

運輸省港灣技術研究所

港灣技術研究所 報告

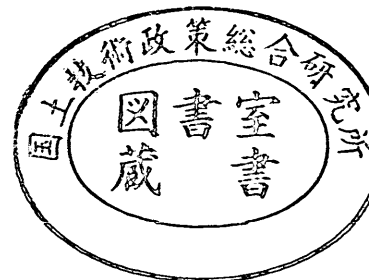
REPORT OF
THE PORT AND HARBOUR RESEARCH
INSTITUTE
MINISTRY OF TRANSPORT

VOL. 18

NO. 4

DEC. 1979

NAGASE, YOKOSUKA, JAPAN



港湾技術研究所報告 (REPORT OF P.H.R.I.)

第18巻 第4号 (Vol. 18, No. 4), 1979年12月 (Dec. 1979)

目 次 (CONTENTS)

1. 干潟上の潮流計算および干潟変形予測の手法
.....加藤一正・田中則男・灘岡和夫..... 3
(Tidal Simulation on Tidal Marsh and Numerical Forecasting of Its Topographic DeformationKazumasa KATOH, Norio TANAKA and Kazuo NADAOKA)
2. 護岸のある海浜の変形数値計算.....小笹博昭・Alan H. Brampton..... 77
(Models for Predicting the Shoreline Evolution of Beaches backed by Seawalls
..... Hiroaki OZASA and Alan H. Brampton)
3. 走びょう中のいかりの挙動と走びょう抵抗力特性
.....清宮理・藤沢孝夫・輪湖建雄..... 105
(The Behavior of Dragged Anchors and Dragging Power Characteristics
..... Osamu KIYOMIYA, Takao FUJISAWA and Tatsuo WAKO)

3. 走びよう中のいかりの挙動と走びよう抵抗力特性

清 宮 理*・藤 沢 孝 夫**・輪 湖 建 雄***

要 旨

船舶から投びようされたいかりが、走びようして海底パイプラインを破損する危険性がある。この走びようしているいかりの挙動（いかりの姿勢及び軌跡）を明らかにし、海底パイプラインの適切な埋設深さの決定に資するため、X線撮影法による室内模型実験を行った。また走びよう中のいかりの抵抗力特性をは握するため、あわせて室内模型実験を行った。実験はおもにストックレスアンカーを中心に実施し、次に示す主要な結論を得た。

1. 砂質土地盤中にいかりがその全長程度潜り込んだ場合、つめ(爪)が下向き以外の姿勢では、いかり全長の2~3倍の距離を移動すればいかりは地表面に引き出される。つめが下向きのときは、地表面に向かってやや浮き上がりつつ、ほぼ一定の深さのまま移動する。
2. 軟弱な粘性土地盤中では、つめが下向きの姿勢の場合にのみ食い込みがある。また、いずれの姿勢の場合でも地表面に引き出されることなくいかりは地盤中を移動する。
3. 乾燥砂地盤中におけるいかりの最大走びよう抵抗力は、いかりの姿勢に関係なく、いかりの重量及び潜り込み深さにおおむね比例する。
4. 軟弱な粘性土地盤中で、いかりがその全長近く潜り込んだときの最大走びよう抵抗力は、いかりの姿勢に関係なくいかり重量のほぼ3倍程度である。
5. 軟弱な海底地盤に設置される通常海底パイプラインにおいては、周辺の軟弱地盤に投びようされたときのいかりの貫入量以上にパイプを埋設しておけば、走びようによりパイプが損傷を受ける可能性は小さい。

* 構造部 構造解析主任研究官

** 構造部 沈埋構造研究室

*** 構造部 沈埋構造研究室長

The Behavior of Dragged Anchors and Dragging Power Characteristics

Osamu KIYOMIYA*

Takao FUJISAWA**

Tatsuo WAKO***

Synopsis

The authors carried out a model test, by X-ray apparatus, to investigate the behavior of ship anchors (stockless anchors) dragging on the seabottom and the effects on submarine pipelines. Furthermore, we carried out another model test to know the dragging resistance characteristics of anchors. The results obtained from these tests are given as follows:

- 1) Anchors break up the ground surface within the dragging distance of 2~3 times the anchor length in almost all cases where they are buried in sandy ground within the depth of one anchor length. However, when the anchor flukes turn downward, they gradually come to the ground surface just after starting to drag, then are dragged in the ground with almost constant burial depth within the dragging distance of 5~6 times the anchor length.
- 2) When anchors are dragged in soft clay and the anchor flukes turn downward, the anchors sink in the ground just after starting to drag and they do not break up the ground surface. In other cases, anchors are dragged in the ground without sinking, regardless of the posture.
- 3) The maximum dragging power of anchors in sandy ground is roughly proportional to the weight of anchors and the burial depth, regardless of the posture.
- 4) The maximum dragging power in soft clay is about 3 times the weight of anchors when they are buried to the depth of one anchor length.
- 5) There is little possibility of damaging submarine pipelines, even though anchors start to drag, when pipes are buried deeper than the penetration depth of the anchors.

* Senior Research Engineer, Structures Division

** Member of Subaqueous Tunnels and Pipelines Laboratory, Structures Division

*** Chief of Subaqueous Tunnels and Pipelines Laboratory, Structures Division

目 次

要 旨	105
1. ま え が き	109
2. 実 験 計 画	109
2.1 実験の概要	109
2.2 相 似 則	110
2.3 実 験 装 置	112
2.4 実験方法と実験ケース	115
3. 実験結果とその解析	118
3.1 いかりの走びよう姿勢と軌跡	118
3.2 いかりの走びよう抵抗力	121
4. 海底パイプラインの埋設深さに及ぼす影響	130
5. 結 論	131
6. あとがき	132
参 考 文 献	132
付 録	133

1. まえがき

海底パイプラインの需要は、今後ますます増加していくものと予想されるが、海底パイプラインの安全性の確保に関して検討を要する問題がいくつか残されている。その一つとして、船舶が航行する海域に敷設されたパイプに対するいかりの投走びょうの問題がある。パイプが敷設されている海域は、通常投びょうが禁止されているものの航行中の船舶に緊急事態が発生すれば、投びょうをやむなく行わなければならない場合が起こるし、最悪の場合には船舶の慣性力によって投びょう後いかりが走びょうする恐れもある。また泊地内に停泊している船舶が風、波などの外力で漂流を開始し、これに伴いいかりが走びょうする事態も想定できる。

これらの投走びょうに対して、海底パイプラインは安全でかつその機能が損なわれるものであってはならない。このため投びょうによる衝撃的な荷重に対しては、パイプに生ずる応力が許容応力以内にあること、走びょうに対しては、いかりがパイプを引っかけないことが必要条件である。一度パイプに損傷を与え石油など危険物の漏えいが発生すれば、大規模な海洋汚染を引き起こし、社会的にも経済的にも大きな被害を与えることにもなりかねない。また海底で損傷を受けたパイプの補修には高度の技術と多額の費用が必要である。したがって投走びょうに対するパイプの安全性を確保するため、適切な埋もどし材料を用いかつ合理的な埋設深さを設定する必要がある。

投びょうによるいかりの貫入量やパイプに発生する応力については、実船あるいは非実船による現地実験や模型実験など¹⁾²⁾によりかなりその性質が解明され、これに必要な埋設深さの設定も可能となってきている。

一方、軟弱な海底地盤内（ここでは粘性土地盤を想定）あるいはパイプの埋もどし部（通常埋もどし材料としては砂質土が用いられることが多い）を走びょうするいかりの挙動（いかりの姿勢及び軌跡）については、現地実験及び模型実験の実施例も少なく³⁻⁵⁾、十分には握されていないのが現状である。そこで、まずこのいかりの挙動を直接的に観察するため、X線撮影装置を用いた走びょう模型実験を実施し、いかりの食い込み量及び姿勢の変化などを明らかにすることとした。

また走びょう中のいかりの挙動を示す指標の一つとしてアンカーチェーンに生ずるいかりの抵抗力がある。走

びょう中におけるいかりの姿勢や軌跡とともに、この抵抗力特性についても明らかにすることにより、走びょう現象の説明がより具体的になるものと思われる。そこで、前記模型実験とほぼ同一の条件で、走びょう抵抗力に関する模型実験をも実施することとした。

いかりの走びょう抵抗力に関しては、いかりの種類、重量、姿勢、走びょう速度及び地盤条件など種々の要因が複雑に絡まっており、十分に解明されているとは言い難い。従来の研究では、砂質土地盤の地表面走びょうを取り扱ったものが大部分である^{6,7)}。そこで本研究では地盤内を走びょうするいかりの挙動に着目することとした。ここでは、砂質土地盤における潜り込み深さ及び粘性土地盤におけるいかりの姿勢などを中心として、いかりの抵抗力特性に及ぼす影響について一連の実験を実施した。この走びょう抵抗力実験の結果についてもあわせて報告する。

2. 実験計画

2.1 実験の概要

今回、実験の対象として想定した走びょうの状況を図-2.1に示す。すなわち、パイプライン近くの軟弱な

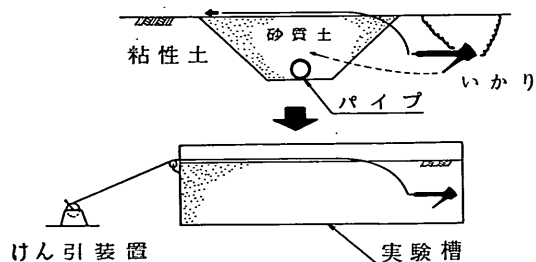


図-2.1 現地と模型実験での走びょうの対応

海底地盤上に投下されたいかりは地盤内に沈み込む。その位置から走びょうを開始し、ある程度の距離を走びょうした後、いかりはパイプの埋もどし部（埋もどし材料は砂質土の場合とする）に到達する。そして埋もどし部を横切りながら、しだいに海底面に浮き上がってくる。これらの一連のいかりの動きを室内模型実験で再現することにして、

1. 走びょう中のいかりの姿勢と軌跡とを把握するためのX線撮影実験
2. いかりの走びょう抵抗力特性を把握するための走びょう抵抗力実験を実施した。

(1) X線撮影実験

一般に模型地盤中を移動しているいかりの挙動を外側から直接的に観察することは、いかりが地表面に現われた場合を除き不可能である。そこで今回、X線を用いて地盤中のいかりを撮影し、その姿勢と位置を確認することを試みた。そして走びよう途中の各段階ごとに撮影されたX線フィルム上のいかりの位置を結ぶことにより、いかりの軌跡を得ることとした。

実験に際しては、図-2.1 に示した走びよう現象を地盤状態をも含めて忠実に実験槽内に再現すべきであるが、種々の制約により模型地盤を砂質土地盤（埋もどし部の地盤）と粘性土地盤（埋もどし部周辺の地盤）とに別々に作成し、各々の地盤について実験を行った。また、地盤の条件としては緩い砂質土地盤及び極めて軟弱な粘性土地盤とし、いずれも走びようによる海底パイプラインへの影響が大きくなると考えられる場合を想定した。なお、砂質土地盤については実験上の都合もあって、乾燥（気乾）状態と水による飽和状態の2種類について実験を実施した。

実験に使用したいかりは、現在日本の大型船舶で一般に広く用いられているストックレスアンカーとした。いかりの重量は、JIS⁹⁾ に定められている最大級の18.5トン型ストックレスアンカー（対象船舶としては20万重量トン級が相当する）を想定し、後に述べる相似則に従い模型いかりの重量を定めた。なお、ストックレスアンカーの規格は、JIS F 3301 に定められており、実験に使用した模型いかりもこの規格に従って製作した。

走びよう開始前の、すなわち投びよう後のいかりの貫入量とその姿勢（つめの向きなど）が、走びよう中のいかりの姿勢と軌跡に大きな影響を与える。軟弱な粘性土地盤に18.5トン型のいかりを投下したときの貫入量は、中山・清宮の研究⁹⁾によるとおよそいかりの全長程度とみなせる。したがって今回の実験においては、いかりのこの貫入深さをもって走びようの開始位置とした。また砂質土地盤での実験の走びよう開始位置は、粘性土地盤中を走びようしてきたいかりが埋もどし部に到着したときの位置であるが、これを明確に定めることは困難であるので粘性土地盤でのいかりの初期の深さに近い値とみなして実験を行った。次に走びよう開始時のいかりの姿勢については、千差万別であり種々の形態が考えられるが、それらの内代表的な姿勢としていかりのつめ（爪）の方向が上向き、下向き及び水平の3種類（いずれもいかりのシャンクは水平とした）を本実験の基本的なパタ

ーンとして考慮した。

以上により走びよう開始時のいかりの位置、姿勢を定め、この状態に合うようにあらかじめの模型地盤内にいかりを埋設してから実験を行った。

(2) 走びよう抵抗力実験

前述したとおり、走びよう中のいかりの動きを表わす一つの指標としていかりに対する地盤の抵抗力がある。いかりが動き始める前の状態の抵抗をも含めて広義の意味で、は(把)駐力⁹⁾という用語が使われる場合があるが、ここでは走びよう中の抵抗力のみを考慮していること、または駐力は固定アンカーの場合にも多く用いられていることなどにより、本報告では走びよう抵抗力という用語を使用することとした。本実験により走びよう抵抗力特性を検討するとともに、(1)のX線撮影実験の結果と合わせて走びよう時の現象を明らかにしようとしたものである。

走びよう抵抗力に影響を及ぼす要因としては種々のものが考えられる。しかしながらすべての要因を取り入れて実験を行うのは実験ケース数に制限があり困難であるので、それらの内ここではいかりの種類、重量、埋設深さ、走びよう速度及びいかりの姿勢の各要因のみを取りあげ、しかもおもに乾燥砂地盤の場合において広範囲な検討を行った。なお粘性土地盤の場合の走びよう抵抗力については、限られたケース数ではあるが(1)のX線撮影実験と同時に測定を行っている。

走びよう抵抗力の測定は模型いかりのけん引用のワイヤー途中に取り付けた引張計により行った。また、あらかじめ埋設したいかりが走びよう中に模型地盤の地表面に引き出されてきた場合には、その挙動を目視観察するとともに写真撮影を行った。その他、走びよう実験の手法についてはX線撮影実験の場合とほぼ同一である。

2.2 相似則

いかりと船舶の持つエネルギーの保存則¹⁰⁾及び地盤の破壊基準¹¹⁾などを考慮して、実物（量記号に添字 p を付けて表示する）と模型（同じく添字 m を付けて表示する）との間で成立しなければならない相似則について検討する。実物での船舶、いかり及び鎖の状態を図-2.2 に示す。また実物と模型とで考慮する諸元を表-2.1 に示す。走びよう時においては、船の持つ運動エネルギーが、いかりの運動エネルギー、いかりに対する地盤の抵抗による仕事及び鎖の張力による仕事に変換するものと仮定する。すなわち式(2.1)の関係が、実物と模型とで成立するものとする。この場合、模型における滑車の摩

走びょう中のいかりの挙動と走びょう抵抗力特性

表-2.1 相似則を考慮する場合の諸元一覧表

	いかりの重量	いかりの長さ	いかりの速度	いかりの移動量	時間	船の重量	船の全長	船の速度	船の移動量	海底地盤の粘着力	海底地盤の内部摩擦角	海底地盤の単位体積重量
実物 (p)	w_p	l_p	v_p	y_p	t_p	W_p	L_p	V_p	x_p	c_p	ϕ_p	γ_p
模型 (m)	w_m	l_m	v_m	y_m	t_m	W_m	L_m	V_m	x_m	c_m	ϕ_m	γ_m

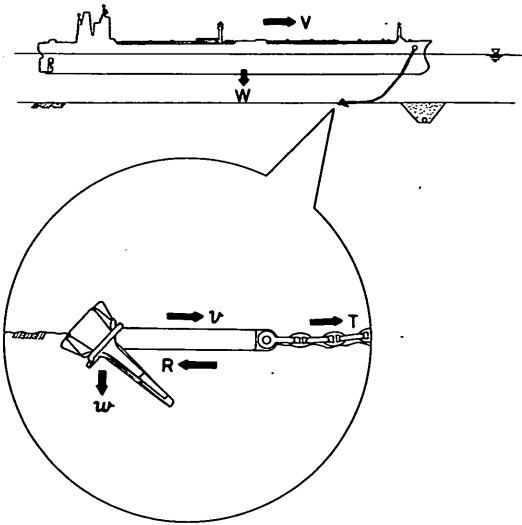


図-2.2 相似則を考慮する場合のおもな諸元

擦抵抗などについては無視している。

$$\left. \begin{aligned} \text{実物} \quad \frac{W_p V_p^2}{2g} &= \frac{w_p v_p^2}{2g} + \int R_p dy_p \\ &+ \int T_p d(x_p - y_p) \\ \text{模型} \quad \frac{W_m V_m^2}{2g} &= \frac{w_m v_m^2}{2g} + \int R_m dy_m \\ &+ \int T_m d(x_m - y_m) \end{aligned} \right\} (2.1)$$

ここで R: いかりに対する地盤の抵抗力

T: 鎖の張力

実物と模型とで相似則が成立するためには、式 (2.1) の両式で各項の比が等しければよい。すなわち式 (2.2) が得られる。

$$\frac{W_p V_p^2}{W_m V_m^2} = \frac{w_p v_p^2}{w_m v_m^2} = \frac{\int R_p dy_p}{\int R_m dy_m} = \frac{\int T_p d(x_p - y_p)}{\int T_m d(x_m - y_m)} \quad (2.2)$$

いかりの重量 (w_p) は、船舶のぎ (儀) 装数により決定される。ここでぎ装数とは、船舶の全長や幅などの諸元から求まる値で、いかりや鎖などの装備の規模を規定するものである¹²⁾。一般にこのぎ装数はほぼ L^2 に比例するので式 (2.3) が得られる。

$$\frac{w_p}{w_m} = \left(\frac{L_p}{L_m} \right)^2 \quad (2.3)$$

またいかりに対する地盤の抵抗力は、いかりの重量に比例すると仮定すると式 (2.4) が成り立つ。

$$\frac{R_p}{R_m} = \frac{w_p}{w_m} = \left(\frac{l_p}{l_m} \right)^3 \quad (2.4)$$

以上の関係を整理すると式 (2.5) に示す、いかりの重量 (あるいは長さ) と走びょう速度に関する相似則¹⁰⁾を得る。

$$\frac{v_p}{v_m} = \left(\frac{w_p}{w_m} \right)^{3/8} = \left(\frac{l_p}{l_m} \right)^{9/8} \quad (2.5)$$

実船での走びょう速度については、まだ十分な資料がなく不明な点が多い。15 万トン級の船舶が風速 30 m/s の風を受けた場合の試算例¹³⁾によれば、実船の走びょう速度は最大でも約 2 ノットである。本実験に際しては、この値を参考にして走びょう速度の範囲を定めた。表-2.2 に式 (2.5) を用いて求めた実物と模型における走びょう速度といかり重量との関係を示す。

