

資料 4

大型係船曲柱の小型化の検討状況 その2

国土技術政策総合研究所 港湾研究部

■ 大型係船曲柱に係る現状と課題

- 係船柱本体及び固定用アンカーボルトの形状寸法は、港湾工事共通仕様書にて規定（曲柱は牽引力50～1000kN、直柱は150～2000kN）
- 近年の船舶（特にクルーズ船）の大型化に伴い、共通仕様書の規定外の大型係船曲柱（牽引力1500kN、2000kN）が必要となり、各地の岸壁に設置されている。
- **大型係船曲柱は作業員の腰高以上の高さであり、頭部形状も大きく、繫離船作業が困難であるとの意見が国総研資料No. 957で挙げられている。**

略 称	設計 けん 引力	胴 部			頭 部			アンカーボルト		
		胴径	胴高	厚さ	頭部 幅	頭部 高	厚さ	呼び径	本 数	埋込 み角
		D	H	t	$B_o L_o$	H_o	t_o	ϕ	(本)	(°)
曲柱 50	50	150	170	20	300	120	20	20	4	22
曲柱 100	100	200	210	20	400	160	20	27	4	22
曲柱 150	150	250	250	20	500	200	20	33	4	22
曲柱 250	250	300	290	21	600	240	21	42	4	22
曲柱 350	350	300	290	25	600	240	25	42	6	22
曲柱 500	500	350	330	29	700	280	29	48	6	22
曲柱 700	700	400	370	33	800	320	33	56	6	22
曲柱1000	1000	450	410	39	900	360	39	64	6	22

曲柱の標準寸法と設計牽引力(抜粋)
港湾工事共通仕様書(1976年から記載有り)



2000kN型の大型係船曲柱
西岡ら,国総研資料No. 957, 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

■全体計画

■大型係船曲柱の上部形状の小型化の検討

○基礎調査

- ① アンケート調査
- ② ヒアリング調査
- ③ 既往設計事例の調査
- ④ 大型係船曲柱の小型化の検討(港研資料に基づく検討)

○上部形状の小型化の方向性とまとめ

■大型係船曲柱(上部形状:小型化)の全体構造(上部・基礎)検討

国総研資料 No.1085

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

↓ 今後検討

■大型係船曲柱の基礎構造の小型化の検討

○港研資料以外のアンカー設計法を用いて、アンカーの小型化について検討を行う。

☛ 係船曲柱アンカーへの適用性について確認。

○鉛直アンカーの可能性について検討。

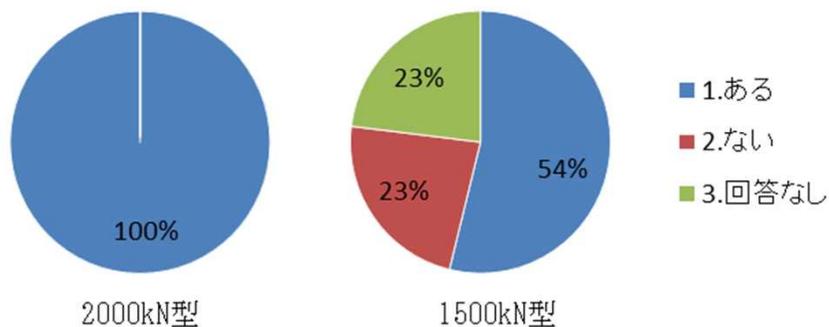
○長期に係船柱が継続使用される間のコンクリート表面の劣化の考慮。

■①アンケート結果

□ 繫離船作業者へのアンケート調査

- 日本繫離船協会の会員各社のうち、大型係船曲柱を扱っている18社から回答を得た。
- 2000kN型を扱っている業者は7社、1500kN型を扱っている業者は11社。
- 👉 特に、2000kN型で問題が顕著(全作業時, 頭部長さ, 頭部幅)

