

港湾技研資料

TECHNICAL NOTE OF
THE PORT AND HARBOUR RESEARCH INSTITUTE
MINISTRY OF TRANSPORT, JAPAN

No. 919 Sept. 1998

アンカーの把駐性能に関する現地試験

—— ストックアンカー、ストックレスアンカーおよび
安定板付きアンカーの把駐力について ——

中 島 忠 男
潮 見 幸 司

運輸省港湾技術研究所

目次

| | |
|--------------------------------|----|
| 要 旨 | 3 |
| 1. まえがき | 4 |
| 2. 現地試験の概要 | 4 |
| 2. 1 試験日時、試験海域、対象土質 | 4 |
| 2. 2 試験対象アンカー | 6 |
| 2. 3 使用機材 | 6 |
| 2. 4 測定項目、測定日程、測定方法、測定内容 | 9 |
| 3. 試験結果および考察 | 13 |
| 3. 1 曳引力の測定波形 | 13 |
| 3. 2 曳引力、把駐力係数 | 14 |
| 3. 3 安定板の効果 | 16 |
| 3. 4 寸法比の影響 | 17 |
| 4. まとめ | 18 |
| 5. あとがき | 18 |
| 謝 辞 | 18 |
| 参考文献 | 19 |
| 記号一覧表 | 19 |

A Dragging Field Test on Performance of Anchors

Tadao NAKAJIMA*

Koji SHIOMI**

Synopsis

A dragging field test on performance of four types of anchors including two stabilizer-anchors were carried out on 2th and 3th of March in 1998.

The results obtained from this dragging field test were as follows.

- 1) Stabilizer-anchor with longer stabilizer and stockless anchor showed better performance than the others, which were stabilizer-anchor with shorter stabilizer and stocked anchor.
- 2) The stabilizer-anchor with longer stabilizer showed better performance due to some effects of stabilizer, namely stabilizing and burying the anchor itself, in process of dragging.

Key Words : dragging field test, stabilizer-anchor, stabilizer, stocked anchor, stockless anchor

* Chief of Marine Construction Equipments Laboratory, Machinery Division

**Member of Marine Construction Equipments Laboratory, Machinery Division

3-1-1 Nagase, Yokosuka, 239-0826, JAPAN

Tel:+81-468-44-5044 Fax:+81-468-44-0575 E-mail:nakajima@cc.phri.go.jp

アンカーの把駐性能に関する現地試験
——ストックアンカー、ストックレスアンカーおよび
安定板付きアンカーの把駐力について ——

中 島 忠 男*
潮 見 幸 司**

要 旨

1998年3月2～3日にかけて、兵庫県加古郡東播磨町内実海域においてストックアンカー、ストックレスアンカーおよび安定板付きアンカーの把駐性能に関する現地試験を行った。その結果、以下のことが明らかになった。

- (1) アンカーの種類別の曳引力では、安定板付きアンカー（安定板長さ＝フルーク底面幅の1/1）およびストックレスアンカーが、ストックアンカーよりも良好な結果を示した。
- (2) 安定板付きアンカーにおける安定板長さの把駐性能に対する効果を比較した場合、安定板長さ＝0.750m（安定板長さ＝フルーク底面幅の1/1）の場合の方が、安定板長さ＝0.375m（安定板長さ＝フルーク底面幅の1/2）の場合よりも良好な結果を示した。
- (3) 安定板付きアンカー（安定板長さ＝フルーク底面幅の1/1）における安定板の働きとしては、土質への貫入抵抗としてのマイナス面の働きはあるものの、アンカーの姿勢を安定させようとするプラス面の働き、並びにフルークのみならず安定板によってもアンカーを土質中により深く貫入させようとするプラス面の働きが考えられ、このような働きの大小差の結果として把駐性能を高めることができたと考えられる。
- (4) 寸法比が把駐性能に及ぼす影響に対しては、今回の試験結果からだけでは明確な対応をつけることは困難であった。

キーワード：現地試験、ストックアンカー、ストックレスアンカー、安定板付きアンカー、安定板、把駐性能

* 機械技術部 海洋機器開発室長

**機械技術部 海洋機器開発室

〒239-0826 神奈川県横須賀市長瀬3丁目1番1号

Tel:(0468)-44-5044 Fax:(0468)44-0575 E-mail:nakajima@cc.phri.go.jp

1. まえがき

作業船の大型化にともなう作業船の安全性、稼働率の向上等の観点から高把駐力を有しかつ取り扱いやすいアンカーの出現が望まれている。当所では以上のような要請に鑑み、1996年には、高把駐性能を有するアンカーの形状を探るべく室内模型実験を行った。その室内模型実験では、フルーク形状が二山であるAタイプ、フルーク形状が一つ谷であるBタイプおよびフルーク形状が一山であるCタイプによる把駐性能を比較し、それらの間には顕著な差が見られなかったことを明らかにしている。加えて、アンカーの姿勢を水平に保つ方策として安定板を付加することの有効性を確認し、高把駐性能を有するアンカーの形状として安定板付きアンカーを提案している¹⁾。安定板付きアンカーの安定板の働きとしては、ストックアンカーにおけるストックと同様にフルークの土質への貫入に際しては抵抗となり得るものの、一方では、シャンク回りの不釣り合いモーメントがアンカー曳引中に発生した場合には、安定板に作用する復元モーメントによってアンカーの姿勢を安定させようとする働きをストックアンカーにおけるストック以上に期待しているものである。加えて、フルークのみならず安定板によってもアンカーを土質中により深く貫入させようとする働きを期待しているものである。しかしながら、このような安定板付きアンカーの把駐性能について、室内模型実験において良好な結果を得たにしても、果たして実寸大のアンカーにおける把駐性能を室内模型実験の延長上に置いて評価してよいものかどうか、あるいは船舶の大きさに対応したアンカーを設計する場合に、室内模型実験の延長上に置いてその寸法を決定してよいものかどうかという問題がある。また一方では、たとえ予測通りの把駐力が得られたにしても実寸大のアンカーが実海底で転倒したりする可能性はどうかという安定性に対する懸念もある。そこでこれらの未解決の問題を検証すると同時に実寸大における把駐性能をは握するという観点から、実寸大の安定板付きアンカーの把駐性能に関する現地試験を行った。また、その把駐性能を従来型アンカーと比較するという観点から、同程度の重量のストックアンカーおよびストックレスアンカーについても把駐性能に関する現地試験を行った。

なお、安定板付きアンカーにおける安定板は、安定板付きアンカーの把駐性能を左右するものであり、安定板長さとしては、フルーク底面幅との長さ比が1/2および1/1である2種類を選んだ。また、安定板付きアンカーの把駐性能については、1996年の室内模型実験結果¹⁾と

若干の比較を行った。本報告書は、その結果をまとめたものである。

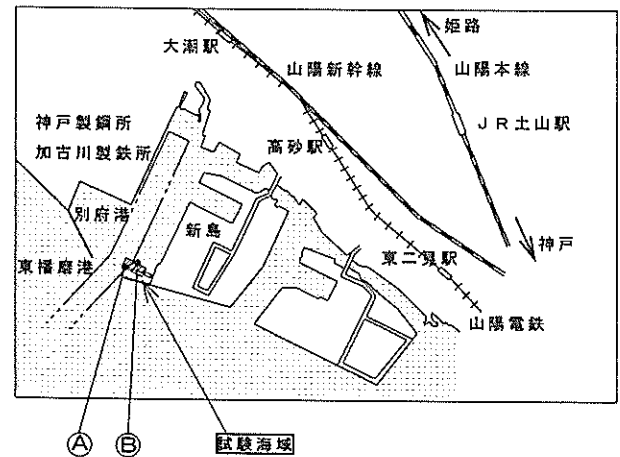
2. 現地試験の概要

2.1 試験日時、試験海域、対象土質

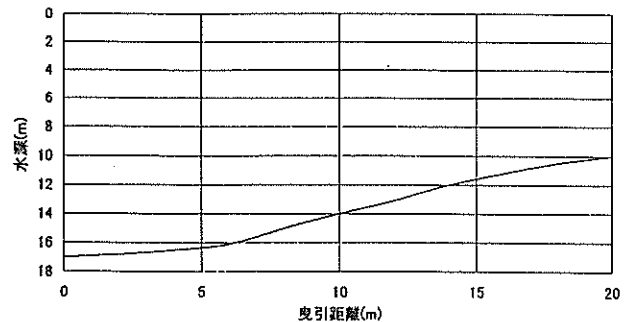
- (1) 試験日時 平成10年3月2～3日
- (2) 試験海域 兵庫県加古郡播磨町新島17-1

寄神建設(株)東播磨工作所付近海域

図一1に試験海域の平面図を示す。試験海域の一部は斜め方向に走る航路と重複した形になっている。また図一2に試験海域内における曳引箇所での代表的な深淺縦断面を示す。曳引距離6m位の箇所から駆け上がり断面となっている。



