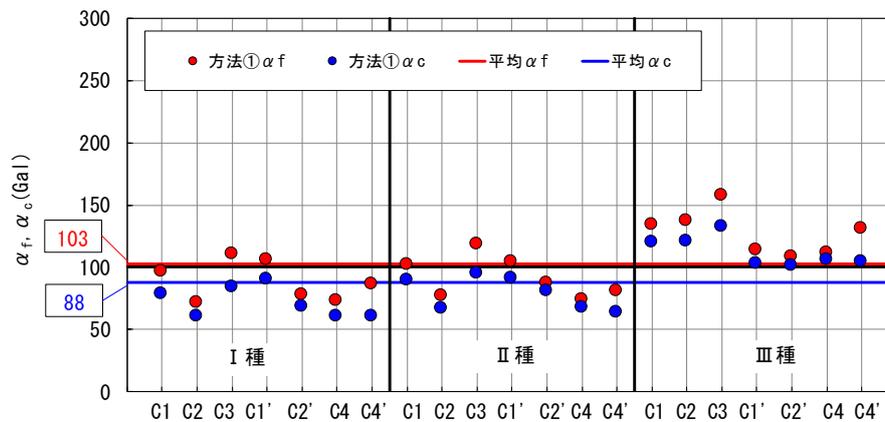
p : 低減率 ($p \leq 1.0$)

S : フィルター処理後の加速度時刻歴の二乗和平方根 (cm/s^2)

α_f : フィルター処理後の加速度最大値 (cm/s^2)

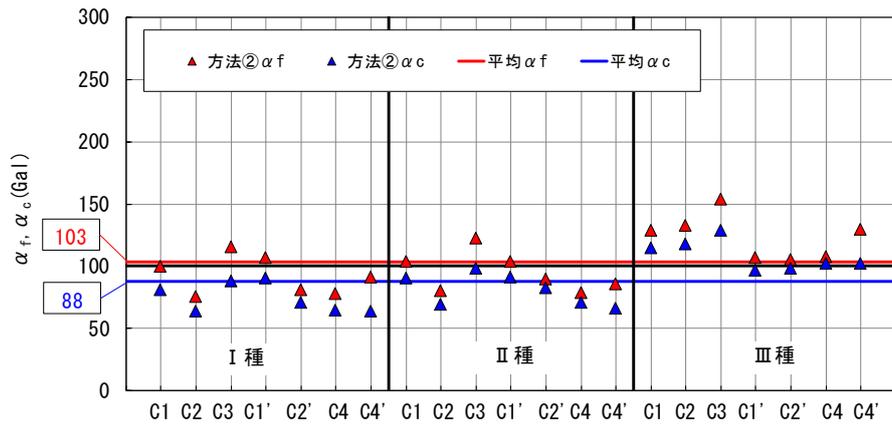
表-7 継続時間補正後の加速度最大値の算定結果

地盤条件	地震波	地表面応答 加速度 (gal)	継続時間補正後の加速度最大値 α_c				備考
			方法①	方法②	方法③	方法④	
I種	C1	182.8	78.75	80.65	87.06	93.42	川崎港
	C2	167.4	60.71	63.93	71.16	78.44	引田港
	C3	287.5	84.31	87.55	94.91	100.34	瀬棚港
	k	169.0	89.95	90.53	98.37	103.09	釧路港
	C2'	159.5	68.36	70.69	77.49	81.89	高知港
	C4	226.1	60.58	64.15	69.42	74.42	土浦港
	C4'	210.0	60.73	63.79	69.92	77.61	深川港
II種	C1	169.6	89.38	90.44	98.95	107.71	川崎港
	C2	157.2	66.40	69.08	78.21	87.57	引田港
	C3	224.3	95.14	97.67	107.33	114.92	瀬棚港
	k	139.8	91.15	90.64	99.04	104.15	釧路港
	C2'	159.5	80.51	82.26	90.29	97.81	高知港
	C4	226.1	67.16	70.75	77.45	84.15	土浦港
	C4'	210.0	63.61	66.24	75.37	84.51	深川港
III種	C1	163.0	119.64	114.42	126.92	129.24	川崎港
	C2	184.1	120.73	117.64	130.88	136.90	引田港
	C3	222.4	132.57	128.85	142.74	142.35	瀬棚港
	k	128.5	102.74	96.76	106.50	104.86	釧路港
	C2'	159.5	100.91	97.90	110.40	111.52	高知港
	C4	226.1	105.86	102.26	115.25	120.59	土浦港
	C4'	210.0	104.35	102.12	117.08	122.65	深川港
平均値			87.79	88.02	97.37	102.77	
標準偏差			21.13	18.50	20.87	19.39	

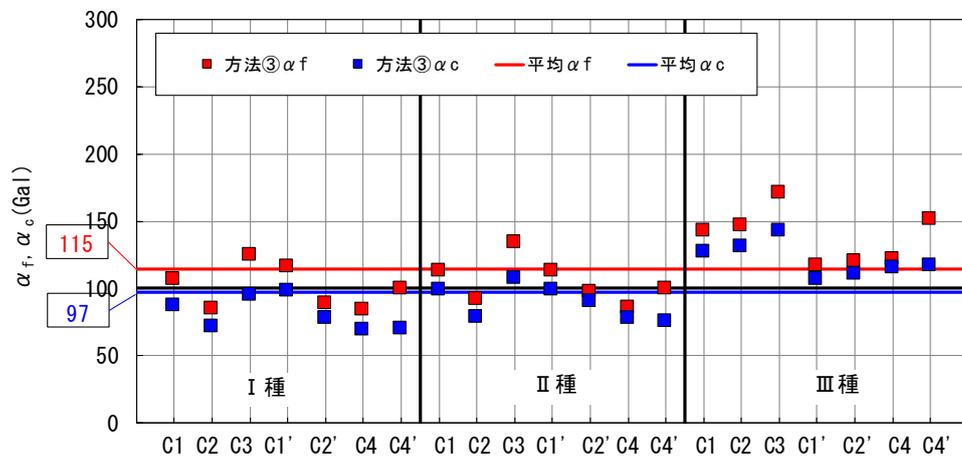


(方法①フィルター)

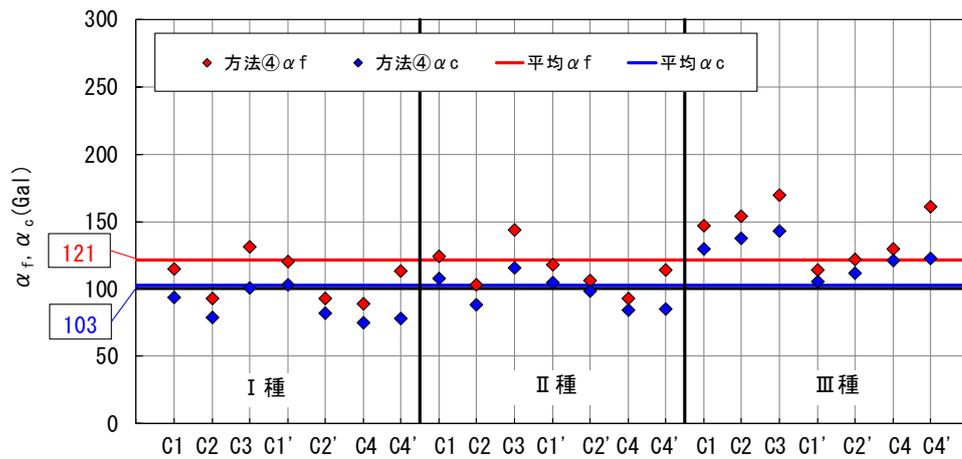
図-14(1) 継続時間補正前後の比較



(方法②フィルター)



(方法③フィルター)



(方法④フィルター)

図-14(2) 継続時間補正前後の比較

iv) 照査用震度の算定

補正後の加速度最大値 α_c を 980gal で除すことにより照査用震度を算定した。表-8 および図-15、16 に照査用震度算定結果の一覧を示す。

表-8 各波形による照査用震度の算定結果

地盤条件	地震波	地表面応答 加速度 (gal)	照査用震度kh				備考
			方法①	方法②	方法③	方法④	
I種	C1	182.8	0.08	0.08	0.09	0.09	川崎港
	C2	167.4	0.06	0.06	0.07	0.08	引田港
	C3	287.5	0.08	0.09	0.09	0.10	瀬棚港
	C1'	169.0	0.09	0.09	0.10	0.10	釧路港
	C2'	159.5	0.07	0.07	0.08	0.08	高知港
	C4	226.1	0.06	0.06	0.07	0.07	土浦港
	C4'	210.0	0.06	0.06	0.07	0.08	深川港
II種	C1	169.6	0.09	0.09	0.10	0.11	川崎港
	C2	157.2	0.07	0.07	0.08	0.09	引田港
	C3	224.3	0.10	0.10	0.11	0.11	瀬棚港
	C1'	139.8	0.09	0.09	0.10	0.10	釧路港
	C2'	163.7	0.08	0.08	0.09	0.10	高知港
	C4	205.3	0.07	0.07	0.08	0.08	土浦港
	C4'	185.9	0.06	0.07	0.08	0.08	深川港
III種	C1	163.0	0.12	0.11	0.13	0.13	川崎港
	C2	184.1	0.12	0.12	0.13	0.14	引田港
	C3	222.4	0.13	0.13	0.14	0.14	瀬棚港
	C1'	128.5	0.10	0.10	0.11	0.10	釧路港
	C2'	159.3	0.10	0.10	0.11	0.11	高知港
	C4	213.8	0.11	0.10	0.12	0.12	土浦港
	C4'	198.3	0.10	0.10	0.12	0.12	深川港
平均値			0.09	0.09	0.10	0.10	全体
kh=0.10からの標準偏差(=√(偏差平方和÷データ数))			0.024	0.023	0.021	0.020	全体



図-15 各方法のフィルターによる照査用震度の算定結果

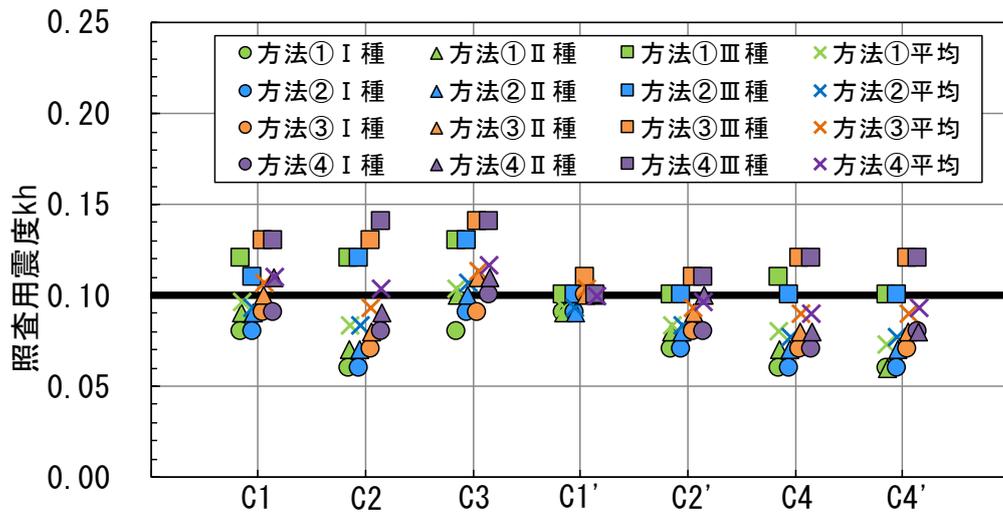


図-16 各波形による照査用震度の算定結果

3) 漁港用フィルターの決定

表-8 および図-15 に示した照査用震度は、設計水平震度 0.10 の条件で 10cm 変形時に 100gal となるように設定したフィルターを乗じたものであるため、理論上は 0.10 となっているはずである。

図より、各方法ともレベル 1 地震動の照査用震度は平均的には概ね 0.10 となることが分かる。各ケースの照査用震度と理論上の照査用震度 0.10 の偏差より標準偏差 ($=\sqrt{\text{偏差平方和} \div \text{データ数}}$) を求めると、方法④のフィルターを用いた場合が標準偏差は最も小さくなる結果となった。

これより、本検証では平成 28 年度に設定した方法①～④のうち、方法④のフィルターを最適なフィルターとして決定する。

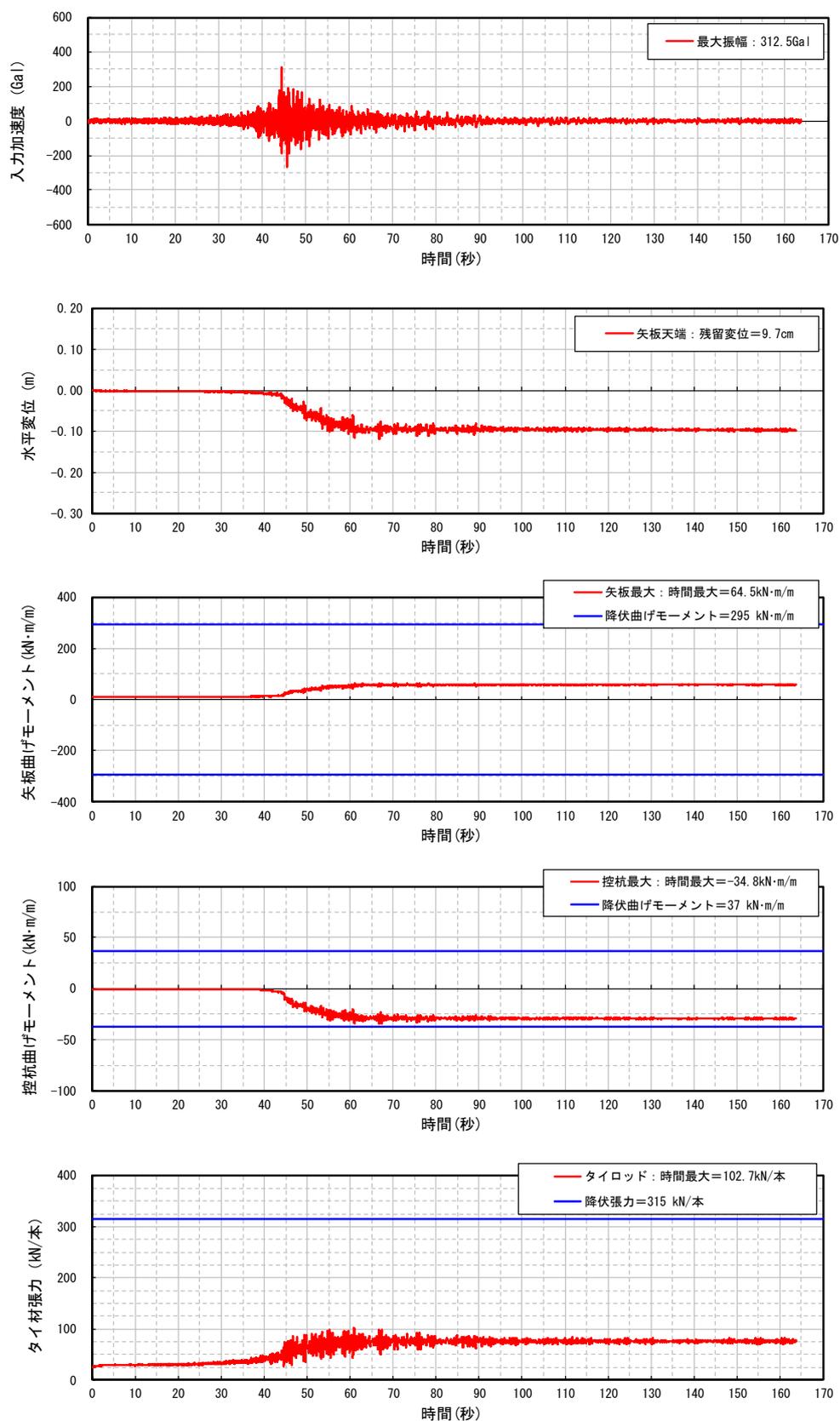


図-18 FLIP 解析結果 (kh=0.07、I 種地盤相当、G4 波形(最大振幅 312.5gal))

5) フィルターb 値の下限値の検討

本照査用震度算定法においては、地盤の固有周期が非常に短い場合、あるいは壁高が非常に低い場合には、極端に小さい照査用震度が算定される可能性がある。そのため、そのような問題の発生を回避するため、漁港の矢板式フィルターの b 値下限値について検討した。

図-19 は係船岸の壁高とフィルターb 値の関係を示したものである。図中のプロットは方法④のフィルターによって求めた矢板式フィルター検討モデルの b 値である。このようにフィルターb 値と壁高との間には明瞭な比例関係があることが分かる。図に示すとおり、矢板式フィルター検討モデルの b 値の最小値は水深-2.1m、 $T=0.8s$ のケースで $b=0.477$ である。この条件は、水深の浅い漁港岸壁においてもほぼ下限に近い b 値を与える条件と考えられるため、この値をそのまま矢板式フィルターの b 値下限値と設定することができると考えられる。

なお、図-19 に示すとおり、港湾の矢板式フィルターの下限值も漁港の矢板式フィルターを用いる壁高の範囲では $b=0.41$ となっており、上述の値とほぼ等しい値を下限値として採用されている¹⁾。

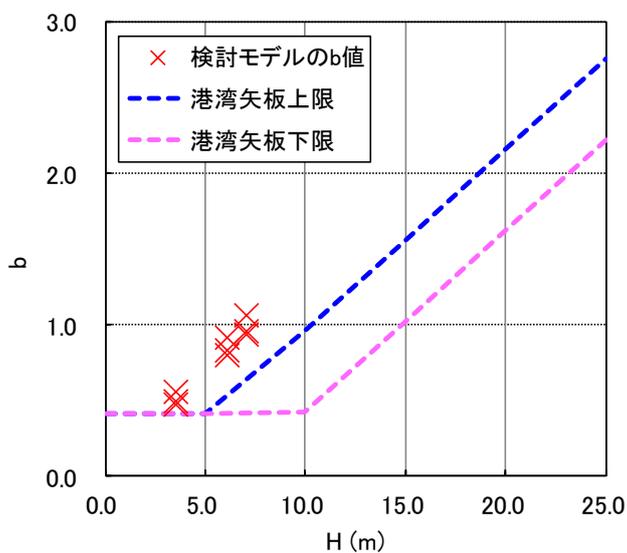


図-19 フィルターb 値の下限値

6) 地震動の継続時間補正式について

地震動の継続時間補正式は、既往の重力式の検討と同様に港湾基準の式¹⁾を準用することとしている。ここでは、継続時間補正式中の係数を変更することで、照査用震度のばらつきを抑えることができるかどうか検討した。

地震動の継続時間補正式は以下のとおりとなっており、本検討では式中の係数 η_1 を変化させて低減率 p を求め、照査用震度を算定した。照査用震度の算定条件は、前述の 2) と同じであり、本検討は、2) iii) における地震動の継続時間の補正式のみを変更した検討である。

$$p = \eta_1 \ln\left(\frac{S}{\alpha_f}\right) + \eta_2 \quad \dots \text{式(5)}$$

ここに、

p : 低減率

S : フィルター処理後の加速度時刻歴の二乗和平方根 (cm/s^2)

α_f : フィルター処理後の加速度最大値 (cm/s^2)

η_1 、 η_2 : 定数で港湾の矢板式は $\eta_1=0.35$ 、 $\eta_2=0.20$

図-20 に係数 η_1 を 0.25~0.40 に変化させた場合の照査用震度の算定結果を示す。図より、係数 η_1 を小さくするとばらつきは多少抑えられるが、照査用震度を全体的に小さく見積ることとなった。また、港湾基準の係数 $\eta_1=0.35$ を使えば、平均的には目標震度によく一致し、一致する係数の中では最も変動係数が小さくなった。これより、本検討では港湾基準の係数をそのまま準用することとした。

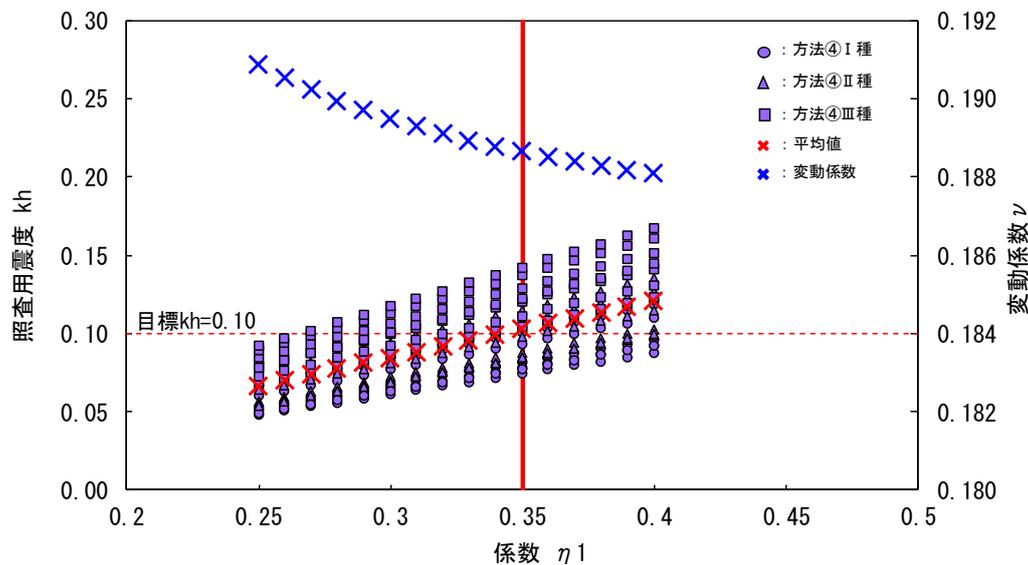


図-20 係数 η_1 を変化させた場合の照査用震度

(2) フィルター関数を使用して求められる照査用震度の妥当性の検証

1) 照査用震度の算定

方法④のフィルターと継続時間補正式を使用して、前述の10個のレベル1地震動に対する照査用震度を算定した。本検討における照査用震度は、入力地震動の振幅は調整せず原波形をそのまま用い、フィルター検討に用いた水深-4.1mのⅡ種、Ⅲ種地盤の条件で算定した。

表-9、10 および図-21～22 に照査用震度の算定結果を示す。方法④の矢板式フィルターによる照査用震度は全てのケースで現行の漁港基準の地域別震度よりも小さくなった。これは、漁港の矢板式断面はレベル1地震時で決まっていないケースが多く、レベル1地震時には比較的断面余裕があったためと考えられる。

表-9 照査用震度算定結果（方法④フィルター、水深-4.1m、Ⅱ種地盤相当）

地震波	地表面応答加速度 (gal)	照査用震度 kh				地域別震度 kh		備考	
		①漁港矢板	②漁港重力 (参考)	③港湾矢板 (参考)	④港湾重力 (参考)	⑤係留施設A	⑥係留施設B		
C1	川崎港	115.4	0.07	0.13	0.09	0.12	0.18 (0.22)	0.15 (0.20)	A地区
C2	神戸港	131.9	0.08	0.16	0.11	0.14	0.18 (0.22)	0.15 (0.20)	A地区
C3	高知港	162.8	0.10	0.17	0.10	0.14	0.16 (0.19)	0.13 (0.16)	B地区
C4	石巻港	182.9	0.09	0.15	0.10	0.13	0.16 (0.19)	0.13 (0.16)	B地区
C5	国東港	106.9	0.05	0.10	0.06	0.09	0.13 (0.16)	0.11 (0.13)	D地区
C6	岩国港	161.1	0.06	0.11	0.06	0.09	0.10 (0.12)	0.08 (0.10)	E地区
C7	三崎港	72.3	0.05 (0.03)	0.07	0.05	0.06	0.14 (0.17)	0.12 (0.14)	C地区
C8	小長井港	42.3	0.05 (0.02)	0.06	0.05 (0.04)	0.06	0.13 (0.16)	0.11 (0.13)	D地区
C9	深川港	66.9	0.05 (0.02)	0.06	0.05 (0.04)	0.06	0.10 (0.12)	0.08 (0.10)	E地区
C10	古仁屋港	33.6	0.05 (0.01)	0.05	0.05 (0.04)	0.05	0.14 (0.17)	0.12 (0.14)	C地区
平均値			0.06	0.11	0.07	0.09	0.14 (0.17)	0.12 (0.15)	

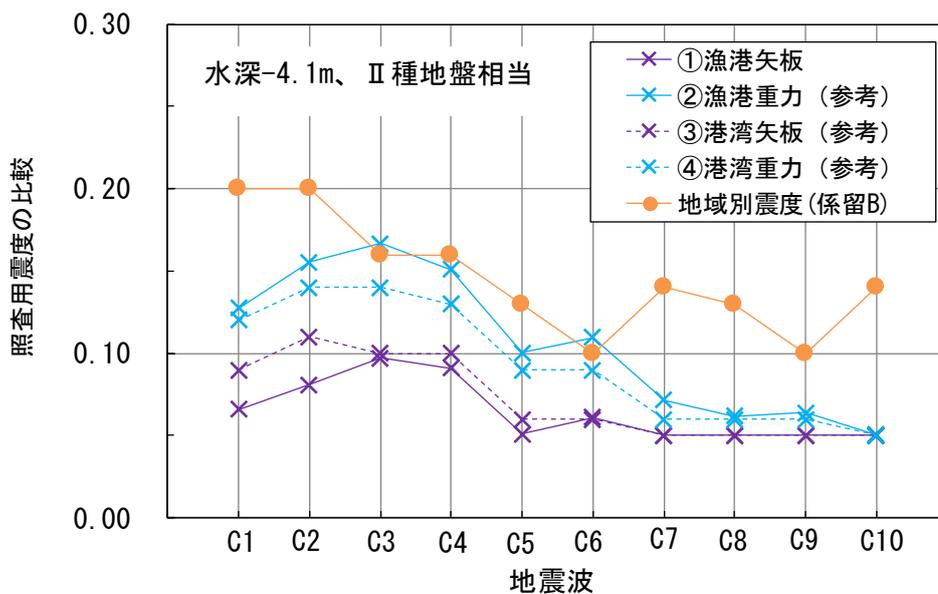


図-21 照査用震度の比較

表-10 照査用震度算定結果（方法④フィルター、水深-4.1m、Ⅲ種地盤相当）

地震波	地表面応答加速度 (gal)	照査用震度kh				地域別震度kh			備考
		①漁港矢板	②漁港重力 (参考)	③港湾矢板 (参考)	④港湾重力 (参考)	⑤係留施設A	⑥係留施設B		
C1	川崎港	122.8	0.09	0.17	0.11	0.14	0.18 (0.22)	0.15 (0.20)	A地区
C2	神戸港	134.7	0.10	0.20	0.13	0.17	0.18 (0.22)	0.15 (0.20)	A地区
C3	高知港	155.3	0.11	0.19	0.11	0.14	0.16 (0.19)	0.13 (0.16)	B地区
C4	石巻港	169.9	0.11	0.18	0.11	0.14	0.16 (0.19)	0.13 (0.16)	B地区
C5	国東港	110.2	0.06	0.12	0.07	0.09	0.13 (0.16)	0.11 (0.13)	D地区
C6	岩国港	152.4	0.07	0.12	0.06	0.09	0.10 (0.12)	0.08 (0.10)	E地区
C7	三崎港	77.1	0.05 (0.03)	0.08	0.05	0.07	0.14 (0.17)	0.12 (0.14)	C地区
C8	小長井港	44.8	0.05 (0.02)	0.07	0.05	0.06	0.13 (0.16)	0.11 (0.13)	D地区
C9	深川港	63.3	0.05 (0.03)	0.07	0.05	0.06	0.10 (0.12)	0.08 (0.10)	E地区
C10	古仁屋港	37.2	0.05 (0.01)	0.05	0.05 (0.04)	0.05	0.14 (0.17)	0.12 (0.14)	C地区
平均値			0.07	0.13	0.08	0.10	0.14 (0.17)	0.12 (0.15)	

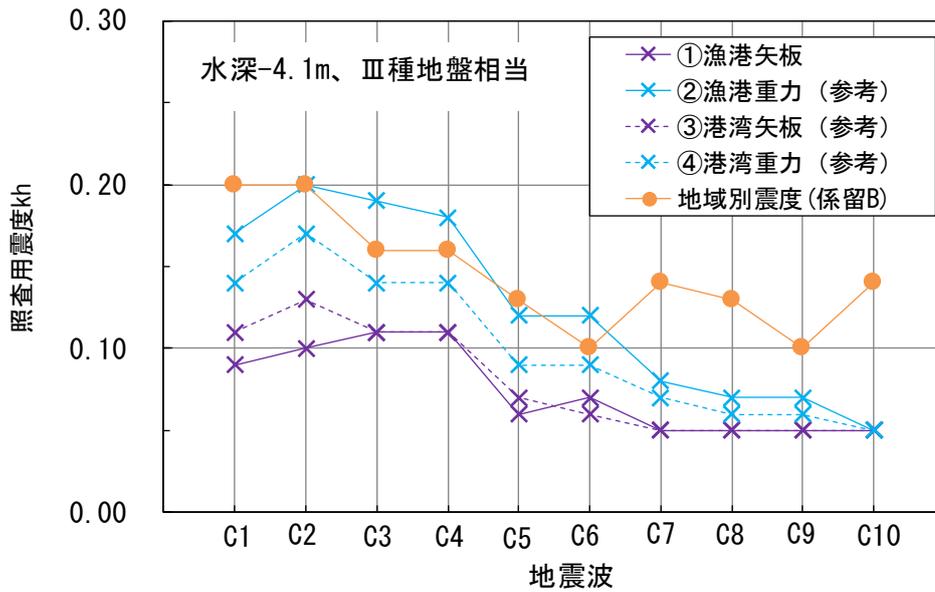


図-22 照査用震度の比較

2) 変形照査による照査用震度の妥当性の検証

表-9 に示した水深-4.1m、II種地盤の照査用震度算定結果のうち、照査用震度と地域別震度との震度差が最も大きいC1波形（川崎港）について、照査用震度 0.07 と地域別震度 0.20（係留施設 B の場合）とした場合の断面を安定計算により設定し、その断面について C1 波形を入力地震動とする二次元地震応答解析（FLIP⁴⁾を行った。そして、変形量の観点から照査用震度の妥当性の検証を行った。安定計算による照査用震度 0.07 と地域別震度 0.20 の設定断面を図-23 に示す。また、解析結果のまとめを表-11 に、時刻歴を図-24、25 に示す。

解析の結果、両断面ともに岸壁天端の残留水平変形量は 3cm 程度と非常に小さく、全ての部材において応力は降伏に達しておらず、比較的余裕のある結果となった。これより、照査用震度 0.07 としても安全性を確保した断面が設定でき、地域別震度と比べて照査用震度を用いて設計した方が合理的な設計が可能であるといえる。

ここで、照査用震度が小さい値で設定した断面の方が岸壁変形量および部材応力ともに小さくなっており、断面が小さくなるほど変形、応力が小さくなるという矛盾が生じている。これは根入れ部の原地盤の変形は両者とも同じであるため、根入れが大きい照査用震度 0.20 の方が矢板下端からの変形が大きくなったものと考えられる（図-26、27 参照）。ただし、照査用震度 0.07 と地域別震度 0.20 で設計水平震度は大きく異なるが、安定計算による断面は前面矢板の根入れと控え間距離のみ違いであり、断面耐力はほとんど変わらないものと考えられる。

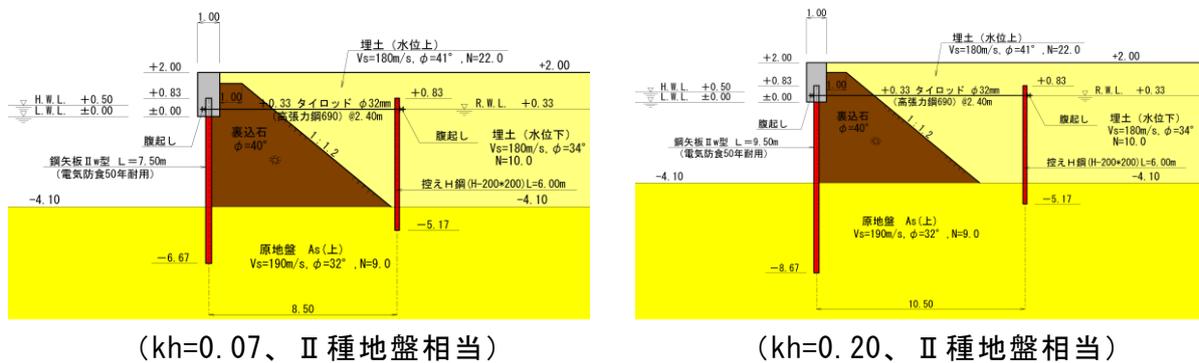


図-23 設定断面

表-11 C1 波形（川崎港）による解析結果

kh	岸壁天端の残留変形量(cm)	部材応力 ()内は最大 M/降伏 M		
		前面矢板	タイロッド	控え矢板
0.07	3.3	降伏以内 (0.07)	降伏以内 (0.19)	降伏以内 (0.22)
0.20	3.8	降伏以内 (0.07)	降伏以内 (0.22)	降伏以内 (0.31)

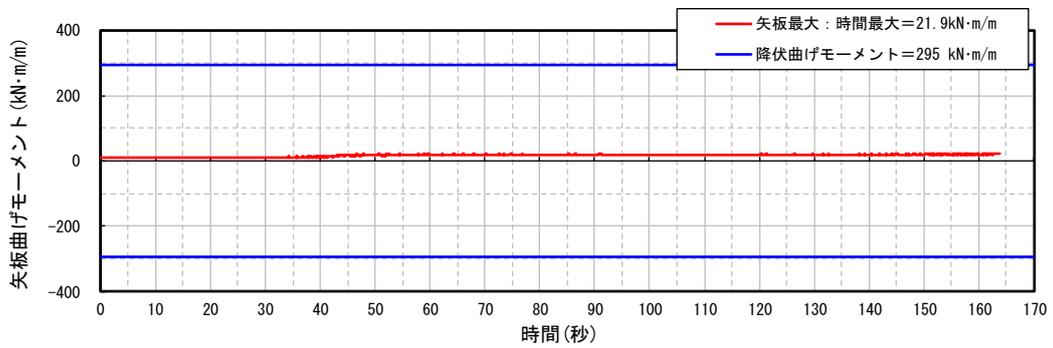
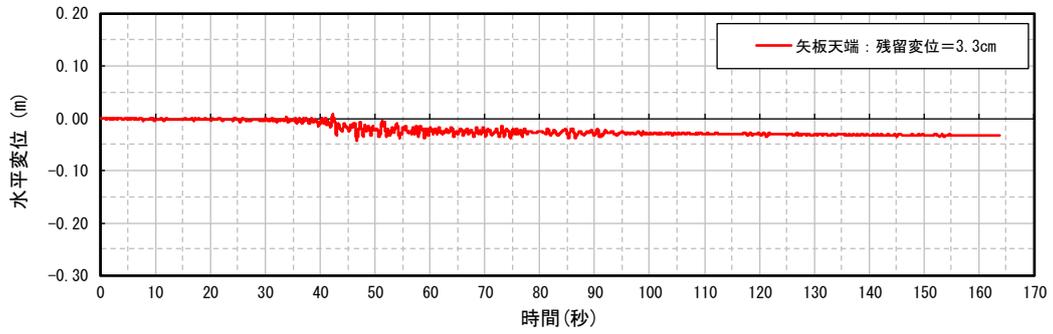
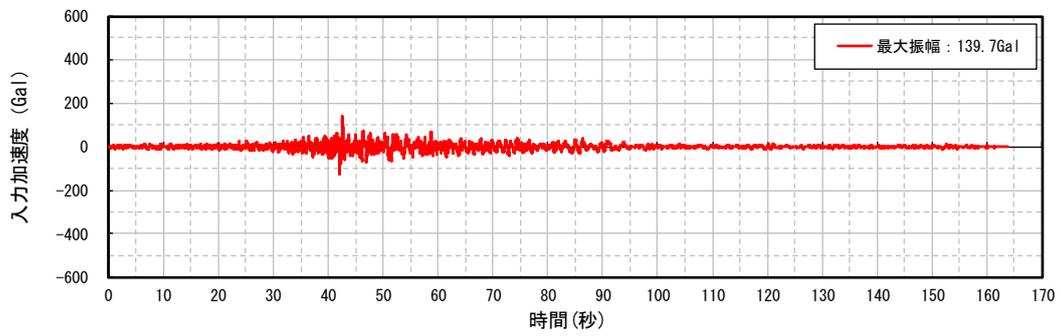
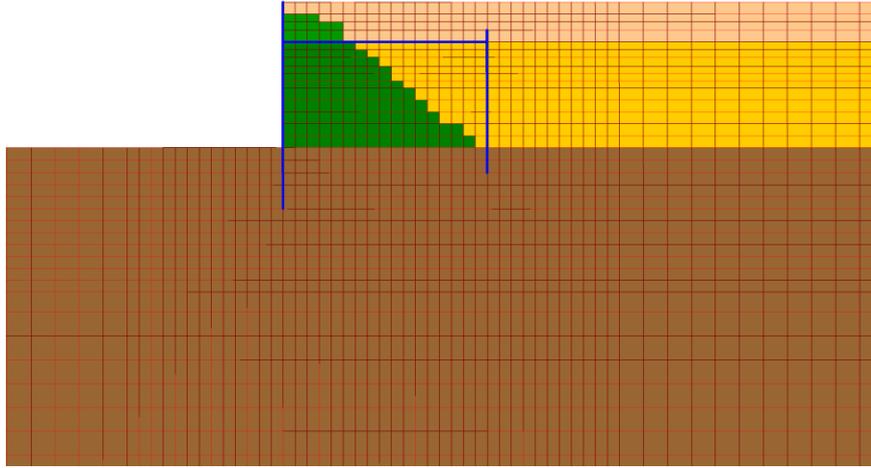


図-24(1) FLIP 解析結果 (Ⅱ種地盤相当、C1 波形 (川崎港)、 $kh=0.07$)

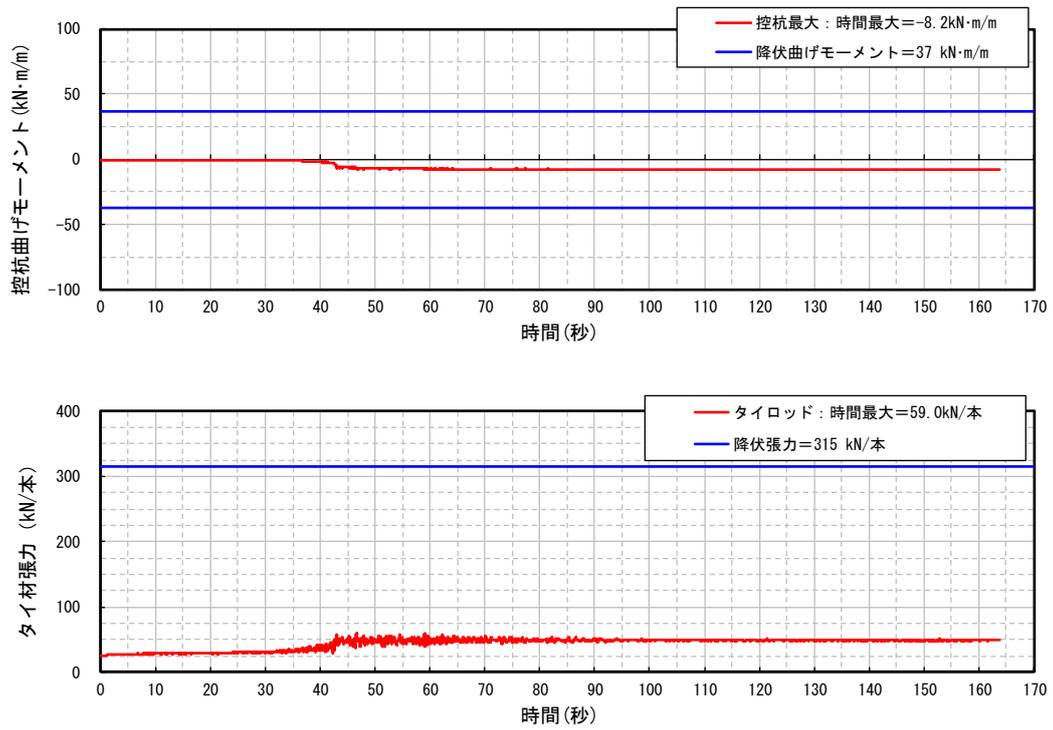


図-24(2) FLIP 解析結果 (Ⅱ種地盤相当、C1 波形 (川崎港)、 $kh=0.07$)

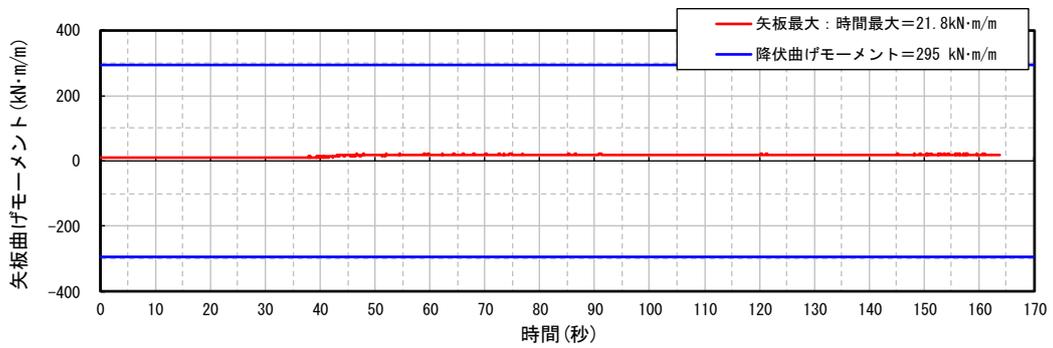
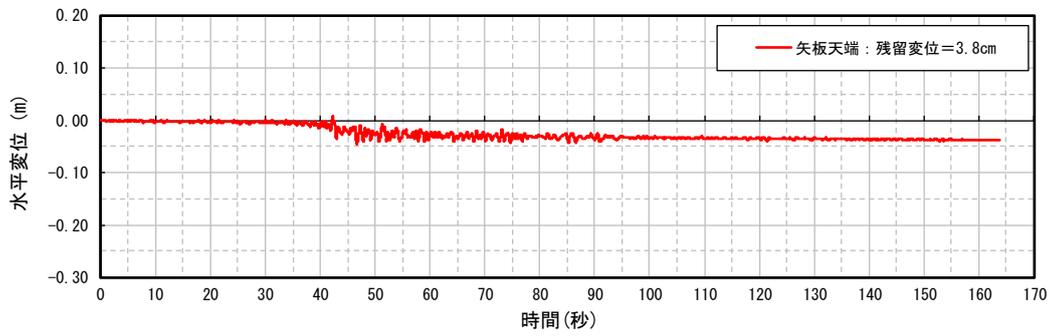
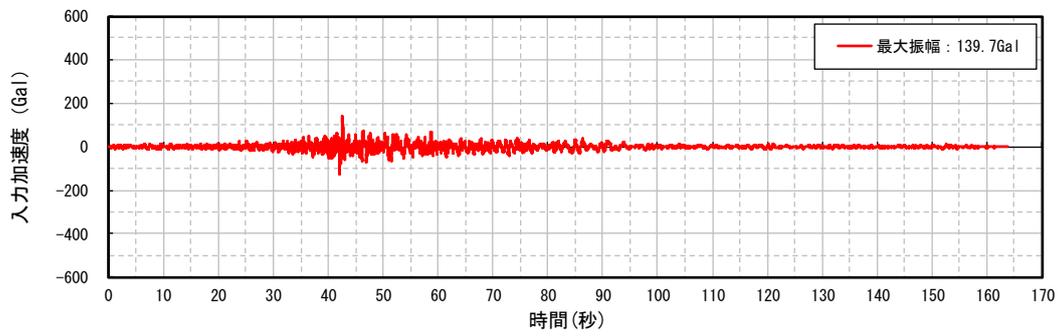
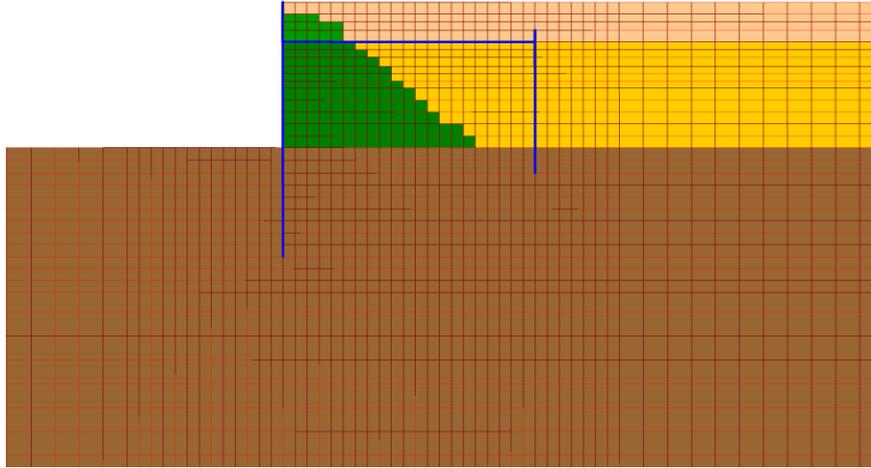


図-25(1) FLIP 解析結果 (Ⅱ種地盤相当、C1 波形 (川崎港)、 $kh=0.20$)

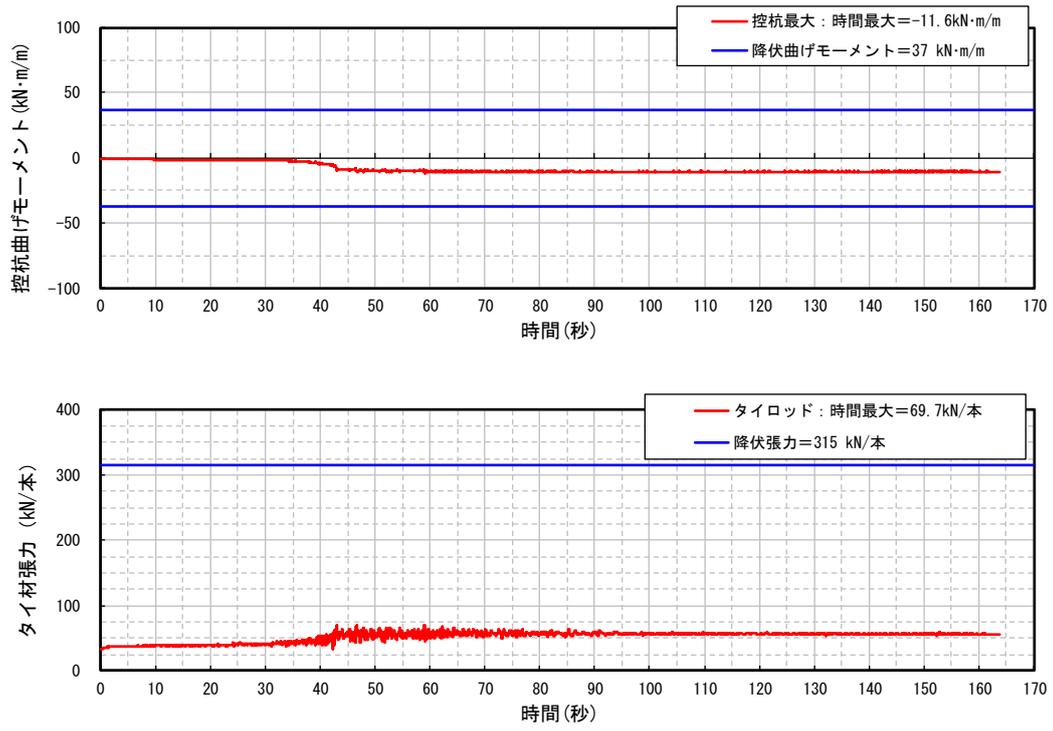
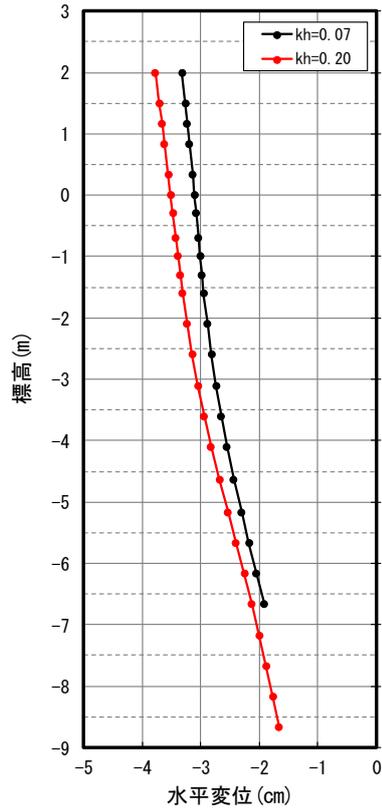
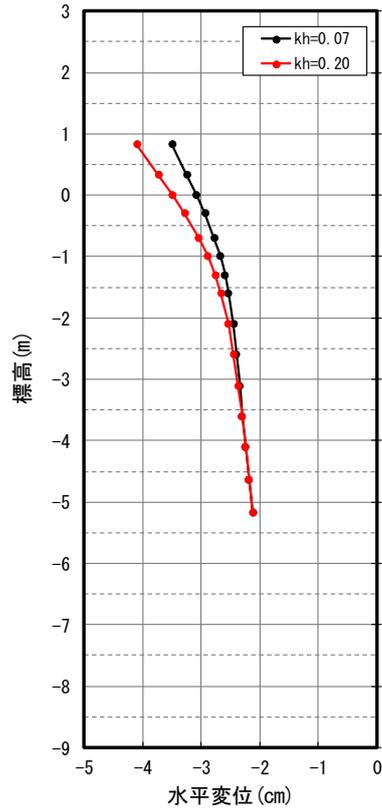


図-25(2) FLIP 解析結果 (Ⅱ種地盤相当、C1 波形 (川崎港)、 $kh=0.20$)

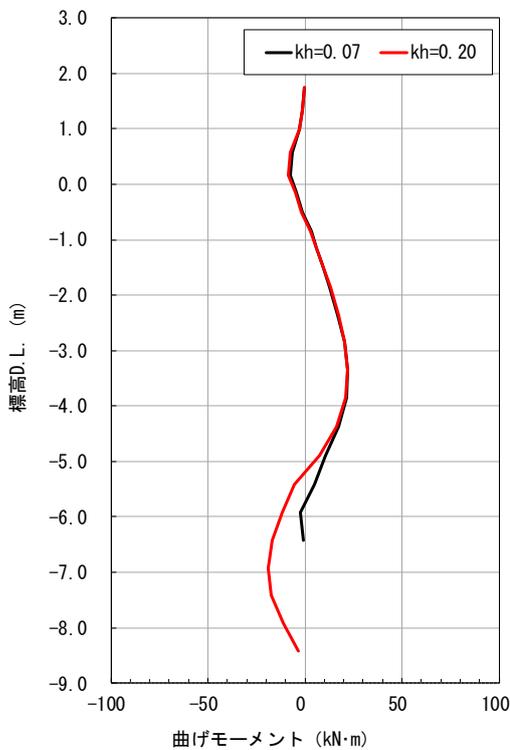


(前面矢板)

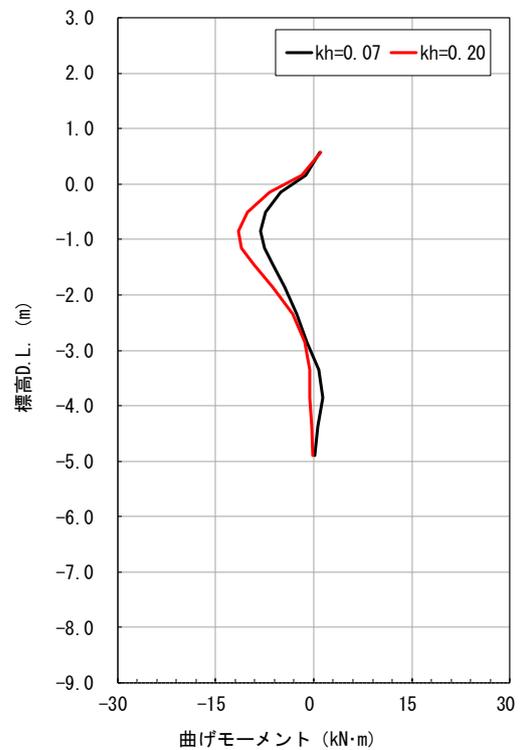


(控え杭)

図-26 変形分布の比較



(前面矢板)



(控え杭)

図-27 曲げモーメント分布の比較

VII. 考察

本検討では、水深の浅い漁港の矢板式係船岸を対象に地震動等の周波数特性および変形量を考慮した照査用震度の算定法について検討を行った。そして、本手法による照査用震度で設計した断面は、地域別震度に比べて小さくなるが、変形と応力は許容範囲に収まり、本照査用震度を用いれば地域別震度に比べて合理的な設計が可能となることが分かった。

VIII. 摘要

・大水深係船岸への適用性について

本検討における矢板式の照査用震度算定法は、水深-2.0m~-5.5m の範囲で作成されたものであり、水深-5.5m 以深について適用性が確認されていない。そのため、大水深への適用にあたっては、現行の地域別震度を用いる等、別途適切に評価する必要がある。

・他構造形式に対する照査用震度算定法の構築

現在、漁港係船岸の照査用震度算定法については、重力式および矢板式（控え直杭）が示されることとなるが、漁港の係船岸については栈橋式、自立矢板式、矢板式（控え組杭）等の構造形式もある。よって、漁港係船岸として多く採用されている他の構造形式についても照査用震度算定法を構築する必要がある。

IX. 引用文献

- 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) 国土技術政策総合研究所港湾施設研究室ホームページ.
- 4) 井合進, 松永康男, 亀岡知弘: Strain Space Plasticity Model for Cyclic Mobility, (ひずみ空間における塑性論に基づくサイクリックモビリティのモデル), 港湾技術研究所報告, Vol. 29, No. 4, pp. 27-56, 1990年.