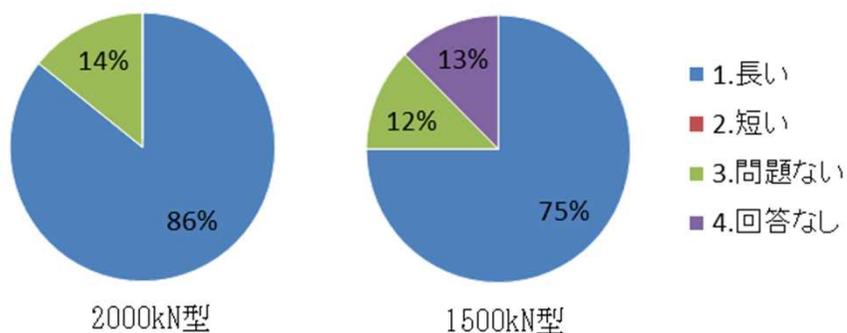
● 大きさと形状について問題あるか



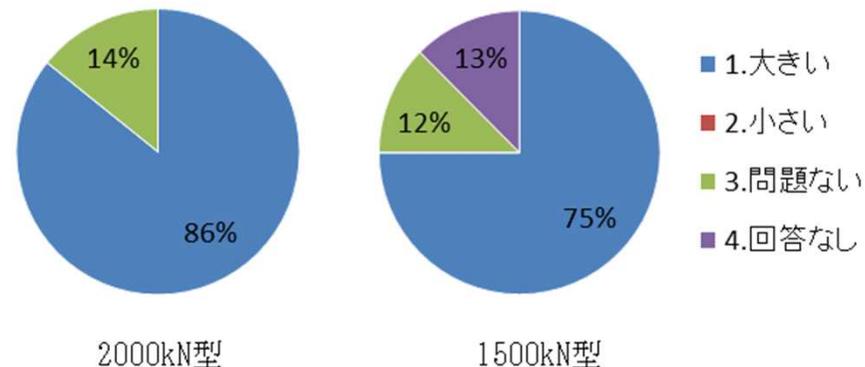
● どのような作業時に支障があるか



● 頭部長さについて



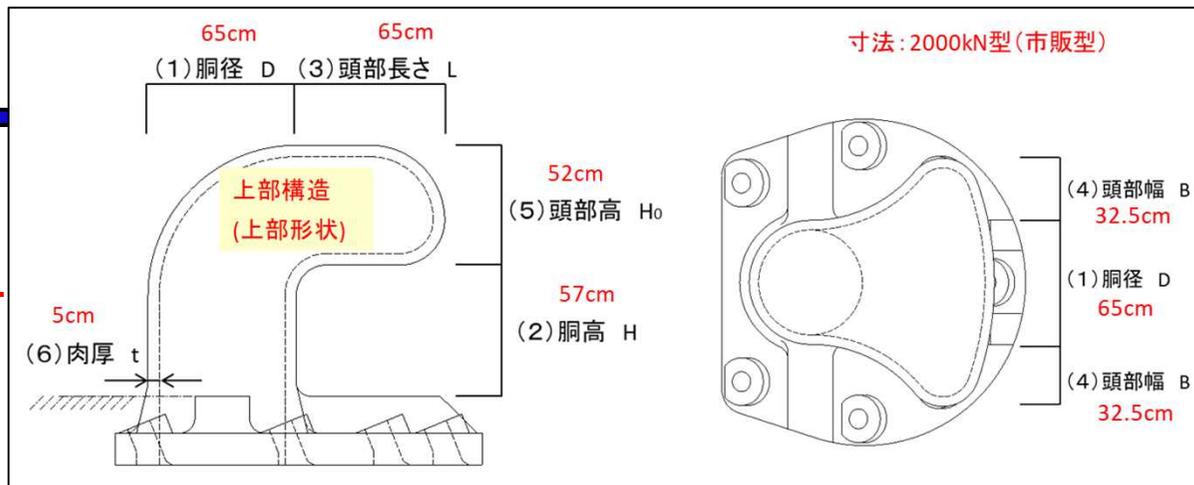
● 頭部幅について



■②ヒアリング結果

(対象: 2000kN型を利用している3社)