図一1 試験海域の平面図



図一2 試験海域内における曳引箇所の代表的な深淺縦断面

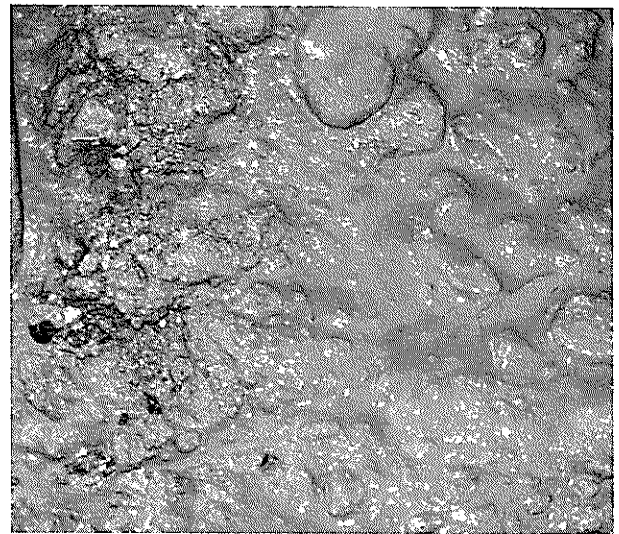
(3) 対象土質

試験対象とした土質は、へどろおよび小石混じりの砂質土である。写真-1 (a) ~ (d) は、図-1 に示した試験海域から採取された試験対象土質の外観を表す。写真-1 (a) ~ (c) は、試験海域が航路と一部重複

していたA地点から採取されたものであり、へどろがかなり含まれていた。また写真-1 (d) は、航路からはずれたB地点から採取されたものであり、ところどころに小石が混じっていた。このように試験対象土質としては、必ずしも良好な砂質土というわけではなかった。



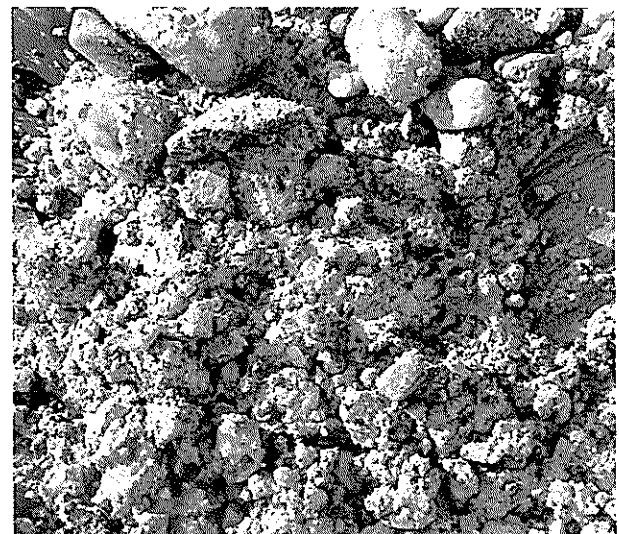
(a)



(b)



(c)



(d)

写真-1 試験対象土質：砂の外観

2.2 試験対象アンカー

試験対象としたアンカーは、従来型アンカーであるストックアンカー、ストックレスアンカーの2種類と安定板付きアンカー2種類との計4種類とした。従来型アンカーの2種類は、安定板付きアンカーと従来型アンカーとの把駐性能を比較するという観点から、安定板付きアンカーと同程度の重量であるストックアンカーおよびストックレスアンカーを選んだものである。表-1は、今回の現地試験の対象としたアンカー種類別の主要諸元を一覧に示したものである。以下にそれぞれのアンカーの概要を述べる。

表-1 試験対象アンカー主要諸元

| 名 称 | | 安定板付き アンカー | ストック アンカー | ストック レス アンカー |
|-----------------|------------|----------------|------------------|--------------------|
| 項 目 | | | | |
| 重 量 (tf) | | 2.7 | 2.5 | 3.3 |
| シャンク 角度 (°) | | 25 | 0 ~ 50 | -42 ~ 42 |
| 外形 寸法 (m) | シャンク 長さ | 2.73 | 2.73 | 2.39 |
| | フルーク 長さ | 1.585 | 1.625 | 1.27 |
| | 底面幅 | 1.50 | 1.14 | 1.71 |
| | 底面長さ | 0.865 | 0.865 | 0.67 |
| | 安定板 長さ | 0.375 0.750 | 1.07 (ストック長さ) | — |

(1) スtockアンカー

図-3は、ストックアンカーの形状および寸法を示す。フルーク両端のストックは、フルークの土質への貫入に際しては抵抗となり得るものの、一方では、シャンク回りの不釣り合いモーメントがアンカー曳引中に発生した場合には、ストックに作用する復元モーメントによってアンカー姿勢を安定させようとする働きを期待しているものである。ただしアンカーの格納に際しては、ストックがある分だけ取り扱いにくくなる。なおシャンク角は、0°~50°までの可変構造となっている。写真-2は、その外観を表す。

(2) スtockレスアンカー

図-4は、ストックレスアンカーの形状および寸法を示す。フルークの土質への貫入に際しては抵抗が少ないが、一方では、シャンク回りの不釣り合いモーメントがアンカー曳引中に発生した場合には、シャンク回りに作

用する復元モーメントは小さく、アンカー姿勢を安定させようとする働きはあまり期待できない。ただし、アンカーの格納に際しては、ストックが無いのでその分取り扱いが楽になる。なおシャンク角は、-42°~42°までの可変構造となっている。写真-3は、その外観を表す。

(3) 安定板付きアンカー

安定板付きアンカーは、1996年に当所で室内模型実験をしたものの中、フルーク形状が二山であるAタイプ¹⁾でかつ安定板付きのものを選んだ。安定板は、ストックアンカーにおけるストックと同様にフルークの土質への貫入に際しては抵抗となり得るものの、一方では、シャンク回りの不釣り合いモーメントがアンカー曳引中に発生した場合には、安定板に作用する復元モーメントによってアンカーの姿勢を安定させようとする働きをストックアンカーにおけるストック以上に期待しているものである。加えて、フルークのみならず安定板によってもアンカーを土質中により深く貫入させようとする働きを期待しているものである。また安定板長さは、アンカーの把駐性能を左右するものであり、フルーク底面幅との長さ比が1/1および1/2である2種類を選んだ。ここでの安定板長さ=フルーク底面幅の1/2であるアンカーは、安定板長さ=フルーク底面幅の1/1のアンカーの試験が終了後に、安定板長さ=フルーク底面幅の1/2に切断したものを使用した。

図-5は、安定板付きアンカーの形状および寸法を示す。シャンク角は、25°の固定構造となっている。このシャンク角25°は、1996年の室内模型実験において15°、20°および25°とシャンク角を変えた実験中で最も良好な結果を示した値を採用したものである。写真-4は、安定板付きアンカーの外観を表す。

2.3 使用機材

(1) 起重機船

平成10年3月10日に竣工予定のものであり、定格荷重は1,400tfである。なおアンカー曳引用ウインチは、最大30tfの巻き込み能力を持ち、電動機回転数のインバータ制御が可能である。表-2はその主要諸元を示し、写真-5はその外観を表す。

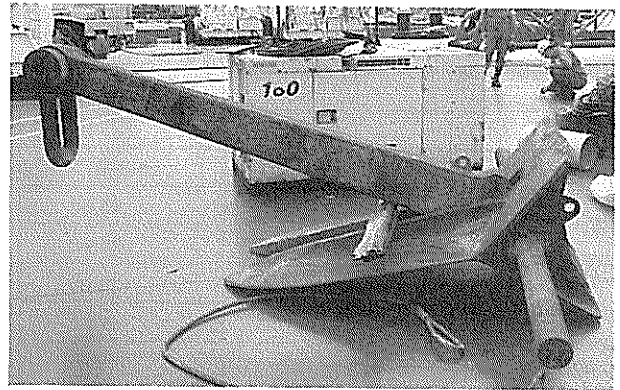
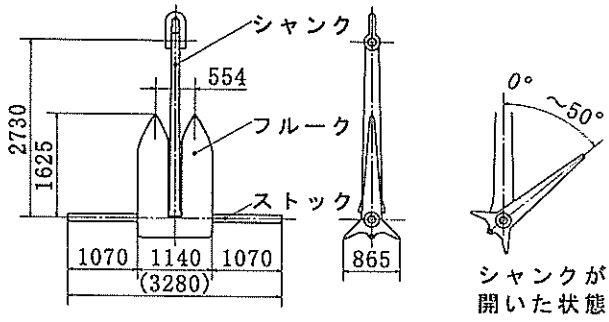


写真-2 スtockアンカー

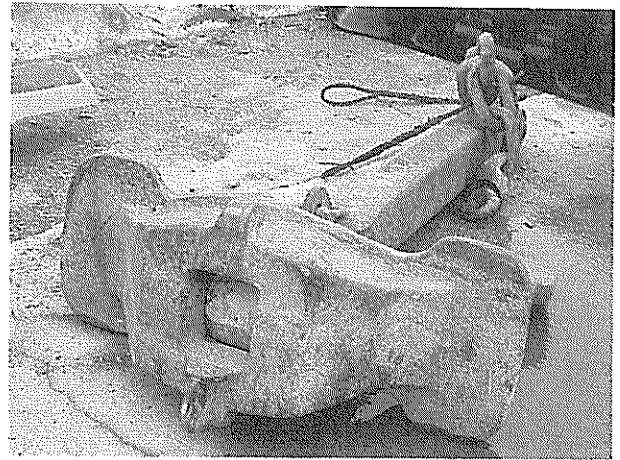
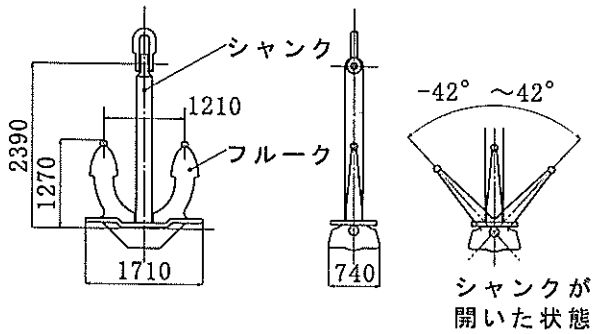