漁港・漁場の施設の設計参考図書（2015年版）改定のポイント

漁港・漁場の施設の設計参考書（2015年版）の第6編「2.2.3 周波数特性及び変形量を考慮に入れた設計水平震度」について、平成26～29年で実施されてきた水産基盤整備調査委託事業「漁港・漁場の施設の設計手法の高度化検討調査」および「重力式および矢板式岸壁を対象とした照査用震度式の妥当性の評価、国土技術政策総合研究所資料 No.920」から新たな知見が得られたため、設計参考図書の部分改定を行うこととした。

その改定のポイントをまとめると、下記の通りである。

（1）重力式係船岸に対する照査用震度の適用水深の拡大

- ・設計参考図書（2015年版）では、重力式係船岸に適用水深を-2.0m～-5.5mの範囲に限定していたが、国土技術政策総合研究所資料 No.920の妥当性評価事例結果をもとにその適用範囲を拡大することとした。

（2）控え直くい式矢板式係船岸に対する照査用震度の導入

- ・重力式に加え、控え直杭式矢板の照査用震度についても新たに導入することとした。
- ・ただし、適用水深は-2.0m～-5.5mの範囲に限定することとした。

(文案)

2.2 係船岸の耐震性能の照査

2.2.1 係船岸の耐震性能の照査の基本方針

すべての係船岸に対して実施する、レベル1地震動に対する耐震性能の照査については、地震力を水平方向の静的な作用に置き換えた設計水平震度によって実施することを標準とする。

また、「第1編 2.2.5 耐震性能・耐津波性能の強化を行う施設」に示す係船岸においては、耐震性能・耐津波性能を強化する必要がある。耐震性能・耐津波性能を強化する係船岸の性能規定は、「第6編第5章 耐震性能・耐津波性能を強化する係船岸の照査」を参照のこと。該当する係船岸についての性能照査は、同章に記載した方法を用いることができる。

2.2.2 設計水平震度

設計水平震度は、「第2編 11.2.1 設計水平震度」の「表 2-11-1 地域別の工学的基盤最大加速度及び設計水平震度」によることを標準とする。

また、**重力式係船岸及び水深-2.0m～-5.5mの控え直杭式矢板式係船岸**については、「表 2-11-1 地域別の工学的基盤最大加速度及び設計水平震度」に示す設計水平震度の代わりに、「第6編 2.2.3 周波数特性及び変形量を考慮に入れた設計水平震度」に示す、レベル1地震動の周波数特性、周波数特性及び変形量を考慮に入れた設計水平震度を使用することができる。この方法によって得られる設計水平震度を、本書では照査用震度と称す。この方法は、文献³⁾に示された数式を素地として、フィルター関数のパラメータを漁港の係船岸の諸元に対応した値に変更したものである。

2.2.3 周波数特性及び変形量を考慮に入れた設計水平震度

(1) **重力式係船岸及び水深-2.0m～-5.5mの控え直杭式矢板式係船岸に対する照査用震度の算出方法**

重力式係船岸及び水深-2.0m～-5.5mの控え直杭式矢板式係船岸に対する照査用震度の算出方法は、本項によることができる。

算出のフローは図 6-2-7 によることができる。この方法では、対象とする施設位置のサイト特性を考慮した、工学的基盤におけるレベル1地震動の波形を必要とする。また、1次元地震応答解析のために工学的基盤～地表のボーリングデータを必要とする。

(文案)

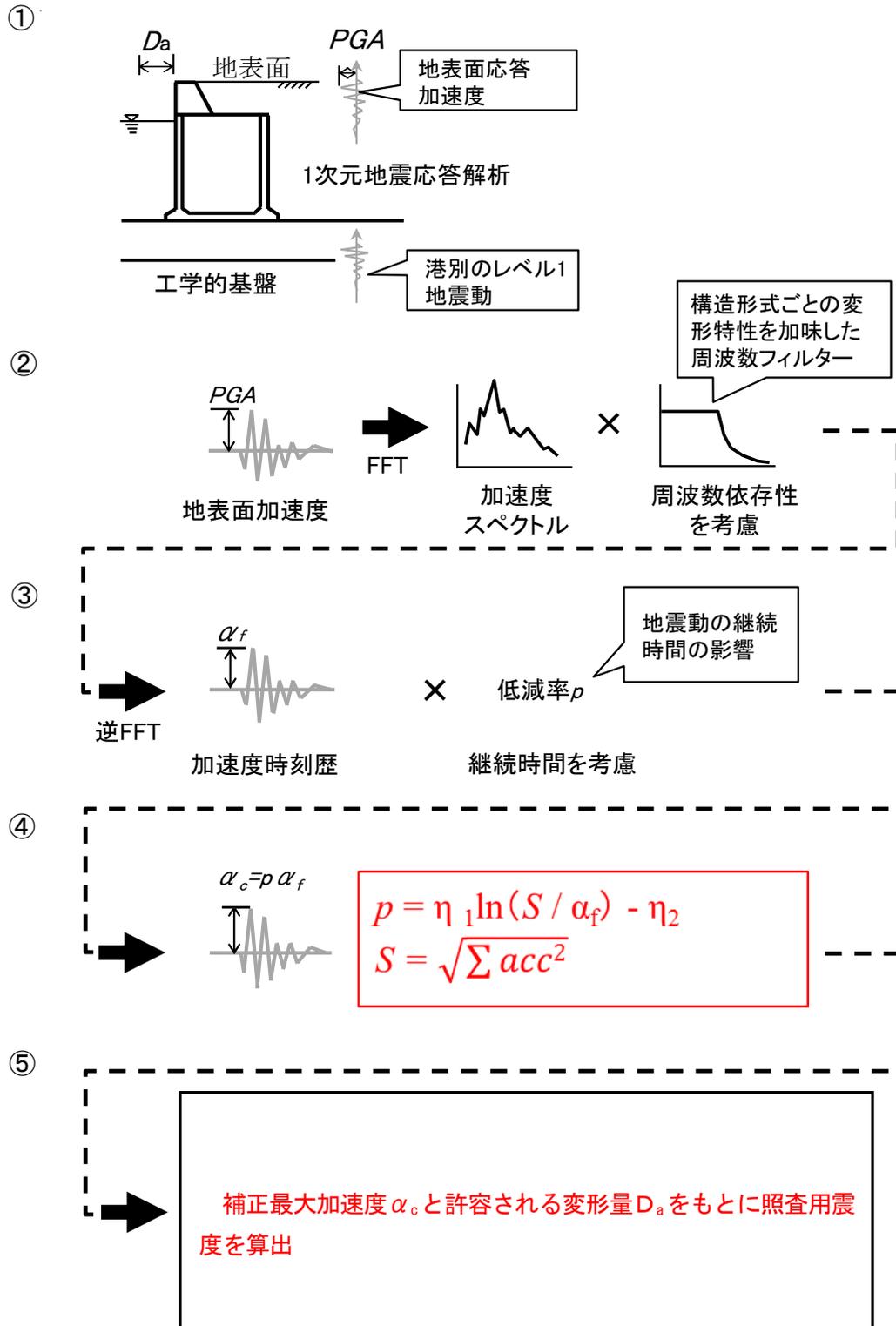


図 6-2-7 重力式係船岸の照査用震度の算出のフロー

上図の手順①～⑤では、次の演算を行う。

- ① 港別のレベル1地震動を入力した1次元地震応答解析により、地表面加速度波形を算出する。

(文案)

- ② 地表面加速度波形をFFT（高速フーリエ変換）し、そのスペクトルに、構造形式ごとの周波数特性を加味した周波数フィルターを乗ずる。
- ③ ②で周波数フィルターを乗じたスペクトルをフーリエ逆変換して加速度波形を算出する。
- ④ ③の加速度波形に、地震動の継続時間の影響を反映させるための低減率 p を乗ずる。
- ⑤ ④の加速度最大値と、許容変形量（係船岸の天端における変形量）の値から、照査用震度算出式によって照査用震度を算出する。

①について、工学的基盤のレベル1地震動波形の算出方法は、「第6編2.2.4 工学的基盤におけるレベル1地震動の波形の算定」によることができる。

②について、重力式係船岸及び水深・2.0m～5.5mの控え直杭式矢板式係船岸の周波数特性を勘案したフィルターとしては、式6-2-1-1により与えられているものを用いるのがよい。これは、重力式係船岸及び水深・2.0m～5.5mの控え直杭式矢板式係船岸を対象に、地盤条件及び水深の異なる岸壁モデルを用い、周波数を種々に変えた正弦波を入力して実施した二次元応答解析の結果より、地震動を構成する各周波数成分の波の岸壁の変形への寄与を評価したものである⁴⁾。式中の「背後地盤及び壁体直下の固有周期」の算定は、既往文献⁵⁾の方法を利用する。

フィルター関数の例を図6-2-8に示す。

$$a(f) = \left\{ \begin{array}{ll} b & (0 < f \leq f_c) \\ \frac{b}{1 - [\chi_1(f - f_c)]^2 + i\chi_2\chi_1(f - f_c)} & (f_c < f) \end{array} \right. \quad \dots\dots\dots \text{(式 6-2-1-1)}$$
$$b = \chi_3 \frac{H}{H_R} + \chi_4 \frac{T_b}{T_{bR}} + \chi_5 \frac{T_u}{T_{uR}} + \chi_6 \quad \dots\dots\dots \text{(式 6-2-1-2)}$$

$\chi_7 H + \chi_8 \leq b \leq \chi_7 H + \chi_9$
ただし、 $b \geq \chi_{10}$

ここに、

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)

T_{bR} : 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)

T_{uR} : 壁体下地盤の基準初期固有周期(=0.4s)

$\chi_1 \sim \chi_{10}$: 構造形式、対象水深によって変わるフィルターに関する係数

(文案)

表 6-2-5-2 フィルターに関する係数一覧

項目 \ 構造形式	重力式係船岸 ⁵⁻²⁾		控え直杭式矢板式係船岸
	-7.5 未満	-7.5 以深	-2.0~-5.5
対象水深 (m)			
f_c	1.2	1.0	1.5
χ_1	0.099	0.34	0.084
χ_2	18.5	6.8	14.9
χ_3	0.43	1.05	1.63
χ_4	1.33	-0.88	0.87
χ_5	-0.66	-0.96	-0.41
χ_6	0.32	-0.23	-0.018
χ_7	-	0.04	-
χ_8	-	0.08	-
χ_9	-	0.44	-
χ_{10}	0.28	0.28	0.48

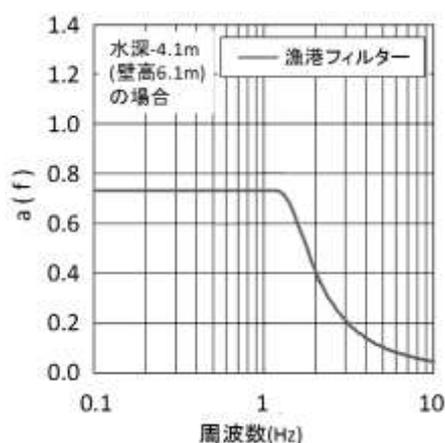


図 6-2-8 フィルターの一例

④について、「地震動の継続時間の影響を考慮する低減率 p 」の算定は、既往文献⁵⁾の方法を利用するのがよい。地震動の継続時間の影響を考慮する低減率 p は、フィルター処理を行った地表面加速度時刻歴の二乗和平方根 S 及び加速度最大値 α_f を用いて、式 (6-2-1-3) より設定することができる。低減率の算定に係る「時刻歴の二乗和平方根の算定」及び「補正加速度最大値の算定」も、既往文献⁵⁾の方法を利用するのがよい。なお、低減率の上限値は、1.0 とする。

$$p = \eta_1 \ln \left(\frac{S}{\alpha_f} \right) + \eta_2 \quad \dots\dots\dots \text{(式 6-2-1-3)}$$

ここに、

p : 低減率 ($p \leq 1.0$)

S : フィルター処理後の加速度時刻歴の二乗和平方根 (cm/s^2)

α_f : フィルター処理後の加速度最大値 (cm/s^2)

(文案)

表 6-2-5-3 低減率の算定式に関する係数一覧

項目	構造形式	重力式係船岸 ⁵⁻²⁾		控え直杭式矢板式係船岸
		-7.5 未満	-7.5 以深	-2.0~-5.5
対象水深	(m)			
η_1		0.36	0.36	0.35
η_2		-0.29	-0.29	-0.20

⑤については次式⁵⁾を使用するのがよい。

$$k_h = 1.78 \left(\frac{D_a}{D_r} \right)^{-0.55} \frac{\alpha_c}{g} + 0.04 \quad (\text{重力式})$$
$$k_h = \frac{\alpha_c}{g} \quad (\text{水深-2.0m~-5.5mの控え直杭式矢板式係船岸})$$

..... (式 6-2-2)

ここに、

k_h : 照査用震度

α_c : 補正加速度最大値 (cm / s²)

g : 重力加速度 (=980cm / s²)

D_a : 許容される重力式係船岸天端における変形量 (cm)

D_r : 基準変形量 (=10cm)

(2) 照査用震度の使用に係る留意点

「(1) 重力式係船岸及び水深-2.0m~-5.5mの控え直杭式矢板式係船岸に対する照査用震度の算出方法」に示した方法は、港湾の照査用震度算出法³⁵⁾を素地として、フィルター関数のみについて漁港に多い浅い係船岸向けのパラメータとしたものである。使用にあたっての留意点を以下の①~④に示す。

- ① ここに示す方法は、液状化を発生させない条件で構築しているため、液状化が発生する条件に適用する場合には、適用性について検討することを原則とする。
- ② 照査用震度は、小数点以下3けた目を四捨五入し、小数点以下2けたの数値で表すのがよい。
- ③ 重力式係船岸に対する照査用震度のフィルター関数は、変形量が10~20cmの範囲に対して検討され作成されたものである。したがって、許容変形量 D_a が10~20cmの範囲外の場合への適用については、「第2編設計条件 11.2.1 設計水平震度 表 2-11-1 地域別の工学的基盤最大加速度及び設計水平震度」に示されている設計水平震度を用いることを原則とする。
- ④ 水深-2.0m~-5.5mの控え直杭式矢板式係船岸に対する照査用震度のフィルター関数は、変形量が10cmに対して検討され作成されたものである。したがって、許容変形量 D_a が10cm以外の場合への適用については、「第2編設計条件 11.2.1 設計水平震度 表 2-11-1 地域別の工学的基盤最大加速度及び設計水平震度」に示されている設計水平震度を用いることを原則とする。なお、ここに示した係数は本書に示す設計方法 (第6編係留施設 第3章岸壁・物揚場 3.5

(文案)

普通矢板式係船岸)に基づき決定した断面をもとに算出したものであるため、本書に示している以外の設計法で矢板の断面を決定する場合にはこの係数を使用しないことを原則とする。

- ⑤ 既往文献⁵⁾に示されている「壁高 H に基づく b 値の範囲」は、式 6-2-1 には適用しないことを原則とする。
- ⑥ 既往文献⁵⁾に示されている、深層混合処理工法及び置換率 70%以上のサンドコンパクション (SCP)を用いて地盤改良を行う場合の照査用震度の算定手法は、浅い係船岸に関する検証がなされていないので、漁港の係船岸には使用しないことを原則とする。この場合、未改良の状態を想定した照査用震度を使用することができる。
- ⑦ 既往文献に示されている矢板式及び栈橋式における照査用震度の算出方法⁶⁾⁷⁾は、漁港への適用を行わないことを原則とする。これは、算出方法を構築する際の数値計算において、漁港に比べて大水深のモデルが用いられたことと、矢板式においては本書に示す方法とは異なる照査方法で照査されたモデルが用いられたことによる。
- ⑧ レベル 1 地震動が小さい場所では、本手法を用いると、照査用震度についても非常に小さな値が得られる可能性がある。その場合の下限値を 0.05 とすることができる。
- ⑨ 本手法により 0.25 程度以上の照査用震度が算出された場合には、以下のことを検討するのがよい。
 - a) 照査用震度を 0.25 として断面を設定し、地盤－構造物の動的相互作用を適切に考慮できる二次元地震応答解析等で性能を評価する。
 - b) 地盤改良を検討する。
 - c) 他の構造形式の採用を検討する。
- ⑩ 照査用震度を算出する際の 1 次元の地震応答解析手法は、とりわけ、照査用震度の算定において重要となる周波数帯域 (たとえば図 6-2-8 のフィルターの例を参照) の加速度増幅を適切に評価できる手法 (FLIP 又は FLIP に近い結果が得られる解析コード) を用いることが望ましい。特に軟弱地盤における増幅の適切な評価に留意することが望ましい。

(参考文献)

- 1) 鋼管杭協会：鋼矢板－設計から施工まで－，鋼管杭協会 (2007)，pp.4-5
- 2) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説，丸善 (2018)
- 3) 長尾毅・岩田直樹・藤村公宜・森下倫明・佐藤秀政・尾崎竜三：レベル 1 地震動に対する重力式および矢板式岸壁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 No.310 (2006)
- 4) 小松勝久・林誉命・鈴木一行・西多道祐・船橋雄大・佐伯公康：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 (2014)，pp.I_810-I_815
- 5) 日本港湾協会：港湾の施設の技術上の基準・同解説，日本港湾協会 (2018)，pp.〇-〇
- 5-2) 福永勇介・竹信正寛・宮田正史・野津厚・小濱英司：重力式および矢板式岸壁を対象とした照査用震度式の妥当性の評価，国土技術政策総合研究所資料 No.920 (2016)
- 6) 日本港湾協会：港湾の施設の技術上の基準・同解説，日本港湾協会 (2018)，pp.〇-〇
- 7) 日本港湾協会：港湾の施設の技術上の基準・同解説，日本港湾協会 (2018)，pp.〇-〇
- 8) 佐伯公康・金田拓也・小松勝久：漁港岸壁の耐震設計手法に関する研究、第 13 回全国漁港漁場

(文案)

整備技術研究発表会講演集 (2014), pp.43-51

9) 日本道路協会：舗装設計施工指針，丸善 (2006)

10) 日本道路協会：舗装設計便覧，丸善 (2006)，pp.149-151

11) 日本道路協会：舗装設計施工指針，丸善 (2006)，p.200

12) 日本港湾協会：港湾の施設の技術上の基準・同解説，日本港湾協会 (2018)，p.○

Ⅱ . 耐津波設計手法高度化の検討

I. 課題名

耐津波設計手法高度化の検討

II. 実施機関及び担当者名

一般社団法人水産土木建設技術センター	調査研究部	部長	安藤 亘
	調査研究部	主任研究員	武田 真典
	専門技術員		門 安曇
	専門技術員		鈴木 宏満
	専門技術員		佐藤 勝弘
	専門技術員		小口 哲史

III. 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、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、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。

構造上の弱点箇所については、被災事例の構造的特徴の整理・分析を行った結果、堤頭部・隅角部で被災規模が大きくなる傾向が確認された。そこで堤頭部・隅角部に着目し、長水路や定常流水路を用いた水理模型実験や非線形長波理論による津波解析を行った結果、隅角部における水位上昇等の考慮が必要であることが分かったが、長水路の形状では側壁の影響が見られたため、補正係数等については平面水槽を用いた実験や数値解析により詳細に検討する必要がある。また、粘り強い構造の対策工法については、技術的課題のうち上部工パラペット構造の工夫について水理模型実験や数値波動水路による検討を行い、パラペットの設置による被覆ブロックの安定性向上の効果を確認した。

以上の検討結果をふまえ、今年度は平面水槽を用いた水理模型実験や数値解析により、構造上の弱点箇所における波力評価手法の検証を行った。また上部工パラペット構造の工夫については、津波回流実験装置により実際の津波周期を再現した水理模型実験や数値波動水路による数値解析を行い、基礎マウンドの減災効果の検証を行った。

IV. 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 水理模型実験等による検討

構造的弱点のうち防波堤の隅角部・堤頭部を対象に、平面水槽を使用した水理模型実験や、非線形長波理論による津波解析により、津波波力や流れの特性を把握する。

② 設計方法の検証

防波堤の隅角部・堤頭部における津波波力評価手法の検証を行う。

(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 水理模型実験等による検討

上部工パラペット構造の工夫について、実際の津波周期を再現可能な津波回流実験装置を使用し、これまでに実験していない条件（背後水深の低い条件等）

を含めた被覆ブロックの安定実験や数値波動水路による数値解析を行い、パラペットの設置による基礎マウンドの減災効果を検証する。

② 設計方法および対策工法の検討

発生頻度の高い津波を越える津波に対する、本体工の粘り強さの確保について、設計方法や対策工法の検討を行う。

V. 結果・考察

(1) 構造上の弱点箇所における設計方法及び対策工法

1) 水理模型実験等による検討

①水理模型実験

a) 実験内容

構造的な弱点となる防波堤の堤頭部及び隅角部について、平成 27・28 年度は正弦波および定常流による断面実験を行ったが、本年度は側壁の影響の小さい条件となるよう平面水槽を使用して津波波力特性の把握を行った。

実験施設はゲート急開式造波装置を有する平面水槽（幅 3.0m、長さ約 7m、図 - 1、図 - 4 参照）を使用し、漁港防波堤模型を設置した。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（直入射・斜め入射）とし、参考として堤幹部（直入射）でも実験を行った（図 - 2）。側壁の影響の有無を確認するため、堤幹部と隅角部では模型端部から側壁までの距離を 50cm 空けた実験も行った。防波堤の諸元は典型的な漁港防波堤を参考に表 - 1 の通り設定した。なお、捨石マウンドは設置していない。実験波形を図 - 3 に示すが、反射を含まない第 1 波のみを解析対象とした。

波圧の計測には半導体型動歪み式波圧計を使用し、水槽中央の防波堤前面 3 箇所、背面 3 箇所、および天端 2 箇所の計 8 箇所に設置し、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、流速の計測にはプロペラ流速計および電磁流速計を使用し、水槽中央の波圧計測位置の他、港外側・港内側に設置した（図 - 2）。

実験ケースは模型形状 6 種、津波高 3 種、水位 1 種（L.W.L.）を組み合わせせた計 18 ケースとした。得られたデータについて、防波堤前後の水位と波圧の関係を整理し、現行参考図書に記載されている水工研式との比較を行った。

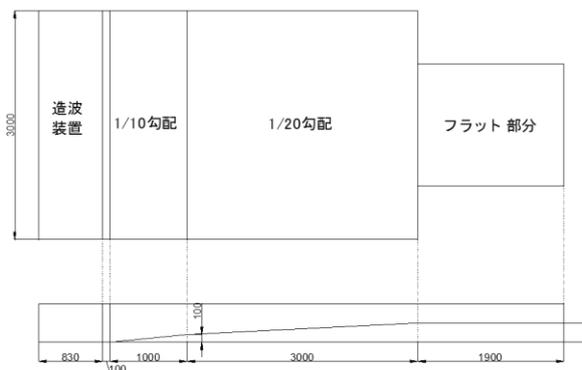
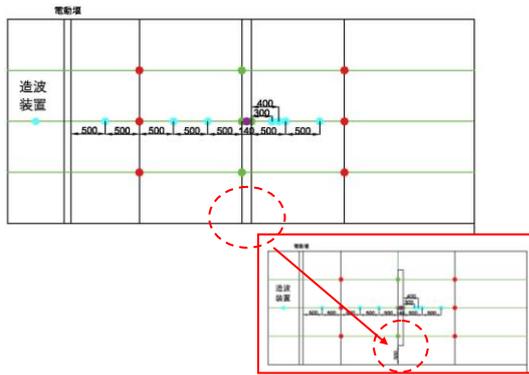


図 - 1 平面水槽形状

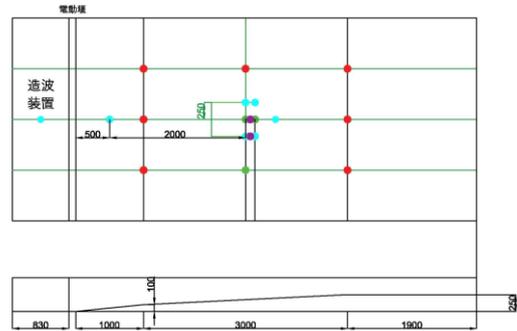
表 - 1 防波堤諸元
(括弧内は現地スケール換算)

堤体高	15cm (12.15m)
堤体幅	14cm (11.34m)
設置水深	9cm (7.29m)
静水面上の天端高	6cm (4.86m)

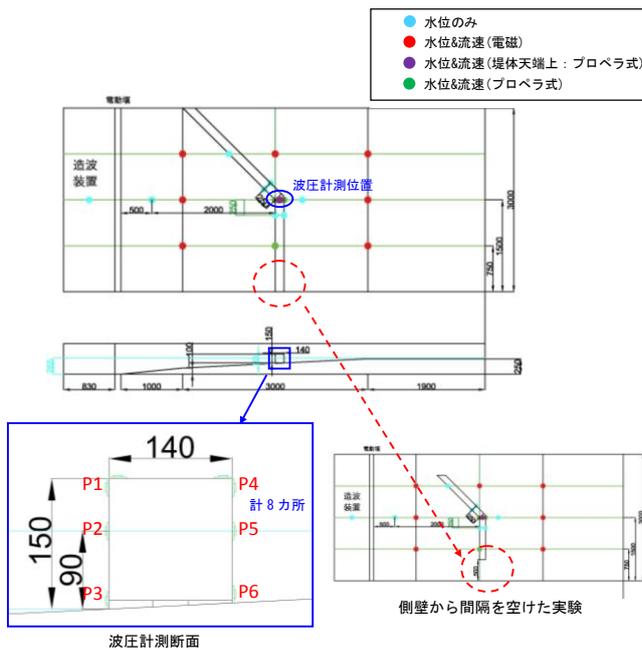


側壁から間隔を空けた実験

(a) 堤幹部（無限堤直入射）

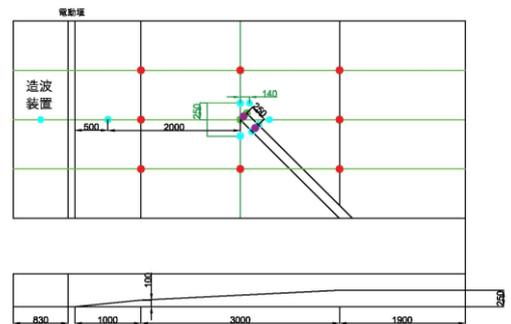


(c) 堤頭部（直入射）



波圧計測断面

(b) 隅角部



(d) 堤頭部（斜め入射）

図 - 2 実験模型および計測位置

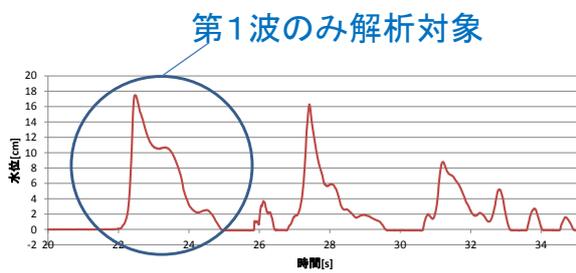


図 - 3 実験波形例（防波堤前面位置）

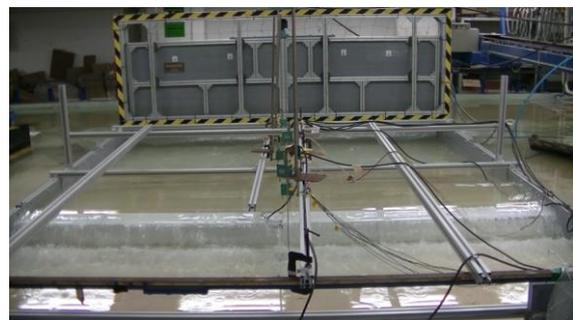


図 - 4 津波作用状況（堤幹部）

b) 実験結果

直立部前面（港外側）と背面（港内側）の作用波圧 p と直立部底面からの高さ z の関係について、各諸元の定義と水位計測位置を図 - 5 に、実験結果を図 - 6 に示す。前面では直立部直前面の水位を、背面では直立部背面から 30cm 背後の水面形が安定する位置の水位をそれぞれ用いて無次元化し整理した（ ρ ：水の密度， g ：重力加速度， η ：津波高， h ：直立部前面水深）。図 - 6 中には静水圧分布を破線で、前面では静水圧の 1.1 倍、背面では静水圧の 0.9 倍の分布を点線で示し、回帰直線と回帰係数を赤で示した。

堤幹部（無限堤直入射）の場合は、端部間隔なし・ありともに、前面の作用波圧は静水圧の 1.0～1.1 倍の範囲内、背面は概ね静水圧となっており、現行の波圧係数（前面 1.1、背面 0.9）を使うことにより安全側に設計可能であることを確認した。

隅角部の場合は、端部間隔なし・ありともに、前面では静水圧の 1.0～1.1 倍程度、背面では静水圧の 0.9～1.0 倍程度となっており、過年度の断面実験の結果と大きな相違が見られなかった。このことから、隅角部でも堤幹部（直入射）の波圧係数を用いることができることを確認した。

堤頭部の直入射時の場合は、前面側で静水圧を有意に下回り、0.8 倍前後となっている。これは堤体に沿う流れに伴う剥離が主な要因であると推察される。背面側では 0.9～1.0 倍程度となっている。また、堤頭部の斜め入射時の場合は、前面では概ね静水圧、背面では静水圧の 0.9～1.0 倍程度となっていた。

以上から波圧係数については、隅角部では現行の堤幹部（直入射時）の係数を使用して良いものと考えられるが、水位上昇については別途考慮が必要である。堤頭部（直入射）では前面の波圧が低くなるものの、現行の設計法を使用しても設計上不利にはならないため、波圧係数の変更は必要ないと考えられる。

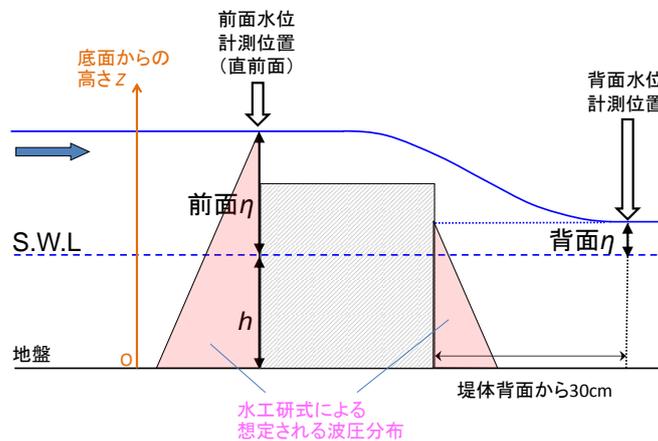
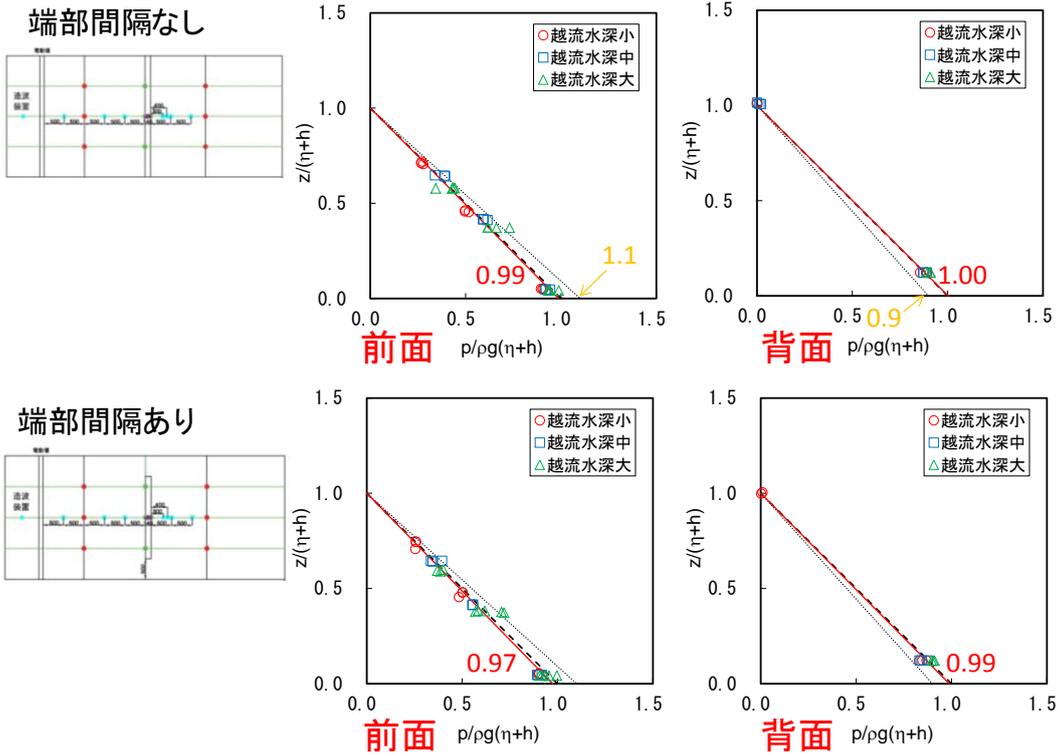
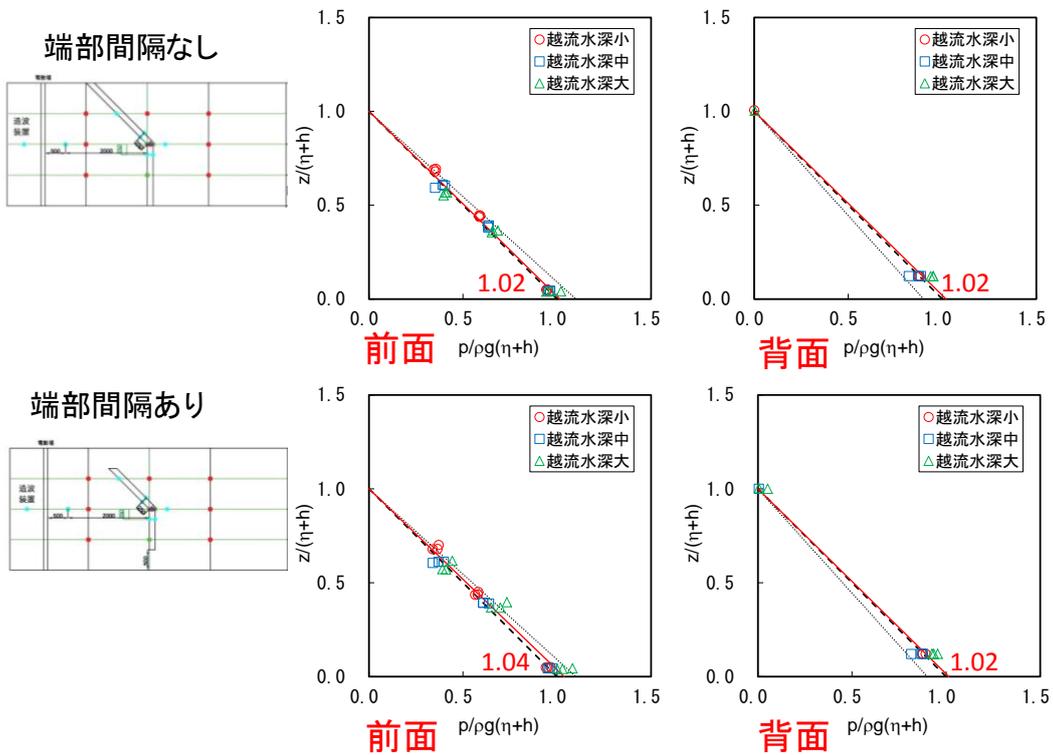


図 - 5 各諸元の定義と水位計測位置

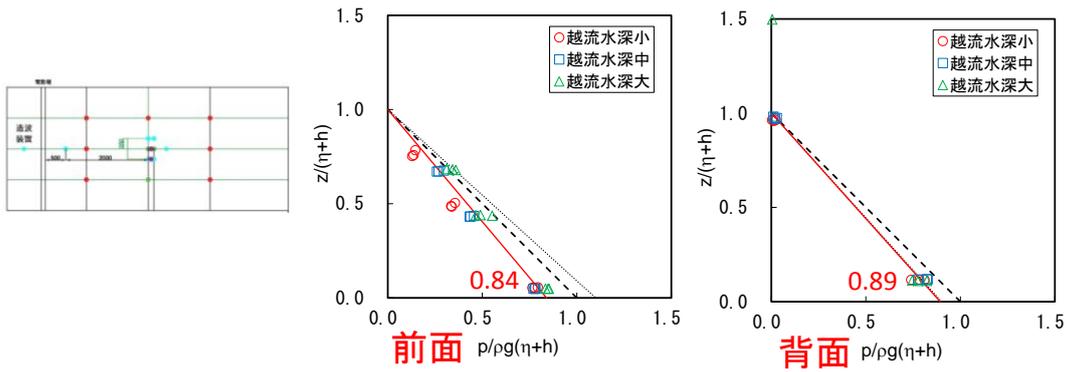


(a) 堤幹部 (無限堤直入射)

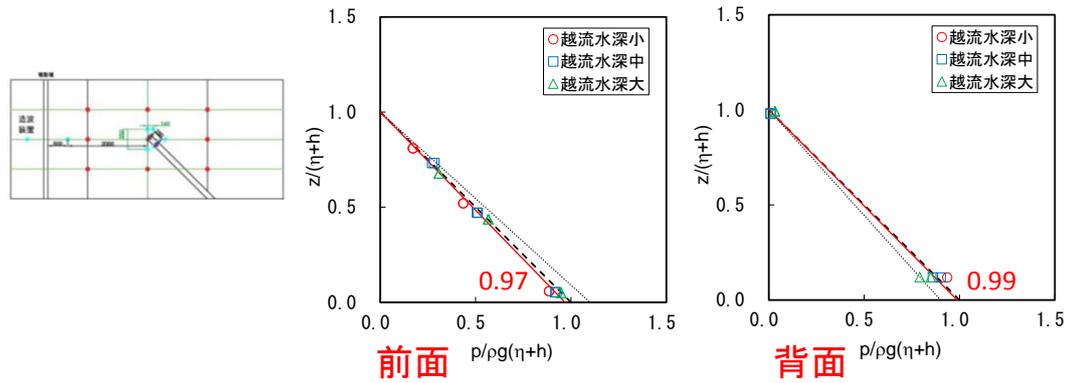


(b) 隅角部

図 - 6 波圧と静水圧の関係



(c) 堤頭部（直入射）



(d) 堤頭部（斜め入射）

図 - 6 波圧と静水圧の関係

隅角部における水位上昇について、堤幹部の場合との比較を行った。図 - 7 に水位の時系列の例（ケース：越流水深大）を示すが、堤幹部の水位は最大約 17cm であったのに対し、隅角部では最大約 21cm となっており、収斂により水位は約 1.2 倍高くなっていることが分かる。図 - 8 に全ケースの水位の比較結果を示すが、隅角部で水位が最大となるのは位置 C（隅角部凹部 B から 25cm の位置）または B（隅角部凹部）となっており、堤幹部に対して最大 1.2 倍程度となっている。平成 28 年度に実施した定常流による断面実験では水位が 1.1 倍程度となったのに対し、今年度の段波による平面実験ではさらに大きくなる結果となった。主として幅を広げた効果によるものと考えられるが、段波を用いたことによる周期が短くなった効果も含まれていると考えられる。周期や隅角部の角度が水位上昇量に及ぼす影響については、今後の課題である。

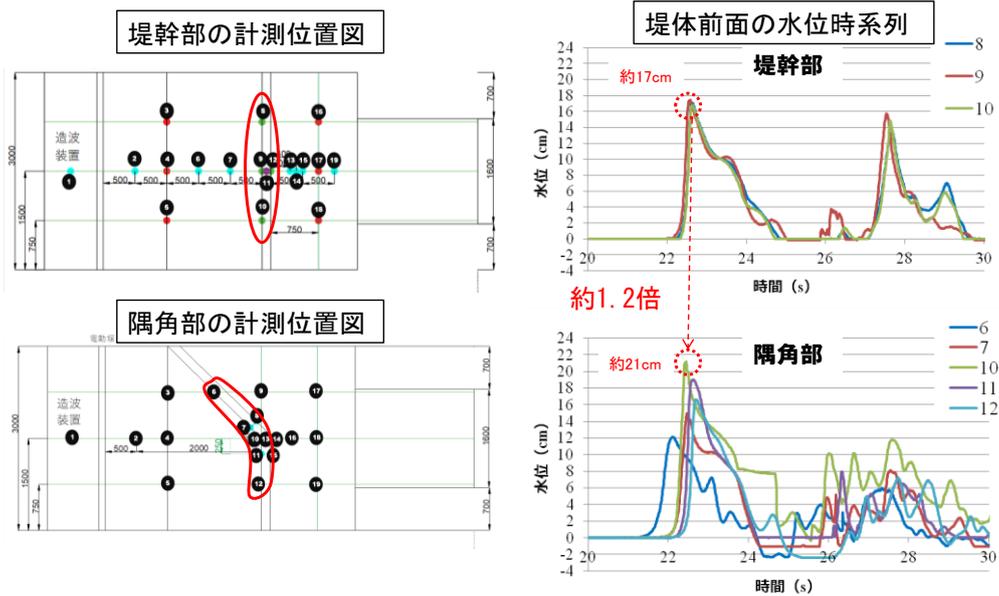


図 - 7 堤幹部（無限堤直入射）と隅角部の水位時系列例

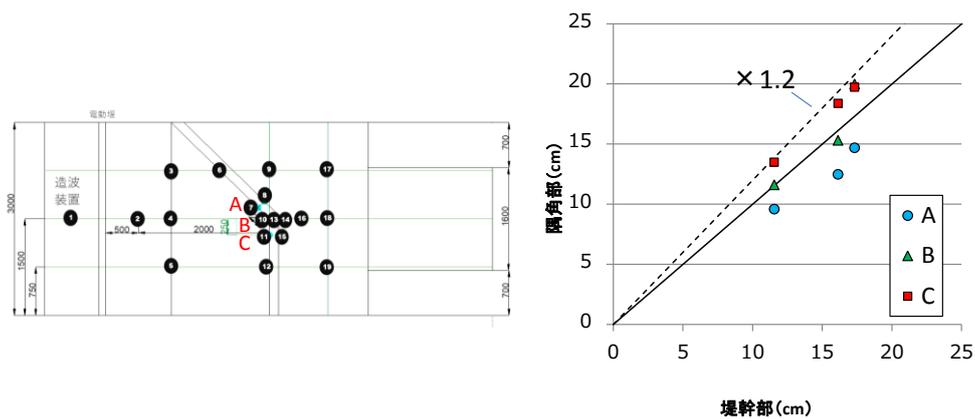


図 - 8 堤幹部（無限堤直入射）と隅角部の水位の比較

②非線形長波式による数値計算

a) 目的

構造的な弱点となる防波堤の堤頭部・隅角部の平面実験について、設計条件の設定に標準的に用いられる非線形長波理論を用いた計算を行い、実験の再現性について確認し、波力評価手法の検討を行った。

b) 計算条件と計算ケース

実験で使用した平面水槽中の模型（縮尺 1/81）を実スケールで計算を実施した。計算ケースは実験と同じ模型形状とし、ゲート内外で初期水位差を設定した段波による計算の他、定常流についても計算を行い、水位・流速等の評価を行った。

c) 計算結果

隅角部について、段波による水位・流速（流れ方向）の計算結果と実験結果の比較を図 - 9 に示す。実線が計算結果、破線が実験結果である。実験と同様、隅角部では水位の上昇が見られたが、実験では堤幹部（無限堤直入射）に対して約 20%の上昇であったのに対し、計算では約 30%となっている。一方、定常流の計算結果を図 - 10 に示すが、隅角部における水位上昇が見られなかった。周期が長くなると収斂の効果が小さくなることが推察される。

堤頭部について、段波による流速分布の計算結果を図 - 11 に示すが、堤頭部を回り込んだ背後領域で流速が増大していることが確認された。

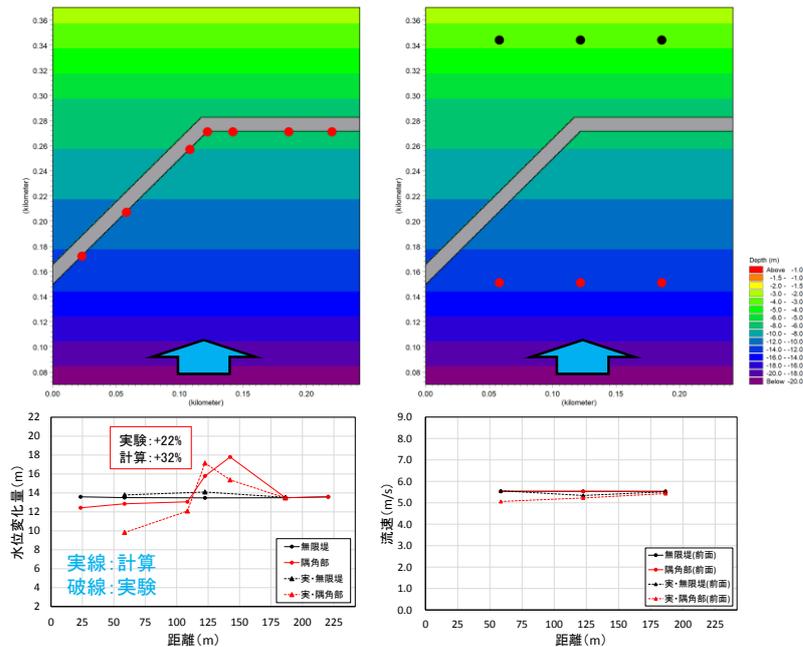


図 - 9 隅角部における水位と流速の計算結果と実験結果の比較（段波）

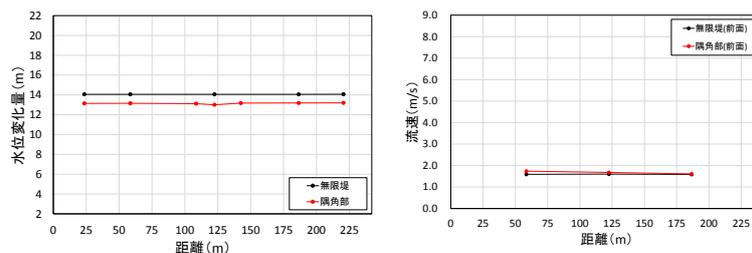


図 - 10 隅角部における水位と流速の計算結果（定常流）

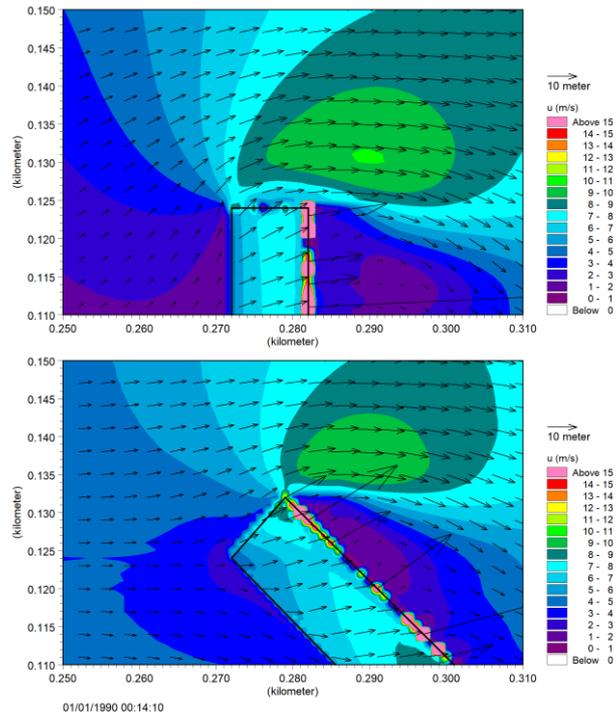


図 - 11 堤頭部における流速分布 (段波)

(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) 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、平成 27・28 年度は正弦波および定常流により水面形等の比較と安定実験を行ったが、本年度は津波回流実験装置を使用して被覆材の安定実験を行い、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津波回流実験装置（幅 0.5m、深さ 1.0m）を使用し、漁港防波堤模型を設置した（図 - 12 参照）。模型縮尺は 1/50 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または有孔型（開口率 10%）の被覆材を設置した。防波堤各諸元の定義を図 - 13、パラペット堤の断面図を図 - 14、諸元を表 - 2 に示す。津波の片周期は 40s 程度（現地換算約 5 分）と設定した（図 - 15）。

計測項目は水位及び VTR 撮影による落水・被覆材の被災状況である。実験ケースは模型形状 4 種（パラペット天端幅 3 種、及びパラペット無し）、水位 3 種を組み合わせ合わせた計 12 ケースとし、各ケースについて越流水深を段階的に変え、被覆材の被災状況を整理した。



図 - 12 実験状況

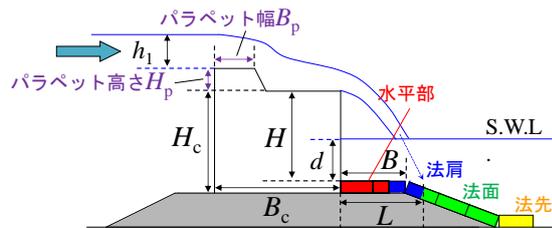


図 - 13 防波堤各諸元の定義

表 - 2 パラペット付防波堤の諸元

堤体高さ H_c	18cm (現地 9m)
堤体幅 B_c	22cm (11m)
パラペット高さ H_p	2, 4, 8cm (1, 2, 4m)
パラペット幅 B_p	2, 7, 14cm (1, 3.5, 7.0m)
マウンド高さ H_m	6cm (3m)
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	約 1~8cm (約 0.5~4m)
被覆材	方塊型 or 有孔型 (開口率 10%) 質量 150g (20t)
設置水深	15cm (7.5m)

※括弧内は現地スケール

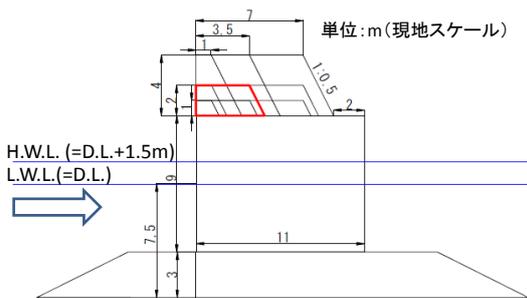


図 - 14 パラペット付防波堤断面図

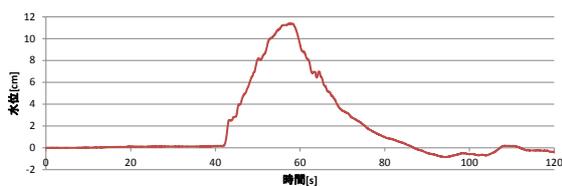


図 - 15 実験波形例（防波堤前面）

b) 実験結果

背後マウンドの被覆ブロックの安定性については、三井らが提案した次式の安定数 N を用いて、パラペット無し、およびパラペット付防波堤の実験結果を整理した。

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

ここで、 h_1 ：天端上の越流水深、 S_r ：ブロックの比重、 D_n ：ブロック代表長さ (= ブロック体積 V の 3 乗根) である。

パラメータを $d/(H+H_p-d)$ (d ：被覆ブロック上水深、 $H+H_p-d$ ：静水面からのパラペットを含む天端までの高さ) とした場合の安定数 N の比較結果を図 - 16 (方塊型)、図 - 17 (有孔型) に示す。平成 28 年度の定常流の実験結果も併せて示した。図中に塗りつぶして表示したプロットが被災の発生した条件に対応しており (青：パラペットなし、オレンジ：パラペットあり ($H_p=4\text{cm}$))、パラペットがない場合の被災限界を赤線で記載している。パラペットなしについて見ると、被災時の安定数は定常流・津波ともに概ね同一線状に位置していることから、定常流と津波による安定性の違いは小さいと考えられる。パラペットの設置により、被災限界の安定数は高くなる傾向があるが、水深の浅い条件 (概ね $d/(H+H_p-d) < 0.5$) ではパラペットによる効果が小さいことが分かる。また、有孔型についても同様の傾向が見て取れる。

また、パラメータを L/B (L ：落水位置、 B ：マウンド幅) とした場合の安定数 N の比較結果を図 - 18 (方塊型)、図 - 19 (有孔型) に示す。パラペットなしでは水平部に落水していたのに対し、パラペットの付加により背後の法面側に落水位置がシフトしていることが分かる。また、落水位置が水平部から法肩付近では被災限界の安定数が比較的低いが、背後の法面側になると安定数が高くなっている。またパラペット幅が大きくなる ($B_p=14\text{cm}$) と、落水位置が背後に移りにくいことが分かる。これはパラペット天端から直接落水するケースが多くなるためである。

