

# 港 湾 技 研 資 料

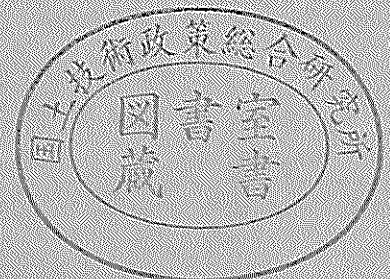
TECHNICAL NOTE OF  
THE PORT AND HARBOUR RESEARCH INSTITUTE  
MINISTRY OF TRANSPORT, JAPAN

No. 553      June 1986

砂地盤中のブロックアンカーの引張り抵抗

高 橋 邦 夫  
富 田 幸 晴

運輸省港湾技術研究所



# 目 次

要 旨 .....	3
1. まえがき .....	3
2. これまでの研究及び現在の設計法 .....	4
2.1 砂地盤中のアンカーに関する既往の研究 .....	4
2.2 砂地盤中のアンカーに関する現行設計法 .....	6
3. 模型アンカーの引張り実験 .....	7
3.1 模型実験の概要 .....	7
3.2 実験装置 .....	7
3.3 実験地盤の作成及びアンカーの埋設 .....	9
3.4 実験の方法 .....	11
3.5 実験の条件 .....	13
4. 実験結果 .....	15
4.1 ワイヤーの摩擦及び伸びの補正について .....	15
4.2 水平引張り実験の結果 .....	19
4.3 鉛直引揚げ実験の結果 .....	21
5. 考 察 .....	23
5.1 水平引張り実験の考察 .....	23
5.2 鉛直引揚げ実験の考察 .....	29
5.3 既往の計算法による検討 .....	32
6. まとめ .....	34
7. あとがき .....	34
参考文献 .....	34
記号一覧表 .....	35

## Pulling Resistance of Block Anchor in Sand

Kunio TAKAHASHI\*  
Yukiharu TOMITA\*\*

### Synopsis

While anchors are significantly important for floating type structures, neither the anchor resistance against pulling force is made clear nor experimental data are sufficient. Therefore, an experimental study on the pulling resistance of block anchors, which are frequently used for the port and harbor facilities, are carried out particularly focusing on the case when they are buried deeply. Several series of pulling tests are made for the model anchors embedded in the uniform sand with various depths. The model anchors used are cubes with sides 5-10cm long and spheres with diameters of 5-10.5cm. Using the experimental results, the following relations are examined: the relation between the resisting behavior and the conditions of the anchors (shape and scale), the relation between the ultimate resistance and the conditions of the anchors, and the relation between the ultimate resistance and the embedded depth of the anchors.

---

\* Chief of Foundations Laboratory, Soils Division

\*\* Member of Foundations Laboratory, Soils Division

# 砂地盤中のブロックアンカーの引張り抵抗

高橋 邦夫\*

富田 幸晴\*\*

## 要 旨

浮遊式構造物の係留装置として重要なブロックアンカーの引張り抵抗の推定法については、実験的な裏付けが乏しい。またこれからは抵抗力の大きなアンカーが求められて、アンカーがより深く埋設される傾向にあると思われるが、深く埋設された場合には特に現行設計法に問題がある。そこで、ブロックアンカーの引張り抵抗について、特に砂地盤中に比較的深く埋設された場合を中心に検討するために、実験的研究を行った。一様な砂地盤中に埋設された一辺5～10cmの立方体及び直径5～10.5cmの球体のブロックアンカーの引張り試験を行い、模型アンカーの大きさ及び形状と引張り抵抗挙動との関係、模型アンカーの大きさ及び埋設深さと極限抵抗力との関係、などについて検討した。

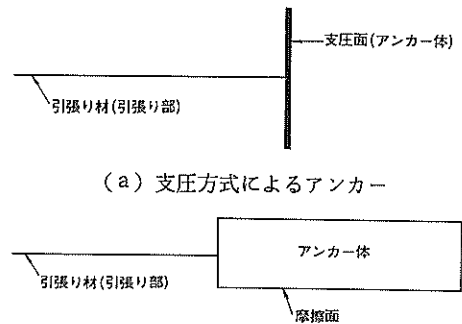
## 1. まえがき

港湾建設を取り巻く諸情勢の変化により、浮遊式構造物が港湾の施設あるいはこれに準ずる施設として重要となってきている。具体例としては、浮き防波堤を始めとして北九州市の白島や長崎県上五島の洋上石油備蓄基地がある。この浮遊式構造物は、その特徴として、浮体が動かないように留めておくための係留装置を有する。そしてこの係留装置の重要な部分をなすものがアンカーである。

アンカーという言葉が付けられたものあるいは工法が、現在では数多くある。元々アンカーという言葉が示すものと言えば船のいかり(錨)であろう。これを港湾の施設の技術上の基準・同解説<sup>1)</sup>では鋼製アンカーと呼んで、港湾の施設の浮き棧橋やブイの係留に一般的に使われているコンクリートブロックアンカーと区別している。それから港湾構造物としてのアンカーに、矢板壁控え工の一形式である控え版とその使い方が若干変わった形のデッドマンアンカーというものもある。また陸上施設では、近年非常に重要となってきているアースアンカーという工法がある。