写真-3 スtockレスアンカー

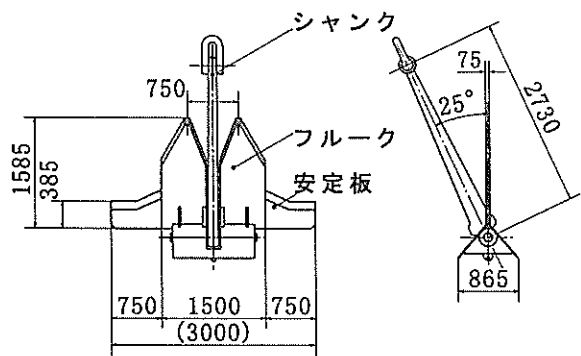
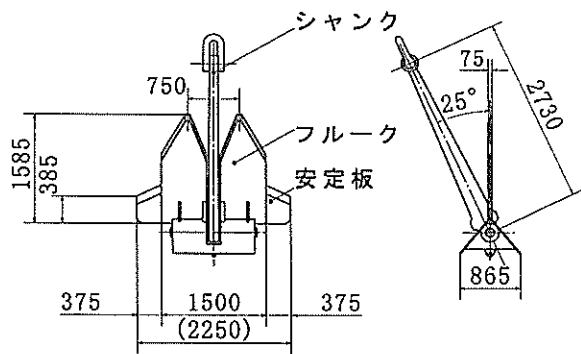


図-5 安定板付きアンカー正面図



写真-4 安定板付きアンカー
(安定板長さ=フルーク底面幅の1/1)

表-2 起重機船主要諸元

| 項 | 目 | 諸元 | |
|-------------------|-----------|--------------------|--------------------------|
| 船名 | | 新建隆 | |
| 排水トン数 | (t) | 8,840 | |
| 船体 主要寸法 (m) | 長さ(O.A.) | 85.00 | |
| | 幅(型) | 36.00 | |
| | 深さ(型) | 6.00 | |
| | 平均喫水 | 3.00 | |
| 動力種類 | | ディーゼル機関 発電式 | |
| 全装備機関(PS) | | 2,326 | |
| 出力 | クレーン用(PS) | 900 × 2 | |
| クレーン型式 | | 起伏式浮き クレーン | |
| クレーン | 主巻 | 定格荷重(t) | 1,400 (350 t × 4 フック) |
| | | リフト(m) | 81.5 |
| | | 巻上速度(m/min) | 1.0 |
| | 補巻 | 定格荷重(t) | 15/5 |
| | | アウトリーチ(m) | 40.0 |
| | | リフト(m) | 81.5 |
| 最大荷重喫水(m) | | 船首 4.82 船尾 1.18 | |
| 製造年 | | 1998年 | |
| 製造所 | | 三菱重工 | |
| 自航・非自航の別 | | 非自航 | |

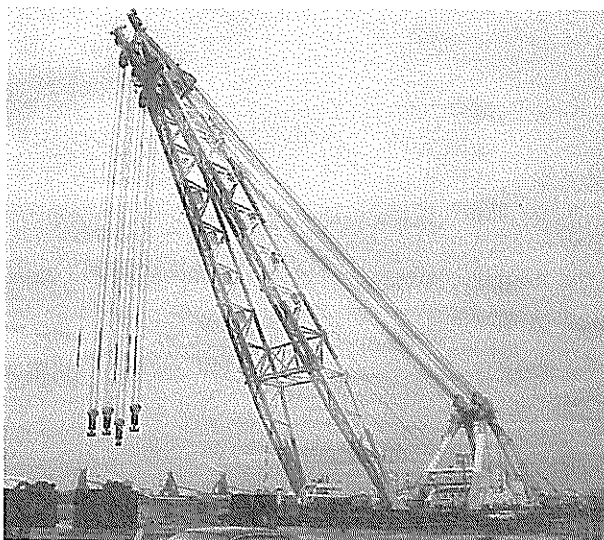


写真-5 起重機船の外観

(2) 揚錨船

昭和63年12月に建造されたものであり、定格荷重は80tfである。表-3は、その主要諸元を示し、写真-6はその外観を表す。

表-3 揚錨船主要諸元

| 項 | 目 | 諸元 | |
|-------------------|-----------|----------------|------|
| 船名 | | 神峽丸 | |
| 排水トン数 | (t) | 295 | |
| 船体 主要寸法 (m) | 長さ(O.A.) | 37.20 | |
| | (P.P.) | 34.20 | |
| | 幅(型) | 12.80 | |
| | 深さ(型) | 3.20 | |
| | 平均喫水 | 1.85 | |
| 動力種類 | | ディーゼル機関 直結式 | |
| 出力 | 全装備出力(PS) | 1,700 | |
| | 推進器用(PS) | 750 × 2 | |
| 速力 | (kt) | 10 | |
| 航行区域 | | 沿海 | |
| 能力 | 揚錨 | 定格荷重(t) | 80 |
| | | 定格荷重(t) | 80 |
| | クレーン | アウトリーチ(m) | 5.2 |
| | | リフト(m) | 18.0 |
| 製造年 | | 1988年 | |
| 製造所 | | 神例造船 | |



写真-6 揚錨船の外観

(3) フルーク貫入深さ測定用ポール

長さ3.80m、直径65mmのプラスチック製中空ポールに赤および白のビニール製粘着テープをツートンカラー状に貼り付けたものである。写真一七は、その外観を表す。

(4) 水深測定用レッド

直径16mmのロープで4.6kgfの重錘をつり下げ海底地盤に着地させることにより、水深を測定するものである。写真一八は、その外観を表す。

(5) ウィンチ電圧測定用電磁オシロ計

高速波形現象記録に対応したメモリー機能を搭載し、かつサーマルプリンタが付属されたアナログ式8チャンネルレコーダである。写真一九は、その外観を表す。

2.4 測定項目、測定日程、測定方法、測定内容

(1) 測定項目

a) 事前陸上

事前の陸上における測定項目を以下に示す。

- ・アンカーの主要諸元
クレーンの荷重計を使用してアンカー重量等の測定を行う。
- ・ポール長さ、アンカー取り付け用クレモナロープ長さ
長さとしてポールの合計長さ

b) 揚錨船上

揚錨船における測定項目を以下に示す。

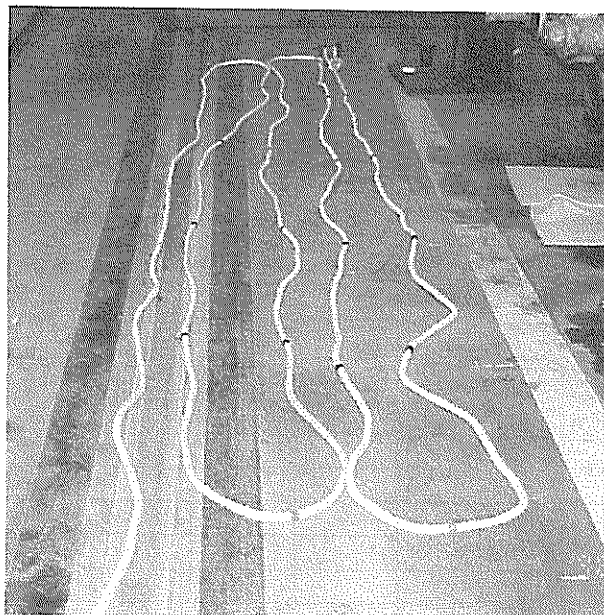
- ・時刻
- ・水面上ポール長さ
- ・水深

c) 起重機船上

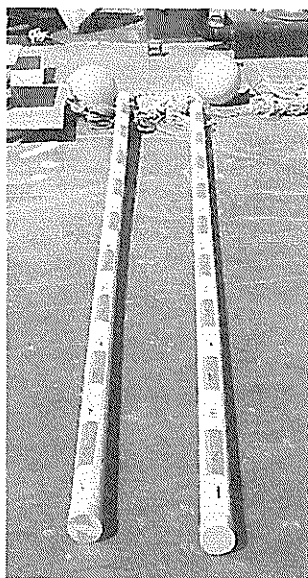
起重機船における測定項目を以下に示す。

測定項目

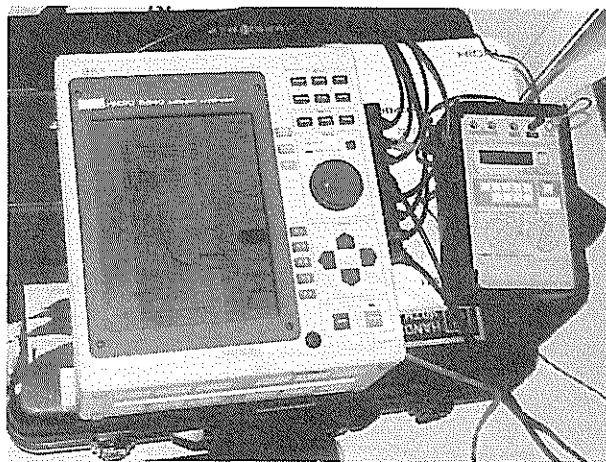
- ・時刻
- ・アンカー曳引用ウィンチ電圧
- ・アンカー曳引用ワイヤロープの繰り出し長さの読み



