

漁村対策・漁村振興活性化調査 漁業地域における防災対策検討調査

財団法人 漁港漁場漁村技術研究所
第2調査研究部 三宅健一

調査実施年度

平成18年度～平成19年度

緒言 (まえがき)

津波来襲時に漁業地域においては、係留索の破断による漁船の喪失、あるいは漁船が漂流物となって漁港・漁村の人命や財産へ間接的な被害を与える恐れがある。さらに漂流物は被災した漁港・漁村への海路からのアクセス障害となる恐れもある。このような予想される被害に対して、第一義的には津波に対して強固な係留索を定性的・定量的に検討しておく必要がある。

平成18年度「津波時の漁船係留手法の検討調査」においては、基礎的な水理模型実験を実施し、船首1点係留の係留力の特性を把握し、係留力を算定する簡易的なモデルの提案を行った。平成18年度の調査結果をもとに、さらに平成19年度は、

- (1) 係留索の諸元を変えた系統的な水理模型実験に基づく解析モデルの改良と提案
 - (2) 海域や大地震想定地域別の現地調査による漁船係留形態及び係留索仕様の整理
 - (3) 全国漁協へのアンケート調査による漁船係留の現状把握
- を行い、適切な係留方法や漁船漂流防止対策等についてとりまとめを行なった。

調査方法

- (1) 係留索の諸元を変えた系統的な水理模型実験に基づく解析モデルの改良と提案

水理模型実験は図-1に示すように断面水槽(幅0.4m×長さ19m(観測部14m)×高さ0.3m)に漁船模型を1点係留し、定常流速中における係留力の測定を行った。

主な測定条件は以下に示すとおりである。なお、()内は実験スケールとして1/75を想定した場合の現地量を示している。

- ・漁船模型；全長22cm(16.5m)、質量60.0g(25.3t)、90g(38.0t)、120g(50.6t)、材質は木製、写真-1参照。
- ・係留索の長さ； $l_0=40\text{cm}, 50\text{cm}, 60\text{cm}$ (3.0m, 3.75m, 4.5m)
- ・係留索の材質；坪糸、絹糸、釣糸1.5号、釣糸6号
- ・漁船の流れる距離； $L=5\sim 30\text{cm}$ (3.75m～22.5m)
- ・係留方法；船首1点係留
- ・定常流速； $u=40, 50\text{cm/s}$ (3.5, 4.3m/s)
- ・測定項目；係留力、漁船船体速度、流速

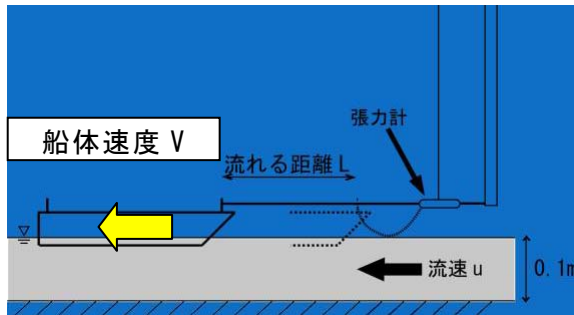


図-1 実験模型配置図(断面水槽)

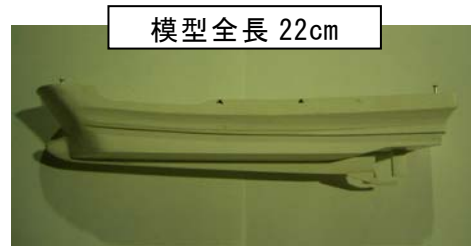


写真-1 漁船模型

水理模型実験により得られた係留力と係留索を弾性体と仮定した単振動の理論解から得られる解析モデルとの比較を行なった。

(2) 海域や大地震想定地域別の現地調査による漁船係留形態及び係留索仕様の整理

海域や大地震想定地域別の現地調査を実施し、漁船係留実態及び係留索仕様について整理を行なった。現地調査は三陸沖地震の予想される岩手県、東海地震の静岡県、日本海側で最近の頻発状況より石川県および東南海の高知県について、各県とも小型船の係留が主で漁船数の少ない規模の小さな漁港と大型船の係留が主で漁船数の多い規模の大きい漁港のそれぞれ2漁港を選定して行なった。調査対象漁港の一覧を表-1に、位置図を図-2に示す。

表-1 調査漁港一覧

県名	規模の小さい漁港	規模の大きい漁港	摘要
岩手県	音部漁港(1種)	広田漁港(2種)	三陸沖地震
静岡県	地頭方漁港(1種)	焼津漁港(3種)	東海地震
石川県	藤波漁港(1種)	蛸島漁港(3種)	日本海側で最近の頻発状況考慮
高知県	深浦漁港(1種)	佐賀漁港(3種)	東南海地震

調査の概要は、各漁港の調査を行った日、その時間における漁船係留の実態である。漁港内の各施設における漁船の係留状況、すなわち岸壁に対して横付けなのか縦付けなのか、何点係留なのかというような項目について調査を実施した。さらに各漁港の漁協担当者へヒアリングを実施し、津波に対する備えや対策等について調査した。

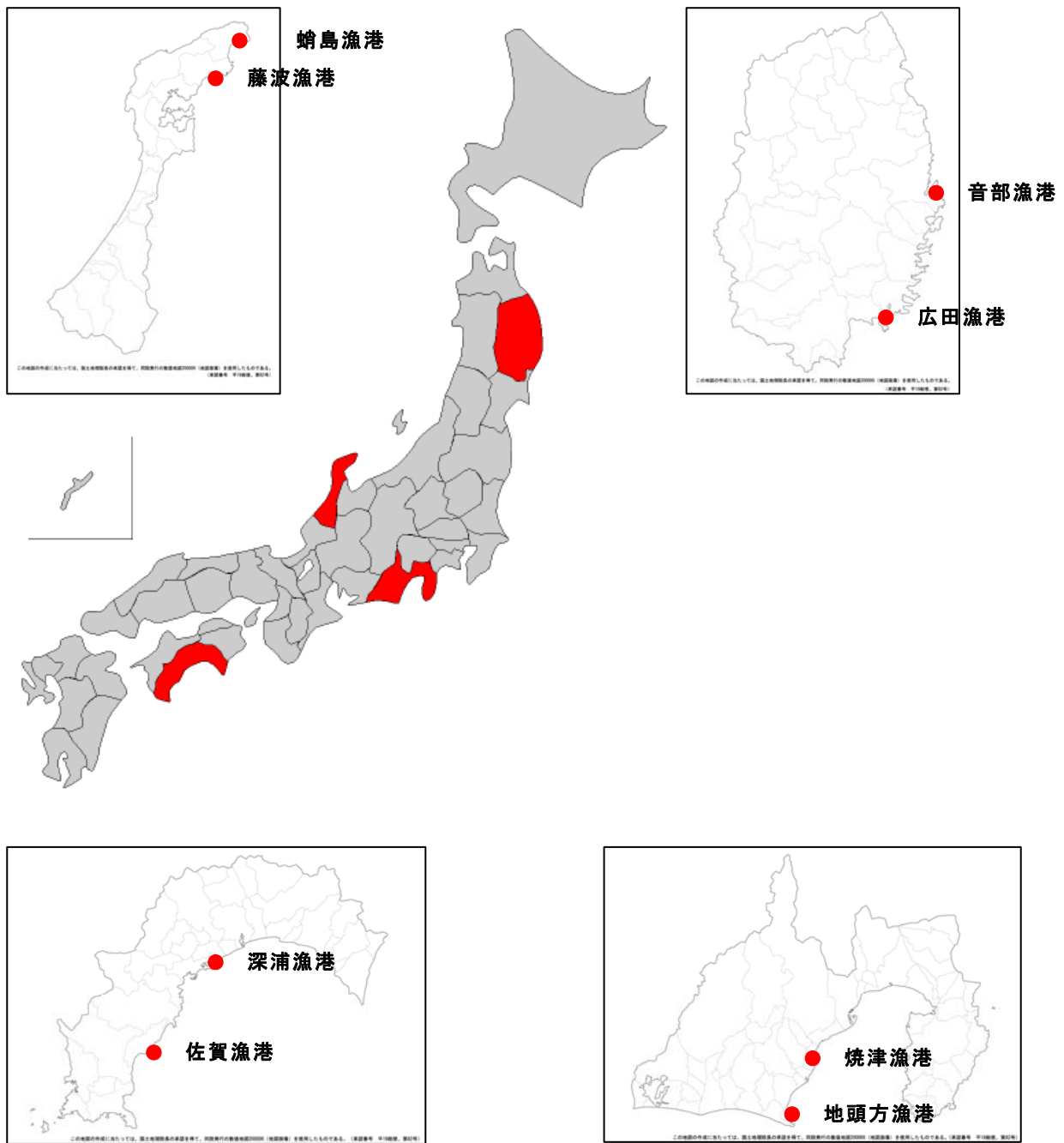


図-2 調査漁港位置図
<http://www.freemap.jp/>より引用)

