

国土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL NOTE of
National Institute for Land and Infrastructure Management

No.1085

December 2019

繫離船作業の作業効率向上に配慮した大型係船曲柱の上部形状 の小型化に関する基礎的検討

中村俊之・中村健・宮田正史・米山治男

Basic Study on Miniaturizing Head of Existing Large-Scale Bollard
to Improve Efficiency of Mooring Works

Toshiyuki NAKAMURA, Takeshi NAKAMURA, Masafumi MIYATA, Haruo YONEYAMA

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

繫離船作業の作業効率向上に配慮した大型係船曲柱の 上部形状の小型化に関する基礎的検討

中村俊之*・中村 健**・宮田正史***・米山治男****

要 旨

近年、我が国に寄港する船舶、特にクルーズ船の大型化に伴い、港湾工事共通仕様書に記載のない大型係船曲柱（牽引力1500kN，2000kN）が各地の係留施設に設置されている。このような大型係船曲柱は、その上部形状の寸法が大きすぎるため、船舶の係留索を係船曲柱に掛け外しする作業（繫離船作業）において、繫離船作業に従事する作業員への負荷が大きく、作業効率の低下を招いているとの意見がある。

そこで、本検討では、大型係船曲柱の上部形状の小型化を図ることを目的として、港研資料No.102に基づく大型係船曲柱の上部形状の設計思想と簡易設定手法の内容を整理するとともに、繫離船事業者に対する大型係船曲柱の利用状況に関するアンケート・ヒアリング調査等を実施し、各地で設置されている大型係船曲柱の小型化の事例についても調査した。

これらの調査結果を踏まえて、2000kN型の係船曲柱について船舶係留時の安全性（係留索が外れないこと）を確保しつつ、繫離船作業の作業効率の向上が期待できる上部形状の小型化案を提案した。さらに、上部形状や材料規格を変更した6ケースの大型係船曲柱について試設計を行い、製造上の問題点の有無について調査した。

その結果、牽引力2000kNの係船曲柱の上部形状については、従来形状よりも小型化することができ、繫離船作業の作業効率向上に配慮した形状に変更できることを確認した。

キーワード：係留施設，係船曲柱，牽引力，作業性，形状，小型化

*港湾研究部 港湾技術担当係員
**港湾研究部 港湾技術担当課長
***港湾研究部 港湾施設研究室長
****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 海洋研究領域長

Basic Study on Miniaturizing Head of Existing Large-Scale Bollard to Improve Efficiency of Mooring Works

Toshiyuki NAKAMURA*

Takeshi NAKAMURA**

Masafumi MIYATA***

Haruo YONEYAMA****

Synopsis

In recent years, large-scale bollards (tractive force: 1500 kN and 2000 kN), which are not described in Japan's Standard Specifications for Port & Harbor Works, have been installed at quay walls because of enlarged ships, especially cruise ships calling in Japanese ports. The main opinion of mooring workers is that the head of large-scale bollards is too large, making it difficult to perform mooring work and causing a reduction in work efficiency.

In this study, for the purpose of miniaturizing the head of the large-scale bollards, we first organized the design concept and simple design methods for the head of large-scale bollards based on Technical Note of PHRI No.102. Then, we carried out a questionnaire survey and interviewed mooring workers, and also surveyed the large-scale bollards installed in various ports.

Based on the results, we proposed a miniature head, which is thought to be able to improve work efficiency in mooring work, while ensuring safety during mooring for the bollards with a tractive force of 2000kN. Furthermore, we prepared trial designs for 6 cases of large-scale bollards with changed head shapes and material standards, and conducted interviews with the bollard manufacturers to confirm their manufacturability.

As a result, we confirmed that the sizes of head of the bollards with a tractive force of 2000kN can be more miniaturized more than the conventional shape considering improvement of mooring work efficiency.

Key Words: mooring facility, bollard, tractive force, work efficiency, shape, miniaturization

* Technical Staff, Port Engineering Team, Port and Harbor Department, NILIM

** Chief, Port Engineering Team, Port and Harbor Department, NILIM

*** Head of Port Facilities Division, Port and Harbor Department, NILIM

**** Director, Coastal and Ocean Engineering Department, PARI

目 次

1. 序論	1
1.1 背景	1
1.2 検討目的と本稿の構成	2
2. 係船曲柱の上部形状の設計思想と簡易設定手法における課題	2
2.1 係船曲柱の上部形状の設計思想と簡易設定手法	2
2.2 簡易設定手法の大型係船曲柱への適用に係る課題	3
3. 大型係船曲柱の上部形状の小型化検討	4
3.1 繋離船事業者へのアンケート・ヒアリング調査	4
3.2 各地で設置されている2000kN型係船曲柱の事例	7
3.3 係船曲柱の寸法に係る設計思想に基づいた小型化の検討	8
3.4 作業効率向上に配慮した大型係船曲柱の上部形状の小型化案の提案	9
4. 上部形状を小型化した大型係船曲柱の試設計及び製造実現性の確認	12
4.1 試設計の検討内容	12
4.2 上部構造の応力計算	13
4.3 製造実現性の確認	15
4.4 まとめ	16
5. 結論	17
謝辞	17
参考文献	17
付録A 繋離船事業者へのアンケート調査結果	19
付録B 港研資料No. 102の計算例に基づく応力計算の一例	43

1. 序論

1.1 背景

近年、我が国に寄港する船舶の大型化に伴い、港湾工事共通仕様書に記載のない大型係船曲柱（設計牽引力1500kN, 2000kN）が各地に設置されている。これら大型係船曲柱の上部形状に関しては、船舶の係留索を係船柱に掛け外しする作業（繫離船作業）の安全性と効率性の向上に向けた設備面の配慮事項を検討した国総研資料No.957¹⁾に、問題点として取り上げられている。具体的には、大型係船曲柱は写真-1.1のように、作業員の腰高以上の高さであり、かつ頭部の形状が大きいいため繫離船作業が困難であるという意見が挙げられている。現状の係船曲柱の設計実務においては、係船曲柱の牽引力や形状寸等は一般的に以下のような手法で設定されている。

まず、係船曲柱の牽引力は港湾の施設の技術上の基準・同解説（平成30年）²⁾（以下、港湾基準（H30））により、表-1.1のように、船舶の総トン数に応じてその標準値を設定することができる。次に、係船曲柱の各部位の標準寸法や材料規格等については、港湾工事共通仕様書³⁾（以下、共通仕様書）に各牽引力に応じた標準値が表-1.2及び1.3のように示されており、これらの標準値を採用することができる。

現行の共通仕様書では、牽引力50～1000kNまでの係船曲柱における標準寸法・材料規格が記載されている。これらの標準寸法については、1970年発行の港研資料No.102⁴⁾の研究成果や1971年発行の港湾構造物標準設計（第1集）⁵⁾の研究成果や1971年発行の港湾構造物標準設計（第1集）⁵⁾を基に規定されており、1976年発行の共通仕様書から同じ内容が記載されている。このため、牽引力50～1000kNの係船曲柱については、十分な適用実績を有していると言える。

一方、牽引力1500kN及び2000kNの大型係船曲柱の標準

寸法等については、共通仕様書の規定がないため、係船柱メーカーが設計者と調整を図りながら、港研資料No.102で提案されている各部位の寸法を簡単に設定できる手法（簡易設定手法）を適用し、設定したものが多い。本稿の中で詳細に説明するが、大型係船曲柱の上部形状が作業に支障するほど大きくなった理由は、繫離船作業の実態を踏まえずに、既存の簡易設定手法をそのまま適用したことにある。なお、この簡易設定手法を適用した大型係船曲柱を1500kN市販型、2000kN市販型と呼び、共通仕様書に記載がある50～1000kNの係船曲柱については、標準型と呼ぶこととする。



写真-1.1 2000kN型の大型係船曲柱¹⁾

表-1.1 船舶の牽引力の標準値²⁾

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

表-1.2 曲柱の標準寸法と設計牽引力³⁾

略 称	設計 けん 引力	胴 部			頭 部			アンカーボルト			底 板							質 量
		胴径	胴高	厚さ	頭部 幅	頭部 高	厚さ	呼び径	本 数	埋込 み角	底 板 幅	底板 厚さ	リブ 幅	リブ 高	埋込 み深	アンカ ーボルト 穴径		
		<i>D</i>	<i>H</i>	<i>t</i>	<i>B_{oL}o</i>	<i>H_o</i>	<i>t_o</i>	<i>φ</i>			<i>2R₁</i>	<i>H₁</i>	<i>R₂</i>	<i>H₂</i>	<i>H₃</i>	<i>d</i>		
		(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(本)	(°)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)		
	(kN)															(kg/個)		
曲柱 50	50	150	170	20	300	120	20	20	4	22	360	20	50	60	90	27	70	
曲柱 100	100	200	210	20	400	160	20	27	4	22	480	40	60	70	110	35	140	
曲柱 150	150	250	250	20	500	200	20	33	4	22	600	50	80	80	130	42	245	
曲柱 250	250	300	290	21	600	240	21	42	4	22	720	65	100	95	160	52	420	
曲柱 350	350	300	290	25	600	240	25	42	6	22	720	65	100	95	160	52	440	
曲柱 500	500	350	330	29	700	280	29	48	6	22	840	70	140	100	170	66	665	
曲柱 700	700	400	370	33	800	320	33	56	6	22	1,000	90	160	120	210	68	1,100	
曲柱1000	1000	450	410	39	900	360	39	64	6	22	1,200	95	220	125	220	78	1,670	

表-1.3 係船柱及び付属品の材料規格³⁾

名 称	材 質
係船柱本体	JIS G 5101 SC450
アンカーボルト	JIS G 3101 SS400
六角ナット	JIS B 1181 並 3 級、4T
平座金	JIS B 1256 並丸、鋼
アンカー板	JIS G 3101 SS400 又は JIS G 5101 SC450

1.2 検討目的と本稿の構成

本検討の最終的な目標は、大型係船曲柱（牽引力1500kN及び2000kN）を対象とし、係船柱の基本的な機能である安全性（複数の係留索が外れないこと、係船柱本体や基礎部の構造安全性が確保されていること）を確保した上で、想定される繫離船作業をより円滑に行えるように上部形状の小型化を図ることにある。これにより、繫離船作業の作業効率向上が見込まれる。

本稿では、この最終目標を達成するための基礎的検討として、まずは係船曲柱の上部形状のみを対象とし、小型化案の提案を行うこととした。また、大型係船曲柱の底板やアンカーボルト等の下部構造については、係留施設の上部工コンクリートとの付着効果等に関する十分な評価が必要となるため、本検討の成果を踏まえ、今後検討を進めていく予定である。本検討のフローを図-1.1に示し、本稿の構成について以下に述べる。

第2章では、港研資料No.102に基づく係船曲柱の上部形状の簡易設定手法の内容を整理し、この手法を大型係船曲柱（1500kN及び2000kN）の上部形状の設定にそのまま適用した場合の課題を明確化する。第3章では、上部形状の小型化について提案する。具体的には、繫離船事業者へのアンケート・ヒアリング調査（3.1）、全国の係留施設で繫離船事業者との協議等に基づき個別に上部形状の小型化を図った設置事例の調査（3.2）、及び港研資料No.102に記載の係船曲柱の寸法に係る設計思想（簡易設定手法ではない）に基づく小型化の検討（3.3）を実施する。これらの結果を踏まえて、係留時の安全性を確保しつつ、繫離船作業の作業効率の向上が期待できる上部形状の小型化案を提案する（3.4）。続いて第4章では、第3章の結果に基づき、上部形状を小型化した代表3ケースを抽出し、さらに各代表ケースの材料規格を2種類とすることにより、合計6ケースの大型係船曲柱の上部構造について試設計を行い、力学的な安全性の確認を実施する。また、試設計の結果を図面化し、係船柱メーカー3社にヒアリング調査を行い、製造実現性について確認する。最後に、第5章では、以上の検討によって得られた結論と今後の方針を示す。

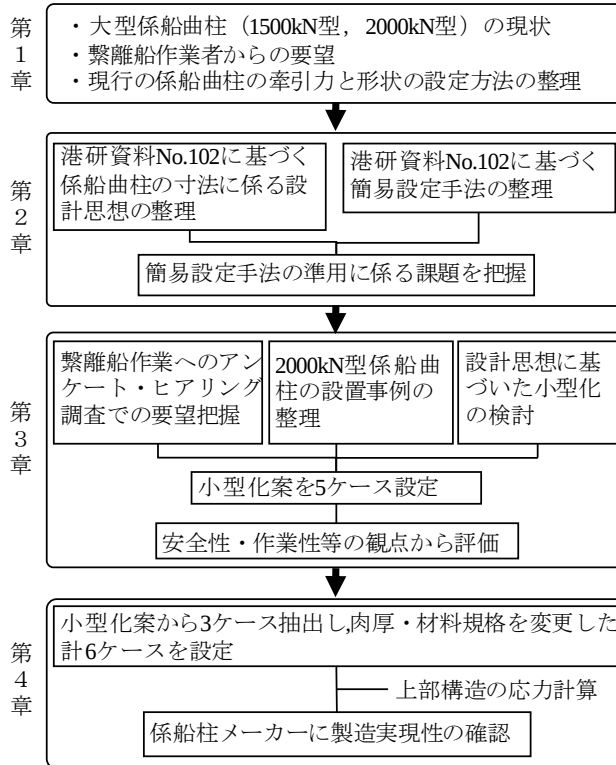


図-1.1 本検討のフロー

2. 係船曲柱の上部形状の設計思想と簡易設定手法における課題

2.1 係船曲柱の上部形状の設計思想と簡易設定手法

(1) 概要

共通仕様書に記載されている牽引力1000kN以下の係船曲柱の形状寸法や材料規格は、港研資料No.102の結論として提案されている内容がそのまま採用されている。ここでは、この資料に示されている係船曲柱の寸法に係る設計思想と、それに基づき各部位の寸法を簡単に設定できる簡易設定手法の内容について説明する。

(2) 係船曲柱の寸法に係る設計思想

港研資料No.102に基づく係船曲柱の各部位の寸法に係る設計思想を、以下に示す。なお、上部形状の各部位の記号は、図-2.1に示している。

a) 胴径（D）

胴径については、港湾構造物設計基準⁶⁾において1500kNまでの牽引力に対する係船柱の胴径の標準値が定められている。これを基に港研資料No.102では、過去の繫離船作業において特段支障がなかったと判断し、牽引力1500kNまでは同じ値を用いており、さらに新たに牽引力2000kNの記載を加え、牽引力と胴径（D）の関係を表-2.1のように示

している。なお、表-2.1では、牽引力のトン表記をkN表記に改めている。

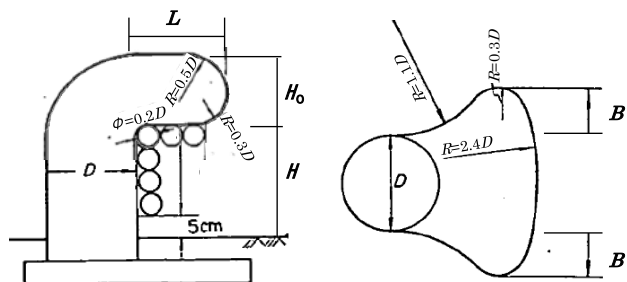


図-2.1 港研資料No.102の寸法設定の設計思想⁴⁾

表-2.1 牽引力と胴径(D)の関係⁴⁾⁵⁾

牽引力(kN)	50	100	150	250	350	500	700	1000	1500	2000
胴径D(cm)	15	20	25	30	30	35	40	45	55	65

b) 胴高 (H)

胴高については、図-2.1に示すとおり、1本の係船曲柱に複数の係留索を同時にかけることを想定した高さとして設定されている。具体的には、係留索4本が重ならずにかける高さに、地上付近に5cmの余裕代を加えた高さを基本としている。

c) 頭部長さ (L)

頭部長さについては、図-2.1に示すとおり、係船曲柱の真上方向に係留索が牽引されても、容易に抜け出さない長さとして設定されている。具体的には、水平方向に係留索3本が重ならずかけられる水平区間の長さを確保することを基本としている。

d) 頭部幅 (B)

頭部幅については、係船曲柱の真横方向（岸壁の法線方向）に係留索が牽引されても、容易に抜け出さない幅として、頭部長さLと頭部幅2Bが同じ寸法となるように設定されている。

(3) 簡易設定手法

港研資料No.102に基づく各寸法の検討条件では、船舶が大きくなると係留索の径も太くなると設定されており、係留索の種類はマニラロープに限定されていた。そのため、係留索の直径は胴径Dの0.2倍であると一律に仮定することにより、各部位の寸法を胴径に対する比率のみで算定できるように簡易設定手法が構築されている。ここで、簡易

設定手法による各部位の寸法の設定事例を示す。

簡易設定手法に基づく、胴高Hは直径0.2Dの係留索4本分（4本×0.2D）と余裕代5cmを見込み、 $H=0.8D+5\text{cm}$ となる。頭部長さLは、0.2Dの係留索が3本分（3本×0.2D）と頭部下部の先端の曲率半径 $R=0.3D$ の和と設定されているため、合計で0.9Dが必要となるが、余裕代0.1Dを見込み、 $L=1.0D$ としている。頭部幅2Bは、頭部長さLと合わせて $2B=L$ としている。また、頭部高さ H_0 は、当時行われた現地調査結果を基に $H_0=0.8D$ と定められている。

これらの寸法は、過去の実績の調査結果から、係留索が人為的な作業以外で外れることがないように、安全性を考慮した寸法として決められたものである。

2.2 簡易設定手法の大型係船曲柱への適用に係る課題

簡易設定手法を大型係船曲柱に適用すると、例えば牽引力1500kNの場合、表-2.1より胴径Dは55cmとなり、係留索の径は、胴径Dの0.2倍から逆算すると110mmとなる。同じく牽引力2000kNの場合、係留索の径は130mmとなる。

ここで、船舶が備える係留索の選定手順を整理すると、係留索は鋼船規則⁷⁾⁸⁾に基づき選定される。その選定手順は、まず鋼船規則 C編（船体構造及び船体艤装）⁷⁾の27章の記載に基づき、対象船舶の満載排水量や各部寸法等の諸元から艤装数を計算し、その値から係留索の本数、長さが定まるとともに、係留索の最小切断荷重（MBL）が算出される。次に、鋼船規則 L編（艤装品）⁸⁾の5章に記載の繊維ロープの切断荷重一覧表から、算出した最小切断荷重以上の切断荷重となるよう係留索の材質と径の組み合わせを選択する。

鋼船規則 L編の切断荷重一覧表には、径10mmから100mmまでの繊維ロープが記載されている。また、繊維ロープメーカーのカタログ⁹⁾に掲載されているロープの最大径は、世界最大クラスの船舶向けの120mm以外は100mm以下の規格となっている。以上のことから、一般的に用いられる係留索の上限は100mm程度と考えて良い。

艤装数の値は船舶ごとに異なるが、港研資料No.348¹⁰⁾に提示されている一般貨物船の重量トン数と艤装数の回帰式を基に、港空研資料No.1341¹¹⁾では、500～200,000総トンまでの係留索の径と切断荷重を示している。これによると、200,000総トンの一般貨物船では、係留索の径は85mmと、鋼船規則の一覧表の範囲内に収まっている。

以上のことから、係留索の直径と胴径の比率を一律に固定し、係船曲柱の各部位を胴径の比率で設定したことが、大型係船曲柱が必要以上に大型化した一つの要因と考えられる。

3. 大型係船曲柱の上部形状の小型化検討

3.1 繫離船事業者へのアンケート・ヒアリング調査

(1) 概要

大型係船曲柱について、作業性や安全性の観点からの問題を明確化するためにアンケート調査及びヒアリング調査を行った。アンケート調査は、日本繫離船協会の協力を得て、同協会の会員企業を対象にアンケート票を送付し、回答を得た。ヒアリング調査は、同協会の会員のうち、大型係船曲柱を日常的に利用している3社を対象として、ヒアリングと現地調査を実施した。ここでは、アンケート調査結果とヒアリング調査結果について説明する。なお、詳細なアンケート調査結果は、付録Aに示す。

(2) 繫離船事業者へのアンケート調査

アンケートの結果を図-3.1～3.6に示す。大型係船曲柱を扱っているとの回答があった18社の会員企業のうち、2000kN型を扱っているのは7社、1500kN型を扱っているのは11社であった。各図中の左側の円グラフは2000kN型を扱っている社、また右側の円グラフは1500kN型を扱っている社のアンケート結果を示す。

a) 大型係船曲柱の上部形状と作業段階の問題について

図-3.1に大型係船曲柱の大きさや形状について、問題や不都合を感じているかとの質問に対する回答結果を示す。図-3.2に繫離船作業時のどの作業段階で問題や不都合を感じているかに対する回答結果を示す。これらによると、2000kN型を使用している全社で上部形状に問題があり、かつ係留索の掛け外しのいずれかで問題があると回答していることがわかる。1500kN型については、半数以上の社が上部形状に対して問題があり、そのうち7割程度の社が係留索の掛け外しのどちらについても問題があると回答している。以上の結果は、特に2000kN型の係船曲柱の上部形状に対して見直しが必要であることを示すものである。