- ☞ 2000kN市販型は大きすぎる。
- ☞ 1500・1000kN市販型であれば問題ない



部位	主要意見
全体形状	<ul style="list-style-type: none"> ・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)
(1) 胴径(D)	<ul style="list-style-type: none"> ・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)
(2) 胴高(H)	<ul style="list-style-type: none"> ・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)
(3) 頭部長さ(L)	<ul style="list-style-type: none"> ・2000kN型は長すぎる。(A社, B社, C社) ・頭部長さが30cm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)
(4) 頭部幅(B)	<ul style="list-style-type: none"> ・短い方が係留索の掛け外しが容易になる。(A社, B社, C社) ・頭部幅が25cm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)
(5) 頭部高(H0)	<ul style="list-style-type: none"> ・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型程度の大きさが丁度良い。(C社)

■ ③ 既往設計事例の調査

□ 各地で独自に検討された事例(市販型との比較)

- 市販型が多く出回っているが、一部では現場条件や繫離船作業者の要望に合わせた係船曲柱が独自で検討されており、実績があることが確認された。



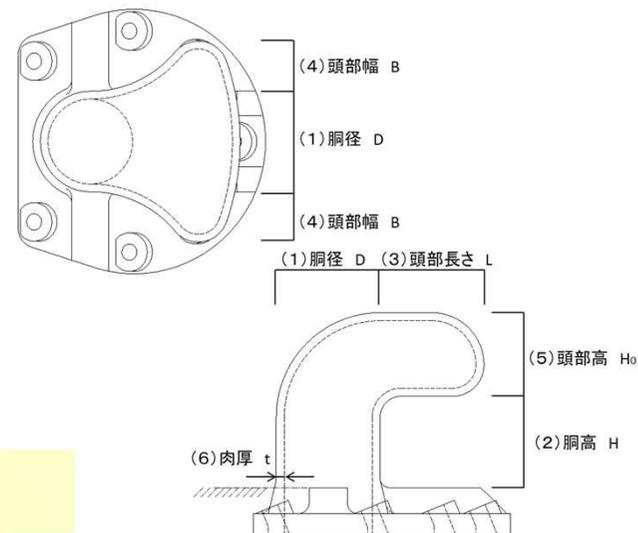
市販型
頭部長さL=65cm



横浜港本牧ふ頭
頭部長さL=30cm



大阪港夢洲
頭部長さL=30cm



係船曲柱の寸法比較(市販型, 実績)

各部位の寸法	2000kN 市販型	横浜港	大阪港	1500kN 市販型	1000kN 市販型
(1) 胴径D [cm]	65	60	69	55	45
(2) 胴高H [cm]	57	55	58	49	41
(3) 頭部長さL [cm]	65	30	30	55	45
(4) 頭部幅B [cm]	32.5	25	32	27.5	22.5
(5) 頭部高H0 [cm]	52	45	35	44	36

☞ 2000kNの上部形状((3), (4), (5))は, 1500kN市販型の寸法程度まで小型化可能

■④大型係船曲柱の小型化の検討

□ 港研資料No.102に基づく上部形状設定に関する設計思想について

設計思想 : 係船ロープを縦に4本、横に3本、重ねずに並べられる。

条件 : 係船ロープの径 ϕ は100mm

- 港空研資料No.1341では、一般貨物船200,000総トンの係船ロープの径は85mmと算出している。
- 繊維ロープメーカーのカタログに掲載されている係船ロープの最大径は、世界最大クラスの船舶を想定した120mmがあったが、その他は100mm以下の規格。
- 繫離船作業者にアンケート・ヒアリングの結果、係船ロープの径は最大でも100mm程度と回答があった。