(3) 全国漁協へのアンケート調査による漁船係留の現状把握

全国の漁協へ対して、漁船係留の実態に関するアンケート調査を実施した。調査項目は、係留索の材質や径、岸壁に対する縦付け横付けや係留点数等である。

今回のアンケートは、海域に接する 39 の都道府県にある 1,318 の漁業協同組合および、その支所に対して行った。各送付先には、3 通のアンケートを送付したが、2 漁協について宛名不明となったため 1,316 箇所合計 3,948 通が送付され、そのうち回答があったのは 1,130 通、回収率は 28.6%であった。

調査結果

(1) 係留索の諸元を変えた系統的な水理模型実験に基づく解析モデルの改良と提案

① 係留索に働く張力のモデル化

係留索によって繋がれた船体が津波の作用によって生じる運動を、1 自由度のバネ・質点系の単振動モデルとして考える。船体が係留索の自然長 l_0 になるまで流され、その瞬間に最大船体速度 V_0 に達したとすると、張力 T が最大になるのは係留索の自然長からの変位が最大になるときである。以上の関係に係留索を弾性体と仮定した場合の応力・ひずみの関係を考慮することで、以下に示すような最大張力の推定式を導出した。

$$T_{\max} = V_0 \sqrt{\frac{Ea(m+m')}{l_0}} (N) \quad (1)$$

ここで、 T_{\max} : 最大張力

V_0 : 最大船体速度

m : 船体質量

l_0 : 索の長さ

a : 索の径

E : 索のヤング率

m' : 付加質量

$$m' = C_m \rho V_r \quad (2)$$

ここで、 C_m : 付加質量係数

ρ : 水の密度

V_r : 船体の排水体積

② 船体に働く付加質量についての考察

付加質量係数は船体が流下し、伸びきったときの定常流に対する船体の状態（向き）に影響するもので、これは V_0 の大小、すなわち流下距離の長さ起因するものである。流下距離が長くなれば、その分船体は余計な外力を受け水路に対して斜めに流下する傾向にあり、このような場合には $C_m=0.5$ （船体モ

デルの船首が球状に近いことから、球の場合 $C_m=0.5$) より大きな付加質量係数を仮定することが望ましいと考える。

そこで V_0 が小さい時を $L=5, 10$ (cm)、 V_0 が中間の時を $L=15, 20$ (cm)、 V_0 が大きい時を $L=25, 30$ (cm) とし、それぞれの C_m を $C_m=0, 0.5, 0.7$ と仮定して、全係留索における最大張力をこの3つにわけたグラフをそれぞれ図-3、図-4、図-5 に示した。

これらのグラフから仮定したそれぞれの付加質量係数から算定した最大張力がほぼ一致していることから、付加質量係数には不確実性があり、流れの影響によって大きく変化することがわかる。

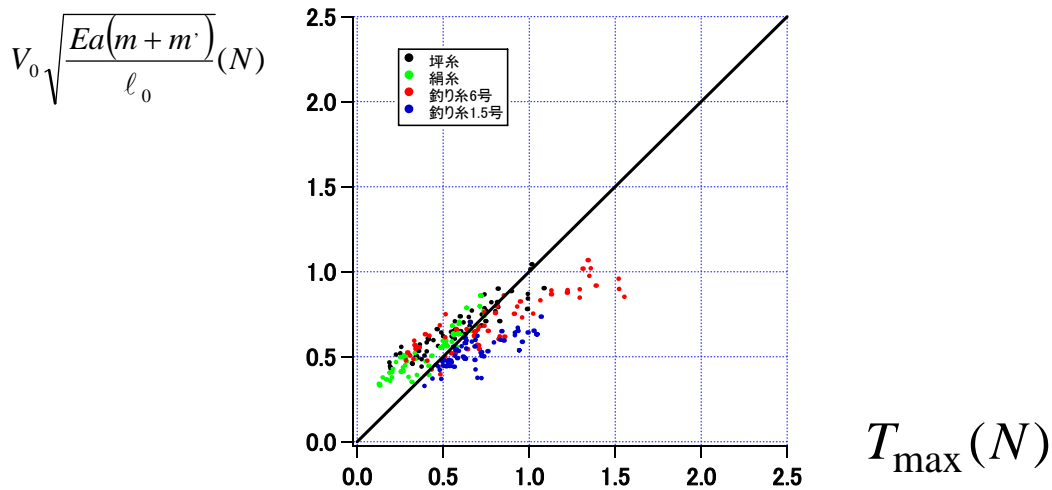


図-3 V_0 が小さい時の全係留索における最大張力の比較 ($C_m=0$)

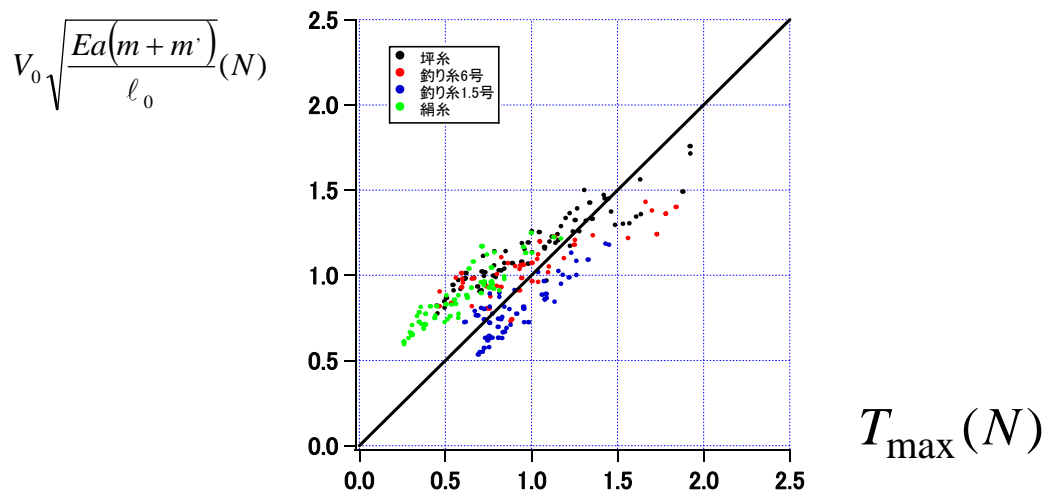


図-4 V_0 が中間時の全係留索における最大張力の比較 ($C_m=0.5$)

