

500t埋設アンカーの設計と施工

三菱重工業(株) 広島研究所 構造研究室 多賀谷宏三
 三菱重工業(株) 長崎造船所 修繕船渠部 川岡 初男
 西日本三菱興産(株) 建設部 大橋 初美
 (株) 間組 研究開発局 海洋開発室 ○ 下村嘉平衛
 (株) 間組 研究開発局 海洋開発室 松垣 光威
 (株) 間組 研究開発局 海洋開発室 橋内 勝美

1. まえがき

海洋土木工事において、大容量のアンカーは不可欠である。推進力の大きなスラスタとコンピューターを組合わせた自動位置保持装置が開発されつつはあるが、大型の作業船や構造物の位置決めには、手取り早いアンカーが必要であり、しかも、アンカーの把駐力として大容量のものが要求されているのが現状である。一方、造船界においても船舶の大型化が進み40万～50万tの超大型船が実現しつつあるが、この建造、艀装にあたってこれら超大型船のけい留が必要であり、この面からも大容量のアンカーが必要となってきた。

アンカーは、重いものを海中に投入して所定の把駐力を期待する投設アンカーと、海底をせん孔し適当なアンカー躯体を根固めて所定の引抜力を期待する埋設アンカーに大別される。投設アンカーは、船の錨やブイのアンカーなどがよく知られているが、埋設アンカーは最近開発されたもので実績はまだ少ない。

筆者らは、三菱重工業長崎造船所香焼工場の艀装岸壁の築造にあたって把駐力500tをエーン埋設アンカーを施工し、その引抜試験を行なって安全性を確かめる機会を得たので、このアンカーの設計と施工上の問題について述べることにする。

2. 工事の概要

用途は前述艀装岸壁(水深10m)の沖側けい船アンカーであり、合計10基のアンカーのうち5基を埋設アンカーによって施工した。施工地点は、湾内の水深18m～30mのところで、岸壁法線より沖合約200mの海中である。

海底は、おおむね上層がオ4紀堆積層(シルト、砂、れき)でおおわれ、下層は古オ3紀層(砂岩、頁岩、れき岩)が存在する地盤であるが、一部には古オ3紀層が露出したところも見られる。図-1に調査結果より推定した地層の断面を示す。施工場所は、前述のように湾内であるので、海象は穏やかであり、

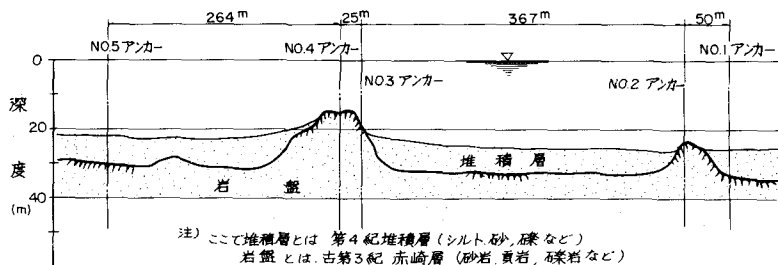


図-1 アンカー施工地点の地質(地質調査結果より推定)

風速10 m/secで波高0.5 m程度、最大潮流0.5 ノット
潮位差約2 mである。

計画したアンカーの諸元を表-1、チェーンの形状を図-2に示す。

3.1 設計の方針

チェーン埋設アンカーの耐力は、次の各項の最小値で決定される。

- ① アンカーチェーンの破断。
- ② 鞍状地盤部の破壊。
- ③ チェーンとモルタルとの付着部のすべり、または圧縮破壊。
- ④ モルタルのせん断破壊。
- ⑤ モルタルと地盤との付着部のすべり。
- ⑥ 定着部地盤の破壊。

以上、これらの現象は単独に生じる場合もあるが一般には、いくつもの現象が重なりあって生じるためチェーン埋設部の抵抗機構は複雑である。

ここでは、図-3に示すようなチェーン埋設アンカーの構造モデル¹⁾および鞍状地盤部の力学モデルを仮定し、斜め上向きの引抜力が最終的には上向きの引抜力に帰着すると仮定して設計を行なう。ただし、水平引抜力を鉛直引抜力に変換する鞍状の地盤部分の必要高さについては、次のような考え方により検討を加えることにした。