表-2.2 実物と模型でのいかりの重量と走びょう速度の関係

		実物のいかりの走びょう速度 (v_p)		
模型いかりの重量 (w_m)		10 kgf	5 kgf	2.5 kgf
模 型 いかりの 走びょう 速 度 (v_m)	30	504	653	847
	60	1,008	1,307	1,695
	120	2,015	2,614	3,390
	240	4,030	5,227	6,767

(単位: cm/min)

一方地盤に対しては、地盤内の応力のつり合い及び破壊基準を無次元表示し、実物と模型との間で成立すべき相似則を求めると式(2.6)及び式(2.7)の関係が得られる¹¹⁾。

$$\text{粘性土地盤の場合； } \frac{\gamma_m l_m}{c_m} = \frac{\gamma_p l_p}{c_p} \quad (2.6)$$

$$\text{砂質土地盤の場合； } \phi_m = \phi_p \quad (2.7)$$

本実験においては、埋もどし部周辺の海底地盤を軟弱な粘性土とし、その粘着力は 1.0 tf/m² 程度の場合を想定した。また粘性土地盤の場合の実物のいかりの重量は、既に述べたように 18.5 トン型を対象としている。したがって、模型いかりの重量を 10 kgf とすれば式(2.6)により、次に示すとおり模型地盤における粘着力が求められる。なお、粘性土地盤の単位体積重量は実物及び模型とも同じになるようにするものとする。

$$c_m = \left(\frac{\gamma_m}{\gamma_p}\right) \cdot \left(\frac{l_m}{l_p}\right) \cdot c_p = \left(\frac{\gamma_m}{\gamma_p}\right) \cdot \left(\frac{w_m}{w_p}\right)^{1/3} \cdot c_p$$

$$= \left(\frac{1.5}{1.5}\right) \times \left(\frac{10}{18,500}\right)^{1/3} \times 1.0 \approx 0.08 \text{ tf/m}^2$$

また砂質土地盤の場合には式(2.7)により、いかり重量には関係なく実物と模型とで同じ内部摩擦角を持つ材料を使用すれば、相似則は満足されることになる。

2.3 実験装置

(1) 模型いかり

実験で使用した模型いかりの種類は、JIS F 3301 で定められている、ストックレスアンカーと両づめ及び片づめストックアンカーである。一般にストックレスアンカーは、大型船舶で広く使用されている。一方ストックアンカーは、比較的小型の船舶や港用いかりに使用されている。製作した模型いかりの重量は、ストックレスアンカーについては 10 kgf、5 kgf 及び 2.5 kgf の 3 種類、両づめ及び片づめアンカーについては 10 kgf のそれぞれ 1 種類ずつである。特にストックレスアンカーについては、いかりの重量が走びょう抵抗力に及ぼす影響を握るため 3 種類の重量の模型いかりを製作したものである。この内 X 線撮影実験に使用したいかりは 10 kgf のストックレスアンカーのみである。これらの模型いかりは、実物の重量をストックレスアンカーについては 18.5 tf、両づめアンカーについては 2.16 tf、片づめアンカーについては 6.4 tf といずれも最大級のものを対象として考慮しており、2.2 相似則及び JIS に示される形状及び寸法により模型いかりの諸元を定めた。これらの模型いかりを写真-2.1 及び写真-2.2 に示す。また模型いかり

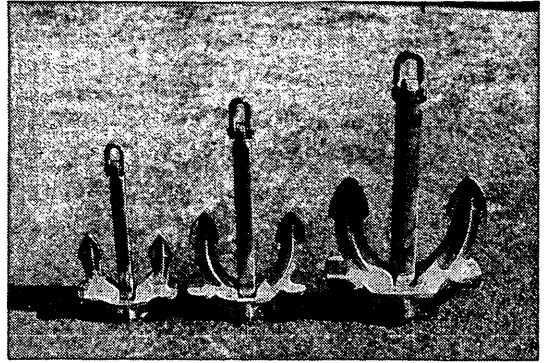


写真-2.1 ストックレスアンカー

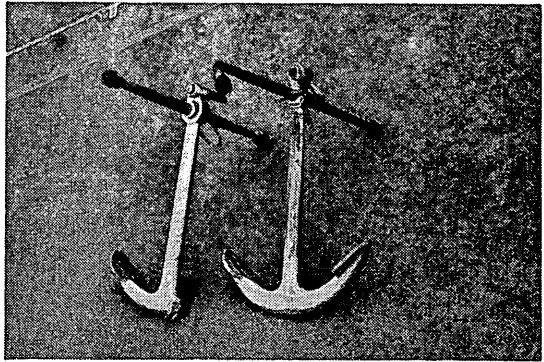


写真-2.2 ストックアンカー (左側: 片づめアンカー, 右側: 両づめアンカー)

の諸元を表-2.3、図-2.3 及び図-2.4 に示す。模型いかりの材質は、いずれも鋳鋼である。ストックレスアンカーの場合、つめの開き角度(α)は 42 度とし、この開き角度の範囲内でつめは自由に動けるものとした。

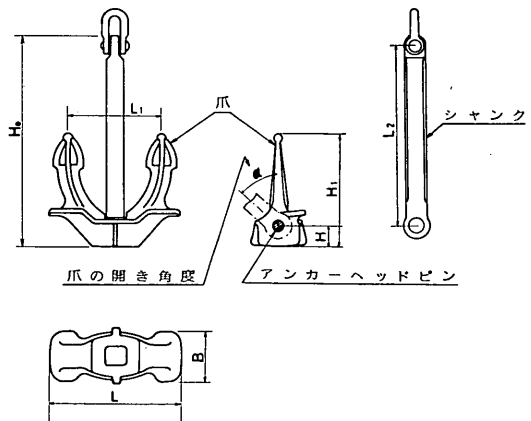


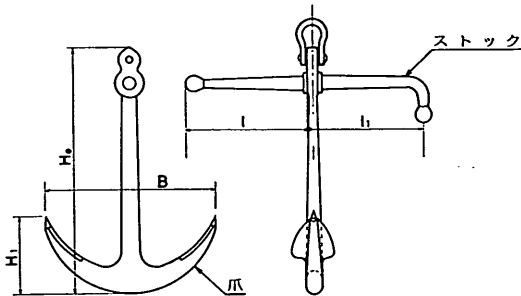
図-2.3 ストックレスアンカーの形状

走びょう中のいかりの挙動と走びょう抵抗力特性

表-2.3 模型いかりの諸元

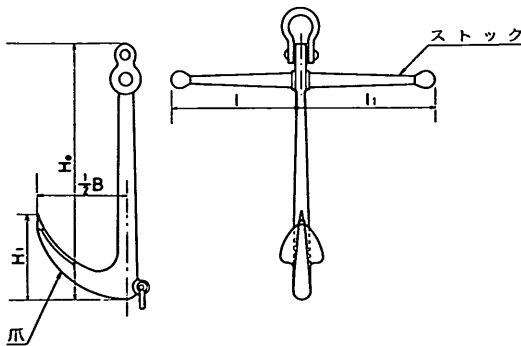
記号	いかりの種類	縮尺	重量 (kgf)	全長 (mm)	L (mm)	B (mm)	L ₁ (mm)	H ₁ (mm)	H (mm)	L ₂ (mm)	α (度)
A	ストックレスアンカー	1/12	10	385	245	98	181	197	41	325	42
B	ストックレスアンカー	1/15	5	320	192	75	136	143	35	276	42
C	ストックレスアンカー	1/18	2.5	260	155	60	110	116	26	217	42

記号	いかりの種類	縮尺	重量 (kgf)	全長 (mm)	B (mm)	H ₁ (mm)	l (mm)	l ₁ (mm)
D	ストックアンカー (両づめ)	1/6	10	580	400	155	290	295
E	ストックアンカー (片づめ)	1/9	10	580	400	165	289	300



(両爪アンカー)

図-2.4 (a) スtockアンカーの形状



(片爪アンカー)

図-2.4 (b) スtockアンカーの形状

(2) 模型地盤

前述したとおり作成した模型地盤は砂質土及び粘性土の2種類である。砂質土地盤に使用した材料は愛知県知

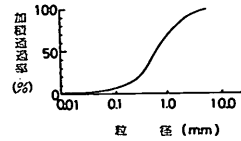


図-2.5 粒径加積曲線 (砂質土)

多半島産の山砂で、中央粒径が約 0.6 mm、比重 2.64 で、若干シルト分を含んでいる。この砂質土の三軸圧縮試験結果から、図-2.6 に示すとおり内部摩擦角は 40 度

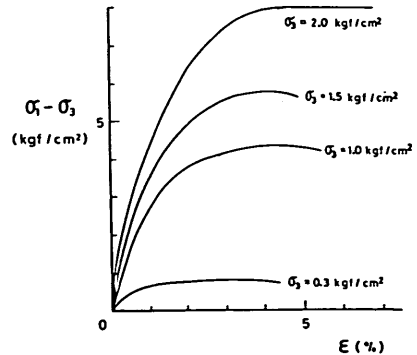
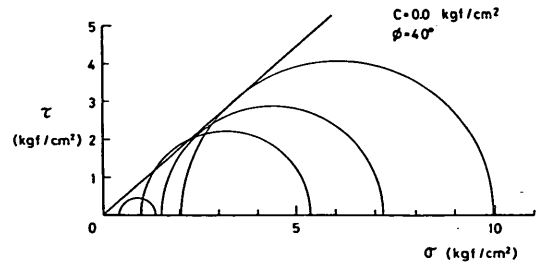


図-2.6 三軸圧縮試験結果

である。乾燥砂地盤については、特に地盤を締め固めることは行わず、ほぼ一様な状態に砂を実験槽内に入れ模型地盤を作成した。このときの単位体積重量は、 1.5 tf/m^3 と比較的緩い状態を目標とした。飽和砂地盤については、地盤中に気ほう(泡)が生じないよう砂と水を同時に入れながら比較的緩い状態の模型地盤を作成した。また走びょう中に盛り上がる砂が水面上に露出しないよう、地表面より 15 cm 上のところまで水を入れた。

粘性土地盤に使用した材料は、神奈川県川崎港内の海底から採取したもので、物理試験の結果から、比重 2.69 、液性限界 68.8% 、塑性限界 33.3% であった。また図-2.7 に示す粒度分析の結果では、粘土分が 46.1% 、シ

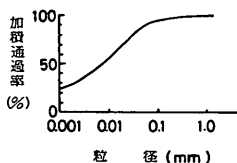


図-2.7 粒径加積曲線(粘性土)

ルト分が 47.1% 、砂分が 6.8% であった。この粘性土を 2.2 相似則で求めた所要の粘着力 0.08 tf/m^2 を目標として、含水比約 90% でミキサーにより十分に練り返した後、実験槽に搬入して約一週間ほど自然圧密を行った。自然圧密後、ベーンせん断試験により求めた模型地盤の平均粘着力は、約 0.09 tf/m^2 であり目標値とほぼ一致した。またこのときの模型地盤の単位体積重量は、平均して 1.49 tf/m^3 であった。

(3) 実験槽とけん引装置

実験に用いた実験槽の概要を図-2.8 に示す。実験槽の内寸法は、走びょう距離、実験槽側面の影響、いかりの潜り込み深さなどを考慮して、長さ 315 cm 、幅 125 cm 、

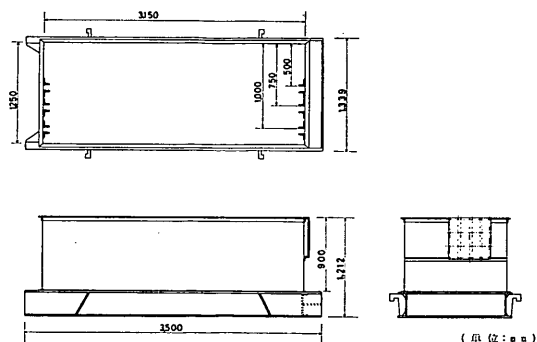


図-2.8 実験槽

高さ 90 cm とした。X線撮影実験の場合は、長さ 315 cm 、幅 75 cm 、高さ 70 cm の模型地盤をこの実験槽内に作成した。また走びょう抵抗実験の場合は、長さ 315 cm 、幅 125 cm 、高さ 70 cm の模型地盤を作成した。X線撮影実験の場合にのみ模型地盤の幅を 75 cm としたのは、X線発生装置の透過能力を考慮したためである。なおこの場合、幅を狭めたことによる側面の影響については無視できるものと思われる。

X線撮影実験では、写真-2.3 に示す手動ウィンチを実験槽端より約 3 m 離れた場所に設置して実験を行った。この手動ウィンチの最大巻き取り力は 500 kgf である。また走びょう抵抗実験では、写真-2.4 に示す電動ウィンチを実験槽端より約 4 m 離して、コンクリート地盤にアンカーボルトで固定して実験を実施した。この電動ウィンチの能力は、ロープの巻き取り速度が $0 \sim 240 \text{ cm/min}$ で最大巻き取り力は 420 kgf である。実際の走びょう時にはいかりは鎖で引張られるが、ここではX線撮影実験及び走びょう抵抗実験ともに、鎖の代わりに呼び径 5 mm のワイヤーロープを使用した。

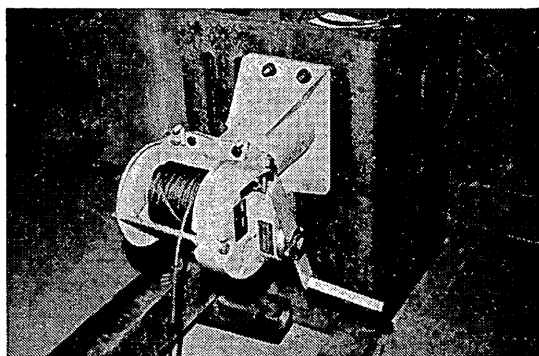


写真-2.3 手動ウィンチ

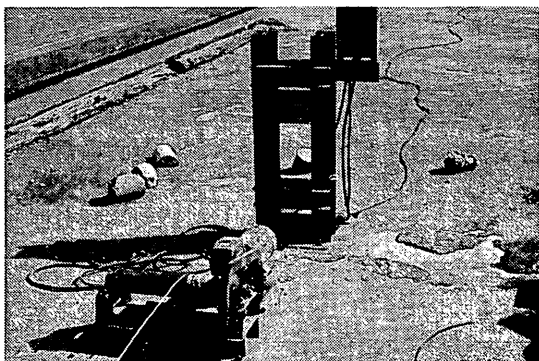


写真-2.4 電動ウィンチ

走びょう中のいかりの挙動と走びょう抵抗力特性

このワイヤーロープの途中に引張計を設置して、走びょう抵抗力の測定を行った。実験に用いた引張計は、その容量が 500 kgf と 100 kgf のものである。引張計で測定した力は、増幅器を通して電磁オシロの記録用紙に記録した。

(4) X線発生装置

実験に使用したX線発生装置は、A社及びB社の所有しているものであり、いずれも通常は工業製品の検査などに使用されているものである。これらの装置を写真-2.5及び写真-2.6に示す。またこのX線発生装置の性能を表-2.4に示す。

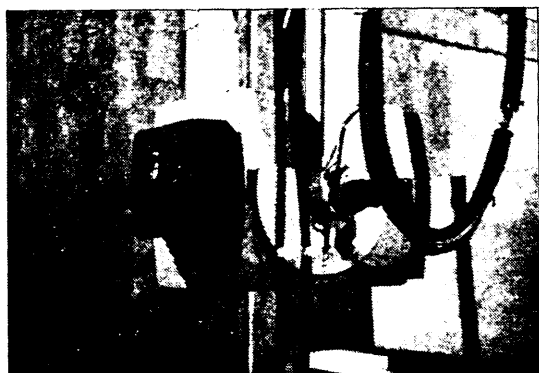


写真-2.5 X線発生装置 (A社)

乾燥砂地盤及び飽和砂地盤の場合はA社の装置を、また粘性土地盤の場合はB社の装置を使用してX線撮影を行った。X線の照射時間をかりに同じとすれば、撮影に必要な透過能力は乾燥砂、飽和砂、粘性土の順で大きくなる。今回の実験の幅 75 cm、高さ 70 cm の模型地盤で1回の撮影に要したX線の照射時間は、フィルムの感度、水の有無などにより異なるが、砂質地盤の場合は25~200分、粘性土地盤の場合は約40秒程度であった。撮影したフィルムはシャーカステン(暗写台)上でトレースを行って整理した。



写真-2.6 X線発生装置 (B社)

表-2.4 X線発生装置の性能

項目	所有	A社	B社
形式		ML-3R	ML-15R II
X線発生電子エネルギー (MV)		1.5	12
最大X線出力 (R/min/m)		20	2,000

2.4 実験方法と実験ケース

(1) X線撮影実験

X線撮影実験では、重量 10 kgf の模型いかり(ストックレスアンカー)を 30 cm もしくは 40 cm の深さに実験槽内に埋設し、手動ウィンチを用いて走びょうさせた。地盤の条件は、乾燥砂、飽和砂及び粘性土の3種類である。

実験ケース数は、おのおのの模型地盤でいかりの埋設姿勢を変えた総計 13 である。実験ケースの内訳を表-2.5に示す。また実験ケースごとのいかりの埋設姿勢を

表-2.5 X線撮影実験における実験ケースと記号

模型地盤の種類	埋設姿勢 (つめの向き)			
乾燥砂	DA ← ↗	DB ← ↘	DC ← →	DD ← ↖
飽和砂	WA ← ↗	WB ← ↘	WC ← →	WD ← ↖
粘性土	CA CE ← →	CB ← ↗	CC ← →	CD ← ↖

(矢印は引張の方向を示す。)

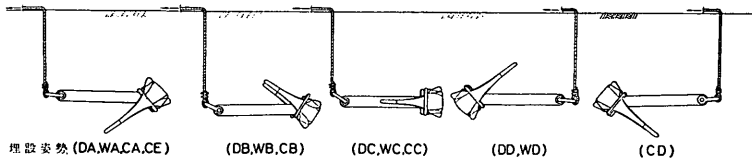
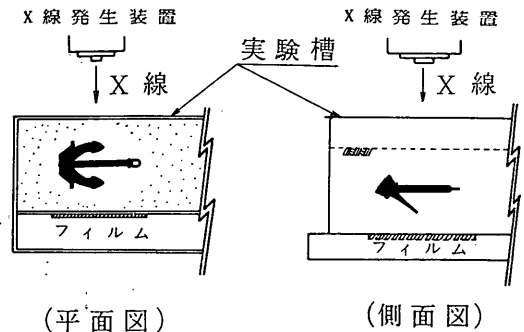