$$V_0 \sqrt{\frac{Ea(m+m')}{l_0}} (N)$$

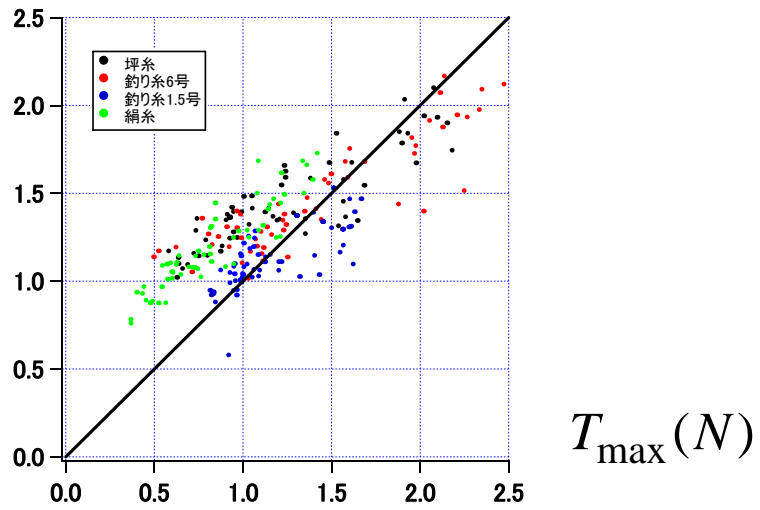


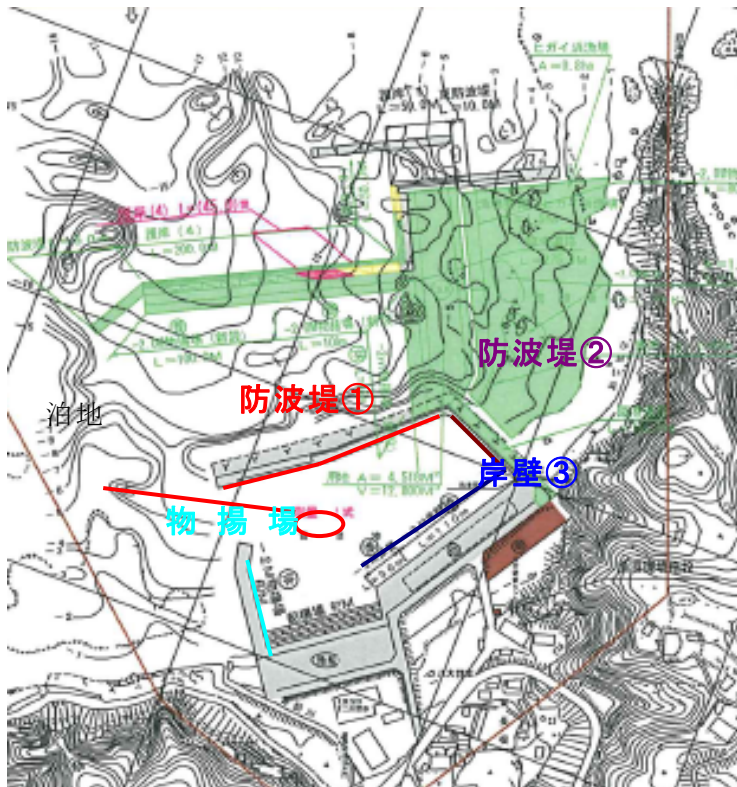
図-5 V_0 が大きい時の全係留索における最大張力の比較 ($C_m=0.7$)

(2) 海域や大地震想定地域別の現地調査による漁船係留形態及び係留索仕様の整理

① 岩手県音部漁港の調査結果

現地調査実施日の天候；曇り

音部漁港の調査結果の概要として、漁港内の防波堤・岸壁等施設における係留状況を示す。調査実施日は養殖の作業中ということもあり、いつもより多く 63 隻の漁船が係留されており、すべて縦付けの状態となっていた。漁船は小型のものが多かった。



船の係留方法(当日無かった船は除外)			
施設	縦付漁船	横付漁船	合計
防波堤①	18	0	18
防波堤②	9	0	9
岸壁③	21	0	21
物揚場②	15	0	15
合計	63	0	63

図-6 岩手県音部漁港の調査結果

なお、漁協へのヒアリングによると、音部漁港では、台風や高潮の異常時には、基本的には陸揚げとし、係留する場合は岸壁から離して係留するとのことである。

②岩手県広田漁港

現地調査実施日の天候；曇り

広田漁港の調査結果の概要として、漁港内の防波堤・岸壁等施設における係留状況を示す。広田漁港では、調査実施日には時化待機で、普段よりも多い76隻の漁船が係留されており、そのうち大多数が縦付けで、横付けは数隻となっていた。係留方法は普段と同じである。

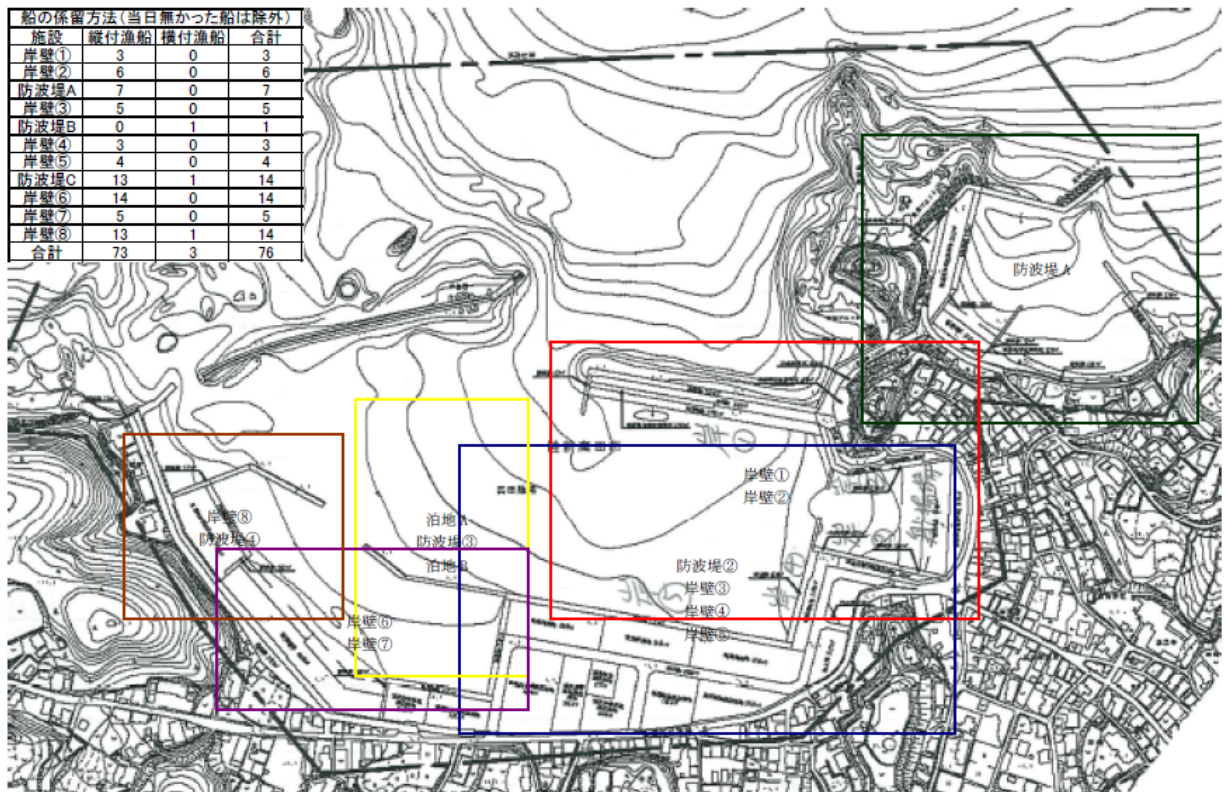


図-7 岩手県広田漁港の調査結果

なお、漁協へのヒアリングによると、広田漁港では、台風や高潮の異常時には、岸壁から離してアンカーのみで係留し、漁船を遊ばせるように係留するとのことである。

また、過去に津波注意報が発令された時には、大型船は沖へ避難し、小型船は流されないように係留方法を工夫したとのことである。

③静岡県地頭方漁港の調査結果

現地調査実施日の天候；晴れ(北東の風強い)