図-3において

$$P = q_u B \quad \text{----- ①}$$

ただし q_u ; 鞍状地盤の一軸圧縮強度 Kg/cm^2

B ; 鞍状地盤のチェーン支持巾 (m)

$$P = \Sigma P = P \cdot R \left(\frac{\pi}{2} - \theta \right) \quad \text{----- ②}$$

$$H = R \cos \theta \quad \text{----- ③}$$

一方向の釣合より

$$T = T' + \mu P \quad \text{----- ④}$$

ここでチェーンに対する鞍状地盤部の反力の合力 P の方向は、常に鞍状部分の中心に向いていると仮定すると、次のことが言える。

$\triangle ABC$ において (3) 式より

$$AB = AC \quad \therefore \angle ABC = \angle ACB = \left(\frac{\theta}{2} + \theta \right) / 2$$

$$\angle BAC = \frac{\pi}{2} - \theta$$

したがって

表-1 埋設アンカーの諸元

名 称	諸 元
使用チェーン	中120 mm 電接2種チェーン 材質 SC-50 石破断 694 t 耐力 495 t
チェーン作用力	引抜力 $T = 500 \text{ t}$ 引込角 $\theta = 20^\circ (45^\circ / 143 \text{ m})$
掘 削 径	直径 $D = 700 \text{ mm}$ 鞍状地盤部高さ $H = 3.5 \text{ m}$ 岩盤定着部長さ $L = 7 \text{ m}$ スライムだまり $L = 0.5 \text{ m}$
岩盤部の一軸圧縮強度など	単状岩盤部 (風化砂岩) $q_u = 50 \text{ Kg/cm}^2$ 定着岩盤部 (れき岩 or 砂岩) $q_u = 150 \text{ Kg/cm}^2$ 地盤チェーンの摩擦係数 $\mu = 0.5$ と想定
注入モルタル	予想圧縮強度 $\sigma_c = 200 \text{ Kg/cm}^2$

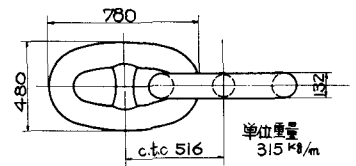
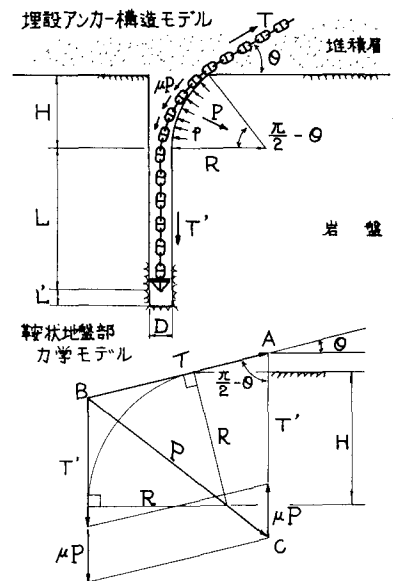


図-2 使用チェーンの形状



記号の説明

- T ; チェーンの引張力 (t)
- θ ; チェーンの引込角
- P ; 鞍状地盤部の地盤反力 (t/m)
- P ; 鞍状地盤部に作用する反力の合力 (t)
- μ ; 鞍状地盤部とチェーンの摩擦係数
- μP ; 鞍状地盤部の摩擦力 (t)
- T' ; チェーンに作用する上向き引抜力 (t)
- R ; 鞍状地盤部分の半径 (m)
- H ; 鞍状地盤部分の高さ (m)
- L ; 定着地盤部の高さ (m)
- L' ; スライムだまり (m)
- D ; 定着孔径 (m)

図-3 チェーン埋設アンカー構造モデル
および 鞍状地盤部力学モデル

$$P = ZT \cos\left\{\frac{\pi}{2} + \theta\right\} / Z = ZT \cos\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\pi}{2}\right) = ZT \sin\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\theta}{2}\right) \quad ⑤$$

②, ③, ⑤式より

$$H = R \cos \theta = \frac{ZT}{P(\frac{\pi}{2} - \theta)} \sin\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\theta}{2}\right) \cos \theta = \frac{ZT \cos \theta}{\sin B(\frac{\pi}{2} - \theta)} \sin\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\theta}{2}\right) \quad ⑥$$

