

国土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL NOTE of
National Institute for Land and Infrastructure Management

No.1198

March 2022

係留索の最小切断荷重に基づく 津波来襲時における船舶牽引力の概略評価

平田悠真・佐々木宏和・竹信正寛
宮田正史・米山治男

Rough Evaluation of Ship Tractive Force during Tsunami Impact
Based on Minimum Breaking Load of Mooring Ropes

HIRATA Yuma, SASAKI Hirokazu, TAKENOBU Masahiro
MIYATA Masafumi, YONEYAMA Haruo

国土交通省 国土技術政策総合研究所

National Institute for Land and Infrastructure Management
Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism, Japan

係留索の最小切断荷重に基づく 津波来襲時における船舶牽引力の概略評価

平田悠真*・佐々木宏和*・竹信正寛**
宮田正史***・米山治男****

要 旨

現在、国土交通省港湾局においては、係留避泊の安全性を高めるための検討を進めている。しかし、現行の港湾基準では津波来襲時の船舶の係留避泊に対応した係留施設の設計体系は提示されていない。そのため、その検討の端緒として、係留避泊の安全性検討に用いる津波来襲時の船舶牽引力の概略設定手法の評価を行った。

本資料では、津波来襲時の船舶牽引力を評価するため、津波来襲時に備えた係留方法に関するアンケート調査を行い、津波来襲時に係船柱1基に掛ける係留索の最大本数に関して調査した結果を示す。また、2024年に予定されている改正SOLAS条約に基づく係留索の最小切断荷重の変更に ついて検討する。さらに、これらの検討結果に基づいて津波来襲時の船舶牽引力を、係船柱1基あ たりには掛ける係留索の本数に係留索の最小切断荷重を乗じて得られる値とし、概算牽引力を設定 した。その上で、この概算牽引力と港湾基準における係船柱に作用する船舶の牽引力の標準値と の関係の比較を行う。

アンケート調査結果より、津波来襲時に係船柱1基に掛けられると想定される係留索の本数は、 おおむね2本～4本であることが判明した。また、係船柱に係留索を4本掛けた状態における津波来 襲時の概算牽引力は、船側投影面積が大きい船舶において係船柱に作用する船舶の牽引力の標準 値を大きく超える場合が多く、コンテナ船で約1.4倍～約6.7倍となった。

キーワード：津波，係留船舶，牽引力，最小切断荷重，IMO（国際海事機関），係船柱

* 港湾研究部
** 港湾研究部 港湾施設研究室 室長
*** 国土交通省港湾局 技術企画課技術監理室 室長
(国土技術政策総合研究所 港湾研究部 併任)
**** 国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所 港湾空港技術研究所 海洋利用研究領域 領域長

Rough Evaluation of Ship Tractive Force during Tsunami Impact Based on Minimum Breaking Load of Mooring Ropes

HIRATA Yuma *
SASAKI Hirokazu *
TAKENOBU Masahiro **
MIYATA Masafumi ***
YONEYAMA Haruo ****

Synopsis

The Port and Harbor Bureau of the Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism currently studies how to improve security of harborage. However, Standards for Port and Harbour in Japan (2020) does not discuss the design system of mooring facilities for harborage at tsunamis. Therefore, we evaluated rough setting methods of ship tractive force to consider harborage security in tsunami impacts.

This document presents the results of a questionnaire survey on mooring methods for tsunami impact and the maximum number of mooring ropes to be hung from a single bollard when a tsunami strikes in order to evaluate the towing capacity of a ship during a tsunami. In addition, we consider changes of the minimum breaking load of mooring ropes based on the revised SOLAS Convention scheduled for 2024. Based on the results of these studies, the ship tractive force at the time of a tsunami impact was estimated by multiplying the number of mooring ropes per bollard by the minimum breaking load of the mooring ropes. The relationship between this estimated tractive force and the standard values of the ship tractive force of a vessel acting on a bollard in port standards is then compared.

The questionnaire survey revealed that the number of mooring ropes that are expected to be hung from a single bollard when a tsunami strike is approximately two to four cables. The estimated tractive force at the time of a tsunami impact with four mooring ropes attached to bollards often exceeded the standard ship tractive force acting on the bollards for vessels with a large side projected area, ranging from 1.4 to 6.7 times for container vessels.

Key Words: Tsunami, Moored Ship, Tractive Force, Minimum Breaking Load, IMO, Bollard

* Port and Harbor Department, NILIM
** Head of Port Facilities Division, Port and Harbor Department, NILIM
*** Head of Engineering Administration Office, Engineering Planning Division, Port and Harbor Bureau
(Concurrent post of Port and Harbor Department, NILIM)
**** Director, Coastal and Ocean Development Department, PARI

目 次

1. はじめに	1
2. 津波来襲時に備えた船舶係留方法に関するアンケート調査	1
2.1 アンケート調査の概要	1
2.2 アンケート調査の結果	2
3. 改正SOLAS条約による係留索の最小切断荷重に関する検討	5
3.1 係船設備に関するSOLAS条約の改正に基づく係留索の最小切断荷重の算定法	5
3.2 対象船舶に対する係留索の最小切断荷重の算定手順	6
3.3 対象船舶に対する係留索の最小切断荷重の比較	8
4. 津波来襲時の概算牽引力と標準牽引力の比較	11
4.1 津波来襲時の牽引力評価の必要性	11
4.2 津波来襲時の概算牽引力と標準牽引力の比較	11
4.3 津波来襲時の係船柱の構造安定性評価に向けた今後の課題	14
5. まとめ	15
謝辞	15
参考文献	15
付録A アンケート調査から得られた参考事項（利用する係船柱の数）	17
付録B アンケート調査から得られた参考事項（係留索の役割ごとの係留索利用本数）	20

1. はじめに

現在、国土交通省港湾局においては、係留強化等により、津波来襲時に係留したまま避泊させる係留避泊の安全性を高めるための検討を進めている。また、東日本大震災の際に係留避泊したと推定される船舶は、国土交通省海事局が実施したアンケート調査²⁾において公表されている。これによると、東日本の太平洋沿岸地域において地震発生前に係留中または荷役作業を行っていた船舶（92隻）のうち、約54%の船舶（50隻）は津波来襲時に係留避泊を選択したと推計されている。このことから、津波来襲までの時間が短い場合には係留避泊が選択される可能性があるが、現行の「港湾の施設の技術上の基準・同解説³⁾」（以降、港湾基準）では津波来襲時の船舶に係留避泊に対応した係留施設の設計体系は提示されていない。そのため、津波来襲時の船舶に係留避泊に対応した係留施設の設計体系についての議論が必要と考えられる。

津波来襲時の船舶に係留避泊の安全性を検討する上での課題の一つは、津波来襲時の船舶牽引力に対する係船柱や係留施設の構造安定性の評価である。その評価にあたっては、津波来襲時の係留船舶から係船柱に作用する牽引力を設定した上で、係船柱または係留施設の耐力を検証することが必要となる。津波来襲時の船舶牽引力は、津波シミュレーションと船舶動揺シミュレーションを組み合わせて検討することも可能である。しかし、津波来襲時に係船柱に掛ける係留索の数やそれらの配置方法は必ずしも明確ではなく、さらに対象船舶によっても変化するため、このような検討手法を用いた船舶牽引力の設定は容易ではない。

このため、係留避泊の安全性検討に用いる津波来襲時の船舶牽引力の概略設定手法として、係船柱1基あたりに掛ける係留索の本数に、係留索の最小切断荷重を乗じて得られる値を概算牽引力として設定する方法が考えられる。一方で、2024年に予定されている改正 SOLAS 条約の発効により、係留索の最小切断荷重の規定が変更される予定であり、この方法に基づいて概算牽引力を評価する際は、その変更に対する影響も考慮に入れる必要がある。

本資料では、津波来襲時の船舶牽引力を上述の手法によって評価するため、まず主要な船種（コンテナ船、RORO 船、貨物船、タンカー、フェリー）に対して、津波来襲時に備えた係留方法に関するアンケート調査を行い、津波来襲時に係船柱1基に掛ける係留索の最大本数に関して調査した結果を示す（2章）。また、改正 SOLAS 条約に基づく係留索の最小切断荷重の変更について検討

する（3章）。さらに、これらの検討結果に基づいて津波来襲時の船舶牽引力を概算牽引力として評価した上で、この概算牽引力と港湾基準における係船柱に作用する船舶の牽引力の標準値との関係を比較する（4章）。

2. 津波来襲時に備えた船舶係留方法に関するアンケート調査

津波来襲時の船舶に係留避泊に関する安全性の検討にあたっては、1章で言及したように、津波来襲時の係船柱に生じる牽引力を算定する必要がある。この参考とするために調査対象港湾および岸壁を抽出した上で、実際に岸壁を利用する船社や港湾管理者、港湾運送業者を対象として、津波来襲時に係船柱1基あたりに対して掛ける係留索の想定本数を把握するためのアンケート調査を行った。本章では、アンケート調査内容について述べた上でその調査結果を示す。

2.1 アンケート調査の概要

(1) 調査対象

アンケート調査は、実際に岸壁を利用する船社や港湾管理者、港湾運送業者に対して行った。対象岸壁は、南海トラフ地震や日本海溝・千島海溝地震等に伴う地震津波により船舶への被害が想定される港湾の公共岸壁とした。調査対象とする船種は、コンテナ船、RORO船、貨物船、タンカー、フェリーの5種類とした。なお、特に津波来襲時に関する想定事項が多く含まれることから、本資料では個別具体の港湾や調査対象とする岸壁、接岸船舶に関する詳細は掲載していない。

(2) 調査内容

本アンケートでは、調査対象とする船舶が岸壁に接岸する場合に、係船柱に対して係留索を掛ける際の各係船柱への本数や、係船柱の配置に対する平面的な掛け方を主要な調査対象とした。このとき、通常時の運用における係留索の掛け方である「平時」、低気圧や台風等の接近が予想され、海象条件が悪化する際に係留強化を想定した（またはその運用実態である）「荒天時」、津波が来襲することが津波警報等による何らかの方法で把握できた場合に、係留強化を行うことを想定した「津波来襲時」の3つの状況を対象とした。なお、「平時」と「荒天時」の調査は、「津波来襲時」において通常とは異なる増し取り等の対応状況の把握のため、比較対象として設定したものである。

アンケート調査の回答の一例を図-2.1に示す。なお、

図は回答結果を基に著者らで加筆，整理を行っている。アンケート調査に際しては，図-2.1に示すような概略図を用いて，各状況において船舶係留時に使用する係船柱の平面的な配置と，それらに係留索を掛ける方向や本数を示すよう依頼し，特記事項・補足情報等の記載欄を設けた。図中の回答例は，10,000GTのコンテナ船を対象としたものであり，「平時」に比べ「荒天時」と「津波来襲時」は，船首側と船尾側の係留索を1本ずつ増し取りしていることがわかる。

2.2 アンケート調査の結果

(1) 回答数

表-2.1にアンケート調査の回答数を示す。表-2.1は「平時」「荒天時」「津波来襲時」の3つの状況を係留状況と表現し，船種ごとに分類している。回答の取得数は，「平時」における41が最多である。表-2.1では「平時」に比べて「荒天時」や「津波来襲時」の回答数が少なくなっているが，これは無回答や「荒天時，津波来襲時の係留を想定していないため」と回答した船舶があったためである。また，「平時」と「津波来襲時」に回答したケースや，「荒天時」と「津波来襲時」に回答したケースは存在しない。したがって，回答の種類としては①「平時」

のみ，②「平時」・「荒天時」，③「平時」・「荒天時」・「津波来襲時」全て，の3種類である。

なお，表-2.1では，フェリー2隻について同一船舶に対して異なる2地点の係留箇所を想定した回答が得られているため，フェリーの利用状況回答数5が隻数3を上回っているが，隻数については実際の回答隻数（計39隻（フェリーは3隻））を表記している。また，タンカーは2隻について回答が得られたが，平時のみの回答であった。