現行の大型係船曲柱の大きさ、形状について、問題や不都合を感じた事はありませんか。

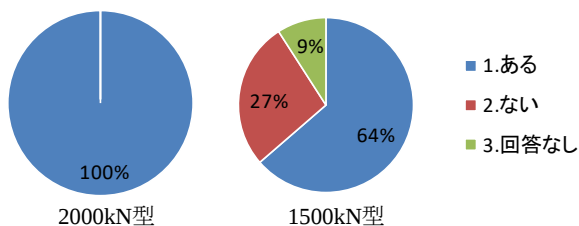


図-3.1 大型係船曲柱の上部形状に関わるアンケート結果

どのような作業の時に問題や不都合を感じますか。
(複数回答可)

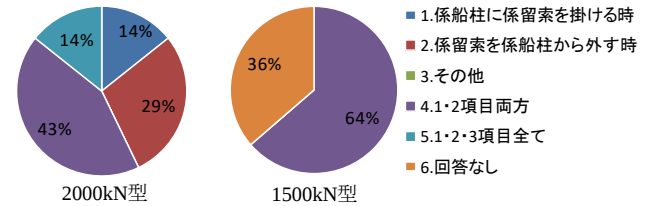


図-3.2 大型係船曲柱の作業時に関するアンケート結果

b) 大型係船曲柱の各部位の寸法について

i. 頭部長さ

図-3.3に頭部長さに関するアンケート結果を示す。2000kN型を使用している86%の社(6社/全7社)と1500kN型を使用している55%の社(6社/全11社)から、頭部長さが長すぎるとの回答を得た。頭部長さが長いと、係留索の掛け外しのために係船曲柱を通す距離が長くなり、繫離船作業の効率を低下させているとの意見もあった。一方で、想定している船舶よりも小型の2隻の船舶から係留索を合取りすることもあり、その場合、頭部長さを短くし過ぎると係留索を複数(最大8本)掛ける際に外れる恐れもあり、最低限の外れない長さが必要であるという意見もあった。

頭部長についてどのような問題や不都合を感じますか。

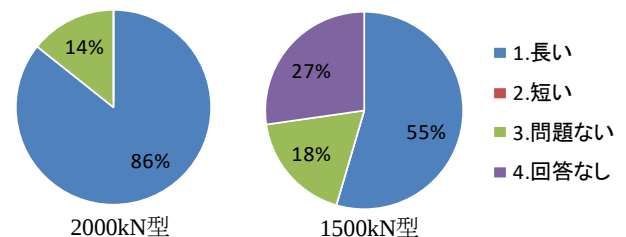


図-3.3 頭部長さのアンケート結果

ii. 頭部幅

図-3.4に頭部幅に関するアンケート結果を示す。2000kN型を使用している86%の社(6社/全7社)と1500kN型を使用している55%の社(6社/全11社)から、頭部幅が大きすぎるとの回答を得た。係船曲柱を利用する船舶は、係船曲柱の設計対象の船舶よりはるかに小さい場合もあり、このような小型の船舶が利用する際に、係留索のアイ部分(係留索端部のループ状の部分)が入らないという意見や、岸壁法線平行方向に近い角度で係留索を掛け外しする時は、頭部長さと同様に係留索の掛け外しのために係船曲柱を通す距離が長くなり、繫離船作業の効率を低下させているとの意見があった。一方で、頭部幅が短い場合、係船曲柱から甲板までが高い大型船舶は、係船曲柱に繋がれた係留索が垂直に近い角度をとる可能性があるため、頭部

長さや頭部幅のバランスを考慮しないと係留索が外れる危険性が出てくるとの意見もあった。

頭部幅についてどのような問題や不都合を感じますか。

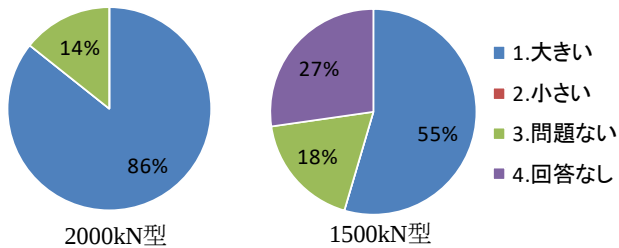


図-3.4 頭部幅のアンケート結果



写真-3.1 中抜きをしている係留索の事例

iii. 胴径

図-3.5 に胴径に関するアンケート結果を示す。2000kN型を使用している86%の社（6社/全7社）と1500kN型を使用している27%の社（3社/全11社）から、胴径について太すぎるとの回答を得た。胴径が太すぎると中抜きの作業において、支障が生じるという意見があった。

中抜きをしている係留索の事例を写真-3.1に示す。中抜きとは、2隻の船舶が同じ係船柱に係留索を掛ける際に、後に掛ける係留索②を、先にかけた係留索①のアイ部分を通して係船柱に掛けることである。中抜きをすることによって、同じ係船柱を使用して係留している2隻の船舶の係留索をどちらからでも外すことが可能となる。後に掛けた係留索②を先に外す場合は、先に掛けた係留索①のアイ部分の中を通して外す。先にかけた係留索①を先に外す場合は、後にかけた係留索②の上から外すことになる。

中抜きの作業時において、後に掛ける係留索は、先に掛かっている係留索のアイ部分と係船柱胴部の隙間を通さなければならないため、胴径が太すぎると中抜きの作業で作業員に負荷が掛かるという意見があった。一方で、胴径だけを細くしてしまうと、胴径に対して頭部長さの比率が大きくなり、繋離船作業の効率低下をもたらすため、胴径を細くするなら、頭部長さも胴径に見合った長さに変更して欲しいとの意見もあった。

胴径についてどのような問題や不都合を感じますか。

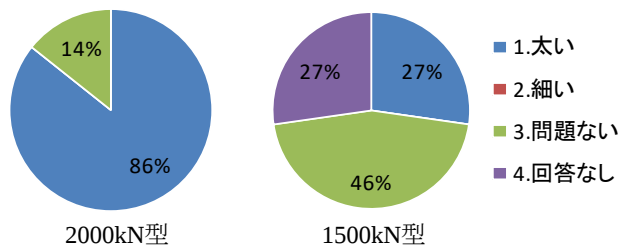


図-3.5 胴径のアンケート結果

iv. 胴高

図-3.6 に胴高に関するアンケート結果を示す。2000kN型を使用している43%の社（3社/全7社）と1500kN型を使用している27%の社（3社/全11社）から、胴高が高すぎるとの回答を得た。胴高が高すぎると係留索を外す際に、係留索を持ち上げる労力が大きくなるため、作業効率を低下させていると意見があった。一方で、パースの中間に設置されている係船曲柱は、2隻から係留索を掛けられることもあり、最大で8本掛かっている状況もあるため、胴高を低くし過ぎると係留索が外れる恐れや、絡まる恐れがあるという意見もあった。

胴高についてどのような問題や不都合を感じますか。

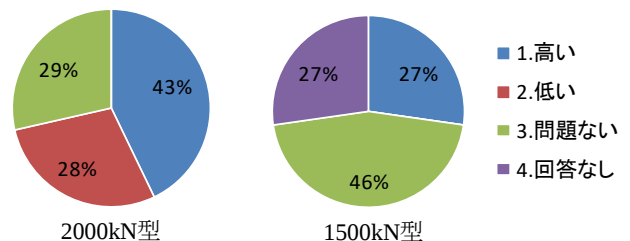


図-3.6 胴高のアンケート結果

(3) 繋離船事業者へのヒアリング調査

繋離船事業者へのヒアリングの対象者としては、アンケート調査結果から、2000kN型の係船曲柱を日常的に使用しており、現状の大型係船曲柱の形状に問題を感じている社とした。選定した社は、日本繋離船協会の会員企業の中から、関東支部、関西支部、九州支部からそれぞれ1社ずつ計3社とした。ヒアリングでは、2000kN市販型の係船曲柱の原寸図を確認しながら、問題点と改善要望を聴取した。

ヒアリング結果の概要を表-3.1に示し、以下では、係船曲柱の各部位に関するヒアリング結果について、その概要を示す。

a) 頭部長さ

2000kN型の頭部長さは65cmもあり、係留索の掛け外しの労力が大きいので、短くして欲しいと3社共通の改善要望が挙げられた。C社からは、具体的には係留索が重ならず横に2本掛けられる長さがあればよく、30cm程度が良いとの意見を得た。

b) 頭部幅

頭部幅が長すぎると係留索のアイ部分を掛ける作業の負担が増すため、短くして欲しいと3社共通の改善要望が挙げられた。A社からは、現在使用している2000kN型の係船曲柱の頭部幅25cm程度であり、繫離船作業では使いやすく、これ以上短くしてしまうと、係留索が岸壁法線平行方向に近い角度で掛けられた場合に外れる恐れがあるとの意見を得た。

c) 胴径

必要な強度があれば、小型化しても作業上支障ないという意見がC社から挙げられた。また、胴径を頭部方向（上方方向）に向かって徐々に拡大し、太くした方が良いとの意見がB社、C社から挙げられた。これは現在のように胴径が一定の場合、係船柱の下方に一度掛けた係留索が斜め上方に張られた際に、係留索が上方に弾かれるように急に移動することがあり危険なため、胴径を頭部方向に向かって太くなるようにすることで、係留索が上に移動しづらくさせるための改善提案である。

d) 胴高

当該施設で想定している船舶より小型の2隻の船舶から係留索を合取りすることもあり、その時は最大8本の係留索を掛けることもあるため、1500kN型の胴高55cmが丁度良いとの意見がA社、C社より挙げられた。A社からは、最大8本の係留索を掛ける場合でも、8本分の高さが必要というわけではなく、胴高55cmあれば6本は重ねずに並べて、2本は上から重ねて掛けることができ、作業上の支障にはならないとの意見を得た。

e) 頭部高

係船曲柱の全体の高さ（胴高 H と頭部高 H_0 の合計）が股下（約80cm）だと繫離船作業がしやすいため、胴高は確保しつつ、頭部高は構造上問題ない範囲で低くできれば、作業が行いやすくなると、3社共通の改善要望が挙げられた。

(4) アンケート調査とヒアリング調査のまとめ

以上の結果から、繫離船事業者の共通の意見をまとめると、2000kN市販型の頭部長さ、頭部幅及び全体高さが特に大きすぎるため、改善が必要である、というものであった。具体的には、繫離船の作業効率を向上させる観点で、2000kN市販型の上部形状を1500kN市販型や1000kN標準型の上部形状に変更することを望む意見が多いことがわかった。

表-3.1 ヒアリング結果の概要

部位	主な意見
全体寸法	2000kN型は特に寸法が大きすぎる。(A社、B社、C社) 1500kN型程度の大きさであれば作業上問題ない。(A社) - 牽引力2000kNに耐えられるなら1000kN型がよい。(C社)
頭部長さ (L)	2000kN型は長すぎる。(A社、B社、C社) - 現在使っている係船曲柱の頭部長さが30cmで、これより短くなると複数本掛けるときに係留索が外れる恐れがある。(A社) - 係留索が2本横に並べられる長さであれば十分。(C社)
頭部幅 (B)	- 短い方が係留索の掛け外しが容易になる。(A社、B社、C社) - 現在使っている係船曲柱の頭部幅が25cmで、これより短くなると複数本掛けるときに係留索が外れる恐れがある。(A社)
胴径 (D)	- 強度があれば細くしても作業上の支障はない。(C社) - 係留索が斜め上から牽引された際に持ち上がりにくい形状がよい。(B社、C社)
胴高 (H)	2隻の係留索を合取りする場合があるため、最大8本掛けられる高さが必要。(A社、C社) - 客船の場合は係留索を3、4本かけるため、胴高40～45cm程度が良い。(A社)
頭部高 (H_0)	- 係船曲柱の高さが股下（約80cm）だと作業がしやすいので、胴高は係留索をかけるので必要だが、頭部高さは低いほうが良い。(A社、B社、C社) 1500kN型程度の高さが丁度良い。(C社)

3.2 各地で設置されている 2000kN 型係船曲柱の事例

(1) 概要

アンケート調査・ヒアリング調査の結果より、市販型とは形状の異なる大型係船曲柱の設置事例が散見された。上記の調査結果では、2000kN型を扱っている繋離船事業者が7社あり、2000kN型の係船曲柱の設置事例が全9事例の内、市販型とは異なり係船曲柱の部位によって2000kN市販型よりも大幅に短縮されている事例が8事例あった。2000kN市販型と独自に検討された8事例の寸法比較を表-3.2に示す。

以下では、8事例の内代表3港（1.横浜港・3.大阪港①・7.神戸港②）における独自形状の2000kN型の設置事例を詳述した上で、これらの8事例から、実績に照らして、上部形状の各寸法の取り得る最小値について整理する。

(2) 横浜港・大阪港・神戸港での検討事例

a) 横浜港本牧ふ頭の係船曲柱

写真-3.2に示す横浜港本牧ふ頭の係船曲柱は、繋離船事業者の要望から頭部長さを1000kN標準型より短い30cmとし、頭部幅を1500kN市販型より短い25cmとしていた。作業員からは、頭部については市販型の寸法よりも短く、この寸法が望ましいとの意見であった。また、2000kN市販型と比較すると胴高については2cm低く、頭部高についても45cmと低く設定していることがわかった。

b) 大阪港夢洲コンテナターミナルの係船曲柱

写真-3.3に示す大阪港夢洲コンテナターミナルの係船曲柱は、ガントリークレーンのケーブル溝と近接しており、市販型の上部形状ではケーブル溝上に頭部が張り出してしまうことから、頭部長さを30cmと1000kN標準型よりも短くしている。また、2000kN市販型と比較すると胴高については1cm高く、頭部高については35cmと大幅に低く設定していることがわかった。ちなみにクレーンレールのケーブル溝と近接しているために頭部長さを短くした係船曲柱の事例は、他港でも確認できた。

c) 神戸港六甲アイランド地区の係船曲柱

写真-3.4に示す神戸港六甲アイランド地区の係船曲柱は、2000kN市販型と比較すると、胴径と頭部長さは同寸、胴高は3cm、頭部幅は2.5cm長い、頭部高は12cm低く、全体として2000kN市販型より少し低く幅の広い全体形状となっている。この係船曲柱に対して、作業員は胴高・頭部長さ・頭部幅について大きすぎるとの意見を挙げている。

以上の3事例より、2000kN型係船曲柱の中には、設置される現場条件や繋離船作業の作業性等の各港の設計条件を考慮して、特定の部位の寸法を市販型よりも短縮（一部伸長）している事例があることがわかった。3事例に共通することは、胴径 D と胴高 H は、いずれも2000kN市販型の±5cm以内に収まっているが、頭部長さ L 、頭部高 H_0 及び頭部幅 B は、状況に応じて大幅に小さくしている点である。

(3) 事例から各部位の取り得る最小値

2000kN型の独自の設置事例があった8事例より、各部位の取り得る寸法の最小値について、1000kN標準型、1500kNと2000kNの市販型の寸法と合わせて表-3.3に示す。係船曲柱の全部位で短縮されている事例があり、2000kN市販型と比較すると、胴径は10cm、胴高は17cm、頭部長さは35cm、頭部幅は7.5cm、頭部高は20cm短縮されている。

以上のことから、2000kN型の係船曲柱において、上部形状の各部位の最小値は、全部位で1500kN市販型よりも小型化しており、胴高・頭部長さ・頭部高については1000kN標準型よりも小型化している実績寸法が確認できた。

表-3.3 調査結果の 2000kN 型実績最小値

各部位の寸法	1000kN 標準型	1500kN 市販型	2000kN 市販型	実績 最小値
(1) 胴径 D [cm]	45	55	65	55
(2) 胴高 H [cm]	41	49	57	40
(3) 頭部長さ L [cm]	45	55	65	30
(4) 頭部幅 B [cm]	22.5	27.5	32.5	25
(5) 頭部高 H_0 [cm]	36	44	52	32

表-3.2 2000kN市販型と独自に検討された8事例の寸法比較

各部位の寸法	2000kN 市販型	1.横浜港	2.清水港	3.大阪港①	4.大阪港②	5.大阪港③	6.神戸港①	7.神戸港②	8.長崎港
(1) 胴径 D [cm]	65	60	65	69	68	60	70	65	55
(2) 胴高 H [cm]	57	55	60	58	54	60	62	60	40
(3) 頭部長さ L [cm]	65	30	60	30	37	30	60	65	55
(4) 頭部幅 B [cm]	32.5	25	35	31.5	31	35	33	35	30
(5) 頭部高 H_0 [cm]	52	45	50	35	37	35	32	40	45



写真-3.2 横浜港本牧ふ頭の係船曲柱



写真-3.3 大阪港夢洲の係船曲柱



写真-3.4 神戸港の係船曲柱

3.3 係船曲柱の寸法に係る設計思想に基づいた小型化の検討

(1) 検討の意義と手順

2.2で示したとおり、簡易設定手法では係留索の直径と胴径の比率を一律に固定している。このため、実際に使用される係留索よりも太い係留索を想定し、各部位が必要以上に大型化している要因となっている。

以上を踏まえて、簡易設定手法を適用せずに、適切な係留索の直径を想定し、港研資料No.102の係船曲柱の寸法に係る設計思想に基づき各部位の寸法を定め、市販型の係船曲柱からどの程度の小型化が可能であるかを検討する。

(2) 係留索の直径の調査結果

係留索の径について、港研資料No.102では一律に胴径の0.2倍と設定しているが、2.2に述べたように200,000総トンの大型一般貨物船の係留索の径は、港空研資料No.1341より85mmとなる。

また、日本繫離船協会の会員企業（1500kN以上の係船曲柱を使用している繫離船事業者）に行った係留索に関するアンケート調査の結果を表-3.4に示す。この調査の結果、係留索の直径は65～85mmが多く、最大は100mmであることが確認できた。

以上のことから、係留索の最大径として100mmを設定することは、概ね妥当であると考えられる。

(3) 小型化の検討結果

ここでは、牽引力2000kN、対象船舶の係留索の径φを100mmとして、胴径Dが55cm（1500kN市販型の胴径）と設定した場合を例に、2.1(2)の係船曲柱の寸法に係る設計思想に基づき、係船曲柱の上部形状の小型化について検討する。なお、この条件下で設定した上部形状を独自設定型と呼ぶこととする。

表-3.4 係留索に関するアンケート結果

規格	よく利用される係留索のアイ(輪)部の径、またはアイ部を伸ばした長さのどちらかを記入ください。	係留索の径(太さ)および種類(もしわかれば品名)をご記入ください。	係留索の破断強度をご記入ください。(運用上の目安としている引張力でも良いです。)
2000kN型係船曲柱	長さ L=2.7m	65mm	-
	長さ L=2.7m	65mm	-
	径 φ=約2m	85mm	-
	長さ L=2.5m	-	-
	長さ L=1.2～1.7m	-	-
	長さ L=2.3m	100mm, 80mm	運用上の張力(130t)
1500kN型係船曲柱	径 φ=1.5m	-	-
	長さ L=約2m	85mm	-
	長さ L=約1.5m	-	-

独自設定型の各部の寸法の算出過程を以下に示す。

$$\begin{aligned}
\text{胴径} D &= 55\text{cm} \\
\text{係留索の径} \phi &= 10\text{cm} \\
\text{胴高} H &= 4\phi + 5\text{cm} \\
&= 45\text{cm} \\
\text{頭部長さ} L &= 3\phi + 0.3D \\
&= 46.5\text{cm} \\
\text{頭部幅} 2B &= L \\
B &= 23.25\text{cm} \\
\text{頭部高} H_0 &= 0.8D \\
&= 44\text{cm}
\end{aligned}$$

上記で算定した独自設定型と2.1(3)で述べた簡易設定手法に基づいた1000kN標準型、1500kNと2000kNの市販型の各部位の寸法を比較した結果を表-3.5に示す。

(4) 検討結果のまとめ

港研資料No.102 の係船曲柱の寸法に係る設計思想に基づいた独自設定型は、係船曲柱の全部位で2000kN市販型よりも長さを短縮できることが確認できた。具体的には、胴径 D を55cmと設定したとき、2000kN市販型よりも胴径 D は10cm、胴高 H は12cm、頭部長さ L は18.5cm、頭部幅 B は9.25cm、頭部高 H_0 は8cm短縮となる。一方、1500kN市販型との比較では胴高 H 、頭部長さ L 、頭部幅 B はより短く、1000kN標準型との比較では、胴径 D 、胴高 H 、頭部長さ L 、頭部幅 B 、頭部高 H_0 の全てで上回り、1000kN標準型と1500kN市販型の間寸法となることがわかった。