以上の結果から、パラペット幅と堤体幅の比 (B_p/B_c) と被覆ブロック上水深と天端高の比 ($d/(H+H_p-d)$) をパラメータとして、パラペット無しに対する被災限界の安定数の比を整理した結果を表 - 3 に示す。安定数の比が 1.15 以上となるケースを赤枠で示した。 B_p/B_c が 0.3 以上、かつ $d/(H+H_p-d)$ が 0.5 以上のとき、方塊型・有孔型の被覆ブロックともに安定数はパラペット無しに対して 15% 以上増加しており、このことはパラペットの設置により越流水深として 15% 程度の増加に耐えられる効果があることを示している。パラペット幅が小さい場合や、背後水深の浅い場合では効果がほとんど見られないケースもあり、留意が必要であると言える。

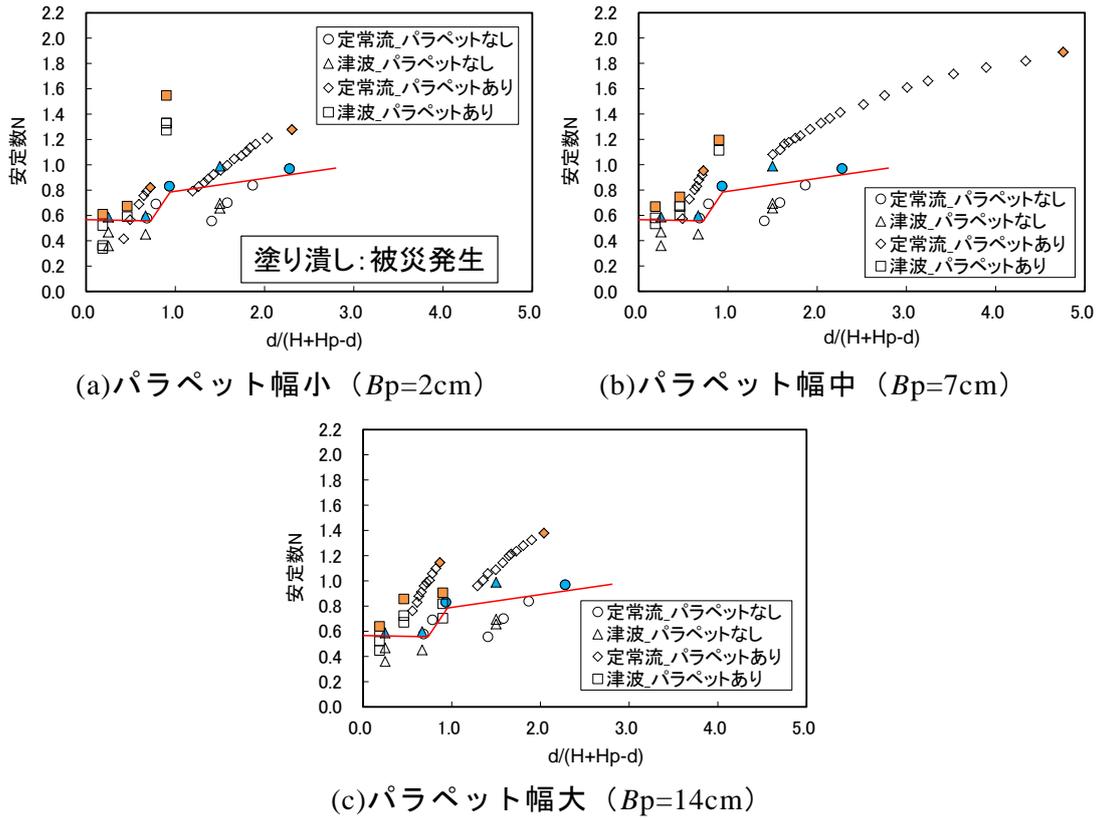


図 - 16 パラペット形状による安定数の比較 (方塊型、パラメータ $d/(H+H_p-d)$)

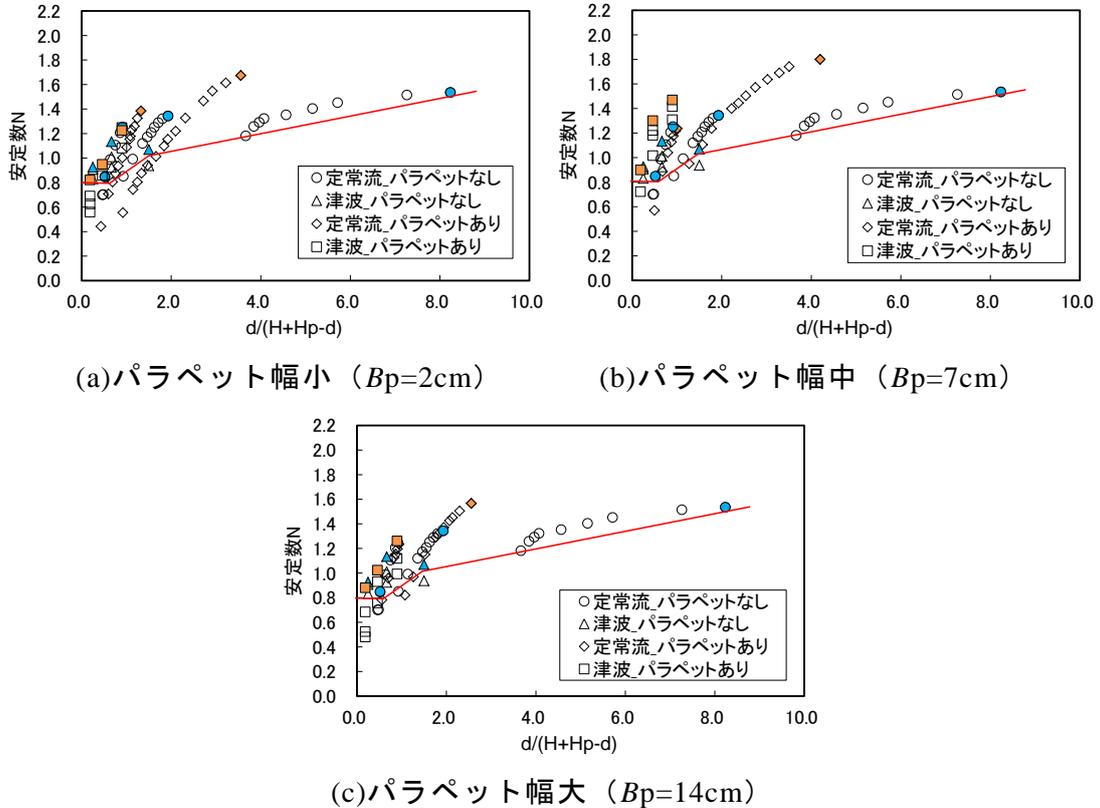


図 - 17 パラペット形状による安定数の比較 (有孔型、パラメータ $d/(H+H_p-d)$)

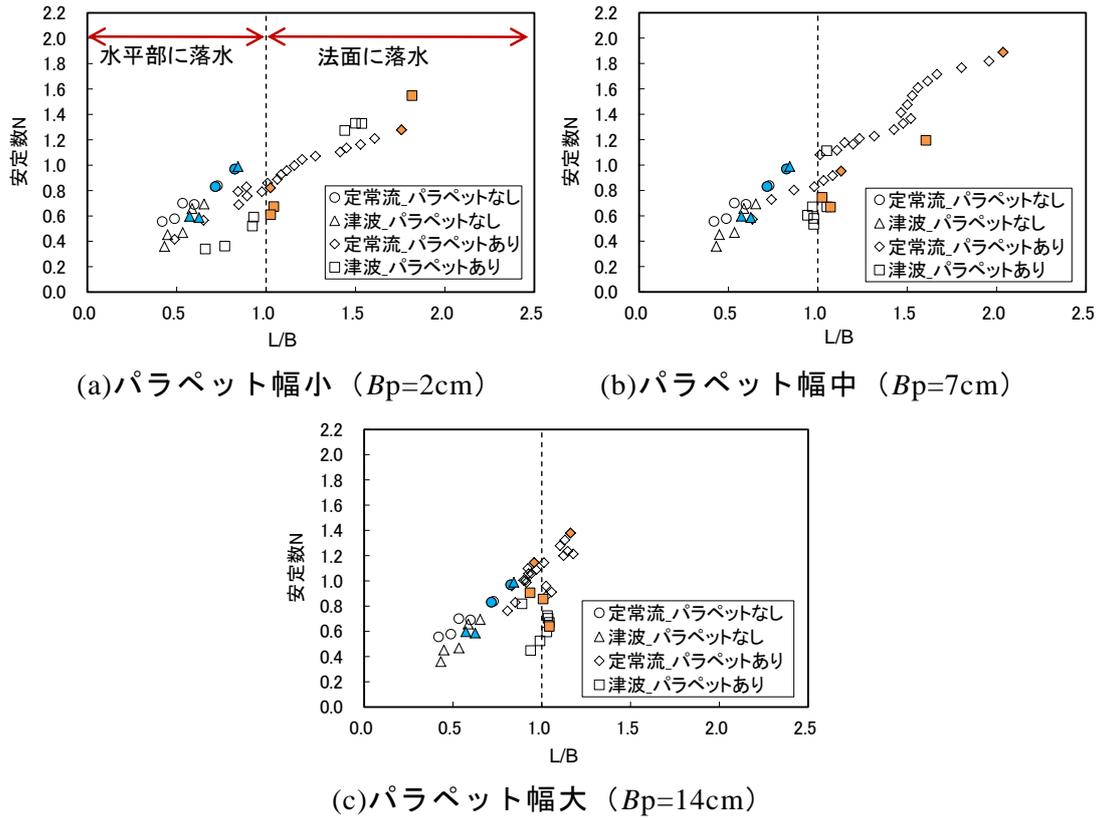


図 - 18 パラペット形状による安定数の比較 (方塊型、パラメータ L/B)

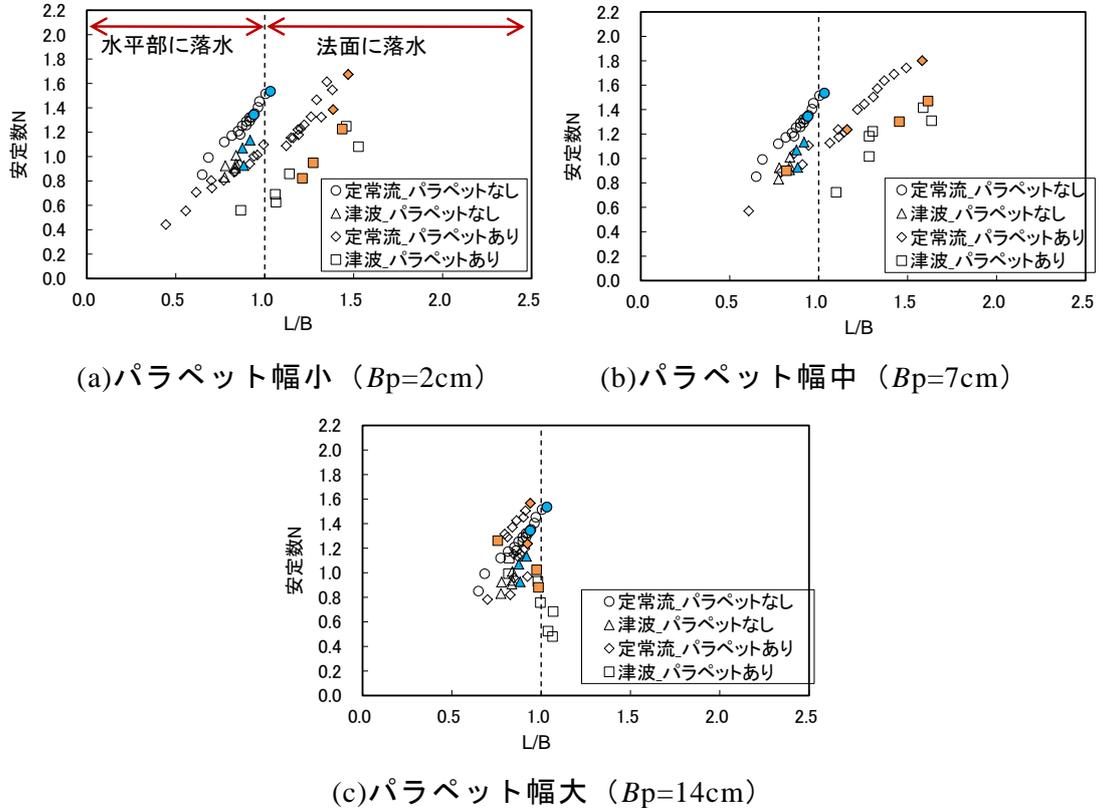


図 - 19 パラペット形状による安定数の比較 (有孔型、パラメータ L/B)

表 - 3 パラペット無しに対する被災限界の安定数の比

(a) 方塊型ブロック

パラペット幅	$d/(H+H_p-d) < 0.5$	$0.5 \leq d/(H+H_p-d) < 1.5$	$d/(H+H_p-d) \geq 1.5$
パラペット無し	1.00	1.00	1.00
$B_p/B_c=0.09$ (幅小)	1.04~1.13(1.08)	0.99~1.56(1.26)	1.10~1.64(1.35)
$B_p/B_c=0.32$ (幅中)	1.14~1.25(1.19)	1.15~1.66(1.33)	1.28~1.95(1.62)
$B_p/B_c=0.64$ (幅大)	1.09~1.43(1.26)	1.16~1.52(1.33)	1.24~1.42(1.36)

※最低値～最高値 (平均値)

(b) 有孔型ブロック

パラペット幅	$d/(H+H_p-d) < 0.5$	$0.5 \leq d/(H+H_p-d) < 1.5$	$d/(H+H_p-d) \geq 1.5$
パラペット無し	1.00	1.00	1.00
$B_p/B_c=0.09$ (幅小)	0.84~0.89(0.86)	1.15~1.56(1.36)	1.13~1.29(1.19)
$B_p/B_c=0.32$ (幅中)	0.97~1.15(1.06)	1.37~1.77(1.55)	1.21~1.34(1.29)
$B_p/B_c=0.64$ (幅大)	0.90~0.95(0.93)	1.18~1.61(1.39)	1.17~1.22(1.19)

※最低値～最高値 (平均値)

②数値波動水路による数値計算

a) 計算内容

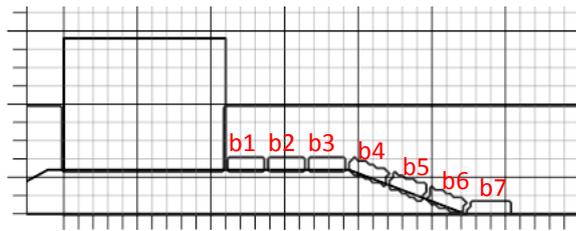
被覆ブロックの被災メカニズムを検討するにあたり、被災の一因と考えられる被覆ブロックにかかる圧力について把握するために、平成28年度に数値波動水路 (CADMAS-SURF/2D) による数値計算を実施した。その結果、被覆ブロックの上下の圧力差の最大値が大きい位置で被災が発生しており、圧力差が被災の一因であることが示唆された。ただし、天端の法肩側で圧力差が最も大きい場合でも実験では被災せず、法面側で被災したケースも見られたため、圧力差だけでなく、法面のモーメントの考慮も必要であると考えられる。このため本年度は数値波動水路によりモーメントの検討を行った。

計算条件および構造物諸元 (現地スケール) は実験と同様、マウンドおよび防波堤を配置し、越流水深は実験で被災した水深と同じ水深となるように調整した。

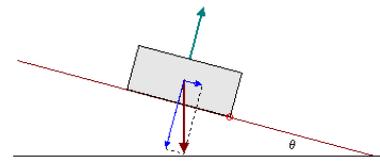
計算格子間隔は鉛直水平共に 0.25~1.00 m とし、防波堤周辺については 0.25 m とした。なお、防波堤および被覆ブロックは不透過、マウンドはポーラスセルとし、被覆ブロック間は 1 格子分 (0.25 m) 隙間を空けた。

b) 計算結果

斜面勾配の影響を考慮して、浮力を含む自重を斜面垂直成分と平行成分に分け、ブロックに作用する右下端回りのモーメントを整理した。被覆ブロックの位置と時計回りのモーメントの計算結果を図 - 20 に示す。塗りつぶしのプロットが実験における被災位置に対応しているが、法肩の法面側 (b4 の位置) でモーメントが大きくなっており、モーメントの大きい位置で被災が起きていることが分かる。このことから、法面のモーメントが被覆ブロックの被災に大きく影響していることが示唆された。

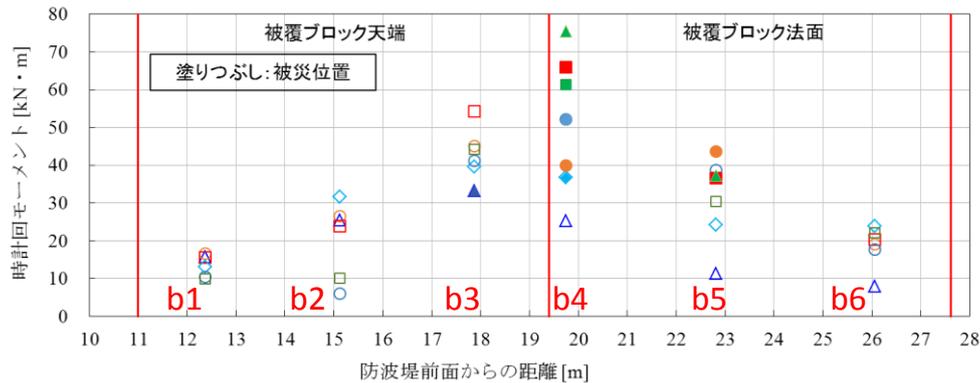


(a) 被覆ブロック位置図



(b) モーメント概念図

△パラベットなしh1=2.2m	○Hp=1m,Bp=1m,h1=2.5m	□Hp=1m,Bp=3.5m,h1=2.9m	◇Hp=1m,Bp=7m,h1=2.7m
△Hp=2m,Bp=1m,h1=2.2m	○Hp=2m,Bp=3.5m,h1=2.5m	□Hp=2m,Bp=7m,h1=3.0m	



(c) モーメントと実験における被災有無
図 - 20 被覆ブロックの位置とモーメント

VI. 摘要・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

- 防波堤各部位における波圧係数について

隅角部においては、静水圧に対する波圧係数が前面では 1.0~1.1、背面では 0.9~1.0 程度となっており、隅角部でも現行の堤幹部（直入射）の波圧係数を用いることができることを確認した。

堤頭部（直入射）においては、静水圧に対する波圧係数が断面実験・平面実験ともに前面では 0.8 前後、背面では 0.9~1.0 程度であり、前面で波圧係数の低減が見られ、堤体に沿った流れによる剥離の影響があると推察される。堤頭部（直入射）では現行の堤幹部の波圧係数を使用しても設計上不利にはならないため、波圧係数の変更は必要ないと考えられる。ただし、堤頭部周辺では流速の増加を考慮し、被覆ブロックの質量算定等に留意する必要がある。

- 防波堤各部位における水位上昇について

隅角部においては、定常流による断面実験では堤幹部に対して水位が 1.1 倍程度となったのに対し、段波による平面実験では最大 1.2 倍となる結果となった。主として幅を広げた効果によるものと考えられるが、段波を用いたことによる周期が短くなった効果も含まれていると考えられる。周期や隅角部の角度が水位上昇量に及ぼす影響や、水位上昇を見込む範囲については、今後の課題である。

- 津波遡上シミュレーションで一般的に使用されている非線形長波式では、隅角部等における水位上昇が十分再現できない可能性があるため、実験結果を考慮し水位上昇分を見込む必要がある。再現計算としては、ブシネスクや CADMAS/3D 等の手法を活用することが課題である。

(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

- ・定常流水路および津波回流実験装置の実験において、パラペットの設置により被災限界の安定数が高まり、パラペット幅と堤体幅の比 (B_p/B_c) が 0.3 以上のとき、かつ被覆ブロック上水深と天端高の比 ($d/(H+H_p-d)$) が 0.5 以上のとき、越流水深で 15% 程度の増加に耐えられる効果があることが分かった。
- ・パラペットの設置により、落水位置を堤体から背後側へ移動させ、落水角度を水平よりに変化させることにより、被覆ブロックの安定性が高まる効果が期待できる。ただし、パラペットや堤体、マウンドの諸元、背後水深によっては効果の出ないケースもあることから、予め落水位置を推定した上で、効果を検証する必要がある。
- ・現段階では、背後水深と落水高さを含むパラメータ ($d/(H+H_p-d)$) や落水位置のパラメータ (L/B) で安定数を整理し、安定性に及ぼす効果を明らかにしたが、設計段階においてはそれらの条件の適切な組み合わせについては今後の課題である。

Ⅲ. 漁場の施設の設計手法高度化の検討

I. 課題名

漁場の施設の設計手法高度化の検討

II. 実施機関及び担当者名

株式会社 エコー 山本 秀一
高尾 敏幸

III. 実施年度

平成 27,28,29 年度

IV. 緒言

漁場の施設に作用する流体力については、室内実験をベースにした沈設魚礁への流体力算定式や着定基質の安定重量算定式を提案したところであるが、これらの実海域での適用性については検証が不十分である。また、平成 28 年度の調査において流体中における沈設魚礁の新たな挙動特性や設計流速の設定に関する課題等が明らかとなっている。

このため、漁場の施設に作用する流体力については、被災事例の分析や実験的な検証等によって、提案した各算定式の実海域での適用性を検証する。

また、沈設魚礁の安全性については、流体中における沈設魚礁の挙動特性や流速の設定に関する課題等を水理模型実験によって明らかにした上で、安定性の照査手法を検討する。

V. 方法

1. 内容

漁場施設は魚礁（沈設魚礁、浮魚礁）、増殖礁（着定基質（藻場礁））、養殖場などがある。現行ではこれらの施設の設計波は有義波がベースであるが、これまでの検討から最大波によって施設の安定が決まることが水理模型実験などから明らかになった。そこで、最大波を設計波に用いた沈設魚礁に作用する外力及び着定基質の安定重量算定式を提案し、現地検証を行った結果、最大波の設計波利用及び提案式の妥当性が明らかになりつつある。一方で、漁場施設の機能から要求される性能は施設の種類や用途によって異なり、魚礁の一部施設は設計波に最大波を用いた場合に既往の安定性の評価基準が過大となることが明らかとなった。そこで、滑動・転倒が生じても機能を維持して性能が低下しない施設に関しては、滑動・転倒を一定程度許容する評価方法への移行を検討してきた。昨年度に示された沈設魚礁の安全性の照査方法における課題を以下に示す。

(1) 沈設魚礁の安全性の照査法の検討

(ア) 流体力算定の検証

① 現地調査による提案式の妥当性検証

現地実事例へ適用して、モリソン式とその代替法について検証した。また、モリソン式は不規則波への適用を検討した。

② 波・流れ共存場への適用方法の実験的検証の試行

振動流と定常流を再現できる実験装置を使用して、実験の可能性を検討した。

(イ) 砂地盤での安全性の検討

① 計測された鉛直力の再検討と追加実験による提案方法の検討

鉛直力の発生要因の検討と形状を変えた魚礁模型による砂面上での安定実験を実施し安定性の評価方法を検討

(2) 着定基質（石材）の安定質量算定手法の検討

(ア) 安定式の見直しと適用性の検討

① 現地実験による提案式の検証

現地被害率と提案式による被害率を比較し提案式の妥当性を検証した。

2. 沈設魚礁の安全性の照査法の検討

2.1. 水理模型実験

これまでに漁場の施設の設計手法高度化のため該当施設に作用する流体力算定式や安定重量の算定式の提案を行った。これらの実海域での適用性の検証や新たに明らかになった課題を水理模型実験により明らかにし、「漁港・漁場の施設の設計参考図書」への反映を念頭に置いた文案を検討するための基礎資料とする。

2.1.1. 検討の内容

(1) 流体力係数の算定

現地で被災の確認された魚礁の流体力係数を実験により求め、被災事例の検証に用いた。

(2) 安定性の評価方法検討

昨年度示された揚力について検討を行い、滑動・転倒の一定量を許容した評価手法の検討を行った。

2.1.2. 実験施設

(1) 流体力算定の検討

①不規則波造波装置付造波水路（長さ 100.0m×幅 1.0m×深さ 2.0m（水深 1.5m））（図 1）。

②振動装置付回流水槽（長さ 6.0m×幅 2.8m×深さ 2.0m（水深 1.4m））（図 2）。

(2) 安定性の評価方法検討

実験施設は、不規則波造波装置付造波水路（長さ 100.0m×幅 1.0m×深さ 2.0m（水深 1.5m））（図 3）。

一部に 20cm 程度のトレンチを掘り砂（粒径 0.12mm の珪砂）を敷設して実験を行った。

2.1.3. 実験模型

現地調査で対象とした魚礁の魚礁模型（FP3.25：3D プリンターにより製作、模型縮尺 1/25,密度 1.14g/cm³）。計測治具や魚礁模型を図 4 に示す。

2.1.4. 計測項目

(1) 流体力算定の検討

- ・水位：容量式波高計

- ・ 流体力：2分力計×2個
- ・ 流速：超音波式流速計×1台

(2) 安定性の評価方法の検討

- ・ 水位：容量式波高計
- ・ 流速：超音波式流速計×1台
- ・ 移動の状態の記録：ビデオカメラ

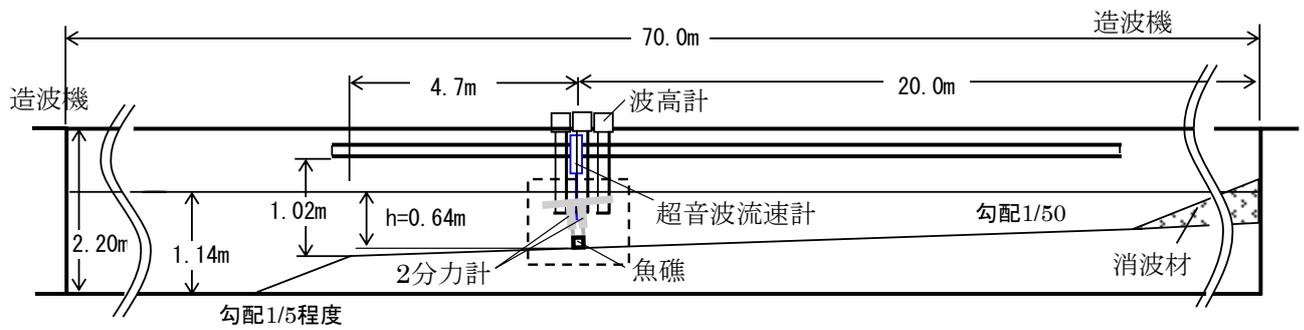


図1 不規則波造波装置付造波水路（流体力係数算定）

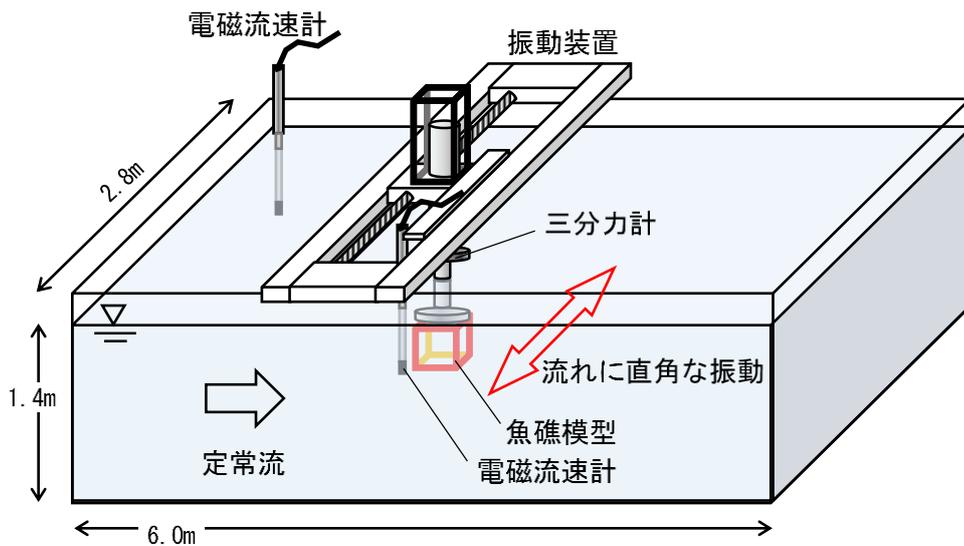


図2 振動装置付回流水槽（波・流れ共存場検討）

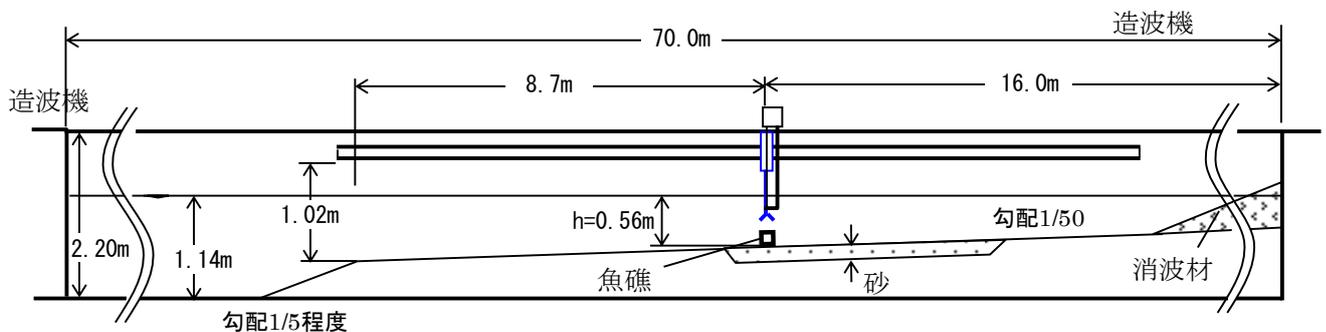
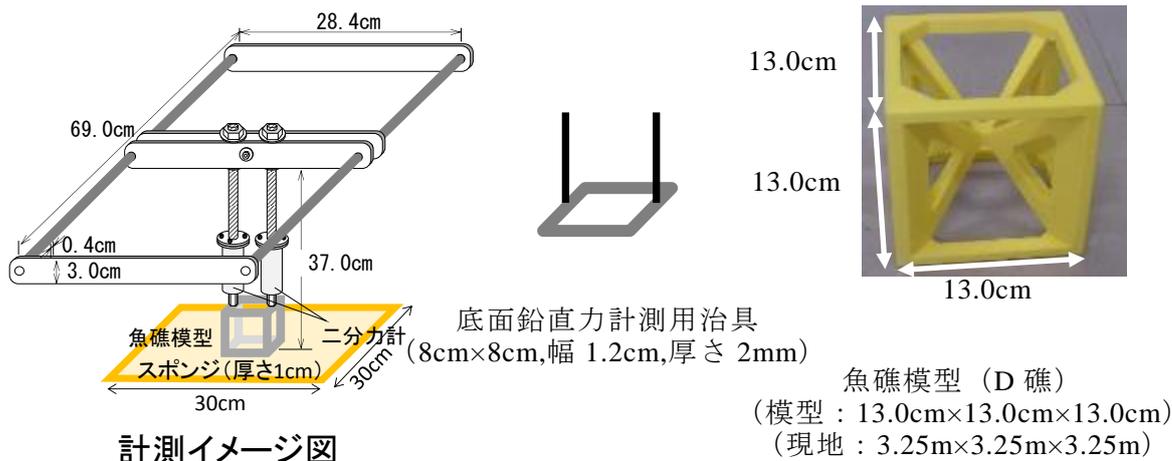
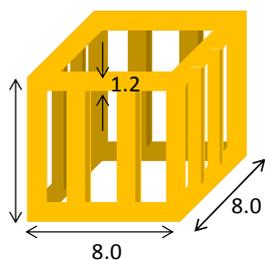


図3 不規則波造波装置付造波水路（安定性検討実験）



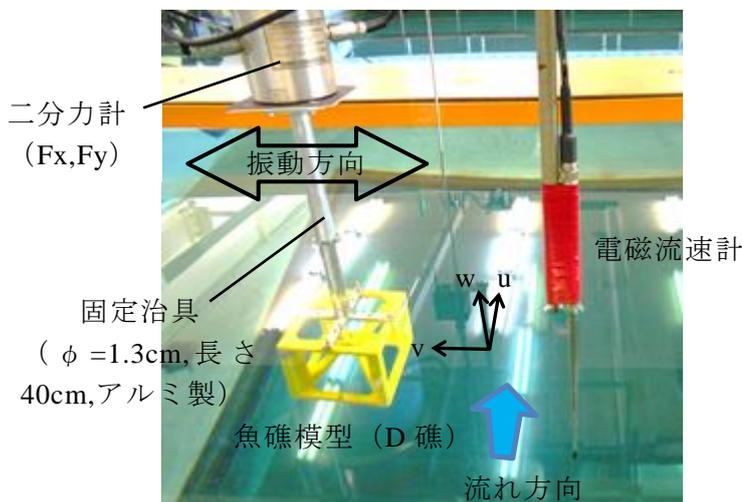
① 流体力係数算定用



魚礁D

(密度 2.3, $1.6g/cm^3$)

② 砂面上の安定性の検討に用いた魚礁模型



※魚礁模型は流体力係数算定用と同じ模型を使用。

③ 波・流れ共存場検討用

図 4 計測治具及び魚礁模型

2.1.5. 実験条件

(1) 流体力係数算定

周期 (1.5s~4.0s) と波高 (5cm~40cm) の 17 組み合わせ条件の規則波を与えて KC 数と流体力係数との関係式を決定した。

同数の条件の不規則波 (Bretschneider-光易スペクトル; 250 波以上) を与えて不規則波中での流体力も測定した。

(2) 砂面上の安定実験

周期 2.0s, 3.0s, 4.0s において、転倒限界を把握するため転倒を含む最低 3 種の波高について、不規則波 (Bretschneider-光易スペクトル) 250 波以上を作用させ実験を行った。

(3) 波・流れ共存場

縮尺 1/25（長さ 1/25、時間 1/5）、流れの向きは振動方向に対し 90°、振動周期は現地 12s, 15s（模型 2.4s, 3.0s（波・流れ共存場は 3.0s と 2.4s の 1 部））とした。定常な流れの速度 U_c と非定常な波動流速振幅 U_m の組み合わせは、それらの比 U_c/U_m が実事例からえら得た 0.8, 1.4 となるように設定した。なお、波動流速振幅は 9~35(cm/s)[振動装置の振幅：3.4~17(cm)]（流速と周期から振幅を設定）とし、定常な流れの速度は、流れのみでは 7~50cm/s、波・流れ共存場においては 7~35cm/s とした。

2.1.6. 流体力係数の算定方法

規則波において、モリソン式は流体力 $F(t)$ を流速 $u(t)$ から求める式である。従って実験では流速 $u_{obs}(t)$ と流体力 $F_{obs}(t)$ を同時に計測し、下記のモリソン式に当てはめ最小二乗法により流速および流速加速度の項の各係数 (a, b) を算出し、その値から C_D, C_M を求めた。

このとき、 $t_1 \sim t_2$ が流体力の算定値と実験値のフィッティング範囲である。

$$\begin{aligned} \text{モリソン式: } \quad F(t) &= \frac{1}{2} \rho C_D A u(t) |u(t)| + \rho C_M V \frac{\partial u(t)}{\partial t} \\ \text{最小二乗法 } \quad \varepsilon &= \sum_{t=t_1}^{t=t_2} \left[F_{obs} - \left(a \cdot u_{obs} |u_{obs}| + b \frac{\partial u_{obs}}{\partial t} \right) \right]^2 \\ \varepsilon \text{ 最小な } a, b \text{ 決定} & \\ a &= \frac{1}{2} \rho C_D A, \quad b = \rho C_M V \end{aligned}$$

2.2. 被災時の高波浪推定

これまでの調査で千葉県館山沖に設置された魚礁は 2014 年 10 月の台風 18 号で 2 層積みの魚礁の 1 部が落下したことが推定された。その 2014 年 10 月台風 18 号 (T1418) の来襲時の波浪を推定するものである。また、同地区において波浪の観測を行うとともに、最寄りの定点波浪観測点（ナウファス第二海保等）での観測データを用いて波浪推算モデルの検証を行った。なお、この観測期間中に台風 21 号が来襲し、魚礁の移動が確認されその結果も実事例として追加検討した。

以下の手順で波浪推算を行った。

① 海上風の推定

局地気象モデル：WRF（格子間隔：1/81°（1.35km））

初期・境界条件として気象庁 GPV（MSM）等を使用した。

② 波浪推算

第 3 世代波浪推算モデル：SWAN を使用（格子間隔：1/128°（約 0.87km））。

2.2.1. 波浪推算モデルの検証

(1) 検証対象施設

館山沖の魚礁 2 カ所（落下を確認した魚礁、安定した魚礁）において波浪観測を行い、定点波浪観測点との関係を把握し、推算モデルを検証した。なお、本年度は 2017

年 10 月に 21 号台風が来襲し施設の移動が確認された。



図 5 調査対象工区と波浪観測位置

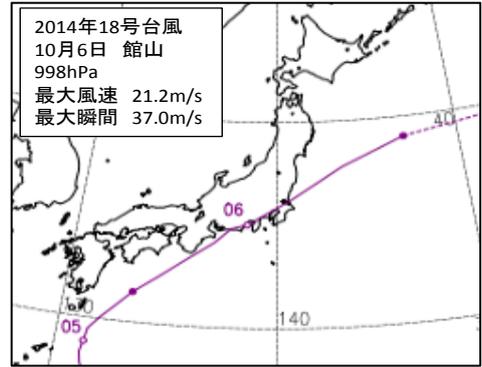
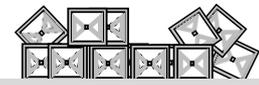


図 6 T1418 の経路



No.18 (水深23.5m)
平成22年施工



No.19 (水深16.8m)
平成20or21年施工



図 7 (1) 館山沖の魚礁 2 カ所 (事例 1 : T1418)

No.19(水深16.8m)
平成20or21年施工



台風通過前 (2017. 7. 19)



台風通過後 (2017. 11. 2)

※No. 18(水深 23.5m) : 滑落なく, 移動は不明

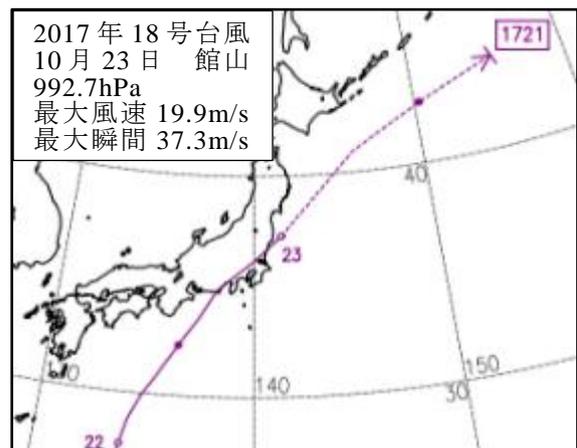


図 7 (2) 館山沖の魚礁 2 カ所 (事例 2 : T1721)

(2) 検証に用いた波浪データ

対象施設に設置した波浪観測データと周辺の波浪観測データを波浪推算の検証に用いた（図7(3)）。

ナウファスの下田港と第二海堡の観測データを使用した。

※これらの観測地点での検証に用いたデータは、国土交通省港湾局によって観測され、港湾空港技術研究所で処理されたものである。



図7(3) 波浪推算の検証に用いた対象施設周辺の波浪観測位置

3. 着定基質（石材）の安定質量算定手法の検討：割石の安定質量推定式に関する現地検証

3.1. 調査内容

水理模型実験及び波浪推算結果から得られた外力が被災を再現するか検証し、流体力算定法の妥当性を検証した。波の場における割石の安定質量の算定方法を提案しており、平成28年度は徳島県海部郡美波町沖に砕石を設置し、波浪による動揺・移動の観察で算定法の検証を行った。しかしながら、観測期間中に用意した砕石を有意に移動させる波浪が作用しなかった。

そこで、H29年度では、北海道増毛地区の藻場礁近傍に、加速度計を装着した質量の異なる砕石（約400kg/個）を10個用意し、波浪と流速を測定して、砕石の動揺・移動を観察する。

3.1. 場所

図8(1)に示す増毛町別荘地先（A礁の全面）

設置水深は、約7mとする（7m以深は、ナマコ漁業操業のため不可）。

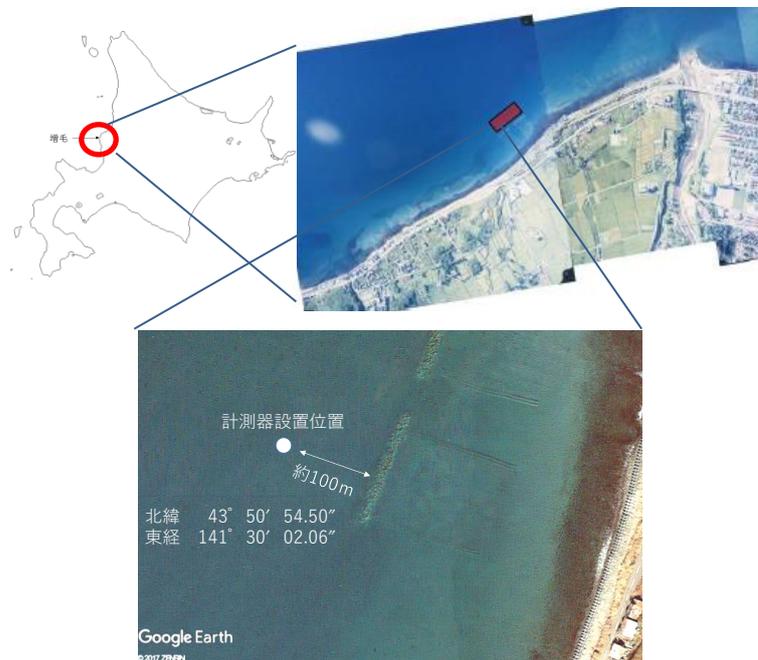


図8(1) 位置図（茶色の枠内に割石を設置）

3.2. 期間

割石設置：平成29年8月29日

観測機器設置期間

：平成29年10月9日

から同年12月5日

3.3. 計測方法

取り付け金具（U字型鉄筋）の固定は、搬入した10個の石材の据わりの良い向きにU字型鉄筋を打ち込み、ケミカルアンカーで固定。

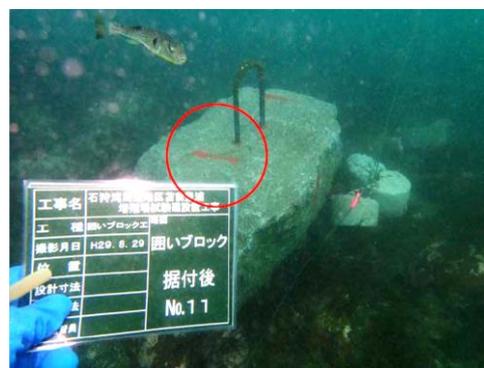
試験石材の重量を測定し、比較的平坦な場所に石材を2個程度の間隔をあけて10個を吊り金具を上にして設置した。

波・流れ及び加速度の観測については、波高計（流速計付）を割石の近傍の同水深（水深約7m）に設置し、9～10月にかけて波高・流速を測定した。加速度は、防水ケ

ースに入れた加速度計を各割石の U 字鉄筋に固定し測定した。波高、流速と加速度の計測結果の比較から、割石が移動する際の流速を求めた。図 8 (2), (3) 参照。

観測条件は以下の通り。

- ・ 観測期間：10 月 9 日～12 月 9 日（流速計は 10/18 以降、センサー部破損のため欠測）
- ・ 計測方法
 - 波・流れ：水圧式波高計・超音波式波高計・電磁流速計の複合機器（アイオーテックニク製 HW-503）により 1h 間隔に 2Hz, 20min 計測
 - 加速度：超小型加速度計（MSR Electronics 社製、MSR145）により 1min 間隔に 3 軸加速度を計測
- ・ 使用石材：質量 0.37～0.43t、M50=0.40t



割石据付け（2017 年 8 月 29 日）



計測機器設置（2017 年 10 月 9 日）

図 8 (2) 施工状況



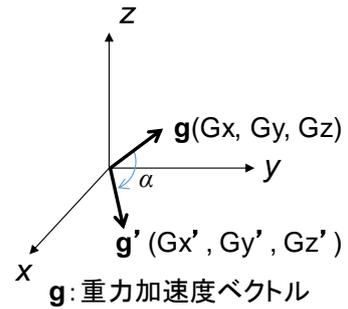
※2017 年台風 18 号（9/18 通過）により No. 3 が岸側に約 2m 移動

図 8 (3) 割石の配置図

3. 4. 加速度及び流速波形の解析方法

①加速度

転倒・反転により割石に固定した加速度計の座標軸の向きが変化するため割石の向きの変化が重力加速度ベクトル $\mathbf{g}(G_x, G_y, G_z)$ の見かけ上の角度変化 α として求められる。座標軸の変化後の重力加速度ベクトルを $\mathbf{g}'(G'_x, G'_y, G'_z)$ とし、角度変化 α を次式で求めた。



$$\cos\alpha = \frac{G_x G'_x + G_y G'_y + G_z G'_z}{\sqrt{G_x^2 + G_y^2 + G_z^2} \sqrt{G_x'^2 + G_y'^2 + G_z'^2}}$$

②流速波形

割石の移動時の流速データが欠測したため、水圧変動を用いて流速波形を推定し、解析に用いた。

VI. 結果

1. 沈設魚礁の安全性の照査法の検討

1. 1 流体力算定法の検討

(1) 不規則波に対するモリソン式の流体力係数の決定方法の検討及び提案式との実用性等の比較・検証

①検討範囲について

既存施設と検討対象の被災事例の多い範囲について、水深波長比 (h/L) と波形勾配 (H_{max}/L) の関係から示した (図9)。既存施設のデータは H26 年度当該調査より引用した。

既存施設の h/L は、並型魚礁は $0.1 \sim 0.45$ 、高層魚礁は $0.2 \sim 0.7$ である。被災事例は 0.2 未満の範囲で多く見られた。従って、被災事例の多い領域を実験範囲 ($h/L=0.07 \sim 0.2$) とした。

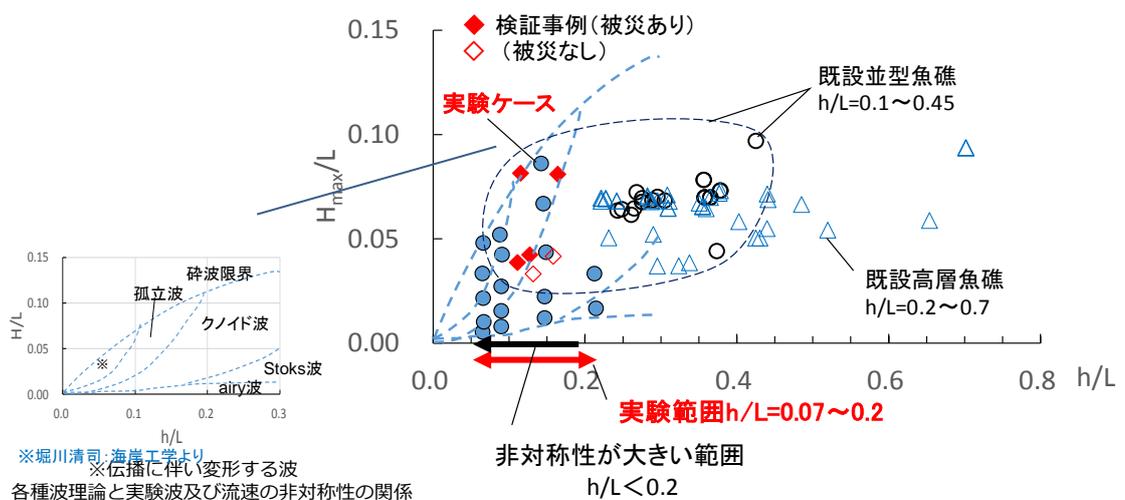


図9 検討範囲

②対象施設の形状

検討に用いた礁体模型の形状諸元の一覧表を表 1 に示す。

表 1 検討に用いた礁体模型の形状諸元

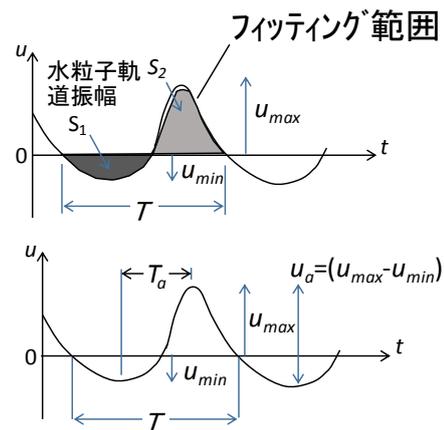
礁体形状	部材幅	高さ	基準面積		実容積	空容積	空隙率
	D (cm)	h (cm)	A _x (流れ方向) (cm ²)	A _z (鉛直方向) (cm ²)	V _r (cm ³)	V _e (cm ³)	V _e /V _r
A礁	2.0	5.1	60.8	86.5	229.8	398.9	1.7
B礁	1.2	6.0	93.9	160.6	257.1	561.0	2.2
C礁	1.2	8.0	59.5	59.5	110.6	512.0	4.6
D礁	1.0	13.0	227.6	146.6	347.5	2197.0	6.3
E礁	1.2	8.0	113.3	34.6	175.1	512.0	2.9
F礁	1.2	8.0	34.6	113.3	175.1	512.0	2.9

③不規則波への適用の際に検討した KC 数とフィッティング範囲

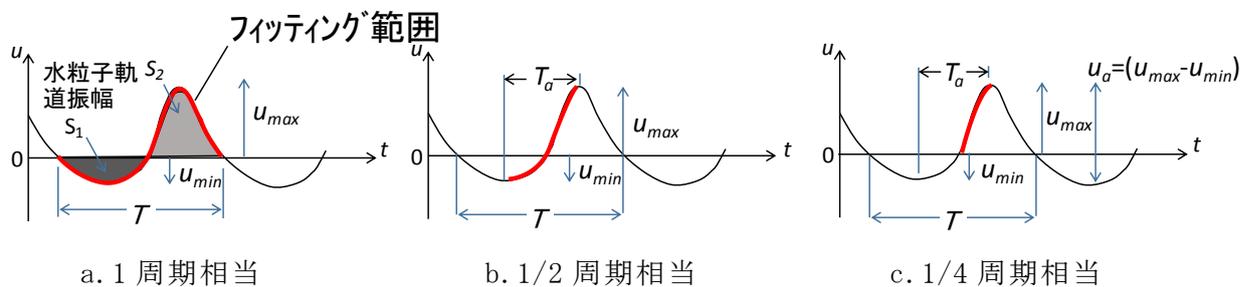
流体力係数算定式の構築において KC 数 3 種 (i~iii)、フィッティング範囲 3 種 (a~c) の合計 9 種の組合せから、最も実験との整合性が高い組合せを選定。フィッティング範囲は流体力のピーク値に与える影響が最も大きい区間を想定した。

●KC 数の定義

- i. $K_{Cex} = \frac{\pi S}{D}$: 拡張 KC 数
- ii. $KC_1 = \frac{U_{max} T}{D}$: 基本の KC 数
- iii. $KC_3 = \frac{2U_a T_a}{D}$: 非対称性を考慮するために提案した KC 数



●フィッティング範囲



④規則波におけるフィッティング範囲の影響

フィッティング範囲を変えて算出した C_D , C_M を用いて算定した流体力の計算値と実験値の比較例を図 10 (D 礁の場合) に示す。KC 数の違いについても比較した。