アンカーの支持方式についてアースアンカーの用語を

使って考えてみる<sup>2)3)</sup>と、図-1(a)に示すように支圧方式によるものと、図-1(b)のように摩擦方式によるものとの二つに分けることができる。この分類から言えば、港湾における控え版は図-1(a)に相当し、抵抗力は控え版の支圧に多くを依存する。一方、一般的なアースアンカーは、図-1(b)の摩擦に依存するものが主流であると考えられる。すなわち、港湾で用いられるアンカー工法とアースアンカーは、支持形態が基本的に異



(a) 支圧方式によるアンカー

(b) 摩擦方式によるアンカー

図-1 アンカーの支持方式<sup>2)</sup>

\*土質部 基礎工研究室長

\*\*土質部 基礎工研究室

なるといえる。

アースアンカーについては土質工学会においてその力学的な挙動及び設計法が検討されて、アースアンカー指針<sup>2)</sup>ができ上がっている。また港湾施設のうちの控え版やデッドマンアンカーについての設計法は、ある程度整備されていると言えるし、船のいかりは実績が格段に多く、経験的なものではあるが現行の考え方で十分であろう。しかし、浮遊式構造物の係留に主に用いられるコンクリートブロック式アンカーについては、問題が残されていると言わざるを得ない。特に、将来要請される可能性のある抵抗力の大きなアンカーとして深く埋設された場合には、現行の設計法が成り立たないと考えられる。

そこで、コンクリートブロック式アンカーの引張り抵抗に関する力学的挙動を詳細に調べ、設計法を検討するための基礎的な資料を得るために模型実験を行った。ここに報告する模型実験の条件としては、砂地盤中に埋設されたブロックアンカーで、比較的深く埋設された場合を中心に扱っている。

## 2. これまでの研究及び現在の設計法

### 2.1 砂地盤中のアンカーに関する既往の研究

砂地盤中のアンカーの抵抗に関する既往の研究について述べる。まずブロックアンカーの引張り抵抗を考える上で重要な因子を整理しておく、ここに報告する実験のように、水平地表面をもつ様な締め固めを施してある砂地盤に埋設されたアンカーの場合、次の四つが挙げられる。

- 1) アンカーの形状
- 2) アンカーの大きさ(幅または高さ)
- 3) アンカーの埋設深さ
- 4) 地盤の条件

1)のアンカーの形状について、今回の実験では立方体と球体の二種類のものを用いた。しかし、他のアンカーの実験的研究では、円形、正方形、長方形、帯状等のプレートアンカーが用いられる場合が多い。2)のアンカーの大きさ $d$ (立方体の場合一辺の長さ、球体の場合直径)と3)のアンカーの埋設深さ $D$ については、これらの比を取り $D/d$ (根入れ比)という無次元量の形で議論されている。そしてアンカーの抵抗力のほうもアンカーの受圧面積と土中応力で割って無次元化する(後述)と、この抵抗力に関する無次元量は、埋設深さが深くなるに従って増大し、ある一定の深さ以上では一定の値を示すことが認められている。そして、その深さのときの根入れ比は限界根入れ比 $(D/d)_r$ と呼ばれ、重要な検討項目の一つとなっている。4)の地盤の条件については、砂

質地盤の場合、抵抗力 $P$ を、アンカーの受圧面積 $A$ 、土の単位体積重量 $\gamma$ 及びアンカーの埋設深さ $D$ で割った無次元量 $P/A\gamma D$ と内部摩擦角 $\phi$ などの関係が検討されている。

そこで以上のことを踏まえて、砂地盤におけるアンカーの抵抗力について既往の研究例を拾い出してみる。なおここではアンカーの引張り抵抗について、地盤内に埋設されたアンカーを鉛直上方に引き揚げる鉛直引揚げ抵抗と、水平に引っ張る水平引張り抵抗とに分けて考えた。

#### (a) 鉛直引揚げ抵抗について

水平地表面を有する地盤内に埋設された鉛直アンカーを、鉛直上方に引き揚げる場合については、いくつかの算定法が提案されており、電力関係において送電線鉄塔基礎等の設計に用いられているこれらの計算法のうち、Balla<sup>4)</sup>、松尾<sup>5)6)</sup>、勝見<sup>7)</sup>等による三つの方法について以下に簡単に紹介する。

Ballaは、円すい形のアンカーを用いた室内模型実験の結果から、すべり面をアンカー底面の直径と埋設深さの比、及び土の内部摩擦角 $\phi$ のみによって決まる円弧と仮定しており、この円弧を母線とする単純な回転面を三次元的なすべり面として表している。そして、すべり面内の土塊重量と、すべり面上に沿って働くせん断応力をKötterの式に適用して求め、その鉛直分力をすべり面に関して積分したものと、アンカー基礎の自重の三つを加えたものを極限引き抜き抵抗力として求めている。また、その計算により求められた極限引き抜き抵抗を室内模型実験の結果と比較すると、よい対応が見られたと述べている。しかし、松尾、勝見等によれば、すべり面に垂直な直応力の鉛直分力を無視しているため、計算上危険側になるという問題がある。