写真一八 水深測定用レッド



写真一七 フルーク貫入深さ測定用ポール



写真一九 ウィンチ電圧測定用電磁オシロ計

(2) 測定日程

表-4 は、試験条件も含めた測定日程の一覧を示す。

(3) 測定方法

図-6 は、現地試験の測定概況を模式的に示したものである。アンカーの曳引は、岸壁にたて付けした起重機船から水平距離で約120m離れた海域に揚錨船を配置し、この揚錨船により試験対象アンカーを所定の海底に設置した後、起重機船上のウィンチで31mm/sの曳引速度で約20m巻き寄せるといった方法を使った。この曳引の間に、時刻とともに曳引力、水面上ポール長さ、水深等の一連の測定を行う。図-7 は、曳引中の水深および水面上測定用ポール長さの測定状況を模式的に示したものである。写真-10 および写真-11 は、水面上ポール長さおよび水深の測定の様子を表す。一方起重機船上では、時刻

とともにアンカー曳引用ワイヤロープの繰り出し長さおよびウィンチ電圧を測定する。写真-12 は、起重機船からのアンカー曳引用ワイヤロープの繰り出し長さの測定の様子を表す。また写真-13 は、起重機船における曳引用ウィンチ電圧の測定の様子を表す。

以後は、以上の作業を所定の測定回数、測定ケースまで繰り返すことになる。

表-4 試験条件一覧表

| | 番 | 時 | 土質 | アンカー種類 | | | 備考 | | |
|-------------|--------|------|----|--------|--------|---------------|--------|--------|--|
| | | | | 従来型 | | 安定板付き 安定板長 | | | |
| | | | | ストック | ストックレス | | | | |
| 1 日 目 | 午 前 | 0 | -- | ..... | ..... | ..... | 準備 | | |
| | | 0 | -- | ..... | ..... | ..... | 準備 | | |
| | 午 後 | 0 | -- | ..... | ..... | ..... | 準備 | | |
| | | 0 | -- | ..... | ..... | ..... | 準備 | | |
| 2 日 目 | 午 前 | 1:03 | 1 | ○ | ..... | ..... | 0.750m | | |
| | | 1:54 | 2 | ○ | ..... | ..... | ..... | 0.750m | |
| | 午 後 | 3:07 | 7 | ○ | ..... | ..... | ..... | 0.375m | |
| | | 4:13 | 8 | ○ | ..... | ..... | ..... | 0.375m | |
| | | 5:12 | 3 | ○ | ..... | ○ | ..... | ..... |  |
| | | 6:07 | 4 | ○ | ..... | ○ | ..... | ..... |  |
| | | 7:10 | 5 | ○ | ○ | ..... | ..... | ..... |  |
| | | 8:11 | 6 | ○ | ○ | ..... | ..... | ..... |  |

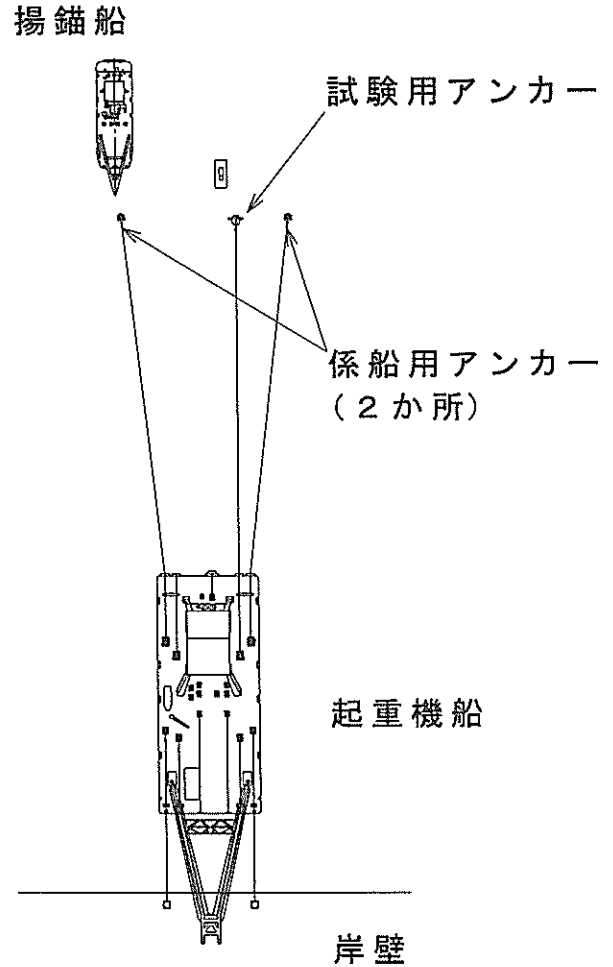


図-6 測定の全体概況図

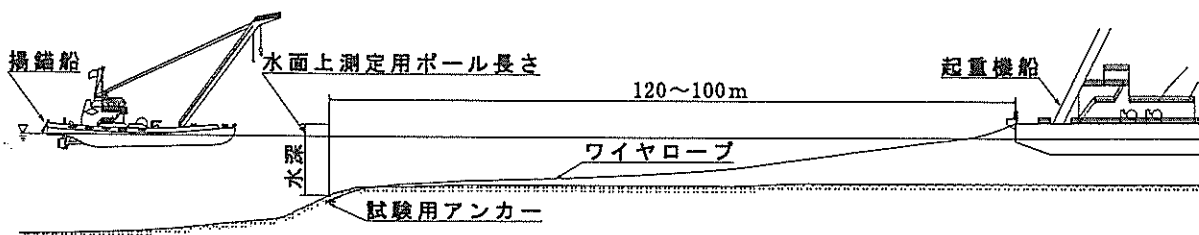


図-7 水深および水面上測定用ポール長さ測定状況

(4) 測定内容

a) 曳引力、把駐力係数

電動機のトルクとウィンチ電圧との関係は較正值として既知であるので、電磁オシロ計上のウィンチ電圧を測定することで電動機トルクが求められ、さらにウィンチドラムのワイヤロープの巻き取り半径、ギヤ比および回転数からワイヤロープの張力が算出される。具体的には以下の式でワイヤロープの張力は算出される。

$$f = x \cdot \beta \cdot \delta / r \dots\dots\dots(1)$$

ここで

- f : ワイヤロープ張力 (= 曳引力)
- x : 電磁オシロ計のウィンチ電圧読み
- β : 較正值 (= $149.9 \text{kgf} \cdot \text{m} / 4.9 \text{V}$)
- δ : ギヤ比 (= 174.68)

r : ウィンチドラムのワイヤロープ巻き取り半径

(= 0.6889m [曳引時])

~ 0.7340m [キャリブレーション時])

写真-14は、アンカーを曳引した場合のウィンチ電圧の測定例を表す。

するとアンカー取り付け部の曳引力は、曳引力 \times ワイヤロープ張力とみなせば、把駐力は以下の式から算出される。

$$F = f \cos \theta \dots\dots\dots(2)$$

ここで

- F : アンカーの把駐力
- f : アンカー取り付け部の曳引力
- θ : アンカーのカテナリー角

しかしながら、今回の現地試験ではアンカー取り付け



写真-10 水面上ポール長さ読み測定の様子



写真-11 水深測定の様子

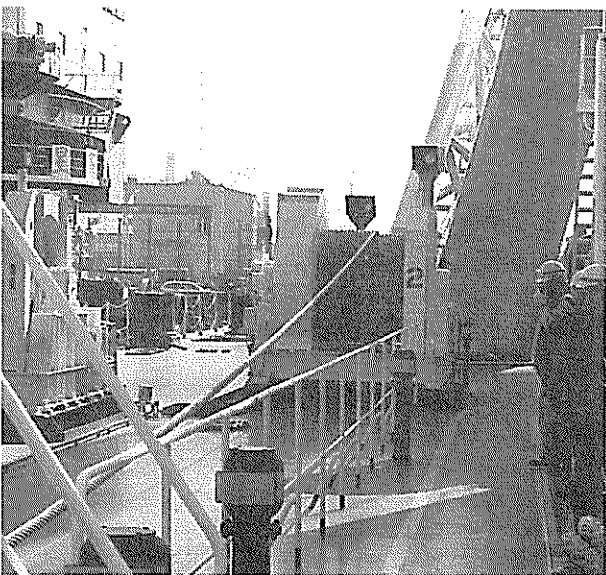


写真-12 アンカー曳引用ワイヤロープ繰り出し長さの測定の様子

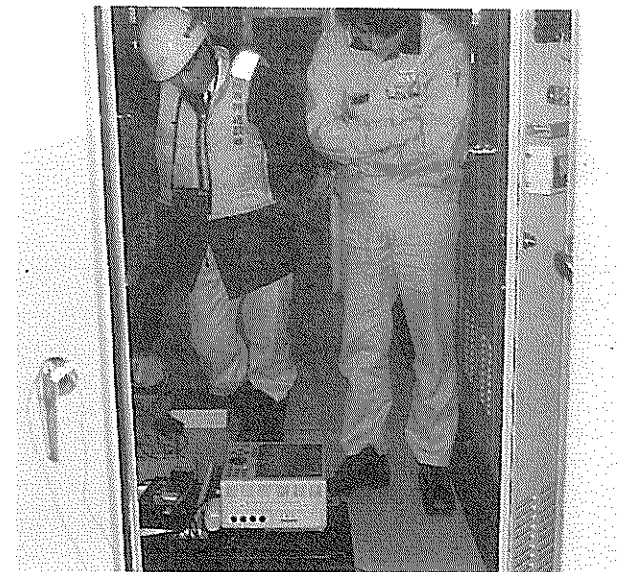


写真-13 ウィンチ電圧測定の様子

部におけるカタナリー角の測定が困難であったこと、並びにアンカーと起重機船までの距離、すなわち水平距離は100~120mとじゅうぶんであったこと等からアンカー取り付け部におけるカタナリー角を零とみなした。