地頭方漁港の調査結果の概要として、漁港内の防波堤・岸壁等施設における係留状況を示す。地頭方漁港の調査実施日には、合計 80 隻の漁船が係留されていた。この日は普段とは異なり、北東の風は強く、出漁は困難な状況となっており、多くの漁船が係留状態となっていた。地頭方漁港では係留する港内の位置によって縦付けと横付けが分かれていた。この日係留されていた 80 隻のうち、大多数が縦付けの係留で横付けは少なかった。1t～10t 程度の小型漁船が多い中、横付けは比較的大型の漁船となっていた。

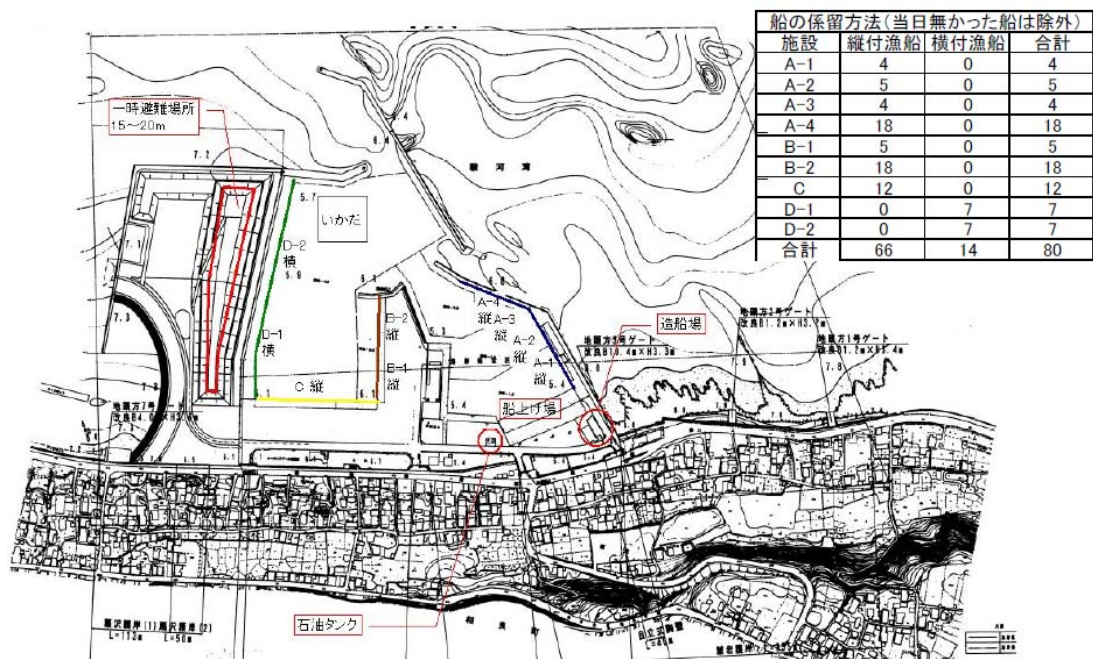


図-8 静岡県地頭方漁港の調査結果

なお、漁協へのヒアリングによると、地頭方漁港では、台風や高潮の異常時には、いかりを増やす、船同士が衝突しないよう間隔をあけて係留し、比較的大型の漁船は焼津漁港へ避難するとのことである。

影響の少ないところへ避難し、他漁港からの避難漁船も多くなるので、縦付けで係留するとのことである。

④静岡県焼津漁港の調査結果

現地調査実施日の天候；晴れ

焼津漁港の調査結果の概要として、漁港内の防波堤・岸壁等施設における係留状況を示す。調査実施日は、合計 54 隻の漁船が係留されており、これは普段より少ない数である。係留中の漁船は遠洋漁業用と見られる 100t を超えるような超大型漁船から、数 t の小型漁船まで多くの種類が見られた。

焼津漁港の係留状況の特徴としては、100t を越えるような大型の漁船については、荷揚げ等の作業のため横付け状態となっていた。大型漁船は船首、船尾ともに 2 点以上で、係留索が 2 重になっているものも見られた。

小型の漁船については縦付け・横付けの両方が見られた。



図-9 静岡県焼津漁港の調査結果

なお、漁協へのヒアリングによると、焼津漁港では、台風や高潮の異常時には、新港地区には係留せずに、焼津地区の奥のほうでうねりの影響の少ないところへ避難し、他漁港からの避難漁船も多くなるので、縦付けで係留するとのことである。

⑤石川県藤波漁港の調査結果

現地調査実施日の天候；曇り

石川県藤波漁港の調査結果の概要として、漁港内の防波堤・岸壁等施設における係留状況を示す。調査実施には合計 14 隻の漁船が係留されており、全て縦付けの係留となっていた。漁船数、係留方法とも普段と変わらないようだった。



図-10 石川県藤波漁港の調査結果

なお、漁協へのヒアリングによると、藤波漁港では、台風や高潮の異常時には、用心のために係留索の点数を 2~3 点多くとることや、避難港へ避難することもあるとのことである。

⑥石川県蛸島漁港の調査結果

現地調査実施日の天候；曇り

石川県蛸島漁港の調査結果の概要として、漁港内の防波堤・岸壁等施設における係留状況を示す。調査実施日は天候が悪く、通常よりも多い51隻の漁船が係留されており、縦付けよりも横付けの係留が多く見られた。また大型の漁船については、荷揚げ等の作業のため横付けが多い。

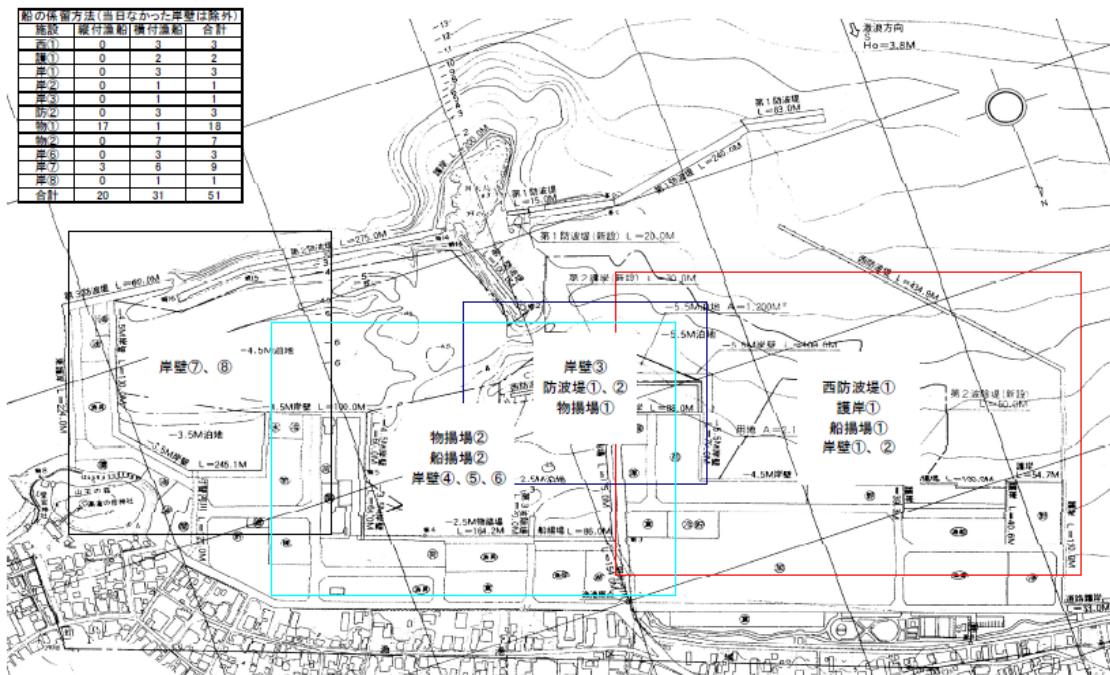


図-11 石川県蛸島漁港の調査結果

漁協へのヒアリングによると、台風や高潮の異常時は、近隣の小木漁港へ避難するとのことである。

⑦高知県深浦漁港の調査結果

現地調査実施日の天候；晴れ

高知県深浦漁港の調査結果の概要として、漁港内の防波堤・岸壁等施設における係留状況を示す。深浦漁港では泊地内はほとんどが縦付け係留(船首1点係留)であるが、生け簀等に横付け船の数も少なくない。浦ノ内湾の養殖漁業が主であり、大型の漁船はない。