また④, ⑤式より

$$T' = T - \mu P = T \left\{ 1 - \mu \sin\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\theta}{2}\right) \right\} \quad ⑦$$

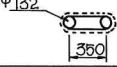
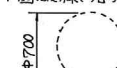
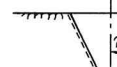
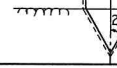
3.2 鞍状地盤部の検討

⑥式より、チェーンの引込角 20° 、一軸圧縮強度 50 kg/cm^2 、地盤のチェーン支持幅 0.264 m （両側のチェーン径を足し合わせたもの）とすると、鞍状地盤部の高さとして、約 0.4 m 必要である。

3.3 定着地盤部分の検討

表-2に定着地盤部分の定着長検討諸要目を示す。

表-2 所要定着長の検討一覧（引抜力 $T'=500 \text{ t}$ と想定）

区分	検討項目	抵抗機構	所要定着長 (m)	許容応力など	備考
根 固 め モ ル タル	チェーンとモルタルとの付着部のすべり	下図破線の付着面ですべると仮定  $1.11 \text{ m}^2/\text{m}$	6.72	$\tau_0 = \frac{1}{30} \sigma_c$ $= \frac{200}{30}$ $= 6.67 \text{ kg/cm}^2$	付着面として最小のものは   (付着面積 0.83 m^2)の状態で場合が考えられるが、この場合はリンク内に詰ったモルタルの圧縮あるいは、せん断破壊が引抜力に抵抗するので左記の付着面を想定した。
	モルタルのせん断破壊	下図破線に沿ってせん断破壊すると仮定  $1.51 \text{ m}^2/\text{m}$	4.95	$\tau_a = \frac{1}{30} \sigma_c$ $= 6.67 \text{ kg/cm}^2$	モルタルの許容せん断応力度は、許容付着応力度と同様にコンクリート標準仕様書、港湾構造物設計基準などより $1/30 \sigma_c$ とした。
	モルタルと地盤との付着部のすべり	下図破線に沿ってすべると仮定  $2.20 \text{ m}^2/\text{m}$	4.55	$\tau_0 = 5 \text{ kg/cm}^2$	地盤とモルタルの許容付着応力度は、地質によっても異なるが、一軸圧縮強度 100 kg/cm^2 以上の砂岩については、通常陸上では 10 kg/cm^2 程度の値がとられているので海中ではその $1/2$ をとることにした。
定 着 地 盤	定着地盤のせん断破壊	下図のような円錐状にせん断破壊するが仮定 	3.70	$\tau_a = 5 \text{ kg/cm}^2$	定着地盤に引張り力とせん断力の両者が作用すると、すべり面での破壊が生じると予想されるが、簡単のため単独にせん断破壊を考えた。地盤の許容せん断応力度はモルタルと地盤の付着応力度と同様の値とした。
	土被りのない場合		13.1	水中での地盤の単位体積重量を 1.6 t/m^3 と仮定	対象地盤が砂岩であるので亀裂が少なく地盤のせん断破壊が先行する。そのため定着地盤の浮上りについては、参考としたのみで、検討対象から除外することにした。
	土被りが 10 m ある場合		7.7		

ただし、定着部チェーンに作用する引抜力は、安全のため 500 t として検討した。この結果、鞍状地盤部 0.5 m 、定着長部 7 m 、スライムだまり 0.5 m 、合計 11 m 以上を岩盤中に定着することにした。

なお、この他チェーン埋設式アンカーの欠点として、チェーンがゆるんだ状態で定着されると、チェーンに引抜力を与えた場合に上部より順次チェーンが変位し、モルタルおよび地盤がこの変位に追従できなくて、上側より順次剥離することがある。この対策としてチェーンに初期テンションを与え

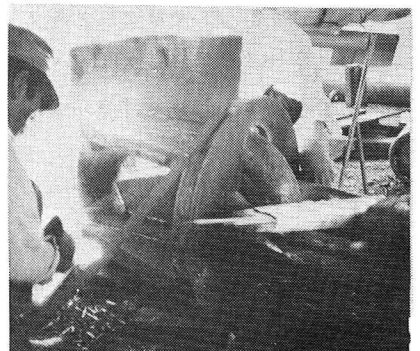


写真-1 テールアンカーの製作(工場製作)