また松尾は、やはり模型実験及び現地実験の結果からすべり面を仮定しているが、Ballaが表したようにすべり線を単純に円弧で表すのは特殊な場合を除き無理があると、アンカー外端直上にある地表面上の点を通る直線を動径とする対数らせん線と、Rankineの受働状態における直線とを合成したものをすべり面と仮定している。そして、これを作図的に求めるとともにすべり面に作用するせん断抵抗力をKötterの式に適用して求め、その鉛直分力をすべり面に関して積分したものと、すべり面内の土塊重量、及びアンカー基礎の自重の三つを加えたものを極限引揚げ抵抗として与えている。また、この方法により得られた計算値が砂質土を用いて行った模型実験の結果とよい一致を示したと報告しており、実用計算のための近似計算法についても述べている。

勝見は、円弧によるすべり面を仮定したBallaの方法

で無視されているすべり面に垂直な直応力の鉛直分力を考慮した修正算定式を導くとともに、模型実験によりその計算値を検証した結果、よい対応をみたと述べている。また、基礎(アンカー)の幅 $d$ とその埋設深さ $D$ の比による限界根入れ比 $(D/d)_{cr}$ の存在を示し、 $D/d$ が $(D/d)_{cr}$ より大きい小さいかによってアンカーの挙動(破壊現象)が違ふということを示している。

(b) 水平引張り抵抗について

一方、水平地表面を有する地盤内に埋設されたアンカーを水平方向に引っ張る場合については、まだ具体的な計算法の提案にまでは至っていない。しかし、一般的に根入れ比 $D/d$ をパラメータにして、浅いアンカー、深いアンカーと分けて考えるのが普通となっている。

まず、Meyerhof<sup>9)</sup>(マイヤホフ)によれば、浅い帯アンカーの場合、図-2(a)に示すように、全体的なせん断破壊を起こし、その破壊線は地表面にまで達すると述べている。そして、極限の抵抗 $Q_u$ は、砂地盤の場合次の式(1)で表されるとしている。

$$Q_u = (\gamma D_0^2 K_b / 2B) A + W \cos \alpha \quad (1)$$

ここに、  
 $A$ : アンカーの受圧面積  
 $B$ : アンカーの幅(高さ)  
 $D_0$ : アンカーの最大深さ  
 $K_b$ : 引揚げ抵抗係数(Uplift coefficient)  
 $W$ : アンカー重量及びアンカーより上方の土の重量  
 $\alpha$ : 鉛直に対する荷重の傾斜角度  
 $\gamma$ : 土の単位体積重量

また、深い帯アンカーの場合は、図-2(b)に示すように全体的な土のせん断破壊は起こらず、局所的にアンカー近傍の破壊が生じる。そして、抵抗力 $Q_u$ は砂地盤の場

合、次の式(2)で与えられるとしている。

$$Q_u = \tau D N_{qu} A + W_a \cos \alpha \quad (2)$$

ここに、  
 $D$ : アンカーの中心深さ  
 $N_{qu}$ : 引揚げ抵抗係数(Uplift coefficient)

$W_a$ : アンカーの重量

なお、引揚げ抵抗係数 $K_b$ 及び $N_{qu}$ は、内部摩擦角 $\phi$ に対して求めることができ、これをグラフの形で与えている。また、マイヤホフは以上の議論を帯アンカーに対しての検討、つまり二次元問題として行っており、三次元的な考慮が必要であると思われる正方形アンカー及び円形アンカー等に対しては、形状係数で対応可能であると述べているが、詳しくは言及していない。

つぎに、Das<sup>9)</sup>は、プレートアンカーによる $D/d$ が1~5程度の比較的埋設深さが浅い範囲で模型実験を行い、その結果から、砂地盤の場合の正方形アンカー及び円形アンカーについて、水平引張り抵抗 $P_u$ を次の近似式(3)で与えている。

$$\left. \begin{aligned} \text{正方形アンカー: } P_u &= C \tau (D/d)^{1.8} d^3 \\ \text{円形アンカー: } P_u &= 0.66 C \tau (D/d)^{1.8} d^3 \end{aligned} \right\} (3)$$

ここに、  
 $C$ : 内部摩擦角より決まる定数  
 $D$ : アンカーの最大埋設深さ  
 $d$ : 正方形の場合一辺の長さ、  
 円形の場合直径

また、Das<sup>10)</sup>は砂地盤において $D/d$ が2から10程度の深い範囲までも含む模型実験を、正方形のプレートアンカーを用いて行っている。その結果、極限の引張り抵抗 $P_u$ を無次元の形で引張り抵抗係数(Breakout factor) $N_q$ として表した。

$$N_q = P_u / \gamma A D \quad (4)$$

そして、さらに実験の結果より、アンカーの埋設深さ $D$ とアンカーの幅 $d$ の比である $D/d$ をパラメータに取り、次のように考察している。極限引張り抵抗 $P_u$ を無次元化した値 $N_q$ は、 $D/d$ の増加にともない増加する。しかし、 $D/d$ がある一定の値まで増加する(埋設深さがある一定の深さに達すると)、 $N_q$ は一定の値を示すようになる。そして、その深さに相当する限界根入れ比 $(D/d)_{cr}$ は、砂でゆる詰め及び中位詰めの詰め固め状態で約5、密詰めの詰め固め状態で約8であったと述べている。

次に、国内の研究例として勝見<sup>11)</sup>らは、プレートアンカーが取り付けられた擁壁を回転変位させた場合のアンカーの支持力特性について模型実験を行い、その地盤の