フィッティング範囲を 1/2 周期相当とした場合（青丸）と 1/4 周期相当とした場合（赤丸）を比較するとフィッティング範囲が短い方が実験値との合うようになる。

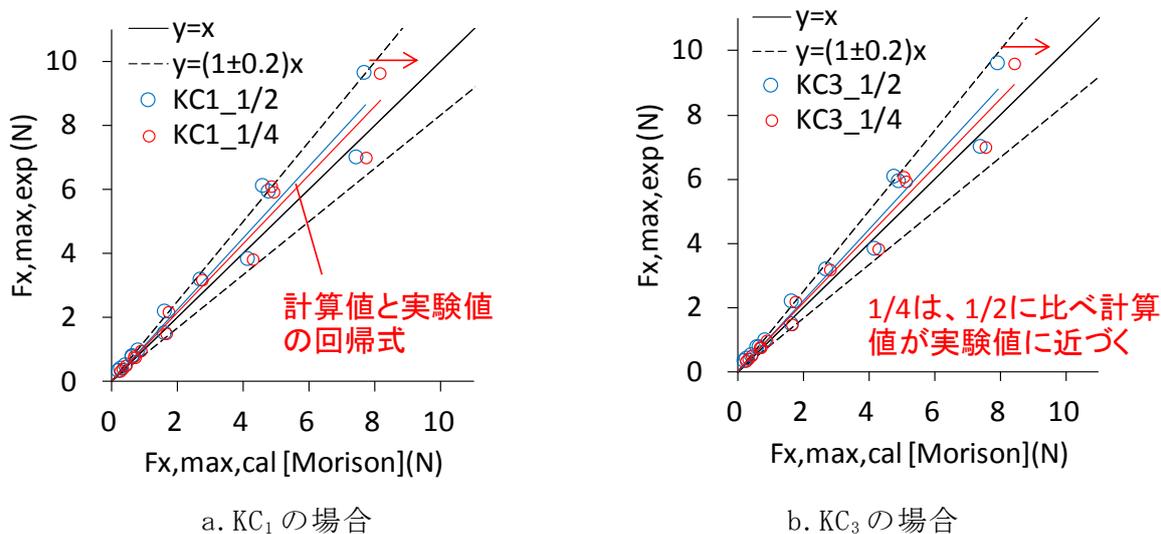


図 10 フィッティング範囲を変えた場合の実験値と計算値の比較（D 礁）

フィッティング範囲を変えた場合の C_D , C_M を図 11 に示す。

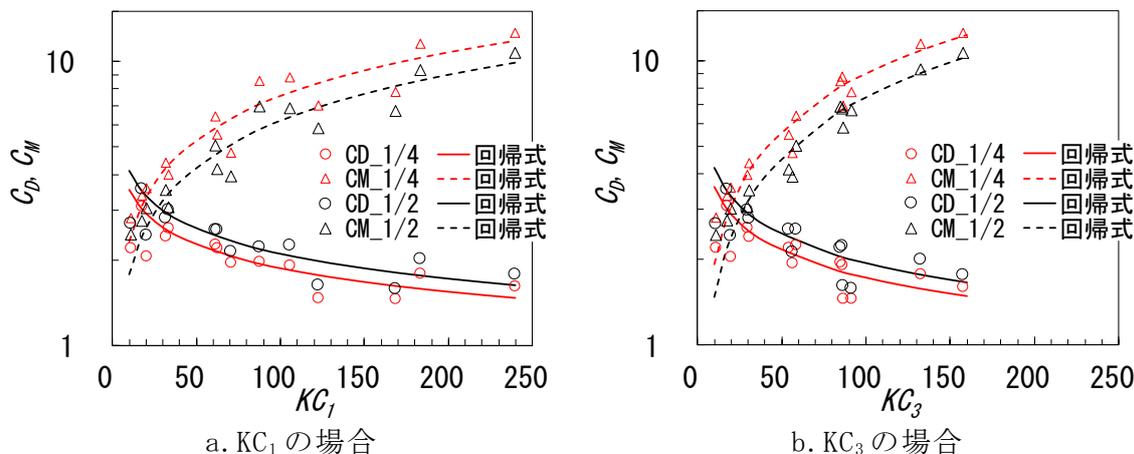


図 11 フィッティング範囲を変えた場合の実験値と計算値の比較（D 礁）

各礁体のフィッティング範囲を変えた場合の流体力の計算値/実験値の値を表 3 に示す。

流体力の計算値/実験値は、モリソン式の場合、フィッティング範囲を 1 周期から 1/4 周期と短くしていくと、0.9 から 0.95 と徐々に 1.0 に近づく。また、代替法では、ほぼ 1.0 となる。KC 数は KC_3 が最も 1.0 に近くなる傾向にある。

波の非対称性（非線形性）の強い領域（ $h/L < 0.2$ 程度）において、モリソン式は、フィッティング範囲（1 周期相当、1/2 周期相当、1/4 周期相当）を短くすると、精度よく流体力を算定できることが分かった。

表2 フィッティング範囲を変えた場合の流体力の計算値/実験値の表

対象施設	フィッティング範囲(水平流体力最大時の前後の流速波形の範囲)									
	モリソン式							代替法		
	1周期相当 (ZeroDown間)	1/2周期相当 ($U_{min} \sim U_{max}$)			1/4周期相当 (ZeroUp $\sim U_{max}$)			流体力最大時		
	K_{cex}	K_{cex}	KC_1	KC_3	K_{cex}	KC_1	KC_3	K_{cex}	KC_1	KC_3
模型A	0.93	0.94	0.94	0.94	0.98	0.98	0.98	0.97	0.86	0.93
模型B	0.88	0.90	0.89	0.88	0.96	0.96	0.97	1.01	0.99	1.09
模型C	0.91	0.92	0.90	0.93	0.96	0.95	0.97	1.00	1.04	1.11
模型D	0.86	0.89	0.87	0.89	0.92	0.91	0.93	0.97	0.94	0.97
模型E	0.86	0.86	0.86	0.88	0.93	0.92	0.93	0.95	0.98	1.04
模型F	0.90	0.92	0.95	0.97	0.91	0.95	0.97	1.00	0.97	1.03
平均	0.89	0.90	0.90	0.91	0.94	0.95	0.96	0.98	0.96	1.03

なお、代替法は流体力の最大値に対応しているためにフィッティング範囲による違いはないので、KC数の違いにのみについて一例を図12に示す。

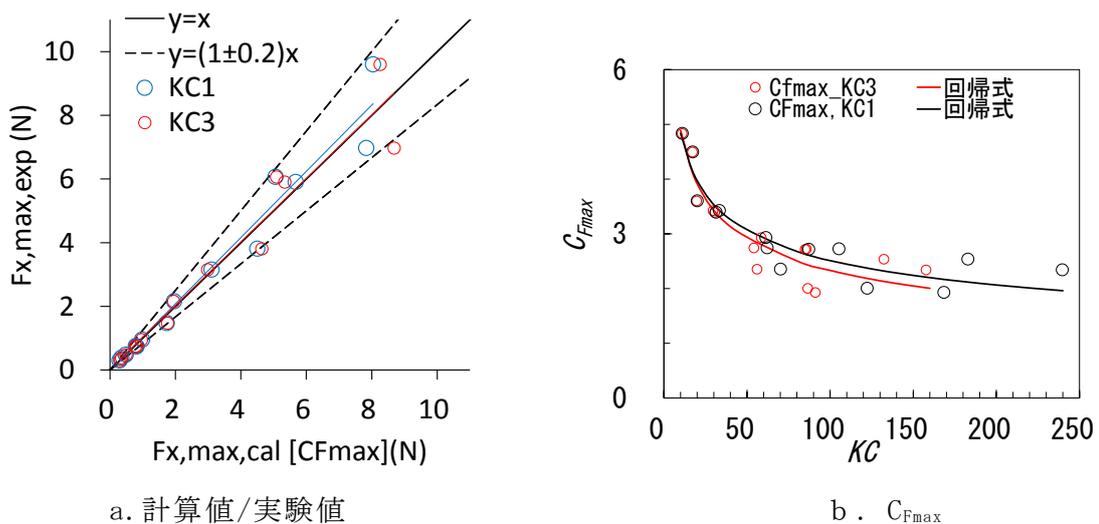


図12 代替式のKC数の違いによる計算値/実験値と C_{Fmax}

⑤ 不規則波への適用

規則波での流体力係数を不規則波へ適用した場合の最大流体力の計算値/実験値を表3に示す。

モリソン式の計算値/実験値は、不規則波においてもフィッティング範囲を1/4周期相当に短くすると、全体的に1割弱の差でおおむね一致。バラツキは0.95以上と妥当な範囲である。

代替式の計算値/実験値はKC3では全体的に1割程度過大で、KC1はほぼ一致した。バラツキはほとんど0.98以上である。

表 3 最大流体力の計算値/実験値

礁体	計算値/実験値 (決定係数)					
	モリソン式				代替式	
	1周期相当		1/4周期		最大値	
	KC ₁	KC ₃	KC ₁	KC ₃	KC ₁	KC ₃
A礁	0.97 (0.99)	0.95 (0.98)	1.01 (0.98)	1.01 (0.99)	0.86 (0.96)	0.97 (0.98)
B礁	0.80 (0.96)	0.77 (0.96)	0.90 (0.97)	0.89 (0.97)	1.00 (1.00)	1.12 (0.97)
C礁	0.93 (0.98)	0.90 (0.98)	0.92 (0.99)	0.95 (0.99)	1.03 (0.99)	1.13 (0.98)
D礁	0.79 (0.95)	0.73 (0.94)	0.84 (0.96)	0.83 (0.96)	1.01 (0.99)	1.07 (0.99)
E礁	0.81 (0.94)	0.77 (0.94)	0.88 (0.96)	0.87 (0.95)	1.04 (0.99)	1.15 (0.99)
F礁	1.04 (1.00)	1.03 (1.00)	1.05 (0.99)	1.09 (1.00)	1.04 (0.98)	1.19 (0.99)
平均	0.89 (0.97)	0.86 (0.97)	0.94 (0.98)	0.94 (0.97)	1.00 (0.98)	1.10 (0.98)

※計算値/実験値の赤字は計算値の実験値との差が±5%以内。バラツキの指標(決定係数)の赤字はR²=0.98以上

(2) 移動事例における提案式の妥当性検証

①波浪推算の妥当性の検証

まず、現地観測結果の波高・周期の観測値と波浪推算値の経時変化図を図13に示す。

被災が生じたと考えられる赤破線の範囲では、波高・周期の観測値と推算値はほぼ一致した。館山地区のピーク時以外の周期の推算値は観測値に比べ短い。これは館山地区の観測が水圧式波高計を使用し、水深23m程で行っているため、観測値は周波数0.2Hz程度以上成分波が水圧計ではとらえられないためである。

次に、2014年10月18号台風(10/4~7)の波高・周期の観測値と推算値の比較図を図14に示し、図15に2017年10月21号台風の観測値と推算値の比較を示す。

3地点とも台風21号による最大有義波の波高、周期の推算値は観測値を再現している。

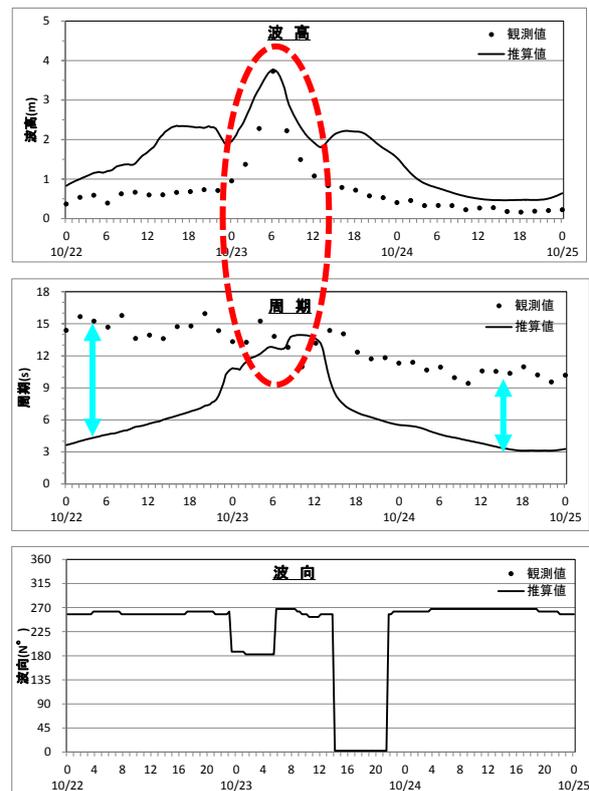


図14 対象地点での波高・周期の観測値と推算値の経時変化図

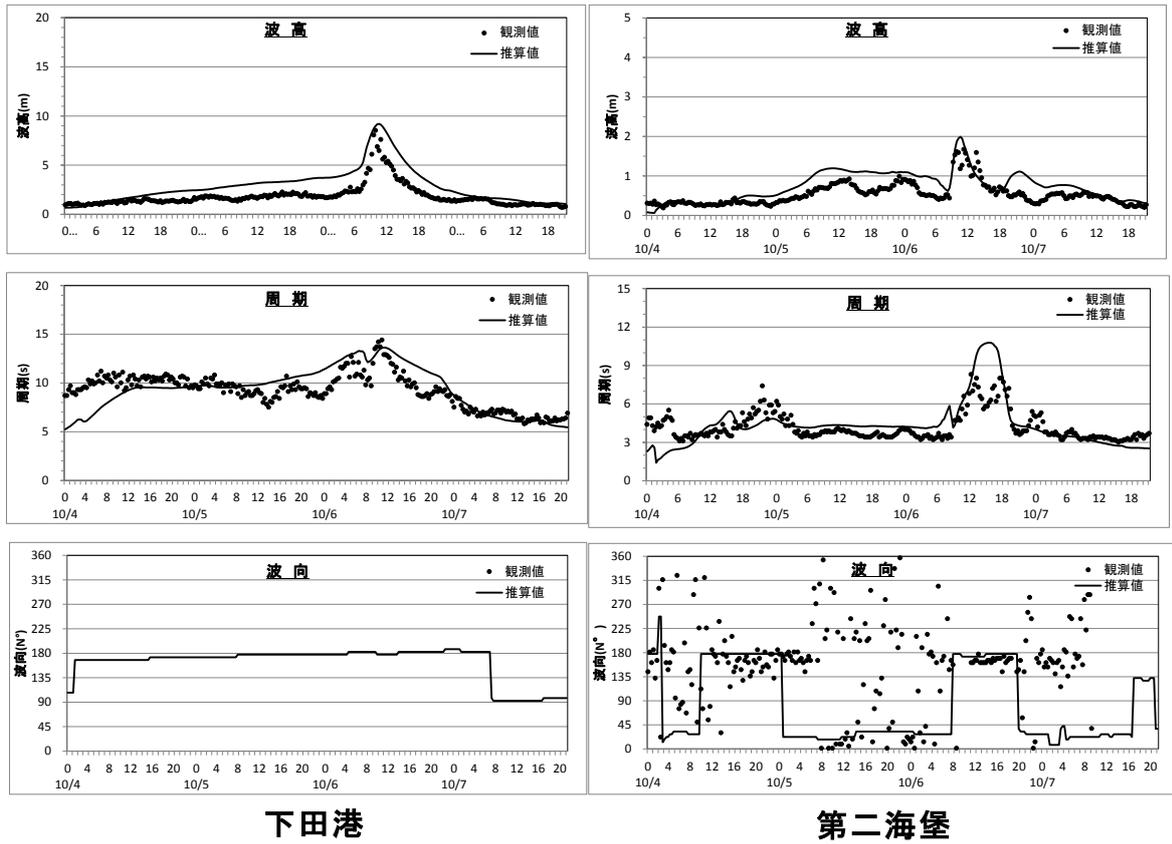


図 1 4 波高・周期の観測値と推算値の経時変化 (2014 年 18 号台風)

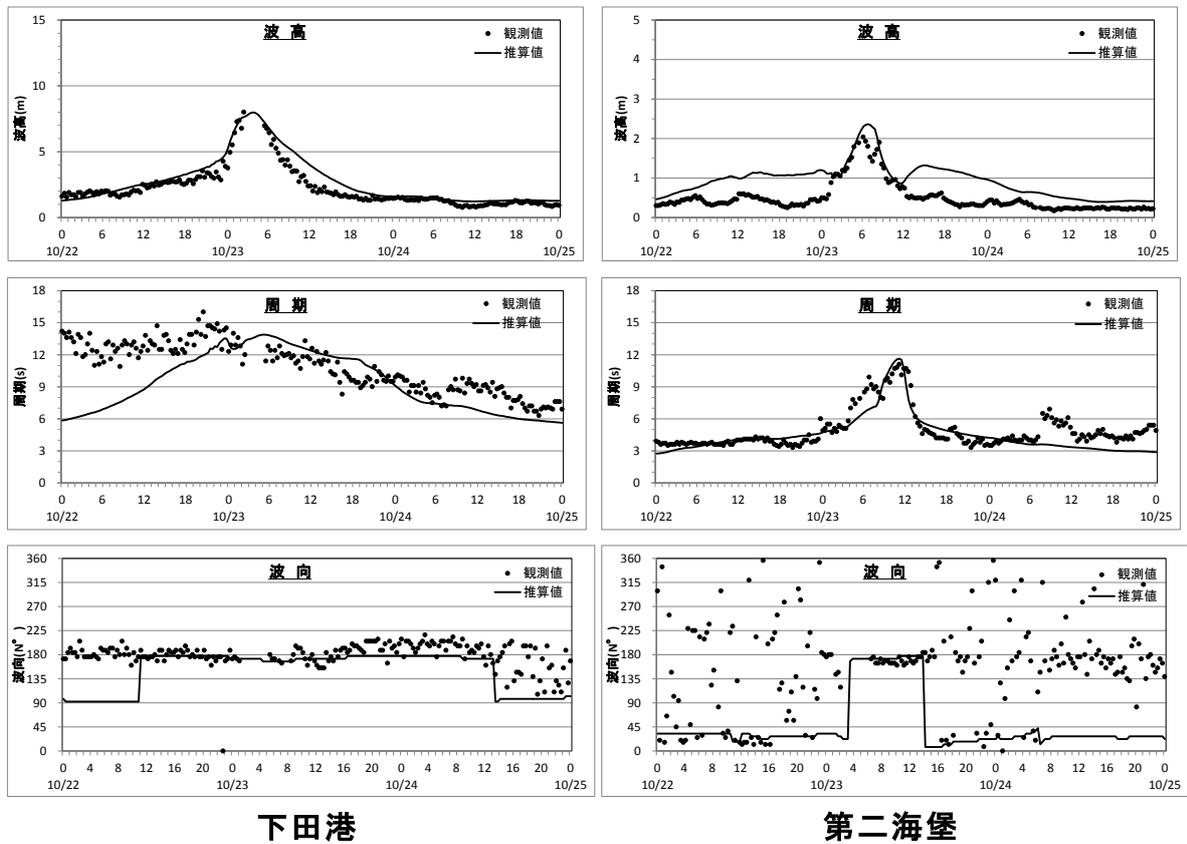


図 1 5 波高・周期の観測値と推算値の経時変化 (2017 年 21 号台風)

②設計条件及び被災条件

実事例による検証に用いた設計条件及び被災条件の一覧表を表4に示し、表5に計算方法及び計算条件の一覧表を示した。

表4 実事例の検証に用いた設計条件及び被災条件一覧表

事例1(A礁):移動あり			事例2(B礁):移動あり	
検証擾乱	設計条件	移動条件	設計条件	移動条件
・海域: N県野母崎沖	砕波・流れ あり・なし 海底勾配 1/50	あり・なし 1/50	なし・あり 1/50	なし・あり(仮定) 1/50
・検証擾乱 2014年台風8号 (T1408)	水深h 13.8m H_{max} — $H_{1/3}, T_{1/3}$ 10.63m, 15.3s	13.9m, h/L=0.1150 9.86m 6.32m, 11.2s	23.0m — 8.89m, 15.6s	24.8m, h/L=0.1638 12.26m 6.81m, 11.2s
・来襲波:推算値	波動流 U_m 2.678m/s, 流れ U_c 0.0m/s	2.25m/s(max:3.52) 0.0m/s	2.540m/s, 0.0~0.212m/s	1.58m/s(max:2.84) 0.0~0.18m/s
※H28年検討	摩擦係数 μ 0.6(捨石)	0.6(捨石)	0.5(コンクリート礁)	$\mu=0.5$ (コンクリート礁)
事例3(D礁):移動なし			事例4(D礁):移動あり	
・海域: C県館山沖	砕波・流れ なし・あり 海底勾配 1/15	なし・なし(仮定) 1/25	なし・あり 1/15	なし・なし(仮定) 1/25
・検証擾乱 2014年台風18号 (T1418)	水深h 17.0m H_{max} — $H_{1/3}, T_{1/3}$ 4.40m, 11.7s	23.5m(沖側), h/L=0.1582 6.17m, 3.43m, 11.2s	17.0m — 4.40m, 11.7s	16.8m(岸側), h/L=0.1271 5.60m, 3.11m, 11.3s
・来襲波:推算値	波動流 U_m 1.449m/s 流れ U_c 0.513m/s	0.856m/s(max:1.54) 0.0~0.49m/s	1.449m/s 0.513m/s	1.022m/s(max:1.84) 0.0~0.51m/s
※本年度実施	摩擦係数 μ 0.58(コンクリート礁)	0.58(コンクリート礁)	0.58(コンクリート礁)	0.6(コンクリート礁上)
事例5(D礁):移動なし※			事例6(D礁):移動あり	
・海域: C県館山沖	砕波・流れ なし・あり 海底勾配 1/15	なし・なし(仮定) 1/25	なし・あり 1/15	なし・なし(仮定) 1/25
・検証擾乱 2017年台風21号 (T1721)	水深h 17.0m H_{max} — $H_{1/3}, T_{1/3}$ 4.40m, 11.7s	26.6m(沖側), h/L=0.1318 6.69m, 3.72m, 13.8s	17.0m — 4.40m, 11.7s	19.9m(岸側), h/L=0.1111 6.93m, 3.85m, 13.8s
・来襲波:観測値	波動流 U_m 1.449m/s 流れ U_c 0.513m/s	0.933m/s(max:1.68) 0.0~0.48m/s	1.449m/s 0.513m/s	1.149m/s(max:2.14) 0.0~0.50m/s
※本年度実施	摩擦係数 μ 0.58(コンクリート礁)	$\mu=0.6$ (コンクリート礁)	0.58(コンクリート礁)	0.6(コンクリート礁)

表5 計算方法及び計算条件一覧

計算法	算定式	流体力係数	波・流れ共存場	移動時最大波浪		波動流速 U_m (m/s)	流れ U_c (m/s)
				波高	周期		
従来法	モリソン式	C_{Ds} (定常流中の抗力係数), $C_M=2.0$	非砕波: $F = F_D \cdot \left(\sin\theta + \frac{U_m}{U_c} \right)^2 - F_M \cos\theta$ 砕波: $F = \frac{1}{2} \rho C_{DS} A (U_m^2 + U_c^2)$	$H_{1/3}$	$T_{1/3}$	微小振幅 波理論より 流速算定	海面流速 から1/7乗 則で推定
修正法 α				H_{max}			
提案法	代替式	C_{Fmax} (波による非定常な振動流中の流体力係数), K_{Cl} (フィッティング範囲 1/4周期相当)	—:要検討	H_{max}	$T_{1/3}$	微小振幅 波理論より 流速算定	海面流速 から1/7乗 則で推定
	モリソン式	C_D, C_M (波による非定常な振動流中の流体力係数), K_{Cl} (フィッティング範囲 1/4周期相当)	—:要検討				

③実事例における流体力算定法の検証

表5の計算条件より求めた実事例の設置施設の滑動抵抗力（静止摩擦係数×設計外力）の算定外力（提案式使用）に対する安全率（滑動抵抗力/算定外力）の一覧を表6にし示す。

移動事例（非対称性の強い $h/L=0.11\sim 0.16$ の範囲）に対して、従来法と提案法（CFmax、フィッティング範囲 1/4 での C_D, C_M ）の再現性を検証したところ、従来法はすべてのケースにおいて移動を再現できなかった（流体力を過小評価）のに対して、提案式はほぼすべての移動事例に対して移動を再現した。移動なしの事例においては、安全率が 0.89 と、過大評価することがわかった。

表6 設計時の滑動抵抗力/提案法による算定外力の一覧表

事例		従来法		提案法		
		モリソン式 (定常流中の $C_D, C_M=2.0$)		代替法 (C_{Fmax})	モリソン式 (波動流中の C_D, C_M)	
		波	+ 流れ	波	波	
移動あり	事例1(A礁)	2.20	なし	1.00	1.16	
	事例2(B礁)	3.29	2.86	0.66	0.90	
	事例6(D礁)	4.21	2.22	0.54	0.63	
	事例4(D礁)	5.20	2.63	0.66	0.77	
移動なし	事例3(D礁)	6.86	3.37	0.89	1.02	

※数値は、設置魚礁の各算定式により求めた安全率(1.0未満が移動)。

※()は、フィッティング範囲を検討する前回の値。

※波・流れ共存場においては、代替法は提案式(参考3)を用いた。モリソン式は、従来法により算定。

(3) 波・流れ共存場への提案式の実験的検証の試行

①波・流れ共存場における既存施設の設計条件と実験条件の検討

既存の施設設計での波・流れ共存場における波動流速振幅 U_m と流れの速度 U_c の比の分布を図16に示す。

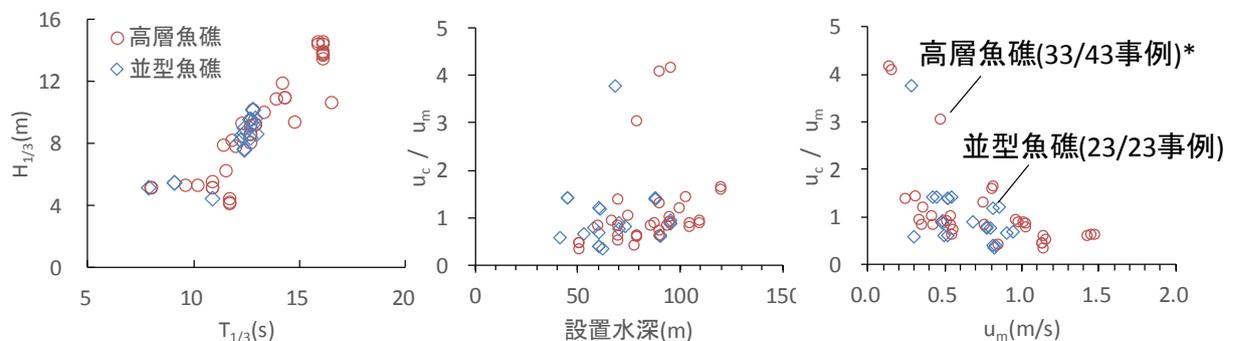


図16 既存施設の設計条件

以上より、周期は、並型魚礁では 7.9~13.0s (平均 12s)、高層魚礁では 8.0~16.5s (平均 13s) であり、波高は並型魚礁で 4.5~10.2m、高層魚礁 4.2~14.6m であった。

また、流れの速度/波動流速振幅の比 U_c/U_m は 0.3~4 の範囲で、最頻値は並型魚礁で 1.4、高層魚礁で 0.8 であった。既存施設の U_c 、 U_m は以下の通りであった。

$U_c=0.2\sim1.1\text{m/s}$ (並型)、 $0.3\sim1.5\text{m/s}$ (高層)

$U_m=0.3\sim0.9\text{m/s}$ (並型)、 $0.15\sim1.5\text{m/s}$ (高層)

②波・流れ共存場における流れの振動方向への流体力に与える影響

波と流れが直交する場合において、流れの大きさが振動方向の流体力も与える影響を調べるため、流れの大きさと振動方向の流体力の大きさの関係を以下に示した (図 17)。

流れがない場合が $U_c=0$ である。流れの有無で比較すると流れがない場合は流れがありよりも 15~20% 流体力が小さい。

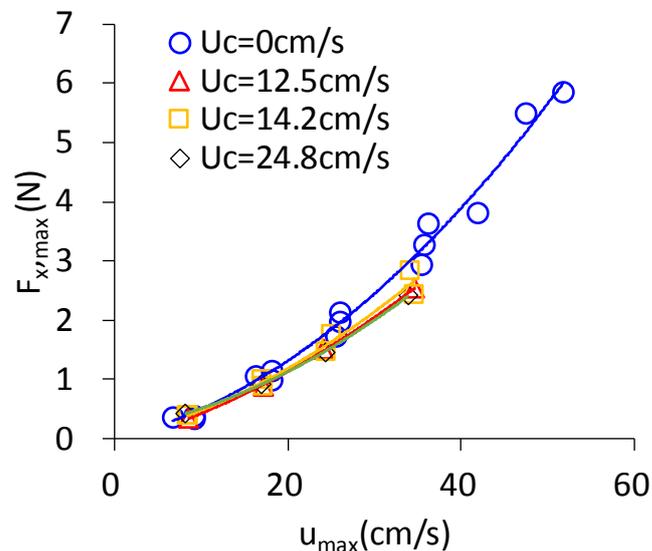


図 17 振動方向の最大流体力と直交する流れの速度の関係

次に、振動方向の流体力係数の図 18 に示した。

CD は $KC=80$ 以上では $U_c=0$ よりも $U_c=24.8$ の方が小さくなる。CM は、 $KC=50$ 程度で $U_c=24.8$ の値と $U_c=0$ の値は交差し、それ以上では $U_c=0$ は増大し $U_c=24.8$ との差は大きくなる。他の U_c も同様の傾向である。

CFmax は、 KC 数が 50 を超えると、 $U_c=24.8$ は、 $U_c=0$ より小さい傾向である

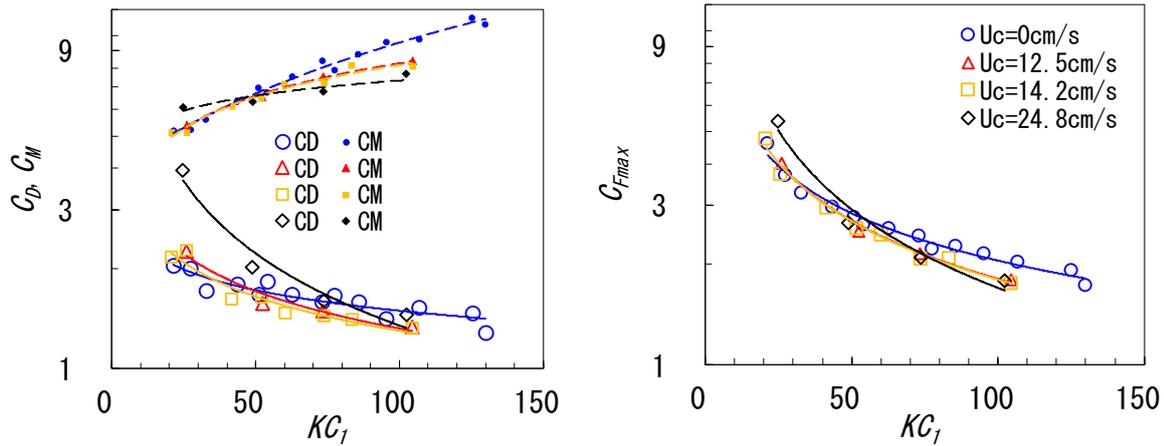


図 18 振動方向の流体力係数 (C_D , C_M , C_{Fmax}) と流れの速度の関係

(4) 波動流の非対称性を考慮した流速の算定方法の検討

水産工学研究所において検討された、「波の不規則性と非対称性を考慮した波動流速算定法」¹⁾を活用する。

1.2 砂地盤での安定性の検討

1) 昨年度の模型実験結果の精査と計測された鉛直力の検証実験及び揚力を再検討

① 安全性に与える鉛直力の影響と KC 数の関係

鉛直力の影響と KC 数との関係を調べるため、滑動抵抗力について、水平力最大時の鉛直力 F_z を考慮した場合 $\mu(w_G - F_z)$ と考慮しない場合 (μw_G) の比 S_{Fz} を調べた。

S_{Fz} は、鉛直力が作用した場合の安全率 $\mu w_G(w_G - F_z)/F_{x,max}$ と作用しない場合の安全率 $\mu w_G/F_{x,max}$ の比で

$$S_{Fz} = \frac{\mu(w_G - F_z)}{F_{x,max}} \bigg/ \frac{\mu w_G}{F_{x,max}} = (w_G - F_z)/w_G$$

と表される。つまり、鉛直力がある場合とない場合の鉛直方向の抵抗力の比 (水中重量 w_G - 鉛直力 F_z) / 水中重量 w_G になる。 S_{Fz} と KC 数の関係を図 19 に示す。

ほとんどのケースで $S_{Fz} \geq 0.8$ であり、KC 数の増大に伴い S_{Fz} が減少するのは B, D 礁である。B・D 礁は KC 数が 180 程度以上で 0.8 を切る。一方、実事例の範囲は $KC=30 \sim 180$ であるため、0.8 を切るケースは、既存施設の KC 数の範囲の最も大きい値以上であることが分かった。

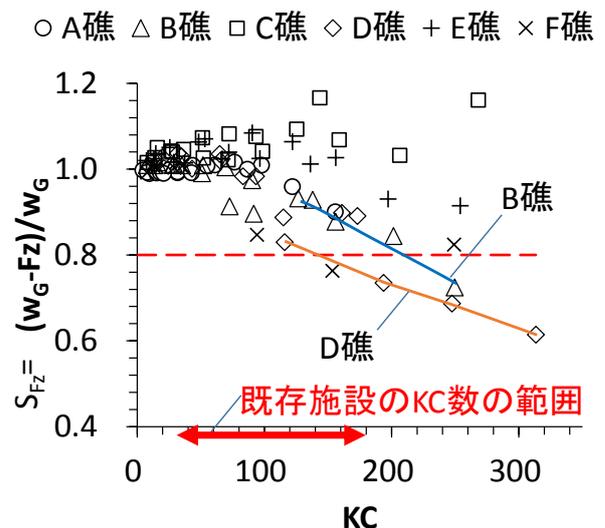


図 19 $S_{Fz} = (w_G - F_z)/w_G$ と KC 数の関係

③鉛直力発生の機構と構造的特徴について

鉛直方向の射影面積 A_z と各礁体の SF_z の最小値 $SF_{z,min}$ の逆数を図 20 に示す。また、鉛直力が大きくなる一つの要因として、海底面に接する水平面が大きいことが考えられる仕組みを図 21 に示した。

図 20 に示すように、 SF_z の低下が著しい B、D、F 礁体は、 A_z が大きく、 A_z が鉛直力の増大に参与しているものと考えられる。

図 21 に示すように、KC 数の増大に伴う鉛直力の増大は、KC 数が大きくなることで鉛直壁により発生する後流渦が発達し、魚礁底部材の上面が負圧になり、鉛直力が増大するためと考えている。また、底面から離れた水平部材は、部材の上・下に流速差がほぼ生じず、揚力が発生しないため鉛直力に与える影響は少ない（傾斜がある場合は鉛直力の考慮が必要）。さらに、斜めの部材が多いことも鉛直力が大きくなる要因の一つと考えられる。

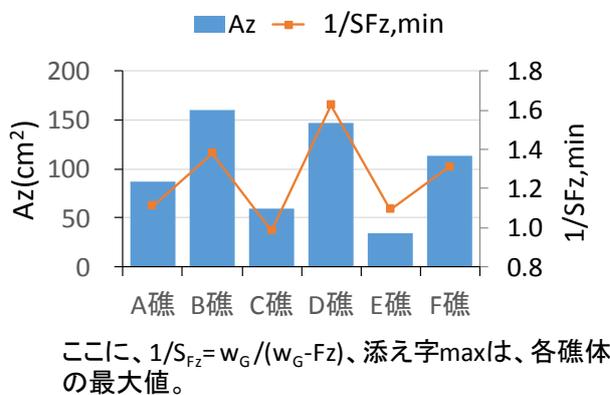


図 20 鉛直方向の射影面積 A_z と $1/SF_{z,min}$

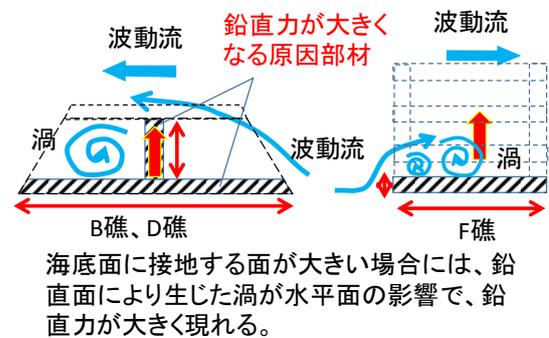


図 21 鉛直力が大きくなる要因の一つ

2) 沈下・埋没過程を踏まえた魚礁の安定性の評価手法の検討

①砂面上での魚礁の挙動

図 22 に砂面上での魚礁の挙動に位置例を示す。

滑動・揺動（魚礁 1 個分未満の移動）を繰り返すケースがある。しかし、一度の波では、転倒しない限り、有意な（魚礁 1 個分以上の）移動は起こらない

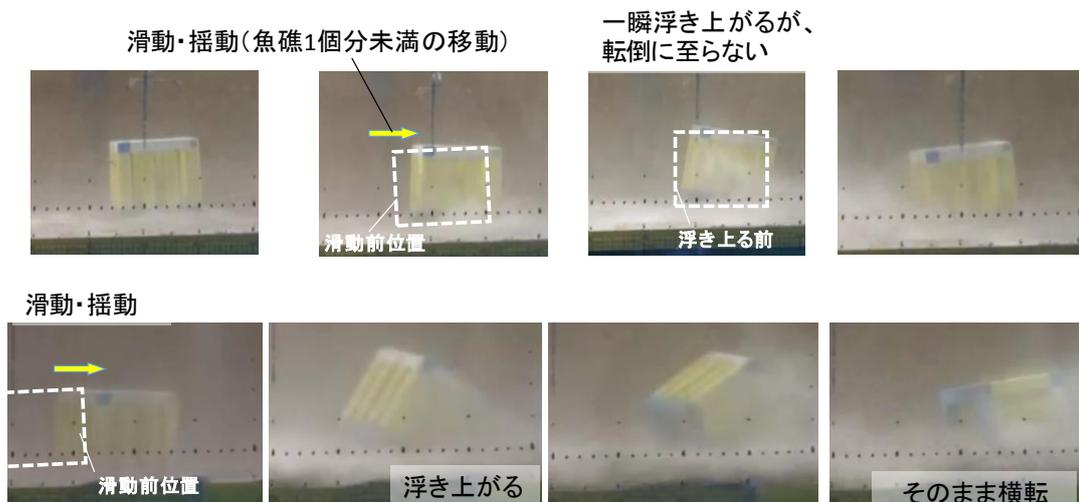


図 2.2 砂面上での挙動 (E 礁、密度 2.3g/cm、Hm=44.8cm、 $T_{1/3}=3.8$ s)

②砂面上で安定性

砂面上の安定性の実験において計測された流速波形から外力を推定し、水平方向の作用外力の最大値 $F_{x,max}$ /水中重量 w と流速の関係を図 2.3 に示した。

角型礁 (C 礁) の射影面積の 1.9 倍、水中重量を約 1.6 倍として、滑動・転倒安全率が C 礁より小さくなると予想される E 礁を用いて実験を行った結果、滑動による移動が生じる前に、転倒によって移動することが実験的に示された。

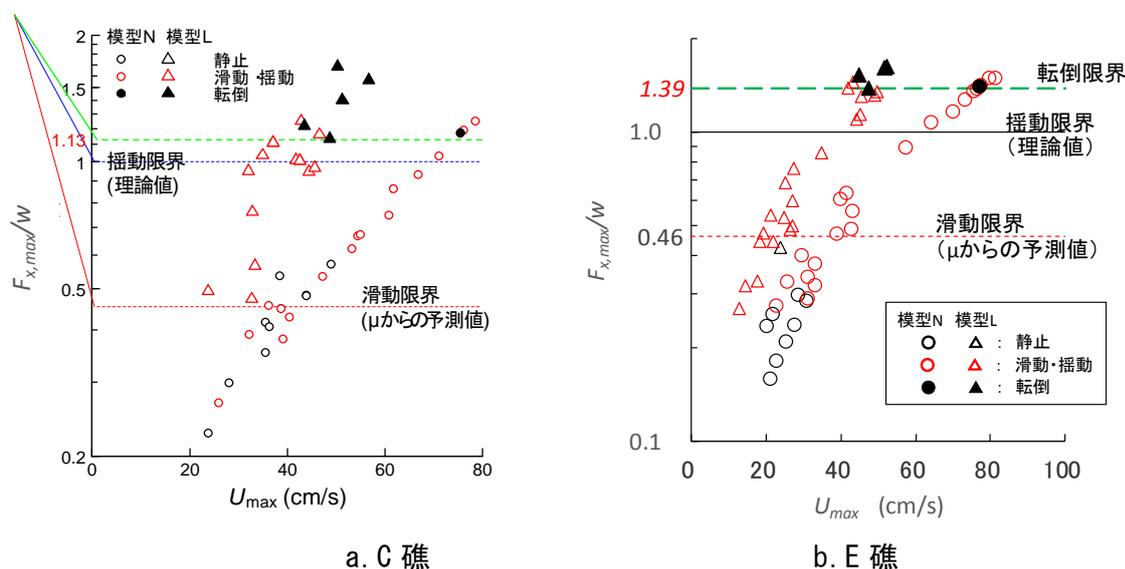
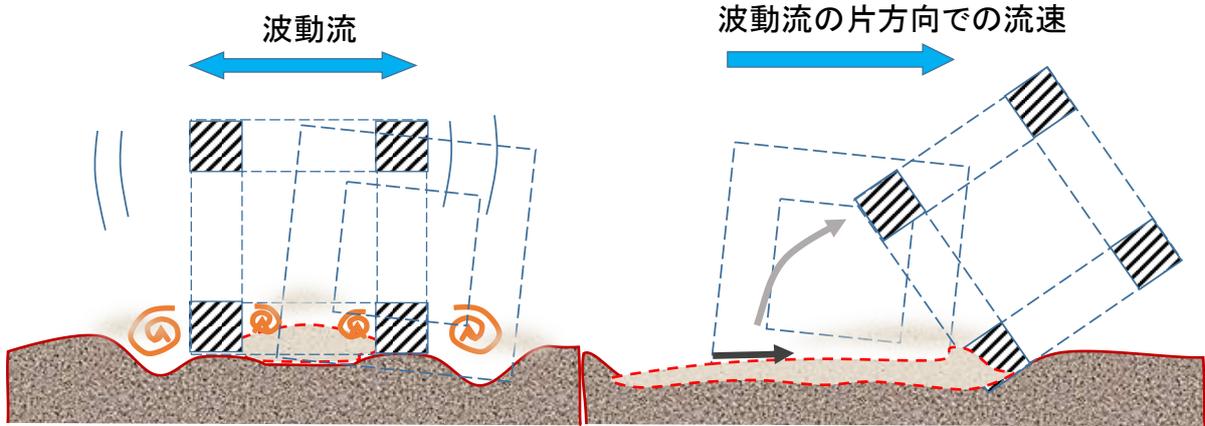


図 2.3 水平方向の作用流体力の最大値/水中重量と流速の関係

③砂面上で滑動が生じずに、転倒が生じる機構

底脚部材周辺は局所渦によるせん断力の増加によって他の場所よりも先に洗掘が生じる。それによって、底脚部材周辺が洗掘され、沈下、埋没していく。この過程で、滑動・揺動しながら埋没し、見かけ上の滑動抵抗力が増加するものと考えられる。

見かけ上の滑動抵抗の増加によって、転倒に至る。



- 滑動・揺動しながら、洗掘、沈下、埋没を繰り返し、埋没したり、洗掘孔に落ちたりして、見かけ上の滑動抵抗が増す。
- 洗掘孔や滑動時に砂を押し溜めることで、見かけ上の滑動抵抗の増加につながり、転倒の抵抗力を超える流体力が作用すると、滑動せずに転倒する。

図 2 4 砂面上が滑動抵抗の見かけ上の増大と転倒する機構

2. 着定基質（石材）の安定質量算定手法の検討：割石の安定質量推定式に関する現地検証

(1) 現地実験による提案式の検証

① 石材の安定質量算定式に関する提案法

提案する石材の安定質量算定に関する提案法を以下に示す。

赤枠が現地観測結果との検証を行った波の場の安定質量算定式である。

$$\text{石材の安定質量: } M_{50} = \alpha \rho_s D_{50}^3 \quad \dots\dots \text{式(1)}$$

ここに、 α ：設置方法の効果を表す係数（以下の値）、 ρ_s ：石材の密度、

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

D_{50} ：式(2)または(3)により求められる単体設置石材の移動限界における立方体相当径

$$\begin{aligned} \bullet \text{ 波の場} & \quad \left(a - \ln \frac{U_{\max} T_{zp}}{D_{50}} \right) \frac{U_a^2}{\mu(\rho_s/\rho - 1)g D_{50}} = \phi_{cr} \quad \dots\dots \text{式(2)} \\ (U_{\min} < 0): & \\ & \quad U_a = (U_{\max} - U_{\min})/2 \end{aligned}$$

$$\bullet \text{ 流れの場} \quad D_{50} = \frac{K_m U_c^2}{\mu(\rho_s/\rho - 1)g} \quad \dots\dots \text{式(3)}$$

$(U_{\min} > 0):$

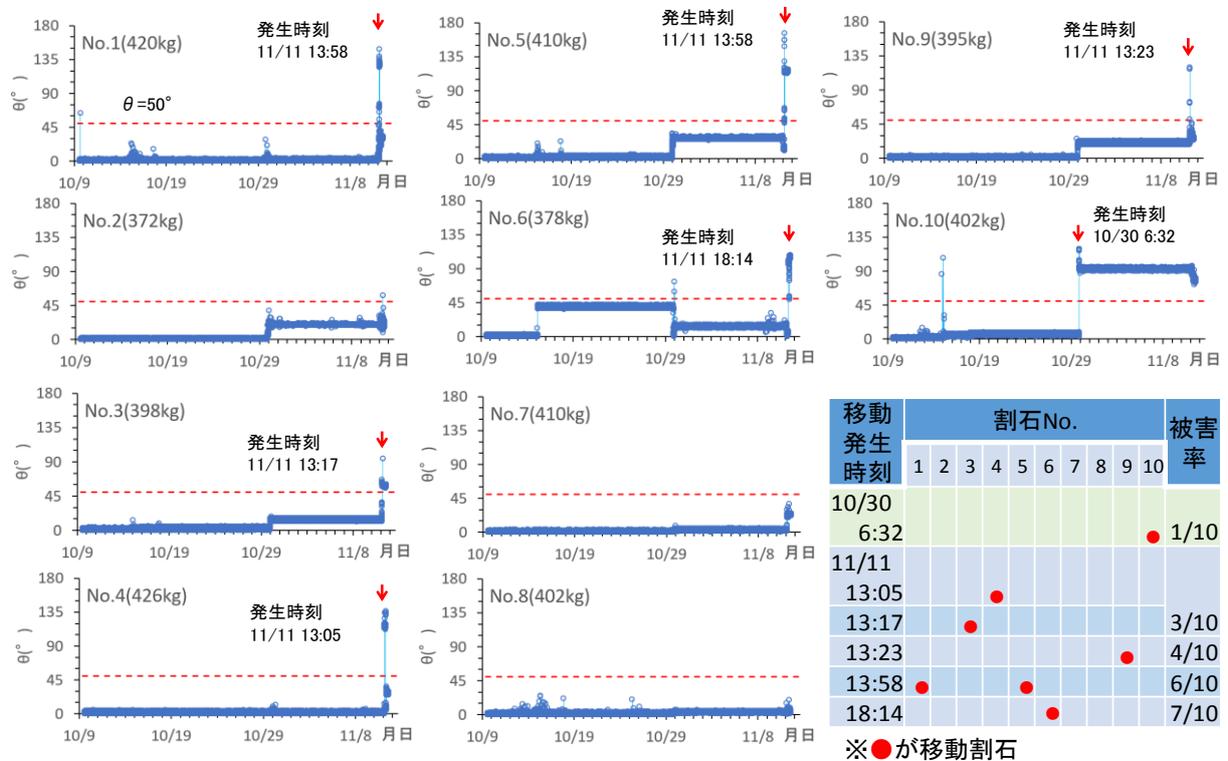
ここに、 ρ ：水の密度、 $a = 7.28$ 、 μ ：静止摩擦係数、 U_{\max} 、 U_{\min} 、 T_{zp} ：底面軌道流速の最大値、最小値及び流速ゼロから最大流速までの時間、 ϕ_{cr} ：10%被害率における移動限界係数(= 2.8)、 g ：重力加速度、 $K_m = 2.3$ 、 U_c ：流速分布を考慮した底面から石材の天端までの二乗平均流速で、べき乗則を仮定して次式で算定してもよい。

$$u(z) = U_0 \left(\frac{z}{z_0} \right)^n \quad U_c = \sqrt{\frac{1}{b} \int_0^b u^2(z) dz} = \frac{1}{\sqrt{2n+1}} \left(\frac{b}{z_0} \right)^n U_0 \quad \dots\dots \text{式(4)}$$

ここに、 z ：底面からの高さ、 b ：石材の底面から頂部の高さ、 U_0 ： $z = z_0$ における流速、 $n=1/7$

② 加速度の経時変化

連続して 50° 以上傾いたときを被害が生じたとして、赤矢印を付けた。右下の図は割石毎の移動の発生時刻を示した。

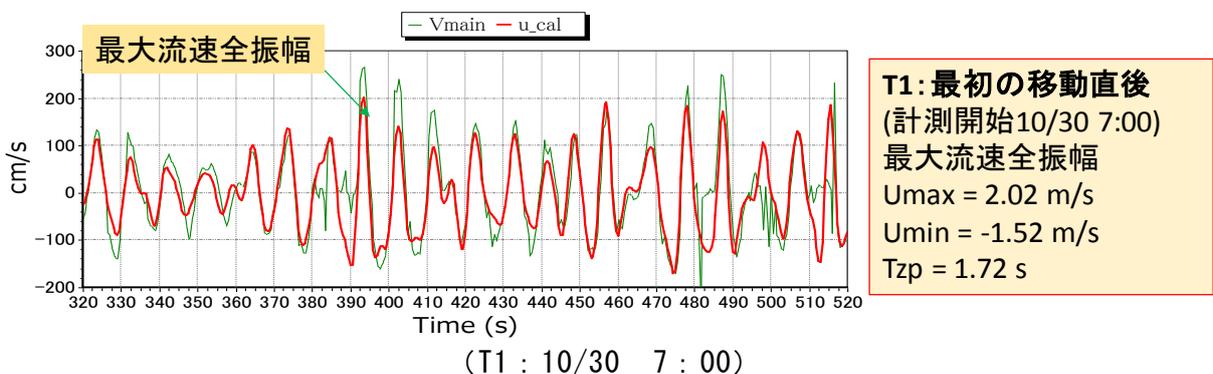


※表示期間以降は、移動と考えられる加速度の変化は見られなかった。

図 2 5 初期重力ベクトルからの変動角度の経時変化と被害率

③ 被害発生時の流速の経時変化

被害率の算定に必要な最大流速振幅 U_{max} 、最小流速振幅 U_{min} 、ゼロアップクロスから U_{max} までの時間 T_{zp} の算出に用いた流速波形。使用したデータは毎正時のみのデータであるため被害発生時にもっと近い時刻のデータを使用した。流速波形を図 2 6 に示す。



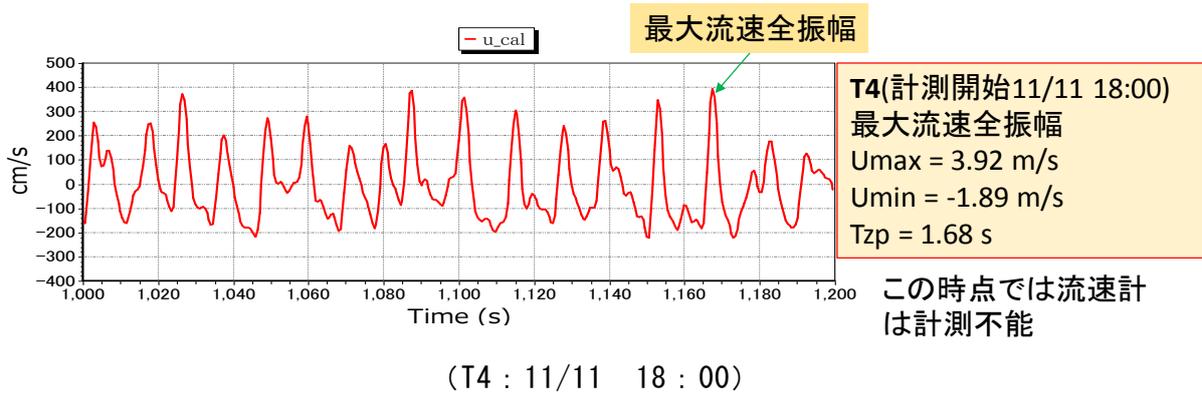
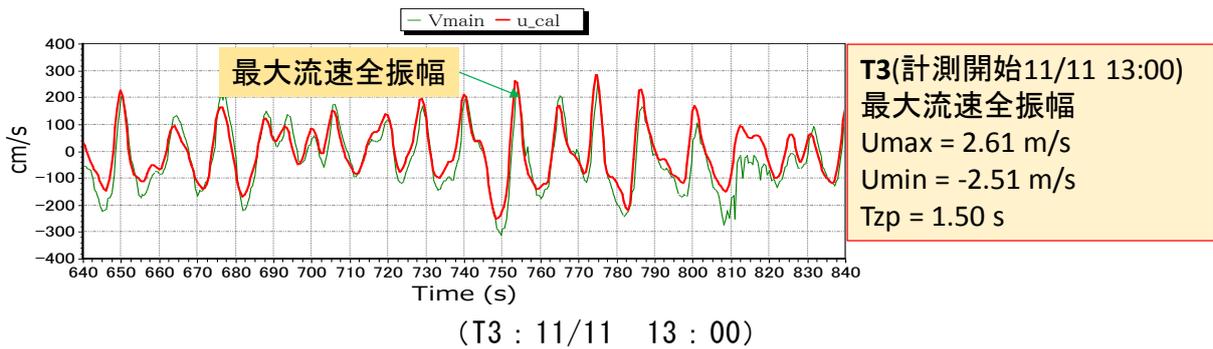
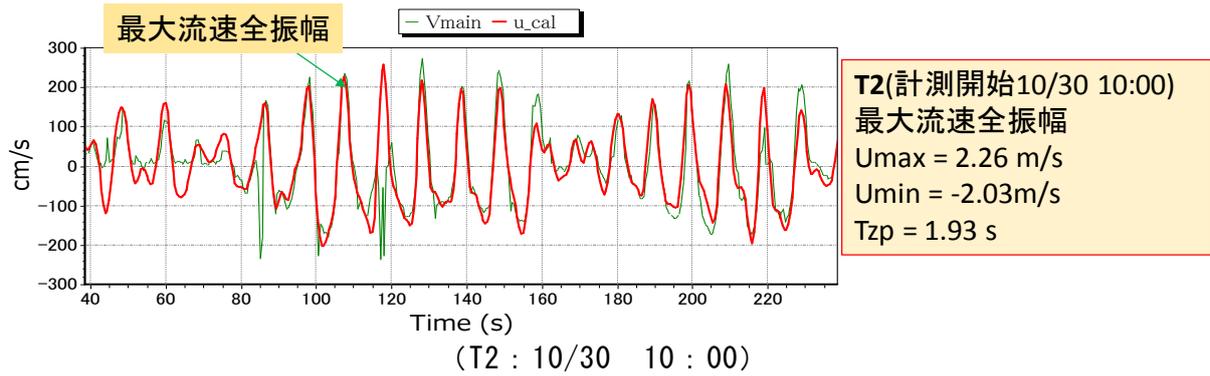