港研資料No.102の設計思想に基づき、係船曲柱の上部構造を ←海側 陸側→
小型化した場合の各部位の寸法を算出

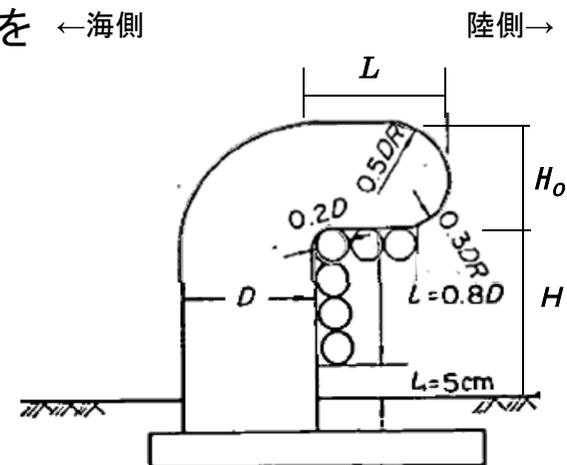
胴径 $D = 55\text{cm}$ (1500kN市販型の胴径)と設定

胴高 $H = 4 \times \Phi + 5\text{cm} = 45\text{cm}$

頭部長さ $L = 3 \times \Phi + 0.3 \times D = 46.5\text{cm}$

頭部幅 $B = 0.5 \times L = 23.25\text{cm}$

頭部高 $H_0 = 0.8 \times D = 44\text{cm}$



港研資料での寸法の考え方

以降、この上部形状を独自設定型と呼称する。

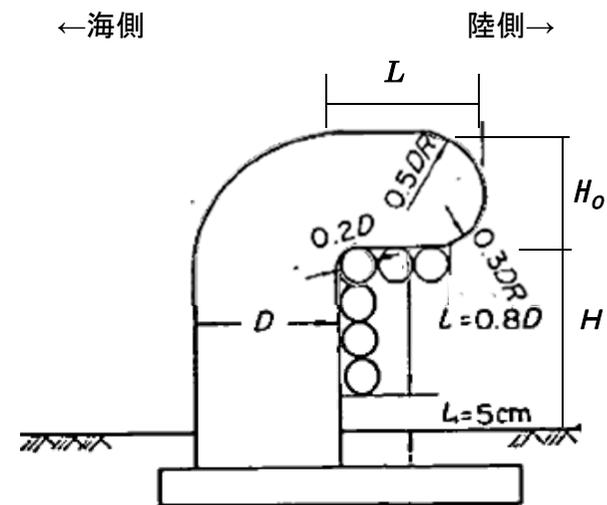
■④大型係船曲柱の小型化の検討

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。

胴径Dを55cmと設定したときの2000kN市販型、1500kN市販型、1000kN標準型との比較結果については下表を参照。

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



港研資料での寸法の考え方

独自設定型は、

「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。

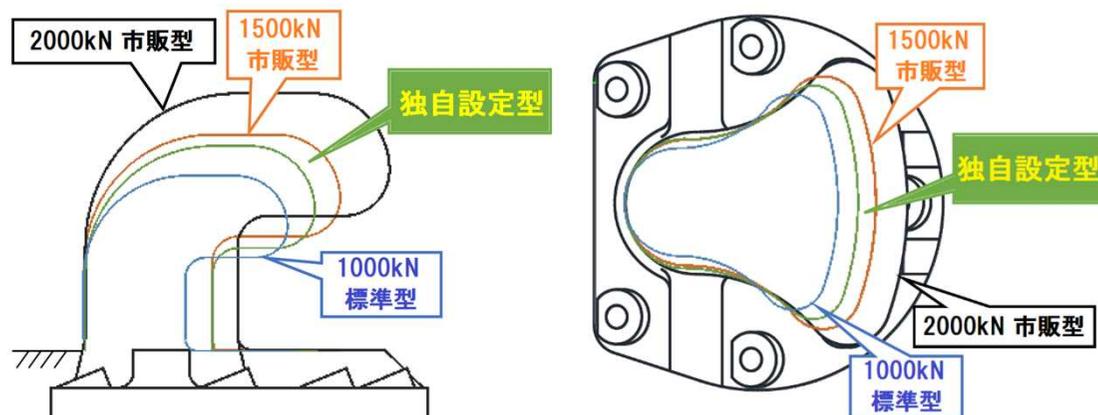
「設計思想」の面では、係留索を縦に4本、横に3本重ねずに並べられることができるように寸法を設定しているため、この点でも概ね適切であると評価できる。

大型係船曲柱の小型化の検討(上部構造)