表-2.1 アンケート調査のデータ取得数

船種	隻数	係留索・係船柱の利用状況		
		平時	荒天時	津波来襲時
コンテナ船	16	16	10	9
RORO船	13	13	11	9
貨物船	5	5	4	3
タンカー	2	2	0	0
フェリー	3	5	5	5
計	39	41	30	26

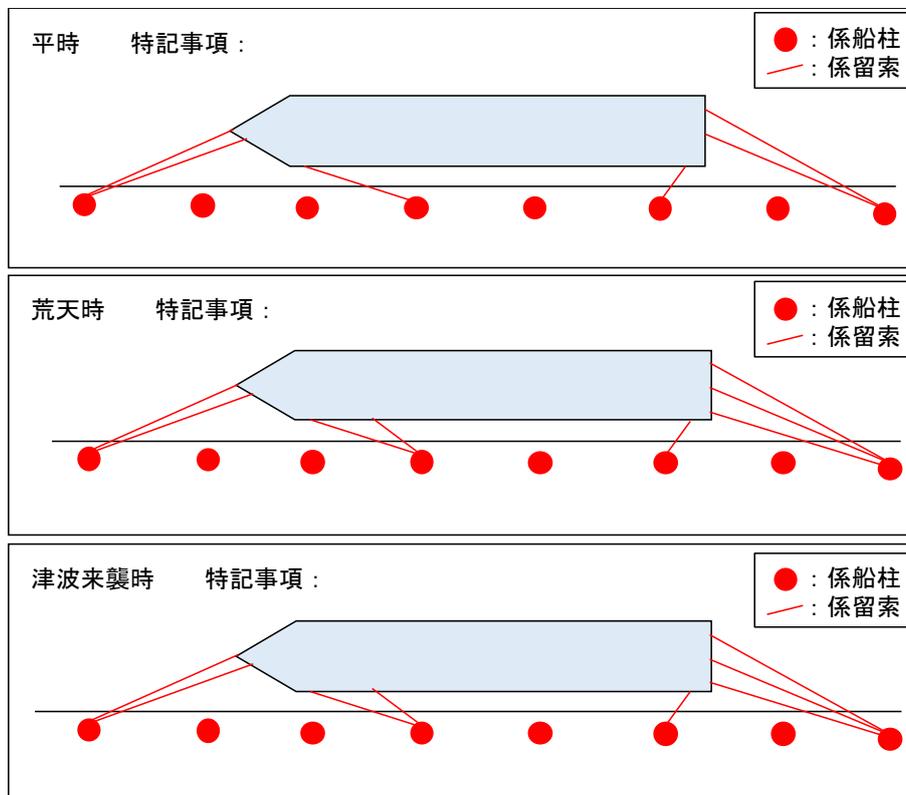


図-2.1 係船柱と係留索の平面的な掛け方に関する回答例（コンテナ船，10,000GT）

(2) 係船柱1基に掛ける係留索の最大本数

アンケート調査結果より、まず係船柱1基に掛ける係留索の最大本数を、船種別、船型別に「平時」、「荒天時」、「津波来襲時」の状況ごとに整理した。船種別に整理した結果を図-2.2(a)-(c)に示す。港湾基準に記載されている係船柱に作用する船舶の牽引力の標準値の区分を参考として、総トン数ごとに整理した結果を図-2.3(a)-(c)にそれぞれ示す。ここで、係留索端部のアイ（輪になっている部分）を岸壁の係船柱にかけず、係留索を係船柱に回し掛けて、アイを船側に固定する「バイトに取る」と呼称される運用があるが、この場合は係留索2本分と計上した。

図より「平時」において係船柱1基に掛ける係留索の本数は2本が多く、最多で4本であった。「荒天時」や「津波来襲時」では3本が多く、最多で5本であった。船種による係留索の最大本数の内訳は、「平時」、「荒天時」、「津波来襲時」に共通して大きな違いは見られない。また、船型別に着目すると、10,000GTを超える船舶は「平時」においても係船柱1基に係留索を2本以上掛け、「荒天時」や「津波来襲時」はほとんどの船型で2本以上掛けることを想定していることが判明した。

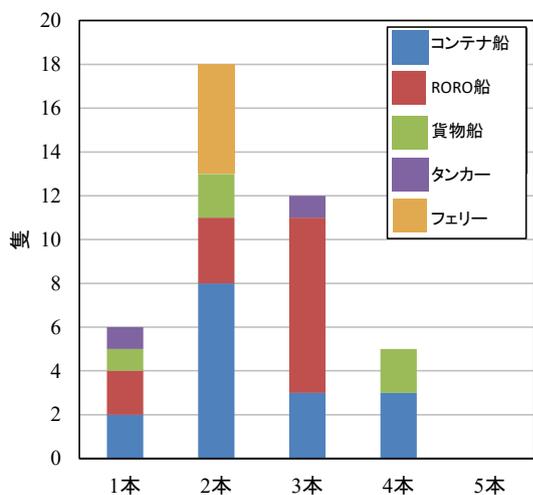


図-2.2(a) 船種別の係留索最大本数 (平時)

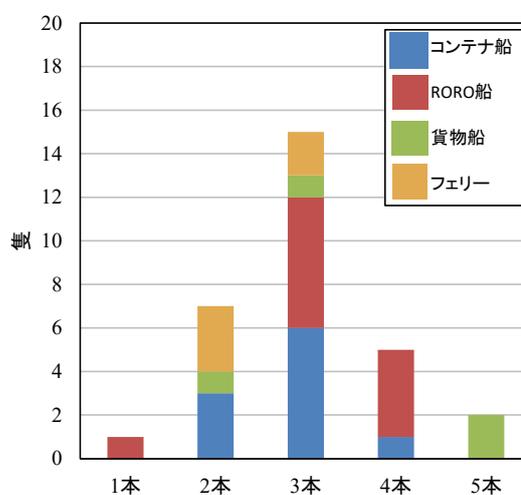


図-2.2(b) 船種別の係留索最大本数 (荒天時)

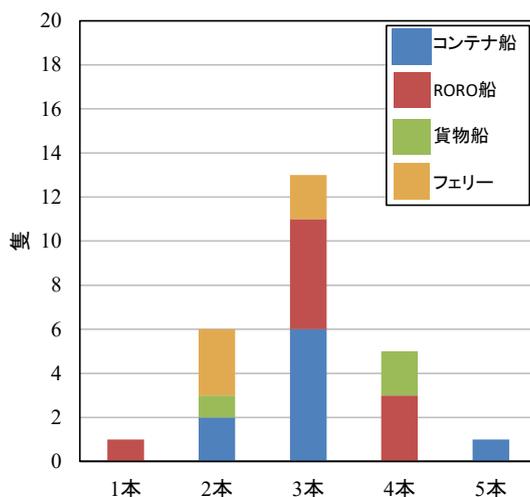


図-2.2(c) 船種別の係留索最大本数 (津波来襲時)

係留索の最小切断荷重に基づく津波来襲時における船舶牽引力の概略評価
/平田悠真・佐々木宏和・竹信正寛・宮田正史・米山治男

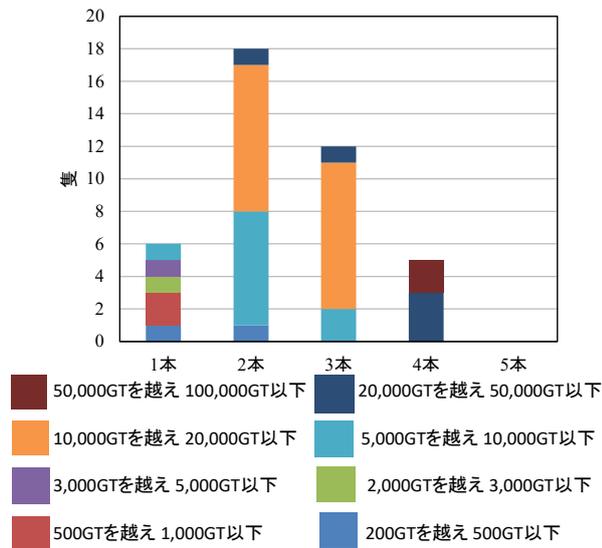


図-2.3(a) 船型別の係留索最大本数 (平時)

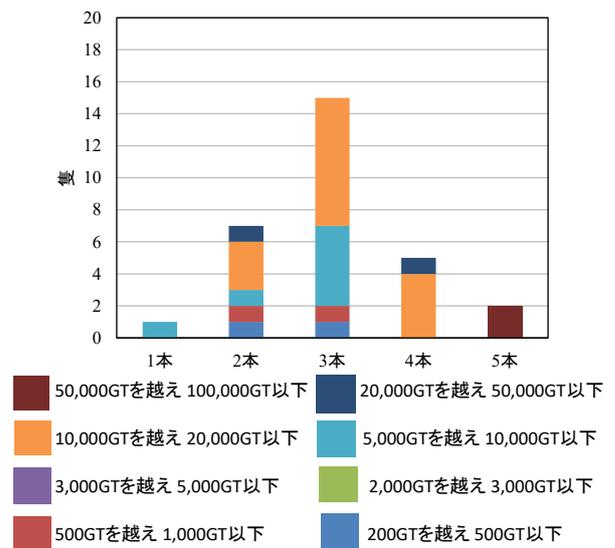


図-2.3(b) 船型別の係留索最大本数 (荒天時)

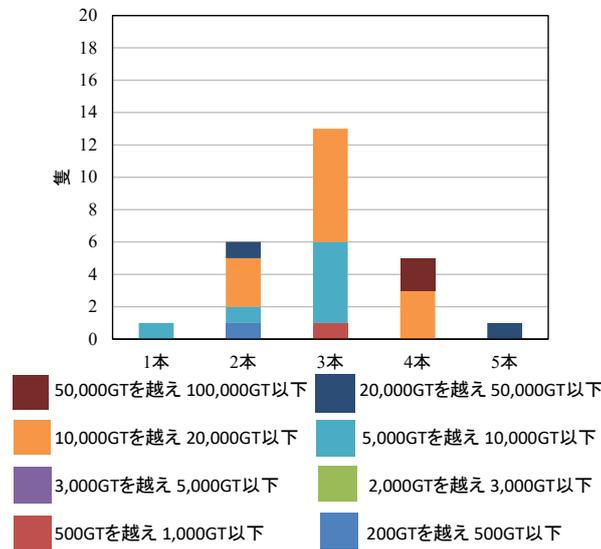


図-2.3(c) 船型別の係留索最大本数 (津波来襲時)

(3) 係留状況の変化に対する係船柱1基に掛ける係留索の最大本数の変化

次に、係留状況が変化した場合の、係船柱1基に掛ける係留索の最大本数の変化を図-2.4(a)-(b)と図-2.5(a)-(b)に示す。図-2.4(a)-(b)は船種別の結果を、図-2.5(a)-(b)は船型別の結果を示したものである。

「平時」からの増加数に着目した場合、増し取りに際して、係留索の最大本数を増やさないケース(同数)と1本増加させるケースが大半を占めている。同数と回答した主な理由としては、「常に荒天時を想定して係留している」、「津波来襲までに増し取りを行う時間がないため係留索の最大本数を増やすことができない」などがあった。以上に示した増し取り時の対応は、いずれの船種・船型においても共通した対応であった。

(4) アンケート調査結果のまとめ

(2), (3)の結果より、「平時」については、係船柱1基に掛ける係留索の最大本数は1本から4本であった。「荒天時」、「津波来襲時」については、係船柱1基に掛ける係留索の最大本数は2本から4本であったが、5本との回答は「荒天時」で2件、「津波来襲時」で1件しかなく、4本までで約9割を占めていた。上記より、係留状況に関係なく、1本から4本の係留索を係船柱1基に掛ける傾向にあると考えられる。また、船型別では係留状況を問わず、10,000GTを超える船舶では2本以上の係留索を係船柱1基に掛けており、20,000GTを超える一部の船舶は「荒天時」、「津波来襲時」において、係船柱1基に係留索を5本掛けるケースもあった。