船の係留方法(当日無かった船は除外)			
施設	縦付漁船	横付漁船	合計
①	24	0	24
②	17	1	18
③	0	6	6
④	0	2	2
⑤	0	1	1
合計	41	10	51

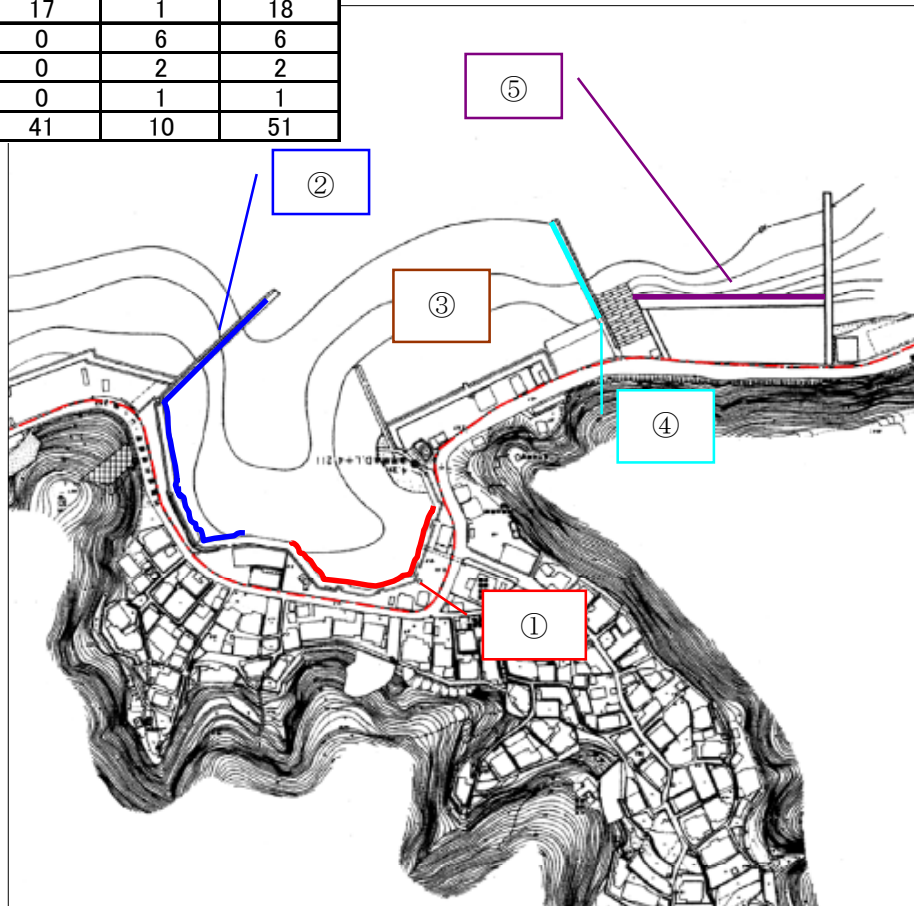


図-12 高知県深浦漁港の調査結果

漁協へのヒアリングによると、深浦漁港は昭和南海地震津波とチリ地震津波の被害を受けている。チリ地震津波では浦ノ内湾の湾口部(宇佐方面)からの漂流物が多数漂流したとのことであった。昭和南海地震津波では数mの浸水を体験している。

台風時には湾奥2カ所に鎖を用意した避難係留場所のあり、湾内外の漁船が避難係留する。

⑧高知県佐賀漁港の調査結果

現地調査実施日の天候；曇り

高知県佐賀漁港の調査結果の概要として、漁港内の防波堤・岸壁等施設における係留状況を示す。佐賀漁港ではほとんど縦付係留である。調査日は風が強いため、出漁中の大型船以外は港内の泊地で避難係留中であつた。5tクラスの比較的大きな鰹1本釣漁船、底曳網漁船は船尾2点で係留、小型船は船首2点係留であつた。

漁協へのヒアリングにようると、佐賀漁港は昭和南海沖地震津波の経験している。まだ、組合として海上避難のルール作り等津波対策は行っていないとのことであつた。



図-13 高知県佐賀漁港の調査結果

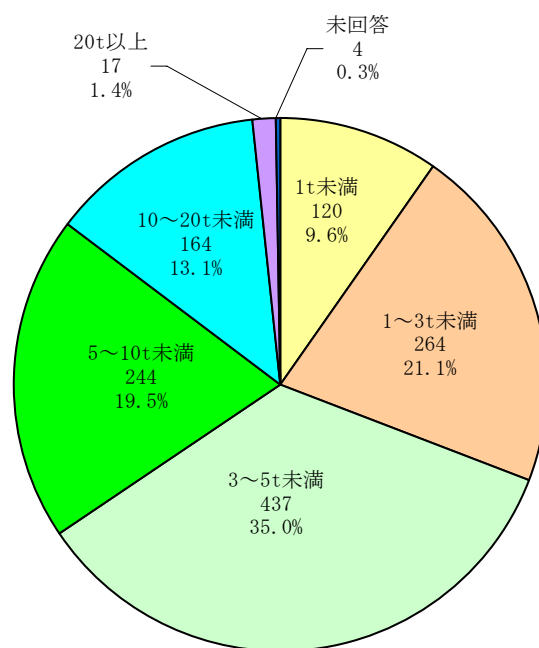
(3) 全国漁協へのアンケート調査による漁船係留の現状把握

①回収状況

今回のアンケートは、海域に接する 39 の都道府県にある 1,318 の漁業協同組合および、その支所に対して行った。各送付先には、3 通のアンケートを送付したが、2 漁協について宛名不明となったため 1,316 箇所合計 3,948 通が送付され、そのうち回答があったのは 1,130 通、回収率は 28.6%であった。

②漁船の t 型

重複回答を含む漁船の t 型の傾向は以下の通りである。



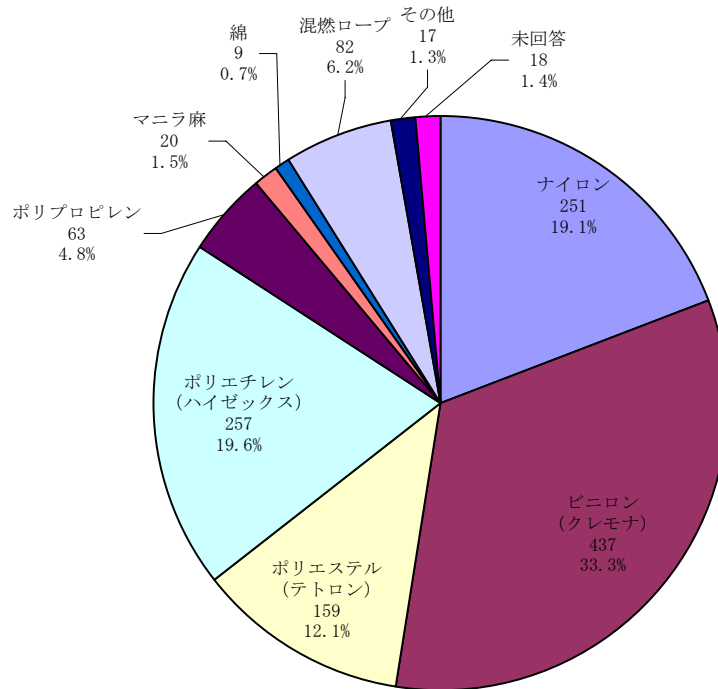
回答された漁船の t 型は 5t 型未満が約 6 割を占め、20t を超える漁船は 17 の回答が寄せられたが、全体に占める割合は 1.4%とわずかである。

ちなみに、20t 超の漁船で最大のものは北海道厚岸漁協所属の 179t 型であった。また、最少のものは 29t 型であったが、平均は 91.6 であり 100t を超えるものも 9 隻と少なくない。