- 繫離船作業者へのアンケート・ヒアリング調査の結果は、以下のとおり。
 - 2000kN型係船曲柱について、上部形状が大きすぎるとの意見が大勢を占めた。
 - 牽引力2000kNの場合であっても、1500kN又は1000kN市販型の寸法であれば問題ないとの意見が大勢を占めた。
 - 独自に大型係船曲柱の頭部を小型化している事例が各地にあることがわかった。
 - 港研資料に基づく方法により、2000kN市販型を対象に小型化の検討を行ったところ、1500kN市販型の寸法であれば、安全性を確保できることがわかった。
- また、1500kN市販型も繫離船作業に際して問題・支障があるとの意見があるため、更なる小型化について検討し、独自設定型の試設計を行った。

国総研資料 No.1085

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



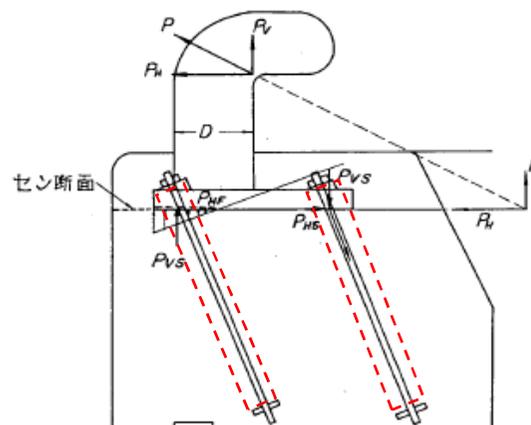
本検討で提案した独自設定型は、1500kN市販型と1000kN標準型の間形状寸法にて、計算上は2000kNと1500kNに対応可能。

大型係船曲柱の小型化の検討(基礎構造)

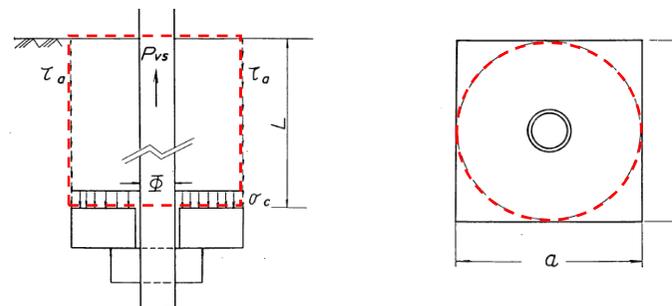
- 係船曲柱固定用のアンカーボルト及びアンカー板等の形状寸法、必要本数についても係船柱の牽引力ごとに港湾工事共通仕様書に規定されている。
- 標準寸法のアンカーボルト長では、鋼管杭との干渉や、上部工の厚み不足となることがあり、係船柱を大型化する際に、下の写真のように上部工を嵩上げする例がある
⇒ 繫離船の作業効率の低下に繋がる。
- 港研資料No.102の照査では、アンカー板を底版とする円柱型のコンクリートせん断抵抗力を考慮している。

アンカーボルトの仕様例(港湾工事共通仕様書より)

牽引力 (kN)	アンカーボルト			アンカー板 辺長(mm)
	呼び径	長さ(mm)	本数	
500(曲柱)	M48	1000	6	192
1000(曲柱)	M64	1300	6	256
1500(直柱)	M80	1600	8	320
2000(直柱)	M90	1800	8	360



係船柱大型化に伴う上部工嵩上げ事例



港研資料に基づくせん断抵抗面の考え方

大型係船曲柱の小型化の検討(基礎構造)

<施工者からの意見>

- 大型係船曲柱のアンカー板やアンカーボルトは非常に重たいため、施工は3人掛かりでの作業となる。(1500kN型:アンカー板52kg/個, アンカーボルト63kg/本__2000kN型:アンカー板76kg/個, アンカーボルト90kg/本)
- アンカーボルトを斜めに設置する時は、架台との近接することもあり、鉛直アンカーの方が施工しやすい。



<今後の予定>

- 港研資料以外のアンカー設計法を用いて、アンカーの小型化について検討を行う。
 - 各種合成構造設計指針・同解説(日本建築学会)におけるアンカー径の適用範囲は $\phi 25\text{mm}$ であるため、係船曲柱アンカーへの適用性について確認する。
- 鉛直アンカーの可能性について検討を行う。
- 長期にわたり係船柱が継続使用される間のコンクリート表面のひび割れ等の劣化の考慮。

など、更なる検討を数値解析等も含め行う必要があり、引き続き検討を進めていく。