アンケート調査から得られたその他の情報である、船舶に係留する際に使用する係船柱の数と係留索の役割ごとの係留索利用本数については付録A, 付録Bに記載した。

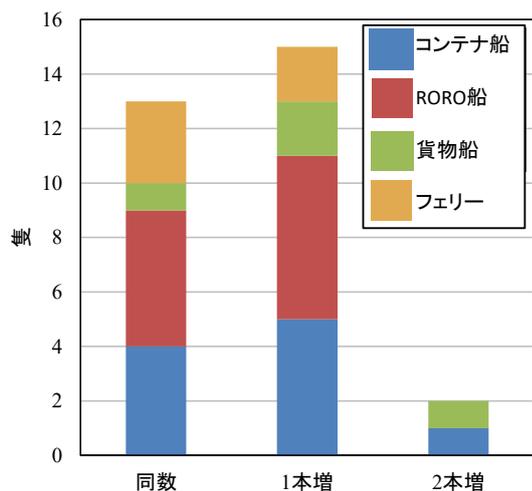


図-2.4(a) 船種別の係留索最大本数の増加数 (平時から荒天時)

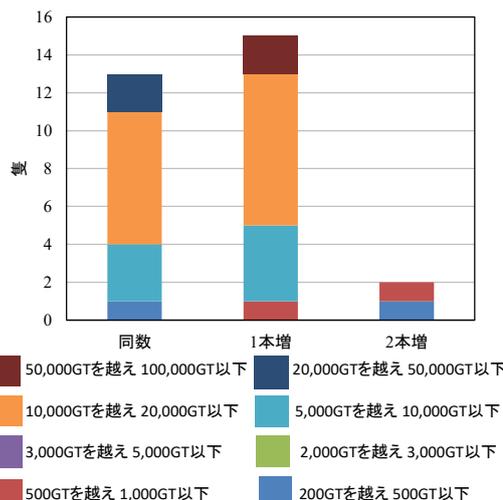


図-2.5(a) 船型別の係留索最大本数の増加数 (平時から荒天時)

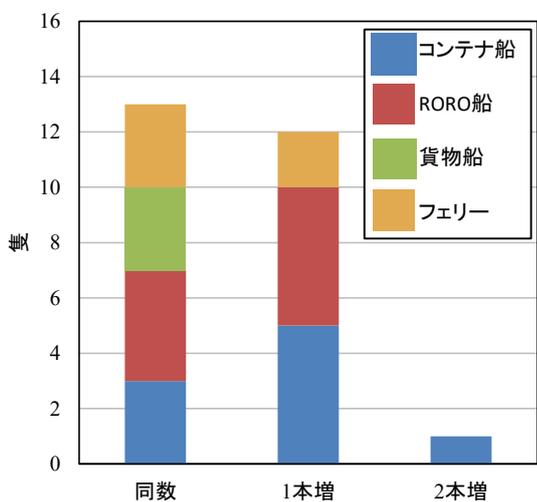


図-2.4(b) 船種別の係留索最大本数の増加数 (平時から津波来襲時)

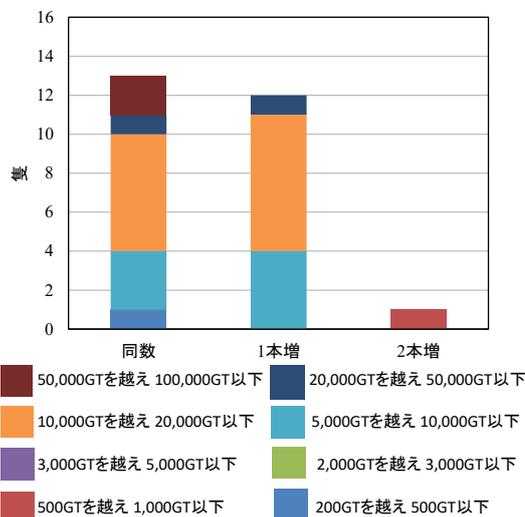


図-2.5(b) 船型別の係留索最大本数の増加数 (平時から津波来襲時)

3. 改正SOLAS条約による係留索の最小切断荷重に関する検討

2020年11月に開催された国際海事機関 (IMO) の第102回海上安全委員会 (MSC102) において、係船設備に関するSOLAS条約の改正内容と、その適用を2024年1月1日とすることが承認されている⁴⁾。この係船設備に関するSOLAS条約の改正事項には、船舶側で準備する係留索の最小切断荷重の規定が含まれていることから、1章に示したように津波来襲時の概算牽引力を、係船柱1基あたりに掛ける係留索の数に係留索の最小切断荷重を乗じた値として概略評価する場合、新規則の内容を考慮する必要がある。

本章では、SOLAS条約の改正前後における係留索の最小切断荷重等の算定方法について整理し、改正条約にお

ける規定を適用した際の標準的な船型に対する係留索の最小切断荷重の変更について検討する。

3.1 係船設備に関する SOLAS 条約の改正に基づく係留索の最小切断荷重の算定法

係留索の最小切断荷重は、国際船級協会連合 (IACS) における統一規格において規定されている。この規定内容は従来「IACS Rec.10 Rev.2⁵⁾」として規定されていたが、2016年に「IACS Rec.10 Rev.3⁶⁾」として更新され、この内容が2024年1月のSOLAS条約において適用される予定である。本資料では、「IACS Rec.10 Rev.2」の規定内容を「従来規則」として、「IACS Rec.10 Rev.3」を「新規則」として表記し、以下、係留索の最小切断荷重に関する両者の算定方法の違いについて述べる。

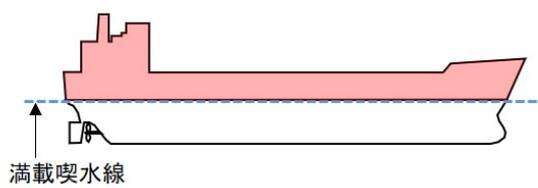


図-3.1 満載喫水線から上部の
船側投影面積 A の範囲 (概念図)

(1) 従来規則における係留索の最小切断荷重の算定方法

従来規則において船舶側で準備する係留索の最小切断荷重は、式(1)を基に対象船舶の艀装数を算定した上で、その艀装数を用いて表-3.1 (従来規則の最小切断荷重の欄、文献5)を基に作成) から決定する。

$$EN = W^{\frac{2}{3}} + 2.0hB + 0.1A \quad (1)$$

ここに、 EN : 艀装数、 W : 満載排水量 (t)、 h : 満載喫水線から甲板室の最高部までの高さ (m)、 B : 船幅 (m)、 A : 満載喫水線から上部の船側投影面積 (m^2) (概念図を図-3.1に示す) である。なお、正確には、 A の値を求めるために様々な詳細条件が定められている⁶⁾が、図-3.1では概念図のみ示している。

(2) 新規規則における係留索の最小切断荷重の算定方法

新規規則における係留索の最小切断荷重は、式(1)で算定した艀装数が2,000以下の場合と2,000を超える場合に分けて以下の算定方法が提案されている。

a) 艀装数が2,000以下の場合

艀装数が2,000以下の場合、従来規則と同様に表-3.1 (新規規則の最小切断荷重の欄、文献6)を基に作成)を用いて最小切断荷重を求める。艀装数の区分は従来規則と同じであるが、最小切断荷重は約10%増加している。なお、最小切断荷重の変更経緯や技術的な背景については、文献7)を参考にされたい。

b) 艀装数が2,000を超える場合

係留索の最小切断荷重は、船側投影面積 A_1 を用いた算定式である式(2)に基づいて計算する。

$$MBL = 0.1A_1 + 350 \quad (2)$$

ここに、 MBL : 最小切断荷重 (kN)、 A_1 : 最も喫水の浅いバラスト状態、または甲板上の貨物の投影面積を含めた満載状態での船側投影面積のいずれか大きい方 (m^2) (概念図を図-3.2に示す) である。なお、正確には、 A_1

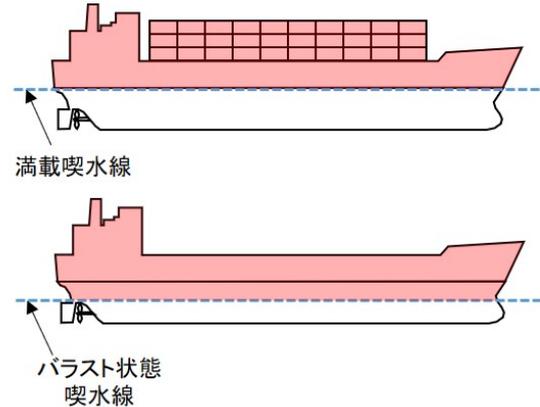


図-3.2 船側投影面積 A_1 を算定する際の範囲
(概念図)

の値を求めるために様々な詳細条件が定められている⁶⁾が、図-3.2では概念図のみ示している。

3.2 対象船舶に対する係留索の最小切断荷重の算定手順

本節では、3.1で示した従来規則と新規規則を適用した場合の係留索の最小切断荷重に関する比較手法について述べる。係留索の最小切断荷重の算定においては、対象船舶の諸元を特定しなければならない。本資料では、港湾基準に示されている標準的な船舶を対象船舶⁷⁾とし、両規則を適用して比較することとした。対象船舶と船型を表-3.2に示す。ここでは、対象船舶に対する艀装数および船側投影面積の算定方法について述べる。

(1) 対象船舶に対する艀装数の算定

従来規則、新規規則ともに係留索の最小切断荷重の算定に必要な艀装数は、式(1)によって算定するが、この式は対象船舶の詳細な船舶諸元が特定されていないと適用することができない。

したがって本算定においては、まず港湾技研資料 No.348⁸⁾で提案されているGTまたはDWTに関する回帰式である式(3)を用いて、対象船舶の艀装数を船種別に算定することとした。なお、回帰式が提案されている船舶は、コンテナ船、貨物船、タンカー、フェリー、旅客船の5種類の船舶であるため、本資料の対象船舶もこの5種類に限定した。

$$EN = aX^b \quad (3)$$

ここに、 EN : 艀装数、 X : 載貨重量トン数 (DWT) または総トン数 (GT)、 a 、 b : 回帰係数、であり、使用した回帰係数を表-3.3に示す。

表-3.1 艀装数に対応する最小切断荷重

艀装記号	艀装数		従来規則の 最小切断荷重	新規則の 最小切断荷重
	を超え	以下	<i>kN</i>	<i>kN</i>
A1	50	70	34	37
A2	70	90	37	40
A3	90	110	39	42
A4	110	130	44	48
A5	130	150	49	53
B1	150	175	54	59
B2	175	205	59	64
B3	205	240	64	69
B4	240	280	69	75
B5	280	320	74	80
C1	320	360	78	85
C2	360	400	88	96
C3	400	450	98	107
C4	450	500	108	117
C5	500	550	123	134
D1	550	600	132	143
D2	600	660	147	160
D3	660	720	157	171
D4	720	780	172	187
D5	780	840	186	202
E1	840	910	201	218
E2	910	980	216	235
E3	980	1,060	230	250
E4	1,060	1,140	250	272
E5	1,140	1,220	270	293
F1	1,220	1,300	284	309
F2	1,300	1,390	309	336
F3	1,390	1,480	324	352
F4	1,480	1,570	324	352
F5	1,570	1,670	333	362
G1	1,670	1,790	353	384
G2	1,790	1,930	378	411
G3	1,930	従来規則 : 2,080 新規則 : 2,000	402	437
G4	2,080	2,230	422	-
G5	2,230	2,380	451	-
H1	2,380	2,530	480	-
H2	2,530	2,700	480	-
H3	2,700	2,870	490	-
H4	2,870	3,040	500	-
H5	3,040	3,210	520	-
J1	3,210	3,400	554	-
J2	3,400	3,600	588	-
J3	3,600	3,800	618	-
J4	3,800	4,000	647	-
J5	4,000	4,200	647	-
K1	4,200	4,400	657	-
K2	4,400	4,600	667	-
K3	4,600	4,800	677	-
K4	4,800	5,000	686	-
K5	5,000	5,200	686	-
L1	5,200	5,500	696	-
L2	5,500	5,800	706	-
L3	5,800	6,100	706	-
L4	6,100	6,500	716	-
L5	6,500	6,900	726	-
M1	6,900	7,400	726	-
M2	7,400	7,900	726	-
M3	7,900	8,400	735	-
M4	8,400	8,900	735	-
M5	8,900	9,400	735	-
N1	9,400	10,000	735	-
N2	10,000	10,700	735	-
N3	10,700	11,500	735	-
N4	11,500	12,400	735	-
N5	12,400	13,400	735	-
O1	13,400	14,600	735	-
O2	14,600	16,000	735	-