図 2 6 流速の経時変化

④被害率の観測結果

被害時の波高の経時変化と被害発生の際時変化を図 2 7 に示した。
 おおむね最大波高が 5m を超えると被害が発生した。

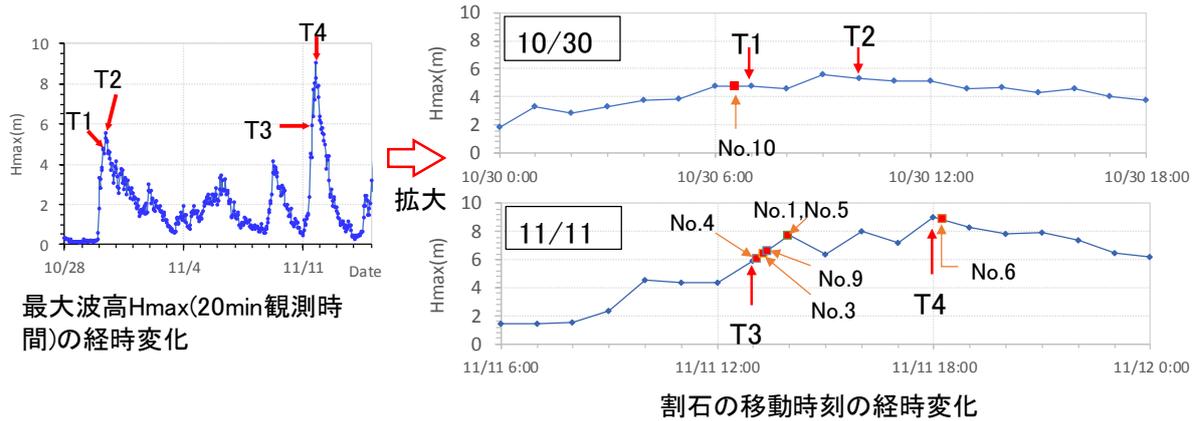


図 2 7 被害時の波高の経時変化と被害発生時の経時変化

④被害率の算定値と観測結果の比較

被害率は次の提案算定式より算定した。

無次元量 ϕ に被害発生時の流速を当てはめ ϕ を算定し、得られた ϕ を図 2 8 に示す被害率のグラフの近似式である次式より算定する。

$$\phi = \left(a - \ln \frac{U_{\max} T_{zp}}{D_{50}} \right) \frac{U_a^2}{\mu(\rho_s/\rho - 1)gD_{50}}$$

$$D_{50} = (M_{50}/\rho_s)^{1/3}$$

被害率 : $r_d = \exp\{-\exp[-b(\phi - c)]\}$

$a = 7.28, b = 0.608, c = 4.17$

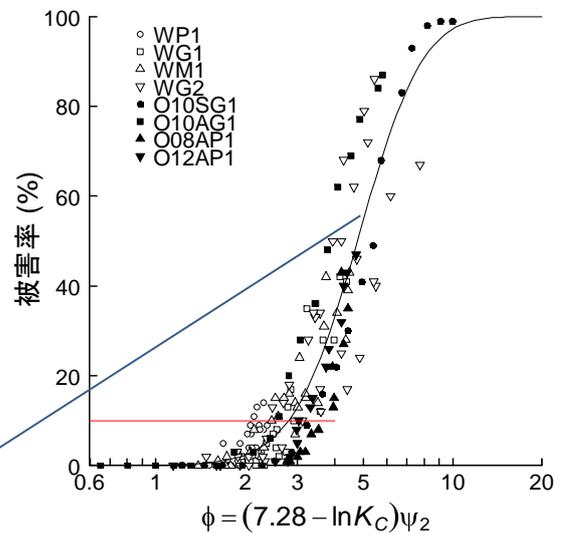


図 2 8 被害率

算定に当たり、石材の質量の中央値 $M_{50}=0.402t$ 、密度 $\rho_s=2.65g/cm^3$ とし、現地での海底面の静止摩擦係数は海底面の礫のスケールによって変わるため 0.8~0.9 の幅を持たせた。

被害率の計算結果と現地観測結果との比較表を表 7 に示す。

T1 では被害率の観測値 10% に対して計算値は 0.06~0.08、T2、T3 と徐々に増え、に T4 では観測値 70% に対して計算値は 0.65~0.75 とほぼ一致する。

実験でえられた波の場での安定質量算法は、砕波領域で単体設置した場合、現地での被害率を精度良く再現することが分かった。

表7 被害率の計算値と現地観測値の比較

	T1	T2	T3	T4	
U_{\max} (m/s)	2.02	2.26	2.61	3.92	
U_{\min} (m/s)	-1.52	-2.03	-2.51	-1.89	
T_{zp} (s)	1.72	2.04	1.50	1.68	
ϕ	2.62~2.33	3.65~3.24	5.30~4.77	6.23~5.53	
r_d	計算値	0.08~0.05	0.25~0.17	0.62~0.50	0.75~0.65
	観測値	1/10	1/10	3/10	7/10

(2) 波動流の非対称性を考慮した流速の算定方法の検討

水産工学研究所において検討された、「波の不規則性と非対称性を考慮した波動流速算定法」^{D)}を活用する。

VII. 摘要

1. 沈設魚礁の安全性の照査法の検討

1.1 流体力算定法の検討

(1) 不規則波に対するモリソン式の流体力係数の決定方法の検討及び提案式との実用性等の比較・検証

- ・波の非対称性（非線形性）の強い領域（ $h/L < 0.2$ 程度）において、モリソン式の流体力係数を求める際の流体力の計算値と観測値のフィッティング範囲（1周期相当、1/2周期相当、1/4周期相当）を短くすると、精度よく実験値が再現できることが分かった。このことからフィッティング範囲を適切に設定（1/4周期相当：流速波形のゼロから最大までの範囲）することによって、規則波で求めた流体力係数を不規則波の最大流体力の流体力係数に適用できることが明らかとなった。
- ・KC数については、モリソン式においては、KC1とKC3で差が見られず、代替式ではKC1の方が実験値の再現性が高かったが、モリソン式、代替法とも計算値と実験値の差は1割程度以下であり、ほぼ実験値を再現することが分かった。
- ・今後の検討の方向性：
実験範囲は非対称性の強い領域であるため、非対称性の少ない領域において使用する場合は、その適用性が不明であり、非対称性の少ない領域で提案式の妥当性の検証が必要である。

(2) 被災事例における提案式の妥当性検証

- ・実験値との再現性が確認された算定式（フィッティング範囲 1/4周期相当、KC数にKC1）によって現地実事例の再現性を検証したところ、被災事例についてはほぼ再現することが確認できた。
- ・一方で、被災しない事例においては安全率が0.89となり過大評価されることがわかった。

(3) 波・流れ共存場への適用式の実験的検証の試行

- ・波・流れ共存場において、振動方向に直交する流れが存在する場合は、振動方向の流体力は15~20%減少することが確認された。
- ・この減少は、流れのない波の場では波動流の振動方向に後流渦が発生して流体力が

作用するが、流れがあると後流渦が流れの方向に流れるため振動方向の流体力が低減すると考えられることから、波・流れが交差する場合においては、振動方向の流体力が減少することが示唆された。

- ・今後の検討の方向性：
交差角度を小さくして、どの程度の角度まで流体力の減少が見込めるか確認し、波・流れ共存場における波と流れの速度または力の合成方法について交差角の実験をもとに検討する必要がある。

(4) 波動流の非対称性を考慮した流速の算定方法の検討

水産工学研究所において検討された、「波の不規則性と非対称性を考慮した波動流速算定法」¹⁾を活用する。

1.2 砂地盤での安定性の検討

(1) 昨年度の模型実験結果の精査と計測された鉛直力の検証実験及び揚力の再検討

- ・鉛直力は、形状によって発現特性が異なることがわかった。
- ・魚礁に作用する鉛直力は、海底面に接地する水平面が大きい場合に大きくなる傾向があり、同時に鉛直面を有する構造の場合は KC 数の増加に伴い漸増することがわかった。
- ・特に、B, D 礁は水理模型実験において、KC 数が 180 を超えるあたりから、比較的大きな鉛直力が作用していることが分かっている。ただし、沈設魚礁の設置事例を見ると、設置海域の KC 数は 30~180 の範囲となっている。
- ・今後の検討の方向性：
設置事例を分析し、実設計での取り扱いについて検討する。

(2) 沈下・埋没過程を踏まえた魚礁の安定性の評価手法の検討（追加実験による検討）

- ・1G 場における実験において、角型礁（C 礁）に比べ射影面積を 1.9 倍、水中重量を約 1.6 倍として滑動・転倒安全率を C 礁より小さくした E 礁において実験を行ったが、滑動は生じずに、転倒で被災が生じることを確認した。
- ・実験映像からも魚礁が移動する前に洗堀が生じ、沈下、埋没、滑動・揺動、転倒という過程を確認し、相似則による粘性力の影響はあるものの現象が再現されないほど顕著になっていないものと考えられることから、砂質底面上では、定性的には見かけの滑動抵抗が増大して転倒で被災するという特性があるものと考えている。
- ・今後の検討の方向性：
洗堀や砂連の発達など砂の挙動に対する相似則の課題（粘性のによって可動し過ぎる）などから、相似則の影響の少ない条件下での砂面上での安全性の評価方法の検証が必要である。

2. 着定基質（石材）の安定質量算定手法の検討：割石の安定質量推定式に関する現地検証

(1) 現地実験による提案式の検証

- ・提案法については、模型実験や現地実験での検証を通して、非対称性の強い波の場における石材単体の安定質量算定式として用いることの妥当性について確認された。
- ・今後の検討の方向性：
波・流れ共存場における波の場の式と流れの場の式の使い分けと、波と流れの速度の合成方法について検証が必要である。

(2) 波動流の非対称性を考慮した流速の算定方法の確立

水産工学研究所において検討された、「波の不規則性と非対称性を考慮した波動流速算定法」¹⁾を活用する。

IX. 引用文献

- 1) 国立研究開発法人 水産研究・教育機構 水産工学研究所：「水産基盤施設の設計の高度化および漁港漁村の特性を考慮した防災・減災技術の開発」のうち「波の不規則性と非対称性を考慮した波動流速算定法の提案」, H29 年度

IV. 既存漁場施設の機能発揮状況調査

I. 課題名

既存漁場施設の機能発揮状況調査

II. 実施機関及び担当者名

一般社団法人水産土木建設技術センター 調査研究部 部長 安藤 亘
調査研究部 専門技術員 綿貫 啓

III. 実施年度

平成 29 年度

IV. 緒言

漁場を取り巻く情勢は変化しており、近年、海水温上昇等に伴う異常低気圧・台風の頻発など整備時に想定していない変化が生じており、施設の中には適切な維持管理を講じているにもかかわらず、十分に機能が発揮できない状況が見受けられる。

今後は、地球温暖化等に伴い海域環境は変化することが予測されている中、機能低下が確認または、危惧される既存漁場においては、施設が適切な機能を発揮できるため、漁場施設の機能回復・保全対策の基本的な考え方、機能診断方法及び機能回復方法について検討するものとする。また、検討した成果については、技術参考資料を念頭においた文案を検討するものとする。

V. 方法

本調査は以下の方法で実施した。

(1) 既存資料調査

過年度に実施された気候変動による漁場施設へのインパクトに関する検討結果を再整理し、気候変動による漁場施設の機能低下と対策（保全策、適応策）をまとめた。その中から、増殖場（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の対象施設である消波施設および中間育成施設以外の施設）および漁場保全により整備された施設への気候変動等による機能低下の事例を整理した。

(2) ヒアリング調査

磯根の増殖施設、増殖機能を有する人工魚礁のうち、過去に機能が見られたが、近年、その機能が低下したとされる増殖施設（神奈川県横須賀市久留和漁港沖の築磯）を対象に漁業者にヒアリング調査を実施し、現状とその原因について整理した。

(3) 漁場機能の保全・回復対策の手引き（案）の作成

上記(1)、(2)の検討結果を踏まえ、機能の劣化した漁場施設を対象に、ライフサイクルコストに配慮し、ハード対策・ソフト対策を含めた「漁場機能の保全・回復の考え方と手順（暫定版）」を作成した。

(4) 実施例集の作成

機能回復はこれまでに事業化されていないため、事例がないが、上記の手引き（暫定版）に沿って漁場施設の保全・回復した場合を想定して事例を整理した。

VI. 結果

(1) 既存資料調査結果

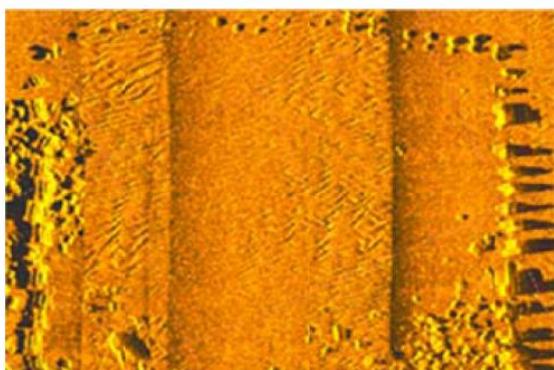
気候変動による海域環境の変化には、①海水温上昇、②海面水位上昇、③海洋の酸性化、④クロロフィルの低下、⑤台風・低気圧災害の激甚化等が挙げられるが、気候変動は漁場施設にも影響を与え始めている。気候変動が及ぼす水産生物への影響は、気候変動に対応した漁場整備方策に関するガイドライン¹に整理されている。このガイドラインには対策（保全策・適応策）の検討が示されており、気候変動が漁場施設に与える影響を整理している。

一方、気候変動等の自然条件や沿岸開発等の社会条件の変化によって、漁場施設の環境が変化している。単純な経年劣化のみならず、異常な環境変化により、極端に漁場施設の機能が低下することもある。漁場施設の機能劣化としては以下のような要因が示されている²

- ① 物理・化学的要因；水質悪化（高水温、貧酸素水塊の発生等）、底質悪化、波・流れ（砂の堆積、洗掘、埋没、破損等）
- ② 生物的要因（付着生物、競合海藻、食害等）、
- ③ 漁業活動（漁具の絡まり等）
- ④ 複合的要因（磯焼け等）

機能回復対策としては、浚渫、海底耕耘、着定基質の投入があり、ソフト対策として、藻場・干潟における維持・保全対策が実施されている。この業務では自治体へのアンケートを実施し、対策としては水深が制限要因になっており、水深 30m までは対策が可能だが、それ以深は対策がほとんど行われてないと報告している。

これらの既往の成果を組み合わせ、表 1 に気候変動による増殖施設への影響に対する対応策をまとめた。対応策の多くはハード対策のみでなく、ソフト対策も重要であり、それらの連携が重要となる。対策の多くは、嵩上げや基質の追加等が多くなっている。



増殖場の埋没



人工魚礁の埋没

図 1 機能低下の例²

表 1 気候変動による増殖場・魚礁の機能劣化と機能回復対策案

¹ 水産庁漁港漁場整備部(2017)；気候変動に対応した漁場整備方策に関するガイドライン

² 水産庁漁港漁場整備部(2015)；漁場整備による海域の生産力向上状況調査報告書

施設	対象	気候変動	発現する現象	漁場施設の変化	ハード対策	ソフト対策	
増殖場	藻場 岩磯域	水温上昇・塩分低下	食害生物(ウニ類)の増加・活性化	漁場施設のウニ密度が高く、磯焼けの継続	・流速増大(嵩上げ等)によるウニの活動低減	・ウニ除去 ・痩せウニの肥育による商品化(ウニの密度管理)	
			食害生物(魚類)の増加・活性化	漁場施設への魚類の摂餌圧が強く、磯焼けが継続	・流速増大(嵩上げ等)による魚類類集低減の検討事例はあるが、実施例ない	・植食性魚類の除去 ・植食性魚類の有効利用	
			構成種の変化(高水温による衰退、藻場の遷移)	・四季藻場から春藻場への変化、さらには南方系種へ	・適地の再選定	・種の交替を肯定し、生育可能な種の播種	
			分布域の北上	・漁場施設の優占種の変化	・地形性湧昇を励起するマウンド礁案があるが、実施例がない		
			磯根資源(アワビ・イセエビ等)の減少	・漁獲量低下	・適地の再選定 ・漁港施設の有効利用		
			産卵・保育場機能の低下	・蛸集魚類の減少		・阻害要因の除去緩和	
		気象災害の激甚化	海藻草類の流失	・植食動物の増加		・植食動物の除去緩和 ・播種、移植	
			磯根資源の成長阻害	・浮泥堆積 ・施設の沈下・埋没	・浮泥の堆積しにくい構造の採用 ・嵩上げ、基質の追加		
			海面水位の上昇	分布水深帯の変化	・優占種の交替	・嵩上げ	
			海洋の酸性化	石灰化海藻の減少 磯根資源(ウニ・アワビ等)の成長阻害	・漁獲量の低下	・他の藻場形成阻害要因を出来るだけ排除し、レジリエントな環境に保全する	
	干潟 砂浜域	水温上昇・塩分低下	食害生物(ナルトビエイ等)の増加・活性化	・漁獲量の低下		・食害生物の除去緩和 ・海底耕耘	
			貧酸素水塊の形成・遡上	・施設全域の生物の死滅	・貧酸素発生域の窪地の埋戻し ・曝気	・海底耕耘	
			浮遊幼生のネットワーク脆弱化	・漁獲量の低下	・浮遊幼生誘導のための作零 ・覆砂	・移植 ・海底耕耘	
		気象災害の激甚化	出水による低塩分化、浮泥堆積、底質細粒化	・泥分増大による主組成変化	・適地の再設定 ・覆砂	・海底耕耘	
			出水流路変化・河口閉塞 高波浪による分散・打上げ	・干潟の消失	・作零 ・人工干潟の造成	・移植放流	
		海面水位の上昇	構成種・分布域の変化		・人工干潟の造成、嵩上げ		
			食害の増加 水質浄化機能の停滞			・海底耕耘 ・食害生物の除去緩和	
		海洋の酸性化	貝殻の溶解・脆弱化 成長阻害	・漁獲量の低下	・他の形成阻害要因を出来るだけ排除し、レジリエントな環境に保全する		
		サンゴ 礁	水温上昇・塩分低下	白化・適水温帯の北上	・サンゴの死滅、漁獲量低下	・流動促進	
				食害生物(オニヒトデ類)の増加・活性化			・食害生物の除去緩和
			気象災害の激甚化	高波浪(瓦礫)による破壊	・瓦礫場が継続し漁獲量が低下	・底質の安定化や嵩上げ ・瓦礫の撤去	
出水による赤土流入				・農地からの出水防止	・地域(陸域)との連携		
海洋の酸性化	石灰化機能の低下	・漁獲量の低下	・他の形成阻害要因を出来るだけ排除し、レジリエントな環境に保全する				
沿岸・ 沖合域	水温上昇・塩分低下	成層強化・混合層深度低下による基礎生産の変化	・生物生産力の低下	・マウンド礁など鉛直混合促進 構造物の採用			
		円石藻等の成長阻害	・漁獲量の低下	・他の形成阻害要因を出来るだけ排除し、レジリエントな環境に保全する			
人工 魚礁	沿岸域	水温上昇・塩分低下	構成種の変化	・漁獲主要種の変化	・多様種に対応した魚礁の採用	・新規加入魚種の販路形成	
			回遊経路や回遊時期(漁期)の変化		・回遊経路の変化に応じた魚礁配置	・回遊経路の変化に応じた漁獲量や時期の規制	
			暖水種の北上、冷水種の減少、産卵水深の増加 貧酸素水塊の発達・波及	・施設全域の生物の死滅	・魚礁設置水深の変更 ・マウンド礁の誘致	・新規加入魚種の販路形成	
		気象災害の激甚化	海底擾乱	・魚礁の転倒、天端の沈下	・貧酸素発生域の窪地の埋戻し ・曝気		
			河川からの出水	・埋没 ・浮泥の堆積	・嵩上げ		

※漁業のインパクト: 網掛かりによるゴーストフィッシングでは、ハードとしては網掛かりをしない魚礁の採用、ソフトとしてはROVIによる漁網の除去

(2) ヒアリング調査

磯根の増殖施設について、過去には優良な藻場であったが、近年、海水温の上昇によって植食動物が増加したためか、磯焼けとなった漁場（神奈川県横須賀市久留和漁港沖の築磯）について大楠漁漁業協同組合の参事にヒアリングを実施した。

久留和の漁場では 2000 年頃に投石事業が実施され、アラメやカジメの藻場が形成され、優良な魚場となった。しかしながら、最近になって、大量なウニの増加と、水温上昇によるアイゴの活動が活発となり、磯焼けとなってしまった。

この事例のように、海水温の上昇とともに、植食動物の摂餌圧が上昇し、増殖施設の機能が劣化することがある。海水温の上昇は対策がとれないが、嵩上げ等による波動流速の増大で摂餌圧を低減することと、ウニ除去や魚類除去等のソフト対策で摂餌圧を低減することが考えられる。



2001 年 1 月



2015 年 6 月

図 2 増殖施設の機能低下の例

(3) 漁場機能の保全・回復対策の手引き（案）の作成と実施例の作成

漁場機能の保全・回復の考え方と手順（暫定版）を取りまとめた（pIV-6 参照）。

Ⅶ. 考察

漁場機能の機能低下の診断方法を提案したが、診断については課題が多いことがわかった。まず、健全な時期の対象施設の機能（漁獲量等）を明らかにすることが難しく、多くの場合、施設毎に漁獲量あるいは資源量を把握されていない。したがって、対象施設の漁獲量は周辺の漁獲量の変化から類推することとなるので、このような場合の推定方法を検討しておく必要がある。

また、漁場施設の機能診断で想定される施設は、浅海域の築磯（藻場礁、アワビ・ウニ礁など）と考えられる。これらの施設は漁業者がよく観察しており、機能低下が始まった時期もおおむね把握出来るであろう。浅海域の漁場は衛星画像でも把握できることが多く、近年は過去の衛星画像（図 3）も容易に入手できるので、それらの画像データと潜水調査から、機能低下の状況を類推することが可能である。さらに、最近では UAV による航空写真撮影も一般化しつつあるので、より詳細に機能低下を判断することが可能になると考えられる。

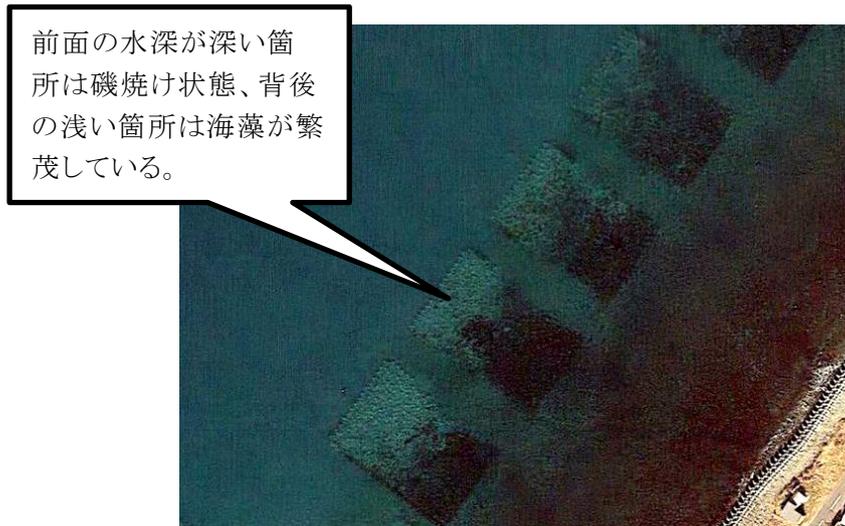


図3 機能低下が予想される増殖施設（築磯）の衛星画像（グーグルアース）

VIII. 摘要・課題

- 機能が発現していない人工魚礁等が、気候変動によるものなのかの判断が難しい場合がある。
- 漁場台帳上の不備（記録漏れ、座標の世界測地系への移行不良）などが見受けられ、該当する漁場整備の確認に労力と費用がかかる恐れがある。
- 水深が深い場所に設置された人工魚礁は補修が困難であり、そのような場合の保全・回復対策をどのように考えるべきか検討が必要である。

IX. 引用文献

- 1) 水産庁漁港漁場整備部(2015)；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
- 2) 水産庁漁港漁場整備部(2017)；気候変動に対応した漁場整備方策に関するガイドライン
- 3) 水産庁漁港漁場整備部(2015)；改訂版 磯焼け対策ガイドライン
- 4) 安城淳(2015)；山口県の藻場の現状と対策について，月刊海洋，535,536,pp.281-283.
- 5) 村瀬昇(2014)；藻場が消えた？～2013年、夏から秋にかけての山口県日本海沿岸の藻場の異変から，豊かな海 32，pp.67-70.
- 6) 水産庁漁港漁場整備部(2015)；漁場整備による海域の生産力向上状況調査報告書
- 7) 中央環境審議会 地球環境部会 気候変動影響評価等小委員会(2015)；日本における気候変動による影響に関する評価報告書，431pp.

漁場機能の保全・回復対策の手引き
(暫定版)

1. 基本的考え方

従来の漁港施設における機能保全対策は、漁港管理者が漁港台帳に記載し維持管理してきている施設を対象にしている。具体的には、施設の機能を効率的かつ効果的に保全していくため、劣化状態や老朽化状況等の機能診断を実施し、対策工法や実施時期等が異なる複数のシナリオを設定して、ライフサイクルコストを比較検討の上、最適なシナリオを選定した機能保全計画書に基づいて機能保全対策を実施していくものである。これにより、施設の長寿命化と効率的な維持管理を図ることを目的として、漁港施設の機能保全対策を推進してきている。

今回、新たに制度拡充する漁場機能の保全・回復対策は、漁場施設の設置者が漁場施設等財産台帳等に記載し、その利用状況や施設の状況を適切に管理してきている漁場施設のうち増殖場等を対象とする。具体的には、既存の施設が、今後、設計共用期間に渡って機能を発揮し、有効に利用されていくため、現在の利用状況を把握するとともに機能の低下が見られる施設については、ハード対策、ソフト対策を含めた総合的な漁場の保全・回復対策とその管理方法について検討し、計画的に漁場機能の保全・回復の対策を実施していくものである。

具体的な内容については、以下を参照のこと。

【対象施設】

対象施設は、漁場施設のうち、現在、機能低下が見られている以下の施設を対象とする。

- ① 増殖場（「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」（H27.5）の対象施設である消波施設等及び中間育成施設以外の施設）
- ② 漁場保全により整備された施設

【適用範囲】

適用範囲は、施設の老朽化に加え、以下①～③により機能低下した施設の機能を計画的に回復・保全するための措置に適用する。（再配置等の漁場再編対策は含まない）

- ① 物理的要因による機能低下
（例）波浪の増大等による構造物の破損等
- ② 生物学的要因による機能低下
（例）食害生物（ウニ類・魚類）の増加・活性化による藻場機能の低下
（例）海水温上昇の影響（藻場構成種の変化、藻場分布域の北上、海水面の上昇）による藻場機能の喪失や漁獲対象物の変化による増殖機能の低下
- ③ 主要対象魚種の変化による機能低下
（例）消費者ニーズ、操業形態の変化や海水温上昇に伴う漁場形成状況変化などにより、既存漁場に求められる役割が低下

【対策の手順】

漁場機能の保全・回復対策の基本的な手順は以下のフローを基本とする。

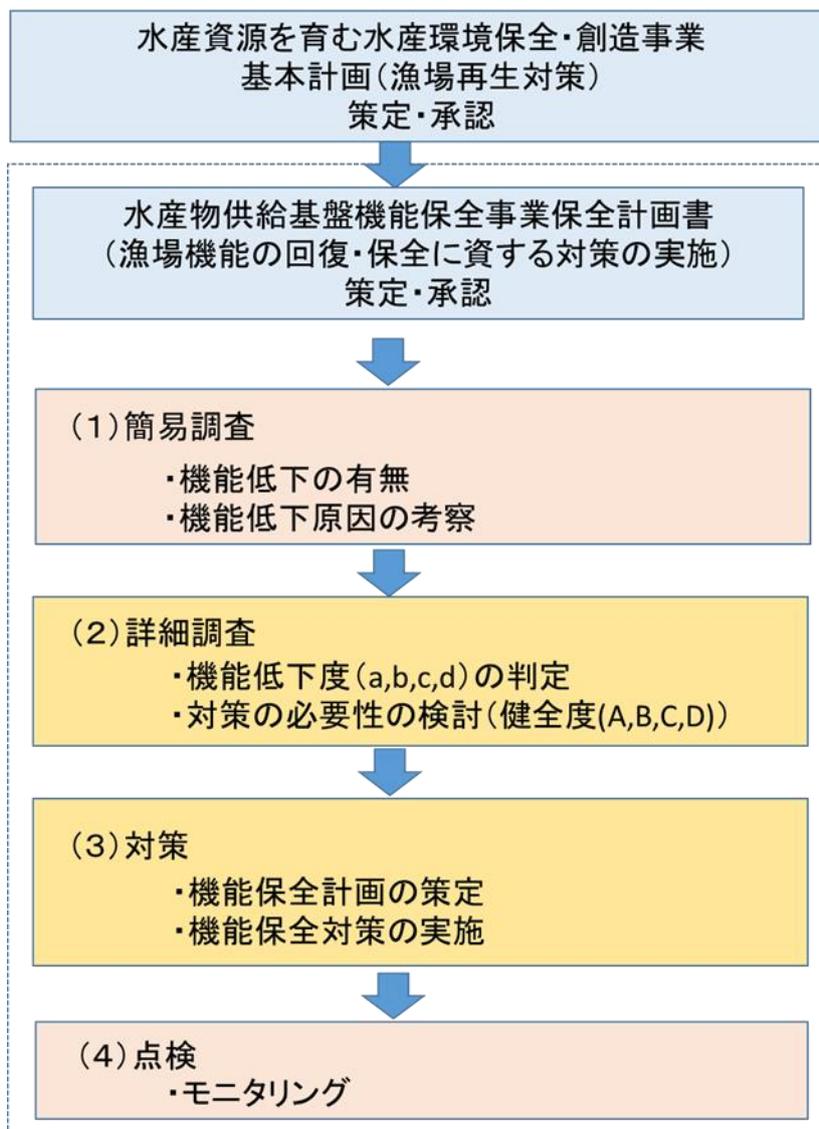


図1 漁場機能の保全・回復対策の概要（手順）

2. 各手順の考え方

(1) 簡易調査

機能の回復・保全を図るにあたって事前に、漁場機能の発揮状況の把握・評価のための調査を実施する。

【調査内容】

漁場機能の低下が懸念される施設を対象に、施設の劣化状況（構造物の変異、埋没等）など機能の発揮に係わる施設の状態や機能の発揮状況（藻場の繁茂状況、利用状況、水産物の生息状況等）などの調査を実施する。

なお、漁場施設は、施設を目視できる漁港施設とは違い、その多くは海面下にあることから、全施設に対して、施設の劣化や利用状況の確認を行うことは非効率である。そのため、漁獲データの変化や漁業者からの意見等により、機能低下の懸念が見られる施設に的を絞り簡易調査等を進める等、効率的に実施していく。

機能低下の有無について分析・評価し、機能低下が見られる場合においては、その機能低下の原因を考察し、詳細調査等の必要性について検討する。

【簡易調査の評価基準】

簡易調査においては、機能低下の「有」・「無」について評価する。なお、機能低下の調査項目チェックシート（例）を【参考1】に例示する。

機能低下が「有」の場合は、その機能低下の原因を考察し、詳細調査及び対策の必要性を検討する。

(2) 詳細調査

簡易調査で機能低下が認められ、詳細調査の必要があると判断された漁場施設については、機能低下原因の特定及び対策の必要性の検討を行うための詳細調査を実施する。

【詳細調査の手法】

機能低下原因の特定を図るため、観測機器等を活用し、機能低下の範囲や状況の実測を行う。具体的には、ドローンやマルチビーム等を用いた測量、潜水調査や魚類の蜻集調査等の実施が想定される。

【詳細調査の評価基準】

詳細調査の調査結果を分析し、機能低下原因の特定を図るとともに、漁場機能の保全・対策の必要性を検討する。

【機能低下度の区分】

機能低下度	機能低下の状態 (利用状況の変化に着目)	評価基準 (整備時の効果目標との比較)
a	機能が著しく低下している状態	当初の整備効果が全く発揮されていない
b	機能が低下している状態	当初の整備効果の発揮は極めて限定的である。
c	機能が低下しているが軽微である状態	目標値に至らないが整備効果は発揮されている。
d	機能低下が認められない状態	当初の整備効果は十分発揮されている。

【健全度の区分】

健全度	対策の必要性	評価基準 (対策実施の判断基準の例)
A	機能低下が著しく、直ちに対策を実施する必要	施設のほぼ全てが機能低下度 a 評価。
B	機能低下が見られ、予防的な対策が必要	施設の大部分が機能低下度 a 又は b 評価。
C	一部機能の低下が見られ経過観察の必要	A,B,D 以外で経過観察の必要があるもの。
D	当面对策の必要は無い	施設のほぼ全てが機能低下度 d 評価。

【参考：主な対象施設における機能低下度と健全度の目安】

対象施設		機能低下度の評価(a,b,c,d)の 実施単位	健全度の評価(A,B,C,D)の 実施単位
増殖場	着定基質	施設が大きい場合は延長 15m～20m ごとに適宜 区分	1 施設 (台帳記載) ごとを標準とする
漁場保全施設	着定基質	・ 施設が大きい場合は延長 15m～20m ごとに適宜区分	

(3) 機能保全対策

【機能保全計画の策定】

漁場再生対策の必要性の検討の結果、対策を実施する方針(健全度 A)となった場合は、当初整備時の環境状況と実施した対策、また、機能低下に至った現在までの環境変化の状況を十分に踏まえ、着実に漁場再生が図られるソフト対策、ハード対策を総合的に検討する。

なお、対策工法については、対策実施後の効果の把握方法や、定期的な施設の管理方法等について、設計供用期間におけるライフサイクルコストを考慮し、複数の対策シナリオを比較検討し、実効的かつ効率的な機能保全計画を策定する。

【機能保全対策の実施・モニタリング】

機能保全計画書に基づき回復・保全対策を着実に実施するとともに、対策の効果についてモニタリングを行い効果の把握に努める。なお、対策を実施するにあたっては、可能な限りモニタリングとあわせて実施し、効果の発現状況等を踏まえ、見直し等を含め実施に反映させる PDCA サイクルを平行的に評価しつつ実施していくものとする。

(4) 定期点検

機能保全計画書に基づく対策の実施後は、その対策効果の変化や、施設の状態の変化を把握するため、定期点検（漁獲データの推移の把握、漁業者への聞き取り）を適切に実施するものとする。

以上の、考え方と手順において、漁場機能の保全・回復対策を進め、漁場施設の効果を効率的かつ効果的に発揮させていくものとする。

【参考1】簡易調査のチェックシート（例）

水産基盤施設（増殖場）簡易調査 【様式】

調査結果記入シート		調査年月日：平成 年 月 日			
事業区分	実施年度	調査者所属	調査者氏名		
地区名	造成面積 (ha)		水深 (m)		
対象生物	主たる工法 <input type="checkbox"/> 石材、 <input type="checkbox"/> コンクリートブロック、 <input type="checkbox"/> 作れい		底質		
<p>【調査結果記入欄】</p> <p>各項目に対して、該当する欄をチェックする。(例 <input checked="" type="checkbox"/>)</p>					
対象施設	調査位置	該当	機能低下の種類	有無	機能低下の状況
養殖場 (石材)	施設全体	<input type="checkbox"/>	移動(散逸)	<input type="checkbox"/>	
			凸凹・出入り	<input type="checkbox"/>	
			沈下・埋没	<input type="checkbox"/>	
			食害	<input type="checkbox"/>	
			付着生物	<input type="checkbox"/>	
			浮泥・漂流物の堆積	<input type="checkbox"/>	
			光量不足	<input type="checkbox"/>	
養殖場 (コンクリート ブロック)	施設全体	<input type="checkbox"/>	移動	<input type="checkbox"/>	
			転倒	<input type="checkbox"/>	
			沈下・埋没	<input type="checkbox"/>	
			破壊・損傷・腐食	<input type="checkbox"/>	
			食害	<input type="checkbox"/>	
			付着生物	<input type="checkbox"/>	
			浮泥・漂流物の堆積	<input type="checkbox"/>	
保護育成場 (コンクリート ブロック)	施設全体	<input type="checkbox"/>	移動	<input type="checkbox"/>	
			転倒	<input type="checkbox"/>	
			沈下・埋没	<input type="checkbox"/>	
			破壊・損傷	<input type="checkbox"/>	
			食害	<input type="checkbox"/>	
			付着生物	<input type="checkbox"/>	
			浮泥・漂流物の堆積	<input type="checkbox"/>	
作れい	施設全体	<input type="checkbox"/>	土砂の堆積	<input type="checkbox"/>	
			浮泥・漂流物の堆積	<input type="checkbox"/>	
			沈下・埋没	<input type="checkbox"/>	
			流量・流速の低下	<input type="checkbox"/>	

【参考2】漁港施設等の機能保全計画と漁場機能の保全・回復対策の違い

	外郭施設等の従来の漁港施設 (防波堤、岸壁、道路等)	水域施設 (航路・泊地・サンドポケット)	漁場機能の保全・回復対策 (増殖場・漁場保全により整備 された施設)
対策施設	漁港台帳に記載されている漁港施設(附帯施設は一部を除き補助対象外)	漁港台帳に記載されている漁港(附帯施設であるサンドポケットも補助対象)	漁場施設等財産台帳(構造形式、断面形状、建設年次等)に記載されている施設
機能保全対策の検討にあたっての基本的考え方	施設の「老朽化」に着目し、機能保全対策を検討	施設の「利用」に着目し、機能保全対策を検討	施設の「利用」に着目し、利用の低下が認められる施設に対し、機能保全対策を検討
機能保全計画策定単位	漁港施設ごとに策定	航路・泊地・利用形態や自然条件等に基づいて分割したエリアごとに策定 サンドポケット:施設全体を1つとして策定	漁場施設ごとに策定
機能診断単位	1つの漁港施設を施工区分などに基づき分割(スパン割)して診断を実施	航路・泊地:等深線作成によるエリアごとの診断(等深線作成をしない場合はエリア内をメッシュ分割して診断)	漁場施設ごとに利用状況の診断を実施
対策工法の検討(コスト比較)	保全工事費の組合せを比較	新規施設整備費用や土砂処分費用を含めた浚渫費用などの比較	ハード対策・ソフト対策、これからの組合せを比較(別途B/Cの確認)
機能保全計画のフォローアップ	主に対象施設を経過観察	堆積状況のモニタリング、自然環境の変化、土砂処分場の受入終了などの変化、PDCAによる計画見直し	利用状況について利用者への定期的なヒアリング、自然環境の変化などを経過観察

参 考 事 例

事例 1：物理的要因による機能低下

漂砂の影響で着定基質が埋没し、機能低下が見られる漁場施設の回復対策

対策概要	漁業者へのヒアリングや漁場施設の管理履歴から、過去には漁場として機能を発揮していた。しかし、【〇〇県 A 地区の着定基質】において、近年、その機能の低下が見られているので、施設簡易調査、詳細調査を実施し、機能保全計画を策定して対策を実施。
------	---

(1) 簡易調査

A 地区において、漁場機能の現状を適切に把握・評価するため、以下の簡易調査を実施。

① 対象施設の現状

【着定基質工】

整備年：平成 10 年、面積：0.96ha、事業費：150 百万円

構造：3 方向（北東西）をブロックで囲み、その中に自然石を敷設。（図 1 参照）。

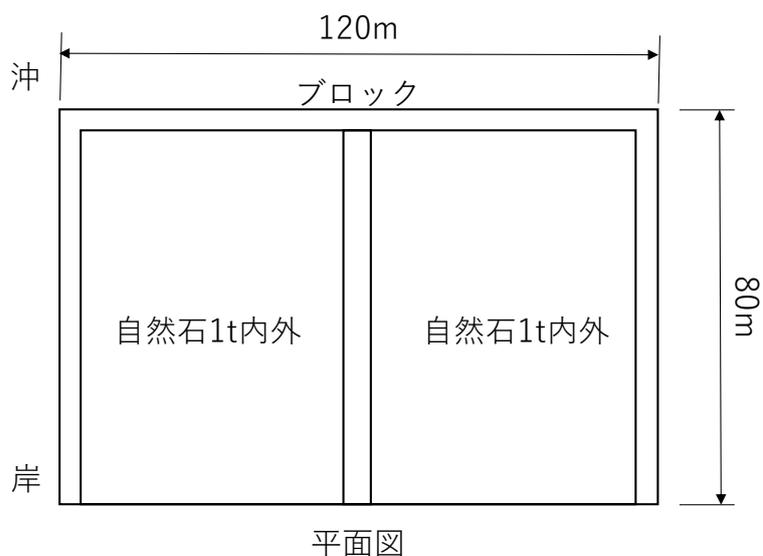


図 1 A 地区の囲い礁の概要図

【現状】

施工当初はカジメ等の大型海藻が繁茂し、アワビ・ウニ・イセエビの好漁場であったが、近年の台風通過等に伴い、施設が砂に埋没し、漁獲量が平成 20 年度の 504kg をピークにして、平成 28 年度では 40kg と大幅に減少した（図 2 参照）。

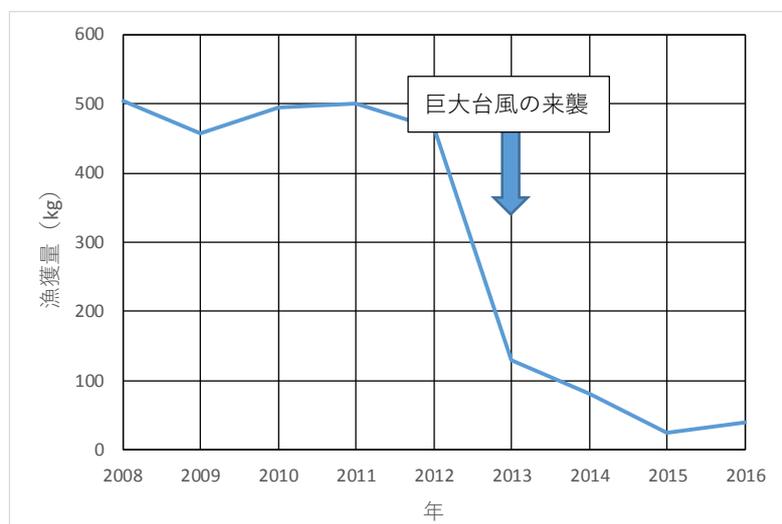


図 2 A 地区の囲い礁における年間漁獲量の変遷

② 簡易調査の実施

【ヒアリング調査】

平成〇年〇月〇日に当該施設を利用されている漁業者を対象にヒアリング調査を実施。その結果、平成 25 年 9 月の台風 18 号による漂砂の影響で、施設が埋没したことが判明した。その後も施設に堆積した砂質土は移動することなく堆積し、現在に至っている。このため、現在も漁場としての機能は低下した状態で、操業不適地となっている状況である。

【漁獲データの解析】

平成 20 年頃に比べ、現在の漁獲量は 1/10 以下に減少（図 2 参照）。

③ 簡易調査による評価

【現状評価】

かつての当該施設にはカジメ等の海藻が繁茂し、ウニ・アワビ・イセエビ等の増殖効果があったが、現状では施設に砂が堆積し、藻場が形成されていないため、著しく増殖効果の機能低下が起こっている。

【詳細調査必要性】

かつては優良な漁場であり、対策を施すことで回復の見込みがある。また、当地の再生要望は高い。したがって、詳細調査を実施し原因究明と対策工の検討を行う必要がある。

(2) 詳細調査

機能低下原因の特定、対策の必要性の検討を行うため詳細調査を実施。

① 調査手法と結果

【調査 1】

調査手法：施設全体の状況を把握するため、サイドスキャンソナーによる海底地形観察を実施。

調査時期：実施時期は台風シーズン前の 7 月に実施。

調査結果：沖側（北東側）の囲いブロックは 8 割以上が埋没。頂部がわずかに露出。西側は西側 2 割程度が埋没、東側は 6 割程度埋没（図 3 参照）。

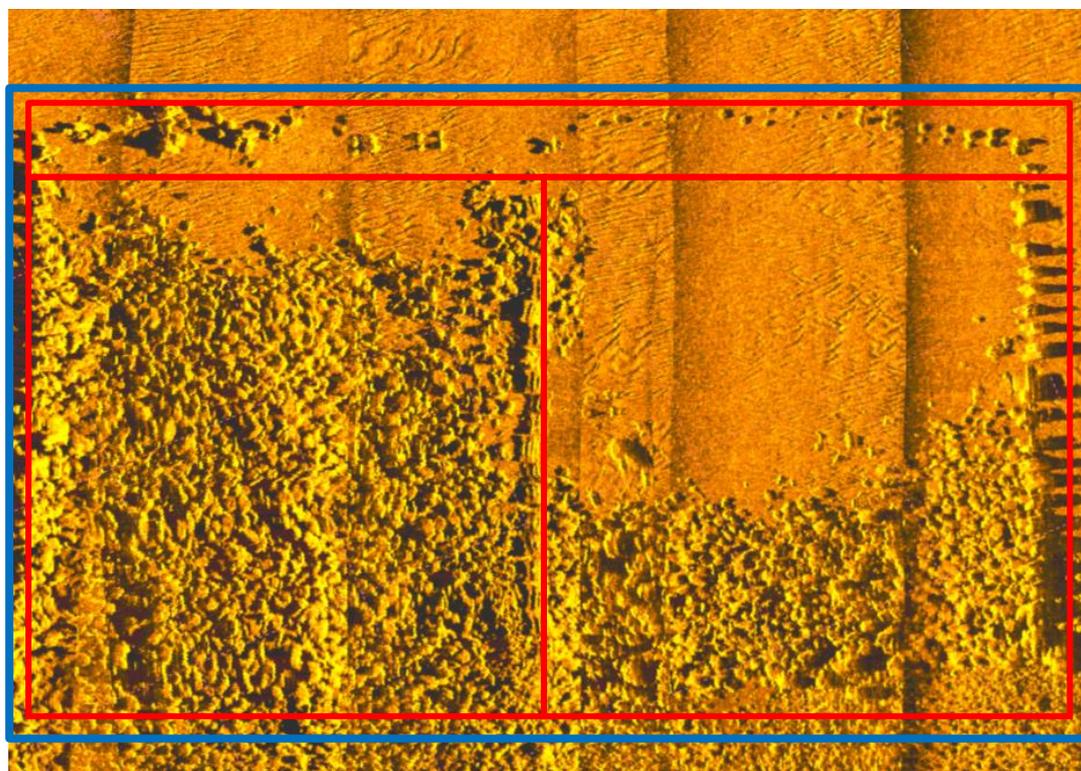


図 3 サイドスキャンソナーによる囲い礁の埋没状況

【調査 2】

調査手法：ラインに沿って岸から沖へ 20m 間隔で海藻の被度を測定（図 4 参照）。砂に埋没した箇所については水深を計測し、砂層厚を測定。

調査時期：実施時期は台風シーズン前の 7 月に実施。

調査結果：海藻の被度は表 2 を参考に機能低下度に換算。

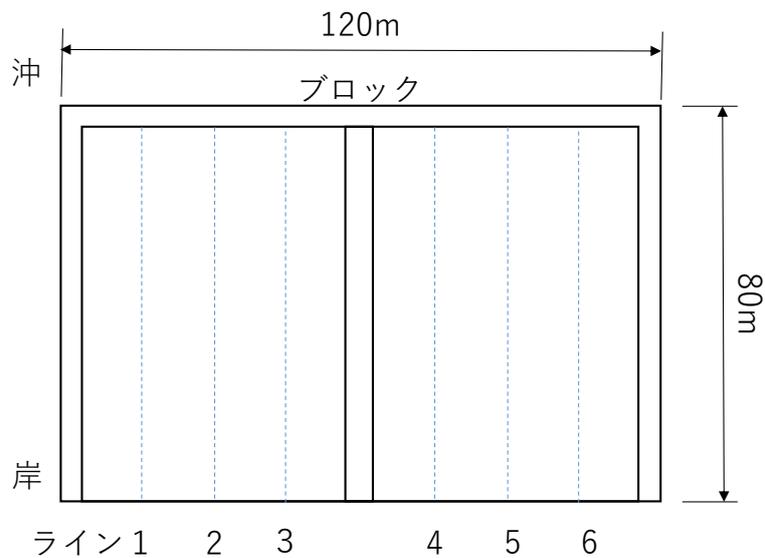


図4 増殖場（120m×80m）における潜水調査（ライン調査）の側線

【機能低下度】

調査結果をもとに機能低下度を次の通り評価した。

施設の大半が埋没（平均砂層厚 50cm）していることから、機能低下度を a と判定。

表1 被度調査と機能低下度の関係

機能低下度	機能低下の状態 (利用状況の変化に着目)	評価基準 (整備時の効果目標との比較)
a	機能が著しく低下している状態	当初の整備効果が全く発揮されていない
b	機能が低下している状態	当初の整備効果の発揮は極めて限定的である。
c	機能が低下しているが軽微である状態	目標値に至らないが整備効果は発揮されている。
d	機能低下が認められない状態	当初の整備効果は十分発揮されている。

【健全度】

施設の健全度は A と判定。

表 2 機能低下度と健全度の関係

健全度	対策の必要性	評価基準（対策実施の判断基準の例）
A	機能低下が著しく、直ちに対策を実施する必要	施設のほぼ全てが機能低下度 a 評価。
B	機能低下が見られ、予防的な対策が必要	施設の大部分が機能低下度 a 又は b 評価。
C	一部機能の低下が見られ経過観察の必要	A, B, C 以外で経過観察の必要があるもの。
D	当面对策の必要は無い	施設のほぼ全てが機能低下度 d 評価。

【機能保全対策の評価】

当該施設の健全度は A と判定。機能低下の原因は漂砂による施設の埋没と特定し、これより機能保全対策を実施する。

（3）機能保全対策

複数の対策シナリオを比較検討し、実効的かつ効率的な対策を検討し、機能保全計画を策定する。

① 対策工法の提案

漂砂による基質の埋没対策として、以下の 3 対策（ハード対策）を検討する。

対策範囲は東側の $50\text{m} \times 60\text{m} = 3,000 \text{ m}^2$ （東側の砂層厚の平均値は 0.5m、西側の施設では埋没していない範囲が広く、上記範囲とする）。

【対策 1】

対策工：東側の埋没範囲を対象に投石（層厚 1m）による嵩上げを実施する。

構造：石材 $50\text{m} \times 60\text{m}$ （層厚さ 1m）

【対策 2】

対策工：隣接地に新たに同構造の囲い礁（ $3,000\text{m}^2$ ）を新設

構造：着定基質工 $50\text{m} \times 60\text{m}$

【対策 3】

対策工：ポンプによる砂質土の吸引除去（図 5 参照）により、既存の基質を回復。

構造：台船から吸引ポンプで施設上に堆積した砂質土を吸引。施設から離れた箇所

にポンプ圧送し、シルトプロテクターを装着したグラブ枠内に排砂する。

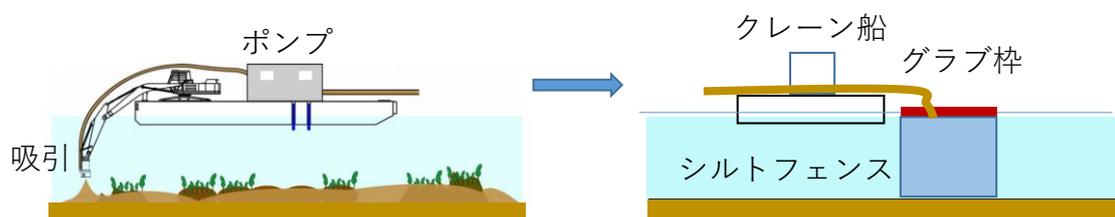


図5 ポンプによる砂質土の吸引

② 各工法の比較と選択

検討工法について概算工事費を算出し、各工法の特徴を整理。結果を表3に示す。

【対策1】 工事費が最も安価。石材の嵩上げのみで実施可能。

【対策2】 新たに深浅測量や底質調査等が必要となり、嵩上げに比較して工事費が高い。

【対策3】 濁りが発生するためシルトフェンスの設置が必要。工事費は最も高く、隣接地に移動した砂質土は漂砂の可能性があり、課題が多い。

以上から、【対策1】 嵩上げ工法を選択することとした。

表3 対策工法の比較

対策工法	対策費用	比率	特徴
① 嵩上げ	54 百万円	—	3 工法のうち最も安価である。
② 新規造成	61 百万円	1.13	新たに適地選定のための測量が必要であり、ブロック製作・設置も必要である。
③ 砂質土吸引除去	76 百万円	1.25	排出土を隣接地に実施するが、台風で土砂が戻る可能性もある。

③ モニタリング計画

モニタリングは、整備完了後3年間および台風通過後に実施する。

モニタリング方法は、砂の移動や埋没の影響を監視するため、サイドスキャンソナーによる海底地形観察。藻場の形成状況については、潜水目視観察により、海藻の被度観察やアワビ・ウニ等の生息状況を確認し、記録用紙に取りまとめる。