表-3.5 独自設定型と既存型の寸法比較

各部位の寸法	独自設定型	2000kN型との寸法差	1500kN型との寸法差	1000kN型との寸法差
(1) 胴径 D [cm]	55	65 (-10)	55 (0)	45 (+10)
(2) 胴高 H [cm]	45	57 (-12)	49 (-4)	41 (+4)
(3) 頭部長さ L [cm]	46.5	65 (-18.5)	55 (-8.5)	45 (+1.5)
(4) 頭部幅 B [cm]	23.25	32.5 (-9.25)	27.5 (-4.25)	22.5 (+0.75)
(5) 頭部高 H_0 [cm]	44	52 (-8)	44 (0)	36 (+8)

※上段は寸法、下段の括弧は独自設定型との寸法差

3.4 作業効率向上に配慮した大型係船曲柱の上部形状の小型化案の提案

(1) 概要

本節では、各社において小型化の要望が多かった2000kN型の大型係船曲柱を対象として、その上部形状の小型化の具体的な検討を行い、係留時の安全性を確保しつつ、繫離船作業の作業効率の向上が期待できる上部形状の小型化案を提案する。なお、係船曲柱の下部構造については、ここでは対象としない。

(2) 上部形状の小型化にあたっての基本方針

上部形状の小型化にあたり、寸法を小さくすることで作業効率は向上するものの、過度に小さいと一度掛けた係留索が係船曲柱から外れてしまう可能性もあるため、各部位の寸法は慎重に設定する必要がある。

そこで、上部形状の小型化にあたっては、既往の実績や設定手法を十分に尊重することを基本方針とした。具体的には、以下に示す寸法設定のコントロールポイントを考慮することとした。

- A) 既存の係船曲柱（1500kN市販型、1000kN標準型）の上部形状の寸法
- B) 港研資料No.102の係船曲柱の寸法に係る設計思想（3.3で設定した「独自設定型」の寸法を活用）
- C) 繫離船事業者の意見・要望の反映と各地で利用実績のある小型化された上部形状の寸法（3.1の繫離船事業者の要望が多かった意見の反映と3.2の表-3.3に示す実績寸法の最小値を活用）

(3) 上部形状の小型化の検討ケース

3つのコントロールポイントを踏まえ、検討ケースは表-3.6に示す5ケースとした。以下では、検討ケースの具体的な内容を説明する。

表-3.6 小型化のケース設定一覧

ケース	コントロールポイント			特徴
	A)	B)	C)	
①	○	×	×	1500kN市販型と同寸
②	○	×	○	ケース①+頭部長さ等短縮
③	×	○	×	3.3の独自設定型
④	×	○	○	ケース③+頭部長さ短縮
⑤	○	×	×	1000kN標準型と同寸

ケース①とケース⑤は、牽引力2000kNに対して、A)に従いそれぞれ既に利用実績がある1500kN市販型と1000kN標準型の上部形状を利用したケースである。

ケース③は、B)に従い、港研資料No.102の係船曲柱の寸法に係る設計思想に基づいた独自設定型を利用した。なお、独自設定型の頭部幅は表-3.5に示すように23.25cmとなるため、実績最小値である25cmとして設定した。

ケース②は、ケース①の寸法から、C)を考慮させた形状である。C)については、アンケートやヒアリングで繫離船事業者からの意見・要望が多かった頭部長さ及び頭部幅の短縮を反映させるものである。頭部長さは、2000kN市販型よりも寸法を短縮し、30cmとしている事例があり、この寸法は繫離船作業が行いやすいが、これ以上短くすると係留索が外れてしまう恐れがあるとの意見があった。従って、頭部長さを実績最小値である30cmとした。頭部幅については25cmとしている事例があり、これ以上短くすると係留索が外れる恐れがあるといった意見があったため、頭部幅を実績最小値である25cmとした。

ケース④は、ケース③の寸法から、C)を考慮させた形状である。ケース③の頭部幅は、実績最小値と設定しているため、頭部長さのみを実績最小値である30cmに短縮した形状である。

(4) 各検討ケースの評価方法

ここでは、(3)に示した各検討ケースによる上部形状が、牽引力2000kN用として適切か否かをどのように評価するかについて説明する。評価は、以下に示す3つの評価軸に沿って行う。

- ・ 繫離船事業者から挙げられた意見より、繫離船作業の作業効率の観点で評価する（以後、「作業効率」と記載する）。
- ・ 各地に設置されている2000kN型で、独自に上部形状を短縮している各部位の最小値の利用実績を基に、この寸法から逸脱していないかという観点で評価する（以後、「事例比較」と記載する）。
- ・ 港研資料No.102の係船曲柱の寸法に係る設計思想に基づき、係留索の配置本数を満足するか評価する（以後、「設計思想」と記載する）。

(5) 小型化の評価結果

表-3.7に、先に示した評価軸を基に、全5ケース（表-3.6）の上部形状に対する評価結果を示す。なお、表中には、2000kN市販型の結果も併記している。

a) 2000kN市販型の評価

本製品の上部形状は、「作業効率」の面では取り扱っている繫離船事業者の全社が大き過ぎるとの不满を持っており、適切ではないと評価される。その一方で「事例比較」と「設計思想」の面から見た安全性は、適切であると評価できる。

b) 1500kN市販型としたケース①の評価

ケース①については、「作業効率」の面では、使用している繫離船事業者の過半数の社において、上部形状が大き過ぎるため不满を持っているが（図-3.1）、一部の社ではこの上部形状が望ましいとの意見もあった。このため、「作業効率」の面では、やや適切ではないと評価される。「事例比較」の面では、各部位の寸法が実績最小値以上となるため、概ね適切であると評価できる。「設計思想」の面では、係留索を縦に4本、横に3本重ねずに並べられることができ、さらに胴高、頭部長さ、頭部幅それぞれ数cmの余裕代を持っているため、適切であると評価できる。

以上のことから、2000kN型の上部形状をケース①の1500kN市販型の上部形状に変更すると、作業効率向上の面ではやや評価は劣るものの、既往事例の実績及び港研資料No.102の設計思想の観点からも問題ないため、ケース①は、2000kN型の上部形状の小型化案として成立すると考えられる。

c) 1500kN市販型の寸法を一部短縮したケース②の評価

ケース②については、「作業効率」の面では、ケース①よりもさらに頭部長さ・頭部幅が短縮され、繫離船作業が行いやすいと概ね適切であると評価できる。「事例比較」の面では、各部位の寸法が実績最小値以上となり、頭部長さと頭部幅を実績最小値として設定しているため、概ね適切であると評価できる。「設計思想」の面では、頭部長さを30cmとしたことで、係留索を横に3本重ねずに並べることができず満足できないため、実績最小値を上回っているものの、適切ではないと評価される。

以上のことから、2000kN型の上部形状をケース②まで小型化すると、作業効率向上及び既往事例の実績の観点からは適切であるものの、港研資料No.102の設計思想を満足しない。このため、ケース②の小型化案については、成立はするものの、標準的な上部形状として採用する場合には、さらなる検討が必要であると考えられる。

d) 独自設定型としたケース③の評価

ケース③については、「作業効率」の面では、1500kN市販型と比較し、胴径・頭部高は同寸であり、それ以外の寸法は短縮されるため、繫離船作業の効率向上の観点からは概ね適切であると評価できる。「事例比較」の面では、各部位の寸法が実績最小値以上となり、胴径と頭部幅を実績最小値として設定しているため、概ね適切であると評価できる。また、「設計思想」の面では、係留索を縦に4本、横に3本重ねずに並べられることができるように寸法を設定しているため、この点でも概ね適切であると評価できる。

以上のことから、ケース③の独自設定型の上部形状は、作業効率向上の面、既往事例の実績及び港研資料No.102の設計思想の観点からも問題ないため、2000kN型の上部形状の小型化案として成立すると考えられる。

表-3.7 牽引力 2000kN の要求事項に対する上部形状の評価

	2000kN 市販型		ケース① 1500kN 市販型		ケース② 1500kN 市販型		ケース③ 独自設定型		ケース④ 独自設定型		ケース⑤ 1000kN 標準型	
	変更箇所											
変 更 箇 所	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	(1) 胴径 D [cm]	65	55	55	55	55	55	55	55	55	45	45
	(2) 胴高 H [cm]	57	49	49	49	49	49	49	49	49	41	41
	(3) 頭部長さ L [cm]	65	55	55	55	55	55	55	55	55	45	45
	(4) 頭部幅 B [cm]	32.5	27.5	27.5	27.5	27.5	27.5	27.5	27.5	27.5	22.5	22.5
(5) 頭部高 H_d [cm]	52	44	44	44	44	44	44	44	44	44	36	36
	備考	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
作業効率	×	△	△	△	△	△	△	△	△	△	◎	◎
	全社で上部形状が大きすぎるため、緊離船作業において不満を持っている。	不満を持っている社もあるが、この形状寸法が望ましいとの意見もある。	全体形状が小型され、さらに頭部長さ・頭部幅が短縮されることで、緊離船作業が行いやすい。	頭部長さと頭部幅を実績最小値に変更	胴径55cmで検討 頭部幅は23.25cmとなるため、実績最小値の25cmを採用する。	市販型の1500kN型よりも胴高・頭部長さ・頭部幅が短縮されることで、緊離船作業が行いやすい。	市販型の1500kN型よりも胴高・頭部長さは30cm短縮され、さらに頭部幅は短縮されることで、緊離船作業が行いやすい。	市販型の1500kN型よりも胴高・頭部長さは30cm短縮され、さらに頭部幅は短縮されることで、緊離船作業が行いやすい。	市販型の1500kN型よりも胴高・頭部長さは30cm短縮され、さらに頭部幅は短縮されることで、緊離船作業が行いやすい。	市販型の1500kN型よりも胴高・頭部長さは30cm短縮され、さらに頭部幅は短縮されることで、緊離船作業が行いやすい。	緊離船作業で支障となる意見はない。	緊離船作業で支障となる意見はない。
事例比較	◎	○	○	○	○	○	○	○	○	○	△	△
	設置実績がある。	各部位の寸法が最小値以上となる。	各部位の寸法が最小値以上となる。	各部位の寸法が最小値以上となる。	各部位の寸法が最小値以上となる。	各部位の寸法が最小値以上となる。	各部位の寸法が最小値以上となる。	各部位の寸法が最小値以上となる。	各部位の寸法が最小値以上となる。	各部位の寸法が最小値以上となる。	胴高、頭部長さ、頭部高の部位は最小値以上となる。 胴径と頭部幅は最小値を下回る。	胴高、頭部長さ、頭部高の部位は最小値以上となる。 胴径と頭部幅は最小値を下回る。
設計思想	◎	○	○	○	○	○	○	○	○	○	△	△
	10cmの係船索を縦に4本、横に3本重ねずに並べられる。 (縦に5本、横に4本となる)	10cmの係船索を縦に4本、横に3本重ねずに並べられる。	10cmの係船索を縦に4本、横に3本重ねずに並べられる。	10cmの係船索を縦に4本、横に3本重ねずに並べられる。	10cmの係船索を縦に4本、横に3本重ねずに並べられる。	10cmの係船索を縦に4本、横に3本重ねずに並べられる。	10cmの係船索を縦に4本、横に3本重ねずに並べられる。	10cmの係船索を縦に4本、横に3本重ねずに並べられる。	10cmの係船索を縦に4本、横に3本重ねずに並べられる。	10cmの係船索を縦に4本、横に3本重ねずに並べられる。	10cmの係船索を縦に4本、横に3本重ねずに並べられる。	10cmの係船索を縦に4本、横に3本重ねずに並べられる。
総合評価	△	○	○	○	△	△	◎	◎	△	△	△	△
	緊離船事業者の改善要望が多いため、やや適切ではないと評価される。	作業効率はやや劣るものの、事例比較と設計思想を満足するため、概ね適切であると評価できる。	作業効率は事例比較は満足するものの、設計思想は満足しないため、やや適切でないとは評価される。	作業効率と事例比較、設計思想で問題ないため、適切であると評価できる。	作業効率と事例比較は満足するものの、設計思想は満足しないため、やや適切でないとは評価される。	作業効率と事例比較は満足するものの、設計思想は満足しないため、やや適切でないとは評価される。	作業効率と事例比較は満足するものの、設計思想は満足しないため、やや適切でないとは評価される。	作業効率と事例比較は満足するものの、設計思想は満足しないため、やや適切でないとは評価される。	作業効率と事例比較は満足するものの、設計思想は満足しないため、やや適切でないとは評価される。	作業効率と事例比較は満足するものの、設計思想は満足しないため、やや適切でないとは評価される。	作業効率は最も向上するが、事例比較と設計思想を満足しない箇所もあるため、やや適切ではないと評価される。	作業効率は最も向上するが、事例比較と設計思想を満足しない箇所もあるため、やや適切ではないと評価される。

◎：適切である、○：概ね適切である、△：やや適切ではない、×：適切ではない

e) 独自設定型の寸法を一部短縮したケース④の評価

ケース④については、「作業効率」の面では、ケース③よりもさらに頭部長さを短縮したことから繫離船作業が行いやすいと概ね適切であると評価できる。「事例比較」の面では、各部位の寸法が実績最小値以上となり、胴径・頭部長さ・頭部幅を実績最小値として設定しているため、概ね適切であると評価できる。「設計思想」の面では、頭部長さを30cmとしたことで、係留索を横に3本重ねずに並べることができず満足できないため、実績最小値を上回っているものの、適切ではないと評価される。

以上のことから、2000kN型の上部形状をケース④まで小型化すると、作業効率向上及び既往事例の実績の観点からは適切であるものの、港研資料No.102の設計思想を満足しない。このため、ケース④の小型化案については、成立はするものの、標準的な上部形状として採用する場合には、さらなる検討が必要であると考えられる。

f) 1000kN標準型としたケース⑤の評価

ケース⑤については、「作業効率」の面では、繫離船作業において、特段支障となる意見はなかったため、適切であると評価できる。「事例比較」の面では、胴高・頭部長さ・頭部高は実績最小値未満とはならないものの、胴径45cmと頭部幅22.5cmとなり、2000kN型の調査結果の実績最小値である胴径55cmと頭部幅25cmよりも短くなってしまったため、やや適切ではないと評価される。「設計思想」の面でも、係留索を縦に4本、横に3本並べられるが、胴高の余裕代5cmを確保できない。不足分は胴高4cm、頭部幅2.25cmとなるため、やや適切ではないと評価される。

以上のことから、2000kN型の上部形状をケース⑤(1000kN市販型)まで小型化すると、繫離船作業としては最も小型化できているため、作業性は向上するが、各地での実績がなく、港研資料No.102の設計思想を一部満足しない結果となる。このため、ケース⑤の小型化案については、標準的な上部形状として採用する場合には、さらなる慎重な検討が必要であると考えられる。

(6) 検討結果のまとめ

以上の評価結果から、2000kN型の大型係船曲柱の上部形状の標準的な小型化案としては、ケース①とケース③が有力な候補である。この方針に従って小型化を図ることで、係留時の安全性を確保しつつ、繫離船作業の作業効率の向上が期待できる係船曲柱へと改善することができると考えられる。

4. 上部形状を小型化した大型係船曲柱の試設計及び製造実現性の確認

4.1 試設計の検討内容

(1) 概要

第3章で小型化の検討を行った各ケースの中で、標準的な小型化案の有力候補となった1500kN市販型のケース①と独自設定型のケース③、加えて最も小型化した1000kN標準型のケース⑤の計3ケースについて、牽引力2000kNの条件で試設計を行うこととした。この3つのケースと、2000kN市販型の側面図、平面図を上部部分のみ重ね合わせると図-4.1のようになり、市販型に比べて検討ケースが大幅に小型化できていることがわかる。

港研資料No.102の部材の応力計算は、1976年発行の共通仕様書から記載されている牽引力50～1000kNまでの係船曲柱における標準寸法の基となっており、十分な適用実績を有していると言える。この港研資料No.102の曲柱の設計計算例に基づいて力学的な安全性の確認を実施した。ケース②とケース④はそれぞれケース①とケース③の頭部短縮型であり、頭部の寸法は応力計算には影響しないことから、これらのケースの試設計は省略する。

なお、ここでは係船曲柱の上部形状の小型化に主眼を置いているため、底板の基本形状は現行の市販型、標準型と同様として、寸法を算定している。今後は下部構造も含めて各種の検討を行い、小型化を図った全体形状を提案する予定である。

(2) 検討内容

検討手順としては、牽引力2000kNの条件下で胴部応力の計算を行い、鋳鋼の許容応力度以下となるかを確認する。胴部応力が許容応力度を超える場合は、牽引力2000kNに耐えられるように係船曲柱上部の肉厚、鋳鋼の材料規格を変更し、許容応力度を満足する肉厚や材料規格を設定する。

係船柱本体は中空成形された鋳造品であり、肉厚と材料規格は、港研資料No.102に基づき共通仕様書に明示されている。鋳鋼の材料規格は共通仕様書にSC450と記載があり、炭素鋼鋳鋼品の引張強さが450N/mm²の材料と定められている。なお、係船柱メーカーへのヒアリングにおいて、製造上鋳鋼の材料規格は現行どおりが望ましいが、1ランク上への変更は可能との回答があったため、SC480までを検討対象とした。

以上を踏まえ、ケース①、③、⑤を係船曲柱上部の内側の肉厚を増すこと、曲柱本体の鋳鋼の材料規格をSC450からSC480(引張強さが480N/mm²)に変更することの2点について見直しを行い、計6ケースについて牽引力2000kNに

耐える肉厚を応力計算より算出し、上部形状と材料規格・寸法の変更による製造への影響を確認した。

4.2 上部構造の応力計算

(1) ケース①, ③, ⑤の応力照査結果

港研資料No.102の曲柱の設計計算例に基づいて、応力計算と各部位の寸法を定めた。ケース①, ③, ⑤において、前述した資料により各部位の寸法は表-4.1に示す値となった。なお、下部構造に関する寸法については、余裕代の設定等の違いにより、表-4.1で算出したケース①は1500kN市販型と、ケース⑤は1000kN標準型と寸法が異なる箇所がある。また、ケース③について、肉厚やアンカーボルトの規格や本数は1500kN型市販型と同じとした結果、下部構造についてはケース①と同じ寸法となった。

表-4.1の値にてそれぞれの部材の応力照査を行った結果を表-4.2に示す。表-4.2に示す「耐力」の数値は、現状のケース①, ③, ⑤の形状・部材の厚さ・材料規格等に対して牽引力を徐々に増加させた場合に、各部材の許容応力度を超過する際の牽引力の値である。この結果より、ケース①, ③におけるアンカーボルトのせん断力を除き、ケース①, ③, ⑤とも、どの部位においても牽引力2000kNに対して必要とする部材応力を満足しないことがわかる。

表-4.1 ケース①, ③, ⑤の各部位の寸法の算出結果

				ケース① 1500kN型	ケース③ 独自設定型	ケース⑤ 1000kN型
材料規格				SC450	SC450	SC450
頭部	頭部長さ	L	mm	550	465	450
	頭部高	H_0	mm	440	440	360
	頭部幅	B	mm	275	250	225
胴部	胴径	D	mm	550	550	450
	胴高	H	mm	490	450	410
	肉厚	t	mm	48	48	39
下部構造	アンカボルト呼径	ϕ	mm	M80	M80	M64
	アンカボルト埋込み角	α	°	22	22	22
	アンカボルト本数	N	本	7	7	6
	底板厚さ	H_1	mm	120	120	96
	胴部の埋込み深さ	H_2	mm	159	159	132
	埋込み深さ	H_3	mm	279	279	228
	底板幅	$2R_1$	mm	1320	1320	1260
	リブ幅	R_2	mm	240	240	180

表-4.2 ケース①, ③, ⑤の各部位の照査結果

	作用 (牽引力)	耐力及び判定		
		ケース①	ケース③	ケース⑤
胴部応力	2000kN	1731kN	1821kN	1101kN
		NG	NG	NG
アンカボルト応力	2000kN	1947kN	1947kN	1022kN
		NG	NG	NG
底板応力	2000kN	1618kN	1706kN	1095kN
		NG	NG	NG
コンクリート支圧応力	2000kN	1782kN	1782kN	1361kN
		NG	NG	NG
アンカボルトのせん断力	2000kN	2376kN	2376kN	1247kN
		OK	OK	NG

