

係船柱用アンカーボルトの小型化に向けた設計法の比較

国土技術政策総合研究所 正会員 ○中村 健, 宮田 正史, 非会員 中村 俊之
 港湾空港技術研究所 正会員 川端雄一郎
 中央復建コンサルタンツ(株) 正会員 尾崎 竜三, 非会員 村上 裕宣

1. はじめに

コンテナ船やクルーズ客船等の大型化に伴い、岸壁等に設置される係船柱も大型化している。筆者らは先に大型係船柱（牽引力 1500kN, 2000kN）の上部形状の小型化について検討を行ったが¹⁾、その過程で係船柱固定用のアンカーボルトの埋込長さとその重量も増大し、そのことが係船柱の設計、施工および利用に対して負の影響を及ぼしていることがわかった。具体を例示すると、アンカー埋込長を確保するために、図-1 に示すような係船柱部分の嵩上げ・段差が生じ、繫離船作業（係留ロープを掛け外しする作業）の従事者の安全な作業環境が損なわれたり、施工時には長大・大重量のアンカーボルトの運搬・設置の負担が大きく生産性の低下を招いている、などの問題が発生している。

本検討は、係船柱用アンカーボルトの設計根拠を確認し、日本建築学会による各種合成構造設計指針・同解説（以下「合成構造指針」と記す）によるアンカーの設計法との比較を行い、アンカーボルトの小型化の可能性に関して基礎的な検討を行ったものである。

2. 係船柱用アンカーボルトの設計根拠

港湾工事共通仕様書²⁾には、係船柱本体の各部の形状寸法に加え、係船柱の設計牽引力に応じて使用するアンカーボルトの本数、呼び径と長さ、アンカー先端部に設置するアンカー板（正方形形状の鋼板）のサイズが規定されている。牽引力の大きな係船柱ほどアンカーボルトも長大となり、1000kN の場合は呼び径 M64・長さ 1300mm・プレート辺長 256mm, 2000kN の場合は M90・長さ 1800mm・辺長 360mm にも達する。アンカーボルト 1 組（アンカー板、六角ナット、平座金を含む）の質量は、それぞれ 62kg, 166kg にもなる。

アンカーボルトの寸法の根拠は、1970 年に発行された港研資料³⁾に拠る。設計の手順は、以下に示すとおりである。

- ①係船柱の斜め上方から作用する牽引力 P の水平分力 P_H を算出。
- ② P_H による係船柱底面でのせん断応力に耐えるアンカーボルト 1 本あたりの径 ϕ を算出。
- ③径 ϕ からアンカーボルトの引張降伏荷重 P_{VS} を算出。
- ④アンカーボルトに P_{VS} が作用した際に、コンクリートの支圧応力 σ_c に耐えられるアンカー板の幅 a を算出（図-2 参照）。
- ⑤コンクリートのせん断面を図-2 に示す直径 a ・アンカーの有効埋込長さ L の円筒形とし、 P_{VS} の作用時にコンクリートがせん断に耐えられる L を算出。

3. 合成構造指針（日本建築学会）におけるアンカー設計法との比較

合成構造指針に拠ると、コンクリート内に定着されたアンカー1 本当たりの許容引張力 p_{a2} は、コーン状破壊を想定した次式で算出できる。

$$p_{a2} = \phi_2 c \sigma_t A_c \quad (1) \quad \text{なお, } c \sigma_t = 0.31 \sqrt{F_c}, \quad A_c = \pi \left(L + \frac{D}{2} \right)^2 - \frac{\pi}{4} D^2$$



図-1 上部工の嵩上げ事例

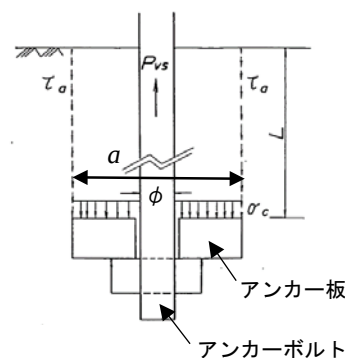


図-2 アンカーボルトに作用する支圧応力とせん断応力

キーワード 係船柱, アンカーボルト, コンクリート, 設計法, 破断面

連絡先 〒239-0826 神奈川県横須賀市長瀬 3-1-1 国土交通省 国土技術政策総合研究所 TEL 046-844-5091

この式は呼び径 20～24mm のアンカーボルトの実験結果を基に、安全側に算出されるように定められたもので、 ϕ_2 は低減係数、 $c\sigma_t$ はコーン状破壊に対するコンクリートの引張強度、 F_c はコンクリートの設計基準強度である。 A_c はコーン状破壊面の有効水平投影面積（図-3 中の網掛けの部分）であり、図中の D はアンカーボルトの径の 1.6～2.5 倍が一般的となっている。