なお、t 型に関する重複回答は 2 ランクを選択した回答が 30、3~5 ランクを選択した回答が 30（それぞれ 9,11,10）であった。

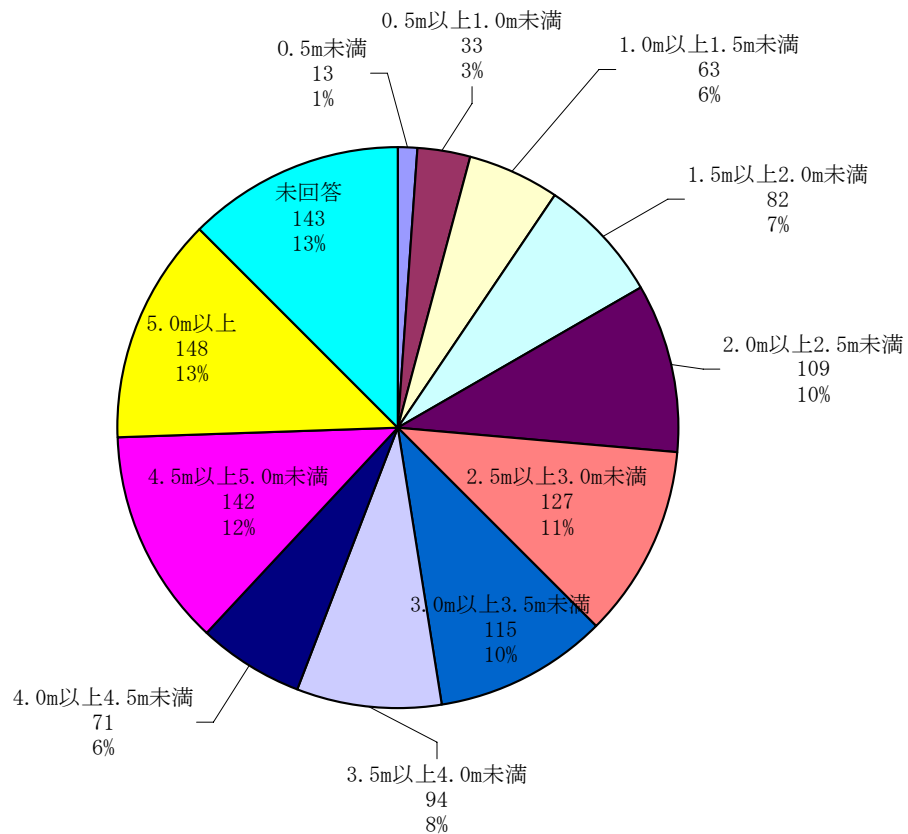
③係留索の材質（種類）

使用されている係留索の材質（種類）はビニロン（クレモナ）が3割程度と最も多く、ついでポリエチレン（ハイゼックス）、ナイロンが2割程度、ポリエステル（テトロン）が1割強となっており、この4種のみで8割以上を占めている。



④ 係留索の長さ

係留索の長さには一定の傾向を見る事が出来ない。これは岸壁や泊地の状況によるものと思われる。



考 察

(1) 張力算定式による係留索の試算

水理模型実験より得られた最大張力算定式より、実際の漁港に津波の来襲を想定して、津波の流速に耐えることができる係留索径の試算を行った。

水理模型実験より得られた係留索に作用する最大張力算定式より、漁港における係留状況を想定することにより、津波の流速に耐えることができる係留索径を試算することができる。

最大張力算定式は以下に示すとおりである。

$$T_{\max} = V_0 \sqrt{\frac{Ea(m+m')}{l_0}} (N)$$

ここに、

- T_{\max} ; 最大張力(N)
- V_0 ; 最大船体速度(m/s)
- m ; 船体質量(kg)
- m' ; 付加質量(kg)
- E ; 係留索のヤング率(N/m²)
- a ; 係留索の断面積(m²)
- l_0 ; 係留索の長さ(m)

となっている。津波の流速と同じ大きさで漁船が流されると想定し、最大船体速度は、津波の流速に等しいとする。付加質量については、「漁港・漁場の施設の設計の手引¹⁾」(pp.148-151.)を参照し、係留状況により次のように求めることができる。すなわち、

$$\text{横付け ; } m' = \frac{\pi}{4} D^2 L \rho (t)$$

$$\text{縦付け ; } m' = \frac{\pi}{4} D^2 B \rho (t)$$

ここに、

- D ; 喫水(m)
- L ; 船体の長さ(m)
- B ; 船体の幅(m)

である。

ただし、この最大張力算定式は、船首または船尾の1点係留の状態、流れに対して係留索がしっかりと張りつめた状態のときに最大張力が発生することを前提としており、漁港内の係留漁船に適用する場合は、津波の流速の向きと漁船の移動の向きが一致した場合に、津波の流速と漁船の移動速度が一致すると仮定している。

ここでは、漁港内での津波の流速を 2.0、3.0、および 4.0m/s(ガイドライン²)pp.資料 80 の漂流シミュレーションの漁船の漂流開始条件 2.0m/s、4.0m/s を考慮し、2.0、3.0、および 4.0m/s に設定)を想定し、漁船の係留状況をいくつか想定して、係留索に発生する最大張力と係留索の材質から決まっている破断強度を比較することにより、津波の流速に耐えることのできる係留索の径を試算した。

検討条件は以下に示すとおりである。なお、試算については、係留索の径は減っておらず、係留索は係船柱や係船環に強固に結び付けられていることを前提としている。

表-2 係留索の試算の検討条件

項目	値	備考
係留索の材質	クレモナ	アンケート、係留索の材質より最多頻度の3割程度の回答
係留索のヤング率	$E=5.0 \times 10^8$ (N/m ²)	メーカーのクレモナ張強度試験より、H18 年度報告書参照
係留索の長さ	$l_0 = 3.0m$	アンケートでは0~5mの範囲で一定の傾向なし、0~5mの中央値で設定
漁船の緒元 (質量、長さ、幅、喫水)	1t, L= 7.0m, B=1.8m, D=1.0m 3t, L= 9.0m, B=2.4m, D=1.4m 5t, L= 11.0m, B=2.8m, D=1.8m 10t, L= 13.0m, B=3.5m, D=2.0m	アンケートより 10t 未満が8割以上をしめたため 漁船の緒元は、漁港・漁場の施設の設計の手引2003年版を参照

係留索の材質は、アンケート調査を参照し、使用頻度が3割程度で最も多かったビニロン(クレモナ)とした。また、クレモナのヤング率についてはメーカーの実施した引張強度試験の結果より設定した(H18年度報告書参照)。係留索の長さについては、アンケートでは一定の傾向を見ることが出来なかったため、アンケート調査でのロープ長0~5mの範囲の中央値として3mとした。漁船の緒元については、アンケートでは10t未満が8割以上を占めていたことから、1t、3t、5tおよび10tとした。

試算結果を漁船の緒元別に図-14~図-17に示す。図は横軸が係留索の径 a (mm)、縦軸は最大張力 T (KN)となっている。図-14より、漁船1tの場合で $V_0=2.0m/s$ に対しては、縦付けではロープ径12mmまでは破断強度よりも最大張力が大きくなって破断の可能性があるが、14mm以上となると、最大張力は破断強度以下となって、ロープの破断の可能性は小さい。一方、横付けではロープ径20mmまでは破断強度よりも最大張力が大きくなって破断の可能性があるが、22mm以上となると、最大張力は破断強度以下となって、ロープの破断の可能性は小さい。付加質量の式からも明らかなように、縦付けと横付けを比較すると、横付けの場合は付加質量が大きくなり、ロープに発生する最大張力も大きくなって、必要となるロープ径も大きくなることになる。