図-2.9 X線撮影実験での埋設姿勢

図-2.9 に示す。

埋設姿勢が、(DA),(WA),(CA),(CE)の実験ケースはシャंकが水平でシャंक軸に対してつめが下向きに42度開いている状態である。(CA),(CE)の実験ケースは全く同一条件である。つめが下向きの姿勢では、走びよう中いかりが地盤中にさらに食い込む可能性が大きい。ただし、投びよう時にこの姿勢になる確率は非常に小さいとされている^{3,13,14})。(DB),(WB),(CB)の実験ケースは、シャंकが水平でつめが上向きの状態である。通常の投びよう直後のいかりの姿勢はこの状態が最も多い。(DC),(WC),(CC)の実験ケースは、シャंक及びつめがともに水平の状態に設置された場合である。(DD),(WD)の実験ケースは、シャंकが水平でつめは上向きであるが、引張る方向が(DB),(WB),(CB)とは逆の場合である。(CD)はつめが下向きで、引張る方向を(DD),(WD)と同じにしている。埋設深さについては、(DD),(WD),(CD)の場合シャंकが起こされて地表面に出ることが予想されたため40cmとし、その他の実験ケースについては一律に30cmとした。なお、このときの埋設深さは地表面からシャंक軸の中心線までの距離とした。

実験槽内での走びよう距離は約225cmである。この距離を3段階に分けて約75cmずつ走びようさせ、走びよう開始前の姿勢を含めた4段階について、実験槽の水平方向及び上下方向からX線撮影を行った(図-2.10参照)。X線撮影中はいかりを停止させておく必要があり、また手動ウインチを用いていかりを引張っているのので、走びよう速度については正確を期し難いが、いずれ



水平方向撮影

上下方向撮影

図-2.10 X線撮影の照射方向

の実験ケースとも一応、120 cm/min程度を目標として実施した。

(2) 走びよう抵抗力実験

走びよう抵抗力実験で用いた装置は、X線撮影実験で用いた装置とほぼ同一である。実験の概要図を図-2.11に示す。走びよう抵抗力実験では、表-2.6に示す条件で実験を行った。地盤条件は、おもに乾燥砂及び飽和砂の2種類であるが、粘性土地盤については、X線撮影時の結果の一部を利用している(ただしストックレスアンカーについてののみ)。いかりの種類は、2.3(1)に述べたストックレスアンカーとストックアンカー(両づめ及び片づめ)である。走びよう開始時の位置、すなわち模型地盤に対するいかりの埋設深さは、表-2.6に示すとおり地表面走びようの場合を含めて7種類、ストックアン

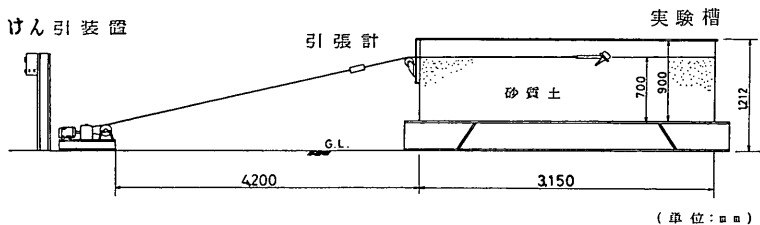


図-2.11 走びよう抵抗力実験の概要

走びょう中のいかりの挙動と走びょう抵抗力特性

表-2.6 走びょう抵抗力実験の走びょう条件

走びょう条件	模型いかりの種類	ストックレスアンカー	ストックアンカー(両つめ及び片つめアンカー)
模型地盤		乾燥砂 飽和砂	乾燥砂
いかりの重量 (kgf)		2.5, 5, 10	10
埋設深さ H : 埋設深さ H_0 : いかりの全長		$H_0/H=0.0, 0.77$ 1.04, 1.17, 1.55 1.88, 2.31	$H/H_0=0.0, 0.34$ 0.51
走びょう姿勢		4 姿勢	2 姿勢
走びょう速度 (cm/min)		30, 60, 120, 240	

注) 埋設深さ (H) は、地表面からいかりのシャンクもしくは本体の中心線までの距離としている。

カーについては3種類である。なおここでは、図表中この埋設深さ (H) をいかりの全長 (H_0) との比 (H/H_0) で

表わして整理を行っている。

いかりの初期の埋設姿勢は、ストックレスアンカーについては図-2.12に示す4種類、またストックアンカーについては図-2.13に示すように両つめ及び片つめの場合でそれぞれ2種類である。

模型いかりの走びょう速度については、前述したとおり実船での走びょう速度を考慮して、相似則により30, 60, 120及び240 cm/minの4段階を設定した。総実験ケース数は、表-2.7~9に示すとおり271ケースである。なお、実験記号の説明を表-2.10に示す。

一般にいかりがある姿勢で走びょうを開始しても、そのままの姿勢を保つとは限らず、いかりが回転したりつめの向きが変化するなどさまざまな姿勢をとり得る。この傾向は特にストックレスアンカーでつめが下向きの姿勢をとったときに顕著に現れる。そこでこのような走びょう中の姿勢の変化に対する走びょう抵抗力特性を検討するため、繰り返し実験を行った。この実験条件を表-2.9に示すが、模型地盤は乾燥砂と飽和砂の2種類で、ストックレスアンカーのつめが初期に下向きの姿勢をと

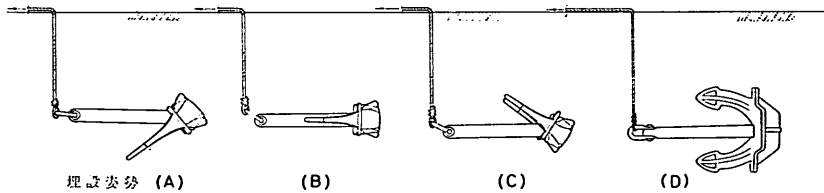


図-2.12 走びょう抵抗力実験の埋設姿勢 (ストックレスアンカー)

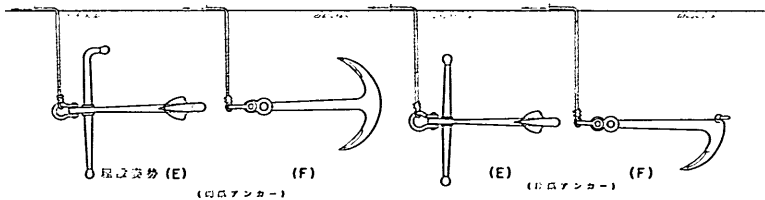


図-2.13 走びょう抵抗力実験の埋設姿勢 (ストックアンカー)

表-2.7 走びょう抵抗力実験のケース数 (ストックレスアンカー)

いかりの重量 (kgf)	10				5				2.5			
	0	30	40	45	0	25	50	60	0	20	40	60
埋設深さ (cm) (H/H_0)	(0.0)	(0.77)	(1.04)	(1.17)	(0.0)	(0.77)	(1.55)	(1.88)	(0.0)	(0.77)	(1.55)	(2.31)
走びょう速度 (cm/min)	30 60 120 240	30 60 120 240	30 60 120 240	30 60 120 240	30 60 120 240	30 60 120 240	30 60 120 240	30 60 120 240	30 60 120 240	30 60 120 240	30 60 120 240	30 60 120 240
A →	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
B ←	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
C →	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
D ←	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

(模型地盤はすべて乾燥砂)

表-2.8 走びょう抵抗力実験のケース数 (ストックアンカー)

		ストックアンカー (両づめ)												ストックアンカー (片づめ)															
		10												10															
いかりの重量 [kgf]		10																											
埋設深さ [cm] (H/H_0)		0 (0.0)				20 (0.34)				30 (0.51)				0 (0.0)				20 (0.34)				30 (0.51)							
走びょう速度 [cm/min]		30	60	120	240	30	60	120	240	30	60	120	240	30	60	120	240	30	60	120	240	30	60	120	240	30	60	120	240
埋設姿勢	E	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
	F	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	

(模型地盤はすべて乾燥砂)

表-2.9 繰返し実験のケース数 (ストックレスアンカー)

		ストックレスアンカー											
いかりの重量 [kgf]		10											
埋設深さ [cm]		0 ($H/H_0=0.0$)											
埋設姿勢		A											
模型地盤		乾燥砂						飽和砂					
走びょう速度 [cm/min]		30	60	120	240	30	60	120	240	30	60	120	240
実験回数		5	5	15	5	5	5	5	14	5			

定された引張力に補正を施して走びょう抵抗力を求めることとした。

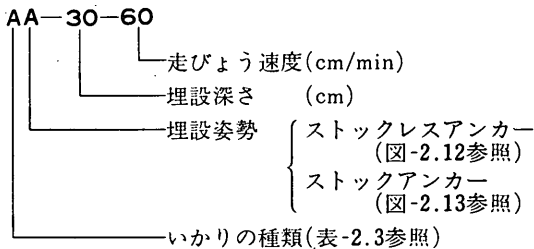
3. 実験結果とその解析

3.1 いかりの走びょう姿勢と軌跡

(1) 乾燥砂地盤の場合

X線撮影実験により得られた、乾燥砂地盤におけるいかりの走びょう姿勢と軌跡についてまず述べる。X線撮影によって得られたいかりの状態の一例を写真-3.1に

表-2.10 実験記号の説明



って地表面走びょうした場合に限定した。また、走びょう速度は上記の4段階としている。

X線撮影実験及び走びょう抵抗力実験における走びょう抵抗力は、ワイヤーロープに生ずる張力に等しいはずである。しかしながら引張計で測定された力には、引張計の自重やワイヤーと滑車間の摩擦などの影響がはいるため、これらを考慮しておく必要がある。そこで前もってこれらの影響の程度を調べるために予備実験を行った。その結果、ワイヤーと滑車間の摩擦力は走びょう抵抗力に比べ小さく無視できるが、引張計及びワイヤーの自重により生ずる力は走びょう抵抗力の10~15%であり、無視できないことがわかった。そこで引張計の自重とワイヤーロープに生ずる引張力の関係を求め、直接測

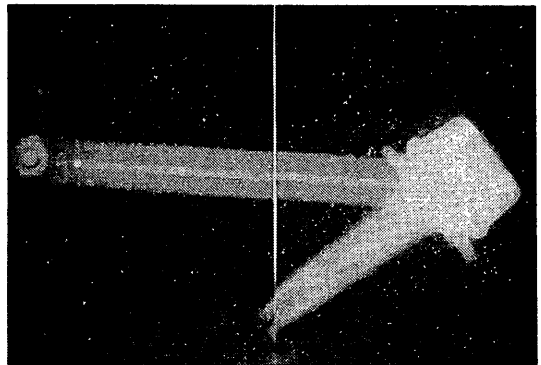


写真-3.1 X線フィルム

示す。図-3.1に乾燥砂地盤で走びょうを行ったときのいかりの軌跡を示す。この軌跡は、X線撮影の各段階で得られたX線フィルム上のストックレスアンカーのヘッドピン位置を結んで作成したものである。図-3.1での実験ケースは、走びょう開始時のいかりの姿勢すなわち埋設姿勢が、つめが下向き (DA)、上向き (DB)、水平 (DC) 及びつめが上向きで引張方向が (DB) と逆の場合 (DD) の4ケースである。

つめが下向きの状態 (DA) から走びょうを開始すると、いかりの全長 (H_0) の10%ほどいかりが模型地盤中に食い込むが、さらに $1H_0$ ほど走びょうすると徐々に

走びょう中のいかりの挙動と走びょう抵抗力特性

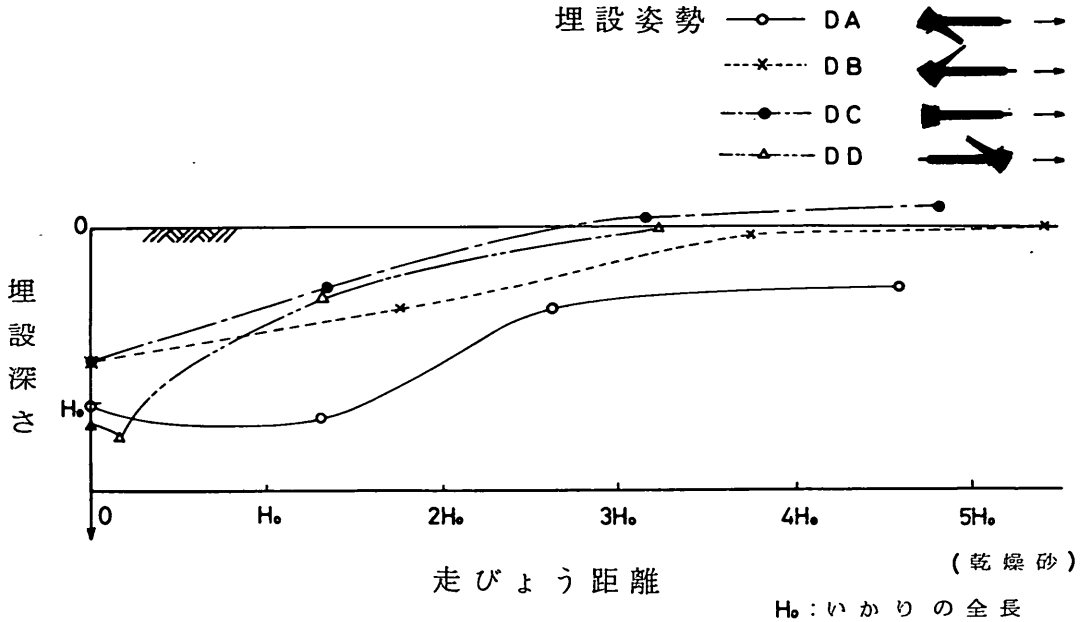


図-3.1 いかりの走びょう軌跡(乾燥砂)

にいかりは浮き上がり始め、(2.5~3.0)H₀以後は、わずかではあるが浮き上がり傾向を示しながら走びょうする。走びょう中、つめは下向きのみで、いかりは回転やだ(蛇)行を生じなかった。

次につめが上向きの姿勢(DB)の実験ケースでは、走びょうを開始してもつめは地盤中に潜り込むことなく、埋設位置から徐々に浮き上がり始める。この浮き上がり方は、つめが下向きの実験ケースのときよりも緩やかであり、ほぼ3H₀以上走びょうすると、いかりは地表面に引き出されてくる。引き出されたいかりは、再度模型地盤内に食い込むことなく地表面を滑走した。走びょう中、つめは上を向いたままであった。

つめを水平にして埋設した実験ケース(DC)では、いかりは(DB)の実験ケースと同様な挙動を示した。走びょうを開始してもつめはシャंकとともに水平で、模型地盤内に食い込むことはなかった。初期の埋設姿勢のまま約3H₀ほど走びょうすると、いかりは地表面に引き出され、そのまま地表面を滑走した。

つめが上向きで引張る方向が(DB)と逆の場合(DD)は、まずシャंकが反転しそれにつれてつめも反転を生じ、(DA)の場合と同じ上向きの姿勢となる。このとき、いかりは当初の位置より若干潜り込んだ。しかし、その後いかりは浮き上がりを始め、3H₀以上走びょうすると

地表面に引き出されてきた。

以上のように乾燥砂地盤の場合、つめが下向きの姿勢のときを除いて、ほぼ3H₀程度走びょうするといかりは地表面に引き出されてきた。またいずれの実験ケースでも、いかりは模型地盤中で回転を生じなかった。

(2) 飽和砂地盤の場合

図-3.2に実験ケース(WA)から(WD)までのいかりの走びょう軌跡を示す。つめが下向き(WA)の場合、走びょうを開始するといかりは若干地盤内に食い込み、走びょう距離が2H₀程度までは地表面とほぼ平行に走びょうした。その後いかりは、地表面に向かって徐々に浮き上がり始めた。(4~5)H₀の間では、つめは依然として下を向いたまま、地表面とほぼ平行に走びょうした。6H₀ほど走びょうすると、いかりは地表面に引き出された。これは実験装置の制約から、4H₀以後の実際の現象は、浮き上がり気味に地表面とほぼ平行に移動するものと思われる。この実験ケース(WA)のいかりの浮き上がってくる軌跡は実験ケース(DA)と比較してややならからであった。また走びょう中いかりが、若干回転を生じた。

つめが上向きの実験ケース(WB)では、走びょうを開始すると徐々にいかりは浮き上がり、2H₀ほど走びょうすると、地表面に引き出された。その後、いかりは模型

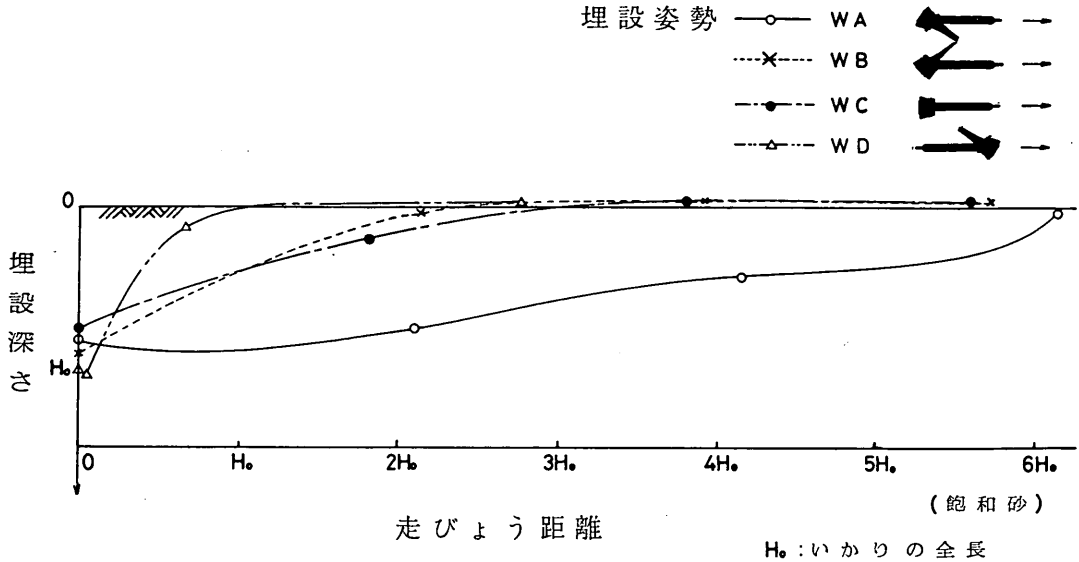


図-3.2 いかりの走びよう軌跡 (飽和砂)

地盤内に再度食い込んだりまた回転を生ずることなく地表面を滑走した。

つめが水平の実験ケース (WC) では、いかりは走びよう開始後すぐに浮き上がりを開始し、 $3H_0$ 程度走びようすると地表面に露出してきた。走びよう中、つめは模型地盤内に食い込み下向きになったが、それでもいかり全体は、模型地盤内に食い込まず、実験ケース (DC) とほぼ同一の軌跡を示した。

つめが上向きで引張方向が実験ケース (WB) と反対のケース (WD) では、いかりは走びようを開始すると、ヘッドピン位置付近を中心にシャंकが反転しつめが上を向いたままほぼ真上に向かって引き上げられる。いかりはその状態のまま地表面に引き出され、その後はつめを上向きにしたまま地表面を滑走した。