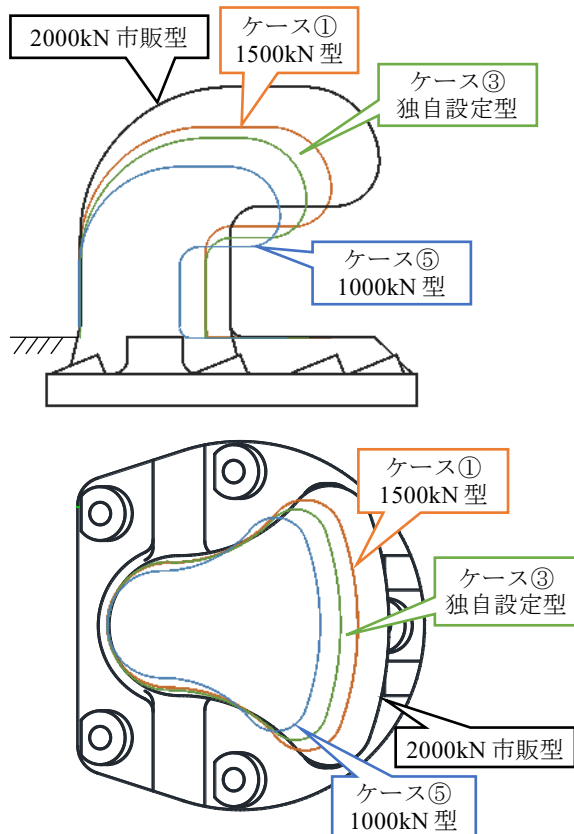


図-4.1 試設計検討ケースの上部形状の比較

(2) 試設計ケースの前提条件

次に、ケース①、③、⑤について、部材の肉厚や材料規格を変更し、牽引力2000kNに耐えられるような係船曲柱の試設計を行う。試設計は全6ケースに対して実施する。

6ケースの内訳は、牽引力2000kNを満足するように係船曲柱の上部の肉厚を厚くした場合（ケース①-1、ケース③-1、ケース⑤-1）の3ケースと、材料規格をSC480に変更し、必要に応じて肉厚を厚くした場合（ケース①-2、ケース③-2、ケース⑤-2）の3ケースである。なお、アンカーボルトに関する応力照査において、6ケース全てで耐力が満足しない結果となるため、本数の変更はせずに、アンカーボルトの材料規格を2000kN市販型と同じM90に変更した。

(3) 試設計の結果

6ケースの寸法の算定結果を表-4.3に、応力照査結果を表-4.4～4.9に示す。なお、試設計の計算過程については、ケース①-1の場合を代表例として、付録Bに示す。

表-4.3より、ケース①-1は肉厚を48mmから57mmに、ケース③-1は肉厚を48mmから54mmに、ケース⑤-1は39mmから85mmに厚くすることで強度を満足することがわかった。ケース①-2、③-2、⑤-2については、材料規格をSC450からSC480に変更することにより、ケース①-2は、肉厚は厚くする必要はあるものの53mmへの増加に留まり、ケース③-2は50mmへの増加、ケース⑤-2は76mmへの増加に留まることがわかった。

表-4.3 係船曲柱の試設計ケース

				1500kN型 市販型	ケース①-1	ケース①-2	独自設定型	ケース③-1	ケース③-2	1000kN型 標準型	ケース⑤-1	ケース⑤-2
材料規格				SC450	SC450	SC480	SC450	SC450	SC480	SC450	SC450	SC480
頭部	頭部長さ	L	mm	550	550	550	465	465	465	450	450	450
	頭部高	H_0	mm	440	440	440	440	440	440	360	360	360
	頭部幅	B	mm	275	275	275	250	250	250	225	225	225
胴部	胴径	D	mm	550	550	550	550	550	550	450	450	450
	胴高	H	mm	490	490	490	450	450	450	410	410	410
	肉厚	t	mm	48	57	53	48	54	50	39	85	76
下部構造	アンカボルト呼径	ϕ	mm	M80	M90	M90	M80	M90	M90	M64	M90	M90
	アンカボルト埋込み角	α	°	22	22	22	22	22	22	22	22	22
	アンカボルト本数	N	本	7	7	7	7	7	7	6	6	6
	底板厚さ	H_1	mm	120	135	135	120	135	135	96	135	135
	胴部の埋込み深さ	H_2	mm	159	176	176	159	176	176	132	176	176
	埋込み深さ	H_3	mm	279	311	311	279	311	311	228	311	311
	底板幅	$2R_1$	mm	1320	1430	1430	1320	1430	1430	1260	1350	1350
	リブ幅	R_2	mm	240	440	440	240	440	440	180	360	360

※下線部は1500kN型・独自設定型・1000kN型から変更した箇所

表-4.4 ケース①-1の応力計算結果

	作用 (牽引力)		耐力	判定
胴部応力	2000 kN	<	2016 kN	OK
アンカボルト応力	2000 kN	<	2513 kN	OK
底板応力	2000 kN	<	2116 kN	OK
コンクリート支圧応力	2000 kN	<	2172 kN	OK
アンカボルトのせん断力	2000 kN	<	3067 kN	OK

表-4.5 ケース①-2の応力計算結果

	作用 (牽引力)		耐力	判定
胴部応力	2000 kN	<	2028 kN	OK
アンカボルト応力	2000 kN	<	2513 kN	OK
底板応力	2000 kN	<	2116 kN	OK
コンクリート支圧応力	2000 kN	<	2172 kN	OK
アンカボルトのせん断力	2000 kN	<	3067 kN	OK

表-4.6 ケース③-1の応力計算結果

	作用 (牽引力)		耐力	判定
胴部応力	2000 kN	<	2023 kN	OK
アンカボルト応力	2000 kN	<	2513 kN	OK
底板応力	2000 kN	<	2227 kN	OK
コンクリート支圧応力	2000 kN	<	2172 kN	OK
アンカボルトのせん断力	2000 kN	<	3067 kN	OK

表-4.7 ケース③-2の応力計算結果

	作用 (牽引力)		耐力	判定
胴部応力	2000 kN	<	2024 kN	OK
アンカボルト応力	2000 kN	<	2513 kN	OK
底板応力	2000 kN	<	2227 kN	OK
コンクリート支圧応力	2000 kN	<	2172 kN	OK
アンカボルトのせん断力	2000 kN	<	3067 kN	OK

表-4.8 ケース⑤-1の応力計算結果

	作用 (牽引力)		耐力	判定
胴部応力	2000 kN	<	2004 kN	OK
アンカボルト応力	2000 kN	<	2154 kN	OK
底板応力	2000 kN	<	2008 kN	OK
コンクリート支圧応力	2000 kN	<	2050 kN	OK
アンカボルトのせん断力	2000 kN	<	2629 kN	OK

表-4.9 ケース⑤-2の応力計算結果

	作用 (牽引力)		耐力	判定
胴部応力	2000 kN	<	2011 kN	OK
アンカボルト応力	2000 kN	<	2154 kN	OK
底板応力	2000 kN	<	2008 kN	OK
コンクリート支圧応力	2000 kN	<	2050 kN	OK
アンカボルトのせん断力	2000 kN	<	2629 kN	OK

4.3 製造実現性の確認

(1) 概要

試設計を行った6ケースいずれも牽引力2000kNを満足することが確認できたため、係船曲柱の上部形状や材料規格の変更による製造への影響を確認するために、係船柱メーカーにヒアリングを実施した。今回のヒアリング対象は最も寸法が大きいケース①-1、①-2と最も小型化したケース⑤-1、⑤-2の計4ケースについて行った。

ヒアリング調査先としては、国内主要メーカーの3社に対して、試設計の結果（表-4.3）の図面を基に製造の可否や製造留意点について意見を聴取した。以下では、係船曲柱の製造方法について簡単に説明するとともに、係船柱メーカーからの意見聴取の結果を示す。

(2) 係船曲柱の製造手順

図-4.2に砂型を用いた casting（砂型 casting法）による製造手順のイメージ図を示す。このイメージ図は、係船柱メーカーへのヒアリング調査から得られた情報に基づき作成したものである。

砂型 casting法の一般的な製造手順としては、最初に①、②で木型（主型）と中子（砂型）を製作し、③で周囲を囲って鋳物砂を保持するための鋳枠に木型（緑線箇所）を置き、鋳物砂という骨材である砂や粘結材、添加剤が含まれている砂を投入し押し固めることで、下型を製作する。次に④で、下型を反転させ上型を製作するための鋳枠を置き、鋳枠に押湯・湯道を確保するため陶管を置いた後に、鋳物砂を投入し上型を製作する。押湯とは、鋳物が冷却し凝固収縮によって不足する熔融金属を補給するための湯溜まりである。続いて⑤で、上型と下型の分離を行うとともに、下型から木型を抜き出し、⑥、⑦で中子（鋳物の内部に中空部を形成するための砂型）と上型を設置し、注湯口から鋳鋼の基となる熔融金属を流し込む。最後に⑧で、冷却し凝固した係船柱の鋳物（青線箇所）を取り出すために、上型・下型・中子を取り壊し、表面についている砂の削り取り等の仕上げをすることで製品として完成する。

(3) ヒアリング結果

係船柱メーカーの3社からの主な意見を表-4.10に示す。製造に関するヒアリングの結果、4ケースについては3社とも製造可能との回答を得た。肉厚のみを変更したケース①-1とケース⑤-1について、既存の木型を使用できるため、製造の観点からは都合が良いことが確認された。しかし、肉厚を厚くし過ぎると中子の製作が難しくなることや、頭部高及び胴径の内部の空間が狭くなり、砂型が鋳物に焼き付きを起こし、清掃の手間が増えることや不良品が出る可能性が高いことがわかった。その限度として、係船柱の大きさなら頭部高及び胴径の内部の空間は30cm程度必要との意見があった。

係船曲柱の頭部や胴部で曲面となっている箇所の曲率半径は、小さすぎると熔融金属が鋳型を回りにくくなり、製作が難しくなる可能性があるため、限度としては、40mm程度以上の曲率半径が必要との意見があった。

材料規格については、SC450からSC480に変更することはできるが、SC450が望ましいとの意見があった。造船部品関係はSC410を主に使用しており、SC450も同じ窯で製造している。SC480になると同じ窯で製造できなくなるため、可能であればSC450から変えないで欲しいとの意見が挙げられた。

4.4 まとめ

以上の結果から、牽引力2000kNに耐えられる係船曲柱

として、外形寸法が1500kN市販型の場合（ケース①）、独自設定型の場合（ケース③）、1000kN標準型の場合（ケース⑤）でも、肉厚や材料規格を変更することにより、小型化を図ることができる見通しを得ることができた。また、ケース①とケース③の頭部短縮型であるケース②とケース④は、頭部長さ以外は1500kN市販型のケース①と1000kN標準型のケース⑤の中間の寸法形状であるため、同様に小型化を図ることができるものと考えられる。

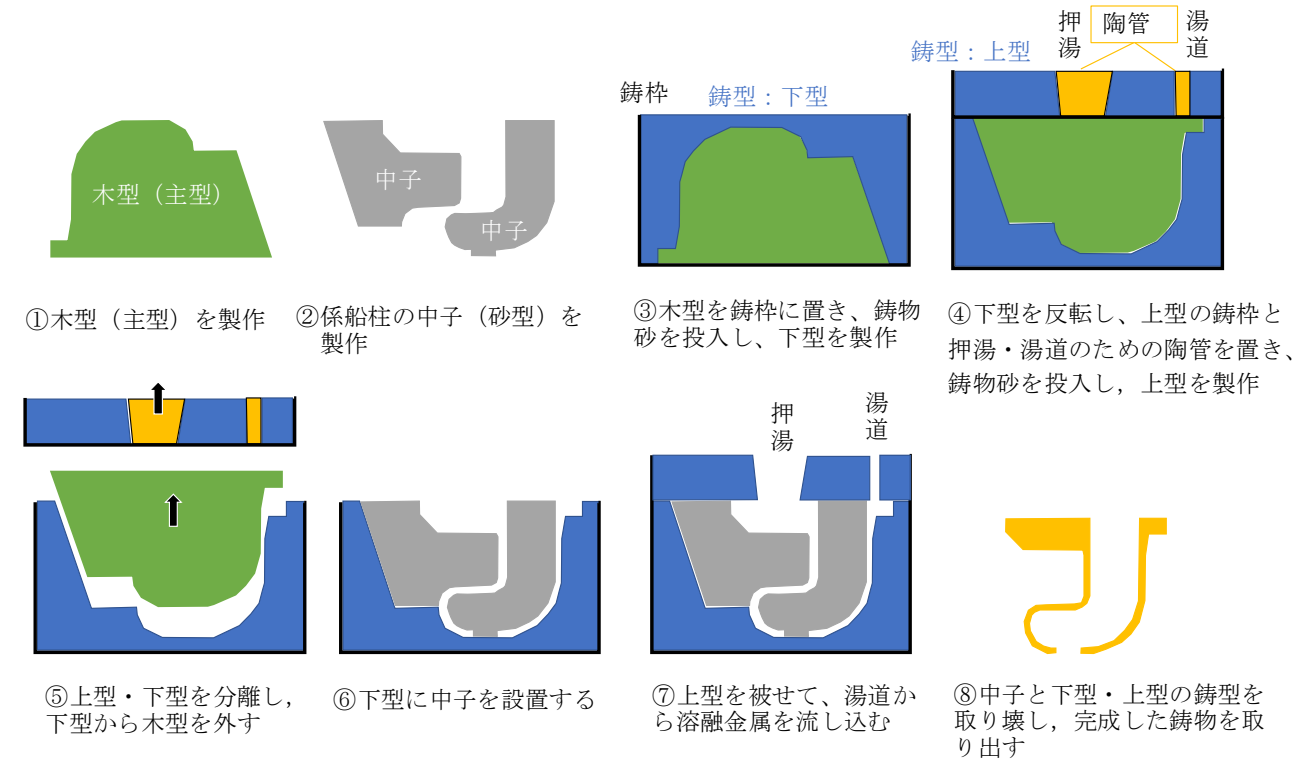


図-4.2 製造イメージ図

表-4.10 製造に関するヒアリングの概要

	主な意見
全体	・ 4 ケースについて、基本的には製造可能。（a 社，b 社，c 社）
肉厚(<i>t</i>)	・ 肉厚を厚くしすぎて頭部の空間が狭いと熱が溜まり、砂型が鑄物に焼き付きを起こす可能性がある。鑄物に砂が固着すると清掃の手間が増えるか、不良品となる恐れがある。空間部分は 30cm 程度必要である。（a 社） ・ 曲柱本体の高さに対し肉厚が薄くなりすぎると、熔融金属が行き渡る前に固まってしまう可能性があるため、高さが 1.2m 以上あれば最低でも肉厚 40mm は必要である。（b 社） ・ 肉厚が厚くなりすぎると、中子の製作が大変となる。（a 社，b 社）
曲率半径(<i>R</i>)	・ 曲率が小さすぎると熔融金属が鑄型を回りにくくなる可能性がある。（a 社，b 社） ・ 熔融金属が回りにくくなると鑄造の仕上げが悪くなり、溶接等で仕上げる補修に手間がかかってしまうかもしれない。（a 社，b 社，c 社） ・ 曲率半径は 40mm 程度なら製造できる。（b 社）
材料規格	・ SC450 から SC480 に変更することは問題ない。（a 社，b 社，c 社） ・ 造船部品は SC410 を主に使用し製造しているため、2 ランク上の材質（SC480）になると同じ窯で製造できなくなる。（a 社）

5. 結論

本検討では、大型係船曲柱（牽引力1500kN、2000kN）の上部形状の小型化を図ることを目的として、既存手法による大型係船曲柱の上部形状の設定方法を整理するとともに、繫離船事業者に対する大型係船曲柱の利用状況に関するアンケート・ヒアリング調査等を実施して、各地で整備されている大型係船曲柱の小型化の事例についても調査した。これらの結果から得られた結論は、以下のとおりである。

- 1) 大型係船曲柱（牽引力1500kN、2000kN）の上部形状が大型化した要因は、港研資料No.102による1000kNまでを対象に構築されていた上部形状の簡易設定手法を大型係船曲柱に一律的に適用したことによるものと考えられる。
- 2) 繫離船事業者へのアンケート・ヒアリング調査の結果から、特に2000kN市販型の上部形状（頭部長さ、頭部幅及び全体高さ）が大きすぎるため、その改善が必要であることがわかった。具体的には、繫離船の作業効率を向上させる観点で、2000kN市販型の上部形状を1500kN市販型や1000kN標準型の上部形状に変更することが望まれている。
- 3) 各地で、繫離船事業者の要望や現場条件に対応して、係船曲柱の上部形状の特定部位の寸法を、市販型よりも短縮（一部伸長）している事例が多数存在する。本検討では、収集した係船曲柱の設置事例から、2000kN型における実績寸法の最小値を整理した。
- 4) 港研資料No.102の上部形状の寸法に係る設計思想に基づいて、寸法を算定した独自設定型の場合、1500kN市販型よりも胴高・頭部長さ・頭部幅を短くすることができる。この独自設定型の胴高・頭部長さ・頭部幅は、1500kN市販型と1000kN標準型の中間の寸法となる。
- 5) 2000kN型の大型係船曲柱の上部形状を対象として、小型化の基本方針に基づいて5ケースの小型化案を評価した。評価の結果、上部形状の標準的な小型化案としては、上部形状を1500kN市販型としたケース①と独自設定型としたケース③が有力な候補である。この方針に従って小型化を図ることで、船舶係留時の安全性を確保しつつ、繫離船作業の作業効率の向上が期待できる曲柱へと改善することができる。
- 6) 牽引力2000kNに耐えられる係船曲柱として、上部形状を1500kN市販型としたケース①、独自設定型としたケース③及び上部形状を1000kN標準型としたケー

ス⑤を対象に、港研資料No.102の曲柱の設計計算例に基づいて、力学的な安全性の確認を実施した。また、係船柱メーカー3社へのヒアリング結果から、ケース①、⑤については現状の仕様（肉厚や材料規格等）を変更しても、小型化された係船曲柱の製造は可能であるとの回答を得た。なお、ケース③の上部形状は、1500kN市販型と1000kN標準型の中間の寸法であるため、同様に小型化を図ることができると考えられる。

本検討では、大型係船曲柱の上部構造のみを対象としたが、係船曲柱の大型化に伴い必然的にアンカーボルトも長大化し、設計・施工の両面で難点となっている。今後、係船曲柱の下部構造について、既存設定手法の整理した上で、係留施設の上部工コンクリートとの付着効果に関する評価等も行い、本検討の成果を踏まえ、大型係船曲柱の全体形状を提案する予定である。

謝辞

本検討を行うにあたり、日本繫離船協会及び会員各社の方々には、アンケート調査についてご協力いただき、さらに協和係船(株)、(有)コスモ商運、(有)博多港サービスセンターの各社には、ヒアリング調査にもご協力いただき、大変有益なご助言をいただきました。

また、係船柱の製造及び販売元である永進産業（株）、清本鐵工（株）、（株）広島メタル&マシナリー、扶桑商事（株）の各社には、係船曲柱の製造について、貴重な情報やご示唆を賜りました。ここに深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 西岡悟史、井山繁、宮田正史、米山治男、辰巳大介、木原弘一：係留施設の附帯設備等の整備における繫離船作業の安全性向上への配慮事項に関する検討、国土技術政策総合研究所資料、No.957、2017。
- 2) （公社）日本港湾協会：港湾の施設の技術上の基準・同解説、2018。
- 3) （公社）日本港湾協会：港湾工事共通仕様書、2019。
- 4) 稲垣紘史、山口孝市、片山猛雄：けい船柱の標準設計（案）、港湾技術研究所資料、No.102、1970。
- 5) （公社）日本港湾協会：港湾構造物標準設計（第1集）けい船柱の標準設計、1971。
- 6) （公社）日本港湾協会：港湾構造物設計基準、1967。
- 7) （一財）日本海事協会：鋼船規則 C編 船体構造及び船体艤装、2019。
- 8) （一財）日本海事協会：鋼船規則 L編 艤装品、2019。

- 9) 東京製綱繊維ロープ株式会社：ロープについて，
<http://www.fiber-tokyorope.jp/rope/12strand.html> ,
(最終検索日：2019年12月23日)
- 10) 寺内潔, 吉田行秀：船舶の主要寸法と力学的諸量の関係，港湾技術研究所資料，No.348，1980.
- 11) 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.