したがって、

$$f \doteq F \dots\dots\dots (2')$$

すなわち曳引力（もしくは曳引用ワイヤロープ張力）は把駐力に等しいとして扱うことにした。（以下本文では、曳引力は把駐力と同義語として扱うことにする。）

また把駐力係数は、アンカーの把駐性能を評価する指標の一つであり、海洋構造物設計指針（案）²⁾には以下の式が示されている。

$$F = \alpha K W_w \dots\dots\dots (3)$$

ここで

F : アンカーの把駐力

K : 把駐力係数

W_w : アンカーの水中重量

α : 重量による低減係数

$$W_w < 50tf \quad \alpha = 1$$

$$W_w > 50 \sim 300tf \quad \alpha = 0.6 \sim 1$$

ただし、今回はアンカー水中重量の代わりに空中重量を採用して把駐力係数を算出した。

b) フルーク貫入深さ

アンカーの曳引力は、主としてフルークが土質中に深く貫入することで発生する。したがって、アンカーが土質中に貫入しやすいか否かはアンカーの把駐性能を決定する重要なパラメータである。

図-8は、フルーク貫入深さの定義図を示す。ここでこのフルーク貫入深さは、フルーク先端のかぶり土厚と定

義した。フルーク貫入深さは、図-8に示すように曳引中の水面上ポール長さおよびその時の水深を知れば、以下のように算出される。

$$h = (y_0 + d_0) - (y + d) \\ = (\ell + m) - (y + d) \dots\dots\dots (4)$$

ここで

h : フルーク貫入深さ

y_0 : アンカーを海底面に設置した場合の水面上ポール長さ

y : アンカー曳引中の水面上ポール長さ

d_0 : アンカーを海底面に設置した場合の水深

d : アンカー曳引中の水深

ℓ : ポール長さ

m : アンカーおよびポール取り付け用クレモナロープの長さ

c) 曳引距離

曳引距離は、起重機船上からの曳引用ワイヤロープに目印となる目盛りを2.0mごとにつけておくことで、ウィンチからのワイヤロープの繰り出し長さが読み取れるようにした。

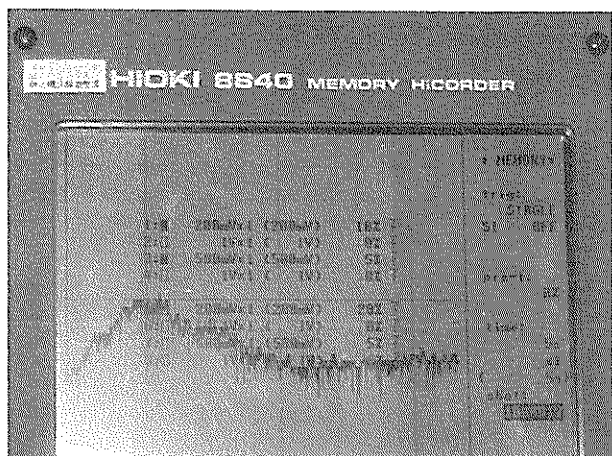


写真-14 ウィンチ電圧測定例

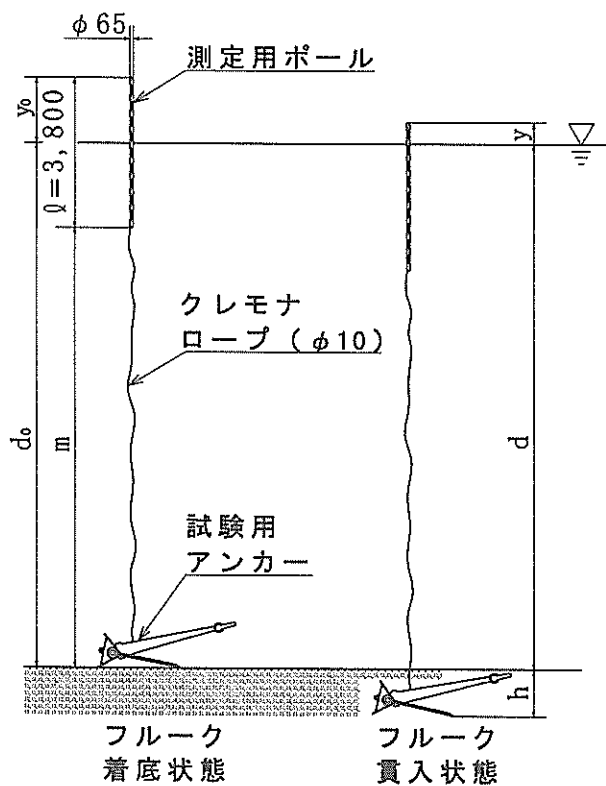


図-8 フルーク貫入深さの定義図

3. 試験の結果および考察

3.1 曳引力の測定波形

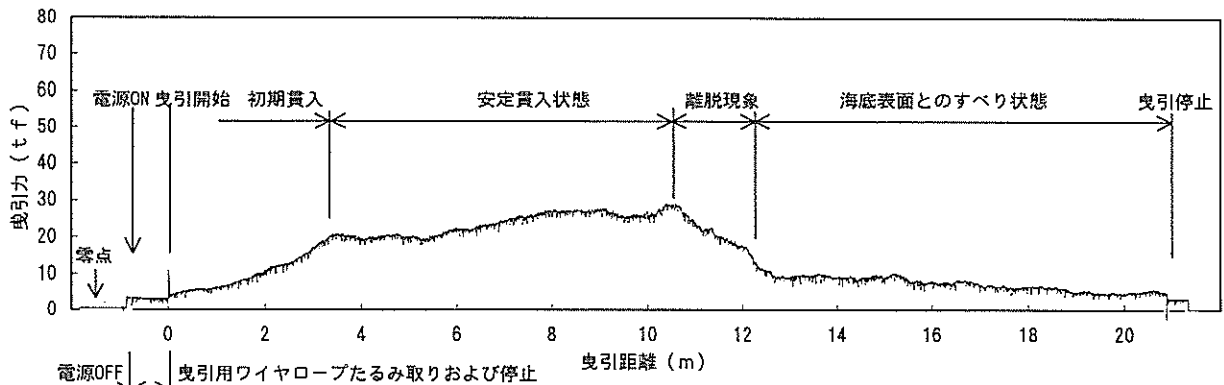
電磁オシロ計上のウィンチ電圧が測定できれば、(1)式から容易に曳引力が算出される。したがって、電磁オシロ計でウィンチ電圧を連続的に測定すれば、曳引開始からの経過時間（もしくは曳引距離）に対する曳引力の変化が連続波形として求められる。

今回の現地試験では、写真-1 (a) ~ (d) に表したように予想以上に土質が不均質であった。加えて、図-1 に示したように曳引初期区間に航路が一部斜めに横切る箇所があり、必ずしも海底起伏が平坦ではなかった。したがって、曳引箇所がごく近傍でありかつ同種のアンカーであっても曳引力の測定波形は必ずしも同様な形状を示さなかった。

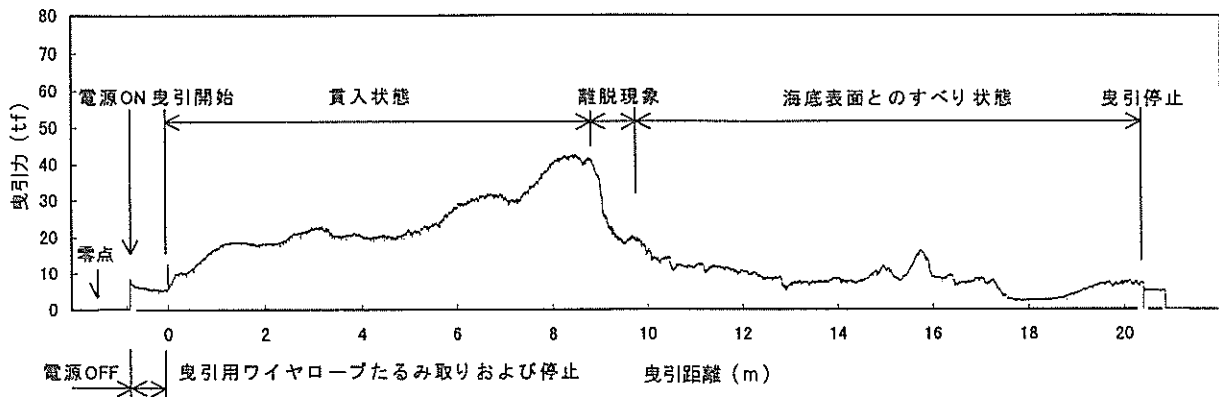
図-9 (a) ~ (b) は、そのような条件の下での曳引力が最大を示した場合の測定波形例である。図-9 (a) は、安定板付きアンカー（安定板長さ=フルーク