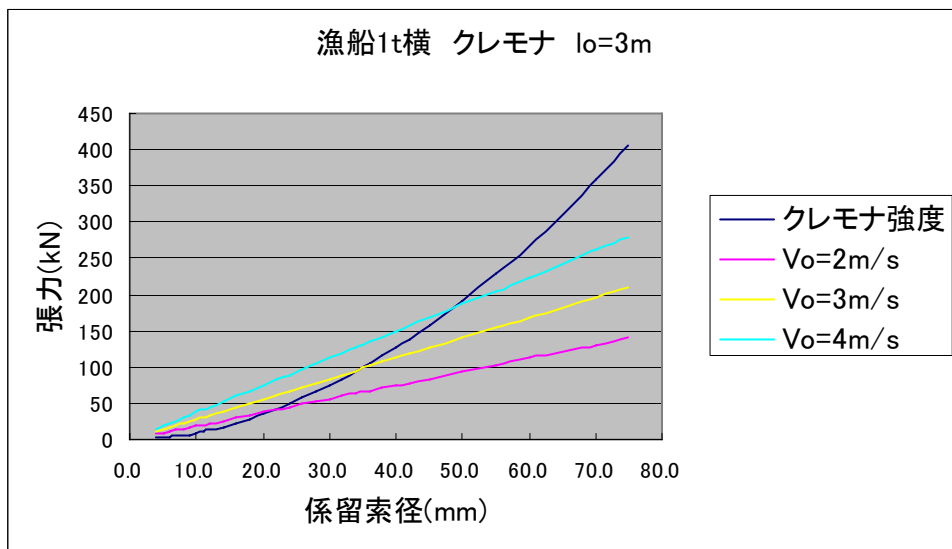
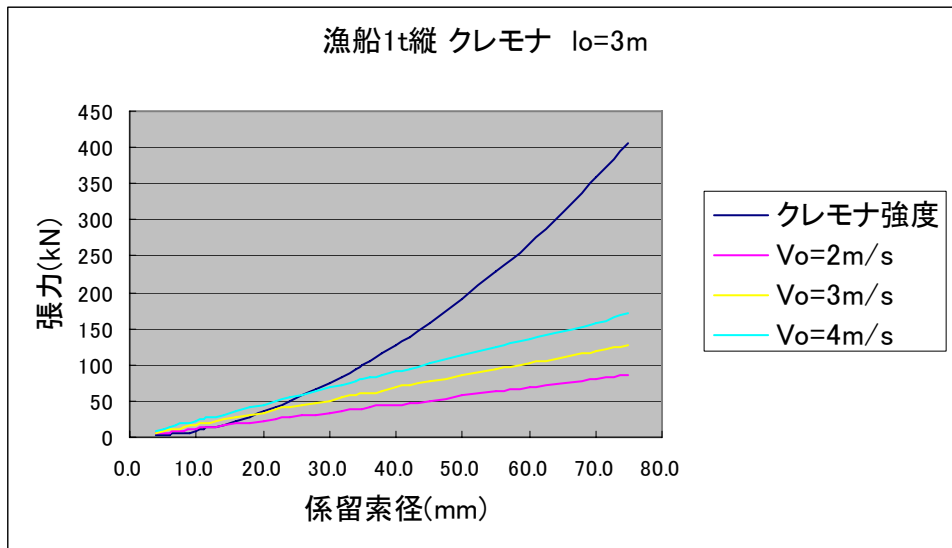


図-14 係留索の径に対する最大張力と破断強度の比較(漁船 1t, 上 ; 縦付, 下 ; 横付)

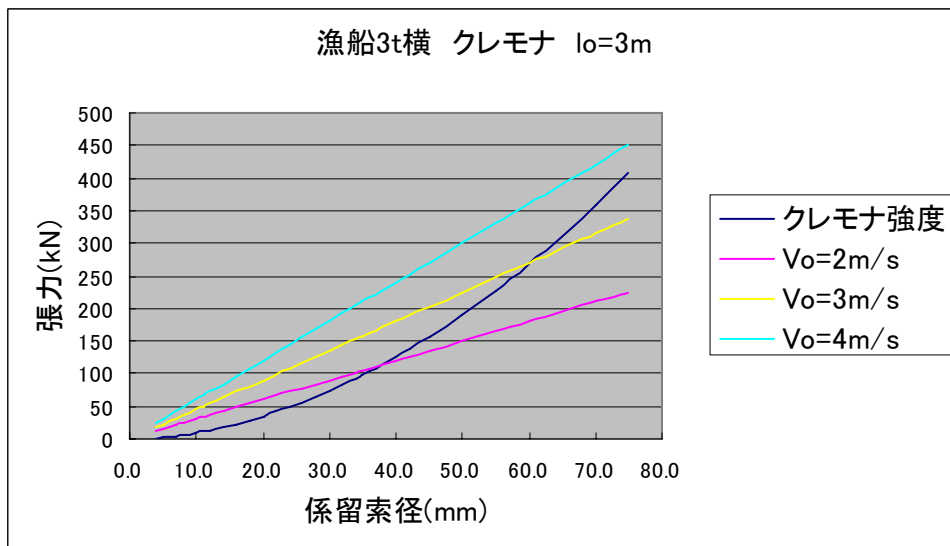
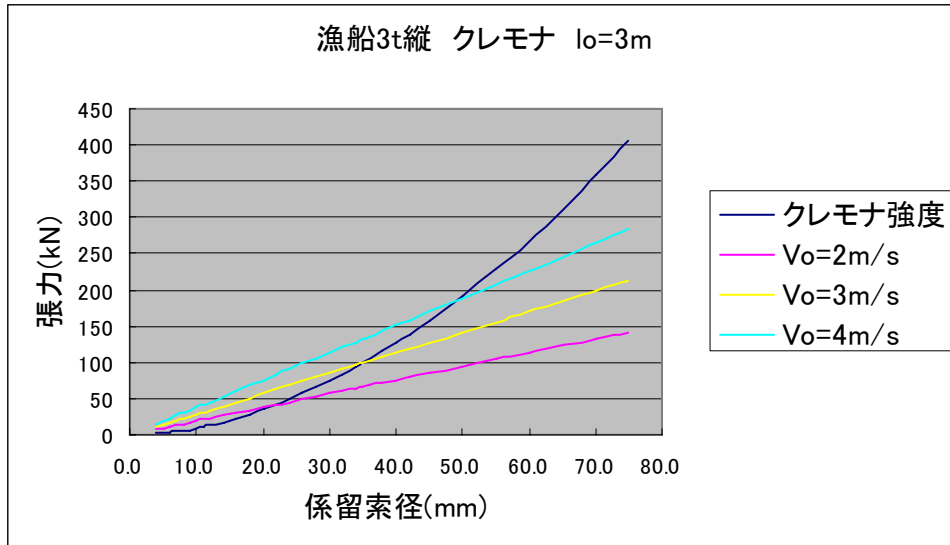


図-15 係留索の径に対する最大張力と破断強度の比較(漁船 3t, 上 ; 縦付, 下 ; 横付)