付録A 繋離船事業者へのアンケート調査結果

日本繋離船協会よりご協力いただき、繋離船事業者にアンケート調査を実施した内容と結果について述べる。
アンケート調査票を付図-A.1～A.5に示す。アンケート結果を付図-A.6～A.17、付表-A.1～A.16に示す。

大型係船曲柱の運用状況調査票

I. 貴事業所の概要についてお伺いします。
 問1 下記事項について、ご記入ください。

事業所名 ()	
事業所所在地 ()	
ご担当者氏名 (フリガナ) ()	
ご担当者連絡先 (TEL:)	内線
E-mail: ()	
大型係船曲柱が使用される港名、地区名、ふ頭名 ()	地区

II. 大型係船曲柱の規格についてお伺いします。

問2

①貴事業所で使用されるバースで扱われている大型係船柱の規格 (1500kN以上) について、あてはまるものすべてに○をつけてください。

1. 1500kN型係船曲柱	2. 2000kN型係船曲柱	3. その他 ()	KN型係船曲柱)
4. 1500kN型係船直柱	5. 2000kN型係船直柱	6. その他 ()	KN型係船直柱)

②貴事業所の集落で現在使用している大型係船曲柱 (1500kN以上) について、可能な範囲で大型係船曲柱の本体写真と設置されているバースの写真を送付 (別紙でも構いません) 及び寸法をご記入ください。

写真①	寸法①										
	<table border="1"> <tr> <td>(1) 胴径</td> <td>CD</td> </tr> <tr> <td>(2) 胴高</td> <td>CD</td> </tr> <tr> <td>(3) 頭部長さ</td> <td>CD</td> </tr> <tr> <td>(4) 頭部幅</td> <td>CD</td> </tr> <tr> <td>(5) 頭部高</td> <td>CD</td> </tr> </table>	(1) 胴径	CD	(2) 胴高	CD	(3) 頭部長さ	CD	(4) 頭部幅	CD	(5) 頭部高	CD
(1) 胴径	CD										
(2) 胴高	CD										
(3) 頭部長さ	CD										
(4) 頭部幅	CD										
(5) 頭部高	CD										

1

2

付図-A.1 アンケート調査票(p.1, 2)

④1つの係船柱に同時に2本以上の係留索をかける場合に、中抜きをする方にお伺いします。
(問4.③で1,2に○印をつけた方について)
中抜きをする場合としない場合の状況をそれぞれご記入ください。

中抜きをする場合	
中抜きをしない場合	

⑤最大何本の係留索をかけることがありますか。() 内に本数をご記入ください。

最大 () 本	
----------	--

⑥最大何本中抜きを行うことがありますか。() 内に本数をご記入ください。

最大 () 本	
----------	--

⑦1つの係船柱に同時に2本以上の係留索をかける場合、どのような問題が生じますか。ご記入ください。

--	--

V. 現行の大型係船柱 (曲柱) の問題点についてお伺いします。

問5

①現行の大型係船曲柱の大きさ、形状について、問題や不都合を感じた事がありますか。あてはまるものに1つだけ○をつけてください。

1. ある	2. ない
-------	-------

②現行の大型係船曲柱の大きさ、形状について、問題や不都合を感じた事がある方にお伺いします。
(問5.①で1に○印をつけた方について)
例えば、どのような作業の時に問題や不都合を感じますか。あてはまるものすべてに○をつけてください。

1. 係船柱に係留索を掛ける時	2. 係留索に係船柱から外す時
3. その他 []	

③現行の大型係船曲柱の大きさ、形状について、問題や不都合を感じた事がある方にお伺いします。
(問5.①で1に○印をつけた方について)
(1)～(5)の箇所について、どのような問題や不都合を感じますか。あてはまるものに1つだけ○をつけてください。

(1) 胴径について (平面図、断面図)

1. 太い	2. 細い	3. 問題ない
-------	-------	---------

(2) 胴高について (断面図)

1. 高い	2. 低い	3. 問題ない
-------	-------	---------

(3) 頭部長さについて (断面図)

1. 長い	2. 短い	3. 問題ない
-------	-------	---------

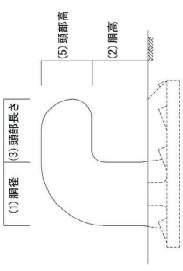
(4) 頭部幅について (平面図)

1. 大きい	2. 小さい	3. 問題ない
--------	--------	---------

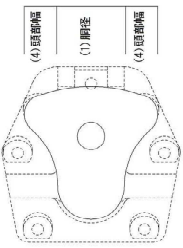
(5) 頭部高について (断面図)

1. 高い	2. 低い	3. 問題ない
-------	-------	---------

問5 断面図



問5 平面図



④現行の大型係船曲柱の大きさ、形状について、問題や不都合を感じた事がある方にお伺いします。
(問5.①で1に○印をつけた方について)
その他、質問5.③以外に問題がありましたらご記入ください。

--	--

3

4

付図-A.2 アンケート調査票 (p.3, 4)

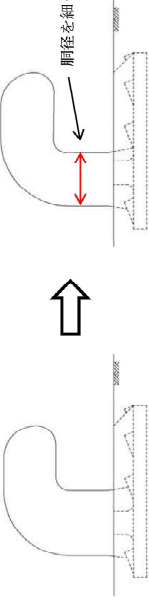
VI. 大型船を対象とした場合により良い大型係船曲柱の形状についてお伺いします。

問6 大型船を対象とした場合により良い大型係船曲柱の形状について、現行の形状をどのように変更すれば良いと思われますか。

①変更イメージ図①で示すように、胴径を細くする案は良いと思われますか。あてはまるものに1つだけOをつけてください。

1. 良いと思う	2. 良いと思わない	3. どちらでも良い
----------	------------	------------

問6 変更イメージ図①



(1) 胴径を細くする案は良いと思われる方、良いと思わない方にお伺いします。

(問6.①で1,2にO印をつけた方について)

選択した理由をできる限り具体的に記入ください。

(回答例) 系留索のアイ節の径が1mあるため、胴径が45cm程度であれば系留索が複数掛けられる場合での脱着が行いやすい。

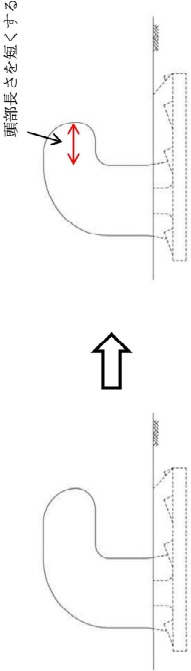
(1) 胴高を低くする案は良いと思われる方、良いと思わない方にお伺いします。

(問6.②で1,2にO印をつけた方について)

選択した理由をできる限り具体的に記入ください。

1. 良いと思う	2. 良いと思わない	3. どちらでも良い
----------	------------	------------

問6 変更イメージ図③



(1) 胴部長さを短くする案は良いと思われる方、良いと思わない方にお伺いします。

(問6.③で1,2にO印をつけた方について)

選択した理由をできる限り具体的に記入ください。

(回答例) 胴部長さは短いほど繋離船作業が行いやすいが、係留索を4本同時にかけることがあるため、胴部長さの下限値は60cm程度、必要である。

付図-A.3 アンケート調査票 (p.5, 6)

④変更イメージ図④で示すように、頭部幅を小さくする案は良いと思われる方、あてはまるものに1つだけ○をつけてください。

1. 良いと思う	2. 良いと思わない	3. どちらでも良い
----------	------------	------------

問6 変更イメージ図④

(1) 頭部幅を小さくする案は良いと思われる方、良いと思わない方にお伺いします。
(問6.④で1,2に○印をつけた方について)
選択した理由をできる限り具体的に記入ください。
(回答例) 係留索のアイ部の径が1mあるため、頭部幅が80cm程度になると繋離船作業が行いやすい。

⑤変更イメージ図⑤で示すように、頭部の下部に曲率を設ける案は良いと思われる方、あてはまるものに1つだけ○をつけてください。

1. 良いと思う	2. 良いと思わない	3. どちらでも良い
----------	------------	------------

問6 変更イメージ図⑤

(1) 頭部の下部に曲率を設ける案は良いと思われる方、良いと思わない方にお伺いします。
(問6.⑤で1,2に○印をつけた方について)
選択した理由をできる限り具体的に記入ください。

(1) 頭部の下部に曲率を設ける案は良いと思われる方、良いと思わない方にお伺いします。
(問6.⑤で1,2に○印をつけた方について)
選択した理由をできる限り具体的に記入ください。
(回答例) 頭部下部の曲率がある曲率から80cm程度でないと、係留索が固定されて使用しにくい。

⑥変更イメージ図⑥で示すように、T字の形にする案は良いと思われる方、あてはまるものに1つだけ○をつけてください。

1. 良いと思う	2. 良いと思わない	3. どちらでも良い
----------	------------	------------

問6 変更イメージ図⑥

(1) T字の形にする案は良いと思われる方、良いと思わない方にお伺いします。
(問6.⑥で1,2に○印をつけた方について)
選択した理由をできる限り具体的に記入ください。

8

付図-A.4 アンケート調査票(p.7, 8)

VII.係留時の事故事例（ヒヤリハット）についてお伺いします。

問8

①大型係船曲柱にかけた係留索が外れたり、切れたりしたことがありますか。あてはまるものに1つだけOをつけてください。	1. ある	2. ない
---	-------	-------

②大型係船曲柱にかけた係留索が外れたり、切れたりしたことがある方にお伺いします。
（問8.①で1にO印をつけた方について）
その時の状況、考えられる要因をご記入ください。

IX. その他要望等についてお伺いします。

問9 その他、係船柱の構造について、ご意見等ありましたらご記入ください。

10

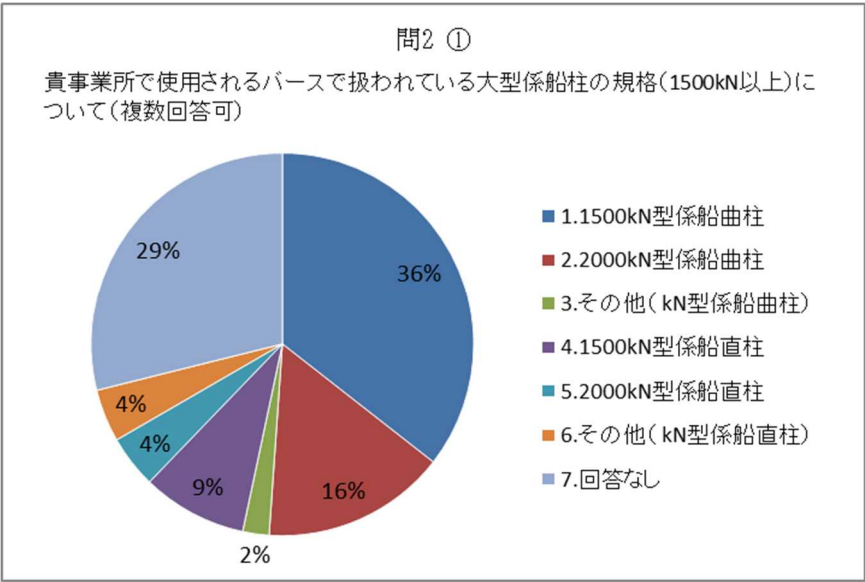
問 2

①貴事業所で使用されるバースで扱われている大型係船柱の規格 (1500kN 以上) について、あてはまるものすべてに○をつけてください。

1.1500kN 型係船曲柱	2.2000kN 型係船曲柱	3.その他 (kN 型係船曲柱)
4.1500kN 型係船直柱	5.2000kN 型係船直柱	6.その他 (kN 型係船直柱)

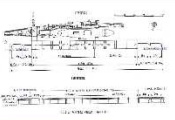
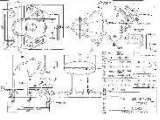
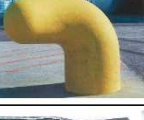
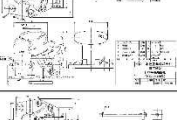
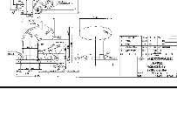
②貴事業所の業務で現在使用している大型係船曲柱(1500kN 以上)について、可能な範囲で大型係船曲柱の本体写真と設置されているバースの写真を添付（別紙でも構いません）及び寸法をご記入ください。

写真①	寸法①
	(1) 胴径 (3) 頭部長さ (5) 頭部高 (2) 胴高 (4) 頭部幅 (1) 胴径 (4) 頭部幅 (1) 胴径 cm (2) 胴高 cm (3) 頭部長さ cm (4) 頭部幅 cm (5) 頭部高 cm



付図-A. 6 問2①のアンケート結果

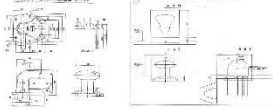
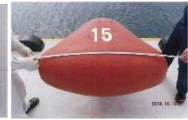
付表-A.1 問2②のアンケート結果 (1)

規格	胴径	胴高	頭部長さ (cm)	頭部幅	頭部高	写真・図面
1.1500kN型係船曲柱	55	49	55	27.5	44	   
1.1500kN型係船曲柱	55	50	55	30	40	   
1.1500kN型係船曲柱	55	49	55	27.5	44	  
1.1500kN型係船曲柱	55	50	50	27.5	40	T-2(1-A)(1500kN) 
2.2000kN型係船曲柱	60	55	30	25	45	BC-1/バース(2000kN) 
1.1500kN型係船曲柱	55	50	50	27.5	40	大黒 T-2(1500kN) 
2.2000kN型係船曲柱	60	55	30	25	45	BC-1(2000kN) 
2.2000kN型係船曲柱	65	60	60	35	50	  
1.1500kN型係船曲柱	55	40	55	30	45	 
1.1500kN型係船曲柱	55	49	55	27.5	44	 
1.1500kN型係船曲柱	55	49	55	27.5	44	 
1.1500kN型係船曲柱	50	50	50	25 ^{※1} (110)	35	
1.1500kN型係船曲柱	50	50	50	25 ^{※1} (110)	35	

※1：括弧内がアンケート回答の値となっており，推測した値を示す。

※2：上記の寸法の値は，図面の寸法や繋離船事業者が寸法を計測した結果の値となっている。

付表-A.2 問2②のアンケート結果 (2)

規格	胴径	胴高	頭部長さ (cm)		頭部幅	頭部高	写真・図面
1.1500kN型係船曲柱	58	47	51	27※1 (54)	45		 
	58	47	52	26.5※1 (53)	42		
2.2000kN型係船曲柱	69	58	30	31.5※1 (63)	35		
	68	54	37	31※1 (62)	37		
2.2000kN型係船曲柱	60	60	95	35	35		 
2.2000kN型係船曲柱	70※1 (220)	62	60※1 (130)	33	32		 
	65※1 (205)	60	65	35※1 (135)	40		
1.1500kN型係船曲柱	55	49	55	27.5	44		  
1.1500kN型係船曲柱	50	50	55	30※1 (110)	40		   
1.1500kN型係船曲柱	50	50	55	30※1 (110)	40		   
1.1500kN型係船曲柱 2.2000kN型係船曲柱	55	40	55	30	45		   

※1：括弧内がアンケート回答の値となっており，推測した値を示す。

※2：上記の寸法の値は，図面の寸法や繫離船事業者が寸法を計測した結果の値となっている。

問3 大型係船曲柱に係留する主な船舶の種類、総トン数および分かる範囲で代表的な船名をご記入ください。

	船舶の種類	総トン数	船名
1			
2			
3			

付表-A.3 問3のアンケート結果

2000kN			1500kN		
船舶の種類	総トン数(t)	船名	船舶の種類	総トン数(t)	船名
客船	168,666	QUANTUM OF THE SEAS	客船	56,769	COSTA NEOROMANTICA
	167,725	NORWEGIAN JOY		90,963	CELEBRITY MILLENIUM
	137,936	MSC SPLENDIDA		75,166	COSTA VICTORIA
客船	168,666	QUANTUM OF THE SEAS	客船	137,276	VOYAGER OF THE SEAS
コンテナ船	108,069	XIN SHANGHAI		138,279	MARINER OF THE SEAS
客船	168,666	QUANTUM OF THE SEAS	クルーズ客船	115,906	ダイヤモンドプリンセス
コンテナ船	91,051	COSCO INDONESIA		168,666	クアナムオブザシー
客船	115,906	ダイヤモンド プリンセス	PCC	62,993	DAEDALUS LEADER
	90,963	セレブリティ ミレニアム		64,650	GLOVIS SUPREME
	93,502	ノルヴェージャン ジュエル		58,531	HOEGH JEDDAH
コンテナ船	85,656	SANTA CRUZ		168,666	QUANTUM OF THE SEAS
	75,590	NORTHERN MAJESTIC	客船	167,725	NORWEGIAN JOY
	73,899	RIO DE JANEIRO		144,216	MAJEDTIC PRINSESS
コンテナ船	75,246	EVER SIGMA	バルクキャリアー	102,132	-
フルコンテナ船	40,000～90,000	複数で特定できない	客船	168,666	クアナム・オブ・ザ・シーズ
				143,000	マジェスティック・プリンセス
				137,936	MSCスプレディダ
			客船	168,666	QUANTUM OF THE SEAS
				168,666	OVATION OF THE SEAS
				114,261	COSTA SERENA
			客船	168,666	QUANTUM OF THE SEAS
				168,666	OVATION OF THE SEAS
				114,261	COSTA SERENA

問4 1つの係船柱に同時に2本以上の係留索をかける場合について

①1つの係船柱に同時に2本以上の係留索をかけることはありますか。あてはまるものに1つだけ○をつけてください。

1.よくある	2.時々ある	3.しない
--------	--------	-------

②1つの係船柱に同時に2本以上の係留索をかける場合は、下記のいずれの係留索ですか。あてはまるものに1つだけ○をつけてください。

1.同じ船舶からの係留索	2.2隻の船舶からの係留索	3.左記の両方で使用される
--------------	---------------	---------------

③1つの係船柱に同時に2本以上の係留索をかける場合に、中抜きはしますか。あてはまるものに1つだけ○をつけてください。

1.通常する	2.場合によってはする	3.しない
--------	-------------	-------

④1つの係船柱に同時に2本以上の係留索をかける場合に、中抜きをする方にお伺いします。

(問4.③で1,2に○印をつけた方について)

中抜きをする場合としない場合の状況をそれぞれご記入ください。

中抜きをする場合
中抜きをしない場合

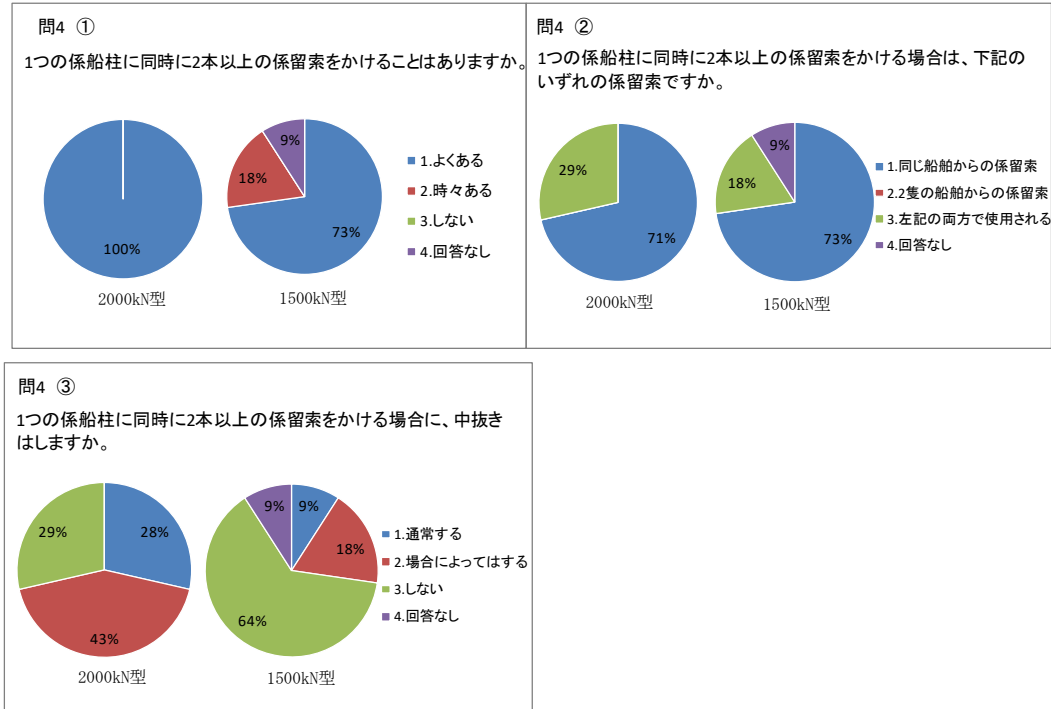
⑤最大何本の係留索をかけることがありますか。（ ）内に本数をご記入ください。

最大（ ）本

⑥最大何本中抜きを行うことがありますか。（ ）内に本数をご記入ください。

最大（ ）本

⑦1つの係船柱に同時に2本以上の係留索をかける場合、どのような問題が生じますか。ご記入ください。



付図-A. 7 問4①～③のアンケート結果

付表-A. 4 問4②～④のアンケート結果

2000kN							1500kN						
問4②	1. 同じ船舶からの係留索	1. 同じ船舶からの係留索	1. 同じ船舶からの係留索	1. 同じ船舶からの係留索	3. 左記の両方で使用される	1. 同じ船舶からの係留索	問4②	1. 同じ船舶からの係留索	3. 左記の両方で使用される	1. 同じ船舶からの係留索	3. 左記の両方で使用される	1. 同じ船舶からの係留索	1. 同じ船舶からの係留索
問4③	2. 場合によってはする	3. しない	3. しない	2. 場合によってはする	1. 通常する	1. 通常する ※他船と同じ係留柱の場合	問4③	3. しない	2. 場合によってはする	3. しない	1. 通常する	3. しない	2. 場合によってはする
問4④	中抜きをする場合 係留索の取る順番を間違えた時、先に放す索を中抜きで取る。			本船指示があった場合。	2隻の船で1つのピットを使う（合取）事が多々あり、どちらの船が先でも出港できるようにするため行う	他船と同じ係留柱の場合は必ず行います。	問4④	中抜きをする場合 —	他船と同じピットを使用時	—	本船の指示がある場合	—	本船からロープの出る場所が違って、ロープどおしが擦れるのを防ぐため。
	中抜きをしない場合 後から離す索を順番で取るため	ヘッドライン又はスターラインを主に取るため	ヘッドライン又はスターラインを主に取るため	通常、本船指示がなければ中抜きしない。	後から着岸した本船の荷役が短く、先船より早く出る可能性が高い時	—		中抜きをしない場合 —	本船・代理店からの指示（後から着岸・使用した本船が先に出港する場合等）	—	本船の指示がない場合	—	通常作業の場合 —