底面幅の1/1) の1回目の測定例である。図-9 (a) を見ると、アンカー投錨後、波形は徐々に安定した上昇曲線を描き、ピーク値に達した後急激に落下した曲線となっている。しかもこの落下時の曲線部分は、高々2mの曳引区間で生じている。これまでの現地試験例³⁻⁶⁾から比較すると、曳引中に曳引力が急激に低下するような現象は、アンカー姿勢が不安定で転倒した状態以外は報告されておらず、不合理な現象と言える。そしてその後の波形が緩やかに減少もしくは横這い傾向を辿っていることを考えると、曳引力の急激な低下は、アンカーが海底地形もしくは土質の急激な変化等に誘発されて、アンカーが海底土質中から海底面へと離脱してしまったと推測される。それ以後は海底地盤が固くアンカーが貫入して行かないで、いわゆる海底面を滑っている状態であると推測するとうまく説明できる。

次に図-9 (b) は、ストックレスアンカーの1回目の例である。この図を見ると、アンカー投錨後、波形は徐々に安定した上昇曲線を描き、急激に増大した形でピ



(a) 安定板付きアンカー（安定板長さ=フルーク底面幅の1/1)における曳引力測定波形例（1回目）



(b) スtockレスアンカーにおける曳引力測定波形例（1回目）

図-9 ウィンチ電圧測定波形例

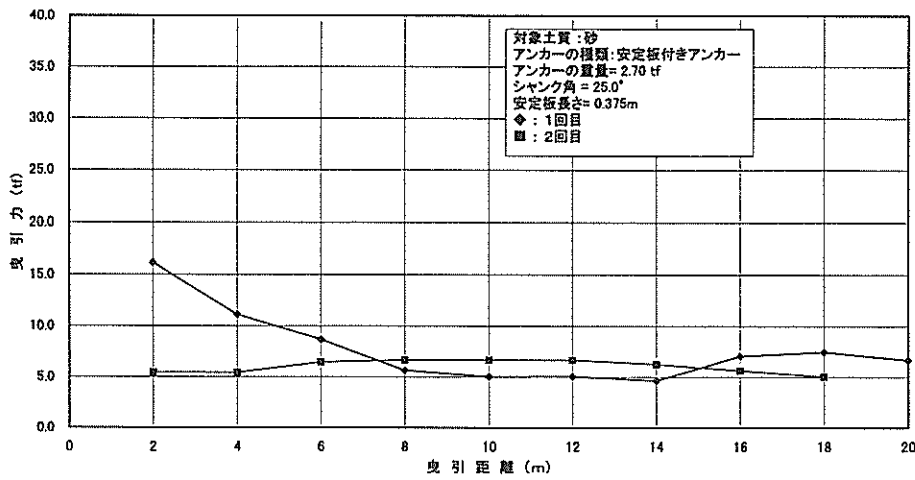
ーク値に達し、その後急激に低下し以後の波形は緩やかに減少もしくは横這い傾向を辿っている。この時の現象も高々1mの曳引区間で生じており、これまでの現地試験例³⁻⁶⁾から比較すると、安定板付きアンカーの場合と同様に不合理な現象と言える。つまり曳引力の急激な低下は、アンカーが海底地形もしくは土質の急激な変化等に誘発されたりして曳引力が高目に生じた後、アンカーが海底土質中から海底面へと離脱してしまったと推測される。それ以後は地盤が固くアンカーが貫入して行かないで、いわゆる海底面を滑っている状態であると推測するとうまく説明できる。

以上のように、今回の現地試験においては電磁オシロ計のウィンチ電圧測定波形の不合理な現象がいくつか見

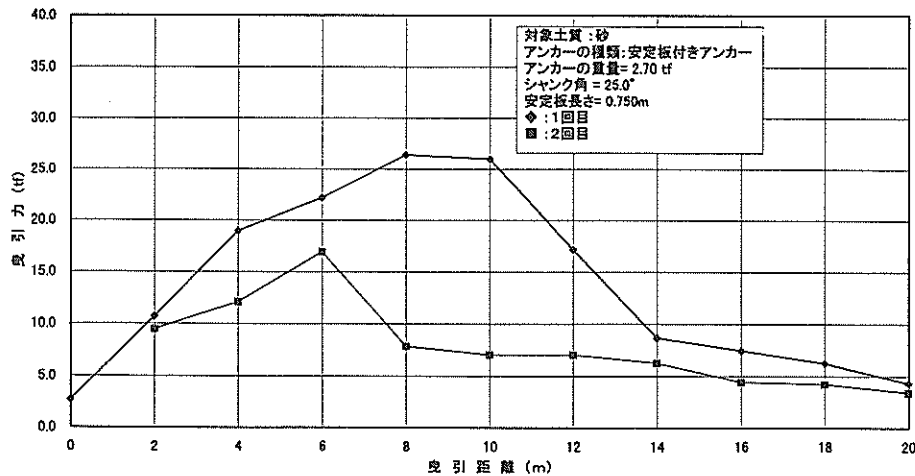
られた。したがって、今回の試験海域においては、海底の地形や土質等に不均質な箇所があったと判断され、それによって曳引力の測定結果が多少なりとも影響を受けたことは否定できない。

3.2 曳引力、把駐力係数

図-10 (a) ~ (d) は、横軸に起重機船からアンカーまでの曳引距離を2mごとに採り、たて軸に電磁オシロ計の電圧を(1)式によって曳引力に換算し、アンカー種類別の曳引距離に対する曳引力の変化を見たものである。なお、それぞれの図中には測定2回分の結果がプロットされている。また、図-10 (e) は、図-10 (a) ~ (d) までの結果をまとめて示したものである。

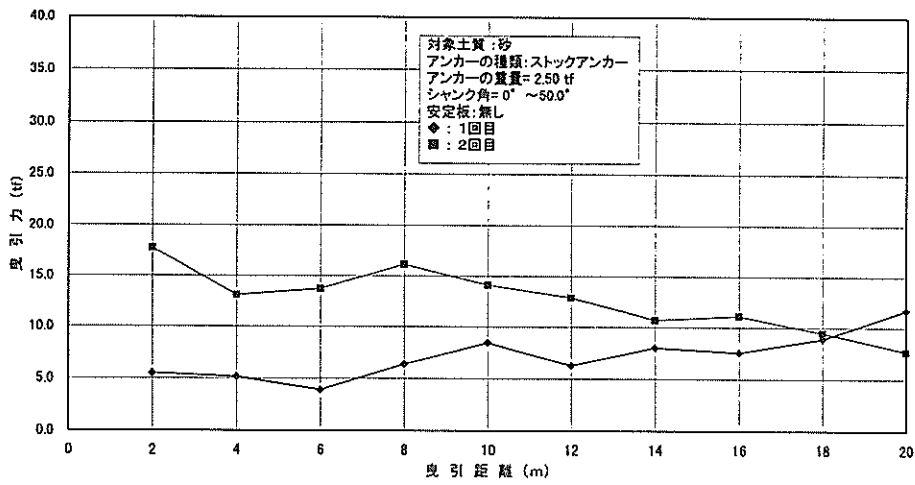


(a)

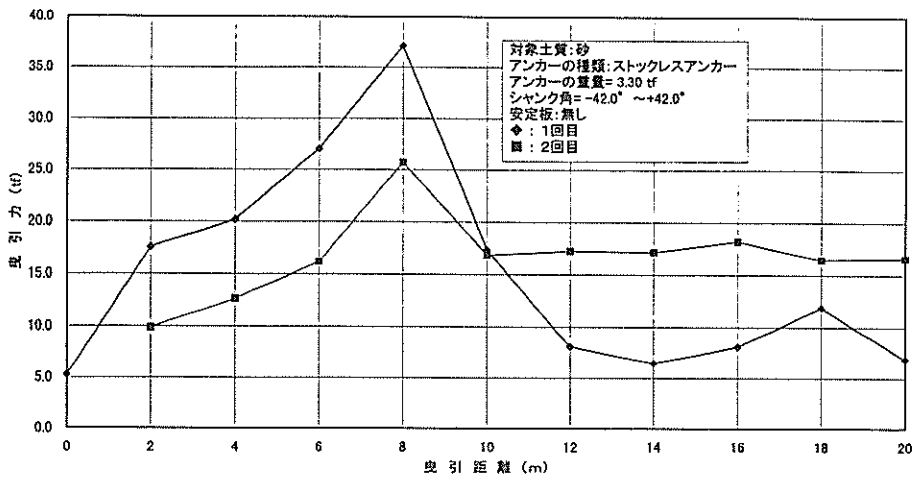


(b)