④ 定期点検

時期：毎年1回

内容：基質埋没の有無、藻場回復状況や漁獲高の変化に関する情報を漁業者にヒアリング。

事例 2 : 生物的要因による機能低下

食害生物（ウニ）の増加により藻場機能が低下した漁場の回復対策

対策概要	漁業者からの情報や漁場施設の管理履歴等から、近年、機能低下が見られている漁場施設 B 地区の着定基質工について、簡易調査、詳細調査を実施し、機能保全計画を策定し、回復対策を実施。
------	---

(1) 簡易調査

B地区における漁場機能の現状を適切に把握・評価する必要がある、以下の簡易調査を実施。

① 対象施設の現状

近年の海水温の上昇等の影響で、ウニの活動が活発化し、海藻が衰退し磯焼けが発生。これまで、ソフト対策として、海藻の摂餌圧の低減のためウニ除去による密度管理をしているものの、ウニの密度を低く抑えられず、藻場が回復せず、アワビの漁獲量が激減した。

【着定基質工】

整備年：平成 18 年、面積：0.18ha、事業費：32,175 千円

【ウニ・アワビの漁獲量】

H22；720kg→H28；120kg（大きく減少）

【ソフト対策】

H25～H28 年 1 回、潜水会社にウニ除去を依頼している

② 簡易調査の実施

【ヒアリング調査】

平成〇年〇月〇日に当該施設を利用されている漁業者を対象にヒアリング調査を実施。その結果、施設設置後から平成 24 年頃までは着定基質に海藻が繁茂していたが、現在は磯焼け状態。平成 22 年に比べ平成 28 年のウニ・アワビの漁獲量は 1/6 に減少し、現在に至っている。このため、現在も漁場としての機能は低下した状態である。

【漁獲データの解析】

平成 22 年に比べ、平成 28 年のウニ・アワビの漁獲量は 1/6 に減少。（図 6 参照）。

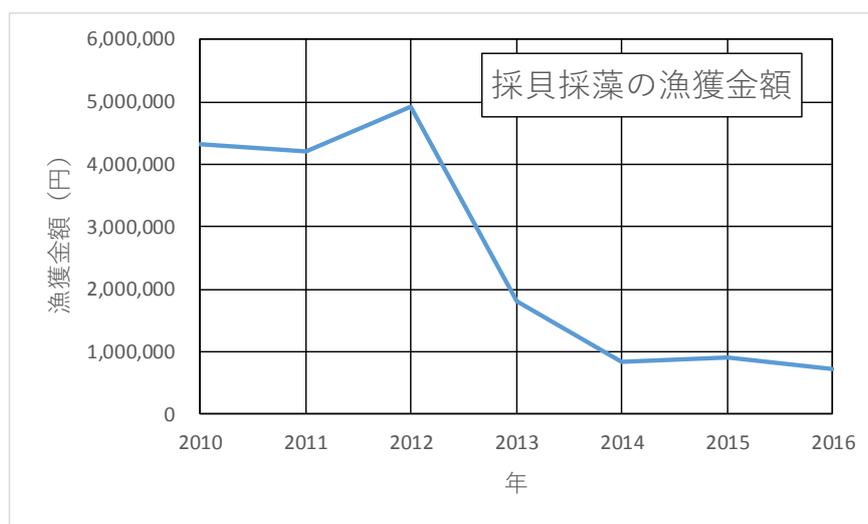


図6 漁場施設における採貝採藻の漁獲金額図

③ 簡易調査による評価

【現状評価】

かつてはコンブ等の海藻が繁茂し、ウニ・アワビ等の増殖効果があった。しかし、現状は藻場が衰退し、大幅な機能の低下。ウニによる食害が大きな原因と推測。

【詳細調査必要性】

かつては藻場が繁茂した優良な漁場であり、対策を施すことで回復の見込みがある。当地の再生要望は高い。このため、詳細調査を実施し、機能低下の状態を評価し、機能低下の原因把握と対策検討のため、詳細調査を実施。

(2) 詳細調査

機能低下原因の特定、対策の必要性の検討を行うため詳細調査を実施。

① 調査手法と結果

【調査1】

調査手法：潜水調査により、コンブを中心とした海藻と底生動物の分布調査を実施。沿岸方向 20m 間隔に水深、海藻の被度調査、底生動物の個体数密度を計測（図7参照）。

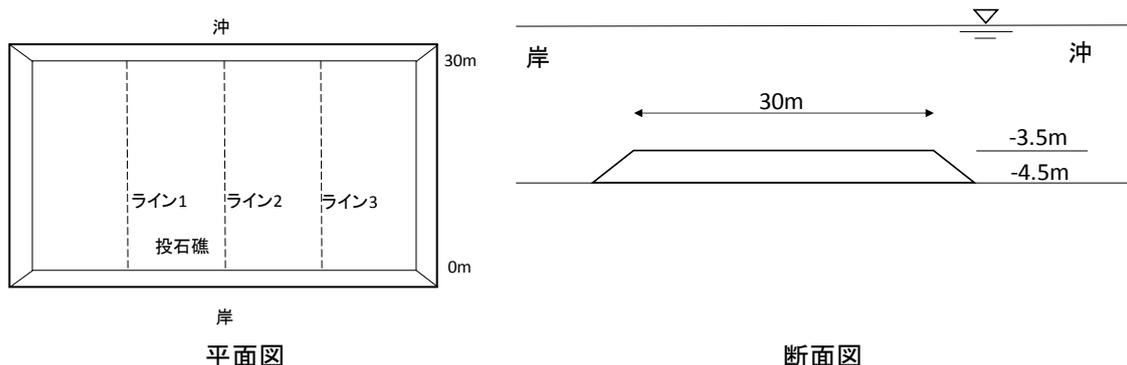


図7 投石礁（30m×60m）における潜水調査（ライン調査）測線

調査結果：海水温データから、コンブ等の大型海藻が発芽する2月の海水温を抽出した結果、以前は平均水温が3～4℃であったが、近年は平均水温が5℃以上と高温化。冬季の海水温の上昇でウニの摂餌圧が高まり、発芽したコンブの幼体を摂餌された。

【機能低下度】

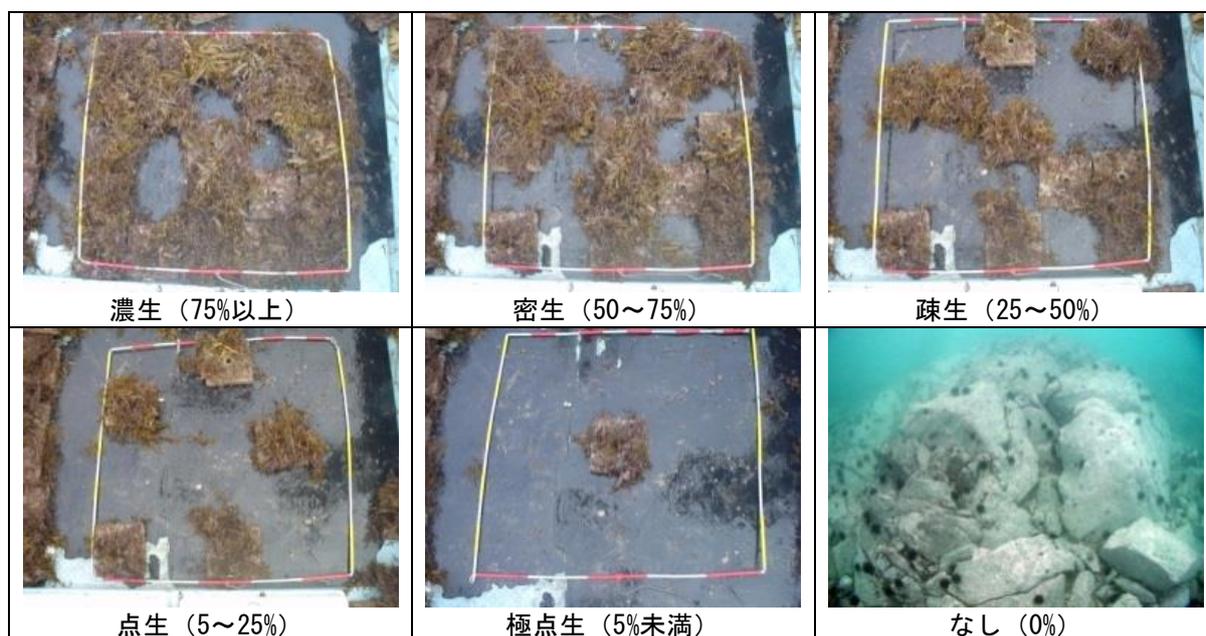
調査結果をもとに機能低下度を次の通り評価した。

施設の大半が海藻の被度が5%未満であることから、機能低下度をaと判定。

表4 被度調査と機能低下度の関係

機能低下度	機能低下の状態	海藻の被度
a	機能が著しく低下している状態	5%未満
b	機能が低下している状態	5～25%
c	機能低下が認められるが軽微である状態	25～50%
d	機能低下が認められない状態	50%以上

※参考：被度の区分目安



【健全度】

ライン毎の機能低下度を集計し、この施設全体についての健全度を A と判定。

表 5 機能低下度と健全度の関係

距離	0-10m	10-20m	20-30m	各ラインの健全度	施設全体の健全度
ライン1	c	b	a	A	A
ライン2	a	b	a	A	
ライン3	b	a	a	A	

(注) 施設全体の健全度は各ラインの健全度を集計。

(3) 機能保全対策

複数の対策シナリオを比較検討し、実効的かつ効率的な対策を検討し、機能保全計画を策定する。

① 対策工法の提案

磯焼け対策として、ソフト対策とハード対策を総合的に検討し、設計供用期間(30年)においてライフサイクルコストを小さくできる方法を選択。具体的には、下記の3つを比較検討(図8参照)。

【回復目標の設定】

回復目標は施設全体の海藻の被度を 25%以上（機能低下度 c 以上）とする。

【対策 1】

ソフト対策：徹底したウニ除去によるウニ密度管理

【対策 2】

ソフト対策：徹底したウニ除去によるウニ密度管理

ハード対策：施設の天端水深を天然海岸の海藻が繁茂している水深帯（水深 1.5m 以浅）に一致させるように嵩上げする。（理由：水深 1.5m 以浅は、波の波動流速がウニの摂餌活動の限界である 40cm/s 以上になる頻度が高いため。）

【対策 3】

ハード対策：施設全体を嵩上げするのではなく、ウニが隠れる空隙がなく、背が高く登りにくいブロック（消波ブロック等）の天端を水深 1.5m とし、ウニが渡れないように各ブロックの間隔を空けて設置する。

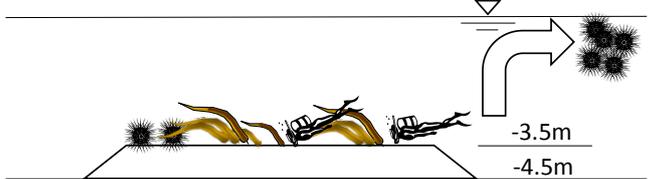
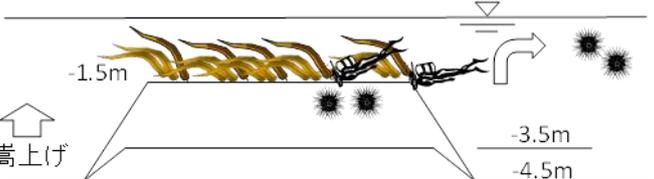
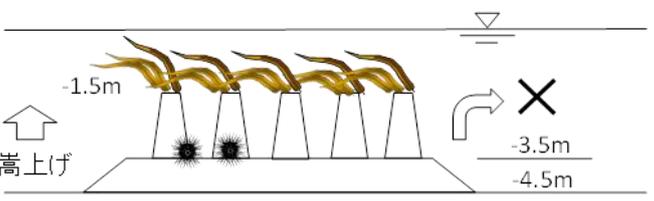
対策案	図
<p>[対策 1] ソフト対策のみ (ウニ除去)</p>	
<p>[対策 2] ソフト対策 (ウニ除去) + ハード対策 (嵩上げ)</p>	
<p>[対策 3] ハード対策 (ブロック)</p>	

図 8 提案した対策案のイメージ図

② 各工法の比較と選択

検討工法について概算工事費を算出し、各工法の特徴を整理。結果を表3に示す。

【対策1】ソフト対策であるウニ除去のみは、初期投資は低いが、毎年、徹底したウニ除去を実施する必要がある。秋～冬にかけて年間5回のウニ除去を実施するため、備船費とダイバー費用でソフト対策費用が高額となる。

【対策2】全体を嵩上げする場合、海藻はかなり繁茂するが石材の間隙に潜むウニによる食害が懸念。このため、年に1度ウニ除去を実施する。ハード整備の費用を要す。

【対策3】背の高い着定基質を使用し、着定基質の間隔を空けて設置するため、ウニの潜む空隙がない。このためウニ除去は不要。ハード整備の初期費用も対策2に比べ安価である。

以上から、供用年数（30年）を利用するための費用は【対策3】が安価であり、この工法を採用する嵩上げ工法を選択することとした（図9参照）。

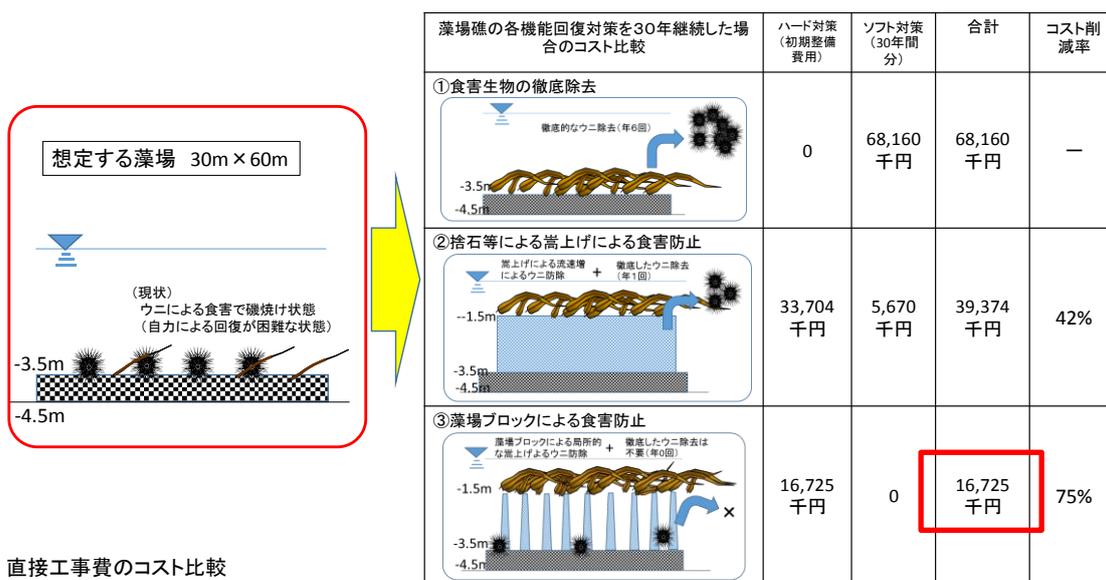


図9 機能回復対策工法の比較事例

※参考：計算假定

【対策1】ウニ除去のみの場合

- ウニの完全除去：ダイバー2名で4日間が必要。（磯焼け対策ガイドラインのウニ除去効率参照）
- 海藻が生長する5ヶ月間毎月ウニ除去（計5回）を30年間実施する。費用はダイバー費および傭船費で算出。

【対策2】石材による嵩上げと年1回のウニ除去

- 捨石で厚さ2m分を嵩上げる。年1回の捨石間隙のウニ除去を30年実施する。
- 嵩上げ工は捨石投入と荒均しを計上。

【対策3】着定基質による嵩上げ

- ブロックによる嵩上げは高さ2mの表面粗度が少ない消波ブロック（ウニの住み場を作らないため）を水平距離3m間隔で設置する。2t型消波ブロックを9×18個=162個製作し、設置する。

③ モニタリング計画

モニタリングは施工後の初年度、3ヶ月毎に年4回実施。特に、ウニの再加入についてどの高さまでウニが這い上がれるか、詳細に観察する。また、冬季の調査はコンブの発芽とウニによる食害の状況を観察する。1年後、藻場の繁茂が確認できれば、モニタリングは、年1回、海藻が繁茂する初夏に実施する。

④ 定期点検

対策実施後は漁業者からの情報の収集、漁獲高の変化を把握し、対策の効果を毎年点検する。

V. 中層浮魚礁の流出軽減技術の検討

I. 課題名

中層浮魚礁の流出軽減技術の検討

II. 実施機関及び担当者名

株式会社 エコー 山本 秀一、田村 圭一

III. 実施年度

平成 28,29 年度

IV. 緒言

中層浮魚礁は、水産基盤整備事業において平成 13 年度以降各地方自治体において全国で 342 基（平成 27 年度調査）が設置されているが、係留索が切断し、礁体が流出する事例（17 基）が発生し、中には流出警報発信機が正常に作動しなかった事例も見られる。このため、平成 25 年度から 27 年度の水産庁委託調査において、中層浮魚礁の流出事故の原因や流出警報発信機の耐久性に関する調査を行ったところである。本調査では、こられの調査結果及び平成 28 年度における検討も踏まえ、中層浮魚礁の流出事故の防止と流出事故発生時の影響軽減を図る措置の検討を行った。

V. 方法

(1) 流出警報発信機の防水性・耐久性能調査

【平成 28 年度】

① 流出警報発信機の防水性・耐久性能の検討

「従来改良型」と新規に開発された「新型」の 2 機種 of 流出警報発信機の防水性・耐久性能を評価する。防水性については、設計の耐圧水深 300m を条件とし加圧試験を行い浸水が無いことを確認した後、機器を実海域試験に設置した。（平成 29 年度に設置 12 ヶ月後に回収し再度、浸水の有無を確認した。）

② 流出軽減技術の検討

過去の中層浮魚礁流出事故に関する情報整理を行い、事故原因と有効な対策方法の検討を行った。また、中層浮魚礁設置都県が採用している流出軽減措置のアンケート調査を行い、現状把握した。

③ 既存中層浮魚礁の部材劣化試験

設置後約 7 年と 8 年を経過して流出した中層浮魚礁の係留部の残存強度試験を実施し、経年劣化を把握した。

【平成 29 年度】

① 流出警報発信機の防水性・耐久性能の検討

前年度に設置した流出警報発信機を回収し、実海域での防水性を把握した後、室内での環境促進試験から耐久性能を把握した。

② 流出軽減技術の検討

平成 28 年度に引き続き、切断原因に対する有効な対策方法について検討した。

平成 29 年度の検討内容について以下に概説する。

流出警報発信機の防水性・耐久性能については表-1 に示す評価基準を設定し、この評価基準に準じて図-1 に示すフローで試験を行った。試験に使用する流出警報発信機

は、図-2 に示す 2 機種（以下、新型及び従来改良型と称す）とした。各試験終了後に通信を確認し評価した。

表-1 評価基準

防水性	設計耐圧を加圧試験により確認した実機を実海域に設置し(実海域試験)、12ヶ月後に回収し、機器内部への浸水の有無を確認した。
耐久性	実海域に設置した実機を12ヶ月後に回収し、環境促進試験(温湿度促進試験、振動試験)により負荷を与えることで内部機器の破損や劣化を確認した。
付着生物の影響	実機に生物が付着した場合において通信を確認した。 (付着生物試験)

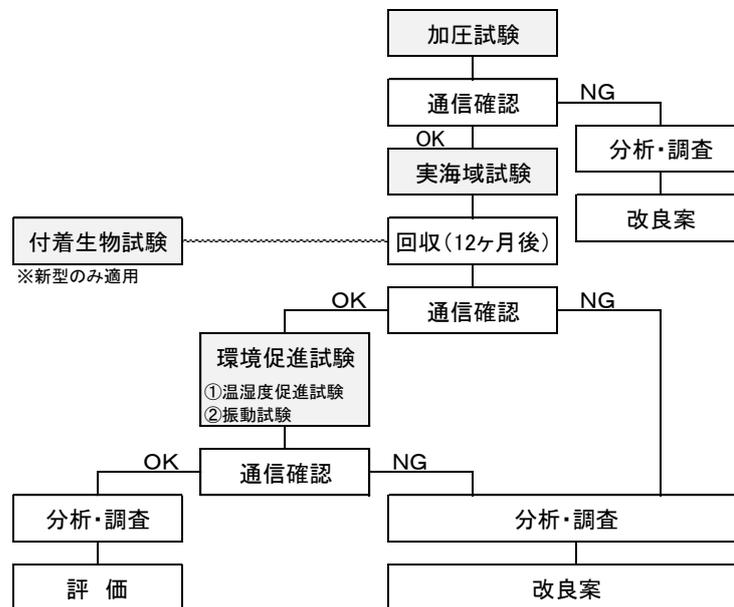


図-1 試験フロー

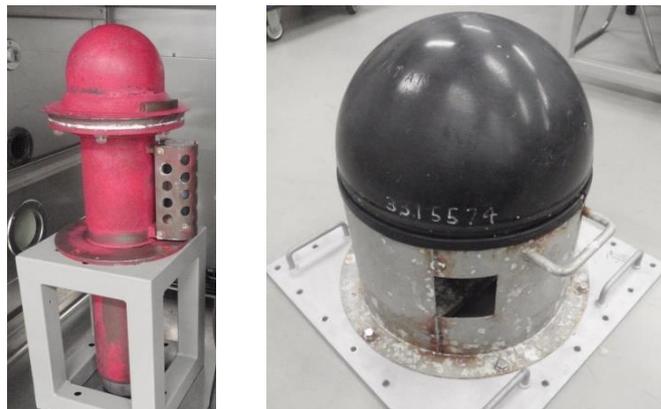


図-2 試験に用いた流出警報発信機（左：従来改良型：φ270mm×720mm、27kg、右：新型：φ448mm、20kg）

①加圧試験

流出警報発信機は一般的に礁体天頂部に配置し(社)マリフォーラム 21「中層型浮魚礁 共通仕様書」¹⁾では、礁体天頂部の水深を船舶の航行安全および蛸集魚類量から、静水時 20m 以深、操業時概ね 150m 以浅としている。そこで、加圧試験における加圧値を流出警報発信機の最大(耐圧)水深として 300m (操業時水深×2) と設定し、3MPa とした。加圧方法については、表-2 に示すように流出警報発信機の海中における定常状態を想定した I 試験および潮流等による変動を想定した II 試験を行った。

表-2 加圧試験の条件

I 試験	<ul style="list-style-type: none"> ・無負荷から 1MPa ごとに 5 分保持し、3MPa まで加圧 ・3MPa で 15 分保持 ・試験水槽から取り出して目視確認、通信試験
II 試験	<ul style="list-style-type: none"> ・無負荷から 3MPa のサイクル試験 15 回 (無負荷と 3MPa で 5 分保持) ・試験水槽から取り出し目視確認、通信試験

②実海域試験

実海域において、室内加圧試験により防水性能が確認された 2 種類の流出警報発信機を用いて、海中 12 か月間の設置期間における防水性・耐久性能を調査した。

実海域試験は、平成 28 年 9 月 23 日に設置して、平成 29 年 9 月 13 日に回収した。

試験場所は、図-3 に示すように対馬市巖原阿連北西地区で、図-4 に示す中層浮魚礁に試験機器を取り付けた。礁体ヘッド位置は海面下 40m (無流速時)、設置位置の水深は 86m である。



図-3 中層浮魚礁設置地区

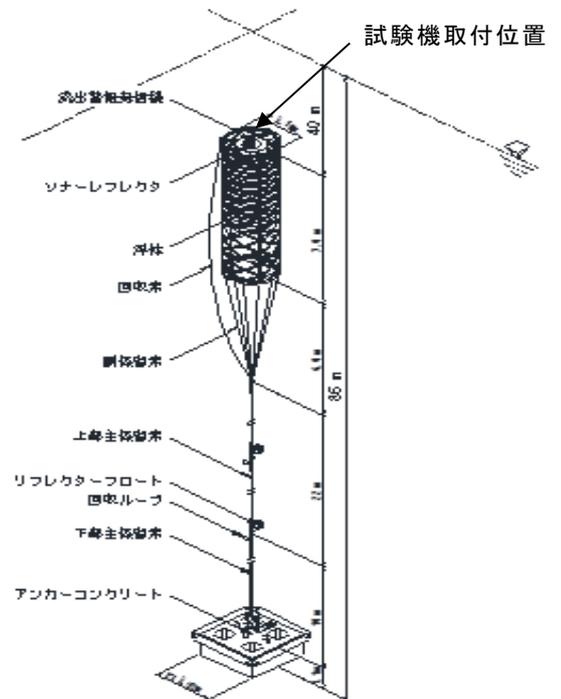


図-4 中層浮魚礁の概要

③付着生物試験

新型は通信基盤部を覆う耐圧容器 (ABS 樹脂) に生物が付着した状態で浮上・漂流するため、付着生物 (海水) による通信への影響を確認する必要がある。実海域試験後に通信を確認することで付着生物の影響を確認した。

④温湿度促進試験

海上保安庁「光波標識用機器の性能に関する試験方法 温湿度サイクル」及び(財)日本航路標識協会「海上標識用灯器 JANA01-2009 耐環境試験」を参考に発信器の仕様を考慮して試験条件を設定し、以下を確認した。

- ・検査実施前に屋外にて装置電源を投入し、規定間隔にてメッセージ作成、送信が行われること。
- ・浮上した際の海表面の温湿度を考慮して 0℃～40℃のサイクルを 2 サイクル実施する。2 サイクル完了時に、装置を取り外し、屋外にて通信確認を行う。規定間隔にてメッセージ作成、送信が行われること。
- ・通信確認完了後、再度 1 サイクル実施し、その後、装置を屋外に取り出し、通信確認を行う。規定間隔にてメッセージ作成、送信が行われること。

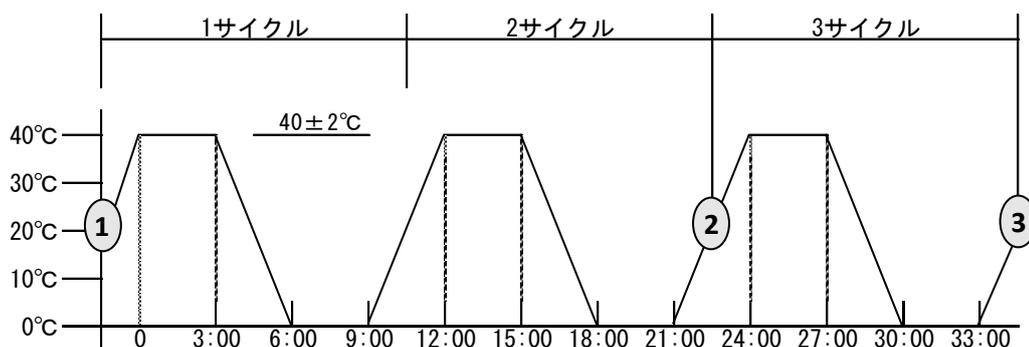


図-5 温度サイクル

⑤振動試験

海上保安庁「光波標識用機器の性能に関する試験方法 耐振動」及び(財)日本航路標識協会「海上標識用灯器 JANA01-2009 振動試験」に準じた。

波による振動を考慮して、振動数範囲:10～150Hz、加速度:20m/s²、加振方向:水平方向および鉛直方向、加振時間:各方向 10 サイクル (各 1 時間 15 分) の試験条件において、試験後の機能 (通信) になんらかの異常がないことを確認した。

(2) 中層浮魚礁流出事故軽減の手引き案の作成

平成 28 年度に過去の流出事例と現状での流出軽減措置を把握するためのアンケート調査を実施した。それらをもとに、これまでの中層浮魚礁の流出事故の実態と原因を踏まえ流出事故軽減軽減に向けた課題と対策をとりまとめて「中層浮魚礁流出事故軽減の手引き案」を作成した。

VI. 結果

(1) 流出警報発信機の防水性・耐久性能調査

実海域試験は、平成 29 年 9 月 13 日（設置後約 12 ヶ月）に流出警報発信機 2 基（従来改良型・新型）を回収した。回収時の写真を図-6, 7, 8 に示す。

①回収前（水中）

浮体および流出警報発信機の状態及び付着生物の状況。設置時と同じ状態であり外観上異常はない。

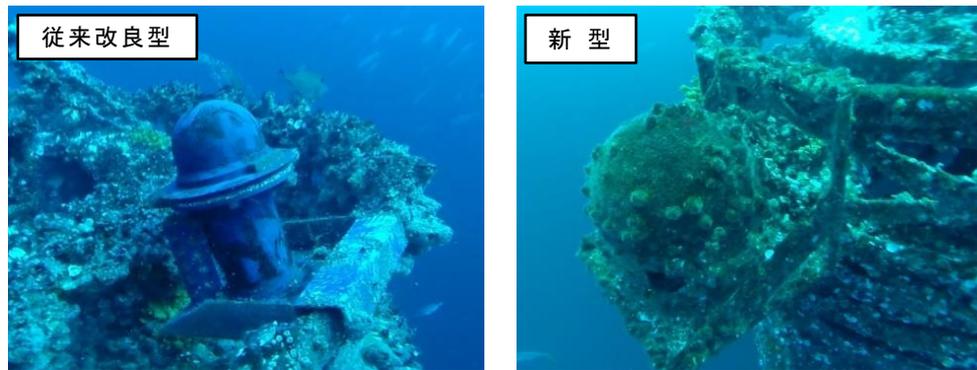


図-6 回収前（水中）

②回収時（水中）

回収時の水中の状況。

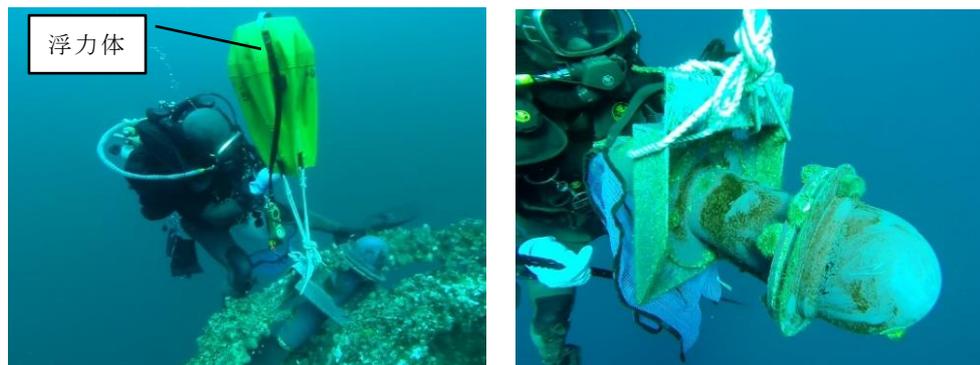


図-7 回収時（水中）

③回収後（船上）

回収直後の流出警報発信機の状態および付着生物の状況。水中と同じ状態で回収した。



図-8 回収後（船上）

回収後、従来改良型および新型ともに回収直後に機器からの発信を確認した。

また、回収した従来改良型と新型の器材を用いて温湿度促進試験、振動試験を行い、試験後に器材からの発信を確認した。さらに、新型については付着生物試験（付着生物が機器表面を覆った状態における通信の確認試験）を行い、数 cm 程度の付着生物の厚みにおいて発信を確認できた。

なお、平成 28 年度に実施した既存中層浮魚礁の部材劣化試験（係留索の残存強度試験）では中層浮魚礁の係留索の強度保持（設計強度の安全性）が確認されている。

流出警報発信機の防水性・耐久性能調査報告書を参考資料-1 に示す。

(2) 中層浮魚礁流出事故軽減の手引き案の作成

表-3 に示す構成で中層浮魚礁流出事故軽減の手引き案を作成した。

この手引きは、これまでの魚礁の流出事故の実態と原因を踏まえ流出事故軽減軽減に向けた課題と対策についてとりまとめたものである。中層浮魚礁の計画・設計及び管理を実施する上で、管理者等（管理者及び所有者）の参考となることを目的としている。

中層浮魚礁流出事故軽減の手引き案を参考資料-2 に示す。

表-3 中層浮魚礁流出事故軽減の手引き案の構成

- 第 1 章 手引きについて
 - 1. 1. 目的
 - 1. 2. 手引きの構成
 - 1. 3. 手引きの位置づけ
 - 第 2 章 流出事故の実態・原因
 - 2. 1. 中層浮魚礁の構成
 - 2. 2. 事故の実態
 - 1) 流出事故の分類
 - 2) 流出後の流出警報発信機の作動状況
 - 第 3 章 流出被害の軽減対策
 - 3. 1. 流出抑制対策
 - 1) ハード対策
 - 2) ソフト対策
 - 3. 2. 流出影響軽減対策
 - 1) ハード対策
 - 2) ソフト対策
- 参考資料-1：中層浮魚礁流出事故事例一覧
- 参考資料-2：流出警報発信機の作動確認例
- 参考資料-3：関連する試験方法資料

Ⅶ. 考察

流出警報発信機については、新たに開発された新型と従来改良型の流出警報発信機を用いて平成 28, 29 年度に実施した試験によって防水性・耐久性能・付着生物の影響に関する機能を照査した。流出警報発信機の標準機能を満足するためにはこのような試験を実施して評価基準を満足したものを採用することが望ましい。

また、中層浮魚礁流出事故軽減の手引き案は、これまでの中層浮魚礁の流出事故の実態と原因を踏まえ流出事故軽減軽減に向けた課題と対策についてとりまとめたもので、管理者等（管理者及び所有者）が中層浮魚礁の計画・設計及び管理を実施する上で参考となるものと考えている。

Ⅷ. 適用

・流出警報発信機については、新たに開発された新型と従来改良型の流出警報発信機について 1 年間の実海域設置と環境促進条件下における試験を実施した。今後、長期的なモニタリングによって流出警報発信機の防水性、耐久性能について検証することが課題である。

・流出抑制対策と流出影響軽減対策については、これまでの中層浮魚礁の流出事故の実態と原因を踏まえ流出事故軽減軽減に向けた課題と対策について中層浮魚礁流出事故軽減の手引き案としてとりまとめた。中層浮魚礁の流出事故軽減に向けて、本手引き案が一助となることを期待する。

Ⅸ. 引用文献

- 1) (社)マリノフォーラム 21(2003)中層型浮魚礁 共通仕様書,
<http://www.mf21.or.jp/pdf/%E4%B8%AD%E5%B1%A4%E5%85%B1%E9%80%9A%E4%BB%95%E6%A7%98%E6%9B%B8%EF%BC%88H15%E6%94%B9%E8%A8%82%E7%89%88%EF%BC%89.pdf>, 19p.

平成 29 年度水産基盤整備調査委託事業
「漁港・漁場の施設の設計手法の高度化検討調査」
中層浮魚礁の流出軽減技術の検討

流出警報発信機の防水性・耐久性能調査
報告書

平成 30 年 3 月

一般社団法人 水産土木建設技術センター
株式会社 エコー

—目次—

1. 目的.....	1
2. 調査概要.....	1
2.1 流出警報発信機の概要.....	3
3. 調査結果.....	4
3.1 加圧試験.....	4
3.2 実海域試験.....	6
3.3 環境促進試験.....	8
3.3.1 温湿度促進試験.....	8
3.3.2 振動試験.....	10
3.4 分析・調査.....	12
3.4.1 従来改良型.....	12
3.4.2 新型.....	12
3.5 付着生物試験.....	13
4. まとめ.....	17

1. 目的

中層浮魚礁は、水産基盤整備事業において平成 13 年度以降各地方自治体にてのべ 342 基（平成 27 年度末まで）が設置され事業継続中である。一方で現在（平成 28 年度調査）までに流出事故として 17 件の報告がある。この流出事故のうち 13 件は警報が発信されず、流出警報発信機の防水性や耐久性に課題が残されていることが示唆された。

そこで、本調査は構造が異なる 2 機種（以下、新型及び従来改良型と称す）の流出警報発信機にて防水性と耐久性能を検証することを目的に、加圧試験、実海域試験、環境促進試験（温湿度促進試験、振動試験）を行った。

2. 調査概要

流出警報発信機の標準機能を表 2-1 に示し、本試験の評価項目を表 2-2 の通り設定し、試験フロー（図 2-1）に沿って調査した。新型については付着生物の影響が示唆されたことから、10 年間経過した試験材料（フロート）を用いた付着生物試験を行った。なお、従来改良型は付着生物の対策として付着防止キャップが配置されていることから対象外とした。

表 2-1 標準機能

条 件		内 容
環境条件	使用海域	衛星通信圏内
	耐温度	0℃ ～ 40℃
	耐水圧	30 気圧（水深 300m）以上
	耐用年数	10 年
通信諸元	送信データ	管理番号・位置情報・残電圧量・時刻
	通信間隔 （浮上後）	1 回 / 1 時間（標準） 陸上側監視機器からの操作により変更できること
電源諸元	電池寿命	10 年経過直後に浮上した場合でも 1 回/1 時間の通信間隔で約 200 時間以上の通信が可能であること
使用材料	耐腐食	金属部品による組立製品においては腐食し難い材料を用いること

表 2-2 評価項目と判定基準

防水性	<ul style="list-style-type: none">●加圧試験によって耐水圧 30 気圧以上を確認すること●且つ実海域試験によって機器内部への浸水が無いことを確認すること
耐久性	<ul style="list-style-type: none">●実海域試験後の機器を用いた環境促進試験（温湿度促進試験、振動試験）によって使用部材および部品について 10 年の耐久性を確認すること
付着生物の影響	<ul style="list-style-type: none">●付着生物が通信に影響を及ぼさない機構を有していること（例えば、付着物防止キャップ機能など）●または 10 年経過相当の付着生物状況下において通信を確認すること

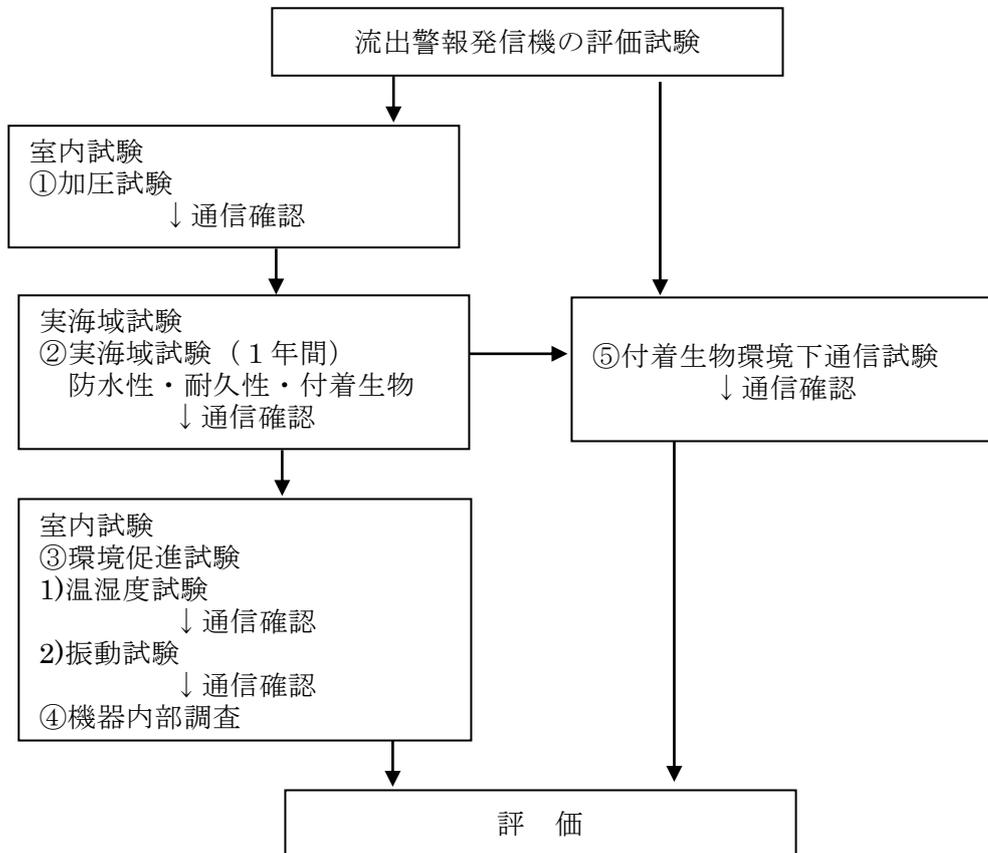
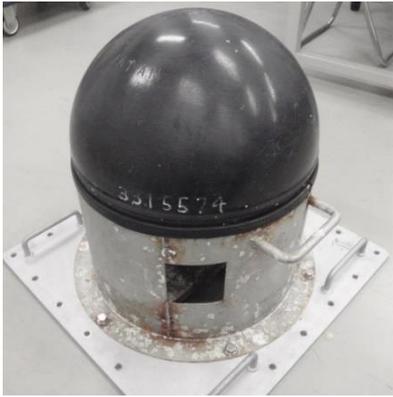


図 2-1 試験実施フロー

2.1 流出警報発信機の概要

表 2-2 流出警報発信機の概要

名 称		従来改良型	新型
特 徴		金属部品の組立製品で最新の防食設計により水密性を確保	耐圧フロートの内部に通信機器を配置することで水密性を確保
環境条件	使用海域	イリジウム衛星通信圏内	イリジウム衛星通信圏内
	耐圧	30 気圧 (水深 300m)	30 気圧 (水深 300m)
	耐温度	0℃ ~ +40℃	-20℃ ~ +60℃
制御	起動	<ul style="list-style-type: none"> 海面浮上時および浮上後、2 系統（圧力、フロート）のセンサー作動による起動 安全性を高めるため 2 重の起動方法である。 	<ul style="list-style-type: none"> 沈設前に手動で起動 海中では常に通信装置が動作 浮上後は 1 時間毎に通信動作
	記録	漏水を検知する水位ロガーを搭載	通信動作をロガーにて記録
通信諸元	送信データ	時刻、緯度経度、電源電圧	時刻、緯度経度、電源電圧
	通信間隔 (浮上後)	1 回 / 1 時間 (変更可能)	1 回 / 1 時間 (変更可能)
電源諸元	電池種類	リチウム電池	アルカリ電池
	電池寿命	浮上後、1 回 / 1 時間の通信間隔の場合、約 200 時間以上の通信動作が可能。	10 年経過後に浮上した場合でも 1 回 / 1 時間の通信間隔で約 480 時間 (20 日間) の通信動作が可能。
諸元	寸法	φ 270mm × 720mm	φ 448mm
	全質量	約 27kg	約 20kg
	外観		
備考	<p>従来改良型の機器制御系統の概念</p> <pre> 流出事故発生 → スイッチ作動：浮上中（圧力センサー）・浮上後（フロート） → 電源部作動 → 通信機作動（GPS衛星・イリジウム衛星と送受信開始） → フラッシュライト作動（→夜間点滅） → ガス噴出（→付着物防止カバー離脱） </pre>		

3. 調査結果

3.1 加圧試験

(1) 目的

設計耐圧における防水性能を確認するため、高圧実験水槽による加圧試験を行う。

(2) 試験日

従来改良型：平成 28 年 8 月 24 日、 新型：平成 28 年 9 月 9 日

(3) 試験場所

日油技研工業株式会社 川越工場内高圧実験水槽(埼玉県川越市)

(4) 試験条件

流出警報発信機は一般的に礁体天頂部に配置し(社)マリフォーラム21「中層型浮魚礁 共通仕様書」では、礁体天頂部の水深を船舶の航行安全および蛸集魚類量から、静水時 20m 以深、操業時概ね 150m 以浅としている。そこで、加圧試験における加圧値を流出警報発信機の最大(耐圧)水深として 300m (操業時水深×2) と設定し、3MPa とした。

加圧方法については、流出警報発信機の海中における定常状態を想定した I 試験および潮流等による変動を想定した II 試験を設定した。

表 3-1-1 試験条件

I 試験	・無負荷から 1MPa ごとに 5 分保持し、3MPa まで加圧 ・3MPa で 15 分保持
II 試験	・無負荷から 3MPa のサイクル試験 15 回 (無負荷と 3MPa で 5 分保持)

試験は一連で行い、試験開始前後に通信を確認した。

・試験機 (高圧実験水槽)

内容積：0.53m³，設計圧力：98.07 MPa，耐圧試験圧力：107.88 MPa



図 3-1-1 高圧実験水槽 (左：密閉作業中、右：開放状態)

(5) 試験状況



図 3-1-2 組込状況 (左：従来改良型 (キャップ付の状態)、右：新型)



図 3-1-3 計測状況 (3Mpa 負荷)



図 3-1-4 目視確認 (左：従来改良型、右：新型)

(7) 試験結果

従来改良型および新型ともに外観、通信に異常がないことを確認した。

表 3-1-2 通信結果

機器名 (管理番号)	工程	位置情報		電池残量	警報発信時刻
		緯度	経度		
従来改良型	開始前	35° 55.151	139° 25.570	15.1V	2017年08月24日09時33分12秒
	試験後	35° 55.132	139° 25.556	15.1V	2017年08月24日15時42分52秒
新型	開始前	35° 55.1389	139° 25.5262	6.6V	2016年09月09日09時21分53秒
	試験後	35° 55.1316	139° 25.5324	6.6V	2016年09月09日15時57分00秒

3.2 実海域試験

(1) 目的

実海域において、室内加圧試験により防水性能が確認された流出警報発信機を用いて、海中 12 か月間の設置期間における防水性・耐久性能を調査する。

(2) 試験日

設置日：平成 28 年 9 月 23 日、 回収日：平成 29 年 9 月 13 日

(3) 試験場所

設置地区： 対馬市巖原阿連北西 No 2
礁体タイプ： 剛体タイプ
設置水深： 礁体ヘッド位置海面下 40m
(設置位置の水深 86m)



図 3-2-1 中層浮魚礁設置地区

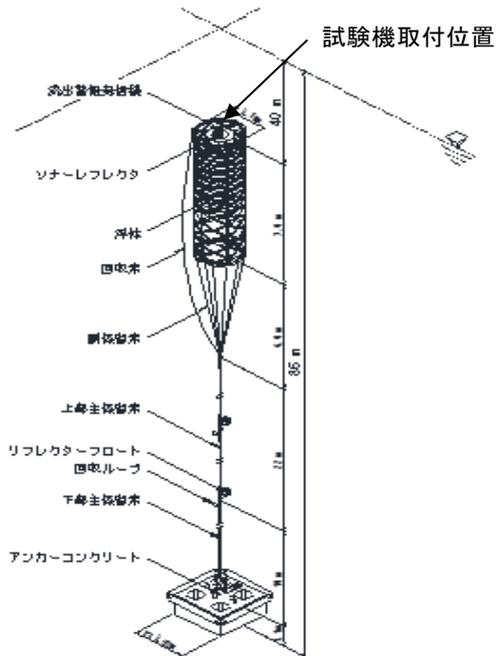


図 3-2-2 中層浮魚礁の概要

(4) 設置作業

平成 28 年 9 月 23 日に流出警報発信機 2 基（従来改良型・新型）を設置した。



図 3-2-3 設置状況 (左：従来改良型、右：新型)

(5) 回収作業

平成 29 年 9 月 13 日（設置後約 12 ヶ月）に流出警報発信機 2 基（従来改良型・新型）を回収した。作業状況を以下に記す。

- ①回収前（水中）：浮体および流出警報発信機の状態及び付着生物の状況撮影
 設置時と同じ状態であり外観上、異常はない。
 新型については、全面を藻と思われる生物が多いフジツボが点在している。

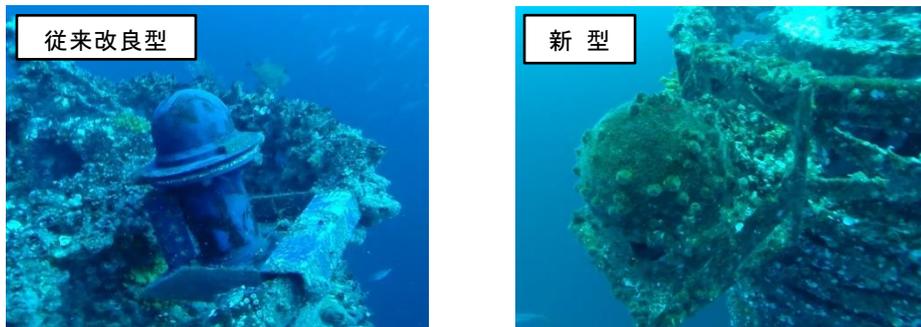


図 3-2-4 回収前（水中）

- ②回収時（水中）：回収時の撮影
 浮力体を取付け緩やかに発信機を海面へ回収した。



図 3-2-5 回収時（水中）従来改良型

- ③回収後（船上）：回収直後の流出警報発信機の状態および付着生物の撮影
 水中と同じ状態で回収した。



図 3-2-6 回収後（船上）

(6) 試験結果

従来改良型および新型ともに回収直後の通信に異常が無いことを確認した。

表 3-2-1 通信結果

機器名 (管理番号)	工程	位置情報		電池残量	警報発信時刻
		緯度	経度		
従来改良型	設置前	34° 17.220	129° 09.662	14.7V	2016年09月23日13時11分59秒
	回収後	34° 17.198	129° 09.633	14.5V	2017年09月13日11時40分08秒
新型	設置前	34° 14.0102	129° 11.4117	6.7V	2016年09月23日07時47分32秒
	回収後	34° 14.0142	129° 11.3851	6.1V	2017年09月13日11時46分17秒

3.3 環境促進試験

3.3.1 温湿度促進試験

(1) 目的

設計耐温度における耐久性を確認するため、恒温恒湿槽による温湿度促進試験を行う。

(2) 試験日

2017年10月16日（月）～ 10月18日（水）

(3) 試験場所

東京都立産業技術研究センター 城東支所

(4) 試験条件

海上保安庁「光波標識用機器の性能に関する試験方法 温湿度サイクル」及び(財)日本航路標識協会「海上標識用灯器 JANA01-2009 耐環境試験」を参考に、流出警報発信機の標準機能である耐温度（0℃～40℃）を温度サイクル範囲として試験パターン（図 3-3-1）を設定した。

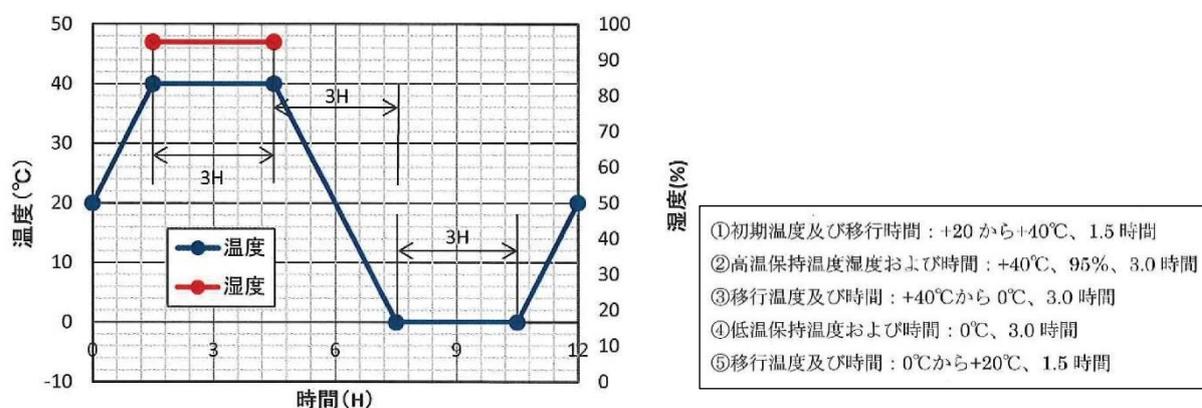


図 3-3-1 試験パターン

この試験パターンを 3 サイクル行い、下記 1), 2), 3) の状態における通信を確認する。

- 1) 試験開始前
- 2) 2 サイクル試験後
- 3) 3 サイクル試験後（試験終了後）

・試験機（恒温恒湿槽） エスペック社製 PSL-4KPH



図 3-3-2 恒温恒湿槽（右：槽内状況、左：試験条件設定）

(5) 試験状況

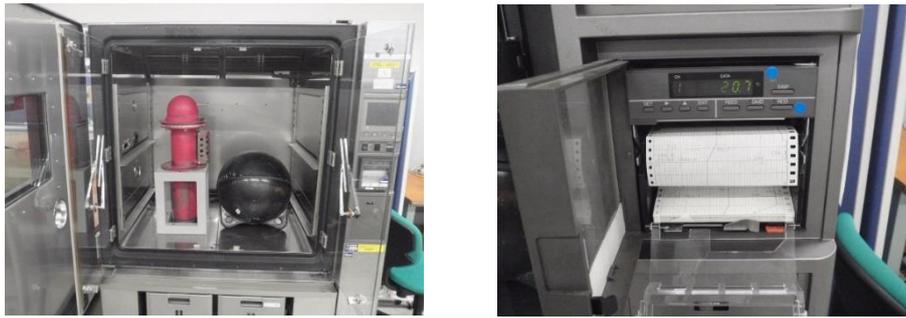


図 3-3-3 試験状況 (左：試験機配置状況、右：出力ターム)