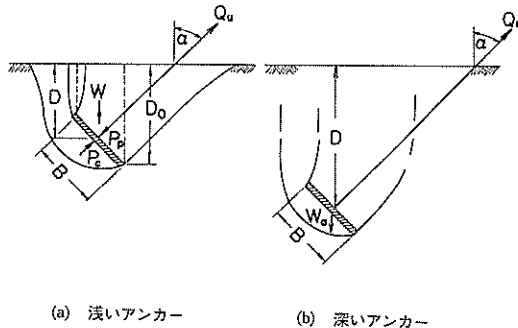


図-2 地盤の破壊形状<sup>9)</sup>

写真観測からすべり面の形状特性を明らかにしようというアプローチを行っている。それによれば、擁壁が回転変位するために、裏込め土中に主働すべり線が発生し、主働すべり線に対するアンカーの設置位置、すなわちアンカーの地表面からの埋設深さと擁壁からの埋め込み長さがアンカーの支持力特性に大きく影響すると述べている。また、擁壁の回転変位の影響がない位置にアンカーを埋設して、限界根入れ比  $(D/d)_c$  を求めた結果、約 7 であったと報告している。

福岡等<sup>12)</sup>は、一連の模型実験及び現場実物実験を行いアンカーの埋め込み長さ(ロッド長さ)の影響について検討している。それによれば、埋め込み長さにもその限界長が存在し、ある点までは埋め込み長さの増加に従い引張り抵抗も増加するが、それを越えると引張り抵抗の増加は見込まれないと考察している。

## 2.2 砂地盤中のアンカーに関する現行設計法

港湾におけるアンカー工法の設計に関して簡単に述べる。まず、矢板式係船岸に用いられる控え版の設計について、港湾の施設の技術上の基準・同解説<sup>13)</sup>によれば、図-3(a)(b)に示すように、控え版前面の受働土圧によってタイロッド張力及び控え版背後の主働土圧に抵抗するものとして、次の式(5)を満足するようにその高さ及び埋設深さを決定することになっている。

$$F = E_b / (A_b + E_a) \quad (5)$$

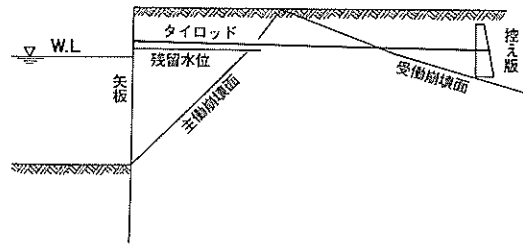
ここに、  $F$ : 安全率

$A_b$ : 図-3に示すタイロッド取り付け点反力

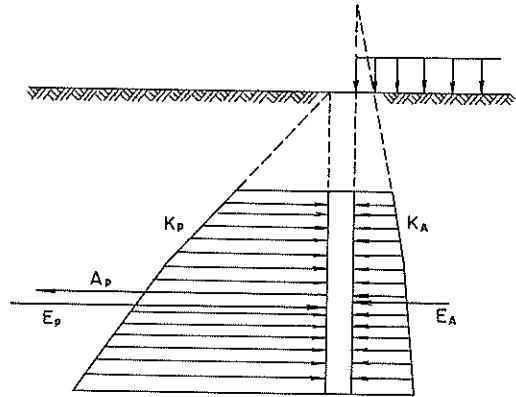
$E_b$ : 控え版に作用する受働土圧の合力

(ただし、壁面摩擦を  $0^\circ$  とする。)

$E_a$ : 控え版に作用する主働土圧の合力



(a) 控え版の設置位置



(b) 控え版に作用する外力

図-3 矢板式岸壁における控え版<sup>1)</sup>

(ただし、壁面摩擦を  $15^\circ$  とする。)

なお、安全率  $F$  は、常時 2.5 以上、異常時 2.0 以上をとる。ここでは、土の全体的なすべりを考えたクローンの土せつ論的取り扱いが用いられており、土圧を二次元的に求め、三次元的な考慮は、行われていない。

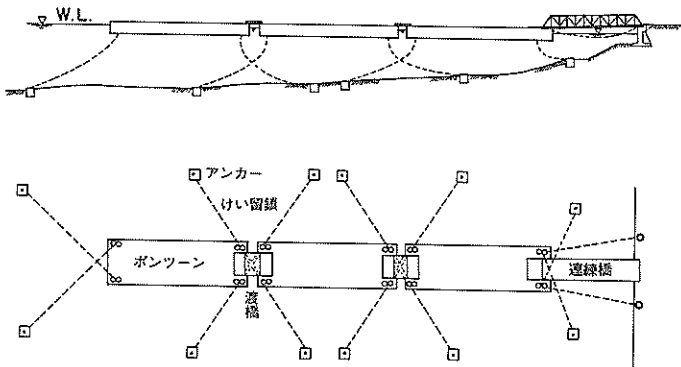


図-4 浮き栈橋一般図<sup>1)</sup>

図-4にあるような浮き桟橋等の係留に用いるアンカーとしては、同じく港湾の施設の技術上の基準・同解説<sup>1)</sup>によれば、コンクリートブロックと鋼製アンカーについて述べてあり、砂質地盤において、