表-3.2 対象船舶と算定に用いた船型

	DWT		DWT		DWT		GT		GT
	コンテナ船		10,000		貨物船		1,000		タンカー
	20,000		2,000				6,000	5,000	
	23,000		3,000				10,000	10,000	
	27,000		5,000				15,000	20,000	
	30,000		6,000				20,000	30,000	
	40,000		10,000				-	50,000	
	50,000		12,000				-	70,000	
	60,000		15,000				-	100,000	
	100,000		18,000				-	130,000	
	140,000		30,000				-	160,000	
	165,000		40,000				-	-	
	185,000		50,000				-	-	
	200,000		55,000				-	-	
	-		70,000				-	-	
	-		90,000				-	-	
	-		120,000				-	-	
	-		150,000				-	-	
	-		200,000				-	-	
	-		250,000				-	-	
	-		300,000				-	-	
	-		400,000				-	-	

表-3.3 艀装数の算定式の回帰係数⁸⁾

	回帰係数	
	a	b
コンテナ船	4.804	0.624
貨物船	7.015	0.556
タンカー	6.580	0.558
フェリー	7.286	0.584
旅客船	5.210	0.598

表-3.4 船側投影面積の算定式の回帰係数⁹⁾

	回帰係数			
	α_1	β_1	α_2	β_2
コンテナ船	30.067	0.525	30.428	0.486
貨物船	20.104	0.427	11.879	0.520
タンカー	14.013	0.450	8.591	0.541
フェリー	5.993	0.677	6.301	0.679
旅客船	3.629	0.690	-	-

対象船舶における従来規則に対応する最小切断荷重は、式(3)により艀装数の算定をした上で表-3.1から決定する。新規規則に対応する最小切断荷重は、式(3)により算定した艀装数が2,000以下の場合について、表-3.1から決定する。

(2) 対象船舶に対する新規規則における船側投影面積 A_1 の算定

新規規則において、式(3)により算定される艀装数が2,000を超える船舶の場合は、式(2)から最小切断荷重を算定することとなる。しかしながら、対象船舶の詳細な船舶諸元が特定されていなければ船側投影面積を求めることが難しいため、船側投影面積 A_1 を推定する必要がある。

これに関し、港湾空港技術研究所資料No.1395⁹⁾において、各種船舶の側面受風面積が載貨重量トン数 (DWT) または総トン数 (GT) に対する回帰式として、式(4-a)、式(4-b)のように示されている。式(4-a)が満載状態、式(4-b)がバラスト状態に対応している。そこで、対象船舶に対し両者の回帰式を用いて得られる側面受風面積のうち大

きい値を新規規則における船側投影面積 A_1 として適用することとした。

$$A_F = \alpha_1 X^{\beta_1} \quad (4-a)$$

$$A_B = \alpha_2 X^{\beta_2} \quad (4-b)$$

ここに、 A_F ：満載状態の船側投影面積 (m²)、 A_B ：バラスト状態の船側投影面積 (m²)、 α_1 、 α_2 、 β_1 、 β_2 ：回帰係数、であり、使用した回帰係数を表-3.4に示す。

3.3 対象船舶に対する係留索の最小切断荷重の比較

前節に示した対象船舶の最小切断荷重の算定方法を用いて、対象船舶ごとに従来規則と新規規則を適用した際の係留索の最小切断荷重を図-3.3(a)-(e)に示す。図の横軸のDWTまたはGTは、対象船舶の船種別に提示されている港湾基準の標準的な船舶の諸元を適用し、それに対応する係留索の最小切断荷重を算定した。また、図-3.4は従来規則と新規規則による係留索の最小切断荷重の比を、従来規則を1.0として示したものである。

図-3.3(a)-(e)と図-3.4より、全ての船種・船型において、従来規則の係留索の最小切断荷重よりも新規規則の係留索の最小切断荷重が大きくなっていることがわかる。図-3.4で最小切断荷重の比が1.1付近にプロットされている船舶は艀装数が2,000以下のものであり、新規規則の適用により最小切断荷重が約10%増加したことが反映されている。また、艀装数が2,000を超える船舶は、従来規則に対して係留索の最小切断荷重が大きく算定されるが、これは新規規則において導入された船側投影面積を用いた最小切断荷重の算定式の影響が大きいと考えられる。船

種別に着目すると、コンテナ船と旅客船は、新規規則による最小切断荷重は従来規則の最小切断荷重に対して大きく増加している。一方、タンカーと貨物船は、従来規則に対する新規規則による最小切断荷重は増大するものの、コンテナ船、旅客船ほどの顕著な増加ではない。これは、コンテナ船、旅客船の船側投影面積が貨物船、タンカーに比べて大きいことが一因として考えられる。なお、対象船舶のうち、最小切断荷重が最も増加する船舶は200,000DWTコンテナ船であり、新規規則による最小切断荷重は従来規則によるものと比較して3倍程度となった。