以上に述べた 図-3.1 と 図-3.2 とを比較すると、乾燥砂地盤と飽和砂地盤とは、走びよう中のいかりの姿勢と軌跡に関して、さほど顕著な相違はなかったと言える。

(3) 粘性土地盤の場合

表-3.1 に各実験ケースごとに作成した模型地盤の条件を示す。ベーン試験により測定した各模型地盤の粘着力は、 $0.06 \sim 0.11 \text{ tf/m}^2$ でいずれも目標とした 0.08 tf/m^2 に近い値である。また表中に示す含水比は、同一地盤より3個ずつ試料を採取して測定した値の平均値である。

表-3.1 実験に用いた粘性土地盤の諸条件

埋設姿勢	項目	自然圧密期間 (日)	平均含水比 (%)	粘着力 (tf/m^2)
CA		6	92.1	0.08
CB		7	92.6	0.10
CC		7	88.6	0.10
CD		7	88.4	0.11
CE		7	92.4	0.06
平均			90.8	0.09

図-3.3 にこの粘性土地盤で走びようを行ったときのいかりの軌跡を示す。つめが下向きの実験ケース (CA 及び CE) では、走びようを開始すると徐々にいかりは地盤中に食い込み始めた。走びよう距離が $1.5H_0$ のところでは、当初の位置から H_0 の 30~40% もいかりは沈下した。その後は、ほぼ地表面と平行に走びようを続け、地表面に引き出されることはなかった。また走びよう中のいかりの姿勢については、(CA) の場合はいかりが 90 度回転したが、(CE) の場合は回転せずつめは下向きのままであった。図-3.3 より粘性土地盤の場合走びよう軌跡は、砂質土地盤の場合とかなり異なっていることがわかる。

走びょう中のいかりの挙動と走びょう抵抗力特性

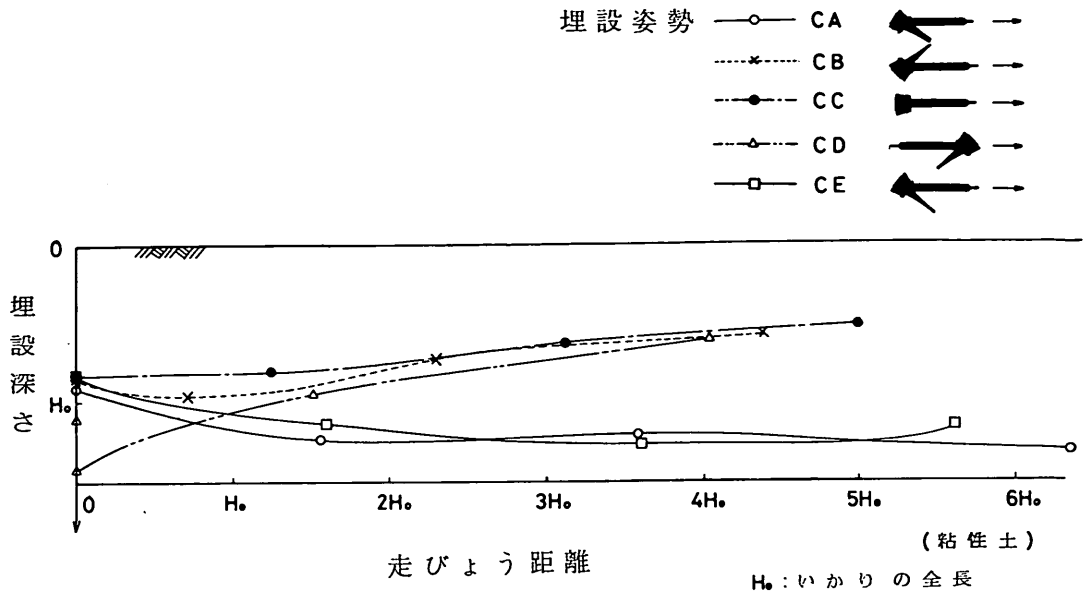


図-3.3 いかりの走びょう軌跡(粘性土)

つめが上向きの実験ケース (CB) の場合、走びょう開始後走びょう距離 $1H_0$ 付近で、 H_0 の 10% ほどいかりが沈下した (これは実験開始前に、自重でいかりが若干沈下したためと考えられる)。その後いかりはやや浮き上がるものの、ほぼ地表面と平行に走びょうし、砂質土地盤のときのように地表面に引き出されることはなかった。またいかりの姿勢は初期の姿勢と同じく、つめが上向きのままであった。

つめが水平の実験ケース (CC) では、走びょう開始後 $2H_0$ 程度の距離までほぼ地表面と平行に走びょうし、その後は若干浮き上がるものの初期の姿勢のままで走びょうした。

つめが下向きで引張る方向が (CA) とは逆の実験ケース (CD) では、走びょう開始直後アンカーのヘッドピン付近を中心にシャンクが反転し、その際にいかりは H_0 の 30% ほど沈んだ。その後徐々に浮き上がりを始め、走びょう距離が $2H_0$ 以降は、(CB) 及び (CC) と同じような軌跡を描いた。また当初下向きに設置されたつめは、いかりの反転とともに上向きに変わり、そのままの姿勢で走びょうを続けた。

3.2 いかりの走びょう抵抗力

(1) 走びょう抵抗力の一般的な性質

いかりが地表面や地盤内を走びょうするときの姿勢は、極めて複雑である⁹⁾。投びょう後のいかりの姿勢が

不定であること、実際の海底地盤は均質でないこと、特にストックレスアンカーの場合、つめがシャンク軸に対して約 ± 42 度の範囲で自由に動き得ることなど種々の要因により、いかりが地盤に食い込んだり、回転を生じたりあるいは地表面を滑走したりする。このような状況を単純な法則により律することはできず、これはむしろ偶然に支配されているといつてよい。

今回実施した一連の実験のうち、乾燥砂地盤でストックレスアンカーを種々の姿勢で繰り返し地表面走びょうさせた場合についてみると次のような結果であった。いかりの初期の姿勢としてつめを下向きにした場合、実験ケース数 42 のうちの 27 ケース (約 64%) においてシャンク軸を中心とした回転がみられた。つめを水平の状態にした場合は、12 ケースのうち 2 ケースのみが地盤に食い込み、その他のケースはつめが水平のままであった。また、いかりを横向き (シャンクは水平とし、両つめの片方のみを地盤に食い込ませた状態) とした場合は、12 ケースのすべてでいかりは回転を生じその後地表面を滑走した。

このようないかりの不安定性は、当然のことながら走びょう抵抗力にも大きな影響を与える。ここでは、いかりの姿勢の変化が走びょう抵抗力にどのように現れるかについて実験した結果を示すことにする。なお実験データを整理する関係上、通常よく行われているように走び

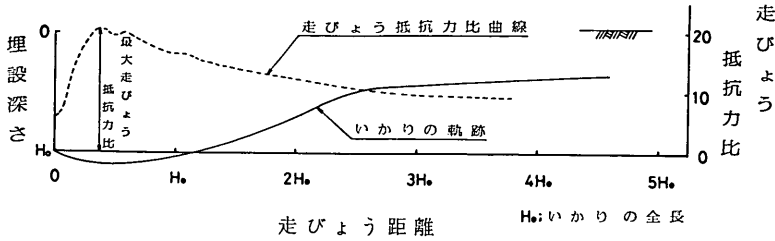


図-3.4 走びよう軌跡と走びよう抵抗力比曲線（乾燥砂，つめは下向き）

よう抵抗力をいかりの空中重量で除した値で表示する。この値を本報告では走びよう抵抗力比と呼ぶ。

$$\text{走びよう抵抗力比} = \frac{\text{いかりの走びよう抵抗力}}{\text{いかりの空中重量}} \quad (3.1)$$

また走びよう中における走びよう抵抗力比の最大値を最大走びよう抵抗力比とした。

まず、走びよう途中でいかりの姿勢が変化しなかった場合の例を 図-3.4 に示す。この例はストックレスアンカーを、乾燥砂地盤中につめを下向きにして埋設したときのものである。走びよう開始後、しばらくして最大走びよう抵抗力比が現れ、その後走びよう抵抗力比は徐々に減少しながら一定値に近づいていく傾向を示す。

走びよう抵抗力比の最大値はいかりが模型地盤内へ一番深く潜り込んだときに生じ、浅くなるにつれ走びよう抵抗力比も小さくなる。いかりが地表面に対してほぼ平行の場合には、この比もほぼ一定である。

次に走びよう途中でいかりが回転した場合の例を 図-3.5 に示す。これは乾燥砂地盤で、つめを下向きにして地表面を走びようしたときの走びよう抵抗力比曲線である。つめが地盤に食い込んだままのときは、走びよう抵

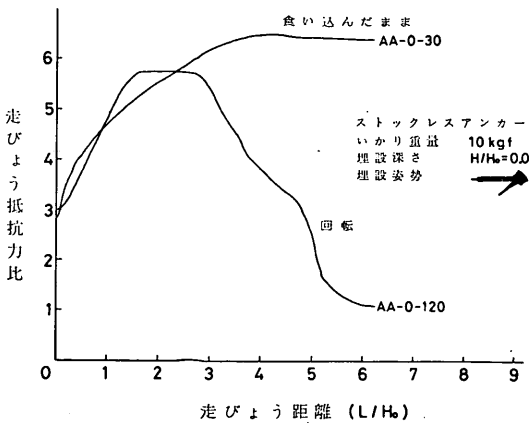


図-3.5 走びよう抵抗力比曲線（つめは下向き）

抗力比は最大値に達した後もほぼ同じ値であるのに対し、回転を生じたときの走びよう抵抗力比は急激に減少することがわかる。

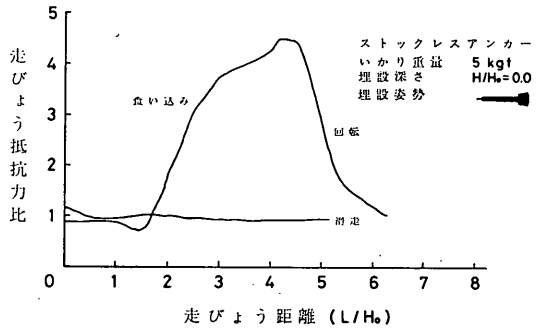


図-3.6 走びよう抵抗力比曲線（つめは水平）

図-3.6 は、同じ乾燥砂地盤でつめを水平にして地表面を走びようさせた場合である。この例に示すように、走びよう中につめが地盤に食い込まず滑走し続けるときは、走びよう抵抗力比はほぼ一定値となり、その値は約 1 である。

また、いかりの回転角と走びよう抵抗力比の関係の一例を 図-3.7 に示す。これは 表-2.9 に示す実験ケースのうち、乾燥砂の場合の結果のみを取り出したものである。つめが下向きの状態から地表面で走びようを開始した後に、いかりが 90 度回転すると走びよう抵抗力比は、回転前に比べ約 1/2 となることがわかる。180 度回転してつめが上向きになれば、地盤に食い込んでいないため走びよう抵抗力比は 1 程度の小さな値となる。

このようにいかりの姿勢の変化とともに、走びよう抵抗力（比）も大きく変化することを認識しておく必要がある。言い換えれば、走びよう抵抗力特性を把握することにより、走びよう中のいかりの状態を推測することが可能となる。

走びよう中のいかりの挙動と走びよう抵抗力特性

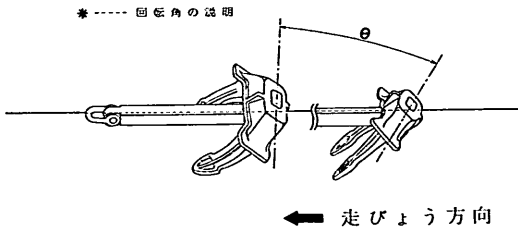
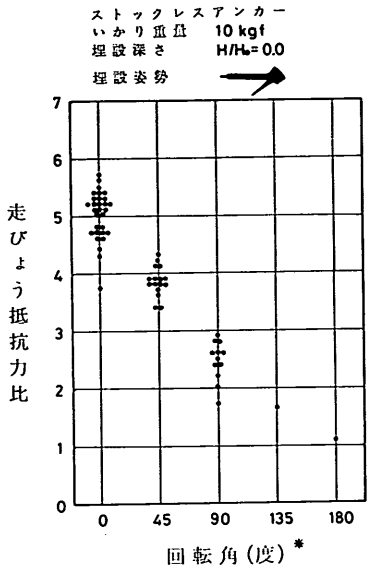


図-3.7 回転角と走びよう抵抗力比

(2) 乾燥砂地盤の場合

a) いかりの種類と重量の影響

いかりの種類と重量が、走びよう抵抗力に及ぼす影響について検討した結果をまず述べる。いかりの種類はそのつめやシャングの形状によって区別される。ここでは、いかりの種類として船舶用アンカーの代表例であるストックレスアンカーとストックアンカーを対象として考え、模型いかりの重量としてはストックレスアンカーの 10 kgf, 5 kgf, 2.5 kgf の 3 種類及び 10 kgf のストックアンカーをとり上げることとする。

図-3.8 に乾燥砂地盤におけるいかりの種類及び重量と最大走びよう抵抗力比との関係を示す。このときのいかりの初期の姿勢は、ストックレスアンカーのつめは下向き、ストックアンカーのつめは水平(ただしストックは鉛直)の状態である。ただし、図中のストックレスアンカーの最大走びよう抵抗力比は 図-3.12 を用いて推定し

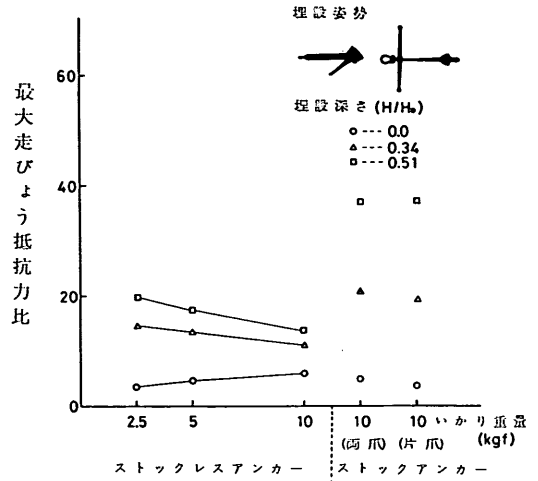


図-3.8 いかりの種類及び重量と最大走びよう抵抗力比の関係

た値である。地表面を走びようする場合 ($H/H_0=0$) は、ストックレスアンカー及びストックアンカーとも最大走びよう抵抗力比は、ほぼ 4~6 の値である。また地盤中を走びようする場合は、埋設深さが大きくなるとともにいずれのアンカーも最大走びよう抵抗力比は大きくなる。

埋設深さ (H/H_0) が 0.51 のとき、ストックレスアンカーの最大走びよう抵抗力比は 15~20 であるのに対し、両づめ及び片づめストックアンカーのそれはおよそ 38 程度とほぼ 2 倍の値となる。これはストックアンカーの場合、走びよう方向のいかりの投影面積がストックレスアンカーの場合よりも大きいため、すなわちつめとストックの両方で地盤をせん断することになるため、ストックアンカーの走びよう抵抗力比の方が大きくなるものと考えられる。その結果いかりの重量が同じであっても、走びよう方向のいかりの投影面積が大きいほど、走びよう抵抗力は大きくなるといえる。

またこの実験結果ではストックアンカーの場合、両づめと片づめの差はほとんど認められない。

ストックレスアンカーの場合の重量による走びよう抵抗力比への影響をみると、地表面走びようの場合が右上がり、地盤中走びようの場合が右下がりとなつて逆の傾向を示しているが、この程度の差であれば重量に関係なくほぼ一定であるとみなしても、さしつかえないであろう。またストックレスアンカーの重量と最大走びよう抵抗力比の関係については、図-3.9 につめが水平な場合を、

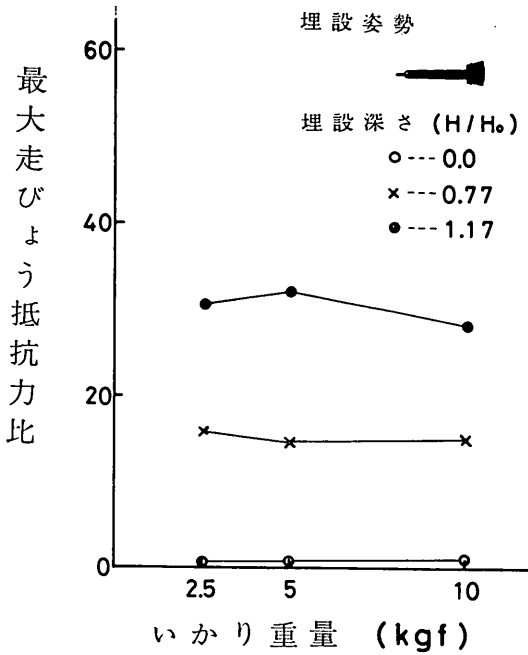


図-3.9 ストックレスアンカーの重量と最大走びよう抵抗力比 (つめは水平)

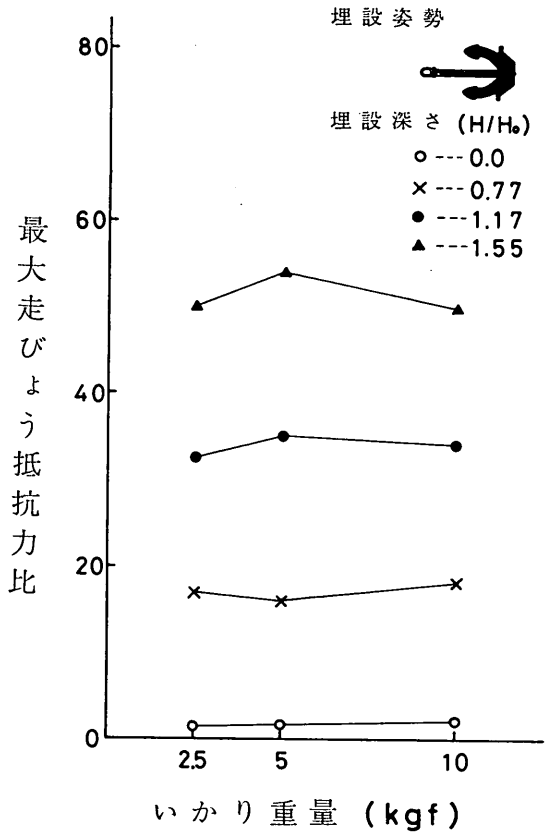


図-3.11 ストックレスアンカーの重量と最大走びよう抵抗力比 (いかりは横向き)