4. 現行設計法と合成構造指針による設計比較

現行設計法と合成構造指針の方法を用いて、牽引力 1000kN の係船曲柱アンカーについて、必要埋込長(アンカーボルト全長のうち、コンクリート内に埋め込む長さ)の試算を行った。試算条件と結果を表-2 に示す。耐力の算定は、①:現行設計に基づきコンクリートのせん断強度に円筒形の面積を乗じた場合、②:①の条件下で有効水平投影面積を乗じた場合、③:合成構造指針の式(1)で低減係数 ϕ_2 を長期荷重 1/3 とした場合、④:③で短期荷重 2/3 とした場合、の 4 種類とした。

試算は 3 段階で実施した。試算 1 は 1000kN 用アンカーの耐力を①～④の各算定方法で求め、試算 2 は②～④の算定方法で試算 1 での①の耐力値以上となる埋込長を算定した。表-2 に示すように、試算 1 の耐力は現行設計①の 469kN に対し、②では面積が大きく見込めるため 4.8 倍の 2250kN、「合成構造指針」の方法では面積は②と同じながらコンクリートの強度が異なり、低減係数も乗ずるため 3.5 倍の 1650kN(③)か 7 倍の 3300kN(④)が算定される。また試算 2 の必要埋込長は、①の 1100mm に対し②は 520mm(①の 0.47 倍)、③は 600mm(0.55 倍)、④は 440mm(0.4 倍)と大幅に短くなり、①の現行設計は単独のアンカーとしては必要以上に安全側の値を算出しているように見受けられる。

しかし、係船柱のように複数のアンカーを近接して設置する条件でコーン状破壊を考える場合、個々のアンカーの有効水平投影面が重複する可能性がある。合成構造指針では重複分を控除して投影面積を算出し、アンカー耐力を低減して評価するため、これを試算 3 とした。具体的には、図-4 に示すとおり、6 本の鉛直アンカーの位置関係に基づき 6 本分の有効水平投影面積（重複分を控除）を算出し、①の耐力の 6 倍以上（6 本分）の耐力となる必要埋込長を②～④の方法で算出した。その結果、必要埋込長は②は 720mm(①の 0.65 倍)、③は 920mm(0.84 倍)、④は 530mm(0.48 倍)と試算 2 より長くなるが、現行設計より短縮できる可能性がある。

5. まとめと今後の課題

今回の検討の結果、係船柱のアンカーボルトの寸法算定にあたり、コーン状破壊面を想定したせん断耐力の算定方法を用いることで長さを短縮できる余地があることが確認された。しかし係船柱用より細いアンカーボルトを想定している合成構造指針の適用性や、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等、更なる検討を数値解析等も含め行う必要があると考えられる。

参考文献 1)中村ら：繫離船作業の作業効率向上に配慮した大型係船曲柱の形状寸法の検討,土木学会年次学術講演会講演概要集, 第 74 回, II -115, 2019. 2)国交省港湾局:港湾工事共通仕様書,2019. 3)稲垣ら:けい船柱の標準設計(案),港研資料 No.102, 1970. 4)日本建築学会:各種合成構造設計指針・同解説,2014.

表-2 現行設計法と合成構造指針による設計比較

		現行設計での算定方法 (せん断強度×面積)		合成構造指針の算定方法 (係数×引張強度×面積)	
		①円筒形	②コーン状	③長期荷重	④短期荷重
コンクリート強度(N/mm ²)		0.6	0.6	1.32	1.32
試算1 アンカー埋込長 1100mmの耐力	面積(x10 ³ mm ²)	782	3750	3750	3750
	耐力(kN)	469	2250	1650	3300
	耐力の比率	1	4.8	3.5	7
試算2 ①の耐力を満たす 必要埋込長	埋込長(mm)	1100	520	600	440
	面積(x10 ³ mm ²)		798	1080	557
	耐力(kN)	469	478	475	490
	埋込長比率	1	0.47	0.55	0.4
試算3 アンカー6本分の 必要埋込長	埋込長(mm)	1100	720	920	530
	面積(x10 ³ mm ²)		4700	6455	3252
	耐力(kN)	2814	2820	2840	2861
	埋込長比率	1	0.65	0.84	0.48

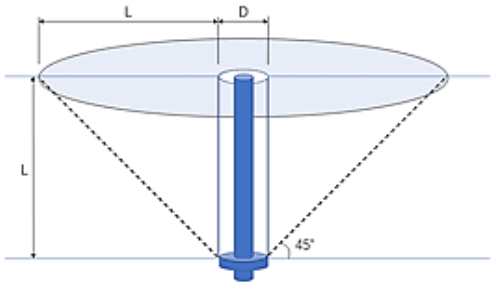


図-3 コーン状破壊面と有効水平投影面積

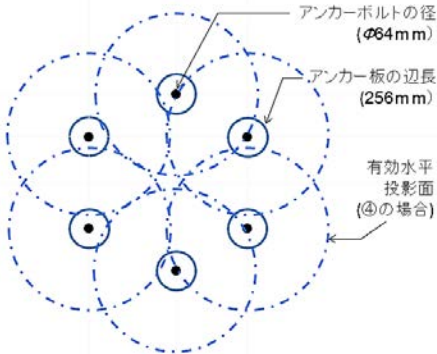


図-4 有効水平投影面の重複 (1000kN)