付表-A.5 問4⑤～⑥のアンケート結果

規格	問4 ⑤	問4 ⑥
	最大何本の係留索をかけることがありますか。	最大何本中抜きを行うことがありますか。
2000kN型係船曲柱	4	-
	4	-
	6	1
	8	4
	4	2
	8(2隻係留)	4(大型船1隻)
	6	2
	3	1
1500kN型係船曲柱	4	0
	4～ (ロープの種類・太さ等にもよる)	2～ (ロープの種類・太さ等にもよる)
	3	-
	4	3
	4～5	-
	2	0
	3	0
	4	-
	4	-
	4	2

付表-A.6 問4⑦のアンケート結果

規格	1つの係船柱に同時に2本以上の係留索をかける場合、どのような問題が生じますか。ご記入ください。
2000kN型係船曲柱	係留索を外しにくくなる。
	係留索のアイに巻き付けてあるカバーが、他の係留索に挟まり、外す際危険な場合がある。
	・出港時、ウインチが弱い場合ロープが咬んで抜けない(相手船の荷役を止めて弛めないと外れない)。
	・小型のコンテナ船などはアイの径が小さいので後から来る船のロープが入らなかったり、無理やり入れて外れないなど
	・ロープの擦れ留めや、メッセンジャーロープが絡まって切れる。
	・入港時、沈むロープなどの場合掛ける順番を間違えると捻じれる。
	・⑥→⑤→④の順で来ると、最後の④のロープを掛けるのに危険度が高い。
1500kN型係船曲柱	・ウインチの力で無理やり抜くので、抜けた反動でロープが飛んでいき危ない。
	他船の網、輪(アイ)が小さい場合、係留柱の幅が広い時、中抜きが入らなくなる。無理に入れば、出港時、網を外す時に抜けにくい。
	2～4本を1つの係留柱に掛けるのは、常時ですので、特に問題なし。
	ロープが噛み合い外れ難く、安全にスムーズな出港が出来なくなる。(ロープが張り、破断する恐れが有る)危険。
	特に問題なし。
	係留索が重ならないように注意する。
	雨の日とかは、2本目を取っている時に、ロープが係船柱をすべって、跳ね上がる事がある。
	本船からロープが出てくる場所をよく確認して掛ける順番を注意しないと、捻じれが生じて取り直す必要がある、海面に浮いているロープだとわかりやすいが、沈むロープになるとわかりにくくなる。
	2本以上のラインは不可能なので2本/ビットまでとしている。
	1本目と2本目のくい込み。1本目と2本目のねじれ。
	係留索がクロスする場合がある。

問5

①現行の大型係船曲柱の大きさ、形状について、問題や不都合を感じた事がありますか。あてはまるものに1つだけ○をつけてください。

1.ある	2.ない
------	------

②現行の大型係船曲柱の大きさ、形状について、問題や不都合を感じた事がある方にお伺いします。

(問5.①で1に○印をつけた方について)

例えば、どのような作業の時に問題や不都合を感じますか。あてはまるものすべてに○をつけてください。

1.係船柱に係留索を掛ける時	2.係留索を係船柱から外す時
3.その他	

③現行の大型係船曲柱の大きさ、形状について、問題や不都合を感じた事がある方にお伺いします。

(問5.①で1に○印をつけた方について)

(1)～(5)の箇所について、どのような問題や不都合を感じますか。あてはまるものに1つだけ○をつけてください。

(1)胴径について(平面図、断面図)

1.太い	2.細い	3.問題ない
------	------	--------

(2)胴高について(断面図)

1.高い	2.低い	3.問題ない
------	------	--------

(3)頭部長さについて(断面図)

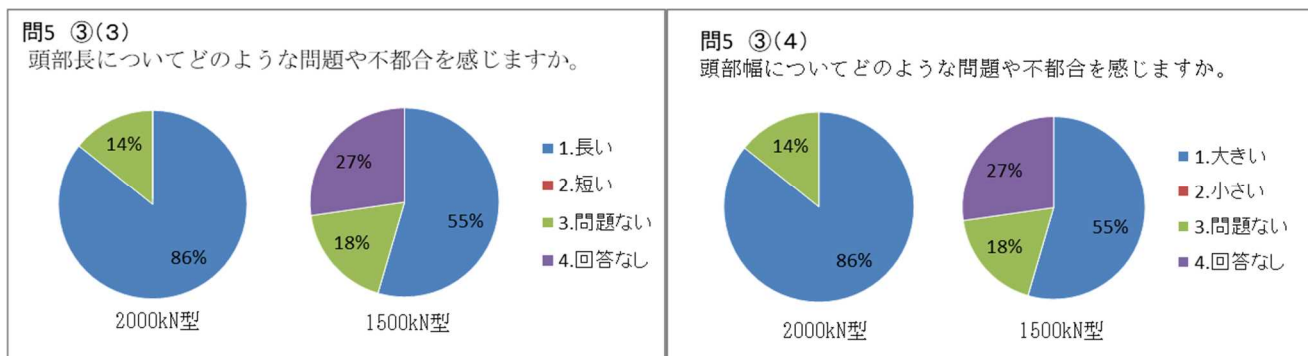
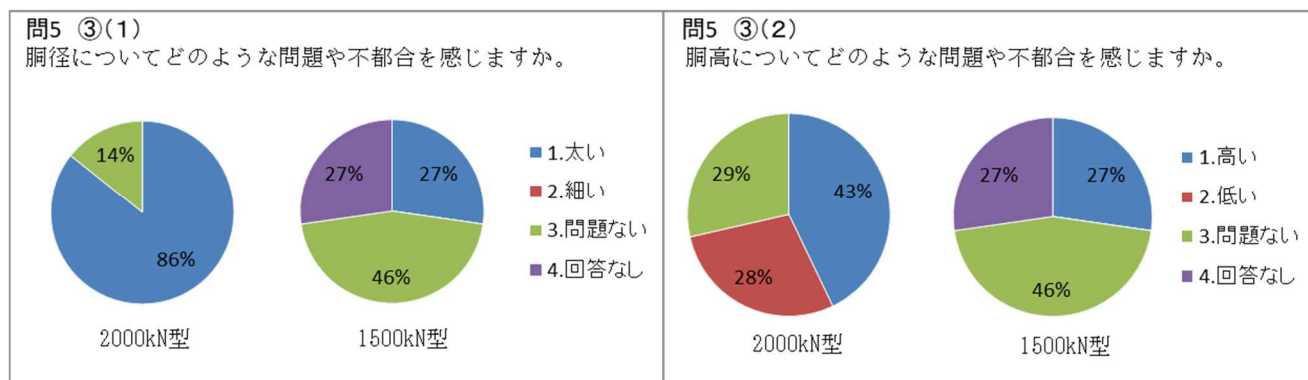
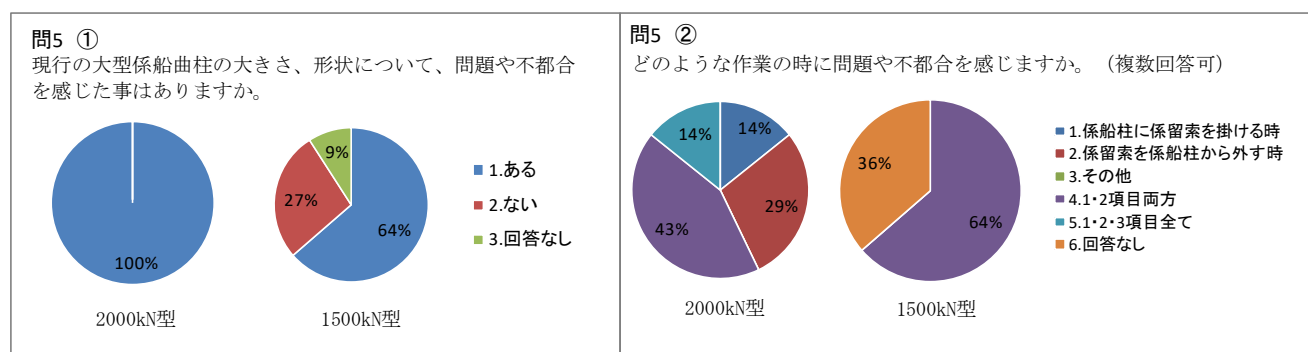
1.長い	2.短い	3.問題ない
------	------	--------

(4)頭部幅について(平面図)

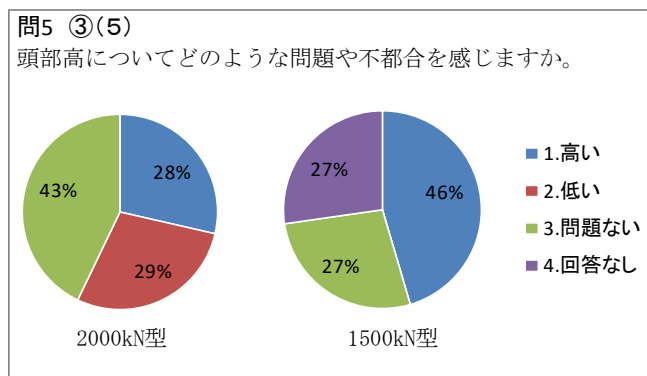
1.大きい	2.小さい	3.問題ない
-------	-------	--------

(5)頭部高について(断面図)

1.高い	2.低い	3.問題ない
------	------	--------



付図-A.8 問5①～③(4)のアンケート結果



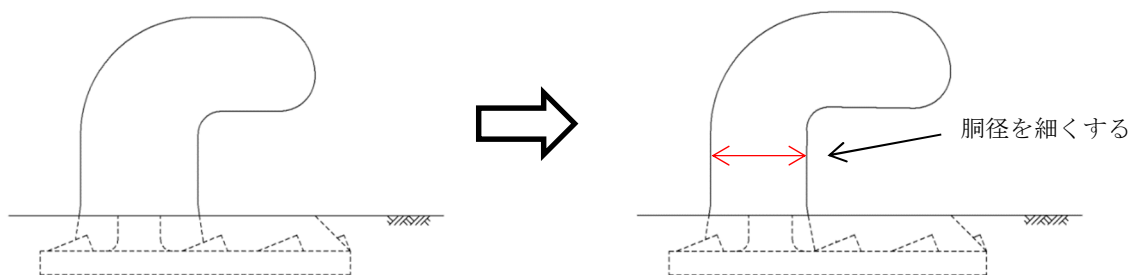
付図-A. 9 問 5③(5)のアンケート結果

問 6 大型船を対象とした場合により良い大型係船曲柱の形状について、現行の形状をどのように変更すれば良いと思われますか。

①変更イメージ図①で示すように、胴径を細くする案は良いと思われますか。あてはまるものに1つだけ○をつけてください。

1.良いと思う	2.良いと思わない	3.どちらでも良い
---------	-----------	-----------

問 6 変更イメージ図①

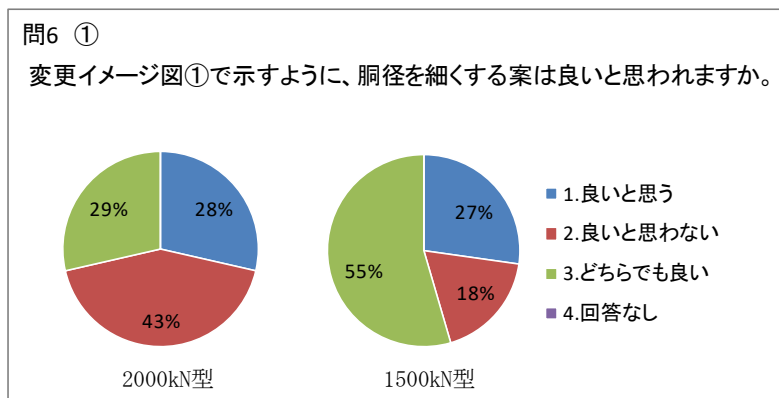


(1) 胴径を細くする案は良いと思われる方、良いと思われない方にお伺いします。

(問 6.①で 1,2 に○印をつけた方について)

選択した理由をできる限り具体的にご記入ください。

(回答例) 係留索のアイ部の径が 1m あるため、胴径が 45cm 程度であれば係留索が複数掛ける場合での脱着が行いやすい。



付図-A. 10 問 6①のアンケート結果

付表-A.7 問6①(1)のアンケート結果

2000kN

1.良いと思う
外す時にアイ部の径より細くなればなるほど外しやすくなる。
胴径60cmの係留柱に複数掛ける場合、中抜きが困難。
2.良いと思わない
現在2000kN型係船曲柱の胴径は60cmでこれくらいの径で問題ないと考えられる。
係留索の脱着は、胴径の大きさよりも頭部幅が影響する。
係留索にテンションが掛かった場合に、ビットと係留索の接地面積が少なくなり、係留索に負担がかかり、破断する可能性がある。
頭部幅と胴径の差が大き過ぎると、中抜きした場合に係留索が外れない可能性がある。

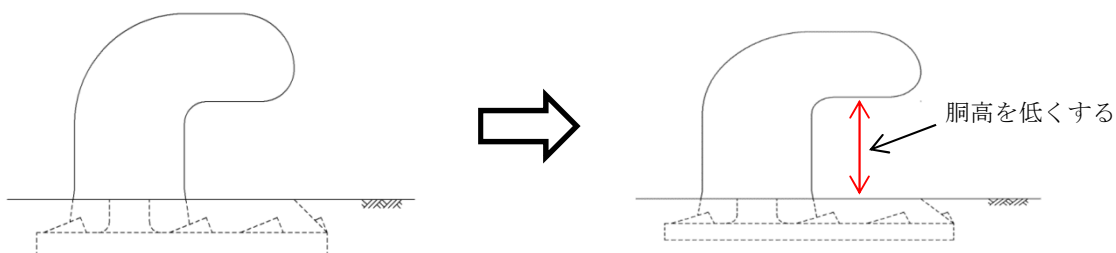
1500kN

1.良いと思う
同じ係留曲柱に相取りする場合は、胴径が細い方が中抜きしやすい。
外す時にアイ部の径より細くなればなるほど外しやすくなる。
強度に問題なければ良いと思う。
2.良いと思わない
掛ける作業時は細くても太くても負担は同じ。
外す作業時は胴径を細くすると頭部長さが長くなり、ロープを交わす為の距離が長くなり、負担が増える。
強度がどうなのか？

②変更イメージ図②で示すように、胴高を低くする案は良いと思われますか。あてはまるものに1つだけ○をつけてください。

1.良いと思う	2.良いと思わない	3.どちらでも良い
---------	-----------	-----------

問6 変更イメージ図②

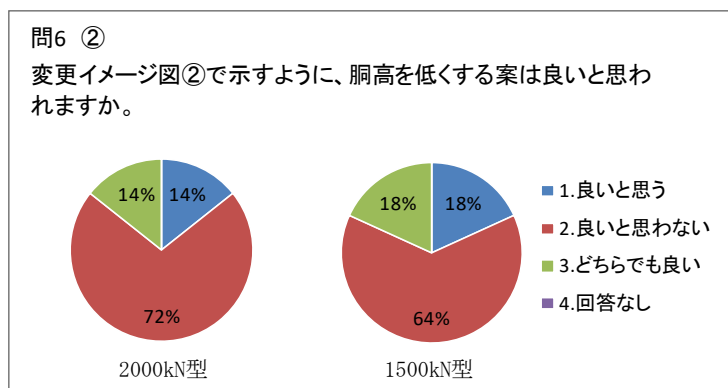


(1) 胴高を低くする案は良いと思われる方、良いと思われな方にお伺いします。

(問6.②で1,2に○印をつけた方について)

選択した理由をできる限り具体的にご記入ください。

(回答例) 胴高が高すぎると繫離船作業が行いにくくなるが、係留索を4本同時にかけることがあるため、胴高の下限値は50cm程度、必要である。



付図-A. 11 問 6②のアンケート結果

付表-A. 8 問 6②(1)のアンケート結果

2000kN

1. 良いと思う
係留策をビットに掛けている状態では、係留索が上に跳ね上がる恐れが軽減される。 作業員の身体的負担が軽減される。
2. 良いと思わない
現在2000kN型係船曲柱は55cm。できれば60cm位が望ましい。 最大6本くらい係留索を取る為、低すぎると取りにくい。 係留索を数本取る場合、かけにくくなる。 外す時にアイ部の径より細くなればなるほど外しやすくなる。 複数の係留索を掛ける時、係留索(先取ロープ)が噛んで外れにくい。

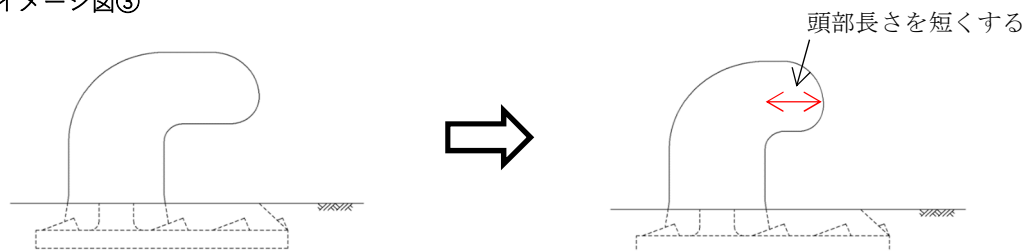
1500kN

1. 良いと思う
低くすると索をその分持ち上げなくてよい。 胴高を低くすると掛ける時・外す時の作業負担が軽減される。
2. 良いと思わない
胴高を低くすると複数本同時にかけた場合に索が食い込む可能性がある。 太いラインがきた場合は外しにくくなるのでは？ 低すぎても作業が行いづらいし、複数本かける時にある程度胴高が必要と感じる。 胴高を低くすると、係留策を4本同時に掛けることがある為、ロープのかみ込み等が起こり、作業が困難になる為。 胴高が低くなると、係留策を4本同時にかけることがあるため、かけずらくなり作業が困難になる。

③変更イメージ図③で示すように、頭部長さを短くする案は良いと思われますか。あてはまるものに1つだけ○をつけてください。

1. 良いと思う	2. 良いと思わない	3. どちらでも良い
----------	------------	------------

問 6 変更イメージ図③

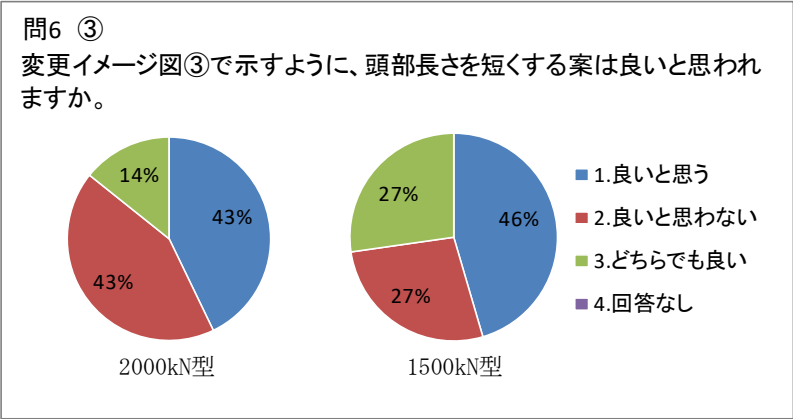


(1) 頭部長さを短くする案は良いと思われる方、良いと思われない方にお伺いします。

(問 6.③で 1,2 に○印をつけた方について)