ることが考えられるが大掛りとなるので、今回の施工ではチェーン挿入時にチェーンをぶら下げた状態で鉄筋を溶接して吊降し、チェーンの初期たるみを除去することを考えた。さらにチェーン定着部の先端に写真-ノに示すようなモルタルの支圧強度に期待するテールアンカーを用いることにした。引抜試験の結果からはこのテールアンカーの効果について云々することはできないが、陸上で用いられているロックアンカー、アースアンカーにおいても、アンカー先端にワッシャーなどを取付けることが効果的であると報告²⁾されているので、チェーン埋設アンカーにおいても今後とも有効な方法であると考えらる。

4. 施工

4.1 セン孔

チェーンを地盤に定着するためのせん孔は、クレーン台船（吊能力30t、150排水屯）の張出足場に、リバース式掘削機（日立建機、SD-300、トルク3.8t-m）を載せて行なった。足場と掘削機の選定には、種々の考え方があったが、海象条件、工期経済性を考慮して、踏切ったものであるせん孔設備の概要を図-4に示す。

チェーン定着用のせん孔には、泥水の使用が好ましくないので軟弱な堆積層の掘削に孔壁保持としてケーシング（φ800×t8）を用いることにした。

ケーシングの挿入は、拡底ビットとノッキング機構（ビット/回転ごとに1回重量約1〜2tのものがストローク6cmで下する）によった。岩盤部の掘削は、ローラータイプのロックビットを使用して行なった。

このような方法により、全長21m〜26m（この内堆積層0〜8m）のせん孔に2日〜5日間を要した。岩盤部のせん孔速度は、スラスト荷重10t、回転速度10〜28r.p.m.により0.5m/h〜1m/hであった。しかし傾斜した岩盤部へのケーシングの挿入および強風化岩部の掘削にはかなりの時間を要し、5本のせん孔のうち2本は途中で場所を変えて掘り直しを行なった。

4.2 チェーンの挿入

チェーンのアンカー孔への挿入は、潜水夫の誘導により130t吊りクレーン船で吊降したが、途中、チェーンのたるみ防止用の鋼棒（φ32）、モルタル注入管、スペーサー、ヘッドストッパーなどを取付けた。チェーンの挿入に要した時間は、3〜9h/孔であった。

4.3 モルタルの注入

アンカー部チェーンの根固め用のモルタル配合²⁾は、表-3に示す通りである。本工事では、この2

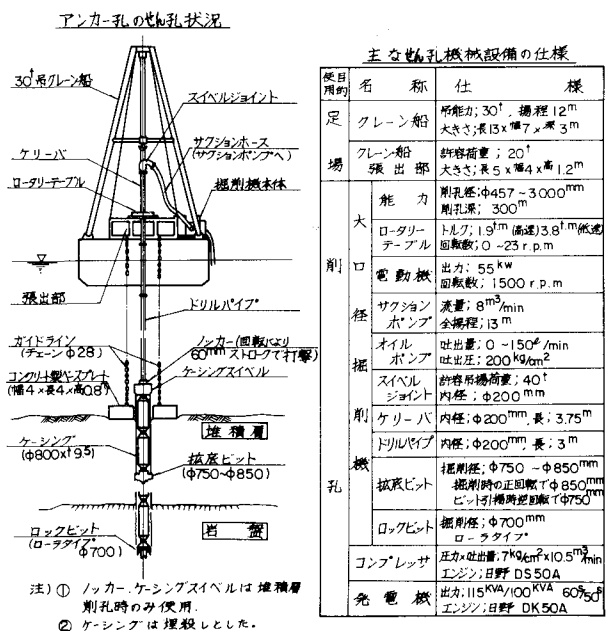


図-4 アンカー孔のせん孔状況およびせん孔設備

種類の配合により根固めを行なったが、B配合に比べA配合のモルタルは、施工後の供試体の圧縮強度試験結果によると、2～3割の強度低下が見られた。

表-3 使用モルタルの配合

A 配 合						B 配 合					
	セメント	石 粉	肥化CSA	水	水セメント比		セメント	砂	ポゾラス NO.10L	アミュー-A 粉末	水
配 合 比	0.88	0.5	0.12	0.55	55%	配 合 比	1	0.83	0.005	0.0001	0.53
バッチ300kg当り材料数	252kg	143kg	34kg	157kg		バッチ300kg当り材料数	240kg	200kg	4.8g	24g	127kg