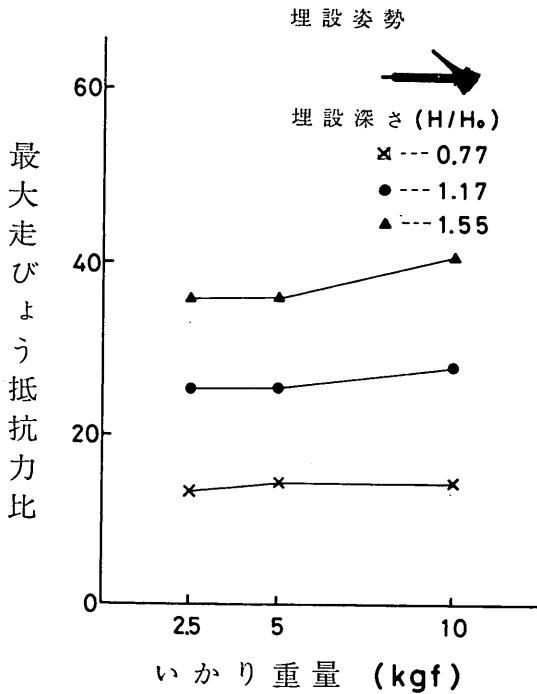


図-3.10 ストックレスアンカーの重量と最大走びよう抵抗力比 (つめは上向き)

図-3.10 にはつめが上向きの場合を、そして 図-3.11 にはつめが横向き (シャンクは水平のまま、つめが上向きもしくは下向きの状態から 90 度回転した状態でつめの開き角度は 42 度のままとする) の場合をそれぞれ示す。この 図-3.9~図-3.11 に示すその他の実験条件は、図-3.8 の場合と同一である。これらの結果から多少のばらつきはあるものの、ストックレスアンカーの最大走びよう抵抗力比は、いかりの重量に関係なくほぼ一定であるといえよう。

b) 潜り込み深さの影響

次にいかりの潜り込み深さ (本実験では走びよう開始時のいかりの埋設深さに相当する) が最大走びよう抵抗力に及ぼす影響について述べる。図-3.12 に重量 10 kgf のストックレスアンカーを用いたときの埋設深さと最大走びよう抵抗力比との関係を示す。いかりの初期の埋設姿勢は、つめが下向き、水平、上向き及びいかりが横向

走びょう中のいかりの挙動と走びょう抵抗力特性

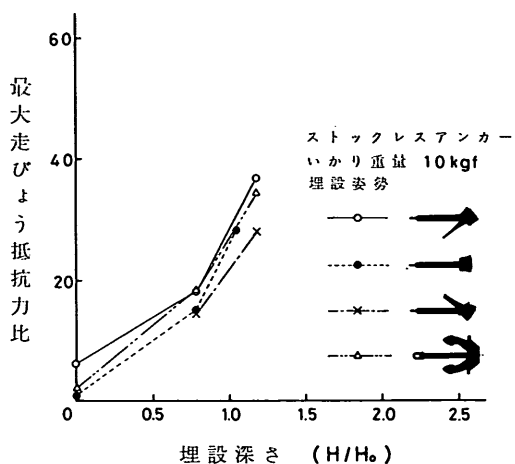


図-3.12 埋設深さと最大走びょう抵抗力比 (いかり重量 10 kgf)

きの場合の4種類である。いずれの埋設姿勢の場合でも埋設深さが大きくなるにつれて、最大走びょう抵抗力比は大きくなる。つめが下向きの場合、地表面を走びょうさせたときの最大走びょう抵抗力比はおよそ6程度であるが、埋設深さ (H/H_0) を 1.0 にすると約 28 ほどになる。他の埋設姿勢の場合でも埋設深さに対する最大走びょう抵抗力比の傾向は、つめが下向きの場合とほぼ同じである。

実験槽といかりの大きさとの関係から、重量 10 kgf のストックレスアンカーでは H/H_0 を 1.2 程度までしかとれなかったため、模型いかりを小さくし重量 2.5 kgf のストックレスアンカーについても実験を行った。この場合は H/H_0 を約 2.0 まで広げることができる。その他の実験条件は 10 kgf の場合と同一である。図-3.13 に重量 2.5 kgf のストックレスアンカーを用いたときの埋設深さと最大走びょう抵抗力比との関係を示す。この関係をみると、図-3.12 に示した重量 10 kgf のストックレスアンカーの場合とほぼ同様の傾向を示している。つめが下向きで、埋設深さ (H/H_0) が 1.0 のときの最大走びょう抵抗力比は約 37、同じく H/H_0 が 2.0 のときは約 70 程度にもなる。これは、一度砂質土地盤内に深く潜った (または埋設された) いかりが走びょうするとすれば極めて大きな走びょう抵抗力が生ずる可能性があることを示している。

図-3.13 より、最大走びょう抵抗力比が最も大きくなるのはストックレスアンカーのつめが下向きの場合である。このときの埋設深さ (H/H_0) と最大走びょう抵抗力比

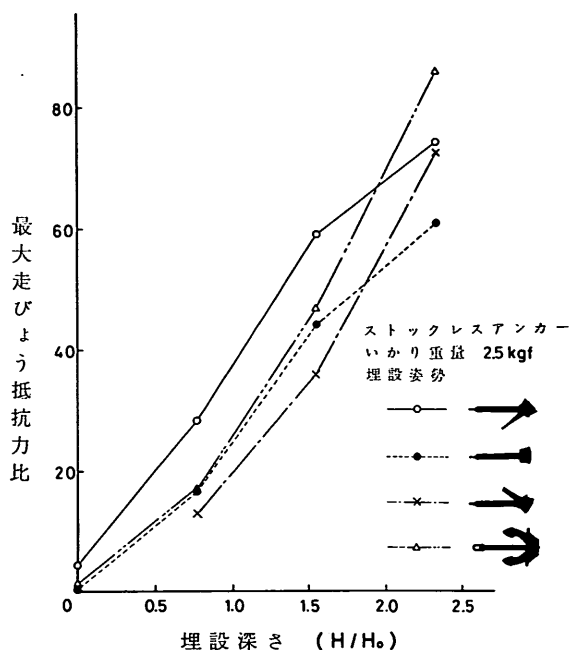


図-3.13 埋設深さと最大走びょう抵抗力比 (いかり重量 2.5 kgf)

(R) との関係直線式で近似すると式 (3.2) が得られる。

$$R = (4 \sim 6) + 30(H/H_0) \quad (3.2)$$

図-3.14 には、重量 2.5 kgf のストックレスアンカーでつめを下向きにした場合の走びょう抵抗力比曲線を示す。このときの埋設深さ (H/H_0) は 0, 0.77, 1.55 の 3 種類である。地表面をいかりが回転せず走びょうしたと

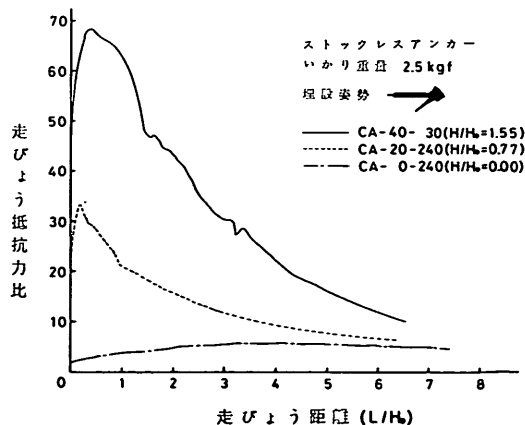


図-3.14 埋設深さによる走びょう抵抗力比曲線の変化 (つめは下向き)

き、走びよう抵抗力比は徐々に大きくなり、その後はある一定値に達したままとなる。 (H/H_0) が 0.77 のときは、走びよう開始直後に走びよう抵抗力比は最大となり、その値は 34 程度になる。その後いかりが地表面近く浮き上がってくるため、走びよう抵抗力比は急激に減少する。また H/H_0 が 1.55 のときは走びよう距離 (L/H_0) が 0.5 付近で最大走びよう抵抗力比は約 70 程度となる。

図-3.15 には同じく重量 2.5 kgf のストックレスアン

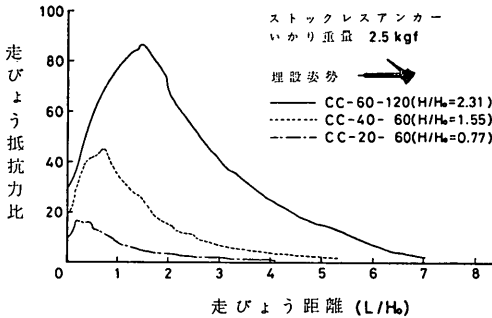


図-3.15 埋設深さによる走びよう抵抗力比曲線の変化 (つめは上向き)

カーで、つめが上向きの場合の走びよう抵抗力比曲線を示す。この場合もやはり初期の埋設深さが大きいほど、最大走びよう抵抗力比も大きくなる。そしてその発生位置は、埋設深さとともにグラフ上でしだいに右側へ寄る傾向が見られる。また 図-3.14 と 図-3.15 よりわかるように、同じ埋設深さの場合でもつめが下向きするときの方が、上向きするときよりも走びよう抵抗力比は大きい。

次に乾燥砂地盤におけるストックアンカーの場合について述べる。図-3.16 にはつめが鉛直(ストックは水平)の場合、図-3.17 にはつめが水平(ストックは鉛直)の場合について、それぞれ埋設深さと最大走びよう抵抗力比の関係を示す。これらの図に示すとおり、ストックアンカーが地表面を走びようする場合、両つめでも片つめでも初期の埋設姿勢に関係なく、最大走びよう抵抗力比は 5 程度であった。 H/H_0 が 0.5 のときは、最大走びよう抵抗力比は 35~37 ほどである。

ストックアンカーの場合の最大走びよう抵抗力比は、つめの種類及び向きに関係なく、埋設深さ (H/H_0) のみの関数とみることができる。この埋設深さ (H/H_0) と最大走びよう抵抗力比との関係を、ストックレスアンカーの場合と同じくあえて直線で近似させると式 (3.3) が得

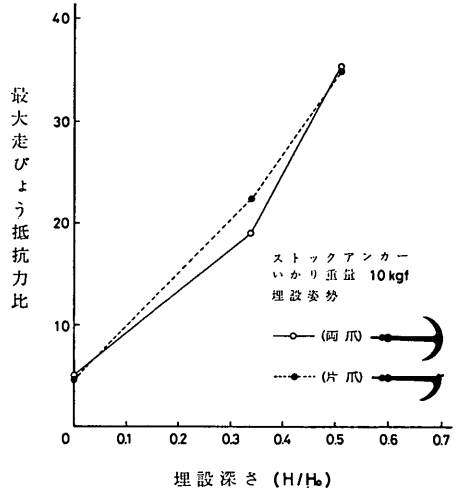


図-3.16 スtockアンカーの埋設深さと最大走びよう抵抗力比 (つめは鉛直)

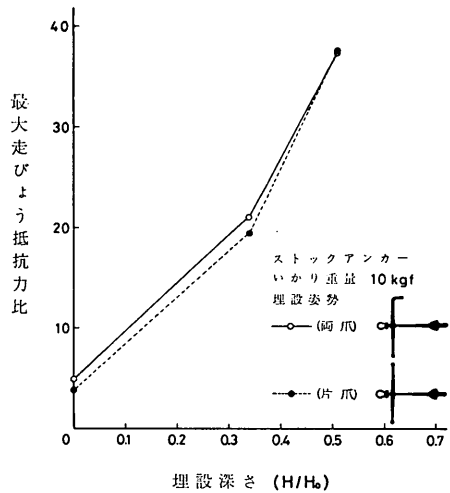


図-3.17 スtockアンカーの埋設深さと最大走びよう抵抗力比 (つめは水平)

られる。

$$R=5+50(H/H_0) \quad (3.3)$$

式 (3.2) と式 (3.3) とを比較してみると、地表面を走びようする場合には、ストックレスアンカーとストックアンカーの走びよう抵抗力比はほぼ等しいことがわかる。一方地盤中を走びようする場合には、同じ埋設深さの比 (H/H_0) に対しては、ストックアンカーの方がストックレスアンカーよりも走びよう抵抗力比は大きい。

走びょう中のいかりの挙動と走びょう抵抗力特性

c) 走びょう速度の影響

いかりの走びょう抵抗力に影響を及ぼす要因の一つとして、走びょう速度を考慮しておく必要がある。ここでは走びょう速度を 30~240 cm/min の範囲で4段階に変化させ、乾燥砂地盤で走びょう実験を実施しその影響について検討した。図-3.18 に重量 10 kgf のストックレス

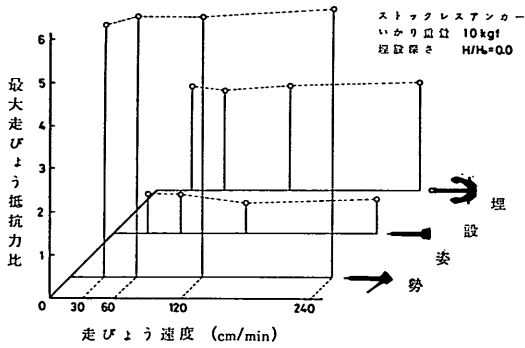


図-3.18 スtockレスアンカーの走びょう速度と最大走びょう抵抗力比(地表面走びょう)

アンカーを、地表面走びょうさせたときの走びょう速度と最大走びょう抵抗力比との関係を示す。なおこの図の縦及び横座標軸は、埋設姿勢ごとに平行移動してあるので注意を要する。この図でいかりのつめが下向きの場合、走びょう速度が大きくなると最大走びょう抵抗力比はやや増加するが、目だつほどではない。同様につめが水平あるいはいかりが横向きの場合であっても、走びょう速度による影響は少ない。

また図-3.19には、これと同じいかりを地盤中に埋設

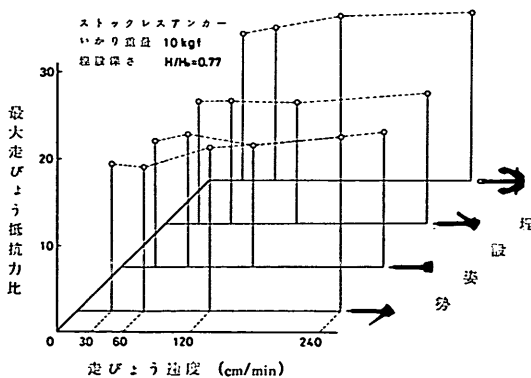


図-3.19 スtockレスアンカーの走びょう速度と最大走びょう抵抗力比(地盤内走びょう)

して走びょうさせたときの走びょう速度と最大走びょう抵抗力比との関係を示す。この実験ケースにおいては、走びょう速度とともに最大走びょう抵抗力比は若干増加する。すなわちつめが下向きの場合には、240 cm/min のときの最大走びょう抵抗力比は 30 cm/min のときに比べ約 10% 程度増加する。その他の埋設姿勢の場合でも、これとほぼ同様な傾向にある。

これらの実験の際の走びょう抵抗力比曲線を、つめが下向きで地表面走びょうの場合を例にとって図-3.20に

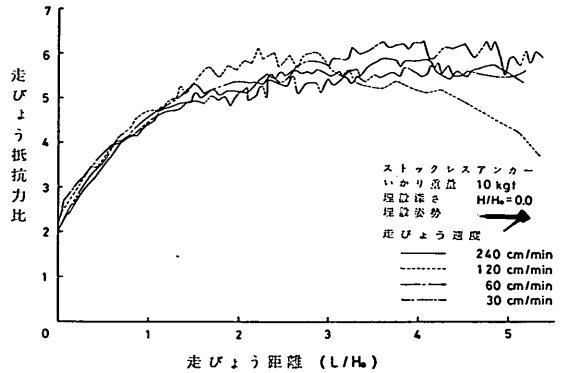


図-3.20 走びょう速度と走びょう抵抗力比曲線(地表面走びょう)

示す。この図からもわかるとおり、最大走びょう抵抗力の値や走びょう曲線の形状は、走びょう速度とほぼ無関係に同じである。

次に、ストックアンカーの場合の走びょう速度と最大走びょう抵抗力比の関係について述べる。図-3.21 は地表面走びょうのときの関係である。両つめストックアン

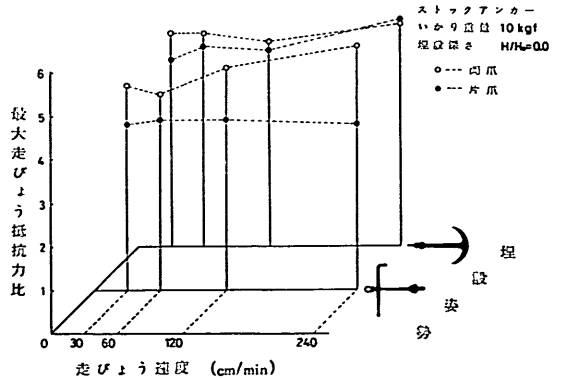


図-3.21 スtockアンカーの走びょう速度と最大走びょう抵抗力比(地表面走びょう)

カーでつめが水平（このときのストックは鉛直）な場合は、走びよう速度が 240 cm/min のときの最大走びよう抵抗力比は、30 cm/min のときの約 1.2 倍となっている。これに対して片づめアンカーが同じ姿勢をとった場合は、ほとんど変化がない。つめが鉛直（ストックは水平）の姿勢をとった場合は、両づめ及び片づめストックアンカーとも、走びよう速度とともに最大走びよう抵抗力比も若干増加する。

図-3.22 は、地盤中を走びようするストックアンカー

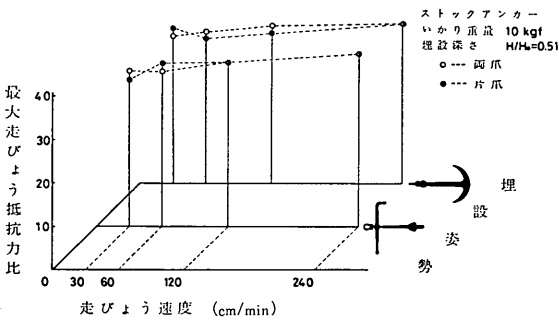


図-3.22 ストックアンカーの走びよう速度と最大走びよう抵抗力比（地盤内走びよう）

の走びよう速度と最大走びよう抵抗力比の関係を示す。この場合はストックアンカーが両づめあるいは片づめであるを問わず、また走びよう開始時の姿勢（埋設初期の姿勢）にもほとんど関係せず、いかなる走びよう速度に対してもほぼ一定の最大走びよう抵抗力比となる。

以上の実験結果を総合してみると、部分的に走びよう速度とともに走びよう抵抗力比が若干大きくなる場合があるが、現地においてもこの傾向が一般的であるといえるかどうかについては、この実験結果のみからでは疑問である。むしろ、これらは有意な差というよりも、実験精度の違いによるばらつきと考えた方が当たっているのかも知れない。いずれにしても、ストックレスアンカー及びストックアンカーの両方とも、走びよう開始時の姿勢やいかりの位置（地表面及び地盤内を含む）にはあまり関係がなく、走びよう速度による走びよう抵抗力（比）への影響は小さい。すなわち、走びよう速度が走びよう抵抗力（比）に及ぼす影響は無視できるものと思われる。