選択した理由をできる限り具体的にご記入ください。

(回答例) 頭部長さは短いほど繫離船作業が行いやすいが、係留索を 4 本同時にかけることがあ
るため、頭部長さの下限値は 60 cm 程度、必要である。



付図-A. 12 問 6③のアンケート結果

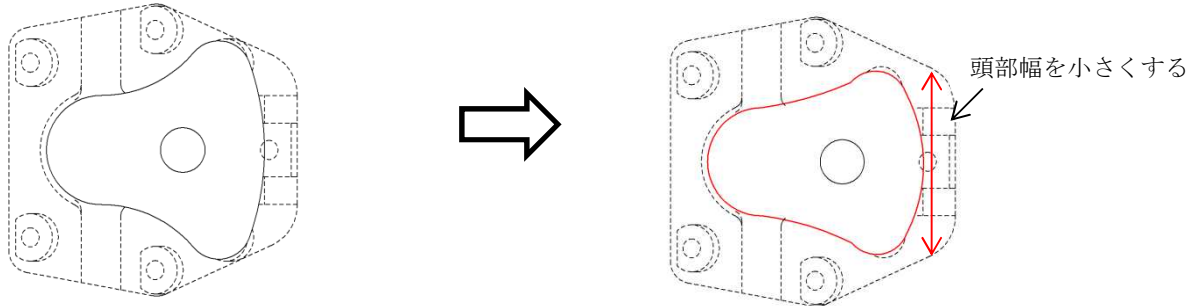
付表-A. 9 問 6③(1)のアンケート結果

2000kN
1.良いと思う
現在、2000kN型係船曲柱は30cm位なのでこの長さが望ましい。
頭部が全体的に小さくなる事は良いと思うが、係留索を最大6本くらい取るので、外れない長さは最低必要です。
2.良いと思わない
大型船になるとエアドラフトも高くなりビットの高低差がかなりあるので頭部の長さや幅をバランスよくしないと外れる可能性が出てくる。
長いスプリングライン係留際、係留柱の上部、図に掛ける時がある。
着岸本船の舷が高いと、係留索がビットから外れる可能性がある。
中抜き作業の出港作業の場合は、係留索をビットから外しやすくなる利点はある。
1500kN
1.良いと思う
回答例の通り係船柱へのアイの掛け外し作業が容易になる。頭部の長さについては、係船索の材質により太さも変わる為、どの程度が適当であるかは判断しかねます。
同じ係船柱で相取りする場合、係留索が外れやすくなるためある程度は必要。
作業はやりやすいがある程度胴高も必要になる。
掛ける時・外す時は作業が楽になる(負担が軽減される)(安全性)。ロープが外れやすく注意が必要・危険？
2.良いと思わない
本船が高い場合、係留索が上向きになる場合があり、頭部が短すぎると、外れやすく危険である。
大型船になるとエアドラフトも高くなりビットとの高低差がかなりあるので頭部の長さや幅をバランスを考えると外れる可能性が出てくる。
係留索が上方向に係留されるとき外れやすくなる恐れがある。

④変更イメージ図④で示すように、頭部幅を小さくする案は良いと思われますか。あてはまるものに1つだけ○をつけてください。

1.良いと思う	2.良いと思わない	3.どちらでも良い
---------	-----------	-----------

問 6 変更イメージ図④

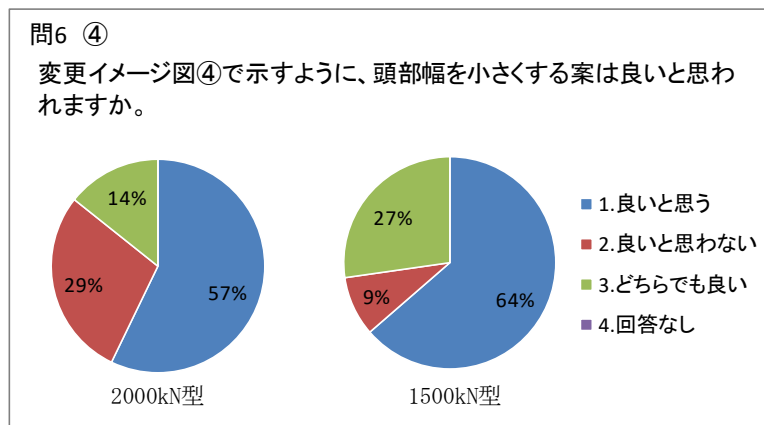


(1) 頭部幅を小さくする案は良いと思われる方、良いと思わない方にお伺いします。

(問 6.④で 1,2 に○印をつけた方について)

選択した理由をできる限り具体的にご記入ください。

(回答例) 係留索のアイ部の径が 1m あるため、頭部幅が 80 cm 程度になると繫離船作業が行いやすい。



付図-A. 13 問 6④のアンケート結果

付表-A.10 問 6④(1)のアンケート結果

2000kN

1.良いと思う
現在, 2000kN型係船曲柱は110cm位が良好である。
頭部幅が小さくなる事は, 取り外しがしやすくなる為, 良いと思う。
係留索の脱着が行いやすいと思う。
2.良いと思わない
大型船になるとエアドラフトも高くなりビットとの高低差がかなりあるので頭部の長さや幅をバランスよくしないと外れる可能性が出てくる。
着岸作業時に係留索の角度によっては, ビットから係留索が外れやすくなる可能性がある。
中抜き作業の出港作業の場合は, 係留索をビットから外しやすくなる利点はある。

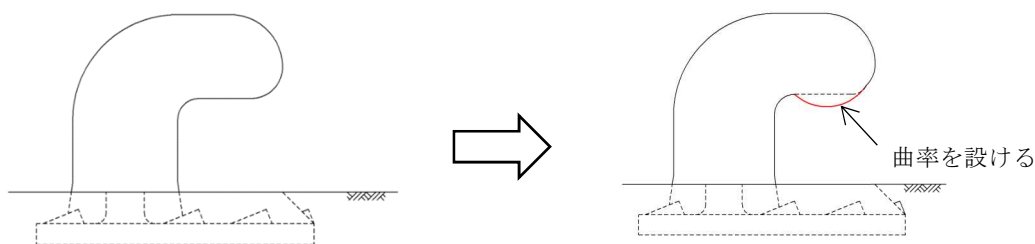
1500kN

1.良いと思う
回答例の通り係船柱へのアイの掛け外し作業が容易になる。頭部の長さについては, 係船索の材質により太さも変わる為, どの程度が適当であるかは判断しかねます。
掛ける時・外す時は作業が楽になる(負担が軽減される)(安全性)。ロープが外れやすく注意が必要。危険?
係留索が掛けやすくなる。
アイの径が小さすぎてかからない時がある為。
頭部幅が小さくなることにより, 作業がしやすくなり, より安全に作業ができる。
頭部幅が大きいと係留策がかけずらく, 作業が困難になり危険度も増す。
2.良いと思わない
なし

⑤変更イメージ図⑤で示すように、頭部の下部に曲率を設ける案は良いと思われますか。あてはまるものに1つだけ○をつけてください。

1.良いと思う	2.良いと思わない	3.どちらでも良い
---------	-----------	-----------

問 6 変更イメージ図⑤

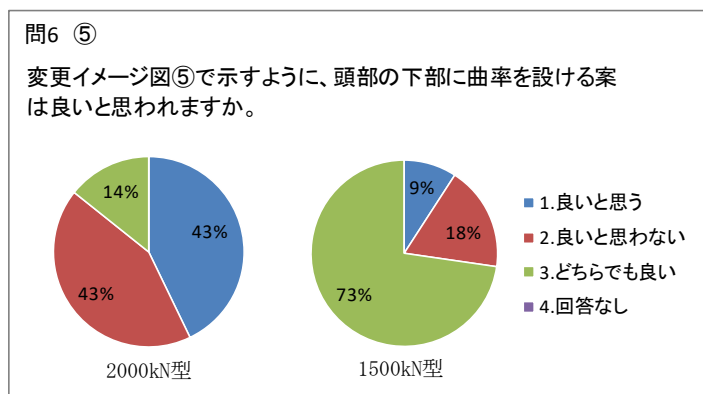


(1) 頭部の下部に曲率を設ける案は良いと思われる方、良いと思われない方にお伺いします。

(問 6.⑤で 1,2 に○印をつけた方について)

選択した理由をできる限り具体的にご記入ください。

(回答例) 頭部下部の下端が胴高の上端から 5 cm 程度下がる曲率が設けてあると、係留索が固定されて使用しやすい。



付図-A. 14 問 6⑤のアンケート結果

付表-A. 11 問 6⑤(1)のアンケート結果

2000kN

1.良いと思う
係留索の取り放しには直接関係しない為、良いと思います。係留索も自然に外れにくくなる為、良いと思います。
頭部長さと頭部幅を小さくした場合には、必要になる。
着岸本船の舷が高くて、係留索が外れるのを防げる。
中抜き作業の出港時は、係留索がビットから外れにくくなる。

2.良いと思わない
複数係留する場合

1500kN

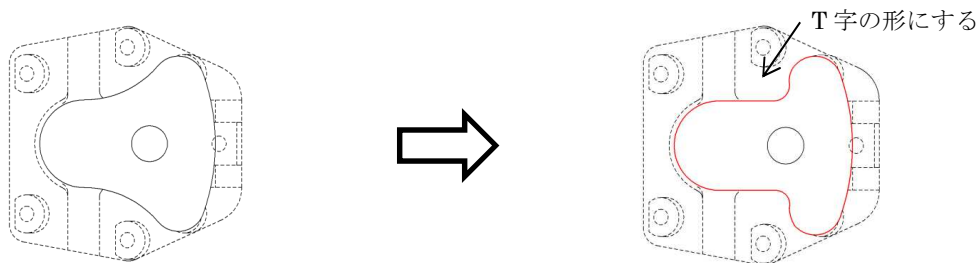
1.良いと思う
なし

2.良いと思わない
ロープを外す時に負担が増える。
必要性がない。

⑥変更イメージ図⑥で示すように、T字の形にする案は良いと思われませんか。あてはまるものに1つだけ○をつけてください。

1.良いと思う	2.良いと思わない	3.どちらでも良い
---------	-----------	-----------

問 6 変更イメージ図⑥

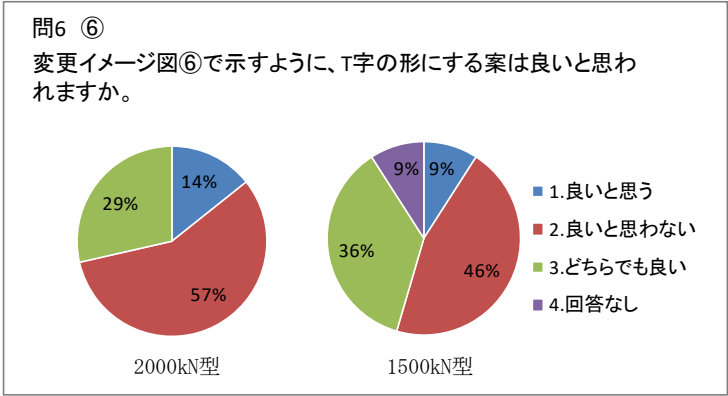


(1) T字の形にする案は良いと思われる方、良いと思われない方にお伺いします。

(問 6.⑥で 1,2 に○印をつけた方について)

選択した理由をできる限り具体的にご記入ください。

--



付図-A. 15 問 6⑥のアンケート結果

付表-A. 12 問 6⑥(1)のアンケート結果

2000kN	
1.良いと思う	
掛かりがよくなる。 小さいアイでも使用できる可能性が出てくる。	
2.良いと思わない	
外す際、引っかかりやすく、外しにくい為、良いと思いません。	
左図と右図の中間ぐらいが望ましい。	
右図のようにTの字に近すぎると、2船の合い取り中抜き作業の出港時に係留索が外れない可能性が非常に高い。	
1500kN	
1.良いと思う	
なし	
2.良いと思わない	
索を外す時に、引っ掛かる。	
凸凹が大きくなれば係留索アイの掛け外しの際に障害になる。	
負担が増える(外す時)。	
係船索を外す時に余分な力が必要となる。	
はずす時の不安と、負担が心配な為。	
T字部に係留索が引っかからないように作業を行う為作業効率が悪くなり、尚且つ危険も伴うと考える。	
係留策を取る際も放す際もT字部分に係留策が引っかからないようにする為、作業効率が悪くなり、また危険も伴うと思われる。	

⑦大型船を対象とした場合により良い係船曲柱の形状について、
その他変更案がありましたら、イメージ図を図示してください。

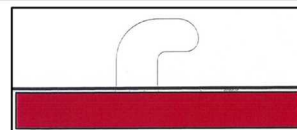
※現行の係船曲柱の改良イメージでも、新たな構造イメージでも良いです。

付表-A. 13 問 6⑦のアンケート結果

2000kN

強度的に問題なければ、全体的に少し小さくしてほしい。特に、頭部が大きいので、取り放しが大変な時がある。形は良いと思います。

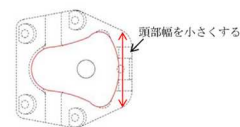
大型化は避けて地面に潜っている部分を大型にして、強度を上げる。



1500kN



問6 変更イメージ図④の頭部幅を小さくした形状



問 7 1500kN 以上の係船柱を必要とする大型船の係留索について

①よく利用される係留索のアイ（輪）部の径，または長さ（下図参照）のどちらかをご記入ください。

径 $\phi = [\quad] \text{m}$	長さ $L = [\quad] \text{m}$	不明

下記②～④については、わかる範囲でご回答ください。

②係留索の径(太さ)および種類(もしわかれば品名)をご記入ください。

--

③係留索の破断強度をご記入ください。(運用上の目安としている引張力でも良いです。)

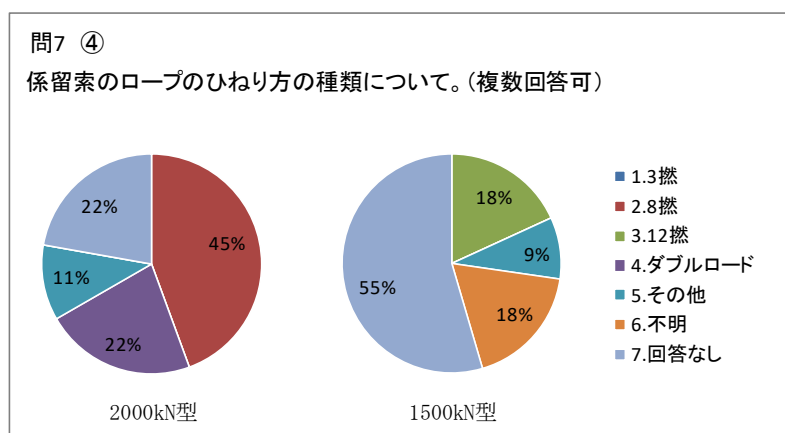
係留索の破断強度()	運用上の張力()
-------------	-----------

④係留索のロープのひねり方の種類について、あてはまるものに1つだけ○をつけてください。

1.3 撚 ☐	2.8 撚 ☐	3.12 撚 ☐	4.ダブルロード ☐
5.その他 ()			6.不明

付表-A. 14 問 7①～③のアンケート結果

	問7 ①	問7 ②	問7 ③
規格	よく利用される係留索のアイ(輪)部の径, または長さのどちらかをご記入ください。	係留索の径(太さ)および種類(もしわかれば品名)をご記入ください。	係留索の破断強度をご記入ください。(運用上の目安としている引張力でも良いです。)
2000kN型係船曲柱	長さ L=2.7m	65mm	-
	長さ L=2.7m	65mm	-
	径 ϕ =約2m	約85ミリだと思います。	-
	長さ L=2.5m	-	-
	長さ L=1.2～1.7m	船社, 本船のトン数によってことなる。品名は分かりません。	-
	長さ L=2.3m	ϕ 100, ϕ 80, キョーレックス, ナイロンタフレ	運用上の張力(130t)
1500kN型係船曲柱	径 ϕ =1.5m	-	-
	長さ L=約2m	85mm	-
	長さ L=1.5m?	-	-



付図-A. 16 問 7④のアンケート結果

問 8

①大型係船曲柱にかけた係留索が外れたり、切れたりしたことがありますか。あてはまるものに1つだけ○をつけてください。

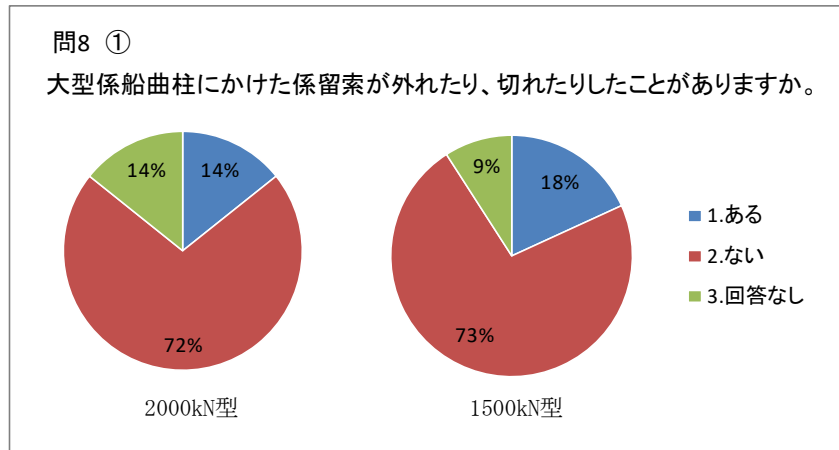
1.ある	2.ない
------	------

②大型係船曲柱にかけた係留索が外れたり、切れたりしたことがある方にお伺いします。

(問8.①で1に○印をつけた方について)

その時の状況、考えられる要因をご記入ください。

--



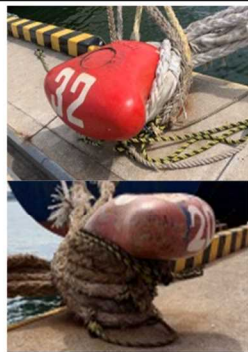
付図-A. 17 問 8①のアンケート結果

付表-A. 15 問 8②のアンケート結果

規格	大型係船曲柱にかけた係留索が外れたり、切れたりしたことがある方にお伺いします。その時の状況、考えられる要因をご記入ください。
2000kN型係船曲柱	係留柱の形が原因で、係留索の破断事故は考えにくい。
	係留索をタグボートの代わりに、本船の行き足を止める為のブレーキに使用したり、出港時に係留索(船首スプリング)を支点にエンジンを使用し、本船の向きを変える為使用し、係留索に過剰なテンションがかかり、破断事故が起きる事が大半である。
1500kN型係船曲柱	乗組員が潮の干満で調整するタイミングが遅かった。
	うねりが大きい日での係留中に破断した。現認はしていないが、ある程度予想はしていた。

問9 その他、係船柱の構造について、ご意見等ありましたらご記入ください。

付表-A.16 問9のアンケート結果

規格	その他、係船柱の構造について、ご意見等ありましたらご記入ください。
2000kN型係船曲柱	強度的に問題なければ、全体的に少し小さくしてほしい。特に、頭部が大きいので、取り放しが大変な時がある。形は良いと思います。
	弊社が作業するコンテナバースでは大型係船柱を設置したバースに必ず大型船が入る訳でもなく、その係船柱を使用している8割が小型船(1万トン以下)だという現状(現在は小型船でその係船柱を使用しない位置に着けるように制限している)で、将来の大型船の為の係船柱が必要という事は理解できますが、本船荷役効率や繫離船作業を考えると100tピットを並べて設置して大型船が来たらその2個に掛ける(大型船のアイは大きいので可能かと)ようにできるなどの係船柱を開発して頂ければ着岸位置の制限も無くなり、ターミナル側の負担も減るかと思っています。(写真は100tピットへの小型船合取りの様子) 
	・現在の神戸港に於いての係留柱の型について問題点は少ないですが、大き過ぎると作業効率の低下と安全作業に支障が生じる場合がある。
	・夜間作業もあるので、本船からも繫離船作業員からも係留柱が確認し易いように、蛍光色のペイントをして頂くと、ありがたいです。
	・岸壁によっては、係留柱の間隔が広過ぎたり狭すぎる場合があるので、作業効率が低下し安全作業に支障が生じる場合がある。
	・岸壁の増設等で係留柱を設置する場合は、地元の繫離業者の立ち合いが可能であれば、お願いしたいです。(車止めの設置位置との関係上)
1500kN型係船曲柱	・大型係船柱の大きさは70T～100Tがベストだと思いますので、強度が必要であれば、地面に潜っている部分の強度の強化や、ピット自体の材質の強化で対応していただきたい。
	可能な限り頭部幅を小さくした方が、安全に作業が出来ると思います。
	大型係船柱でも頭部幅は大きくない方が作業がしやすい。
	負荷に耐えられるよう大型になるのは仕方がないが、その分負担になるので特に高さや太さは、「低い・細い」に越したことがないと思います。形については丸みを帯びたものが理想ではないでしょうか。
	能力・性能を維持して、小型化へ。 (注意点)複数本のロープを掛けた時に噛む又は外れる危険性が有
	大型係船柱の構造や形状を大きく変えることは難しいとおもいます。また、大型係船直柱1本に相取りし中抜きした場合は外側の係留索がはずれる可能性もあり、大型係船柱1本で3～4本の索を取るのではなく、複数本の中型係船柱に分けて係留索をとる方法で行えば労力が今までよりは少ないと思います。
	本船の大型化に伴い、係船柱も大型化していますが、大きくなればなるほど繫離船作業は作業性が悪化するため、作業効率だけを考えると低く、小さく、細くが希望ですが、客船バースに関しては3本かかるだけの高さがあればいいのではと感じます。というのも本船側も係船柱を2～3個所に振り分けてロープを取っていきますので、頭の幅を大きめにするだけで高さは抑えられたりと改良の余地はあるかと感じます。