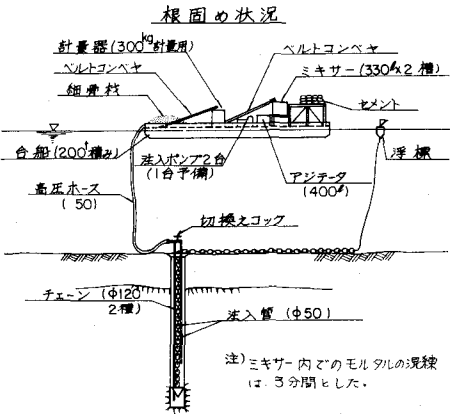
注) 使用水は海水、使用セメントは NO.3 アンカー用早強セメントを他のアンカーに普通ポルトランドセメント

注入用のパイプはφ50mm のガス管を孔長に合せチェーン挿入時に合わせて設置した。この注入管へモルタル注入時に注入台船上からフレキシブル高圧ホースを降し潜水夫により連結した。

注入に際しては、台船(200t積み)上にミキサー、アジテーター、注入ポンプおよびモルタル材料を塔載し、チェーン挿入後施工地点にこれを曳航してきて作業を行なった。図-5に注入台船と機械設備を示す。

なお、この工事では、パッカーを使用せずモルタル注入管を2～3段に使用し、計算上の注入高さより5m以上打上ったと考えられる時点で注入バルブを潜水夫により順次切替えて注入した。

チェーン埋設アンカーの施工結果を表-4に示す。



主な根固め機械設備の仕様			
使用目的	名 称	仕 様	
足 場	合 船	積載量: 200t, 大きさ: 20x8x2 深 1.5m	
細骨材搬送	計 量 器	300kg 計量用	
混 練	ミキサー	混練容量: 300kg x 2 (並列2機)	
かくはん	アジテーター	かくはん容量: 350kg x 2 (上下2機、上機はミキサー)	
注 入	グラウトポンプ	吐出圧力: 18~50 kg/cm ² 吐出量: 100~350 l/min	
	グラウトポンプ	吐出圧力: 25~60 kg/cm ² 吐出量: 65~250 l/min	

図-5 アンカー根固め状況および根固め設備

表-4 埋設アンカー施工結果

アノ書号	アンカー孔の削孔				チェーンの挿入		根固めモルタルの注入										アノ定着部岩質	備 考
	削孔年月日	削孔長 (m)		全長 (m)	挿入年月日	挿入長 (m)	孔底のクリアランス (m)	注入年月日	配合	フロー値 (秒)	注入量 (m)	注入長 (m)	注入時間 (hr)	チェーン埋設長 (m)	圧縮強度 σ_7 (kg/cm ²)			
		塔積	岩盤															
1	S47. 7.24 (3日間)	6.5	17.3	23.8	8 (7.3)	S.47. 7.29	22	1.8	S.47. 7.29	A	16~ 20	8.4	23	2:30	21.2	220~ 250	粗粒砂岩、 礫岩 (約12m)	引抜試験実施 8月27日
2	S47. 8.10 (2日間)	6.7	17.3	24.0	12 (10.6)	S.47. 8.13	22	2	S.47. 8.13	A	15~ 20	6.6	18.5	2:50	16.5	240~ 260	砂岩 (約11m)	引抜試験実施 8月28日
3	S47. 9.2 (5日間)	8	17.5	25.5	10 (9.1)	S.47. 9.7	24.5	1	S.47. 9.7	B	16~ 20	9.4	25	1:55	24	300~ 320	礫質砂岩、 粒粒砂岩 (約13m)	引抜試験実施 9月24日
4	S47. 9.14 (2日間)	0.3	26.2	26.5		S.47. 9.15	25.5	1	S.47. 9.15	B	15~ 20	9.4	26	1:55	25	290~ 310	礫質砂岩、 礫岩 (約15m)	
5	S47. 9.16 (5.5日間)	4.5	17.1	21.6	6 (4.5)	S.47. 9.20	21	0.5	S.47. 9.20	B	15~ 20	9.1	23	1:50	22.5	295~ 300	礫質砂岩、 礫岩 (約14m)	