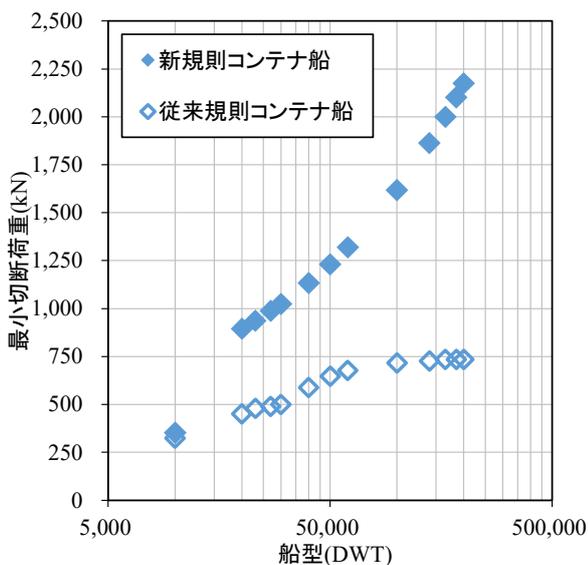


図-3.3(a) コンテナ船の従来規則と新規規則による最小切断荷重の比較

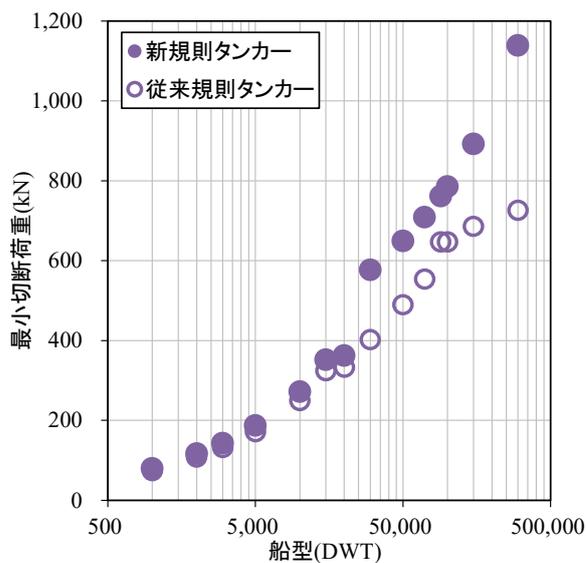


図-3.3(c) タンカーの従来規則と新規規則による最小切断荷重の比較

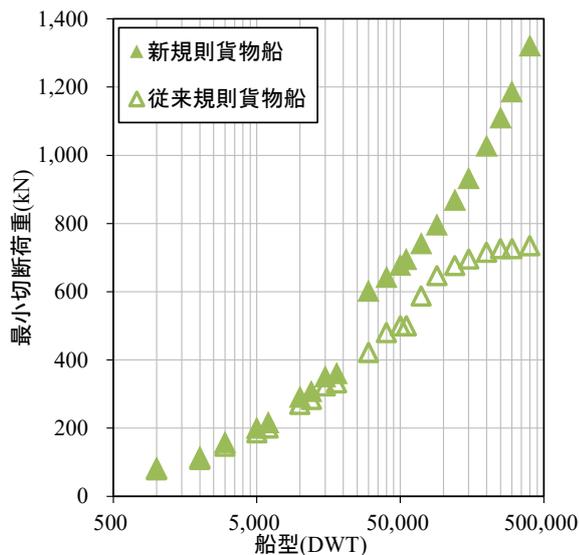


図-3.3(b) 貨物船の従来規則と新規規則による最小切断荷重の比較

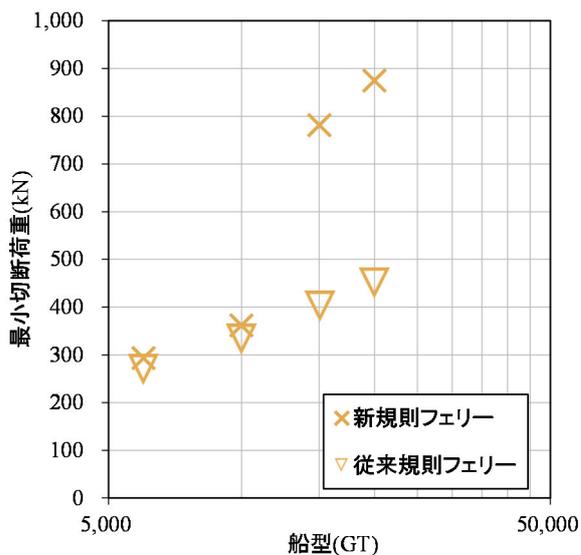


図-3.3(d) フェリーの従来規則と新規規則による最小切断荷重の比較

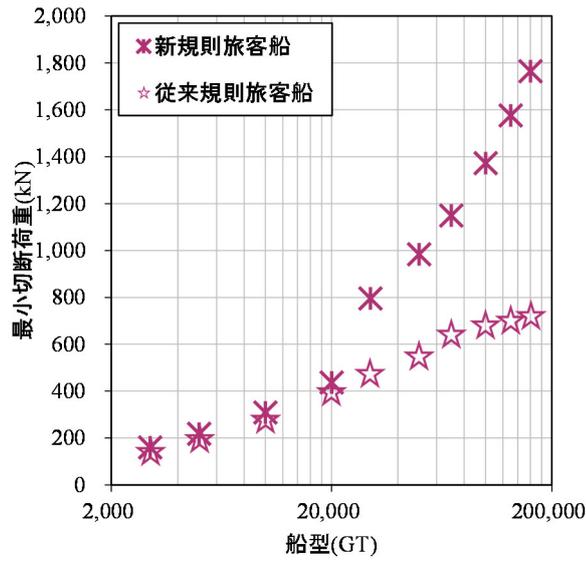


図-3.3(e) 旅客船の従来規則と新規則による
 最小切断荷重の比較

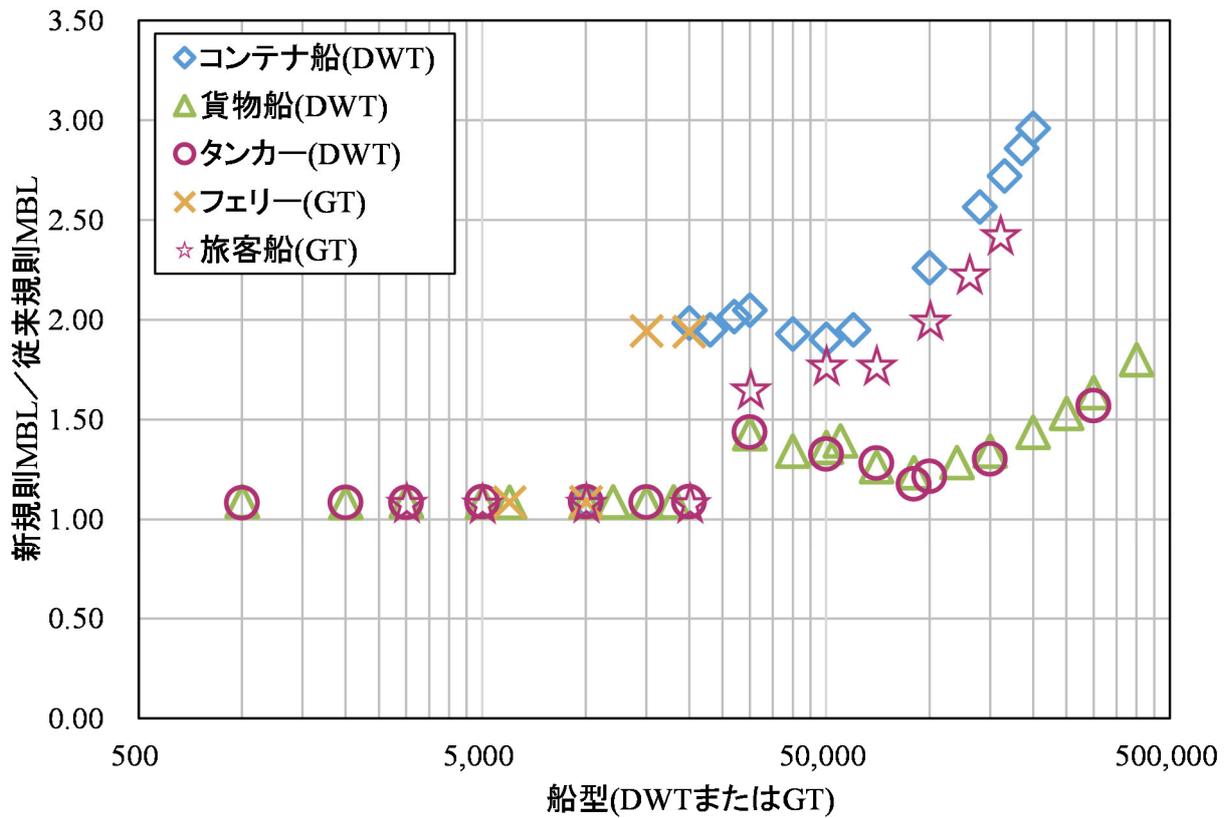


図-3.4 従来規則と新規則による最小切断荷重比の比較 (従来規則を1.0とした場合)
 (MBL : 最小切断荷重)

4. 津波来襲時の概算牽引力と標準牽引力の比較

津波来襲時において船舶が係留避泊する際の検討として、津波が作用した場合の係留船舶による牽引力に対する係船柱の構造安定性を評価する必要がある。このため、本章では、3章で示した新規則を適用した係留索の最小切断荷重に基づき、係船柱に作用する津波来襲時の概算牽引力を評価した上で、港湾基準における船舶の牽引力の標準値との比較結果について示す。

4.1 津波来襲時の牽引力評価の必要性

港湾基準において、係船柱に作用する船舶の牽引力の標準値（以降、標準牽引力）は表-4.1のようになっている。この表を用いて、船舶の総トン数から標準牽引力を決定することができる。この表において、曲柱に作用する標準牽引力は、風速15m/s（台風時において船舶に避難勧告が発令される風速）時の船舶動揺シミュレーションから算定された曲柱に作用する最大牽引力の約2倍の値となっている¹⁰⁾。また、風速30m/s（港湾技研資料No.102¹¹⁾）で用いられた既往最大風速）時に対しては、同じく最大牽引力の約1.25倍の値となっている¹⁰⁾。このように標準牽引力は、船舶が風荷重を受ける場合の船舶動揺シミュレーションに基づく牽引力よりも安全側に設定されており、また、係船柱の配置を適切に行えば、船舶が風荷重を受ける際に発生する牽引力は係留索の最小切断荷重に達することは考えにくいとされている¹¹⁾。

しかし、津波来襲時のように、係船柱に掛けられた係留索の張力がその最小切断荷重に近い状態まで達することも想定される場合、係船柱に作用する牽引力は、標準

牽引力を超える可能性がある。係船柱の標準寸法（規格）は標準牽引力に対応する形で港湾工事共通仕様書¹²⁾に示されており、標準牽引力を超えた牽引力が作用する場合には係船柱の構造安定性に影響を及ぼす可能性がある。

本資料では、津波来襲時に対する係船柱の構造安定性に関する具体的な検討方法等については言及しないものの、将来的に検討するための基礎資料として用いることを目的として、津波来襲時の概算牽引力を算定した。津波来襲時の概算牽引力は、2章のアンケート調査の結果および3章の最小切断荷重の算定結果を活用して、津波来襲時に発生する係船柱に作用する牽引力を、係船柱1基あたりに掛ける係留索の本数に係留索の最小切断荷重を乗じることにより算定する。次節以降に、津波来襲時の概算牽引力の結果を示す。なお、本資料では、曲柱の標準牽引力は直柱の標準牽引力と同等または小さいことから、相対的に安全性が低いと考えられる曲柱のみの結果をとりまとめている。

4.2 津波来襲時の概算牽引力と標準牽引力の比較

(1) 最小切断荷重に関する規則の変更による津波来襲時の概算牽引力への影響

4.1に示した方法により、津波来襲時の概算牽引力と標準牽引力の比較を行った。津波来襲時の概算牽引力の算定において、最小切断荷重を従来規則によって評価した結果を図-4.1に、新規則によって評価した結果を図-4.2に示す。なお、図-4.1、図-4.2のいずれも、係船柱に掛ける係留索の本数は1本として算定している。なお、概算牽引力の算定位置（プロットされている点）は表-4.1の

表-4.1 係船柱に作用する牽引力の標準値³⁾

船舶の総トン数 (トン)	曲柱に作用する牽引力 (kN)	直柱に作用する牽引力 (kN)
200 を超え 500 以下	150	150
500 を超え 1,000 以下	250	250
1,000 を超え 2,000 以下	250	350
2,000 を超え 3,000 以下	350	350
3,000 を超え 5,000 以下	350	500
5,000 を超え 10,000 以下	500	700
10,000 を超え 20,000 以下	700	1,000
20,000 を超え 50,000 以下	1,000	1,500
50,000 を超え 100,000 以下	1,000	2,000
100,000 を超え 120,000 以下	1,500	2,000
120,000 を超え 150,000 以下	1,500	2,000
150,000 を超え 170,000 以下	2,000	2,000
170,000 を超え 200,000 以下	2,000	2,000

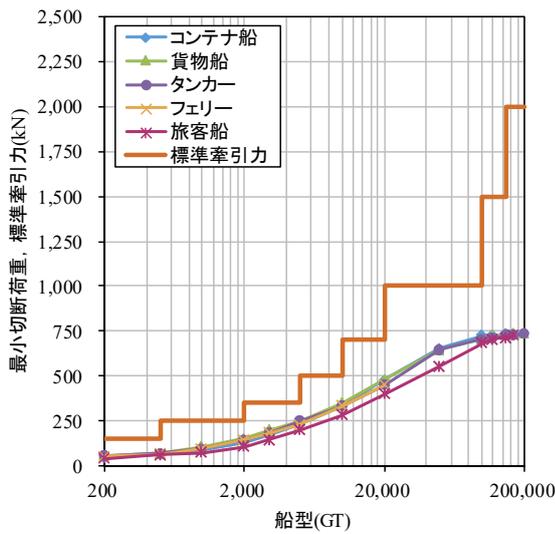


図-4.1 従来規則による最小切断荷重と標準牽引力の比較

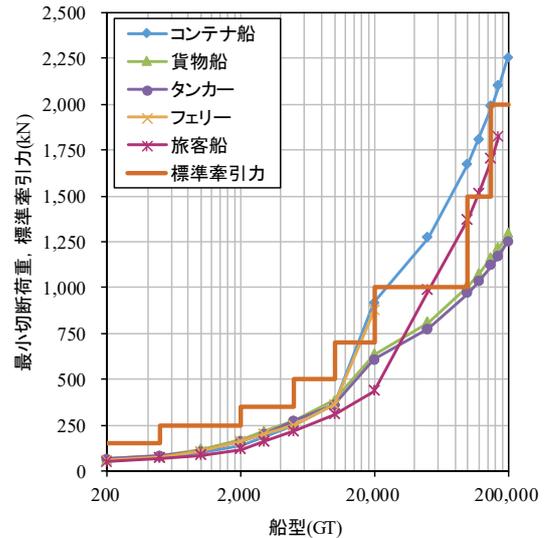


図-4.2 新規則による最小切断荷重と標準牽引力の比較

各区分の境界における最大値を用いた。また、表-4.1の各区分の境界における最大値は総トン数（GT）で記載されているため、載貨重量トン数（DWT）による回帰式を用いる場合は、港湾基準に示されている総トン数と載貨重量トン数の変換式を用いて載貨重量トン数を算定した上で最小切断荷重を求めた。ただし、表-3.2に示した船舶の最大船型に対応する標準牽引力までを対象に算定したため、フェリーは20,000GT、旅客船は170,000GTまでの算定結果である。

図-4.1に示すように、最小切断荷重を従来規則によって算定した場合の津波来襲時の概算牽引力は、3章で対象船舶としたすべての船種に対して、港湾基準における標準牽引力よりもかなり小さくなっている。一方、図-4.2のとおり新規則によって算定した場合には、コンテナ船や20,000GT以上の旅客船では、係船柱に掛ける係留索の本数が1本であっても津波来襲時の概算牽引力が標準牽引力を上回る傾向にある。

これは、津波来襲時における係船柱に作用する船舶の牽引力を概算牽引力によって算定する場合は、新規則の最小切断荷重を適用することにより従来規則の最小切断荷重と比較して大きくなるため、牽引力も増加し係船柱に対する構造安定性の評価に影響を及ぼすことを示唆するものである。新規則の適用によって津波来襲時の概算牽引力が大きくなった要因は、3章に示した新規則における艀装数2,000以上の場合の算定方法が大きく変更されることによる。つまり、新規則では船側投影面積を用いて最小切断荷重が算定されるため、船側投影面積が大き

い船舶でかつ船型の大きい船舶ほど最小切断荷重が増加し、概算牽引力も大きくなるからである。

(2) 係船柱に掛ける係留索の本数と津波来襲時の概算牽引力の関係

2章に示したアンケート調査結果より、津波来襲時に係船柱1基に掛ける係留索の最大本数は2本～4本程度と考えられるため、最小切断荷重に2～4を乗じた津波来襲時の概算牽引力を算定した。その算定結果および概算牽引力と標準牽引力との比について表-4.2(a)-(c)に示す。

表-4.2の津波来襲時の概算牽引力と標準牽引力を比較した図を図-4.3(a)-(c)に示す。各図は、概算牽引力の算定において、それぞれ係留索本数を2本、3本および4本とした場合である。また、図-4.4は係留索を4本とした場合の概算牽引力と標準牽引力の比を1.0として示したものである。