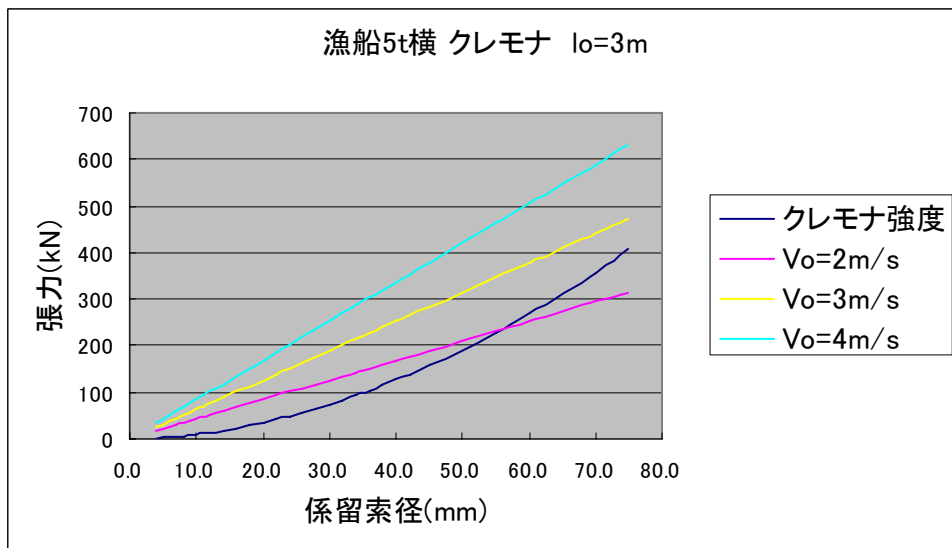
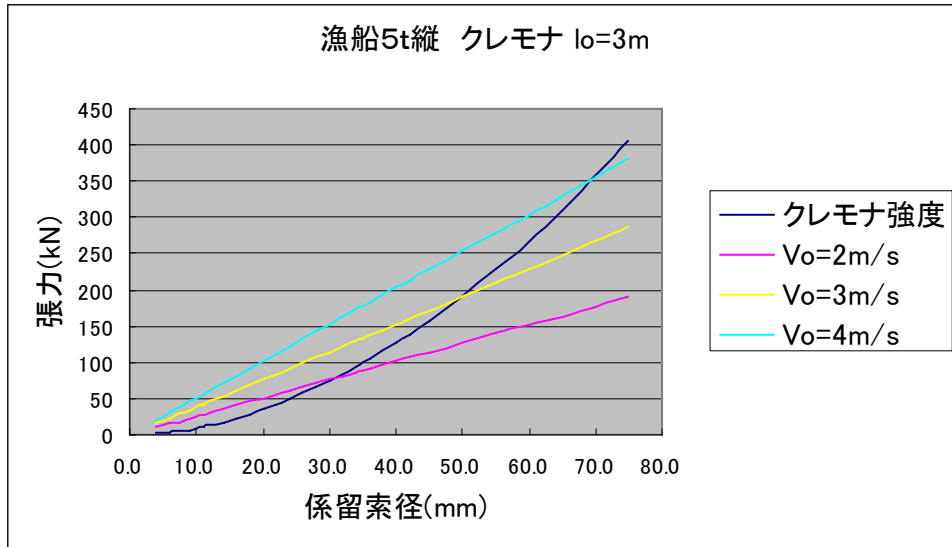


図-16 係留索の径に対する最大張力と破断強度の比較(漁船 5t, 上 ; 縦付, 下 ; 横付)

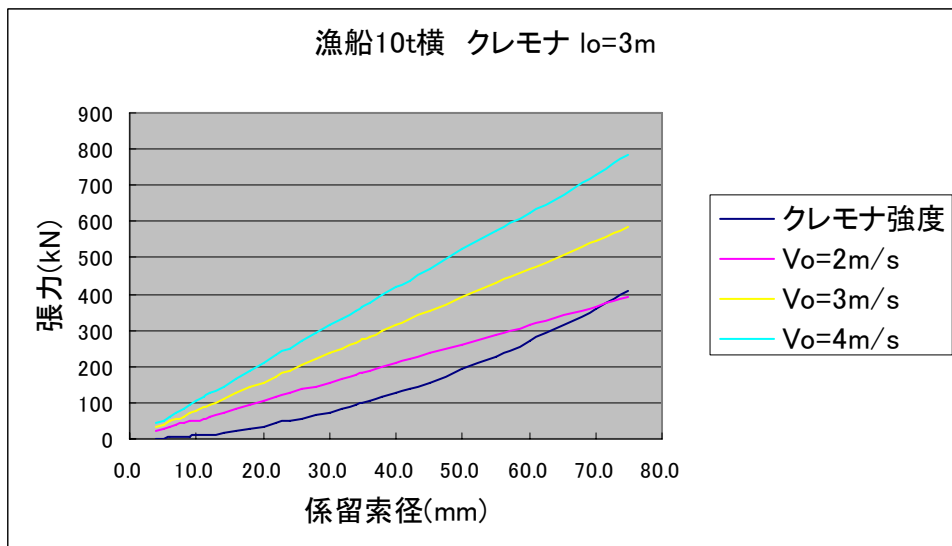
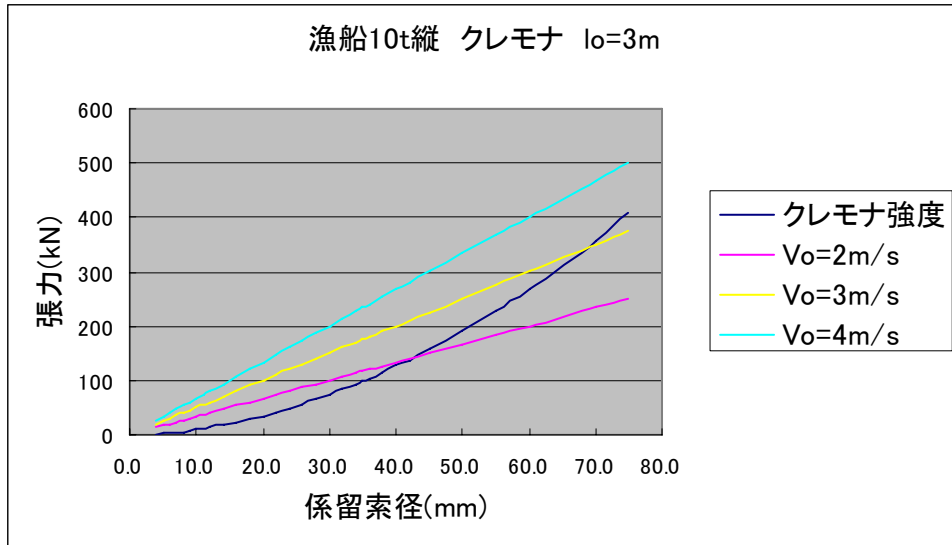


図-17 係留索の径に対する最大張力と破断強度の比較(漁船 10t, 上 ; 縦付, 下 ; 横付)

摘 要

(1) まとめ

- ・水理模型実験により、係留索に働く力の張力の評価式について理論値と実測値の比較を行い、船体の質量、係留索の長さを変化させても、理論値と実測値はほぼ一致した。従ってこの張力の評価式は、船舶が強い流れを受け流下する挙動を再現する際の張力の算定に有効であるということが示された。
- ・提案する理論式を用いて船体速度、物性、索の長さから、係留索に働く張力の予測値を算定可能である。実際の使用に際しての指針を提案した。
- ・岩手県音部漁港・広田漁港、静岡県地頭方漁港・焼津漁港、石川県藤波漁港・蛸島漁港、高知県深浦漁港・佐賀漁港において漁船の係留状況について、現地調査を実施した。調査実施日の現地係留状況として、縦付け・横付け、係留点数等を確認した。
- ・現地調査によると、各漁港とも小型の漁船で休けい状態では縦付けの漁船が多く、大型の漁船は荷揚げ等の作業のため岸壁に対して横付けの漁船が多く見られた。
- ・漁港内での津波の流速、漁船の係留状況を船首または船尾の縦付け・横付け 1 点係留を想定して、係留索に発生する最大張力と係留索の材質から決まっている破断強度を比較することにより、津波の流速に耐えることのできる係留索径を試算した。

(2) 今後の課題

- ・津波が来襲した場合、潮位が高くなるため、係船環や係船柱から係留索が抜けて漂流する場合も考えられる。実際に、沖縄県などでは問題になっているという報告がある。本調査では、係留索が係船環や係船柱に係留されている前提で行なっているが、上記のような問題も含めて漁船の係留方法を検討していく必要がある。
- ・現状の漂流シミュレーションプログラムについて、対象地区の船体質量、係留索（断面積、弾性係数、長さ）によって、より詳細なシミュレーションを実施することが可能となると思われる。そのため、現状の漂流シミュレーションプログラムの改善が望まれる。

引用文献

- 1) 水産庁、2003 年版：漁港・漁場の施設の設計の手引、社団法人全国漁港漁場協会、pp. 148-151
- 2) 水産庁、平成 18 年 3 月：災害に強い漁業地域づくりガイドライン、水産庁漁港漁場整備部、pp. 資料 80