注) 根固めモルタルの圧縮強度は、注入時に製作した供試体による。

5. 引抜試験

アンカーの施工後、1～3週間の養生後に把駐力を確認するため基のアンカーについて、引抜試験を実施した。引抜試験は、使用時の荷重方向（約20°の仰角で船をけい留）で行なうことが困難であったため写真-2に示すような1500t吊りクレーン船を用い、鉛直上向に行なった。

引抜試験の結果は図-6に示す通りであるが、これにはチェーン自体の伸びも含まれている。一般にチェーンは破断荷重の70%の耐力試験を実施した後出荷されるので、大きな初期ひずみが除去された状態で使用されることになる。改訂船舶工学便覧⁴⁾によると引張試験時における電接チェーンの伸びひずみ量は、耐力試験荷重で0.5%、破断荷重で2%程度と言われている。したがって、自由チェーン長（海底から変位置測定点まで）50mに対するチェーン自身の伸び量を引抜試験結果図にプロットすると、チェーンの変位置測定結果（チェーン自身の伸びも含む）とチェーン伸び量推定曲線が大略一致する。測定精度（約200m離れた岸壁よりトランシットで測定）や、チェーン推定伸び量の偏差などを考慮すると断言はできないが、チェーンの地盤面での実際の挙上りはほとんどなかったものと推定される。

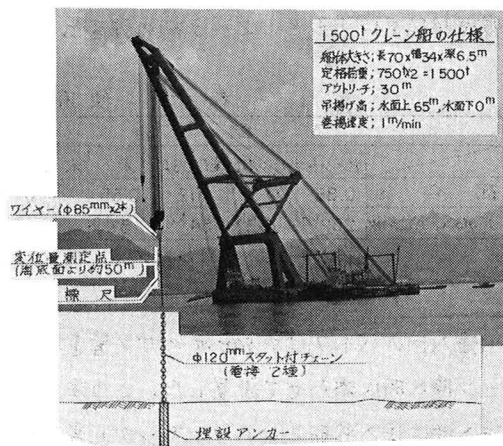
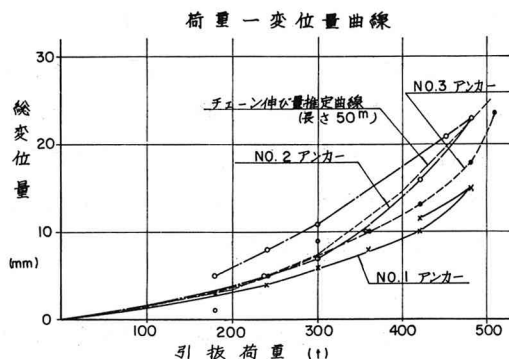


写真-2 アンカー引抜試験状況



注）総変位置とは海底面からアンカー変位置測定点までの50m（チェーン自由長）の間のチェーン伸び量も含んだものである。

図-6 アンカー引抜試験結果

6. あとがき

最近海洋土木工事などにおいて、埋設アンカーの使用が考慮されるようになってきたが、現状では地盤条件、海象条件、工期、経済性などにより、設計および施工に制約を受けるようである。本報告が今後のこの種のアンカーの計画になんらかの参考となれば幸いである。最後にこの工事の実施にあたって御協力いただいた太平洋探海工業（株）井上純夫、野畑肇および（株）間組市川孜、湊隆次郎の諸氏に厚くお礼申し上げます。

7. 参考文献

- 1) 高橋幸蔵、喜岡直太郎；本四架橋調査鳴門海上実験における埋設アンカーについて、橋梁、1971.3
- 2) 山口晴紀、中内博司他2名；セメントペーストの初期強度について、間組研究年報、（株）間組、1971.
- 3) 中山武士、岡田泰太；本四架橋調査（尾道～今治11+）における1000t埋設アンカー築造および引張試験、橋梁、1972.4
- 4) 造船協会編；改訂船舶工学便覧、造船協会、昭和40年12月