各図より、津波来襲時の概算牽引力は標準牽引力を大きく超える場合が多いことがわかる。また、標準牽引力に対する超過の程度は、船側投影面積が大きいコンテナ船や旅客船で特に顕著である。係船柱1基に掛ける係留索の最大本数を4本とした場合（図-4.3(c)）、津波来襲時の概算牽引力は、船側投影面積が大きいコンテナ船では標準牽引力に比べて約1.4倍～約6.7倍となった。一方、船側投影面積が他船種より小さいタンカーは標準牽引力に比べて約1.7倍～約3.9倍となった。この概算牽引力と標準牽引力の比については、図-4.4のとおり大型船舶ほど概算牽引力と標準牽引力の乖離が大きくなっており、フェ

リー以外の船種において概算牽引力と標準牽引力の比が最大になった船型は100,000GTであった。したがって、100,000GTの船舶が係留される1,000kN型係船柱は津波

来襲時の係船柱の構造安定性が損なわれる危険性が他船型に比べ相対的に高く、今後、対策検討を行う場合はその優先度が高いと考えられる。

表-4.2 (a) 津波来襲時の概算牽引力の算定結果 (MBL×2)

GT	標準牽引力	MBL×2 (係留索2本)									
		コンテナ船		貨物船		タンカー		フェリー		旅客船	
		概算牽引力 (kN)	比	概算牽引力 (kN)	比	概算牽引力 (kN)	比	概算牽引力 (kN)	比	概算牽引力 (kN)	比
200	150	106	0.71	128	0.85	128	0.85	118	0.79	96	0.64
500	150	150	1.00	160	1.07	160	1.07	150	1.00	138	0.92
1,000	250	192	0.77	234	0.94	214	0.86	214	0.86	170	0.68
2,000	250	286	1.14	342	1.37	320	1.28	320	1.28	234	0.94
3,000	350	374	1.07	436	1.25	404	1.15	404	1.15	320	0.91
5,000	350	500	1.43	544	1.55	544	1.55	500	1.43	436	1.25
10,000	500	724	1.45	768	1.54	724	1.45	724	1.45	618	1.24
20,000	700	1,838	2.63	1,270	1.81	1,218	1.74	1,749	2.50	874	1.25
50,000	1,000	2,541	2.54	1,618	1.62	1,550	1.55	-	-	1,968	1.97
100,000	1,000	3,349	3.35	2,017	2.02	1,937	1.94	-	-	2,746	2.75
120,000	1,500	3,615	2.41	2,148	1.43	2,065	1.38	-	-	3,020	2.01
150,000	1,500	3,978	2.65	2,326	1.55	2,240	1.49	-	-	3,406	2.27
170,000	2,000	4,200	2.10	2,436	1.22	2,348	1.17	-	-	3,650	1.83
200,000	2,000	4,512	2.26	2,589	1.29	2,500	1.25	-	-	-	-

表-4.2 (b) 津波来襲時の概算牽引力の算定結果 (MBL×3)

GT	標準牽引力	MBL×3 (係留索3本)									
		コンテナ船		貨物船		タンカー		フェリー		旅客船	
		概算牽引力 (kN)	比	概算牽引力 (kN)	比	概算牽引力 (kN)	比	概算牽引力 (kN)	比	概算牽引力 (kN)	比
200	150	159	1.06	192	1.28	192	1.28	177	1.18	144	0.96
500	150	225	1.50	240	1.60	240	1.60	225	1.50	207	1.38
1,000	250	288	1.15	351	1.40	321	1.28	321	1.28	255	1.02
2,000	250	429	1.72	513	2.05	480	1.92	480	1.92	351	1.40
3,000	350	561	1.60	654	1.87	606	1.73	606	1.73	480	1.37
5,000	350	750	2.14	816	2.33	816	2.33	750	2.14	654	1.87
10,000	500	1,086	2.17	1,152	2.30	1,086	2.17	1,086	2.17	927	1.85
20,000	700	2,757	3.94	1,906	2.72	1,827	2.61	2,624	3.75	1,311	1.87
50,000	1,000	3,812	3.81	2,428	2.43	2,325	2.33	-	-	2,952	2.95
100,000	1,000	5,024	5.02	3,026	3.03	2,905	2.91	-	-	4,118	4.12
120,000	1,500	5,423	3.62	3,222	2.15	3,098	2.07	-	-	4,530	3.02
150,000	1,500	5,967	3.98	3,489	2.33	3,361	2.24	-	-	5,109	3.41
170,000	2,000	6,301	3.15	3,653	1.83	3,522	1.76	-	-	5,475	2.74
200,000	2,000	6,768	3.38	3,883	1.94	3,750	1.87	-	-	-	-

表-4.2 (c) 津波来襲時の概算牽引力の算定結果 (MBL×4)

GT	標準牽引力	MBL×4 (係留索4本)									
		コンテナ船		貨物船		タンカー		フェリー		旅客船	
		概算牽引力 (kN)	比	概算牽引力 (kN)	比	概算牽引力 (kN)	比	概算牽引力 (kN)	比	概算牽引力 (kN)	比
200	150	212	1.41	256	1.71	256	1.71	236	1.57	192	1.28
500	150	300	2.00	320	2.13	320	2.13	300	2.00	276	1.84
1,000	250	384	1.54	468	1.87	428	1.71	428	1.71	340	1.36
2,000	250	572	2.29	684	2.74	640	2.56	640	2.56	468	1.87
3,000	350	748	2.14	872	2.49	808	2.31	808	2.31	640	1.83
5,000	350	1,000	2.86	1,088	3.11	1,088	3.11	1,000	2.86	872	2.49
10,000	500	1,448	2.90	1,536	3.07	1,448	2.90	1,448	2.90	1,236	2.47
20,000	700	3,676	5.25	2,541	3.63	2,436	3.48	3,498	5.00	1,748	2.50
50,000	1,000	5,082	5.08	3,237	3.24	3,100	3.10	-	-	3,936	3.94
100,000	1,000	6,699	6.70	4,034	4.03	3,874	3.87	-	-	5,491	5.49
120,000	1,500	7,231	4.82	4,296	2.86	4,130	2.75	-	-	6,040	4.03
150,000	1,500	7,956	5.30	4,652	3.10	4,481	2.99	-	-	6,812	4.54
170,000	2,000	8,401	4.20	4,871	2.44	4,697	2.35	-	-	7,300	3.65
200,000	2,000	9,024	4.51	5,177	2.59	5,000	2.50	-	-	-	-

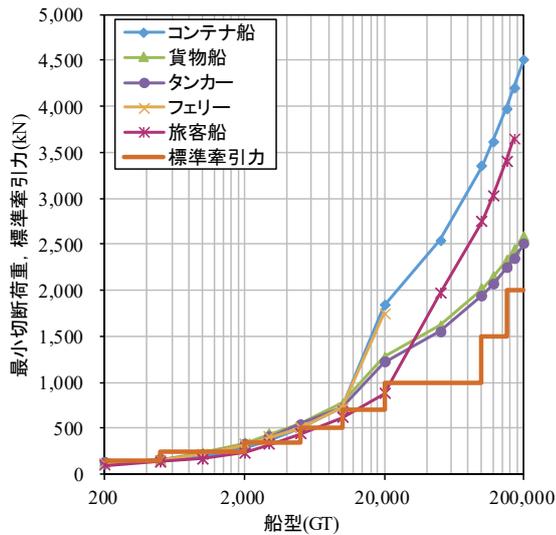


図-4.3(a) 概算牽引力 (MBL×2) と標準牽引力の比較

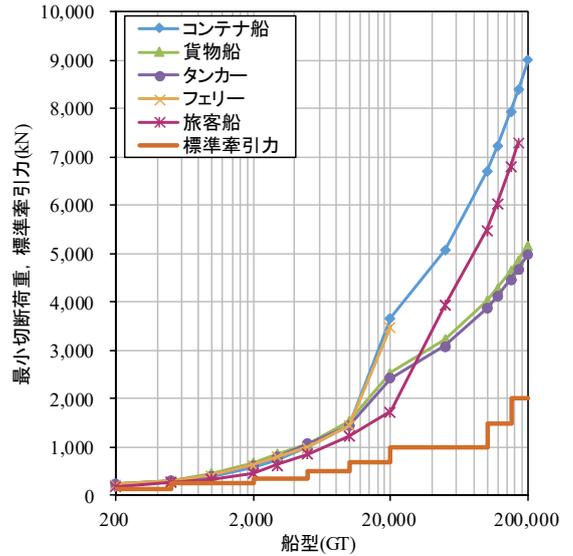


図-4.3(c) 概算牽引力 (MBL×4) と標準牽引力の比較

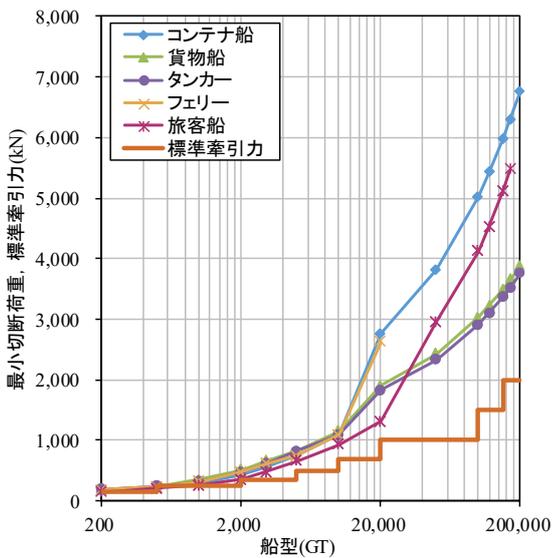


図-4.3(b) 概算牽引力 (MBL×3) と標準牽引力の比較

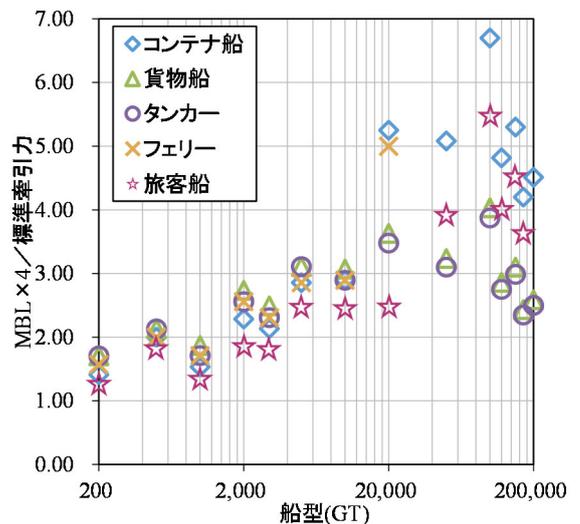


図-4.4 概算牽引力 (係留索4本) と標準牽引力の比較 (標準牽引力を1.0とした場合)

4.3 津波来襲時の係船柱の構造安定性評価に向けた今後の課題

本資料では、津波来襲時の船舶の係留避泊に対する安全性を把握するための基礎検討として、津波来襲時の概算牽引力を算定した。その結果、標準牽引力を大きく超過する船舶牽引力が係船柱に作用する可能性があることが判明した。このことを踏まえ、今後、船舶の係留避泊時における係船柱の構造安定性評価を行う必要があるが、現状では以下の課題があると考えられる。

まず、係船柱に標準牽引力以上の力が作用した場合の、係船柱の構造安定性に関する知見が不足している点である。現在使用されている係船柱の構造部材や諸元は、標準牽引力が作用した場合の設計結果に基づいて決定されている。この際、構造部材には一定の安全率 (例えば係船柱を構成する鋼部材に関しては、降伏応力に対する許容応力度が適用されている。) が考慮されているため¹¹⁾、標準牽引力を上回る牽引力が係船柱に作用したとしても、直ちに係船柱の構造安定性に影響を及ぼすとは限らない。しかし、係船柱本体や構造部材の構造安定性が低下する