(3) 飽和砂地盤の場合

飽和砂地盤の場合の走びよう抵抗力実験は、特に詳細には実施していない。そこで乾燥砂地盤と飽和砂地盤と

両方で表-2.9 に示す地表面での繰返し実験を行い、両者での差異を検討してみる”。前述のとおり、この繰返し実験は走びよう中のいかりの姿勢の変化に対する走びよう抵抗力特性を調べることを中心に行ったものである。この実験では、ストックレスアンカーのつめが初期に下向きの姿勢をとって地表面走びようした場合のみを取り上げている。

実験ケースは、表-2.9 に示すとおり乾燥砂で 30 ケース、飽和砂で 29 ケースである。この実験結果を表-3.2 に示す。また乾燥繰砂地盤の場合の最大走びよう抵抗力比の分布を図-3.23 に、飽和砂地盤の場合を図-3.24 にそれぞれ示す。これらの結果についてみると、最大走びよう抵抗力比の平均値は、乾燥砂で 5.5、飽和砂で 4.5 と乾燥砂の場合の方が若干大きくなった。最大走びよう抵抗力比の分布は、乾燥砂地盤の場合ほぼ平均値付近を

表-3.2 乾燥砂と飽和砂における最大走びよう抵抗力比の比較

	実験回数	最大走びよう抵抗力比の平均	標準偏差	変動係数 (%)
乾燥砂	30	5.5	0.44	8
飽和砂	29	4.5	1.98	44

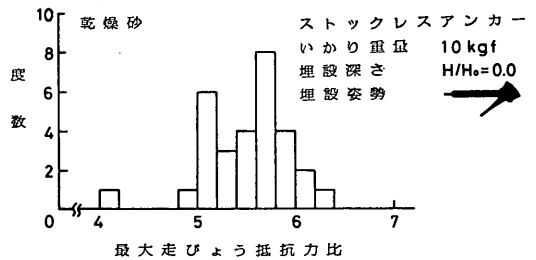


図-3.23 最大走びよう抵抗力比の分布（乾燥砂）

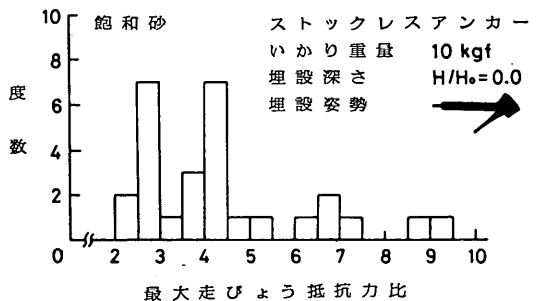


図-3.24 最大走びよう抵抗力比の分布（飽和砂）

走びよう中のいかりの挙動と走びよう抵抗力特性

中心としてまとまっておき、その分布形は比較的正規分布に近い。一方飽和砂地盤の場合は極端にばらつきが大きい。これは標準偏差及び変動係数が大きいことをみてもわかる。飽和砂地盤の場合にこのような結果が出たことの原因として、次のようなことが考えられる。一度作成した模型地盤を繰り返し利用したために、各実験ケースごとの地盤強度（特に地表面近く）に比較的大きな相違がでたこと、すなわち最初は水締め状態で締め固まった地盤が、繰り返すうちに乱されたことによるものと思われる。これは特に最初の実験ケースにおいて、大きな走びよう抵抗力比が出ていることからもうなずける。したがって、実際の最大走びよう抵抗力比の分布形は、乾燥砂の場合に近づくものと思われる。

以上の実験結果から、飽和砂の場合の最大走びよう抵抗力比は乾燥砂の場合に比べやや小さい。その差異があまり顕著でないことからみて、乾燥砂の走びよう抵抗力特性を飽和砂に適用してもよいと思われる。

(4) 粘性土地盤の場合

粘性土地盤における走びよう抵抗力実験も特別に実施しなかったので、X線撮影実験で得た走びよう抵抗力をもって検討する。模型地盤の粘着力は、前述したとおり平均で0.09 tf/m²である。いかりの埋設姿勢は、表-2.5に示す4種類で実験ケース数は5である(CAとCEのケースは同一条件)。図-3.25及び図-3.26にそれぞれつめが上向き、水平の場合の走びよう抵抗力比曲線を示す。いずれの場合も走びよう距離がほぼ0.5H₀付近で

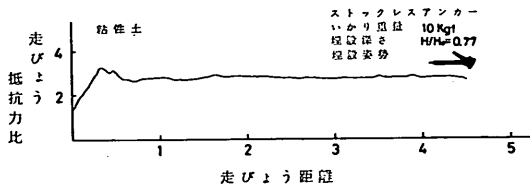


図-3.25 粘性土地盤中の走びよう抵抗力比曲線 (つめは上向き)

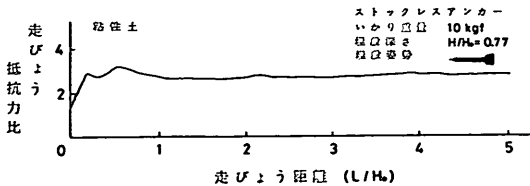


図-3.26 粘性土地盤中の走びよう抵抗力比曲線 (つめは水平)

最大走びよう抵抗力比となり、その後約5H₀の区間まではほぼ一定の値である。各実験ケースにおける最大走びよう抵抗力比を表-3.3に示すが、その値はいずれも3程度で、特につめの向きによる差は認められなかった。

表-3.3 粘性土地盤での最大走びよう抵抗力比

実験ケース	最大走びよう抵抗力比
CA	2.7
CB	3.4
CC	3.2
CD	3.4
CE	3.1
平均	3.2

ところでいかりを粘性土地盤中で走びようさせたときの走びよう抵抗力比は、粘性土のせん断強度によって影響を受けることが考えられる。そこでこの走びよう抵抗力比を、式(3.4)に示すようにランキン受働土圧を用いて試算した値¹³⁾と実験結果とを比較してみることにする。

$$R = (\gamma H + 2c)A_b / W \quad (3.4)$$

ここに γ : 粘性土の単位体積重量 (kgf/cm³)

H : いかりの潜り込み深さ (cm)

c : 粘性土の粘着力 (kgf/cm²)

A_b : いかりの走びよう方向への投影面積 (cm²) で (いかりのつめの高さ) × (いかりの幅) とする

W : いかりの空中重量 (kgf)

式(3.4)では、走びよう中の粘性土地盤内の間隙水圧や、いかりの背後に生ずる負の水圧は考慮していない。いかりの投影面積は、つめの部分の面積のみではなく、二つのつめの間にある空間をも含めた投影面積を考慮することにする。これはつめとつめの間にある粘性土のアーチ作用によって、その部分の粘性土もいかりと一体になって移動すると考えたからである。今、 $\gamma = 1.5 \times 10^{-8}$ kgf/cm³, $H = 30$ cm, $c = 0.009$ kgf/cm², $A_b = 483$ cm², $W = 10$ kgf として最大走びよう抵抗力比を求めると、 $R = 3.0$ となる。この値は、表-3.3に示した実験値とよく一致する。

一方、粘性土地盤中に深く潜っている場合のいかりの

最大走びよう抵抗力比を推定する式として、式(3.5)が提案されている¹³⁾。

$$R=(8.5\sim 11.4)cA_b/W \quad (3.5)$$

式(3.5)により、上記と同じ条件での最大走びよう抵抗力比を求めると、 $R=4.1\sim 5.5$ となり実験結果よりやや大きい値となる。したがって、今回の実験のように埋設深さが、いかりの全長程度と比較的浅い状態の場合には、式(3.4)の方が式(3.5)よりも最大走びよう抵抗力比を推定するにはよいことを示している。

4. 海底パイプラインの埋設深さに及ぼす影響

海底パイプラインは船舶による投走びようなどに対し、安全かつ適切な深さに埋設されていることを要求される。ここではパイプラインの埋設深さの決定に際しての走びようによる影響を中心に検討を行った。

まず、表-4.1 に一般的な埋設深さの決定手順を示す。

表-4.1 埋設深さの決定手順

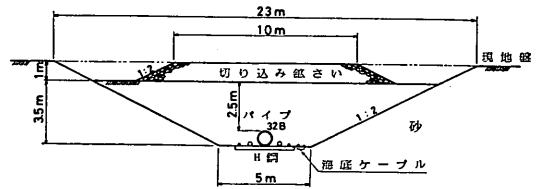
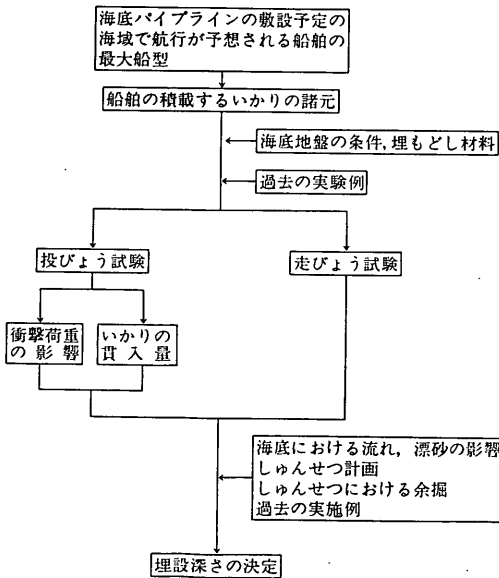


図-4.1 埋もどしの施工例 (その 1)

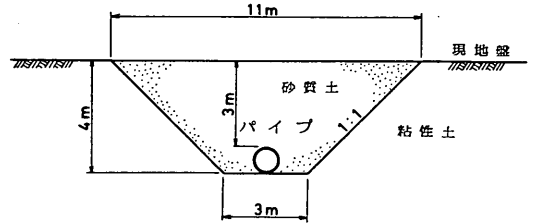


図-4.2 埋もどしの施工例 (その 2)

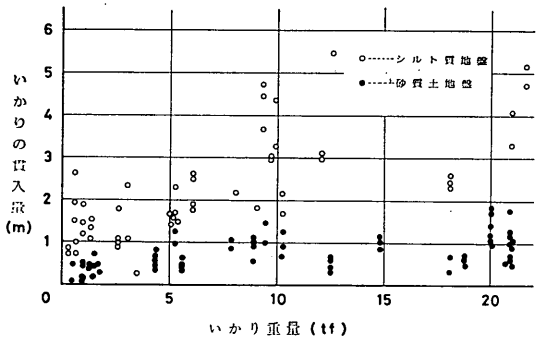


図-4.3 いかりの貫入量の実測値

投びよう時のいかりの貫入量について、既往の投びよう試験結果⁹⁾をまとめたものを図-4.3に示す。また、これらのデータを基礎として算定した貫入量の推定値を表-4.2に示す。この表より、いかり重量20トン未満の範囲内における投びよう時のいかりの貫入量は、粘性土地盤の場合最大でもいかりの全長、砂質土地盤ではその20%程度とみなせる。

投びよう直後のいかりの着地姿勢については、通常はつめが上向きの状態が大半でつめが下向きになる場合はほとんどないとされている^{3,13,14)}。いかりが大きくなれば駐力を得るためには、つめを下向きにする必要がある。このために、いかりを海底面近くまで吊り下ろし静置する方法がある。しかし、海底パイプラインが敷設されている周辺は、通常投びようが禁止されており、このような状態は一般にありえないと思われるが、万一あったとして

従来の海底パイプラインの設計においては、埋設深さは投びようによる影響でもおに決定されており、走びようによる影響は二次的なものと考えられ、具体的な検討はほとんどされていない。今回の一連の走びよう模型実験により若干の新たな知見を得たので、これを基に投走びようの両者を考慮した埋設深さについて述べることにする。なお参考のため、パイプの埋もどし部の施工例を図-4.1及び図-4.2に示す。

走びょう中のいかりの挙動と走びょう抵抗力特性

表-4.2 投びょう時のいかりの貫入量の推定値

いかりの重量	いかりの全長 (H_0)	シルト系地盤		砂質系地盤	
		いかりの貫入量 (D_c)	D_c/H_0	いかりの貫入量 (D_s)	D_s/H_0
4.05 tf	3.01 m	1.9 m	0.63	0.6 m	0.20
5.25	3.29	2.2	0.67	0.6	0.18
8.30	3.83	2.7	0.70	0.7	0.18
10.50	4.15	3.1	0.75	0.8	0.19
12.30	4.36	3.4	0.78	0.8	0.18
15.00	4.68	3.8	0.81	0.9	0.19
18.50	5.01	4.3	0.86	0.9	0.18

もこの場合のいかりの埋没量は、海面上から投びょうしたときと比べかなり小さくなる。文献13)によれば、軟弱な粘性土地盤にいかりを静置したときの埋没量は、投びょうしたときの貫入量の1/2程度となる。なお、この文献で実験対象としているいかりの重量は1 tf, 5 tf, 10 tfのみであるが、この結果を一般的なものとみなすことにする。

3.1で述べたX線撮影実験結果について、再度ここで要約してみることにする。砂質土地盤の場合、いかりが初期の位置より深く食い込むのはつめが下向きときであって、その量は H_0 の10%程度である。その他の姿勢では、走びょう距離 $3H_0$ 以内で地表面に引き出される。粘性土地盤の場合は、つめが下向きときにやはり潜り込みをみせ、その量は H_0 の30~40%になる。またいかりは全般的にあまり浮き上がらず、ほぼ一定の深さのまま走びょうする。

以上のことを考慮しながら、海底パイプライン近傍での走びょう中のいかりの挙動について考察してみることにする。前述のとおり埋もどし部周辺の粘性土地盤内で、つめが下向きの状態になる可能性の高いのは、静置状態でいかりが埋没した場合である。このときの埋没深さは H_0 の1/2程度であるので、この位置から走びょうが開始され、その後 $(0.3\sim 0.4)H_0$ 程度の食い込みがあったとしても、投びょう時のいかりの貫入量(H_0 程度)には及ばない。つめがその他の向きときは、ほぼ水平かまたはやや浮き上がる傾向にあるので問題とはならない。投びょう時につめが下向きの姿勢となることがほとんどなく、また走びょう途中につめが下向きに変わる場合も

ほとんどないことから、いかりが投びょう時の貫入量以上になることは極めて少ないと言えるであろう。

次に粘性土地盤を走びょうしてきたいかりが、埋もどし部(砂質土地盤)に到達した以後についてみることにする。前述のとおりここまでつめが下向きの状態で走びょうしてくる可能性は低く、あったとしてもこのときはいかりの深さは H_0 以浅である。砂質土での食い込み量は最大 H_0 の10%程度であるが、埋もどし部の端よりパイプが埋設されている位置までの距離を走びょうすれば、いかりは浮き上がり、パイプ埋設位置でいかりが H_0 以上の深さになることはほとんどないと考えられる。つめが下向き以外の姿勢のときは、砂質土地盤ではいかりは急速に浮き上がることになるので、パイプに損傷を与える可能性は少ない。走びょう中におけるこのような一連のいかりの挙動の例を、図-4.4及び図-4.5に示す。

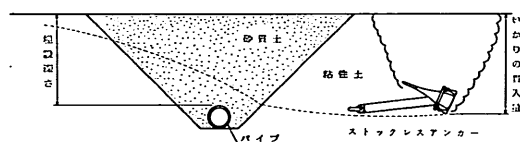


図-4.4 走びょう中のいかりの挙動 (その1)

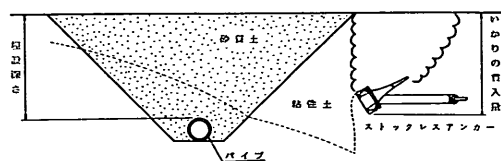


図-4.5 走びょう中のいかりの挙動 (その2)

以上のことから、パイプの埋設深さを、埋もどし部周辺の粘性土地盤における投びょう時の貫入量以上としておけば、走びょうによりパイプが損傷を受ける可能性は小さいと言える。ただし、パイプの埋設深さの決定に際しては、走びょうによる影響を無視すべきでないことはもちろんのことである。

5. 結 論

いかり(種類: ストックレスアンカー)が軟弱な粘性土地盤(現地での粘着力 $c \approx 1.0 \text{ tf/m}^2$ を想定)及び砂質土地盤中で走びょうしたときはいかりの挙動及びこの挙動とけん引索に生ずるいかりの抵抗力特性との関連を室内模型実験(模型いかりの寸法の縮尺: 1/12, 1/15及び1/18)により調べた。模型いかり及び模型地盤などに関

する実験の諸条件は、実物と模型でのエネルギー保存及び地盤の強度 (c 及び ϕ) などを考慮した相似則を用いて設定した。

これらの室内模型実験の結果から、走びょう中のいかりの挙動について次のような結論を得た。

1. 砂質土地盤中にいかりをその全長 (H_0) 程度埋設して走びょうした場合 (いかりのシャンクは水平)、つめが下向き以外の初期の姿勢では、 $(2\sim 3)H_0$ の距離を移動すればいかりは地表面に引き出されてくる。一方がつめが下向きの姿勢では、走びょう開始直後いかりは若干地盤中に潜り込む。しかし、 $(2\sim 3)H_0$ の区間で徐々に浮き上がる傾向を示し、それ以降今回の実験の範囲 (H_0 の数倍程度) 内では、ほぼ一定の深さのままいかりは移動する。
2. 軟弱な粘性土地盤中では、つめが下向きの姿勢の場合にのみ H_0 の 30~40% 程度の食い込みがあり、その他の姿勢の場合では食い込みはみられず、逆に若干の浮き上がり傾向を示す。今回の実験の範囲内では、いずれの姿勢の場合でも地表面に引き出されることはなく、 $2H_0$ 付近以降ではほぼ水平に移動する。
3. 砂質土 (乾燥砂) 地盤中におけるいかりの最大走びょう抵抗力比 (最大走びょう抵抗力をいかりの空中重量で除した値で、ここでは R で表示する) は、いかなるいかりの姿勢の場合でも、その潜り込み深さ (本実験ではいかりの初期の埋設深さ (H)) にほぼ比例する。また、地表面を走びょうする場合の最大走びょう抵抗力比は、つめが下向きのときに最大となりその値は 4~6 程度である。つめが下向きの場合の最大走びょう抵抗力比と潜り込み深さの関係は、次式で近似することができる。

$$R=(4\sim 6)+30(H/H_0)$$

4. 砂質土 (乾燥砂) 地盤での最大走びょう抵抗力比に及ぼすいかりの重量あるいは走びょう速度の影響は共に小さい。
5. 軟弱な粘性土地盤中にいかりが $0.8H_0$ 程度埋設されているときの最大走びょう抵抗力比は、いかりの姿勢に関係なくほぼ 3 程度である。(なお、粘性土地盤における潜り込み深さの影響については、今回の検討対象とはしていない。)
6. 結論 2. で指摘したように、粘性土地盤においてつめが下向きの姿勢の場合、いかりは走びょうにより若干潜り込む傾向にある。しかしながら、4. 海