付録B 港研資料No. 102の計算例に基づく応力計算の一例

検討した6ケースについて、港研資料No.102 p.107からの曲柱の設計計算例に基づき、応力計算を実施して各部位の寸法を算定した。1500kN型の外径形状を基本に、肉厚のみ増加させたケース①-1の応力計算の手順を以下に示す。

B-1. 設計条件

牽引力 P	: 2,000kN=2,000,000N
胴径 D	: 550mm
頭部長さ L	: 550mm
頭部高 H_0	: $0.8D=440\text{mm}$
胴高 H	: $0.8D+50=490\text{mm}$
計算上の肉厚 t	: 50mm
肉厚は、摩耗及び腐食厚として7mm見込む	
肉厚 t_1	: $50+7=57\text{mm}$

B-2. 使用材料

係船曲柱本体	: SC450 (JIS G 5101)
アンカーボルト	: SS400 (JIS G 3101)
アンカー板	: SS400 (JIS G 3101)
コンクリート	: 設計基準強度 $\sigma_{cd}=18\text{N/mm}^2$

B-3. 許容応力度

係船曲柱本体	
σ_{sa}	: SC450 許容引張・圧縮・曲げ 140N/mm^2
アンカーボルト	
σ_{sa}	: SS400 許容引張・圧縮・曲げ 140N/mm^2
τ_{sa}	: SS400 せん断 80N/mm^2
アンカー板	
σ_{sa}	: SS400 許容引張・圧縮・曲げ 140N/mm^2
τ_{sa}	: SS400 せん断 80N/mm^2
コンクリート	
σ_{ca}	: 支圧 9N/mm^2 ($\frac{1}{2}\sigma_{sa}$)
τ_{ca}	: せん断 0.6N/mm^2 ($\frac{1}{30}\sigma_{sa}$)

B-4. 胴部の設計

胴部応力 σ_s は、片持ち梁として考えて計算し、許容応力度 σ_{sa} 以下となるように肉厚 t を設定する。

$$\sigma_s = \frac{M}{Z} + \frac{P_V}{A} \leq \sigma_{sa} \quad (\text{B-1})$$

ここに、

σ_s : 胴部応力[N/mm²]

M : 胴部転倒モーメント[N・mm]

Z : 断面係数[mm³]

P_V : 鉛直方向の引張力[N]

A : 断面積[mm²]

$$M = P_H H + P_V \frac{D}{2} \quad (\text{B-2})$$

ここに、

P_H : 水平方向の引張力[N]

$P_V = P \sin \theta$

$P_H = P \cos \theta$

θ : 胴部応力が最大となる牽引力の角度[°]

$$Z = \frac{\pi}{32D} (D^4 - d^4)$$

$$A = \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2)$$

d : 内径 ($D-2t$) [mm]

胴部応力が最大となる牽引力の角度 θ は、

$$\begin{aligned} \frac{d\sigma_s}{d\theta} &= 0 \quad \text{より,} \\ -\frac{H}{D} \sin \theta + \frac{\cos \theta}{2} + k \cos \theta &= 0 \\ \theta &= \tan^{-1} \frac{D}{H} \left(\frac{1}{2} + k \right) \end{aligned}$$

ここに、

$$k = \frac{D^2 + d^2}{8D^2}$$

よって、 $D=550$, $t=50$ より、

$$d = 550 - 2 \times 50 = 450\text{mm}$$

$H=490$ より、

$$k = \frac{550^2 + 450^2}{8 \times 550^2} = 0.2087$$

$$\theta = \tan^{-1} \frac{550}{490} \left(\frac{1}{2} + 0.2087 \right)$$

$$= 38.501$$

$$Z = \frac{\pi}{32 \times 550} (550^4 - 450^4) = 9.014 \times 10^6 \text{ mm}^3$$

$$A = \frac{\pi}{4} (550^4 - 450^4) = 7.854 \times 10^4 \text{ mm}^2$$

$$P = 2.0 \times 10^6 \text{ Nより,}$$

$$P_V = 2.0 \times 10^6 \sin 38.501 = 1.245 \times 10^6$$

$$P_H = 2.0 \times 10^6 \cos 38.501 = 1.565 \times 10^6$$

$$M = 1.245 \times 10^6 \times 490 + 1.565 \times 10^6 \times \frac{550}{2}$$

$$= 11.093 \times 10^8 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$\sigma_s = \frac{11.093 \times 10^8}{9.014 \times 10^6} + \frac{1.245 \times 10^6}{7.854 \times 10^4}$$

$$= 138.917 \leq 140 \text{ N/mm}^2$$

よって、応力が許容応力以下となる。

また、胴部応力が許容応力と等しくなる牽引力 P は、

$$P = 2016 \text{ kN} > 2000 \text{ kN} \text{ となる。}$$

B-5. 埋込み部の設計

(1) 使用アンカーボルトの径 ϕ

底板に水平力 P が作用した時、アンカーボルトの許容応力以下となるように規格、本数を設定する。

$$\sigma_s = \frac{P - P_{HF}}{N \frac{\pi}{4} \phi^2 \sin \alpha} \leq \sigma_{sa} \quad (\text{B-3})$$

ここに、

σ_s : アンカーボルトの応力[N/mm²]

P_{HF} : 底板とコンクリートの摩擦抵抗力[N]

N : アンカーボルトの本数[本]

ϕ : アンカーボルトの谷径[mm]

α : アンカーボルトの埋込み角 22°

底板とコンクリートの摩擦抵抗力は、

$$P_{HF} = \mu P_{vc} \quad (\text{B-4})$$

ここに、

μ : 摩擦抵抗係数, 0.3

P_{vc} : 牽引力 P が作用した時、底板がコンクリートを押える強さ、底板幅 $2R_1$ を $2.0D \sim 2.6D$ とすると、 $P_{vc} \approx 0.7P$ となる

$$P_{HF} = 0.3 \times 0.7P \approx 0.2P$$

(B-3) を変形すると

$$\phi^2 \geq \frac{0.8P}{N \frac{\pi}{4} \sigma_{sa} \sin \alpha}$$

ここで、アンカーボルト6本用いると、

$$\phi^2 \geq \frac{0.8 \times 2.0 \times 10^6}{7 \times \frac{\pi}{4} \times 140 \times \sin 22^\circ}$$

$$\phi \geq 74.493 \text{ mm}$$

ここで、使用するアンカーボルトの呼径 ϕ をM90とし、ねじのピッチを6mmとすると、ねじの谷径は $\phi = 83.505 \text{ mm}$ となる。

$$\sigma_s = \frac{0.8 \times 2.0 \times 10^6}{7 \times \frac{\pi}{4} \times 83.505^2 \times \sin 22^\circ}$$

$$= 111.412 \leq 140 \text{ N/mm}^2$$

よって、応力が許容応力以下となる。

また、アンカーボルト応力が許容応力と等しくなる牽引力 P は、

$$P = 2513 \text{ kN} > 2000 \text{ kN} \text{ となる。}$$

(2) 底板厚さ H_1

使用アンカーボルトをM90-6とすると、底板厚さ H_1 は、 $H_1 = 1.5$, $\phi = 1.5 \times 90 = 135 \text{ mm}$ となる。

(3) 埋込み深さ H_3

アンカーボルトがコンクリートより突出ないように、埋込み深さ H_3 を決定する。25mmの余裕を見込むと胴部の埋込み深さ H_2 は、

$$H_2 = h_1 + h_2 + 25 = 176 \text{ mm}$$

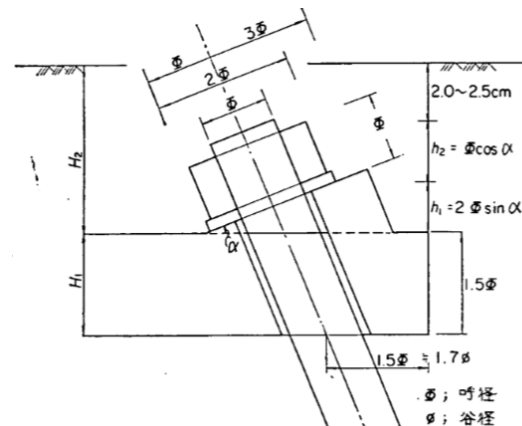
ここに、

$$h_1 = 2.0 \phi \sin \alpha = 2.0 \times 90 \times \sin \alpha = 67.429 \text{ mm}$$

$$h_2 = 1.0 \phi \cos \alpha = 1.0 \times 90 \times \cos \alpha = 83.447 \text{ mm}$$

故に、埋め込み深さ H_3 は

$$H_3 = H_1 + H_2 = 135 + 176 = 311 \text{ mm}$$



付図-B.1 埋め込み部の図

(4) 底板幅 $2R_1$

牽引力 P が作用した時のアンカーボルトの引張応力計算には、その引張応力が最大となる牽引角度 θ を求めなければならない。しかし、港研資料p.44で述べられているようにこの方向を求めるには煩雑な試算となるため、牽引力方向を水平として、割増して計算する。

そして、アンカーボルト応力が許容応力以下となるように底板幅 $2R_1$ を求める。

底板にかかる転倒モーメント M は、

$$M = P(H + H_3)$$

一方、アンカーボルト応力が許容応力 σ_{sa} となる抵抗モーメント M_s は、

$$M_s \geq \frac{\sigma_{sa}}{y + R_1} \left(I_s + \frac{I_c}{n} \right) \quad (B-5)$$

ここに、

y : 底板の中心軸から中立軸までの距離[mm]

R_1 : 底板の中心軸から底板縁端までの距離[mm]

I_s : アンカーボルトの中立軸に対する断面2次モーメント[mm⁴]

I_c : コンクリートの中立軸に対する断面2次モーメント[mm⁴]

n : アンカーボルトとコンクリートの弾性係数比

また、コンクリートの縁圧応力が許容応力 σ_{ca} となる耐曲げモーメント M_c は、

$$M_c = \frac{\sigma_{ca}}{X} (I_c + nI_s) \quad (B-6)$$

ここに、

$$X = R_1 - y$$

また、中立軸は鉛直力のつり合いより計算できる。

$$nG_s - Gc = 0$$

ここに、

G_s : アンカーボルトの中立軸に対する断面1次モーメント[mm³]

G_c : コンクリートの中立軸に対する断面1次モーメント[mm³]

この計算において、高次式の解法となるので、アンカーボルト比 ϕ_n/D および底板幅比 R_1/D の時の最大抵抗モーメント比 $P(H+H_3)/D^3$ を付図B-2示す。

アンカーボルトは傾斜しているので、アンカーボルト引張応力算定の有効断面積は、その鉛直方向有効断面積 ϕ_n を用いる。すなわち、

$$\phi_n = \phi \sqrt{\cos \alpha} = 83.505 \times \sqrt{\cos 22^\circ} = 80.407$$

となり、アンカーボルト比は、

$$\frac{\phi_n}{D} = \frac{80.407}{550} = 0.146$$

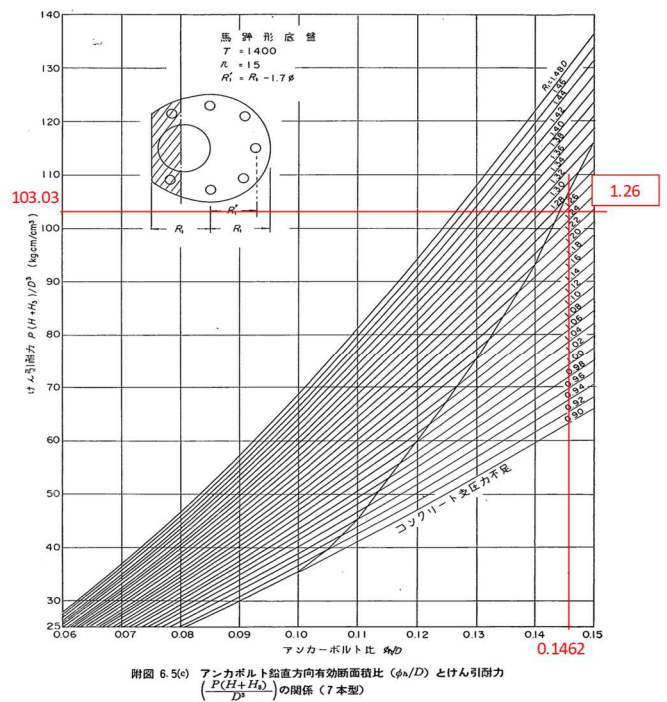
次に、割増牽引力は港研資料p.45図7.12 (d) より、

$$\frac{43.5 - 40.5}{43.5} = 0.07$$

転倒モーメント比 M/D^3 は、

$$\begin{aligned} \frac{M}{D^3} &= \frac{1.07P(H+H_3)}{D^3} = \frac{1.07 \times 2.0 \times 10^6 (49 + 31.1)}{55^3} \\ &= 103.03 \text{ kg} \cdot \text{cm}/\text{cm}^3 \end{aligned}$$

よって、港研資料p.112附図6.5 (b) を用いると、付図B-2より、 $R_1/D = 1.26$ 余裕をみて $R_1/D = 1.30$ とすると、 $R_1 = 715\text{mm}$ となる。



付図-B.2 アンカーボルト比と牽引耐力の関係

この時の抵抗モーメントは

$$\frac{M}{D^3} = 109 \text{ kg} \cdot \text{cm}/\text{cm}^3 \text{ 程度となる。}$$

ゆえに、牽引耐力 P は、

$$P = \frac{\frac{M}{D^3} \times D^3}{1.07P(H+H_3)} = 2116\text{kN} > 2000\text{kN}$$

であるため満足する。

(5) リブ幅 R_2

港研資料p.46図7.15に示すようにX-X断面の曲げモーメント M により、底板およびリブ縁応力が許容応力度を超えないようにリブ幅を決める。なお、X-X断面の曲げモーメント M は、X-X断面より右側を片持ばりと考え、アンカーボルト位置にアンカーボルト全強の引張力が作用するものとして計算する。

$$M = 2\sigma_{sa} \frac{\pi \phi^2 R_1}{4} \quad (B-7)$$

ここに、

σ_{sa} : アンカーボルトの許容応力

この曲げモーメントによりリブ上面の縁応力 σ_s は、

$$\sigma_s = \frac{M}{I} y \quad (B-8)$$

ここに、

I : 中立軸のまわりの断面2次モーメント

y : 中立軸からリブ上端までの距離

なお、中立軸および断面一次モーメントは

$$y_1 = \frac{(H_1 + H_2)^2 R_2 + H_1^2 (2R_1 - R_2)}{2 (2R_1 H_1 + R_2 H_2)}$$

$$y = H_1 + H_2 - y_1$$

$$I = \frac{R_2 y^3 + 2R_1 y_1^3 - (2R_1 - R_2) (y_1 - H_1)^3}{3}$$

リブ縁応力が許容応力 σ_{sa}' 内にあるためには、

$$\sigma_s = \frac{2\sigma_{sa} \cdot \frac{\pi}{4} \phi^3 R_1' y_1}{I} \leq \sigma_{sa}'$$

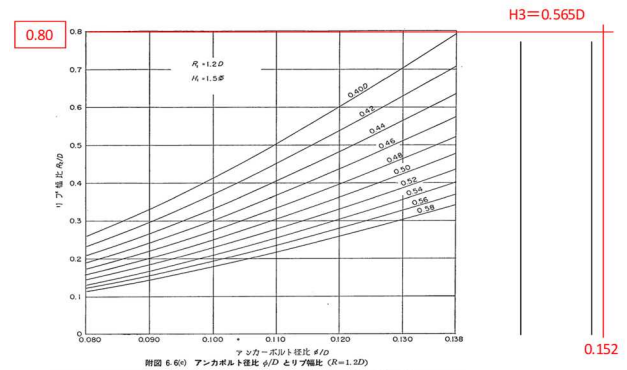
底板厚さ H_1 、アンカーボルトの位置、底板幅 R_1 、埋め込み深さ H_3 、アンカーボルトの谷径 ϕ が決まれば必要最低リブ幅 R_2 が決定する。この算定結果、港研資料p.116附図6.6 (c) (付図B-3) を用いてリブ幅を設定する。

埋め込み深さの胴径比と、アンカーボルト径比を下記に示す。

$$H_3 = 311\text{mm} = 0.565D$$

$$\phi = 83.505\text{mm} = 0.152D$$

埋め込み深さの胴径比が図に掲載されていない値となることから、グラフに記載されている最大のリブ幅比0.8を用いることとした。



付図-B.3 リブ幅比とアンカーボルト径比の関係

ここから、 $R_2/D = 0.8$

$$R_2 = 440\text{mm}$$

よって、リブ幅 R_2 を440mmとする。

B-6. 底板に作用する水平力によるアンカーボルトの曲げ応力、せん断応力および底板前面のコンクリートの支圧応力の検討

(1) 底板前面コンクリートの支圧応力

底板前面コンクリートの支圧応力を σ_c とすると

$$P_H = P = \sigma_c \times 2R_1 \times H_1 + P_{HF} \quad (B-9)$$

摩擦抵抗力 P_{HF} は、

$$P_{HF} \approx 0.2P$$

故に、

$$\sigma_s = \frac{0.8P}{2R_1 \times H_1}$$

$$= \frac{0.8 \times 2,000,000}{2 \times 715 \times 135}$$

$$= 8.3 \text{ N/mm}^2 < 9.0 \text{ N/mm}^2$$

のため、満足する。

コンクリート支圧応力が許容支圧応力と等しくなる牽引力 P は、

$$P = 2172\text{kN} > 2000\text{kN} \quad \text{であるため満足する。}$$

(2) アンカーボルトのせん断力

アンカーボルトに働くせん断応力 τ_s とすると、

$$\tau_s = \frac{P/N}{\pi/4 \times \phi^2} \quad (\text{B-10})$$

ここに、

τ_s : せん断応力[N/mm²]

$$\begin{aligned} \tau_s &= \frac{2,000,000/7}{\pi/4 \times 83.505^2} \\ &= 52.17 \text{ N/mm}^2 < 80 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

のため、満足する。

アンカーボルトのせん断力が許容せん断力と等しくなる牽引力 P は、

$$P = 3067 \text{ kN} > 2000 \text{ kN} \quad \text{であるため満足する。}$$

付表-B.2 応力計算結果

	作用 (牽引力)		耐力	判定
胴部応力	2000 kN	<	2016 kN	OK
アンカボルト応力	2000 kN	<	2513 kN	OK
底板応力	2000 kN	<	2116 kN	OK
コンクリート支圧応力	2000 kN	<	2172 kN	OK
アンカボルトのせん断力	2000 kN	<	3067 kN	OK

B-7. 算定の算定結果と応力計算結果

試設計を行ったケース①-1の算定結果と1500kN市販型の寸法比較を付表-B.1に、各部位の応力計算結果を付表-B.2に示す。

付表-B.1 各部位の寸法の算出結果

				1500kN型 市販型	ケース①-1
材料規格				SC450	SC450
頭部	頭部長さ	L	mm	550	550
	頭部高	H_0	mm	440	440
	頭部幅	B	mm	275	275
胴部	胴径	D	mm	550	550
	胴高	H	mm	490	490
	肉厚	t	mm	48	<u>57</u>
埋込み部	アンカボルト呼径	ϕ	mm	M80	<u>M90</u>
	アンカボルト埋込み角	α	°	22	22
	アンカボルト本数	N	本	7	7
	底板厚さ	H_1	mm	120	<u>135</u>
	胴部の埋込み深さ	H_2	mm	159	<u>176</u>
	埋込み深さ	H_3	mm	279	<u>311</u>
	底板幅	$2R_1$	mm	1320	<u>1430</u>
	リブ幅	R_2	mm	240	<u>440</u>

※下線部は1500kN型から変更した箇所

国土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL NOTE of NILIM

No. 1085 December 2019

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-pr@gxb.mlit.go.jp