際の挙動や限界耐力に関する知見はほとんどないため、数値解析や模型実験等によってこれらの現象を把握した上で、津波来襲時の牽引力による作用と係船柱側の実耐力の関係を評価する必要がある。

また、アンケート調査の結果では、津波来襲時に係船柱1基に掛ける係留索の最大本数は4本程度との回答を得たが、その際の牽引力を係船柱に作用させた場合は、標準牽引力を大幅に超過することになる。このため、津波来襲時の係留索の運用方法や、津波来襲時の船舶の係留避泊を想定した係船柱の平面配置についても今後の検討課題として挙げられる。

5. まとめ

本資料では、船舶が係留避泊を行う場合の係船柱や係留施設の構造安定性検討に用いることを目的として、津波来襲時の船舶牽引力を概略検討するために津波来襲時の概算牽引力を算定した。この概算牽引力は、係船柱1基あたりに掛ける係留索の本数に係留索の最小切断荷重を乗じて求めることができる。この算定にあたって、津波来襲時に備えた係留方法に関するアンケート調査を行い、津波来襲時に係船柱1基に掛ける係留索の最大本数に関する調査結果を示した。また、改正SOLAS条約に基づく係留索の最小切断荷重の変更についても検討し、津波来襲時の概算牽引力と現行の港湾基準における係船柱に作用する船舶の牽引力の標準値（標準牽引力）との関係を比較した。本検討により得られた結論は以下のとおりである。

- 1) 係船柱1基に掛ける係留索の最大本数については、アンケート調査結果により、平時は1本から4本、荒天時、津波来襲時は2本から4本（最大でも5本）であることがわかった。（2章）
- 2) 改正SOLAS条約の発効において新規規則が適用される最小切断荷重については、従来規則の係留索と比較すると全ての船種、船型において最小切断荷重が増加することが判明した。特に艀装数が2,000以上の船舶に対しては、船側投影面積を用いた最小切断荷重の算定方法が適用されることにより、最小切断荷重は大幅に増加する。また、船側投影面積が大きい船舶に対してその影響が顕著に表れ、コンテナ船（200,000DWT）では最大3倍程度も増加することがわかった。（3章）
- 3) 津波来襲時の概算牽引力については、係船柱に掛ける係留索の本数が2本の場合においても、津波来襲時の概算牽引力は標準牽引力を大きく超える場合が多く、その超過の程度は、船側投影面積が大きいコンテナ船や

旅客船で特に顕著であった。また、係船柱1基に掛ける係留索の最大本数を4本とした場合、津波来襲時の概算牽引力は、船側投影面積が大きいコンテナ船では標準牽引力に比べて約1.4倍～約6.7倍となった。一方、船側投影面積が他船種より小さいタンカーは標準牽引力に比べて約1.7倍～約3.9倍となった。概算牽引力と標準牽引力の比は、大型船舶ほど概算牽引力と標準牽引力の乖離が大きくなっており、フェリー以外の船種において概算牽引力と標準牽引力の比が最大になった船型は100,000GTであった。（4章）

謝辞

本資料をまとめるにあたり、ご多忙の中、船社や港湾管理者、港湾運送業者の皆様にはアンケートへの回答にご協力頂きました。ここに記して、深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 国土交通省 HP：海・船の視点から見た港湾強靱化検討委員会
(https://www.mlit.go.jp/kowan/kowan_tk7_000026.html)
(2022年1月閲覧)
- 2) 国土交通省 HP：東日本大震災を教訓とした船舶及び旅客の津波防災における課題
(https://www.mlit.go.jp/maritime/maritime_fr1_000013.html) (2022年1月閲覧)
- 3) 国土交通省港湾局監修：港湾の施設の技術上の基準・同解説、公益社団法人日本港湾協会、2018.
- 4) 一般財団法人日本海事協会 HP：ClassNK テクニカル・インフォメーション No. TEC-1229
(https://www.classnk.or.jp/hp/pdf/tech_info/tech_img/T1229j.pdf) (2022年1月閲覧)
- 5) IACS HP：Rec No.10 Rev.2
(<https://www.iacs.org.uk/publications/recommendations/1-20/rec-10-rev4-cln/>) (2022年1月閲覧)
- 6) IACS HP：Rec No.10 Rev.3
(<https://www.iacs.org.uk/publications/recommendations/1-20/rec-10-rev4-cln/>) (2022年1月閲覧)
- 7) IACS HP：Technical Background documents for Recommendations
(<https://www.iacs.org.uk/media/8714/rectb.pdf>)
(2022年1月閲覧)
- 8) 寺内潔，吉田行秀：船舶の主要寸法と力学的諸量の

関係，港湾技研資料 No.348，1980.

- 9) 米山治男，加島寛章：船舶の平行舷長さおよび受風面積に関する統計解析，港湾空港技術研究所資料 No.1395，2021.
- 10) 米山治男：係船柱に作用する船舶の牽引力に関する検討，港湾空港技術研究所資料 No.1341，2018.
- 11) 稲垣紘史，山口孝市，片山猛雄：けい船柱の標準設計（案），港湾技研資料 No.102，1970.
- 12) 国土交通省港湾局：港湾工事共通仕様書，令和3年3月，
(<https://www.mlit.go.jp/kowan/content/001408662.pdf>)
f) (2022年1月閲覧)

【付録A】 アンケート調査から得られた参考事項
(利用する係船柱の数)

A.1 船舶を係留する際に利用する係船柱の数

アンケート調査結果より、船舶を係留する際に利用する係船柱の数を、船種別、船型別に「平時」、「荒天時」、「津波来襲時」の状況ごとに整理した。船種別に整理した結果を図-A.1(a)-(c)に示し、総トン数ごとに整理した結果を図-A.2(a)-(c)にそれぞれ示す。総トン数の区分やバイトに取る場合の計上方法は本編と同じである。

図より、「平時」において4基の係船柱を利用する船舶が多く、最多で8基であった。「荒天時」や「津波来襲時」

では4基から6基の係船柱を利用している船舶がどちらも9割を占めており、最多で8基であった。船種による船舶を係留する際に利用する係船柱の数の内訳は、「平時」ではコンテナ船とRORO船は4基の係船柱を利用する傾向にある。一方、「荒天時」、「津波来襲時」では大きな違いは見られない。また、船型による船舶を係留する際に利用する係船柱の数の内訳は、「平時」では5,000GT～20,000GTの船舶は4基の係船柱を利用することが多いが、「荒天時」、「津波来襲時」では違いは大きくない。

以上より、「荒天時」、「津波来襲時」では、船種、船型による違いは小さく、「平時」を含めた全体では、4基から6基の係船柱を利用していた。

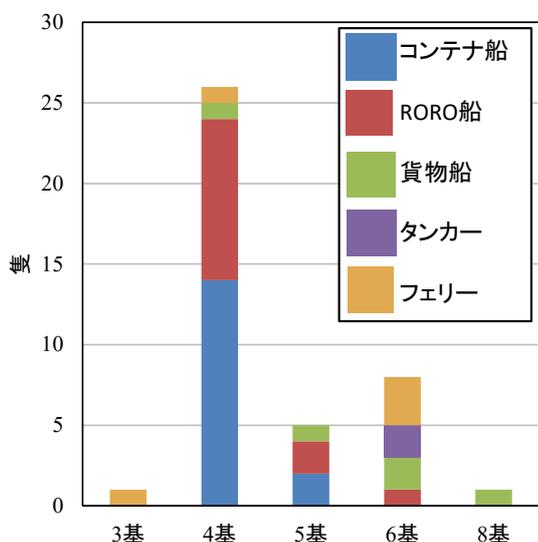


図-A.1(a) 船種別の係船柱利用数 (平時)

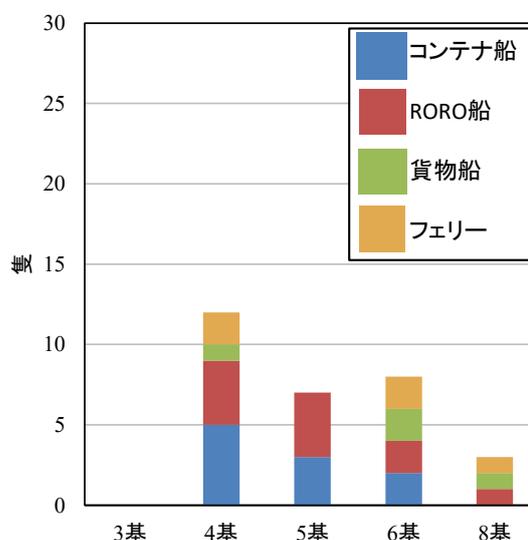


図-A.1(b) 船種別の係船柱利用数 (荒天時)

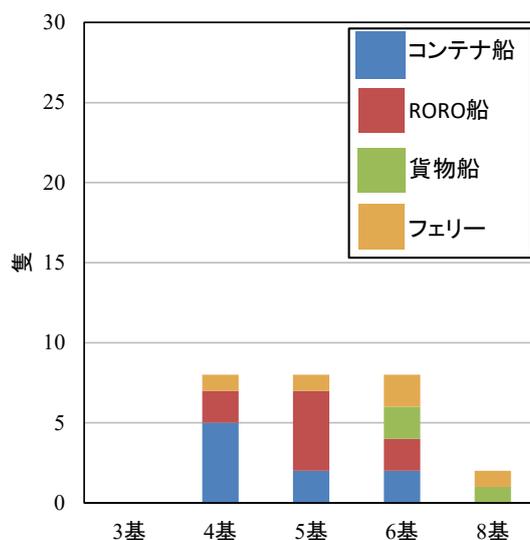


図-A.1(c) 船種別の係船柱利用数 (津波来襲時)

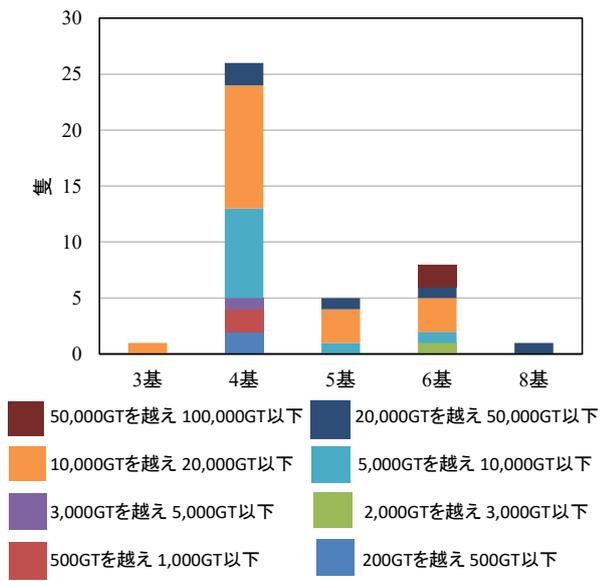


図-A. 2(a) 船型別の係船柱利用数 (平時)

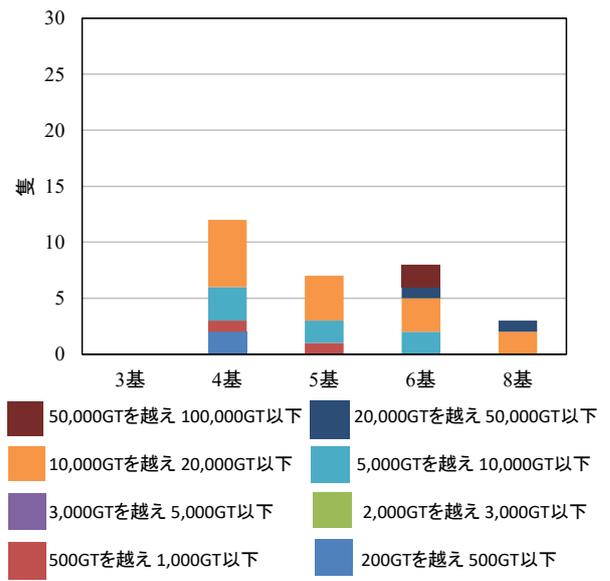


図-A. 2(b) 船型別の係船柱利用数 (荒天時)