(6) 試験結果

1)、2)、3)の状態において、従来改良型および新型とも通信に異常がないことを確認した。

表 3-3-1 通信結果

機器名 (管理番号)	工程	位置情報		電池残量	警報発信時刻
		緯度	経度		
従来改良型	1) 開始前	35° 45.175	139° 51.131	14.3V	2017年10月16日13時37分34秒
	2) 2サイクル試験後	35° 45.173	139° 51.139	13.9V	2017年10月17日14時35分34秒
	3) 3サイクル試験後	35° 45.179	139° 51.133	14.0V	2017年10月18日09時09分28秒
新型	1) 開始前	35° 45.1705	139° 51.1347	6.1V	2017年10月16日13時37分54秒
	2) 2サイクル試験後	35° 45.1659	139° 51.1365	6.2V	2017年10月17日14時59分57秒
	3) 3サイクル試験後	35° 45.1851	139° 51.1565	6.2V	2017年10月18日09時05分50秒

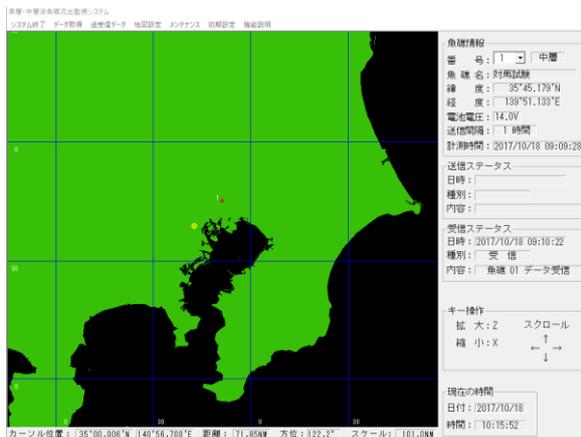


図 3-3-4 通信確認 (従来改良型)



図 3-3-5 通信確認 (新型)

3.3.2 振動試験

(1) 目的

使用部品の耐久性を確認するため、振動試験機による振動試験を行う。

(2) 試験日

従来改良型：平成 29 年 10 月 20 日

新型：平成 29 年 10 月 27 日

(3) 試験場所

従来改良型：福井県工業技術センター

新型：埼玉県産業技術総合センター 本所

(4) 試験条件

海上保安庁「光波標識用機器の性能に関する試験方法 温湿度サイクル」及び(財)日本航路標識協会「海上標識用灯器 JANA01-2009 耐環境試験」を参考に、波による振動を想定した試験条件を以下の通り設定した。試験終了後に通信を確認する。

- ・振動数範囲：10～150Hz、
- ・加速度：20m/s²、
- ・加振方向：水平方向および鉛直方向
- ・加振時間：各方向 10 サイクル（各 1 時間 15 分）

(5) 試験状況



図 3-3-6 従来改良型(左：水平方向、右：鉛直方向)



図 3-3-7 新型(左：水平方向、右：鉛直方向)

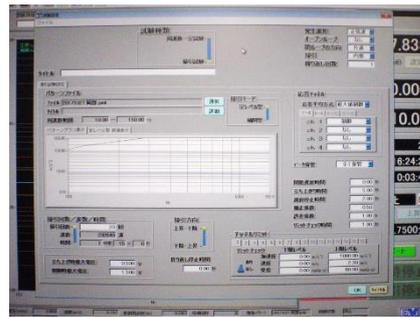
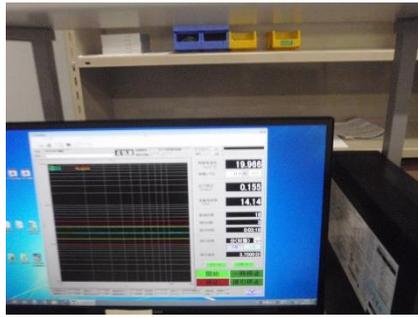


図 3-3-8 測定パソコン画面

(6) 試験結果

水平方向および鉛直方向の試験条件において、従来改良型および新型とも通信に異常がないことを確認した。

表 3-3-2 通信結果

機器名 (管理番号)	工程	位置情報		電池残量	警報発信時刻
		緯度	経度		
従来改良型	開始前	36° 07.253	136° 12.962	14.0V	2017年10月20日09時24分34秒
	鉛直方向試験後	36° 07.267	136° 12.949	14.0V	2017年10月20日12時57分04秒
	水平方向試験後	36° 07.247	136° 12.955	14.3V	2017年10月20日14時46分22秒
新型	開始前	35° 49.6484	139° 43.1345	6.2V	2017年10月27日12時37分15秒
	水平方向試験後	35° 49.6861	139° 43.1475	6.1V	2017年10月27日14時49分54秒
	鉛直方向試験後	35° 49.6655	139° 43.1480	6.2V	2017年10月27日16時43分37秒

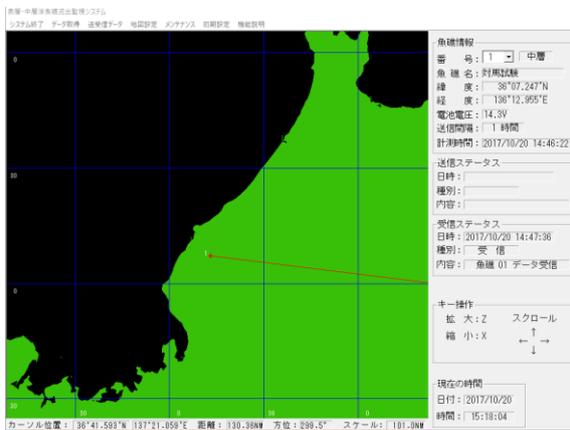


図 3-3-9 通信確認 (従来改良型)



図 3-3-10 通信確認 (新型)

3.4 機器内部調査

3.4.1 従来改良型

全試験終了後に分解観察したところ、漏水は見られず、電気系統についても正常な動作が確認された。付着物は防汚塗料の効果が持続しているため、警報装置の機能に影響を及ぼすような付着物は見られなかった。また、漏水原因となる事象である隙間腐食等は確認されず、パッキン、Oリング樹脂塗布の効果を確認した。電池残量は、回収後の実測値(3Ah)と理論値(2.87Ah)の差は5%以内であった。9年経過後の自己放電量は8.1Ah(30Ah×0.03×9)で、本試験での放電量を含めても電池容量の50%未満であるため、10年後も十分な電圧が得られると予測された。

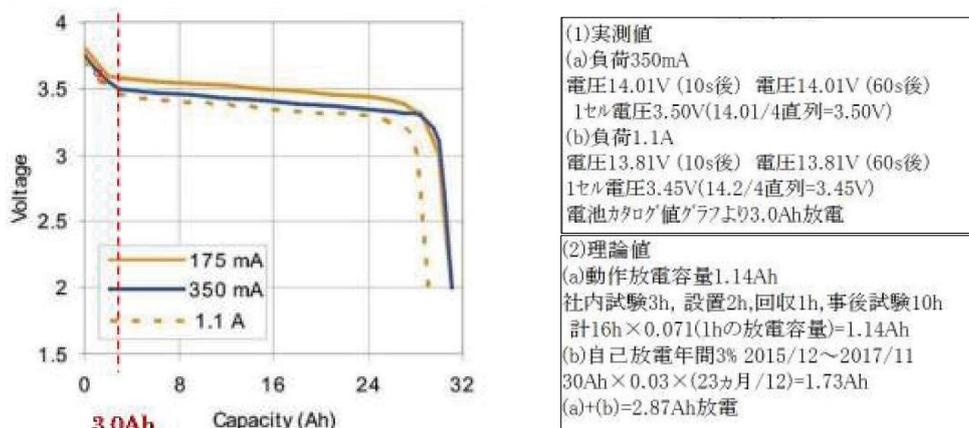


図 3-4-1 従来改良型の電池残量

3.4.2 新型

全試験終了後に分解観察したところ、漏水は見られず、電気系統についても正常な動作が確認された。電圧は初期電圧 6.7V から回収時 6.1V と低下しており、電池 1 本当たり平均 1.525V の電池残量であった。新型の終止電圧(動作不能となる電圧)は電池 1 本当たり 1.2V で設計しており、1.2V が新型の耐用年数 10 年後の電圧となる。電池メーカーの放電グラフ(図 3-4-2) から、1.2V (10 年後)の放電時間は約 75 時間であることから、理論上、1 年後の電圧は 7.5 時間(75 時間/10 年)の電圧: 約 1.4V となる。よって、実測値(1.525V)が理論値(1.4V)より上回っていることが確認された。

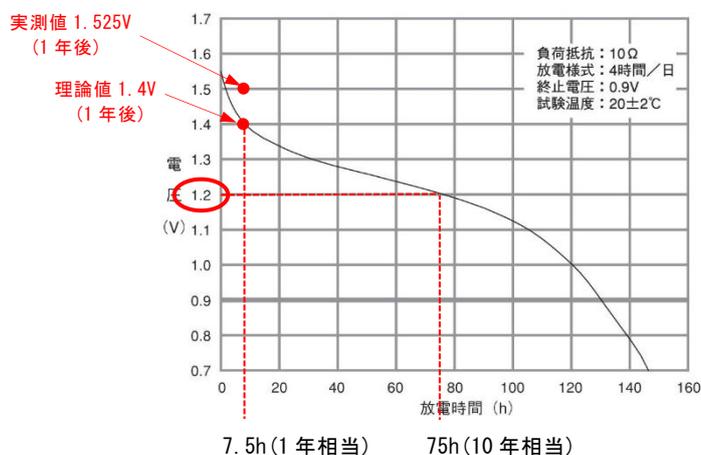


図 3-4-2 放電カーブ

3.5 付着生物環境下通信試験

従来改良型は、浮上時に付着物防止カバーが離脱する構造であることから、本試験にて付着生物の影響は検証しない。

(1) 目的

付着生物が流出警報発信機（新型）の通信機能に及ぼす影響を確認する。

(2) 試験条件

異なる3地区において以下の試験条件により、付着生物による通信への影響を確認した。

- ・10年間の付着生物相を対象とした通信試験を潮岬地区と日向灘地区で実施
- ・1年間の付着生物相を対象とした通信試験を対馬地区で実施

表 3-5-1 地区別による通信試験

設置地区	a) 対馬地区	b) 潮岬地区	c) 日向灘地区
付着年数	1年	10年	10年
試験日	平成29年9月13日	平成28年5月21日	平成29年2月2日
試験方法	回収直後の通信を確認する。流出警報発信機への付着生物の被度を測定する。	通信間隔を5分に設定し、各ケース6回(30分間)の通信試験を行う。 [試験条件] ・乾燥状態 ・湿潤状態	通信間隔を5分に設定し、各ケース6回(30分間)の通信試験を行う。 [試験条件] ・被度90% (湿潤状態 3cm厚) ・被度95% (湿潤状態 3cm厚)

(3) 試験結果

a. 対馬地区

1年の経過年数で100%の被度が確認された。数mm程度の厚さの薄膜(多毛類他)であれば100%の被度においても回収直後に通信を確認した。

表 3-5-2 測定結果

生物被度 (通信部表面)	100% (内フジツボ: 約43%) ※多毛類と思われる全面を覆う生物の名称は不明		
フジツボ測定値	空中重量: 2 kg	水中重量: 0.6kg (19 N/m ²)	比重: 1.5
	最大寸法	群体	幅5cm、長9cm、高4cm
		単体	φ5cm、高4cm

※通信部表面積: $S = (4\pi \times 0.224^2) / 2 = 0.315\text{m}^2$



図 3-5-1 調査前状態



図 3-5-2 採取状況(左: 採取後、中: フジツボ、右: 多毛類と思われる全面付着生物)



図 3-5-3 質量測定(左: 空中、中: 水中、右: 計測器)

b. 潮岬地区.

10年経過し回収された1cm程度の被覆厚（藻類・カイメン類）のフロートをイリジウム衛星通信装置に被せ通信を確認した結果、付着生物が乾燥状態（流出後を想定）および湿潤状態（流出直後を想定）において、受信確率が100%であることを確認した。



図 3-5-4 10年経過の付着状態

表 3-5-3 乾燥状態の付着生物での通信確認

通信回数	受信時刻	受信確認
1回目	14:27	○
2回目	14:32	○
3回目	14:37	○
4回目	14:42	○
5回目	14:47	○
6回目	14:52	○
受信確率 6/6		100%



図 3-5-5 乾燥状態

表 3-5-4 湿潤状態の付着生物での通信確認

（陸揚げ時に乾燥していたため、湿潤状態に戻すため薄紙を濡らしフロートを覆う）

通信回数	受信時刻	受信確認
1回目	14:30	○
2回目	14:35	○
3回目	14:45	○
4回目	14:52	○
5回目	14:55	○
6回目	15:00	○
受信確率 6/6		100%



図 3-5-6 湿潤状態

c. 日向灘地区.

10年経過し回収された1cm程度の被覆厚（カイメン類、ゴカイ類、フジツボ類）のフロート（2ケース）をイリジウム衛星通信装置に被せ通信を確認した結果、2ケースともに通信が確認された。両ケースにおける未受信(1回)については、イリジウム衛星の天空配置及び周辺環境の影響によるものと考えられる。



(左：回収された中層浮魚礁、右上：流出警報発信機、右下：付着物付試験機)

図 3-5-7 試験状況

表 3-5-5 1ケース（被度 90%での通信確認）

主な付着生物：カイメン類、ゴカイ類、フジツボ類

通信回数	受信時刻	受信確認
1回目	10:52	○
2回目	10:57	○
3回目	11:02	○
4回目	11:08	○
5回目	11:13	×
6回目	11:18	○
受信確率 5/6 83.3%		



図 3-5-8 被度 90%

表 3-5-6 2ケース（被度 95%での通信確認）

主な付着生物：カイメン類、ゴカイ類、フジツボ類

通信回数	受信時刻	受信確認
1回目	11:33	○
2回目	11:37	○
3回目	11:42	○
4回目	11:47	×
5回目	11:52	○
6回目	11:59	○
受信確率 5/6 83.3%		



図 3-5-9 被度 95%

4. まとめ

流出警報発信機の標準機能は、耐用年数（10 年間）において設置環境に耐えうること、管理情報（管理番号、位置情報、残電圧量、時刻）を陸上側に送信できることである。

本調査では、標準機能(表 4-1)を有する 2 機種 of 流出警報発信機を用いて、平成 28, 29 年度に評価項目(表 4-2)に準じた試験を実施し、防水性・耐久性・付着生物の影響に関して機能を確認した。

流出警報発信機の標準機能を満足するためには、このような試験を実施して評価項目を満足したものを採用することが適切である。

表 4-1 標準機能

条件		内容
環境条件	使用海域	衛星通信圏内
	耐温度	0℃ ～ 40℃
	耐水圧	30 気圧（水深 300m）以上
	耐用年数	10 年
通信諸元	送信データ	管理番号・位置情報・残電圧量・時刻
	通信間隔 （浮上後）	1 回 / 1 時間（標準） 陸上側監視機器からの操作により変更できること
電源諸元	電池寿命	10 年経過直後に浮上した場合でも 1 回/1 時間の通信間隔で約 200 時間以上の通信が可能であること
使用材料	耐腐食	金属部品による組立製品においては腐食し難い材料を用いること

表 4-2 評価項目と判定基準

防水性	<ul style="list-style-type: none"> ●加圧試験によって耐水圧 30 気圧以上を確認すること ●且つ実海域試験によって機器内部への浸水が無いことを確認すること
耐久性	<ul style="list-style-type: none"> ●実海域試験後の機器を用いた環境促進試験（温湿度促進試験、振動試験）によって使用部材および部品について 10 年の耐久性を確認すること
付着生物の影響	<ul style="list-style-type: none"> ●付着生物が通信に影響を及ぼさない機構を有していること （例えば、付着物防止キャップ機能など） ●または 10 年経過相当の付着生物状況下において通信を確認すること

中層浮魚礁流出事故軽減の手引き案

はじめに

回遊魚の蝸集効果が高く、また経済性も高い中層浮魚礁は漁業者からの要望も高く、平成13年度以降、水産基盤整備事業ではこれまでに342基（平成27年度調査）設置され、事業継続中である。一方で現在までに流出事故としては17基の報告がある。

流出事故の原因は、不明なものが多くあるが、係留索の経年劣化や波浪・潮流の影響も示唆される。また、係留索が切断され礁体が流出した場合にその位置を知らせる流出警報発信機が設置されているが防水性や耐久性に課題が残されていた。

水産庁では、平成28年度から平成29年度までの2年間で、水産基盤整備調査費により、実際の機器を用いた防水性・耐久性の検証試験を行い、事故事例から実現可能性のある流出事故抑制方法と流出事故影響軽減方法について検討整理し、流出事故軽減の手引きとしてとりまとめたところである。

中層浮魚礁の流出事故軽減にむけて、本手引きが一助となることを願う次第である。

平成30年3月

<中層浮魚礁の流出軽減技術の検討委員会>

■委員長

- 上北征男 福井県立大学名誉教授

■委員

- 大竹臣哉 福井県立大学海洋生物資源学部 教授
- 横山 純 長崎県水産部 参事監 (H28年度)
- 中村 隆 長崎県水産部 参事監

■水産庁

- 坂本清一 増殖推進部研究指導課海洋技術室 室長 (H28年度)
- 三野雅弘 増殖推進部研究指導課海洋技術室 室長
- 鏑木健志 // 課長補佐
- 神力義美 // 漁業復興推進官
- 岡崎遼太郎 // 先端技術班 経営指導係
- 松村貴子 // 資源増殖技術班 企画係長 (H28年度)
- 宮本博文 漁港漁場整備部計画課調査班 課長補佐
- 津田藤典 漁港漁場整備部計画課 係長 (H28年度)
- 戸瀬憲人 // 特定調査調整係員
- 不動雅之 // 整備課 設計班 課長補佐

■事務局

- 吉田儀弘 一般社団法人 マリノフォーラム21 (H28年度)
- 武田真典 一般社団法人 水産土木建設技術センター
- 山本秀一 株式会社 エコー
- 志賀隆顕 専門技術員
- 高橋延幸 専門技術員
- 青山 勸 専門技術員

目 次

第1章 手引きについて	1
1.1. 目的	1
1.2. 手引きの構成	1
1.3. 手引きの位置づけ	1
第2章 流出事故の実態・原因	2
2.1. 中層浮魚礁の構成	2
2.2. 事故の実態	6
1) 流出事故の分類	6
2) 流出後の流出警報発信機の作動状況	9
第3章 流出被害の軽減対策	12
3.1. 流出抑制対策	12
1) ハード対策	11
2) ソフト対策	14
3.2. 流出影響軽減対策	15
1) ハード対策	15
2) ソフト対策	20
■参考資料-1：中層浮魚礁流出事故事例一覧	23
■参考資料-2：流出警報発信機の作動確認例	40
■参考資料-3：海上保安庁の光波標識用機器の性能に関する試験方法 日本航路協会「海上標識用灯器耐環境試験」	47

第1章 手引きについて

1.1. 目的

本手引きは、中層浮魚礁の流出事故の抑制と流出時の影響軽減の観点から流出事故軽減対策についてとりまとめたものである。

1.2. 手引きの構成

本手引きは、流出事故軽減の方法について以下の構成で示すものである。

表 1-1 手引きの構成

章	内容
第1章	手引きについて
第2章	流出事故の実態・原因
第3章	流出被害の軽減に向けた課題と対応

1.3. 手引きの位置づけ

本手引きは、これまでの中層浮魚礁の流出事故の実態とその原因を踏まえ、流出事故の抑制と流出時の影響軽減の観点から流出事故軽減対策についてとりまとめたものであり、水産基盤整備事業で設置する中層浮魚礁について計画・設計および管理を実施する上でこの手引きを参考とする。

【解説】

1) 位置づけ

水産基盤整備事業で設置された中層浮魚礁は、これまでに 342 基（平成 27 年度調査）あり、現在も事業継続中である。一方で現在までに流出事故としては 17 基の報告がある。流出事故の原因は、不明なものが多くあるが、係留索の経年劣化や波浪・潮流の影響も示唆される。また、流出時に中層浮魚礁の位置を知らせるために礁体に設置される流出警報発信機には防水性・耐久性に課題が残されていた。

このため、流出を抑制する方法として係留索の補強、計画段階での調整、漁業者への周知、流出後の影響を軽減する方法として流出警報発信機、流出後の情報発信について、整理してまとめたものである。

2) 手引きの対象

ここに示す手引きは、水産基盤整備事業で設置される中層浮魚礁を対象としている。

第2章 流出事故の実態・原因

2.1. 中層浮魚礁の構成

中層浮魚礁の一般的な構成は、礁体、副係留索、主係留索、シンカーからなっており、礁体には流出警報発信機（発信側）、ソナーレフレクターを備えている。

【解説】

1) 中層浮魚礁の礁体

中層浮魚礁は礁体の構造から図 2-1 に示すような剛体と柔体のタイプに分類され、両機ともに礁体上部には何らかの原因によって係留索が切断して礁体が海面上に浮上し流出した場合に速やかな礁体の発見・回収を行うための流出警報発信機とソナーレフレクターを備えている。

礁体とシンカーを連結する係留索は高強度特殊合繊ロープが使用され、漁具との擦れなどを考慮して係留索の一部または全部を補強している。表 2-1 に中層浮魚礁設置事業を実施している 8 県における係留索の補強方法と補強状況を示す。これによると副係留索と上部係留索は補強して設置されている。係留索の補強の長さは各県における操業形態や設置水深により発注者が適宜設定している。図 2-2 に補強方法の例を示す。

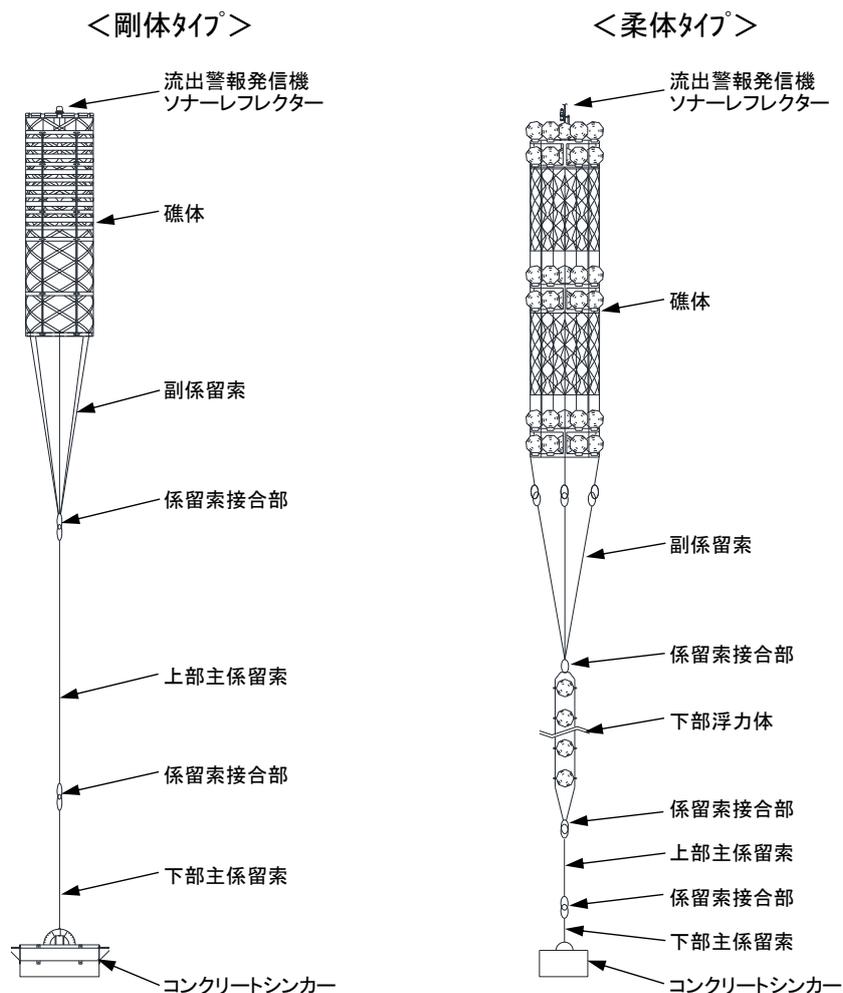


図 2-1 中層浮魚礁のタイプ

表 2-1 係留索の補強対策の状況

県	水深区分	補強方法	補強状況	副	上	下
①	深海	樹脂被覆	礁体下部から 600m を補強	○	○	×
②	深海	ワイヤー外装	礁体下部から 330m を補強	○	○	×
③	浅海	ワイヤー外装	全長を補強	○	○	×
	深海	ワイヤー外装	礁体下部から 300m を補強	○	○	×
④	浅海	ワイヤー外装	全長を補強	○	○	×
⑤	浅海	ワイヤー外装	全長を補強	○	○	×
⑥	深海	ワイヤー外装	礁体下部から 200m を補強	○	○	×
⑦	深海	ワイヤー外装	礁体下部から 550m を補強	○	○	×
⑧	深海	ワイヤー外装	礁体下部から 500m を補強	○	○	×

水深区分：浅海とは水深 200m 程度以下、深海とは水深 200m 程度以上とした。

副：副係留索、上：上部主係留索、下：下部主係留索、○：補強有、×：補強無



図 2-2 補強方法の例（左：樹脂被覆、右：ワイヤー外装）

2) 流出警報発信機

流出警報発信機は、礁体が海面上に浮上し流出した場合に速やかな礁体の発見・回収を行うための機器で、水産環境整備事業において実績があるのは 2 種類（A 社製と B 社製）である。それぞれの流出警報発信機の概要を表 2-2 に示す。

A 社製は金属部品の組立製品で最新の防食技術により水密性を確保し、流出時における機械の作動は圧力センサースイッチとフロートスイッチの稼働によって制御される機器である。本機は平成 13 年に開発された機器で、現在までに防水性・耐久性の観点および通信技術の発展に適宜対応した改良が行われた機器である。

B 社製は耐圧フロートの内部に通信機器を配置することで水密性を確保した機器で、水中においても通信装置は常時作動している機器である。本機は平成 28 年に開発された機器である。

参考として、流出警報発信技術のシステム改良の経緯と内容を表 2-3 に示す。流出警報発信技術の運用は平成 13 年から始まっている。

表 2-2 現行の流出警報発信機の概要

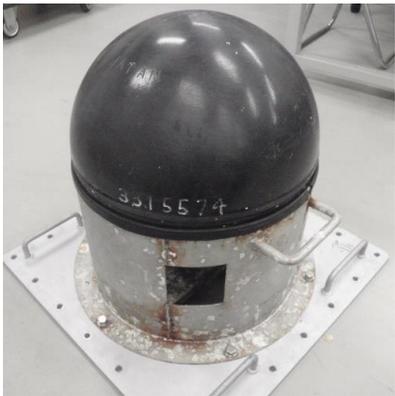
名 称		技術 A	技術 B
特 徴		金属部品の組立製品で最新の防食設計により水密性を確保	耐圧フロートの内部に通信機器を配置することで水密性を確保
環境条件	使用海域	イリジウム衛星通信圏内	イリジウム衛星通信圏内
	耐圧	30 気圧(水深 300m)	30 気圧(水深 300m)
	耐温度	0℃ ~ +40℃	-20℃ ~ +60℃
制 御	起動	<ul style="list-style-type: none"> 海面浮上時および浮上後、2 系統(圧力、フロート)のセンサー作動による起動 安全性を高めるため 2 重の起動方法である。 	<ul style="list-style-type: none"> 沈設前に手動で起動 海中では常に通信装置が動作 浮上後は 1 時間毎に通信動作
	記録	漏水を検知する水位ロガーを搭載	通信動作をロガーにて記録
通信諸元	送信データ	時刻、緯度経度、電源電圧	時刻、緯度経度、電源電圧
	通信間隔(浮上後)	1 回/1 時間(変更可能)	1 回/1 時間 (変更可能)
電源諸元	電池種類	リチウム電池	アルカリ電池
	電池寿命	浮上後、1 回/1 時間の通信間隔の場合、約 200 時間以上の通信動作が可能。	10 年経過後に浮上した場合でも 1 回/1 時間の通信間隔で約 480 時間(20 日間)の通信動作が可能。
諸元	寸法	φ 270mm×720mm	φ 448mm
	全質量	約 27kg	約 20kg
	外観		
備考	<p>技術 A の機器制御系統の概念</p> <pre> 流出事故発生 → スイッチ作動：浮上中（圧力センサー）・浮上後（フロート） → 電源部作動 → 通信機作動（GPS衛星・イリジウム衛星と送受信開始） → フラッシュライト作動（→夜間点滅） → ガス噴出（→付着物防止カバー離脱） </pre>		

表 2-3 流出警報発信技術のシステム改良の経緯

タイプ	年度	内容	備考
①	H13	HF 方式中層浮魚礁流出警報発信機	 
②	H14	オーブコム方式中層浮魚礁流出警報発信機	
③	H16	通信性能向上のためオーブコムアンテナを変更 アンテナ外出方式へ変更	 
④	H17	オーブコム端末製造中止に伴い、端末変更 PANASONIC 製⇒QUAKE 製の端末へ変更	
⑤	H18	オーブコム方式中層浮魚礁流出警報発信機にフラッシュライトを内蔵	 
⑥	H22	<ul style="list-style-type: none"> ・圧力センサーの信頼性向上と冗長性確保への改良：信頼性向上を目的に圧力センサーの構造を見直し、且つ冗長性を確保する目的で新たにフロートスイッチ（磁気近接スイッチ）を追加 ・長期性能維持を目的に機構向上（孔食・隙間腐食等の抑止）への改良：金属類直接接触部の廃止（パッキン実装，接着剤塗布）、本体結合部への海水接触防止（スクリューキャップ） 	
⑦	H23	使用する衛星を変更 オーブコム衛星⇒イリジウム衛星 アンテナ内蔵方式へ変更	
⑧	H28	技術 A: 内部浸水を防ぐ機構へ上記機種を改良し、防水性・耐久性能を向上 技術 B: 新規開発	

2.2. 事故の実態

中層浮魚礁の流出事故は平成 29 年 12 月時点において 17 基の報告がある。17 基のうち 16 基が係留索の切断による流出事故で、1 基は中層浮魚礁（シンカー含む）が浅い水深帯に移動されたことによる流出事故である。

【解説】

流出事故の概要と流出後の流出警報発信機の作動状況について示す。

1) 流出事故の概要

流出事故については、平成 29 年 12 月時点において 17 基の報告がある。これらについて、流出までの期間（設置期間）、切断箇所、切断原因を表 2-4 に示す。

表 2-4 流出事故の概要

事例 NO.	設置期間*1	切断箇所	切断状況
A	1 年 9 ヶ月	副係留索	鋭利なものによって副係留索の礁体から 3m 部が切断
B	2 年 6 ヶ月	上部係留索	鋭利なものによって上部主係留索の礁体から 390m 部が切断
C	1 ヶ月以内	シンカー直上	シンカー角部との接触によって下部主係留索のシンカー直上 1.4m 部が切断
D	1 ヶ月以内	上部係留索	角のある物体との接触により上部主係留索の礁体から 47m 部が切断
E	1 ヶ月以内	上部係留索	角のある物体との接触により上部主係留索の礁体から 117m 部が切断
F	9 ヶ月	上部係留索	横方向からの強い力によって上部主係留索の礁体から 16m 部が切断
G	1 年 1 ヶ月	上部係留索	上部主係留索に何かが巻き付き捻られることによって上部主係留索の礁体から 2.6m 部が切断
H	(5 年 6 ヶ月)	切断なし	何らかの外力によってシンカーごと中層浮魚礁が浅海域に移動
I	5 ヶ月	副係留索	鋭利なものによって副係留索 4 本が切断
J	4 年 5 ヶ月	下部係留索	鋭利なものによって下部主係留索のシンカーから 388m 部が切断
K	7 年 7 ヶ月	下部係留索	鋭利なものによって下部主係留索のシンカーから 549m 部が切断
L	7 年 5 ヶ月	上部係留索	鋭利なものによって上部主係留索の礁体から 54m 部が切断
M	(4 年 2 ヶ月)	不明	
N	(7 年 5 ヶ月)	シンカー直上	鋭利なものによって下部主係留索のシンカー直上 1.7m 部が切断
O	(8 年 2 ヶ月)	上部係留索	鋭利なものによって上部主係留索の礁体から 48m 部が切断
P	(3 年 2 ヶ月)	不明	
Q	(6 年)	連結部	想定外の自然条件に起因する摩耗によって副係留索と主係留索の連結部で切断

* 1：設置後から流出までの期間を表示、ただし流出時期が不明の事故は回収までの期間として()で示した。

(1) 流出までの期間（設置期間）

流出した 17 基の事例について、流出事故が発生するまでの期間を図 2-3 に示す。設置後 1 年以内の中層浮魚礁の流出が 5 基と最も多く、そのうち 3 基は設置後 1 ヶ月以内の流出である。

設置後間もない時期の流出事故は、角のある物体や鋭利なものによる切断が主な原因で、係留索の経年劣化の影響は低いと考えられることから、設置海域で操業する漁業者への計画段階での情報と設置後の位置情報の周知活動の不足が原因と考えられる。

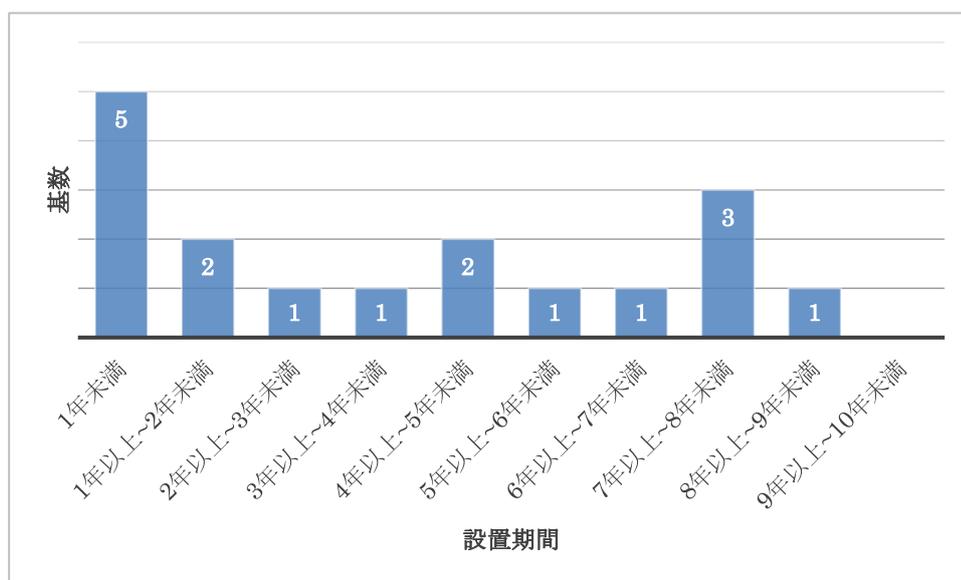


図 2-3 設置後流出事故までの期間

(2) 係留索の切断状態及びその原因を踏まえた各部位の基本的な対策の考え方

係留索の切断状態は、上部主係留索では7基が鋭利なものや角のある物体との接触によって切断し、副係留索でも上部主係留索と同様な原因で2基が切断、下部主係留索でも同様な原因で4基（うちシンカー直上が2基）が切断した。係留索の連結部では1基が自然条件による摩耗によって切断した。係留索の切断状態及びその原因について表2-5に整理して示す。各部位の基本的な対策の考え方を以下に示す。

● 上部主係留索・副係留索

上部主係留索と副係留索は、設置水深や海域における操業形態等から補強された係留索を使用していることから、対策として現行補強を継続する。ただし繰り返し切断事故が発生する場合には、原因調査を実施するとともに操業実態等を踏まえた検討を行い、現行の補強材料を量的に増加させるや耐切削性素材による追加補強を施すことで流出軽減対策が可能である。

● 下部主係留索

下部主係留索は上部主係留索・副係留索のような補強が施されていないことから、上部主係留索の補強方法と同様に補強することを基本とする。補強する長さについては切断箇所となった水深や海域における操業形態から適切な範囲を設定する必要がある。

シンカー直上部における切断事故が発生していることから、シンカー直上の係留索部は保護資材によるカバーや鋼製素材による保護などの適切な補強対策を行うこととする。

● 連結部

上部主係留索と副係留索の連結部において想定外の自然現象に起因する共振によって切断事故が発生したことから、係留索の連結部は適切な補強を実施することで流出軽減対策が可能である。

表 2-5 係留索の切断箇所状況と基本的な対策の考え方

係留索	切断箇所	事例数	切断状況	現状の補強方法	ハード対策の考え方
上部主係留索及び副係留索	上部主係留索	7基	鋭利なものによる切断(図①)や、角のある物体との接触(図②)が多い	ワイヤ外装	現状の補強継続
	副係留索	2基	鋭利なものによる切断(図①)	ワイヤ外装	現状の補強継続
下部主係留索	下部主係留索	2基	鋭利なものによる切断(図①)	補強無し	上部主係留索と同様の補強(p12・13)
	シンカー直上部	2基	鋭利なものによる切断(図①)とシンカー角部との接触による切断(図③)	補強無し	係留索の保護又は鋼製素材の使用(p13)
連結部	副係留索と上部主係留索の連結部	1基	自然条件による摩耗によって切断(図④)	ワイヤ外装	連結部の補強(p14)
不明		2基	—	—	—
切断なし		1基	—	—	—



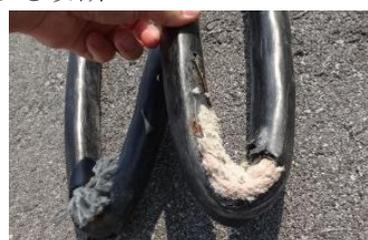
図① 鋭利なものによる切断



図② 角のある物体との接触による切断



図③ シンカー角部との接触による切断



図④ 摩耗による切断

2) 流出後の流出警報発信機の作動状況

流出後の流出警報発信機の作動状況を表 2-6 に示す。流出事故 17 基のうち、流出警報発信機未搭載 1 基を除く 16 基の中で流出警報発信機の作動状況が確立した事例は 4 基である。作動状況が確立しなかった事例において機構および水密性の状況が事後調査によって確認された 14 基は以下のような状況である。

- 機構が正常であった事例は 1 基で、何らかの不具合が発生した事例は 13 基である。
不具合の内容としては、組立部材の腐食等による海水の機器内部への浸水、機構の不具合、付着生物による機構の不作動があげられる。
- 水密性が確保された事例は 8 基で、機器内部に浸水があった事例は 6 基である。

以上のように流出警報発信機の機能を供用年数の間保持するためには防水性、耐久性、付着生物の影響に関する確保が重要である。

なお、17 基の流出事故によって船舶との衝突や定置網への被害、環境汚染発生などは発生しておらず、流出警報システムは不作動であったが浮魚礁浮体部は全て回収済みである。

表 2-6 流出警報発信システムの作動状況

事例 NO	技術 Aの タイプ	流出警報発信機			
		通信	機構	水密性	状況
A	①	×	×	○	付着物によって圧力センサーが作動しなかったことから通信は確立しなかった。
B	②	○	×	○	付着物防止カバー離脱用ガスが原因不明で漏れていたことからカバーが外れなかったことから通信は確立したが不安定であった。
C	⑤	×	×	○	機構が正常に作動せず付着物防止カバーが離脱しなかった。また原因は不明であるが通信は確立しなかった。
D	⑤	○	×	○	機構が正常に作動せず付着物防止カバーは離脱しなかったが、通信は確立した。
E	⑤	○	×	○	機構が正常に作動せず付着物防止カバーは離脱しなかったが、通信は確立した。
F	⑤	×	×	○	圧力センサーの部品不具合によりスイッチが作動せず通信は確立しなかった。
G	⑤	×	×	○	圧力センサーの部品不具合によりスイッチが作動せず通信は確立しなかった。
H	①	○	○	○	通信は確立したが、アンテナ竿が破損していたことから電波の到達範囲が狭い状況であった。
I	⑤	×	—	—	外的要因により流出警報発信機が破損していた。
J	①	×	×	×	流出警報発信機の組立部材の腐食により海水が機器内部に浸水し内部機器が破損したことから通信が確立しなかった。
K	①	×	×	×	流出警報発信機の組立部材の腐食により海水が機器内部に浸水し内部機器が破損したことから通信が確立しなかった。
L	②	×	—	—	原因調査未実施。
M	⑤	×	×	×	海中で付着物防止カバーが離脱し、機器内部に海水が浸水し内部機器が破損したことから通信が確立しなかった。
N	⑤	×	×	×	流出警報発信機の組立部材の腐食により海水が機器内部に浸水し内部機器が破損したことから通信が確立しなかった。
O	⑤	×	×	×	付着物防止カバーと本体の隙間から海水が浸水し内部機器が破損したことから通信が確立しなかった。
P	⑥	×	×	×	海中で付着物防止カバーが離脱し、機器内部に海水が浸水し内部機器が破損したことから通信が確立しなかった。
Q	未搭載	—			流出警報発信機未搭載。

事例 NO は参考事例に準ずる。

技術 A のタイプは表 2-3（流出警報発信機の改良の経緯）に準ずる。

通信：○は流出警報発信システムが正常に作動、×は作動せず

機構：○は正常に作動、×は作動せず

※機構の作動とは、流出警報発信機の機器制御系統の中で、通信機作動機構、フラッシュライト作動機構、ガス噴出機構の状況を示す。

水密性：○は機器内部への浸水無し、×は機器内部に浸水

第3章 流出被害の軽減対策

3.1. 流出抑制対策

中層浮魚礁の流出抑制対策としては、係留索部の補強対策を行うハード対策に加えて、計画・施工段階および施工後での近隣県との調整、漁業者への周知等のソフト対策を行う。

【解説】

ハード対策は、中層浮魚礁の構造上の弱点、操業形態や設置水深から係留索（上部主係留索、副係留索、下部主係留索、連結部）を適切に補強することを基本とする。

ソフト対策は、礁体の流出原因として漁具等による摩耗や、漁具を誤って絡めたことが懸念されることから、このような事故を防止するため、計画・施工段階・施工後での調整、漁業者への周知を実施することを基本とする。

1) ハード対策

係留索部位別のハード対策を以下に示す。

- 上部主係留索・副係留索

上部主係留索と副係留索は、設置水深や海域における操業形態等から補強された係留索を使用している。基本的な対策として樹脂被覆やワイヤー外装による現行補強を継続する。

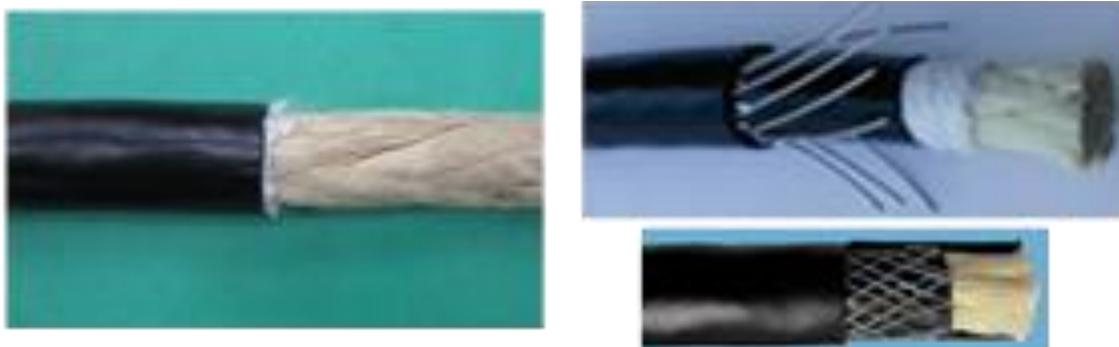


図 3-1 係留索の補強対策（左：樹脂被覆、右：ワイヤー外装）

- 下部主係留索

下部主係留索は上部主係留索・副係留索のような補強が施されていないことから、上部主係留索の補強方法と同様に補強することを基本とする。補強する長さについては切断箇所となった水深や海域における操業形態から適切な範囲を設定する。

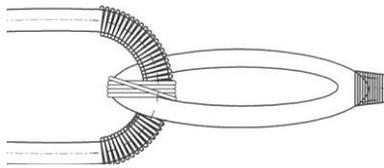
シンカー直上部における切断事故が発生していることから、シンカー直上の係留索部は保護資材によるカバーあるいは鋼製素材による保護など適切な補強対策を行うこととする。



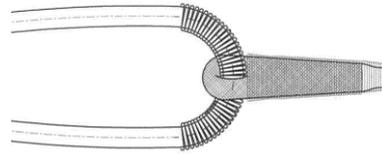
図3-2 シンカー直上の下部主係留索の補強対策
 (左：保護カバーによる補強、右：鋼製素材でシンカーと連結する補強)

- 連結部

上部主係留索と副係留索の連結部において想定外の自然現象に起因する共振によって切断事故が発生したことから、係留索の連結部は適切な補強を実施することとする。



連結部を索などで固定



連結部の環を小さく加工

図 3-3 一体的な結合方法による補強対策

2) ソフト対策

(1) 計画段階での調整

中層浮魚礁の設置予定海域について、底曳、巻網、延縄など、既に面的に利用されているところもあり、設置するに当たり、関係漁業者への事前調整が必要である。

水産庁漁港漁場整備部では、漁場整備が漁場紛争を継続させ、あるいは惹起することのないよう事前当該海域を利用している漁業者及び当該海域を利用できる許可・免許」を有する漁業者に対する調整結果（特に他都道府県との調整）について重点的に事業基本計画策定時から段階的にその状況を確認する（27水港第3247号平成28年3月29日；水産庁漁港漁場整備部長，漁場整備における関係漁業者等との調整状況の確認について）。また、情報共有を徹底するためには、施工前に関係者に再度周知することを基本とする。

(2) 施工後の周知

中層浮魚礁設置後は、設置位置を関係漁業者・周辺海域航行船舶・海上保安部などに周知させる効果的な普及啓発を行い、接触等による流出リスクの軽減を図る必要がある。周知の実施例として各県が公表している情報を表3-3に示す。また、協議会を立ち上げ位置を周知したり、利用方法を話し合ったり、保守管理を行っている地域もある。

表3-3 浮魚礁設置位置の確認方策例

沖縄県	http://www.pref.okinawa.jp/reiki/40890250070300000000/408902500703000000/40890250070300000000.html
鹿児島県	https://www.pref.kagoshima.jp/af06/sangyo-rodo/rinsui/kokyo/gyozyo/gyosyo-ichizu_40340.html
宮崎県	https://blogs.yahoo.co.jp/miyazaki_prefecture/26687191.html
長崎県	https://www.pref.nagasaki.jp/shared/uploads/2013/07/1424841312.pdf
高知県	http://www.pref.kochi.lg.jp/soshiki/040409/files/2014032804763/2014032804763_www_pref_kochi_lg_jp_uploaded_attachment_114428.pdf
和歌山県	http://wave.pref.wakayama.lg.jp/gyoshou/
三重県	http://www.mpstpc.pref.mie.lg.jp/SUI/shigen/ukigyo/Hp/index.htm
神奈川県	http://www.pref.kanagawa.jp/cnt/f790/p837075.html

3.2. 流出影響軽減対策

中層浮魚礁の流出影響軽減対策は、浮魚礁に適切な手法により供用年数の間作動することが確認された流出警報発信機を搭載し、陸上側には流出警報発信機から送信された流出情報を受信する監視装置を設置するハード対策に加えて、流出後の情報発信への連絡体制を整えるソフト対策を実施する。

【解説】

ハード対策としての流出警報発信機は、設置海域の気象・海象等の自然条件に耐えうる機器であり、且つ適切な手法により供用年数の間作動することが照査された機器を搭載することとする。また、陸上側には流出情報を受信して監視するとともに流出警報発信機の通信間隔を制御できる監視装置を設置することとする。

ソフト対策は、管理者は中層浮魚礁の設置海域を利用・航行する関係各所への連絡体制を整え、流出事故が発生した場合は速やかに周知することにより航行船舶への安全確保に努める。

1) ハード対策

(1) 流出警報発信機

流出警報発信機の標準機能は、供用年数（10年間）において設置環境に耐えうること、流出情報（管理番号、位置情報、残電圧量、時刻）を陸上側に送信できることとする。標準機能を表 3-4 に示すとともに、標準機能を照査する評価基準を表 3-5 に示す。

表 3-4 標準機能

条 件		内 容
環境条件	使用海域	衛星通信圏内
	耐温度	0℃～40℃
	耐水圧	30 気圧(水深 300m) 以上
	供用年数	10 年
通信諸元	送信データ	管理番号・位置情報・残電圧量・時刻
	通信間隔(浮上後)	1 回/1 時間 (標準) 陸上側監視機器からの操作により変更できること
電源諸元	電池寿命	10 年経過直後に浮上した場合でも 1 回/1 時間の通信間隔で約 200 時間以上の通信が可能であること
使用材料	耐腐食	金属部品による組立製品においては腐食し難い材料を用いること

表 3-5 評価項目と判定基準

項目	判定基準
防水性	● 加圧試験によって耐水圧 30 気圧以上の環境下において動作すること。
耐久性能	● 実海域試験（後述）を終えた機器を用いた環境促進試験（温湿度促進試験、振動試験）によって使用部材および部品について 10 年の耐久性を有すること
付着生物の影響	● 10 年経過相当の付着生物環境下における通信を有すること

流出警報発信機の標準機能は、加圧試験、実海域試験、環境促進試験（温湿度促進試験、振動試験）、付着生物環境下試験を行うことで照査することができる。

評価項目と試験の関係を図 3-4 に、試験方法の概要を表 3-6 に、試験の実施フローを図 3-5 に示す。なお、流出警報発信機の作動確認事例を巻末の参考資料-2 に示す。

流出警報発信機の標準機能を検証するためにはこのような試験を実施して評価基準を満足したものを採用することとする。

流出警報発信機の機能の保守点検に際しては、「中層浮魚礁流出警報発信機 保守管理の手引き(案) ; マリノフォーラム 21 (2015)」を参考することができる。

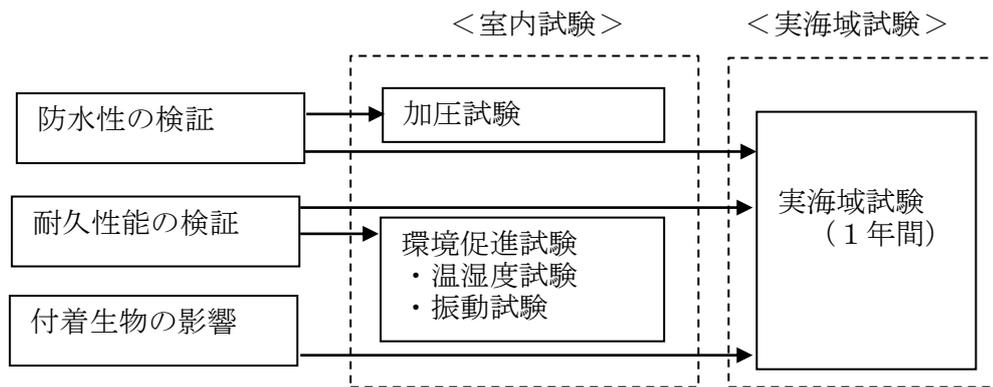


図 3-4 評価項目と判定試験の関係

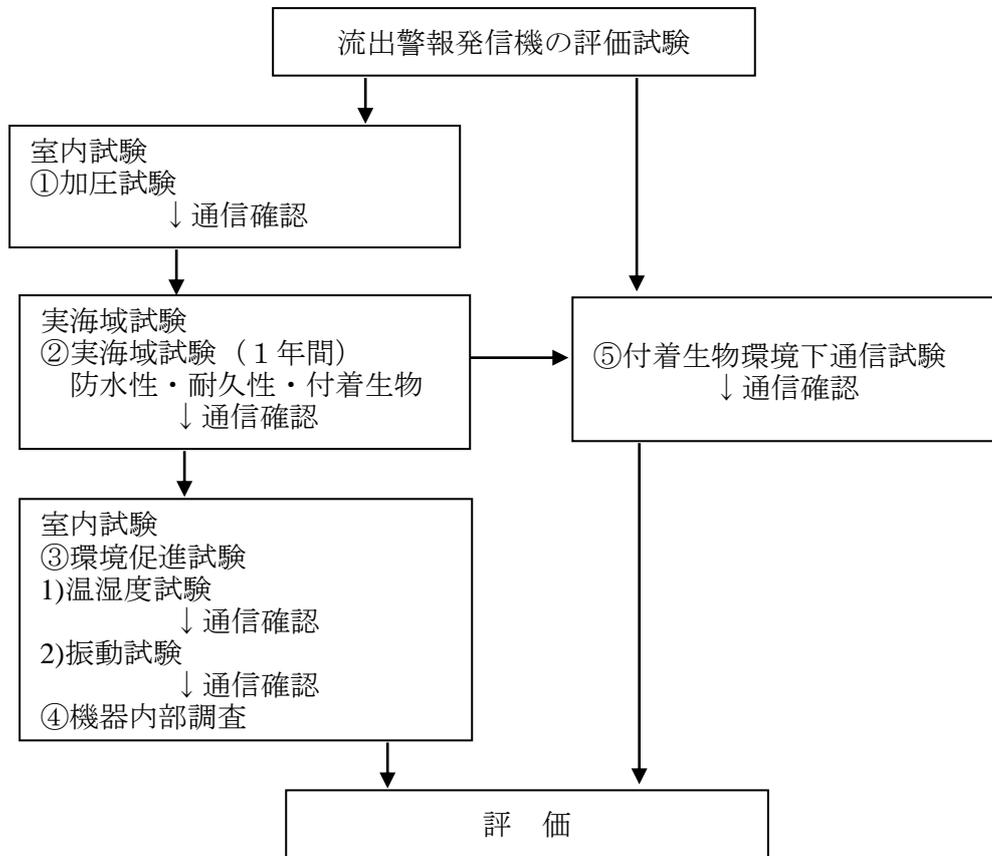


図 3-5 試験実施フロー

表 3-6 試験方法の概要

試験名	試験方法
a) 加圧試験	・ 高圧実験水槽における加圧試験によって水密性を確認する。
b) 実海域試験	・ 室内試験により防水性・耐久性能が確認された流出警報発信機を用いて、実海域に 12 か月間以上放置し、回収直後に通信を確認する。
c) 環境促進試験	・ 温湿度促進試験 恒温恒湿槽における温湿度促進試験を行い試験終了直後に通信を確認する。 ・ 振動試験 振動試験機による振動試験を行い、試験終了直後に通信を確認する。
d) 機器内部調査	a)、b)、c)の試験終了後は流出警報発信機を分解して機器内部の部材状態を調査して部材の劣化の劣化がないことを確認する。
e) 付着生物環境下通信試験	設置予定海域における 10 年後の付着生物状況を再現した想定通信試験を行い通信を確認する。