底パイプラインの埋設深さに及ぼす影響で考察したように、砂質土を用いた埋もどし部の周辺が軟弱な粘性土地盤であるような海底パイプラインにおいては、周辺の粘性土地盤での投びょうによるいかりの貫入量以上にパイプの埋設深さを設定している限り、走びょうによりいかりがパイプに損傷を与える可能性は小さいと言える。

6. あとがき

いかりの走びょうに対する海底パイプラインの安全性を確認するために二種類の室内模型実験を実施した。

現地の地盤の状態を模型地盤に忠実に反映させることの困難さ、及びX線発生装置の能力により模型地盤の大きさに制限を受けたことなど、種々の制約のため、初期の目的を達成するため十分な実験が行われたとは言難い面もある。特に、いかりの投びょう時の状態を実験槽内で再現できなかったことや、模型地盤の土質条件として一種類の砂質土及び粘性土のもとでしか実験を実施しなかったなど著者らとして心残りの点もある。しかしながら、室内模型実験の結果から、地盤内を走びょうするいかりの挙動について若干の新たな知見を得ており、これらが海底パイプラインの計画・建設に際して、多少でも貢献できれば、著者らの幸とするところである。

また本実験の計画及び実施の段階で中山茂雄第五港湾建設局衣浦港工事事務所長 (前沈埋構造研究室長) から数々の指導を得たことに感謝の意を表します。また実験の実施に際して、便宜を図って下さった運輸省港湾技術研究所の構造部各位に感謝致します。

なお、X線撮影実験は、(株)荏原製作所袖ヶ浦工場及び石川島検査サービス(株)に委託して実施しました。

参 考 文 献

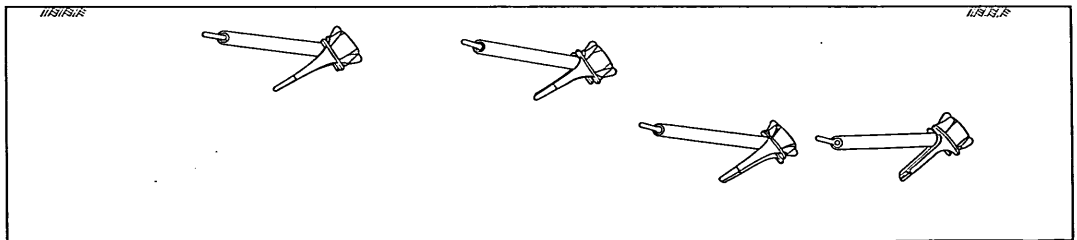
- 1) 中山茂雄, 清宮理, 藤沢孝夫: 海底パイプラインに作用する衝撃荷重の実験的研究, 港湾技術研究所報告, 第 15 巻, 第 3 号, 1976 年 9 月
- 2) 河本 清: 海底パイプラインの落錘実験, 川崎製鉄技報, Vol. 6, No. 1, 1974 年, pp. 78~89
- 3) 坂 平吾, 他: 泥の海底における模型錨の把駐試験, 日本航海学会誌, 第 45 号, 1971 年 8 月, pp. 65~72
- 4) 運輸省第二港湾建設局横浜調査設計事務所: 実船による投錨および走びょう試験結果報告書, 1972 年 9 月, pp. 1~16
- 5) 運輸省第二港湾建設局横浜調査設計事務所: 投錨および引張試験結果報告書, 1972 年 10 月
- 6) 翁長一彦, 他: JIS 型ストックレスアンカーの把

走びょう中のいかりの挙動と走びょう抵抗力特性

- 駐特性, 船舶技術研究所資料, No. 60, 1963年3月, pp. 341~351
- 7) 本田啓之輔, 他: 水槽実験によるアンカーの把駐特性, 日本航海学会誌, 第22号, 1960年3月
 - 8) 日本工業規格: F 3301, アンカー
 - 9) 中山茂雄, 清宮 理: 投錨試験における錨の貫入量, 港湾技研資料, No. 215, 1975年6月, pp. 1~18
 - 10) 鞠谷宏士, 他: 錨の動的把駐特性に関する実験研究, 日本航海学会誌, 第40号, 1968年12月, pp. 195~208
 - 11) 最上武雄: 土質力学, 技報堂, 1969年, pp. 778~780
 - 12) 日本海事協会: 鋼船規則集, 日本海事協会, 1978年, pp. 176~178
 - 13) 日本海難防止協会: 昭和50年度海難防止の調査研究事業報告書(大型専用船の錨泊の安全に関する調査研究)完了報告書, 1976年3月, pp. 1~48
 - 14) 大羽真治, 他: 大阪湾の底質と投下時におけるアンカー姿勢について, 日本航海学会誌, 第38号, 1967年12月, pp. 167~179
 - 15) 本田啓之輔: アンカーによる係止力, 日本航海学会誌, 第49号, 1976年6月, pp. 28~34
- 特に引用しなかったが, 以下の文献も参考にした。
- 16) 日本海難防止協会: 昭和50年度海難防止の調査研究事業報告書(大型専用船の錨泊の安全に関する調査研究)完了報告書別冊, 1976年3月
 - 17) 翁長一彦: アンカーの把駐力に関する理論的考察, 船舶技術研究所報告, 第4巻, 第6号, 1967年11月, pp. 1~18
 - 18) 横田利雄, 他: 錨の把駐力に関する実船実験, 日本航海学会誌, 第27号, 1962年6月, pp. 27~35
 - 19) 玉置 誠, 他: 函館港における青函連絡船の錨及び錨鎖の把駐力に関する実験について, 日本航海学会誌, 第26号, 1961年12月, pp. 95~103
 - 20) 本田啓之輔, 他: JIS型ストックレスアンカーの把駐性に関する水槽実験, 日本航海学会誌, 第24号, 1961年, pp. 73~82

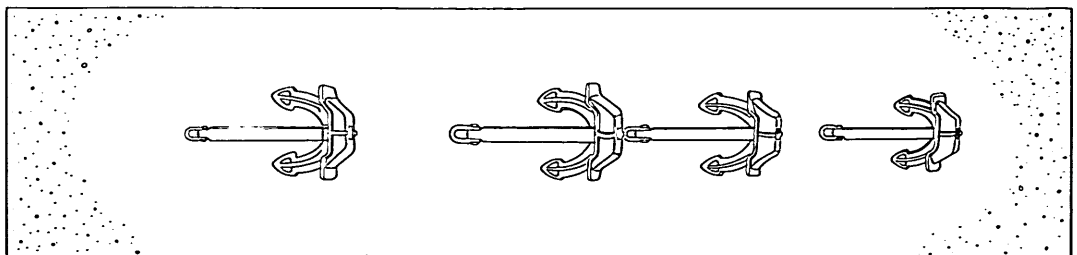
付 録

X線撮影によって得られた走びょう中のいかりの姿勢と軌跡とを取りまとめた結果については本文の3.1に述べてある。付録では表-2.5に示されたX線撮影実験ケース(合計13ケース)ごとすべてのいかりの姿勢と軌跡とを付図-1~付図-26に示す。なお, 図中におけるいかりの走びょう方向は右から左である。



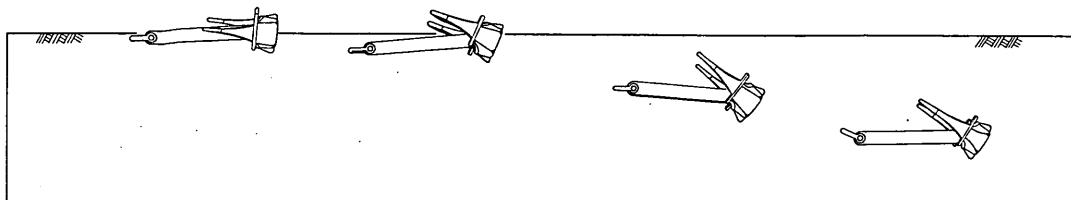
DA-H

付図-1 つめ下向きの場合のいかりの走びょう姿勢(乾燥砂地盤, 水平方向撮影)



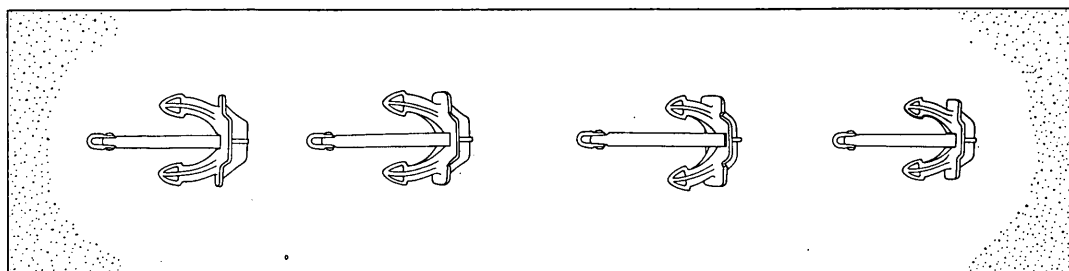
DA-V

付図-2 つめ下向きの場合のいかりの走びょう姿勢(乾燥砂地盤, 上下方向撮影)