コンクリートブロックの場合

水平抵抗力：底面摩擦、受働土圧と主働土圧の差

鉛直抵抗力：水中重量、水中土かぶり重量

鋼製アンカーの場合

水平抵抗力：把駐力(=  $T_a$ )

鉛直抵抗力：水中重量(= $W_a$ )

とある。鋼製アンカーの場合の把駐力は、式(6)で与えられている。

$$\left. \begin{array}{l} \text{軟泥： } T_a = 8W_a^{\frac{2}{3}} \\ \text{硬泥： } T_a = 5W_a^{\frac{2}{3}} \\ \text{砂： } T_a = 3W_a \\ \text{平岩： } T_a = 0.4W_a \end{array} \right\} \quad (6)$$

このうち、鋼製アンカーというのは船のいかりのことであり、実績が格段に多く、経験的なものではあるがこの設計法で満足できると思われる。しかし、ブロックアンカーの設計法は一応合理的と思われるが実験的な裏付けがほとんどなく、また埋設深さが深くなった場合には、既往の研究のところで見たように、この設計法の記述が成り立たなくなるものと思われる。そこでここに行う実験的研究では、これから抵抗力の大きいアンカーに対する要請がでてくる可能性も考慮して、埋設深さが浅い場合から深い場合までの間の範囲を中心にして検討する。

### 3. 模型アンカーの引張り実験

#### 3.1 模型実験の概要

実験は、円筒形の鋼製土槽に、ある一定の締め固め方法により一様な砂地盤を造成し、その中に埋設された模型ブロックアンカー（以降、アンカーと呼ぶ）をワイヤーにより引っ張り、その引張り抵抗を調べるといものである。実験の条件としては、アンカーの埋設深さ及びアンカーの大きさ、形状である。今回の検討対象としては、水平な地表面をもつ砂地盤中のアンカーに、鉛直方向または水平方向の引張力が作用した場合のみを考えており、地盤が粘性土の場合または引張り方向が傾斜した場合は除いてある。

また、この実験では、アンカーに力を伝達させる引張り部にワイヤーを用いたため、ワイヤーとそれに接する砂粒子との摩擦、及び載荷によるワイヤーの伸びが、それぞれ抵抗力と変位量の結果に誤差として含まれる。そこで、これらの誤差を補正するためのデータを得る試験

として、ワイヤーのみを地中に埋設して行った引張り試験と、ワイヤーの端を固定しもう一方の端を引っ張り、伸びを測定する試験を行った。

#### 3.2 実験装置

##### a) 実験槽

実験槽は、図-5に示すように内径で、直径1.6m×高さ1.5mの円筒形の鋼製土槽である。また、実験槽側壁には、水平引張り試験の際にアンカーにねじ止めされたワイヤーを、実験槽外に引き延ばすためのスリットが、深さ方向に縦長に設けられている。スリットの構造概要を、図-6に示す。このスリットは、図-5に示すように、天端より50cm、80cm、110cmの高さで円周方向に4か所、合計12か所設けられている。またその大き