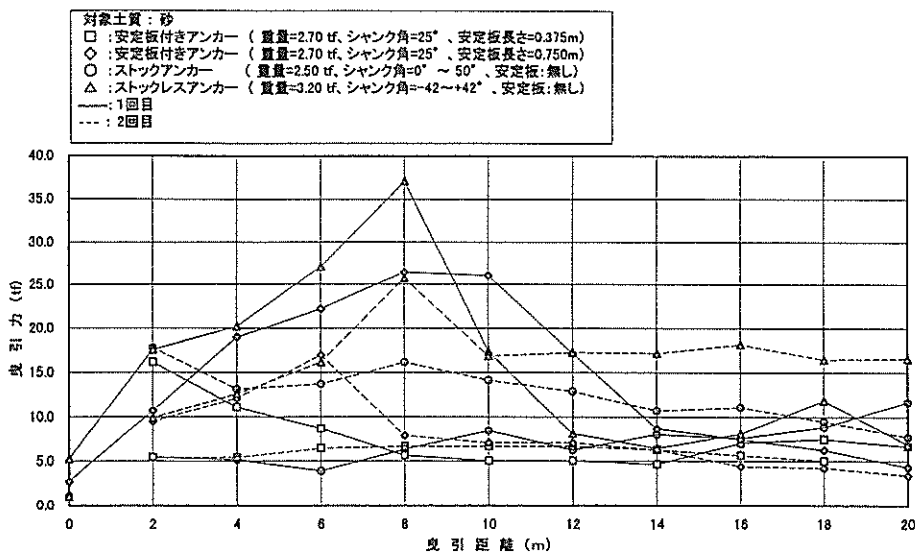
図-10 曳引距離に対する曳引力の変化



(c)



(d)



(e)

表-5 アンカー種類別の把駐性能一覧

| アンカーの種類 | 安定板付きアンカー (安定板長さ=0.375m) | 安定板付きアンカー (安定板長さ=0.750m) | ストックアンカー | ストックレスアンカー |
|------------|-----------------------------|-----------------------------|----------|------------|
| 重量 (tf) | 2.70 | 2.70 | 2.50 | 3.30 |
| 最大曳引力 (tf) | 16.1 | 26.4 | 11.7 | 37.1 |
| | 6.7 | 16.9 | 17.8 | 25.7 |
| 平均曳引力 (tf) | 7.8 | 13.7 | 7.2 | 15.1 |
| | 6.0 | 7.9 | 12.7 | 16.7 |
| 最大把駐力係数 | 6.0 | 9.8 | 4.7 | 11.3 |
| | 2.5 | 6.3 | 7.1 | 7.8 |
| 平均把駐力係数 | 2.9 | 5.1 | 2.9 | 4.6 |
| | 2.2 | 2.9 | 5.1 | 5.1 |

アンカーが同一種類であっても曳引力の大きさが異なるのは、前述したように曳引間における土質が必ずしも均一とは言えないことによると考えられる。

アンカーの種類別の曳引力の大きさを見ると、それぞれのアンカー種類別のシャンク角は異なっているが、安定板付きアンカー（安定板長さ=0.750m）とストックレスアンカーがストックアンカーを上回り概ね良好な結果を示している。特に、安定板付きアンカー（安定板長さ=0.750m）の1回目の試験における曳引力は、ストックレスアンカーの1回目の試験での曳引力と比べて最大曳引力はわずかながら小さいにしても、全体的な曳引力を示す曲線はなだらかであり、ストックレスアンカーよりもむしろ安定しているとも言える。ただし、安定板付きアンカー（安定板長さ=0.750m）の2回目の曳引力の曲線ではそのような傾向を再現しておらず、再現性の点から明確には言えない。

表-5は、図-10(a)～(d)における曳引力の最大値を最大把駐力として求めると同時に、その最大把駐力を(3)式に代入することで算出した把駐力係数をアンカー種類別に示したものである。また表-5中における平均曳引力とは曳引距離区間で測定された曳引力をその測定回数で除したものである。表-5から、ストックアンカーおよびストックレスアンカーの最大曳引力は、2回の測定の中良好な方の結果では、17.8tf、37.1tfであり、一方安定板付きアンカーの最大曳引力は26.4tfであった。また、ストックアンカーおよびストックレスアンカーの最大把駐力係数はそれぞれ7.1および11.3であった。一方安定板付きアンカーの最大把駐力係数は9.8であった。これらの値を把駐性能の指標として見れば、安定板付きアンカーはストックアンカーよりも把駐性能は上回っており、ストックレスアンカーと同程度の把駐性能であると言える。

3.3 安定板の効果

(1) 安定板長さ

安定板付きアンカーにおける安定板長さの把駐性能への効果について考える。安定板付きアンカーの曳引距離に対する曳引力の変化を示した図-10(a)～(b)を比較すると、図-10(a)に示す安定板長さ=0.375m（安定板長さ=フルーク底面幅の1/2）の場合では、曳引距離の増加につれて曳引力が増大するということではなく、曳引力としては終始低目の値を示している。一方、図-10(b)に示す安定板長さ=0.750m（安定板長さ=フルーク底面幅の1/1）の場合では、曳引距離の増加につれて曳引力も増大していく傾向を示している。つまり曳引力は、安定板長さ=0.750m（安定板長さ=フルーク底面幅の1/1）の場合の方が安定板長さ=0.375m（安定板長さ=フルーク底面幅の1/2）の場合よりも全体的に大きくかつ安定していることがわかる。この結果は、1996年の室内模型実験結果¹⁾とはいくぶん異なっている。室内模型実験結果においては、安定板長さ=フルーク底面幅の1/2の場合の方が、安定板長さ=フルーク底面幅の1/1の場合よりもわずかに曳引力が大きかったが、今回の現地試験結果ではその逆の傾向となっている。すなわち、安定板長さ=0.750m（フルーク底面幅の1/1）の場合の方が、安定板長さ=0.375m（フルーク底面幅の1/2）の場合よりもはっきりと良好な結果を示している。安定板の働きとしては、フルークが土質中に貫入する際には抵抗とも成り得るマイナス面の働きもあるが、一方では、安定板に作用する復元モーメントによってアンカーの姿勢を安定させようとするプラス面の働き、並びにフルークのみならず安定板によってもアンカーを土質中により深く貫入させようとするプラス面の働きが考えられる。今回の現地試験では、このような安定板の複合的な働きが、模型と実寸大という寸法比によって微妙なずれがあったと考えられる。すなわち、実寸大の安定板長さ=0.750m（フルーク底面幅の1/1）の場合の安

定板の働きとしては、貫入抵抗としてのマイナス面の働きよりも、むしろアンカーの姿勢を安定させようとするプラス面の働きとともに、フルークのみならず安定板によってもアンカーを土質中により深く貫入させようとするプラス面の働きがあったと考えられ、前述の結果は、このような働きの大小差の結果として生じたと考えられる。一方、安定板長さ=0.375m（フルーク底面幅の1/2）の場合は、図-10（a）に示すように曳引力が曳引距離の増加によって低下する場合もあり、アンカーの姿勢が土質中で安定していないか、極端な場合には通常の姿勢を保っていない状態で海底面をすべっていると推測される。ただし今回の試験では、海底土質中におけるアンカーの姿勢については、不明であり、上記の現象は明言できない。しかしながら、実寸大の安定板長さ=0.375m（フルーク底面幅の1/2）の場合の安定板の働きとしては、貫入抵抗としてのマイナス面の働きが安定板長さ=0.750m（フルーク底面幅の1/1）の場合よりも軽減されるものの、アンカーの姿勢を安定させようとするプラス面の働き、並びに安定板によってもアンカーを土質中により深く貫入させようとするプラス面の働きという双方のプラス面の働きが、安定板長さ=0.750m（フルーク底面幅の1/1）の場合と比べてじゅうぶんではなかったと考えられる。したがって、このような安定板の働きの大小差の結果として、安定板長さ=0.750m（フルーク底面幅の1/1）の場合の方が、安定板長さ=0.375m（フルーク底面幅の1/2）の場合よりも把駐性能としては良好な結果を示したと考えられる。

(2) ストックと安定板

ストックアンカーにおけるストックと安定板付きアンカーにおける安定板の把駐性能に対する働きについて考える。図-10（b）～図-10（c）に示す曳引力を比較すると、図-10（b）に示す安定板付きアンカー（安定板長さ=フルーク底面幅の1/1）の場合の方が、図-10（c）に示すストックアンカーの場合よりも上回っており、かつ安定していることがわかる。これは、ストックアンカーにおけるストックの働きとしてはアンカーの姿勢を安定させようとするプラス面の働きがあるものの、写真-1（d）に示したような今回の曳引箇所における硬目の土質では、ストックの土質への貫入抵抗としてのマイナス面の働きの方が大きかったためと考えられる。一方、安定板付きアンカー（安定板長さ=フルーク底面幅の1/1）の場合における安定板の働きとしては、前述したようにストックと同様に土質への貫入抵抗となり得るマイナス面の働きはあるものの、アンカーの姿勢を安定させようとするプラス面の働き、並びにフル