※試験方法の詳細については、「参考資料-2：流出警報発信機の作動確認事例」を参考とする。

※c)試験については、海上保安庁「光波標識用機器の性能に関する試験方法」及び(財)日本航路標識協会「海上標識用灯器 JANA01-2009 耐環境試験」に準ずる。(参考資料-3)

※d)調査については、参考として技術Aと技術Bで実施した項目を表 3-7 に示す。

表 3-7 機器内部調査の内容

(技術 A)

No.	項目	検査方法	評価内容	
1	外観	付着物	計測	被度による受信の有無
		損傷	目視及び計測	損傷状態による受信の有無
2	分解個体	浸水	計量	水密構造の妥当性
		カバー、電池ケースの状態	損傷・外れ等の観察	組立方法および選定部材の妥当性
		GPS/通信ユニットの腐食	腐食程度の観察	耐圧容器内の環境
		カバー部の状態確認	ゆるみの観察	固定方法の妥当性
		配線の状態	損傷・結束の観察	配線位置の妥当性
3	電気性能	電氣的総合動作	起動	通信確認
		電池残量調査	計測	設計との比較、10年後の電池残量の予測

(技術 B)

No.	項目	検査方法	評価内容	
1	外観	レドーム付着物確認	目視観察、計測	レドーム脱落への影響考察
		生物付着防止袋への付着物確認	目視観察、計測	圧力スイッチ動作への影響考察
		ポートスイッチへの付着物確認	目視観察、計測	ポートスイッチ動作への影響考察
		損傷確認	目視観察、計測	損傷状態による通信、漏水への影響考察
2	分解個体	漏水、結露	目視観察、シカゲル観察	電気機械動作への影響考察
		すきま腐食・孔食の有無確認	目視観察、計測	漏水への影響考察
		パッキンの劣化状況確認	目視観察、硬度計測	漏水への影響考察
		ワッシャーホルムの腐食、損傷確認	目視観察	漏水への影響考察
		スクリューキャップ損傷確認	目視観察	漏水への影響考察
		内部機器の腐食、損傷	目視観察	電気機械動作への影響考察
3	電気性能	電氣的総合動作	流出警報機同時に確認	通信確認
		電池残量調査	警報ゲートにて確認	電圧確認、設計との比較
		機械的総合動作	流出警報機同時に確認	レドーム脱落動作の確認

(2) 監視装置

監視装置に要求される標準機能は、流出情報の受信後に流出警報発信機の通信間隔を制御できること、通信網を利用して複数の登録端末（携帯電話、パソコン）に流出情報を発信できることを基本とする。なお、設置後の監視装置は着実に作動するように装置の管理やソフトの更新に留意することとする。

2) ソフト対策

(1) 流出後の情報発信

① 緊急連絡体制

管理者は、「海域利用者への周知」及び「担当海上保安部への速報」を速やかに実施するための緊急連絡体制を整えることを基本とする。緊急連絡体制の一例を図 3-6 に示す。

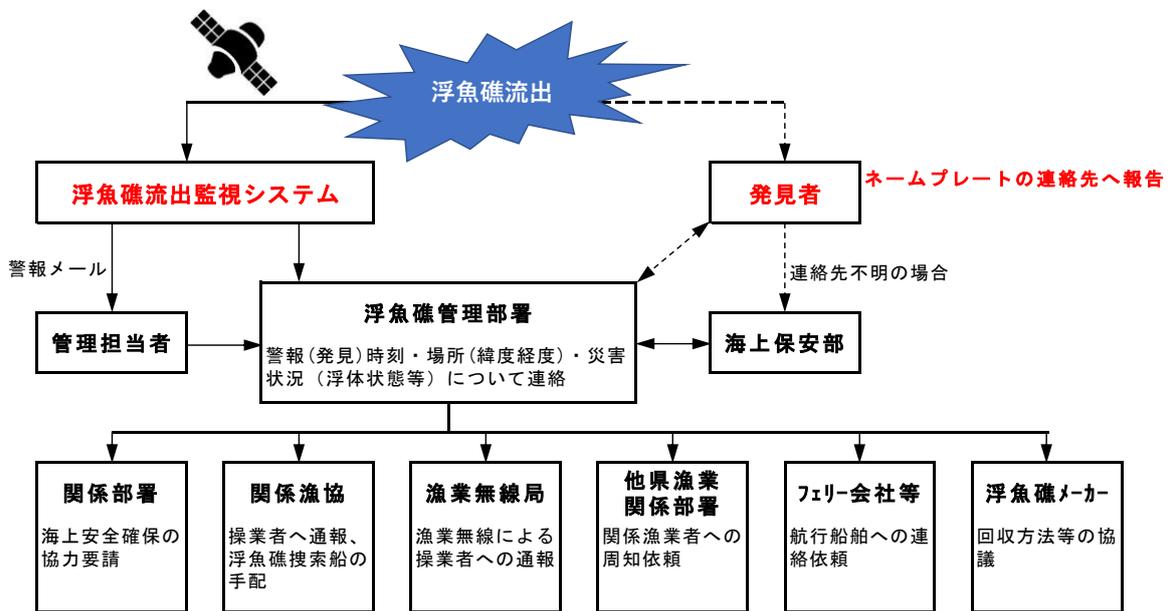


図 3-6 緊急連絡体制表
(自治体の実施事例より作成)

② 浮魚礁流出監視システム

管理者は、流出警報発信機から送信される流出情報について、緊急連絡体制を通じて関係者に情報を提供する必要がある。流出時の警報システムの構成を図 3-7 に示すとともに監視装置のイメージを図 3-8 に示す。

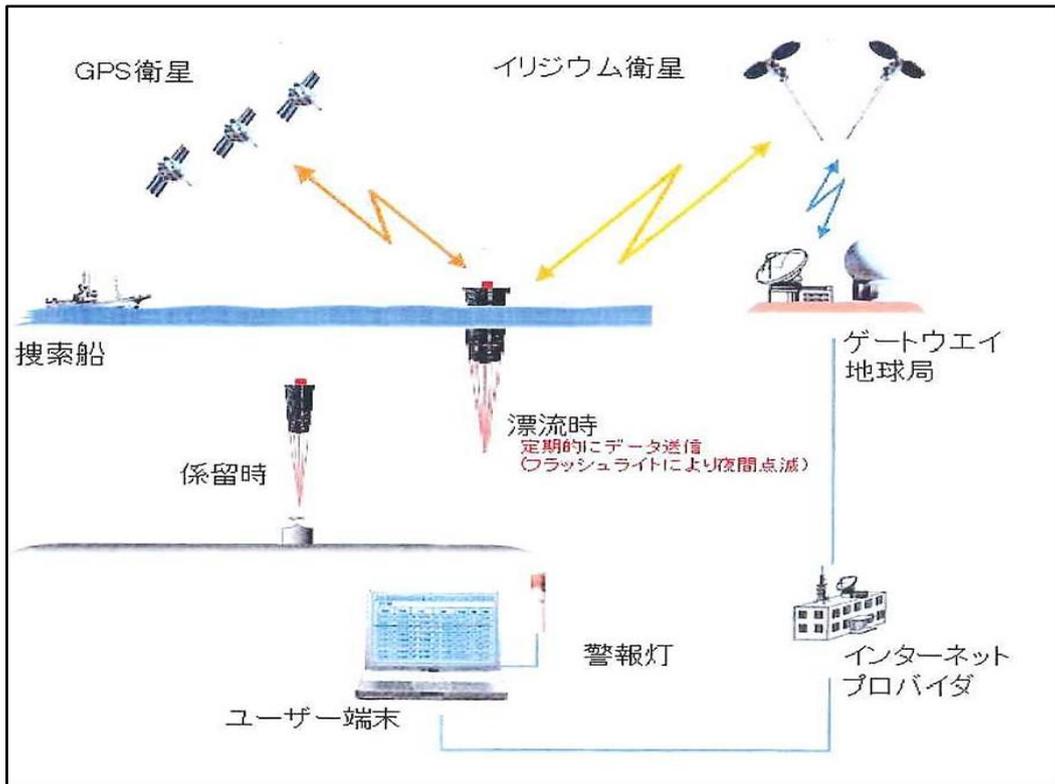


図 3-7 警報システム構成図

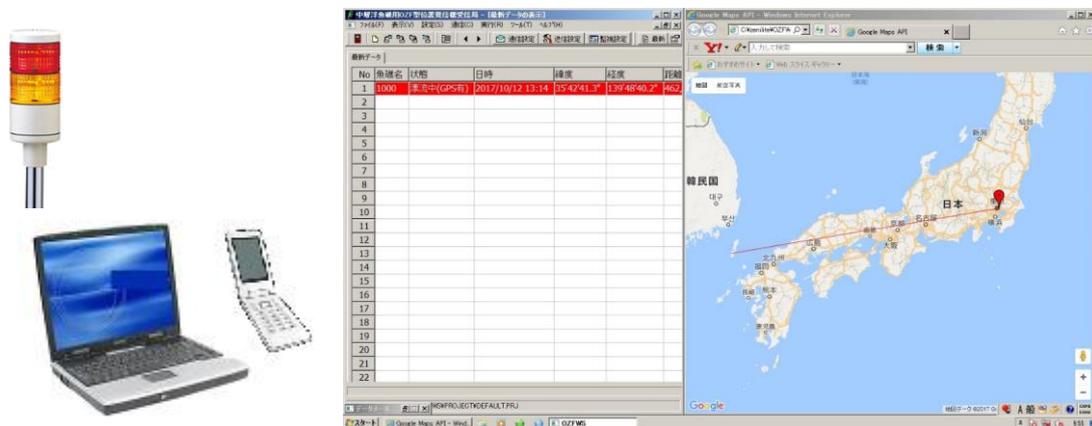


図 3-8 監視装置のイメージ (左: 監視機器及び警報灯、右: 監視画面)

(2) 浮魚礁へのネームプレートの設置

管理者は、流出した浮魚礁の発見者が速やかに管理者へ連絡できるよう、連絡先を記したネームプレートを装着させなければならない。また、ネームプレートは海上において発見されやすい位置に装着することとする。

ネームプレートの一例を図 3-9 に示す。

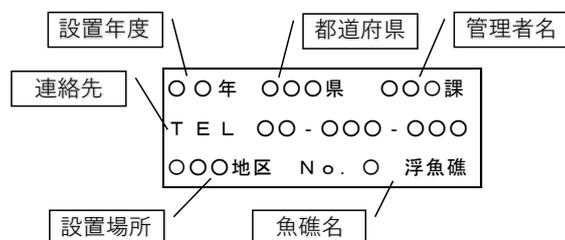
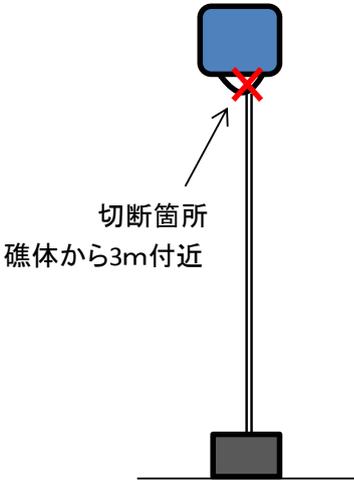
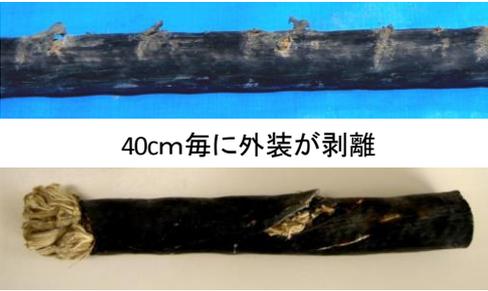
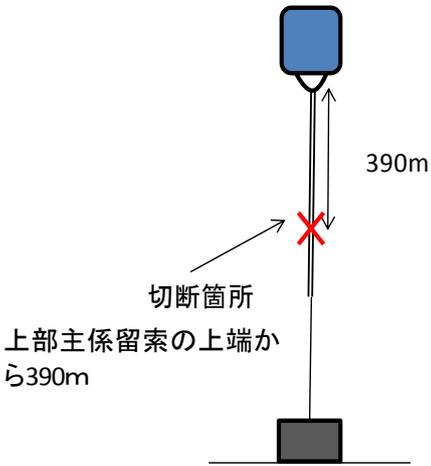
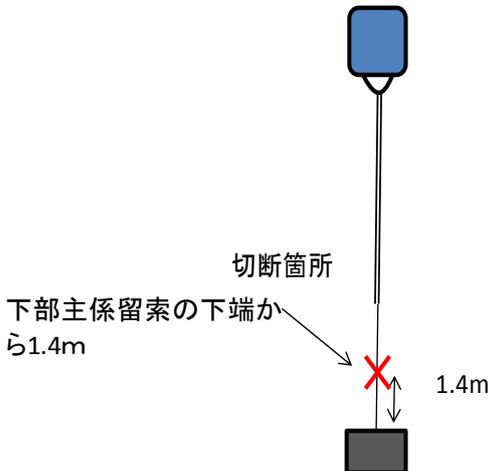


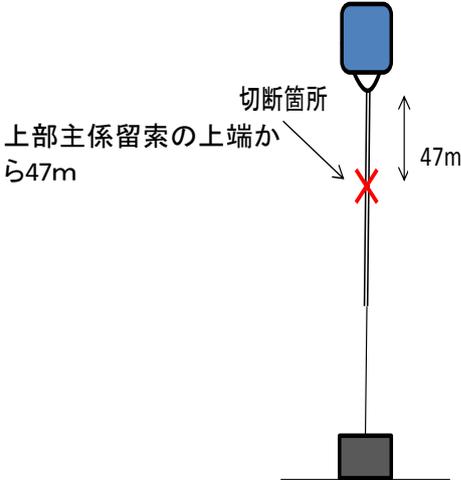
図 3-9 ネームプレート

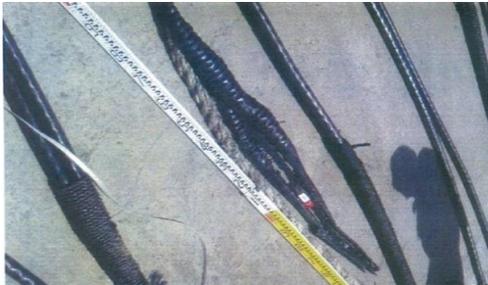
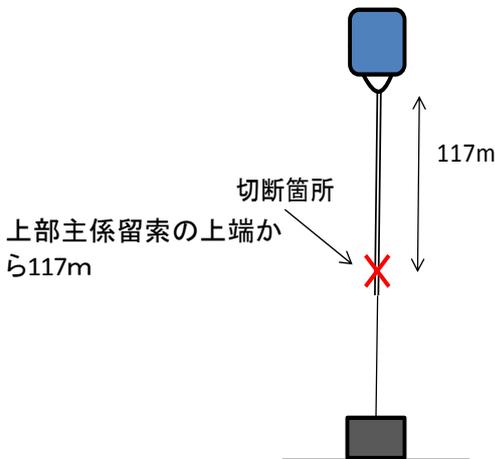
■参考資料-1：中層浮魚礁流出事故事例一覧

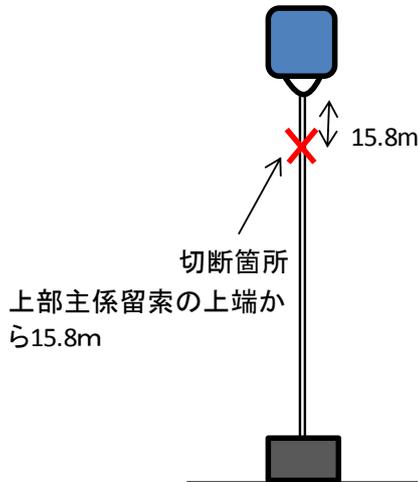
事例NO.	A		設置日	平成15年12月
設置水深	74m		流出日	平成17年9月
切断水深	32m		回収日	平成17年9月
係留索仕様	副係留索		ワイヤー外装ポリエステルφ30mm	
	上部主係留索		ワイヤー外装ポリアリレートφ39mm	
	下部主係留索		-	
切断状況	礁体から3m付近で切断で、切断面が揃っている。			
切断原因	切断面は鋭利な外的要因によるものと推定される。			
切断部			切断部拡大	
				
警報装置	方式	タイプ① GPS陸上局式		
	通信	×	スイッチ不動作により通信しなかった。 アンテナ竿は破損していた。	
	機構	×	圧力スイッチが付着物に覆われ、スイッチが作動せず、すべての機構が働かなかった。	
	水密	○	浸水は認められなかった。	
切断箇所模式図				
 <p style="text-align: center;">切断箇所 礁体から3m付近</p>				

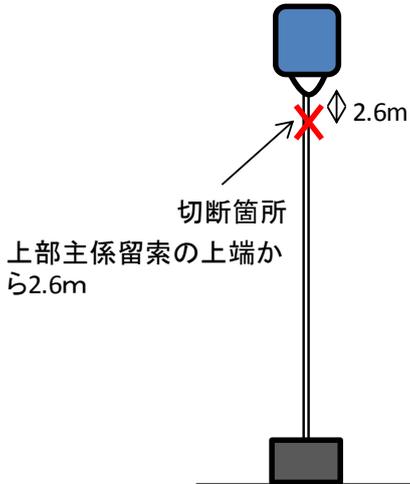
事例NO.	B		設置日	平成16年7月
設置水深	1188m		流出日	平成19年1月
切断水深	442m		回収日	平成20年2月
係留索仕様	副係留索		ワイヤ外装ホ ^リ エステルDB φ 28mm	
	上部主係留索		ワイヤ外装ホ ^リ アリート φ 28mm	
	下部主係留索		ポリエステル8打ち φ 38mm	
切断状況	40cm毎に外装が剥離していた。 切断面は揃っていた。			
切断原因	剥離は回転体に巻きつけたときに酷似。切断面は鋭利なものによるせん断に酷似していた。繊維間融着は見られなかった。			
切断部		切断部拡大		
 <p>40cm毎に外装が剥離</p>				
警 報 装 置	方式	タイプ② GPS・オーブコム		
	通信	○	付着物防止カバーが外れないことで通信が不安定	
	機構	×	付着物防止カバーの離脱用ガスが流出前に漏れていた(原因不明)ことからカバーが外れなかった。	
	水密	○	浸水は認められなかった。	
切断箇所模式図				
 <p>切断箇所 上部主係留索の上端から390m</p>				

事例NO.	C		設置日	平成20年3月
設置水深	172m		流出日	平成20年3月
切断水深	169m		回収日	平成20年3月
係留索仕様	副係留索	ワイヤ外装ポリエステルDB φ 34mm		
	上部主係留索	ワイヤ外装ポリアラレート φ 38mm		
	下部主係留索	ポリエステル8打ち φ 65mm		
切断状況	切断したヤーンの長さが揃っている。			
切断原因	シンカーか何かで引っ張られ、横方向に強い力を受け、浮魚礁全体が移動し、更にシンカーが転倒し、シンカー角部が下部主係留索と接触したことにより切断した。			
切断部		切断部拡大		
				
警報装置	方式	タイプ⑤ GPS・オーブコム		
	通信	×	流出時の通信はできていない。原因は不明であった。	
	機構	×	設置後間もない流出事故であったことから付着物防止カバーを外す機構が作動しなかった(本機構はタイマープログラムにより制御されている)。	
	水密	○	浸水は認められなかった。	
切断箇所模式図				
				

事例NO.	D		設置日	平成20年3月
設置水深	172m		流出日	平成20年3月
切断水深	87m		回収日	平成20年3月
係留索仕様	副係留索	ワイヤ外装ホ [®] ポリエステルDB φ34mm		
	上部主係留索	ワイヤ外装ホ [®] リアルートφ38mm		
	下部主係留索	ポリエステル8打ちφ65mm		
切断状況	切断部の被覆部及び芯繊維の切り口が直線状であった。			
切断原因	角のある物体によりせん断部が加圧を受けたことから切断となった。切断部に鉄イオンの反応が認められた。			
切断部		切断部拡大		
				
警 報 装 置	方式	タイプ⑤ GPS・オーブコム		
	通信	△	陸上側の監視パソコンの電源が落ちていた。電源を入れて通信を確認。オーブコム衛生の送信出力が落ちていた。	
	機構	△	設置後間もない流出事故であったことから付着物防止カバーを外す機構が作動しなかった(本機構はタイマープログラムにより制御されている)。	
	水密	○	浸水は認められなかった。	
切断箇所模式図				
				

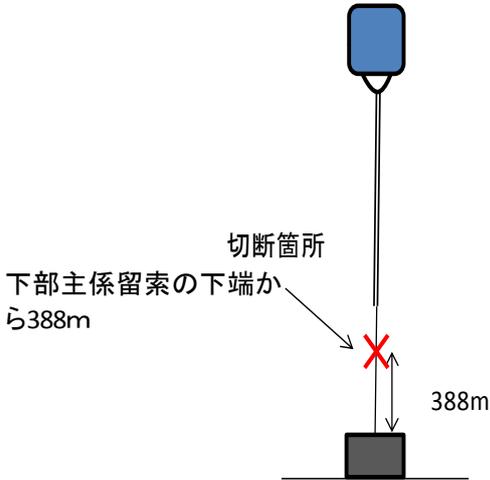
事例NO.	E		設置日	平成20年3月
設置水深	178m		流出日	平成20年3月
切断水深	163m		回収日	平成20年3月
係留索仕様	副係留索	ワイヤ外装ポリエステルDB Φ34mm		
	上部主係留索	ワイヤ外装ポリアラートΦ38mm		
	下部主係留索	ポリエステル8打ちΦ65mm		
切断状況	切断部及び上部主係留索の被覆にズレおよび蛇腹状の皺が認められた。			
切断原因	上部主係留索の端末部に引っかかった状態で横方向に引っ張られ、浮魚礁全体が移動し、その際に被覆のズレが生じ、接点で屈曲、加圧を受け切断した。			
切断部		切断部拡大		
				
警報装置	方式	タイプ⑤ GPS・オーブコム		
	通信	△	陸上側の監視パソコンの電源が落ちていた。電源を入れて通信を確認。オーブコム衛生の送信出力が落ちていた。	
	機構	△	設置後間もない流出事故であったことから付着物防止カバーを外す機構が作動しなかった(本機構はタイマープログラムにより制御されている)。	
	水密	○	浸水は認められなかった。	
切断箇所模式図				
				

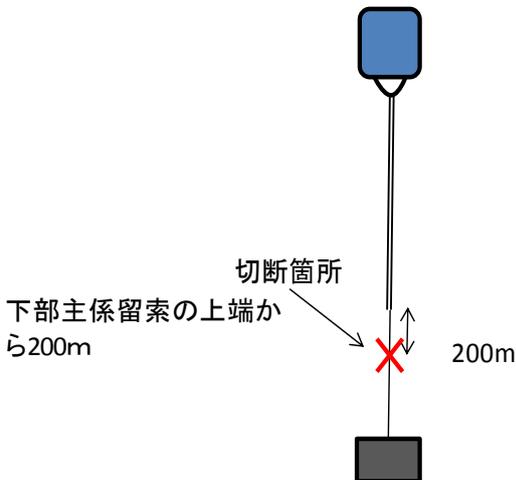
事例NO.	F		設置日	平成20年3月
設置水深	89m		流出日	平成20年12月
切断水深	57m		回収日	平成20年12月
係留索仕様	副係留索	ワイヤー外装ポリエステルφ35mm		
	上部主係留索	ワイヤー外装ポリアリレートφ30mm		
	下部主係留索	—		
切断状況	複雑な切断面であった。 ワイヤー外装部分がズタズタに切れている状態であった。			
切断原因	横向きに何らかの強い力が加わり切断したと思われる。			
切断部		切断部拡大		
				
警報装置	方式	タイプ⑤ GPS・オーブコム		
	通信	×	機器には故障等は認められなかったが、圧力スイッチ不動作により通信せず	
	機構	×	圧力スイッチが付着物でおおわれ作動しなかった。そのためすべての機構が働かなかった。	
	水密	○	浸水は認められなかった。	
切断箇所模式図				
				

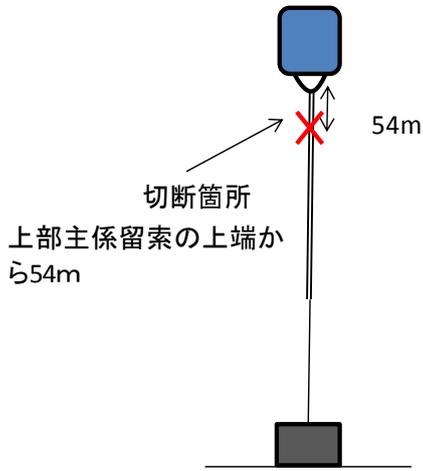
事例NO.	G		設置日	平成20年3月
設置水深	96m		流出日	平成21年4月
切断水深	43m		回収日	平成21年4月
係留索仕様	副係留索		ワイヤー外装ポリエステルφ35mm	
	上部主係留索		ワイヤー外装ポリアリレートφ30mm	
	下部主係留索		—	
切断状況	ひきちぎれたような切断面であった。			
切断原因	切断部分に何かが巻きついて捻られながら切断に至ったとおもわれた。何が巻きついたのか特定はできていない。			
切断部		切断部拡大		
				
警報装置	方式	タイプ⑤ GPS・オーブコム		
	通信	×	機器には故障等は認められなかったが、圧力スイッチ不動作により通信せず	
	機構	×	圧力スイッチが付着物でおおわれ作動しなかった。そのためすべての機構が働かなかった。	
	水密	○	浸水は認められなかった。	
切断箇所模式図				
				

事例NO.	H		設置日	平成15年12月
設置水深	81m		流出日	流出せず
切断水深	—		回収日	平成21年6月
係留索仕様	副係留索		ワイヤー外装ポリエステルφ20mm	
	上部主係留索		ワイヤー外装ポリアリレートφ39mm	
	下部主係留索		—	
切断状況	※底曳等によりシンカーから引きずられ、設置位置から浅海に移動し、流出警報発信機が作動した。係留索切断による流出事故ではない。			
切断原因	—			
切断部			切断部拡大	
警報装置	方式	タイプ① GPS陸上局式		
	通信	○	通信は確立したものの、アンテナ竿が破損しており通信エリアが限られていた。(2か所の陸上局のうち1か所のみ受信できた)	
	機構	○	正常に作動した。	
	水密	○	浸水は認められなかった。	
切断箇所模式図				
—				

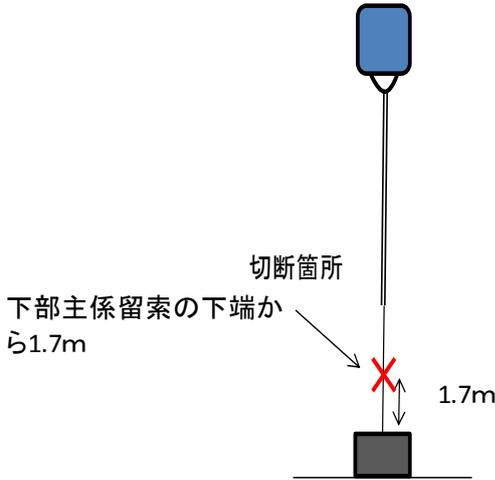
事例NO.	I		設置日	平成21年6月
設置水深	97m		流出日	平成21年11月(不明日)
切断水深	29m		回収日	平成22年2月
係留索仕様	副係留索		ワイヤー外装ポリエステルφ32mm	
	上部主係留索		ワイヤー外装ポリアリレートφ35mm	
	下部主係留索		-	
切断状況	副係留索が4本ともほぼ同じ場所で切断されていた。			
切断原因	4本の副係留索がほぼ同じ場所で切断しており、漁具による偶発的なものとは考えにくく、人的行為に起因すると推定。			
切断部			切断部拡大	
				
警報装置	方式	タイプ⑤ GPS・オーブコム		
	通信	×	水没による送信不能と推測された。	
	機構	×	付着物防止カバーが人為的打撃により破損していた。ガスが噴出していたが、付着物防止カバーは打撃で破損し、ガスが漏れ離脱しなかった。	
	水密	×	付着物防止カバーの破損により浸水したものと推測された	
切断箇所模式図				
				

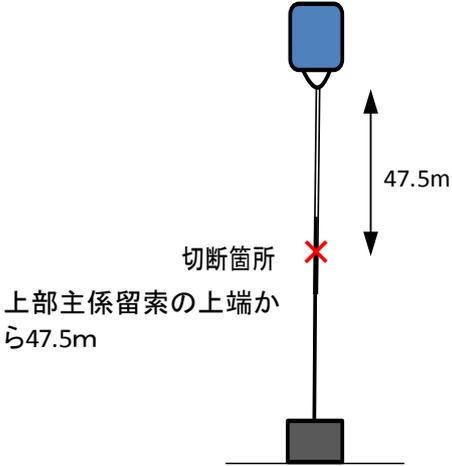
事例NO.	J		設置日	平成18年3月
設置水深	798m		流出日	平成22年8月
切断水深	409m		回収日	平成22年8月
係留索仕様	副係留索	ワイヤ外装ポリエステルφ32mm		
	上部主係留索	ワイヤ外装ポリアリレートφ32mm		
	下部主係留索	ポリエステル8打ちφ36mm		
切断状況	切断面が揃っていた。			
切断原因	切断面は鋭利なものによるせん断に酷似していた。 繊維間融着は認められなかった。			
切断部		切断部拡大		
				
警 報 装 置	方式	タイプ① 短波無線		
	通信	×	海水浸水により内部機器が腐食したことから通信は確立していない。	
	機構	×	組立ボルトの電食により、部材に隙間腐食が発生した。	
	水密	×	隙間腐食により内部へ浸水していた。	
切断箇所模式図				
				

事例NO.	K		設置日	平成15年2月
設置水深	1264-1287m		流出日	平成22年9月
切断水深	549m		回収日	平成22年9月
係留索仕様	副係留索		ワイヤ外装ポリエステルφ35mm	
	上部主係留索		ワイヤ外装ポリアリレートφ30mm	
	下部主係留索		ポリエステル8打ちφ40mm	
切断状況	係留索の断面の約半分が揃っている。			
切断原因	係留索の断面の約半分が鋭利なもので切断された形跡が認められる。			
		切断部	切断部拡大	
				
警報装置	方式	タイプ① 短波無線		
	通信	×	海水浸水により内部機器が腐食したことから通信は確立していない。	
	機構	×	組立ボルトの電食により、組立部材に隙間腐食が発生した。	
	水密	×	隙間腐食によりできた隙間から内部に海水が浸水していた。	
切断箇所模式図				
				

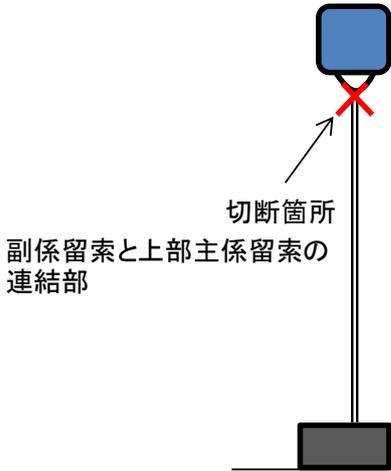
事例NO.	L		設置日	平成15年6月
設置水深	1327m		流出日	平成22年11月
切断水深	108m		回収日	平成22年11月
係留索仕様	副係留索		ワイヤ外装ポリエステルφ35mm	
	上部主係留索		ワイヤ外装ポリアリレートφ30mm	
	下部主係留索		ポリエステル8打ちφ40mm	
切断状況	切断面が揃っている。			
切断原因	切断面は鋭利なものによるせん断に酷似。 繊維間融着無し。			
切断部			切断部拡大	
				
警報装置	方式	タイプ② GPS・オーブコム		
	通信	×	通信の確立は無かった。	
	機構	-	原因調査未実施のため不明	
	水密	-	原因調査未実施のため不明	
切断箇所模式図				
				

事例NO.	M		設置日	平成23年5月
設置水深	1634m		流出日	不明
切断水深	不明		回収日	平成27年7月
係留索仕様	副係留索		ワイヤ外装ポリエステルDB φ28mm	
	上部主係留索		ワイヤ外装ポリアラートφ30mm	
	下部主係留索		ポリエステル8打ちφ38mm	
切断状況	不明			
切断原因	流出回収時に上部索を切断(下写真)したことから流出原因は不明。残存している副係留索は十分な強度を有していた。			
切断部		切断部拡大		
				
警 報 装 置	方式	タイプ⑤ GPS・オーブコム		
	通信	×	海水浸水により内部機器が腐食したことから通信は確立していない。	
	機構	×	原因不明であるが流出する以前に付着物防止カバーが離脱していたと推測された。	
	水密	×	付着物防止カバーのガス噴出孔から海水が浸水していた。	
切断箇所模式図				
—				

事例NO.	N		設置日	平成20年3月
設置水深	155m		流出日	不明
切断水深	152m		回収日	平成27年8月
係留索仕様	副係留索		ワイヤー外装ホリエステルφ34mm	
	上部主係留索		ワイヤー外装ホリアリルトφ38mm	
	下部主係留索		ホリエステル8打φ65mm	
切断状況	切断面が揃っている			
切断原因	切断部の直上は十分な強度が残っている。 切断面が鋭利なエッジまたはナイフによる切断面と類似			
		切断部	切断部拡大	
				
警報装置	方式	タイプ⑤ GPS・オーブコム		
	通信	×	海水浸水により内部機器が腐食したことから通信は確立していない。	
	機構	×	組立ボルトの電食により、組立部材に隙間腐食が発生した。	
	水密	×	隙間腐食によりできた隙間から内部に海水が浸水していた。	
切断箇所模式図				
				

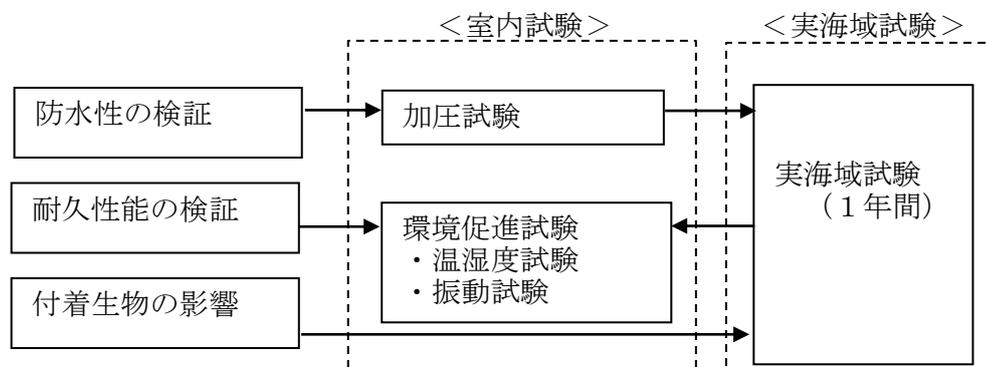
事例NO.	○		設置日	平成20年3月
設置水深	156m		流出日	不明
切断水深	103m		回収日	平成28年5月
係留索仕様	副係留索		ワイヤー外装ホ [®] リエステルφ34mm	
	上部主係留索		ワイヤー外装ホ [®] リアルートφ38mm	
	下部主係留索		ホ [®] リエステル8打φ65mm	
切断状況	過荷重による撚りや繊維の乱れも軽度で繊維端が概ね揃っている。			
切断原因	十分な強度が残っている。 切断面は鋭利なエッジまたはナイフによる切断面に類似している。			
切断部		切断部拡大		
				
警報装置	方式	タイプ⑤ GPS・オーブコム		
	通信	×	海水浸水により内部機器が腐食したことから通信は確立していない。	
	機構	×	付着物防止カバー装着状態で流出した。	
	水密	×	付着物防止カバーのガス噴出孔から海水が浸水していた。	
切断箇所模式図				
 <p>切断箇所 上部主係留索の上端から47.5m</p>				

事例NO.	P		設置日	平成25年3月
設置水深	200m		流出日	不明
切断水深	不明		回収日	平成28年5月
係留索仕様	副係留索		ワイヤー外装ホ [®] リエステル φ37mm	
	上部主係留索		ワイヤー外装ホ [®] リアルート φ36mm	
	下部主係留索		ホ [®] リエステル8打 φ50mm	
切断状況	不明			
切断原因	何らかの物体と接触し、浮体下部が欠損し上部のみ流出した。又は係留索の切断により流出し、漂流中何らかの物体との接触によって浮体上部のみとなり漂着した。			
		切断部	切断部拡大	
				
警 報 装 置	方式	タイプ⑥ GPS・オーブコム		
	通信	×	海水浸水により内部機器が腐食したことから通信は確立していない。	
	機構	×	原因不明であるが流出する以前に付着物防止カバーが離脱していたと推測された。	
	水密	×	付着物防止カバーのガス噴出孔から海水が浸水していた。	
切断箇所模式図				
—				

事例NO.	Q		設置日	平成22年10月
設置水深	2527m		流出日	不明
切断水深	41m		回収日	H28年10月
係留索仕様	副係留索	ワイヤー外装ポリエステル Φ35mm		
	上部主係留索	ワイヤー外装ポリアラレート Φ30mm		
	下部主係留索	ポリプロピレン+ポリエステル混合12打ロープ φ38mm		
切断状況	副係留索下部が摩耗により破断していた。			
切断原因	設置海域に4日間停滞した迷走台風と特殊海底地形により水平方向の流れが発生し、浮魚礁に共振運動が発生し係留索結合部が摩耗したと推測			
切断部		切断部拡大		
				
警報装置	方式	(警報装置未搭載)		
	通信	—		
	機構	—		
	水密	—		
切断箇所模式図				
				

■参考資料-2：流出警報発信機の作動確認事例

現状における流出警報発信機の課題は、防水性、耐久性、付着生物の影響低減であり、参図1の機能照査方法により作動確認を行うことが望ましい。ただし、供用年数の検証については、照査することが困難であるため、定期的な保守点検をすることが望ましい。



参図1 機能照査方法

機能照査方法について、平成28,29年度に実施した検証試験結果の概要を示す。

流出警報発信機の標準機能を参表1に示し、本試験の評価項目を参表2の通り設定し、試験フロー（参図2）に沿って調査した。新型については付着生物の影響が示唆されたことから、10年間経過した試験材料（フロート）を用いた付着生物試験を行った。なお、従来改良型は付着生物の対策として付着防止キャップが配置されていることから対象外とした。

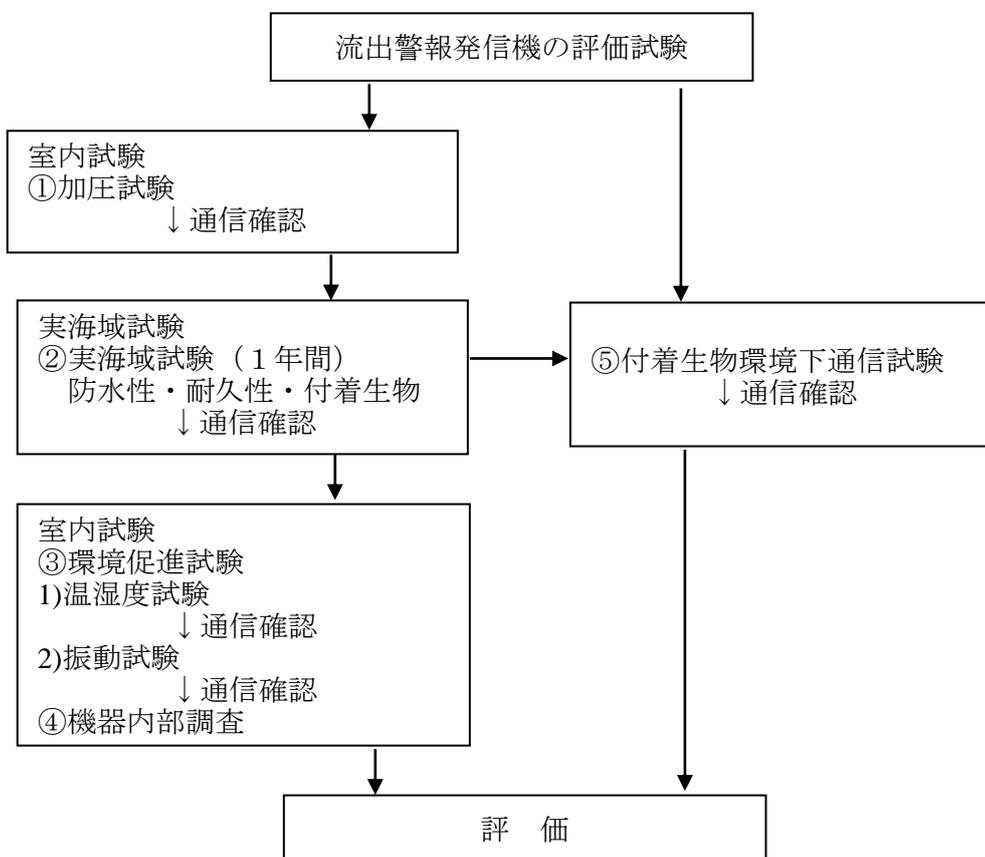
すべての各試験終了後に通信を確認したことで、作動を確認した。

参表1 標準機能

条 件		内 容
環境条件	使用海域	衛星通信圏内
	耐温度	0℃ ～ 40℃
	耐水圧	30気圧（水深300m）以上
	供用年数	10年
通信諸元	送信データ	管理番号・位置情報・残電圧量・時刻
	通信間隔 （浮上後）	1回 / 1時間（標準） 陸上側監視機器からの操作により変更できること
電源諸元	電池寿命	10年経過直後に浮上した場合でも1回/1時間の通信間隔で約200時間以上の通信が可能であること
使用材料	耐腐食	金属部品による組立製品においては腐食し難い材料を用いること

参表 2 評価項目と判定基準

項目	判定基準
防水性	● 加圧試験によって耐水圧 30 気圧以上の環境下において動作すること。
耐久性能	● 実海域試験（後述）を終えた機器を用いた環境促進試験（温湿度促進試験、振動試験）によって使用部材および部品について 10 年の耐久性を有すること
付着生物の影響	● 10 年経過相当の付着生物環境下における通信を有すること



参図 2 試験実施フロー

a) 加圧試験

【目的】

設計耐圧における防水性能を確認するため、高圧実験水槽による加圧試験を行った。

【試験条件】

流出警報発信機は一般的に礁体天頂部に配置し(社)マリノフォーム 21「中層型浮魚礁 共通仕様書」では、礁体天頂部の水深を船舶の航行安全および蝸集魚類量から、静水時 20m 以深、操業時概ね 150m 以浅としている。そこで、加圧試験における加圧値を流出警報発信機の最大(耐圧)水深として 300m (操業時水深×2) と設定し、3MPa とした。

加圧方法については、流出警報発信機の海中における定常状態を想定した I 試験および潮流等による変動を想定した II 試験を設定した。

参表 3 試験条件

I 試験	・無負荷から 1MPa ごとに 5 分保持し、3MPa まで加圧 ・3MPa で 15 分保持
II 試験	・無負荷から 3MPa のサイクル試験 15 回 (無負荷と 3MPa で 5 分保持)

試験は一連で行い、試験開始前後に通信を確認した。

・試験機 (高圧実験水槽)

内容積 : 0.53m³ , 設計圧力 : 98.07 MPa , 耐圧試験圧力 : 107.88 MPa



参図 3 高圧実験水槽 (左 : 密閉作業中、右 : 開放状態)

b) 実海域試験

【目的】

実海域において、室内加圧試験により防水性能が確認された流出警報発信機を用いて、海中12か月間の設置期間における防水性・耐久性能を調査した。

【試験条件】

防水性・耐久性能の評価については、回収直後の通信を確認した。同時に、付着生物による通信への影響を調査した。

【試験場所】

設置地区： 対馬市巖原阿連北西 No 2

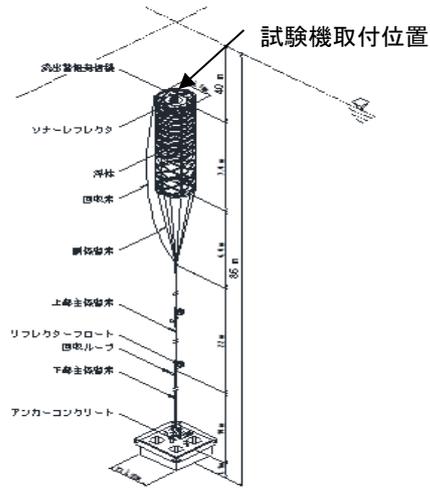
礁体タイプ： 剛体タイプ

設置水深： 礁体ヘッド位置海面下40m

(設置位置の水深86m)



参図4 中層浮魚礁設置地区



参図5 中層浮魚礁の概要

参表4 実海域試験

	A社製	B社製
設置直後		
回収直前(12か月後)		

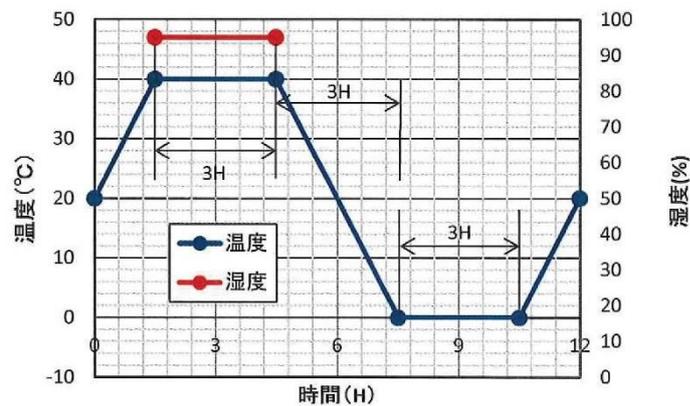
c) 温湿度促進試験

【目的】

設計耐温度における耐久性を確認するため、恒温恒湿槽による温湿度促進試験を行った。

【試験条件】

海上保安庁「光波標識用機器の性能に関する試験方法 温湿度サイクル」及び(財)日本航路標識協会「海上標識用灯器 JANA01-2009 耐環境試験」を参考に、流出警報発信機の標準機能である耐温度(0°C~40°C)を温度サイクル範囲として参図6の試験パターンを設定した。



- ①初期温度及び移行時間：+20 から+40°C、1.5 時間
- ②高温保持温度湿度および時間：+40°C、95%、3.0 時間
- ③移行温度及び時間：+40°Cから 0°C、3.0 時間
- ④低温保持温度および時間：0°C、3.0 時間
- ⑤移行温度及び時間：0°Cから+20°C、1.5 時間

参図6 試験パターン

この試験パターンを3サイクル行い、下記1), 2), 3)の状態における通信を確認した。

- 1) 試験開始前
- 2) 2サイクル試験後
- 3) 3サイクル試験後(試験終了後)



参図7 恒温恒湿槽

d) 振動試験

【目的】

使用部品の耐久性を確認するため、振動試験機による振動試験を行った。

【試験条件】

海上保安庁「光波標識用機器の性能に関する試験方法 温湿度サイクル」及び(財)日本航路標識協会「海上標識用灯器 JANA01-2009 耐環境試験」を参考に、波による振動を想定した試験条件を以下の通り設定した。試験終了後に通信を確認した。

- ・振動数範囲 : 10~150Hz、
- ・加速度 : 20m/s²、
- ・加振方向 : 水平方向および鉛直方向
- ・加振時間 : 各方向 10 サイクル (各 1 時間 15 分)

参表 5 振動試験

	A社製	B社製
水平方向		
鉛直方向		

e)分析・調査

全試験終了後に分解観察したところ、漏水は見られず、電気系統についても正常な動作を確認した。電池容量についても、10年後も十分な電圧が得られることを確認した。

f) 付着生物試験

【目的】

付着生物が流出警報発信機（新型）の通信機能に及ぼす影響を確認する。従来改良型は、浮上時に付着物防止カバーが離脱する構造であることから、本試験にて付着生物の影響は検証しない。

【試験条件】

異なる3地区において以下の試験条件により、付着生物による通信への影響を確認した。

- ・10年間の付着生物相を対象とした通信試験を潮岬地区と日向灘地区で実施
- ・1年間の付着生物相を対象とした通信試験を対馬地区で実施

いずれの条件においても通信を確認した。

参表6 地区別による通信試験

設置地区	a) 対馬地区	b) 潮岬地区	c) 日向灘地区
付着年数	1年	10年	10年
試験日	平成29年9月13日	平成28年5月21日	平成29年2月2日
試験方法	回収直後の通信を確認する。流出警報発信機への付着生物の被度を測定する。	通信間隔を5分に設定し、各ケース6回（30分間）の通信試験を行う。 [試験条件] ・乾燥状態 ・湿潤状態	通信間隔を5分に設定し、各ケース6回（30分間）の通信試験を行う。 [試験条件] ・被度90% （湿潤状態3cm厚） ・被度95% （湿潤状態3cm厚）



参図5 付着状態（右：A地区, 中：B地区, 左：C地区）

■参考資料-3：

＜海上保安庁の光波標識用機器の性能に関する試験方法＞

10 温湿度サイクル（耐候性）

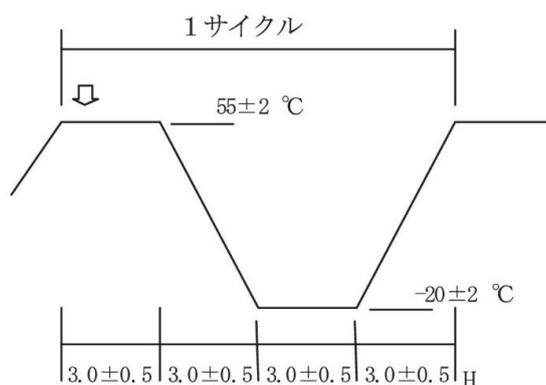
(1) 動作

温湿度槽内に灯器を納め、点滅装置を正規に結線し、第3図のような温度サイクルを前処理を行わず3サイクル与え、3サイクル目で同図の矢印付近（指定温度）において定格入力電圧を印加し、点消灯、電球交換及び灯質、その他の機能に異常の無いことを確認する。

(2) 外観

試験終了後に各部品及び材料の変形、変色又は劣化及び結露等による異状がないことを確認する。

なお、上記試験については、メーカー発行の保証書によって、それに代えることができる。



[図]

(注) 10°C 以上における相対湿度を90～96%とし、 10°C 以下の相対湿度は、90～96%の無調整のままとする。

11 耐振動

振動については、JIS規定（小型電気機器の振動試験方法）の試験方法に準じ、1時間試験を行った後、通電点灯試験を行い、点消灯、電球交換及び灯質、その他の機能に異状のないこと並びに灯器、各部品及び材料の損傷並びにボルトナット類の緩みがないことを確認する。

振動変位振幅は、その時の振動数と組み合わせて生ずる加速度が、 19.6m/s^2 { 2gn } となるようにする。

なお、上記試験については、メーカー発行の保証書によって、それに代えることができる。

5.3.3 耐環境試験 JIS C60068-2-38 (環境試験方法—電気・電子) 温湿度組合せ (サイクル) 試験方法に準じ、次の方法により行う。

- (1) 取付方法 灯器を開放状態とし、適当な方法で適当な位置に取付ける。電源は槽外より灯器定格電圧を印可できるよう準備する。
- (2) 前処理 特に行わない。
- (3) 初期測定 5.2 の試験において、周期及び日光弁の感度の測定を行い、また外観を調べる。
- (4) 試験方法 JIS C60068-2-38 の試験方法 6.3.1.1 を次のとおり変更して行う。
上限温度を $55 \pm 2 \text{ C}$ とする。
- (5) 試験サイクル数 2 サイクルとする。
- (6) 低温サブサイクル 2 サイクル内の 1 サイクルにおいて適用する。
- (7) 試験途中の測定及び電圧印可 低温サイクルの途中及び第 2 サイクルの e 段階の途中において、灯器定格電圧を印可し、周期及び明時間の測定を行う。
- (8) 最終測定及び電圧印可 第 2 サイクルの段階 f の終了後、槽から取出し、5.2 の試験状態に 1 時間放置した後、灯器定格電圧を印可し、周期及び明時間の測定を行い、また外観を調べる。
- (9) その他については、JIS C60068-2-38 による。

5.3.4 振動試験 振動試験は、実装状態で 3 方向(x,y,z)について、JIS C60068-2-6 (環境試験方法・電気・電子・正弦波振動試験方法) により、掃引試験を次ぎにより行う。
振動数範囲は $10 \sim 150 \text{ Hz}$ 、加速度は (20 m/s^2) 各軸のサイクル数は 10 回、時間は 1 時間 15 分とする。