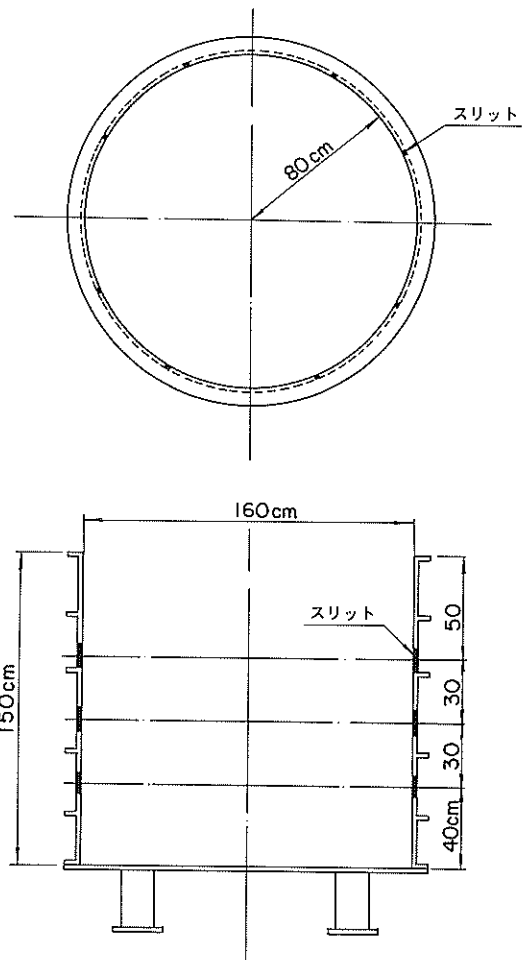


図-5 鋼製実験槽



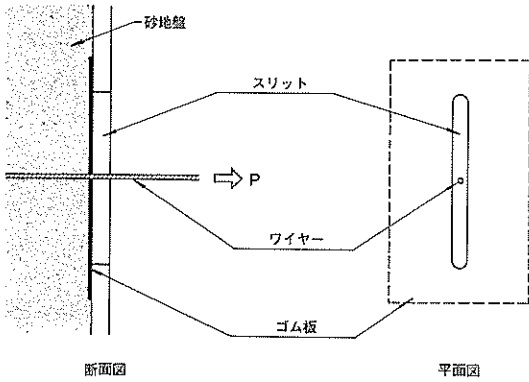


図-6 実験槽側壁のスリット

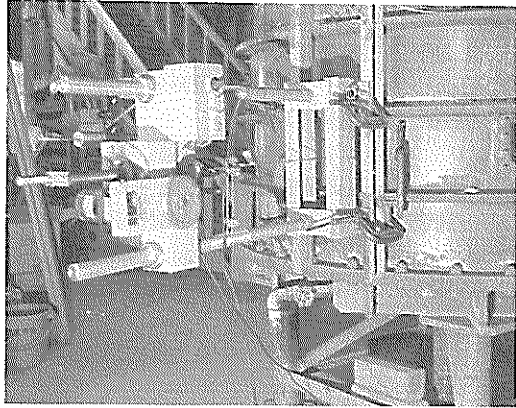


写真-1 大型引張り装置

さは、幅が15mmで、長さは天端からの各位置で異なり、上から23cm, 18cm, 13cmとなっている。

b) 引張り装置

引張り装置は、写真-1、写真-2に示すように大型引張り装置、小型引張り装置と称する2台の装置を用いている。これらはいずれも、電気を動力にした機械的な引張り装置で、引張り速度の調整機能を有している。また、大型引張り装置は、最大引張り荷重1000kgfで、引張り方向は円筒形の土槽に対して直径方向にのみ固定される。一方、小型引張り装置は、最大引張り荷重が300kgfで、引張り方向は円筒土槽の直径方向から約±20°の引張り角度の調整が可能となっている。

c) アンカー及び引張りワイヤー

模型として用いたアンカーは、プラスチック製のブロックで、その諸元を表-1に示す。表-1からわかるように、用いたアンカーは、立方体と球の二種類につきそれぞれ三種類の大きさ、従って合計六種類である。なお、この表中でアンカーの名称をLで表示したものは立方体を、Oで表示したものは球体を表す。また、その添字として1~3までを付記してあるが、これらはアンカーの大きさを示すもので立方体の場合辺長5~10cm、球の場合直径5~10.5cmに対応する。受圧面積Aは、引張り方向に投影した場合の面積を示してあり、立方体の場合正方形の、また球の場合円の面積として計算したものである。使用材料であるプラスチックは、比重で1.0と2.0の二種類のものを用いているが、今回の実験ではこの点については実験条件として無視している。

引張り用のワイヤーは、ステンレス製のストランドワイヤーで公称径4mmのものを用いた。長さは、円筒形の鋼製土槽とアンカーの設置位置の寸法上、すべてのケ

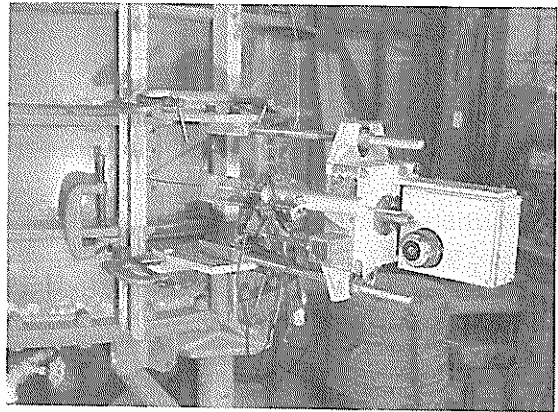


写真-2 小型引張り装置

表-1 模型アンカーの諸元

呼称	形状	径、幅 d (cm)	受圧面積 A (cm <sup>2</sup> )	体積 V (cm <sup>3</sup> )
L 1	立方体	10.0	100.00	1000.00
L 2	"	7.5	56.25	421.88
L 3	"	5.0	25.00	125.00
O 1	球体	10.5	86.59	606.13
O 2	"	7.5	44.18	220.89
O 3	"	5.0	19.63	65.45

ースにおいて1.7mの長さとなっている。また、両端部は輪状に加工し、アンカーとの接続が容易に可能なものとなっている。

アンカー模型とワイヤーの接続状態を写真-3に示す。この写真は、一例として一辺の辺長が10cm及び直径10.5

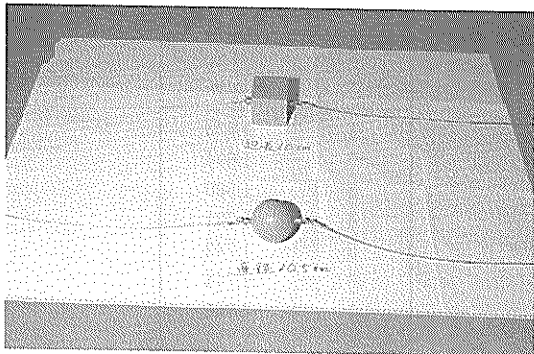


写真-3 アンカーとワイヤーの接続状態

cmのそれぞれ立方体と球体を示した。写真右側の太いワイヤーのほうが公称径4mmの引張り側ワイヤーである。また、円筒形の鋼製土槽内にアンカーを埋設する際、その両側にワイヤーを取りつけ引っ張る要領で土中に埋設した。(後の図-9参照)、写真左側はそのためのワイヤーである。そして、このワイヤーは、引張り試験において抵抗力の誤差になるため、なるべく細いものを用いる必要があり、公称径2mmのものを用いている。