ークのみならず安定板によってもアンカーを土質中により深く貫入させようとするプラス面の働きがあったと考えられる。したがって、安定板付きアンカー（安定板長さ=フルーク底面幅の1/1）の場合は、写真-1（d）に示したような今回の曳引箇所における比較的硬目の土質であってもフルークが土質中に貫入できたと考えられ、結果的には把駐性能を高めることができたと解釈される。加えて、今回の現地試験では、安定板前部エッジ面は上向きカットであった。ただし、1996年の室内模型実験では、安定板前部エッジ面は下向きカットであった。この上向きカットおよび下向きカットの把駐性能に対する効果については、今後の検討課題と考える。

3.4 寸法比の影響

アンカーの寸法比が把駐性能に対して及ぼす影響を考える。土圧論から単純に考えれば、フルークが土質中に貫入していく場合、アンカーに及ぼす土圧抵抗としては、アンカー寸法の自乗に比例する形で増大することになる^{3,7)}。そして、1996年の室内模型実験においては、曳引力とフルーク貫入深さの関係は $f \propto h^{1.5}$ の形で表すことができた。すなわち曳引力はフルーク貫入深さの1.5乗に比例する結果が得られている¹⁾。ここでの指数は、土質やアンカーの形状や大きさ、重量等が相互に関連し合った結果として定まる常数と考えられる。1996年の室内模型実験の結果については、曳引力とはフルークの土質に対する土圧抵抗であると考えた場合、実際に曳引する場合のフルーク前面の土質のせん断抵抗（=せん断強度）が見かけ上低くなったかのような現象であると考えると理解しやすい。ところで今回の現地試験では、フルーク貫入深さ測定用のポールが水面上にうまく倒立しなかったりして、フルーク貫入深さを正確に測定することができなかつたので、フルーク貫入深さに対する曳引力の変化を $f = ch^n$ の形で曲線を当てはめることができなかった。したがって、寸法比が把駐性能に及ぼす影響を式中の指数nの値によって考察することができなかった。

そこで、1996年の室内模型実験結果と今回の現地試験の結果を寸法比と把駐性能に対比させて直接比較することとした。表-6は、安定板付きアンカー（安定板長さ=フルーク底面幅の1/1）における模型および実機の寸法比および把駐性能の比較を一覧に示したものである。ただし室内模型実験と現地試験では土質が同じ砂質土ということではあっても、その性状は大きく異なることには注意を要する。表-6に示すように、模型から実機への移行に際して寸法比が7.5であるのに対して、重量比は1148と著しく増大している。そしてそのような寸法比

表一六 安定板付きアンカー（安定板長さ＝フルーク底面幅の1/1）における模型および実機の把駐性能比較

| 土質 | アンカーの種類 | フルーク幅 (m) | 寸法比 | 重量 (tf) | 重量比 | 最大曳引力 (tf) | 平均曳引力 (tf) | 最大把駐力係数 | 平均把駐力係数 |
|----|---------|-----------|-----|---------|------|------------|------------|---------|---------|
| 砂 | 模型 | 0.20 | 1.0 | 0.002 | 1 | 0.09 | 0.10 | 38.3 | 40.9 |
| 砂 | 実機 | 1.50 | 7.5 | 2.700 | 1148 | 26.4 | 13.7 | 9.8 | 5.1 |

および重量比の変化に対して最大曳引力は、模型で0.09tfから実機で26.4tfへと変化している。一方最大把駐力係数は、そのような寸法比および重量比の変化に対して模型で38.3から実機で9.8へと変化している。重量は、理論上寸法比の3乗に比例して確実に増大する訳であり、一方アンカーに及ぼす土圧抵抗としての最大把駐力は、理論上アンカー寸法の自乗に比例する形で増大することになる³⁾⁷⁾が、現実には土圧抵抗として考える場合の最大把駐力は、寸法の自乗に比例する形よりも低い値となる傾向にある。したがって、最大把駐力を理論上は寸法比の3乗の形で増大する重量で除する最大把駐力係数は、模型から実機への移行に際しては当然の帰結として低下した値とならざるを得ない傾向にある。

曳引力を増大させるためには、フルークの形状を工夫することでいかにしてフルークを土質中に深く貫入させるかということに帰着できるが、比較的硬い土質や貫入初期段階においてフルークが土質中に貫入していくためには、アンカー重量が重要な役割を果たすとも言われている³⁾。例えば、やらかい土質であっても相対的にアンカーが小さい場合は、アンカーに対しては見かけ上硬い土質であるかのような挙動をするので、そのような場合はシャンク角度を小さくすることが必要との報告³⁾もある。これらの点を考えると、アンカーの寸法比が曳引力に及ぼす影響は必ずしも単純かつ明快ではない。つまり曳引力は、アンカーの形状、重量、土質、シャンク角や曳引角を含めた曳引条件等とも複雑に関連し合った末の結果であると考えられる。

今回の試験結果では、アンカーの把駐性能に対するアンカー形状による効果よりも寸法比および重量比の増大による影響の方がより大きかったと考えられるが、今回の試験結果だけでは明確な対応をつけることは困難であった。

4. まとめ

本試験結果から得られた主要な結果をまとめると、以下のとおりである。

- (1) アンカーの種類別の曳引力では、安定板付きアンカー（安定板長さ＝フルーク底面幅の1/1）およびス

トックレスアンカーがストックアンカーよりも良好な結果を示した。

- (2) 安定板付きアンカーにおける安定板長さの把駐性能に対する効果を比較した場合、安定板長さ＝0.750m（安定板長さ＝フルーク底面幅の1/1）の方が、安定板長さ＝0.375m（安定板長さ＝フルーク底面幅の1/2）の場合よりも良好な結果を示した。
- (3) 安定板付きアンカー（安定板長さ＝フルーク底面幅の1/1）の場合の安定板の働きとしては、土質への貫入抵抗としてのマイナス面の働きはあるものの、アンカーの姿勢を安定させようとするプラス面の働き、並びにフルークのみならず安定板によってもアンカーを土質中により深く貫入させようとするプラス面の働きがあったと考えられ、このような働きの大小差の結果として把駐性能を高めることができたと考えられる。
- (4) 寸法比が把駐性能に及ぼす影響に対しては、今回の試験結果からだけでは明確な対応をつけることは困難であった。

5. あとがき

新しい形式のアンカーの把駐性能を現地で検証するという今回のような試みは、現地試験の困難性からあまり例がない。したがって、今回のような現地試験では測定回数が少なく、個々のパラメータに対して明確な結論を出すには至らなかった。したがって今後は、安定板付きアンカーを含めたアンカー種類別、土質条件、フルーク貫入深さ、シャンク角や曳引角を含めた曳引条件等のパラメータを室内模型実験で整理した後、改めてプロトタイプ実験もしくは現地試験等で検証して行くことが必要と考える。

(1998年6月30日受付)

謝辞

今回の現地試験は、社団法人日本作業船協会の協力の下に実施したものである。現地試験の実施に多大なご尽力をいただいた関係者に対しては、ここに感謝の意を表する次第です。

参考文献

- 1) 石塚浩次・林田喜久：高把駐力アンカーの実験, 港湾技研資料No. 866, 1997年6月, 21p.
- 2) 浮体工法開発調査報告書：運輸省港湾技術研究所・港湾建設局, 1985年3月, 171p.
- 3) Gys Degen Kamp, Rob van den Haak：浚渫用アンカーの把駐力の増大, 第13回WODCON発表論文訳, 1993年5月, pp. 61~70
- 4) アンカ（その2）：作業船86巻, 1973年3月, pp. 79~81
- 5) 浦 環：信頼のできる錨, トランスポート, 1983年12月, pp. 10~13
- 6) 浦 環・能勢義昭・坂巻 隆：アンカーの性能と錨地の評価に関する研究, 日本造船学会論文集第160号, 1986年11月, pp. 561~568
- 7) 浦 環・山本善之：アンカーの安定性に関する基礎的研究, 日本造船学会論文集第140号, 1976年11月, pp. 279~285

記号一覧表

- c : 常数
- d_0 : アンカーを海底面に設置した場合の水深
- d : アンカー曳引中の水深
- f : アンカーの曳引力
- F : アンカーの把駐力
- h : フルーク貫入深さ
- K : 把駐力係数
- l : ポール長さ
- m : ポール取り付けワイヤロープ長さ
- n : 常数
- r : ウィンチドラムのワイヤロープ巻き取り半径
- W_w : アンカーの水中重量
- x : 電磁オシロ計の電圧読み
- y_0 : アンカーを海底面に設置した場合の水面上ポール長さ
- y : アンカー曳引中の水面上ポール長さ
- α : 重量による低減係数
- β : 較正值 (=149.9kgf・m/4.9V)
- δ : ギヤ比 (=174.68)
- θ : アンカー取り付けワイヤロープのカテナリー角

港 湾 技 研 資 料 No.919

1998. 9

編集兼発行人 運輸省港湾技術研究所

発 行 所 運輸省港湾技術研究所

横須賀市長瀬3丁目1番1号

印 刷 所 株式会社 シ ー ケ ン

Published by the Port and Harbour Research Institute
Nagase, Yokosuka, Japan

Copyright © (1998) by P.H.R.I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Director General of P.H.R.I.

この資料は、港湾技術研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本資料の全部又は一部の転載、複写は、港湾技術研究所長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。