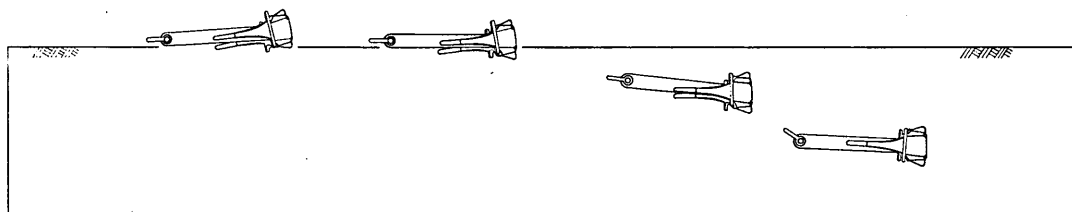
DB-H

付図-3 つめ上向きの場合のいかりの走びょう姿勢（乾燥砂地盤，水平方向撮影）



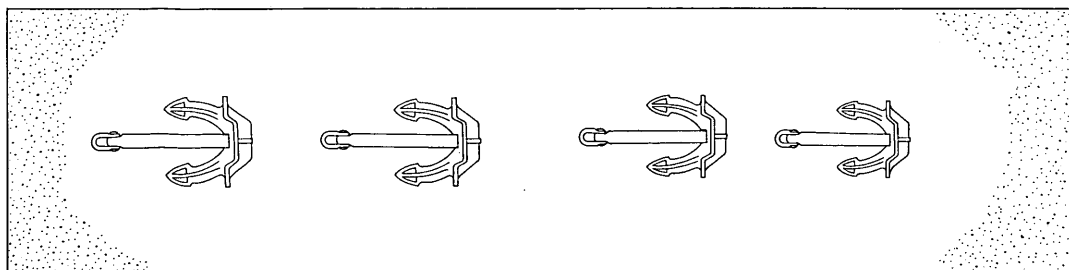
DB-V

付図-4 つめ上向きの場合のいかりの走びょう姿勢（乾燥砂地盤，上下方向撮影）



DC-H

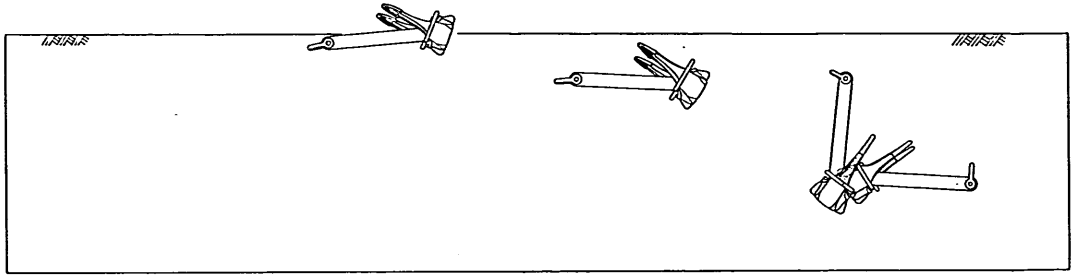
付図-5 つめ水平の場合のいかりの走びょう姿勢（乾燥砂地盤，水平方向撮影）



DC-V

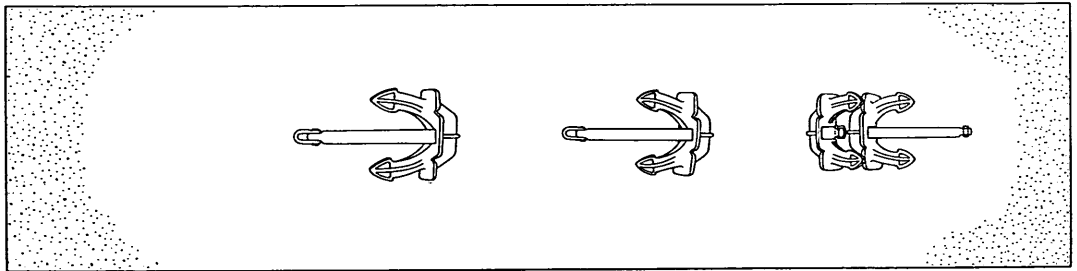
付図-6 つめ水平の場合のいかりの走びょう姿勢（乾燥砂地盤，上下方向撮影）

走びょう中のいかりの挙動と走びょう抵抗力特性



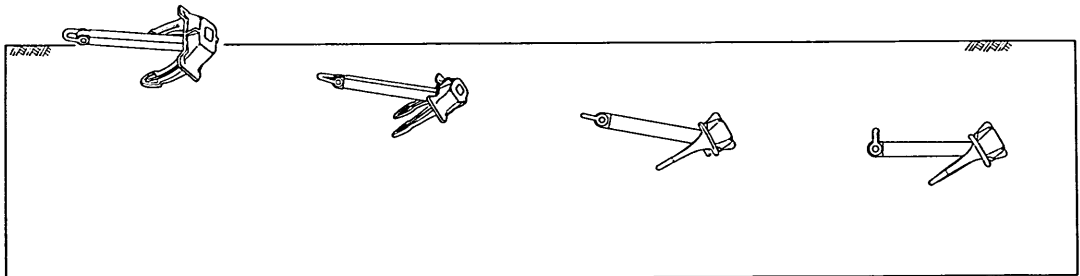
DD-H

付図-7 つめ上向きの場合のいかりの走びょう姿勢（乾燥砂地盤，水平方向撮影）



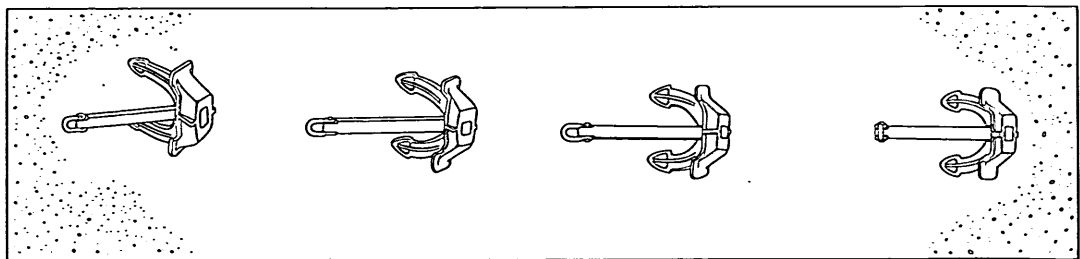
DD-V

付図-8 つめ上向きの場合のいかりの走びょう姿勢（乾燥砂地盤，上下方向撮影）



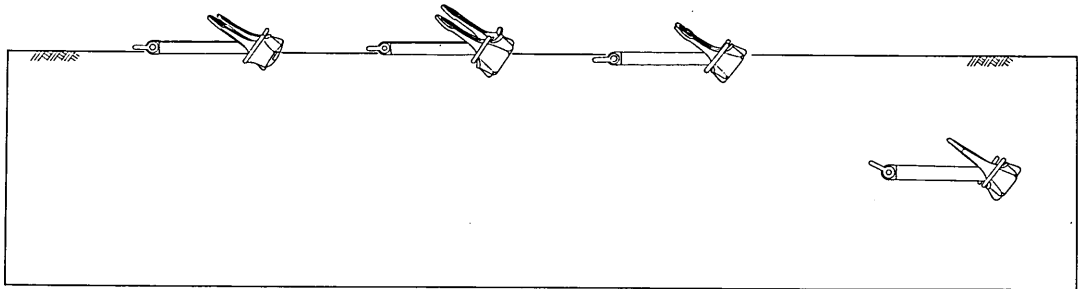
WA-H

付図-9 つめ下向きの場合のいかりの走びょう姿勢（飽和砂地盤，水平方向撮影）



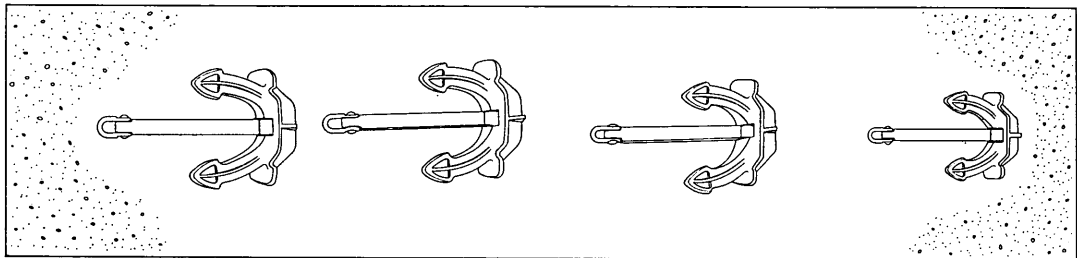
WA-V

付図-10 つめ下向きの場合のいかりの走びょう姿勢（飽和砂地盤，上下方向撮影）



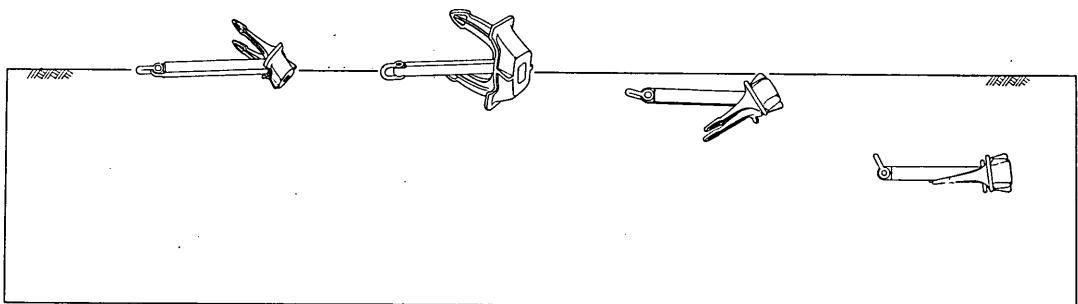
WB-H

付図-11 つめ上向きの場合のいかりの走びょう姿勢（飽和砂地盤，水平方向撮影）



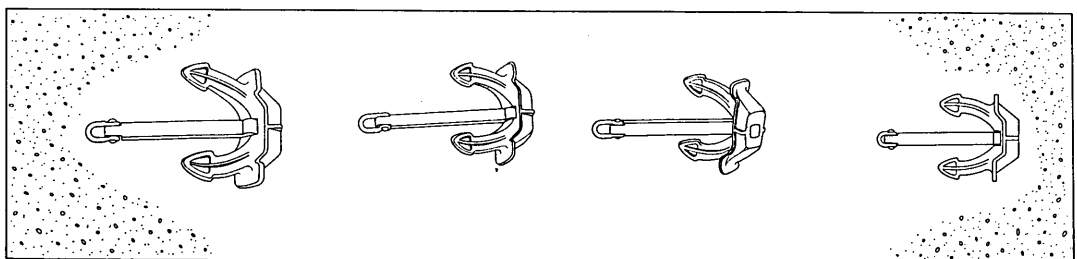
WB-V

付図-12 つめ上向きの場合のいかりの走びょう姿勢（飽和砂地盤，上下方向撮影）



WC-H

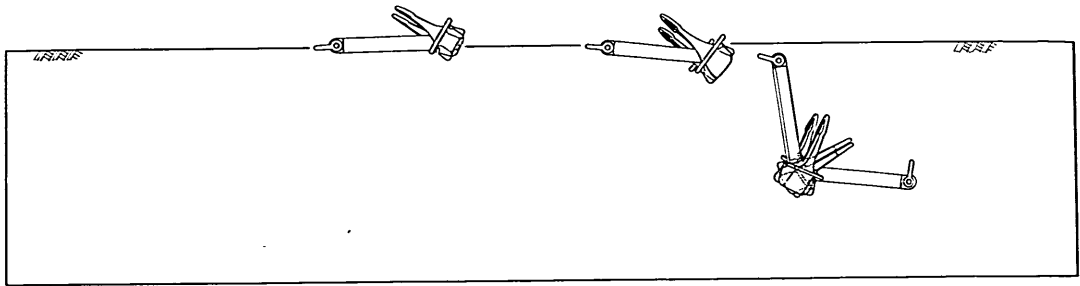
付図-13 つめ水平の場合のいかりの走びょう姿勢（飽和砂地盤，水平方向撮影）



WC-V

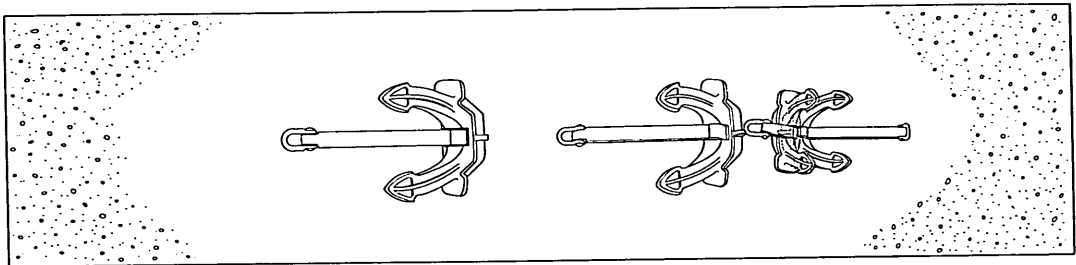
付図-14 つめ水平の場合のいかりの走びょう姿勢（飽和砂地盤，上下方向撮影）

走びょう中のいかりの挙動と走びょう抵抗力特性



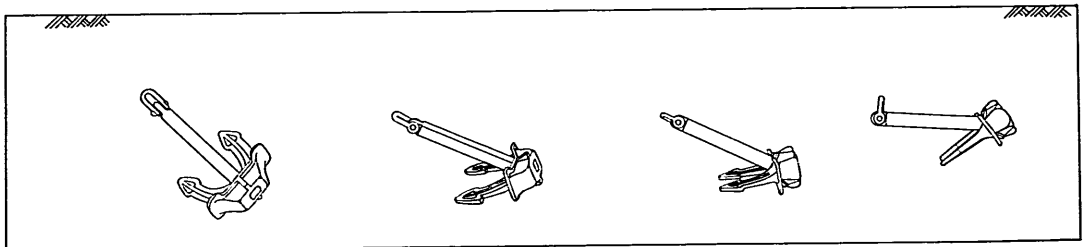
WD-H

付図-15 つめ上向きの場合のいかり走びょう姿勢（飽和砂地盤，水平方向撮影）



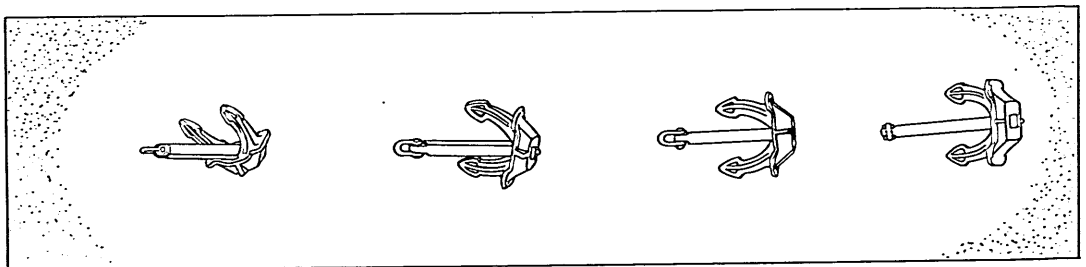
WD-V

付図-16 つめ上向きの場合のいかりの走びょう姿勢（飽和砂地盤，上下方向撮影）



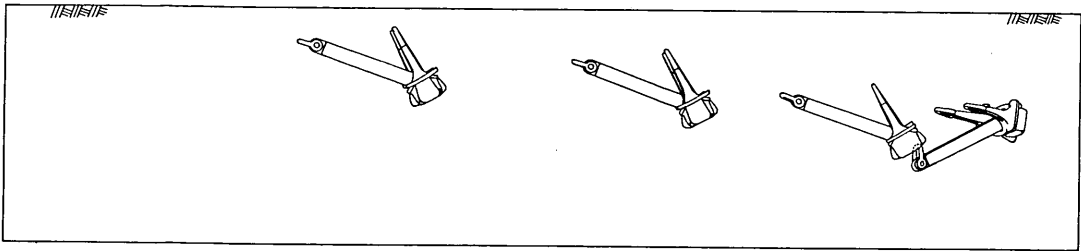
CA-H

付図-17 つめ下向きの場合のいかりの走びょう姿勢（粘性土地盤，水平方向撮影）



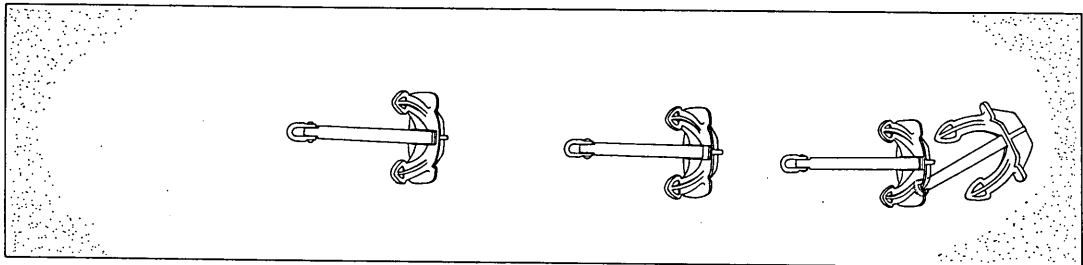
CA-V

付図-18 つめ下向きの場合のいかりの走びょう姿勢（粘性土地盤，上下方向撮影）



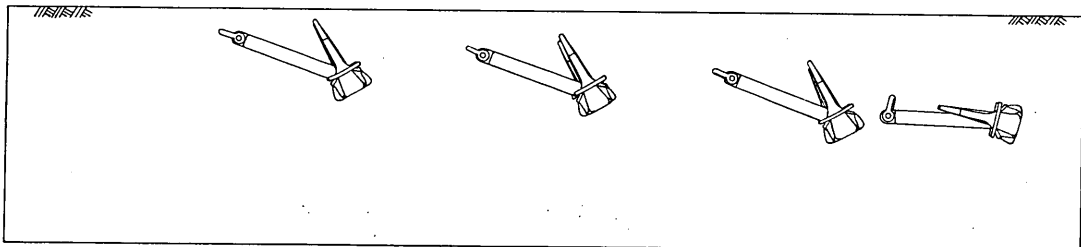
CB-H

付図-19 つめ上向きの場合のいかりの走びょう姿勢（粘性土地盤，水平方向撮影）



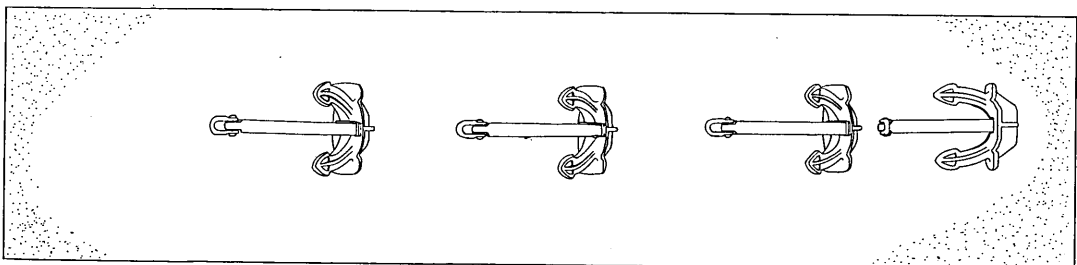
CB-V

付図-20 つめ上向きの場合のいかりの走びょう姿勢（粘性土地盤，上下方向撮影）



CC-H

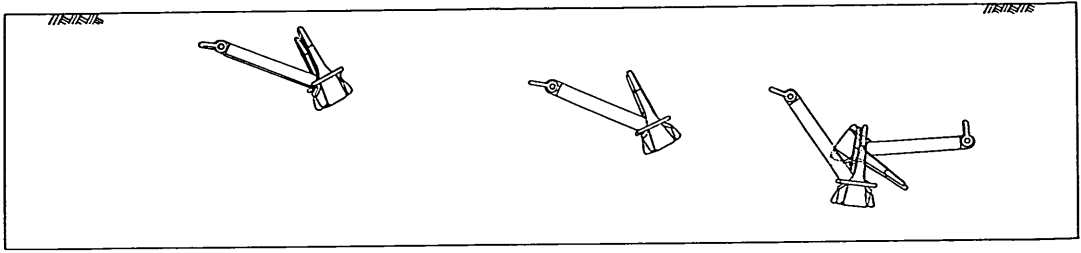
付図-21 つめ水平の場合のいかりの走びょう姿勢（粘性土地盤，水平方向撮影）



CC-V

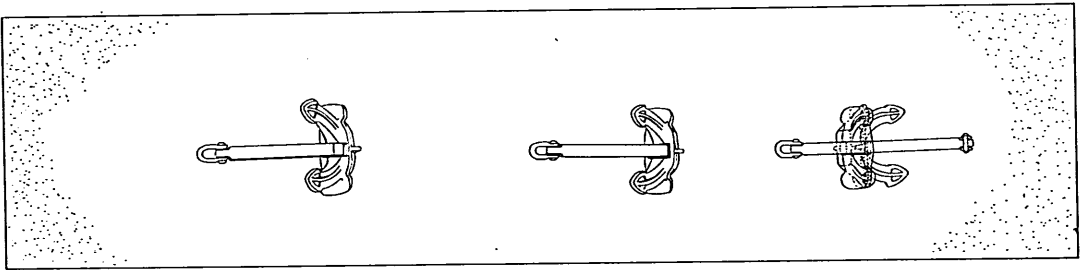
付図-22 つめ水平の場合のいかりの走びょう姿勢（粘性土地盤，上下方向撮影）

走びょう中のいかりの挙動と走びょう抵抗力特性



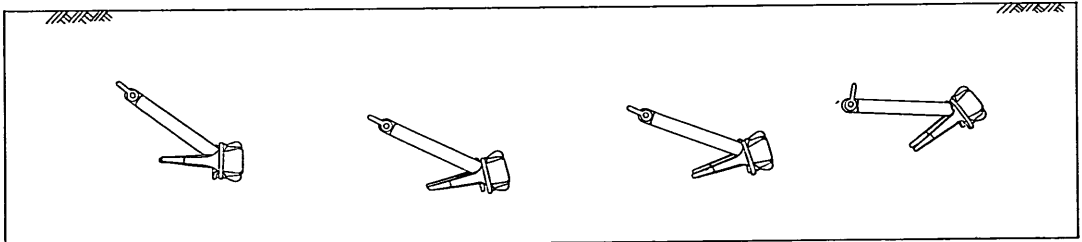
CD-H

付図-23 つめ下向きの場合のいかりの走びょう姿勢（粘性土地盤，水平方向撮影）



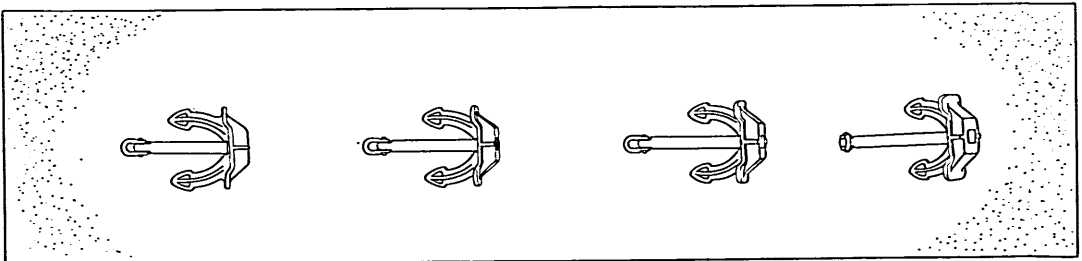
CD-V

付図-24 つめ下向きの場合のいかりの走びょう姿勢（粘性土地盤，上下方向撮影）



CE-H

付図-25 つめ下向きの場合のいかりの走びょう姿勢（粘性土地盤，水平方向撮影）



CE-V

付図-26 つめ下向きの場合のいかりの走びょう姿勢（粘性土地盤，上下方向撮影）

港湾技術研究所報告 第18巻 索引

論文名・著者

巻号 頁

水工部

- 多列円筒浮体に働く津波力の算定法について
 ……………小舟浩治・高橋重雄・谷本勝利……18 2 3~ 26
- 大洗海岸における砕波帯内の総合観測
 ……………田中則男・加藤一正・灘岡和夫・小山内英雄・近藤隆道……18 2 27~ 57
- 干潟上の潮流計算および干潟変形予測の手法
 ……………加藤一正・田中則男・灘岡和夫……18 4 3~ 76

海洋水理部

- 波浪資料の統計的取扱いに関する考察……………合田良実……18 1 5~ 32
- 前向き段差をもつ地形上の風の境界層と摩擦抗力係数の実験
 ……………加藤 始・安間 清・土肥俊満……18 3 3~ 36
- 護岸のある海浜のてい線変化数値計算……………小笹博昭・Alan H. Brampton……18 4 77~104

土質部

- 超軟弱粘土の圧密試験法とその適用……………梅原靖文・善 功企……18 1 33~ 65
- 第Ⅲ種設計法によるPCスラブの空港舗装への適用に関する研究
 ……………福手 勤・佐藤勝久・山崎英男……18 3 37~ 63

構造部

- 矢板岸壁地震時被災の分析……………北島昭一・上部達生……18 1 67~127
- 出入港における大型タンカーの操船および航跡について
 ——鹿島港における実船調査報告——……………上田 茂・柳沢雄博……18 3 65~153
- 走びょう中のいかりの挙動と走びょう抵抗力特性
 ……………清宮 理・藤沢孝夫・輪湖建雄……18 4 105~139

設計基準部

- 港湾計画における財政に関する研究（第一報）——港湾管理者財政の現状と
 特徴——……………矢島道夫・中村松子・稲村 肇……18 1 129~176

港湾計画における財政に関する研究（第二報）——財政モデルの基本構造と試算

結果——……………矢島道夫・中村松子……18 3 155～194

機 材 部

超高压水ジェットによる岩盤掘削……………東海林秀幸・中島忠男……18 1 177～197

Index of Report of P.H.R.I. Vol. 18

	Vol.	No.	pp
Hydraulic Engineering Division			
A Method to Calculate Tsunami Forces on a Multi-cylinder Floating Body..... Koji KOBUNE, Shigeo TAKAHASHI and Katsutoshi TANIMOTO.....	18	2	3~ 26
Observation of Hydraulic Phenomena in the Surf Zone at the Oh-arai Beach.....Norio TANAKA, Kazumasa KATOH, Kazuo NADAOKA, Hideo OSANAI and Takamichi KONDOH.....	18	2	27~ 57
Tidal Simulation on Tidal Marsh and Numerical Forecasting of its Topographic Deformation Kazumasa KATOH, Norio TANAKA and Kazuo NADAOKA.....	18	4	3~ 76
Marine Hydrodynamics Division			
A Review on Statistical Interpretation of Waves Data.....Yoshimi GODA.....	18	1	5~ 32
Experiments on Wind Boundary-Layer and Skin Friction Coefficient Downstream of a Forward-Facing Step Hajime KATOH, Kiyoshi AMMA and Toshimitsu DOI.....	18	3	3~ 36
Models for Predicting the Shoreline Evolution of Beaches backed by Seawalls.....Hiroaki OZASA and Alan H. Brampton.....	18	4	77~104
Soils Division			
Consolidation Test Method of Very Soft Clays and Its Application Yasufumi UMEHARA and Kouki ZEN.....	18	1	33~ 65
A Study on the Applicability of III Class PC Slab for Airport Pavements.....Tsutomu FUKUTE, Katsuhisa SATOH and Hideo YAMAZAKI.....	18	3	37~ 63
Structures Division			
Analysis on Seismic Damage in Anchored Sheet-piling Bulkheads Shoichi KITAJIMA and Tatsuo UWABE.....	18	1	67~127
Entrance and Departure Maneuverings and Trails of VLCC at the Deep Water Terminal.....Shigeru UEDA and Katsuhiko YANAGISAWA.....	18	3	65~153
The Behavior of Dragged Anchors and Dragging Power CharacteristicsOsamu KRYOMIYA, Takao Fujisawa and Tatsuo WAKO.....	18	4	105~139

An Analysis of Financial Conditions of Port Management Body			
..... Michio YAJIMA, Matsuko NAKAMURA and Hajime INAMURA.....	18	1	129~176
The Financial Model of Port Management Body			
..... Michio YAJIMA and Matsuko NAKAMURA.....	18	3	155~194

Machinery Division

Rock Excavation by High Pressure Water Jets			
..... Hideyuki SHOJI and Tadao NAKAJIMA.....	18	1	177~197