### 3.3 実験地盤の作成及びアンカーの埋設

#### a) 実験地盤用の砂について

実験地盤に用いた砂材料は、神奈川県相模川産の川砂で、気乾状態のものを用いた。粒径加積曲線は、図-7に示すとおりであり、有効径 $D_{10} = 0.28$ 、となっている。また、物理試験の結果によれば、比重 $G_s = 2.675$ 、モールド内で突き固めを行う締め固め試験(JIS, A 1210)結果によれば、単位体積重量で $\gamma_{d \max} = 1.96 \text{ tf/m}^3$  ( $e_{\min} = 0.40$ )、 $\gamma_{d \min} = 1.12 \text{ tf/m}^3$  ( $e_{\max} = 1.45$ )となっている。

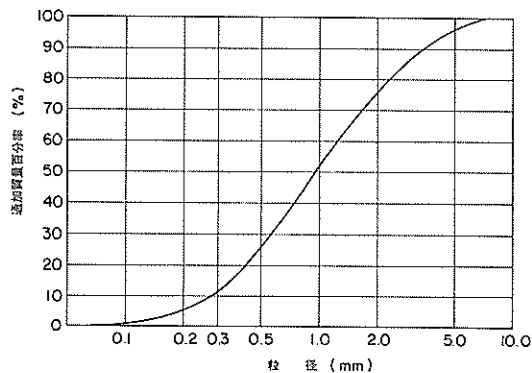


図-7 使用砂の粒径加積曲線

なお、この場合の締め固め試験は、乾燥状態でなく水を含む状態で行われており、最大及び最小の単位体積重量が得られたときの最適含水比は、それぞれ11%、7%である。また、この地盤に対する内部摩擦角としては、別途行った三軸試験の結果から $40^\circ \sim 45^\circ$ という値を得ている。

#### b) 地盤の作成

砂搬入にあたり、槽側壁にあるスリットから砂が漏れ

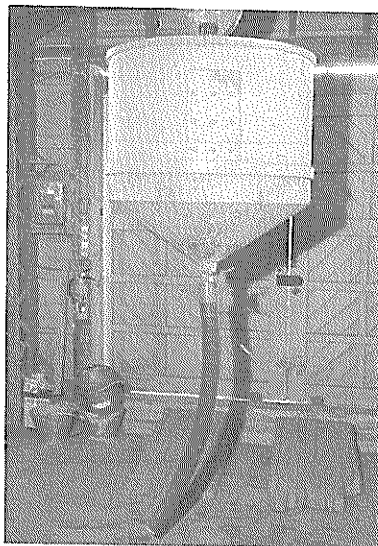


写真-4 搬入用砂タンク

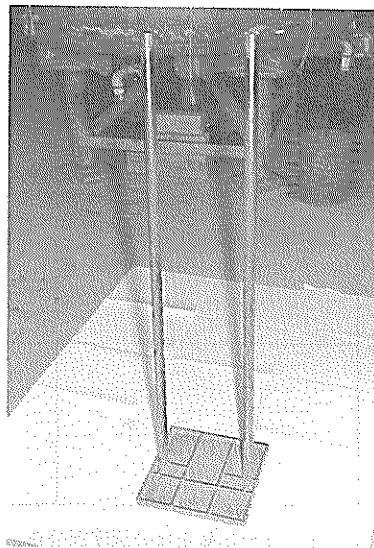


写真-5 クンパー

出さないように、目ばりを行った。この目ばりには、ワイヤーを引き出すための穴をあける必要があるが、穴をあけても砂が漏れ出さず、ワイヤーとの摩擦がなるべく生じないようにとの理由から、薄いゴム板にスリット長に応じて縦長に切れ目を入れたものを用いた(図-6参照)。

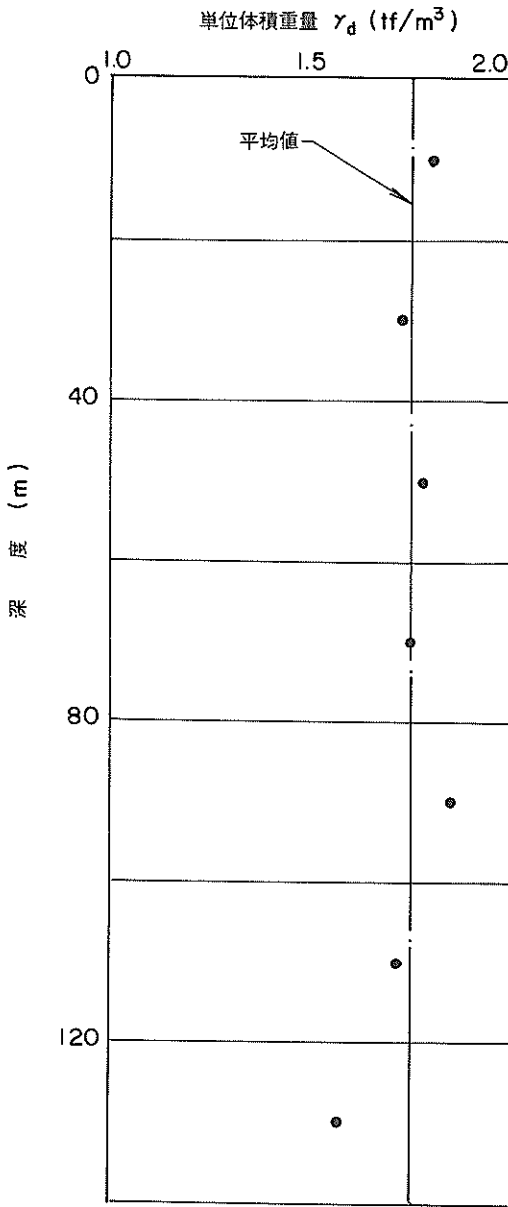


図-8 単位体積重量の深度別分布  
(ケースNo.6の場合)