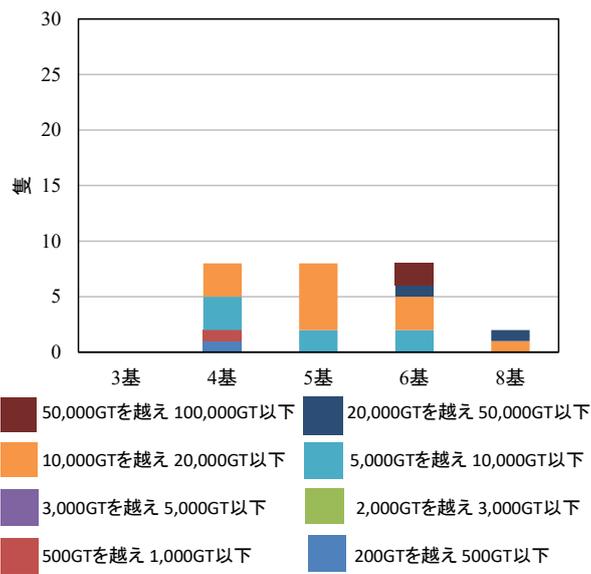


図-A. 2(c) 船型別の係船柱利用数 (津波来襲時)

A.2 係留状況の変化に対する船舶を係留する際に利用する係船柱の数の変化

次に、係留状況が変化した場合の、船舶を係留する際に利用する係船柱の数の変化を図-A.3(a)-(b)と図-A.4(a)-(b)に示す。図-A.3(a)-(b)は船種別の結果を、図-A.4(a)-(b)は船型別の結果を示したものである。

「平時」からの増加数に着目した場合、「荒天時」、「津波来襲時」ともに同数（利用する係船柱の数が変化しない）が6割を占めていた。また、平時から荒天時にお

いては係船柱を4基増加させる船舶があった。船種別に着目すると、貨物船は同数のみであったが、その他の船種では船種による係船柱利用数の大きな違いが見られなかった。船型別に着目すると、「平時から荒天時」、「平時から津波来襲時」ともに船型による係船柱利用数の大きな違いが見られなかった。同数の回答が多かった理由としては、「係留索を増加させないため」、「利用する係船柱は増やさずに増し取りを行う」などがあげられる。

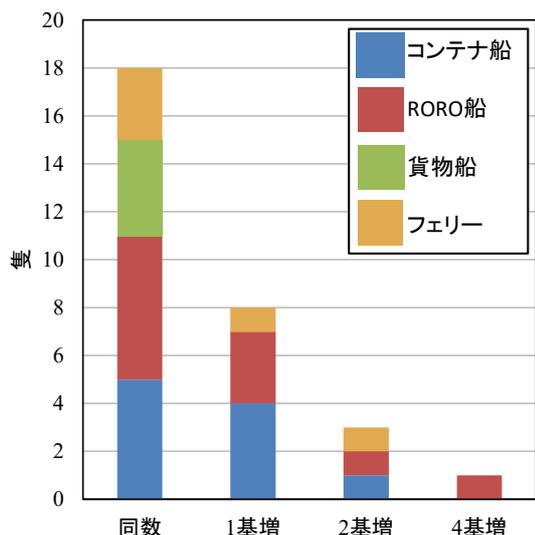


図-A.3(a) 船種別の係船柱増加数 (平時から荒天時)

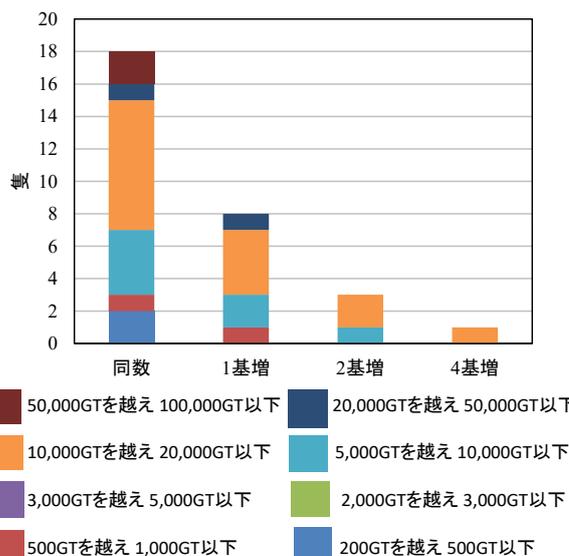


図-A.4(a) 船型別の係船柱増加数 (平時から荒天時)

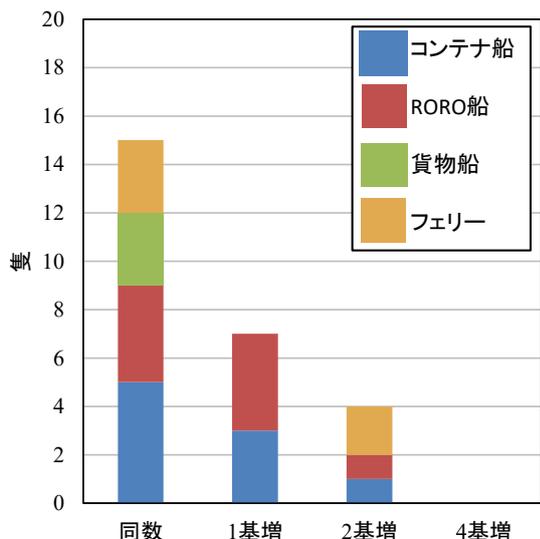


図-A.3(b) 船種別の係船柱増加数 (平時から津波来襲時)

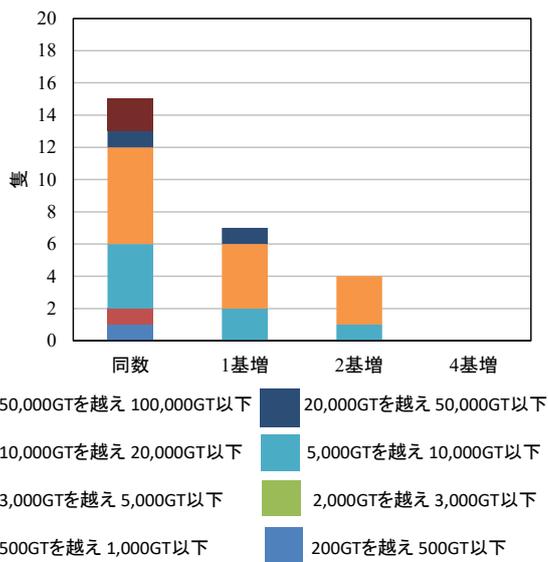


図-A.4(b) 船型別の係船柱増加数 (平時から津波来襲時)

**【付録B】 アンケート調査から得られた参考事項
 (係留索の役割ごとの係留索利用本数)**

B.1 係留索の役割ごとの係留索利用本数

係留索は船体と使用する係船柱との位置関係より図-B.1のように呼称され、役割ごとに区別されている。そこで、アンケート調査結果より係留索の役割ごとの係留索利用本数を、「平時」、「荒天時」、「津波来襲時」の状況ごとに整理した。係留索の役割ごとに整理した結果を図-B.2(a)-(c)に示す。なお、図-B.1のようにバウラインやスターンラインにおいて2基の係船柱を使用している船舶が存在するため、ラインごとの係留索の最大本数は係船柱1基に張る最大本数と異なる場合がある。

図より、「平時」、「荒天時」、「津波来襲時」に共通してバウライン（船首）とスターンライン（船尾）の係



図-B.1 係留索の役割ごとの名称

留索はその他のラインより係留索の利用数が多い。増し取りの傾向としては、バウラインとスターンラインの係留索がその他のラインより大きく増加し、次いでアフトスプリングライン、バックスプリングライン、プレストラインとなっている。このことから、増し取りを行う際は、主にバウラインとスターンラインの係留索を増加させていることがわかる。

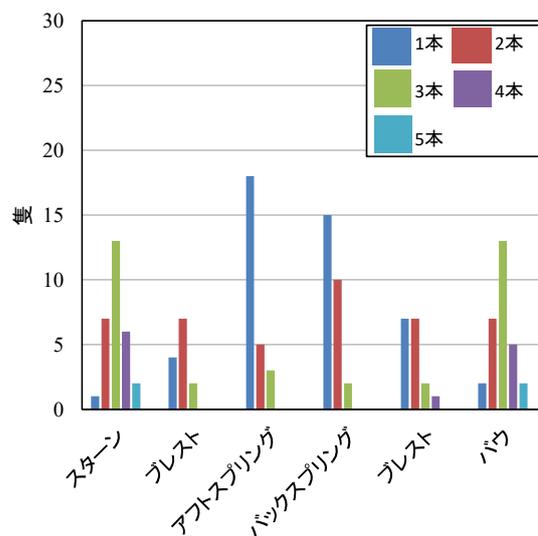


図-B.2(b) 係留索の役割ごとの係留索利用本数
(荒天時)

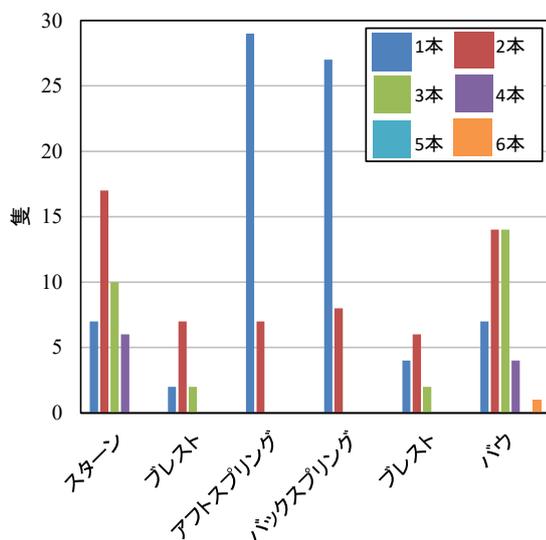


図-B.2(a) 係留索の役割ごとの係留索利用本数
(平時)

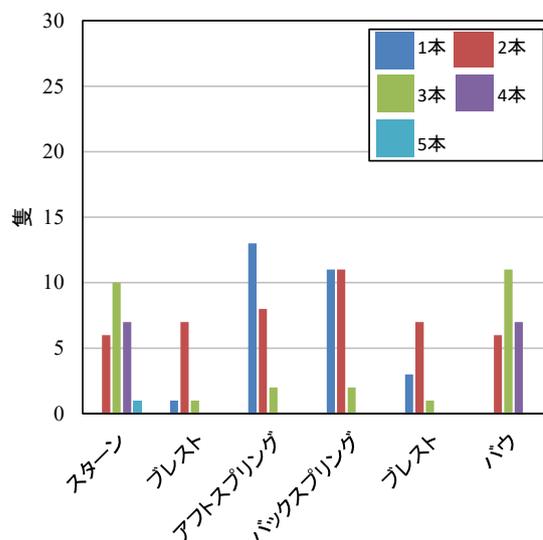


図-B.2(c) 係留索の役割ごとの係留索利用本数
(津波来襲時)

国土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL NOTE of NILIM

No. 1198

March 2022

編集・発行 ©国土技術政策総合研究所

本資料の転載・複写のお問い合わせは
〔〒239-0826 神奈川県横須賀市長瀬 3-1-1
管理調整部企画調整課 電話:046-844-5019〕
E-mail:ysk.nil-46pr@gxb.mlit.go.jp

国土技術政策総合研究所資料

No.198

係留索の最小切断荷重に基づく津波来襲時における船舶牽引力の概略評価

March 2022