表-2 地盤の単位体積重量

ケースNo.	単位体積重量 (tf/m <sup>3</sup> )
1	1.672
2	1.694
3	1.598
4	1.721
5	1.742
6	1.744
7	1.741
8	1.724
9	1.724
10	1.750
11	1.765

実験地盤は、円筒形の実験土槽を深度方向に20 cm 層厚ごとに区切って砂を搬入し、締め固めを行うという作業過程の繰り返しにより完成させた。砂の搬入は、実験槽とは別の、容量0.453 m<sup>3</sup>の砂タンク(写真-4)及びまき出し用ホースを用いて行った。締め固め方法は、タンパー(写真-5)を、一層あたり全面に八回、地表面より20 cmの位置から自由落下させるという方法である。なおこのタンパーは、打撃面が30 cm×30 cm、重量8.67 kg fである。また、全層厚が20 cmの倍数であれば上述の繰返して地盤を作成したが、そうでない場合は、最上層10 cmに対して四回タンパーを自由落下させることにより作成した。

次に、上述の要領で締め固めを施し作成した地盤の単位体積重量を、各深度別に求めて図-8に示す。深度別にばらつきがあるのは、一層ごとの砂搬入量を毎回同じにできないため誤差が生じたものであるが、最終的な地表面の位置を正確に調整することが重要であり、そうすることで各層別の単位体積重量は、ならされるものと思われる。また、全ケースの単位体積重量を表-2に示すここに記載したものは、各層別でなく全体の砂重量と体積から求めたものである。表-2によれば、大まかに $\gamma_d = 1.6 \sim 1.8$ 程度の値となるが、締め固め試験の結果( $\gamma_{d \max} = 1.96 \text{ tf/m}^3$ ,  $\gamma_{d \min} = 1.12 \text{ tf/m}^3$ )から、相対密度を計算すると $D_r = 70\% \sim 80\%$ 程度となる。したがって、本実験地盤は比較的密な状態にコントロールされていたことになる。

c) アンカー及びキャリブレーションワイヤーの埋設  
アンカー及びキャリブレーションワイヤーは、図-9に示すように、1ケースにつき水平引張り用にアンカー6個及びキャリブレーションワイヤー3本、鉛直引張り

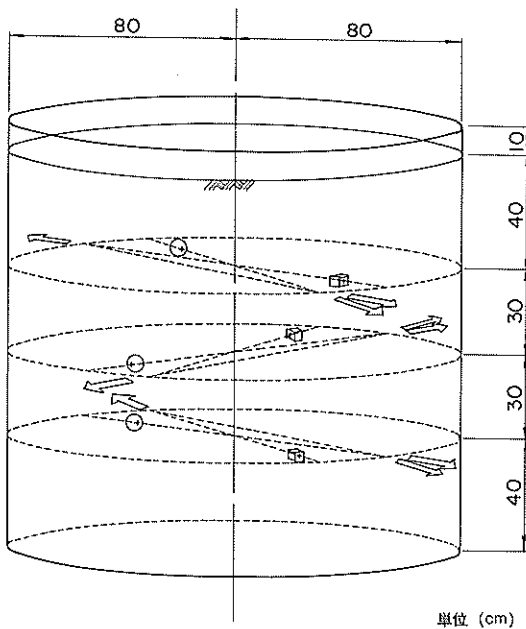


図-9 実験槽内におけるアンカーの埋設状況

用にアンカー2個ないし3個を設置した。またその埋設方法は、次のとおりである。水平引張り用のアンカー及びキャリブレーションワイヤーの場合、まず所定の埋設深さまで砂を搬入した後、ワイヤーの両端をゴム板が取り付けられたスリットに通し、そのたるみがないように必要に応じて引っ張り、アンカーとワイヤーが一直線になるように設置した。そして、アンカー及びワイヤーの移動が生じないように、その上に静かに砂を落下させ埋設した。鉛直引張り用のアンカーの場合には、天端より張り出した梁にワイヤー端部を固定し、アンカーを所定の位置に垂らした状態で、その移動がないよう静かに砂を落下させ埋設した。よって鉛直引張り用アンカーには、写真-3とは違い両側にワイヤーを取り付けておらず、引張り側（公称径4mm）のワイヤーのみが取り付けられている。また、鉛直引張り試験用のキャリブレーションワイヤーは、その埋設が困難であるという理由から設置していない。写真-6、写真-7にアンカーの設置状況を示す。

水平引張り用アンカーの埋設深さは、実験条件であり図-10(a)及び表-3（後記参照）に示した。また、平面的にみたアンカーの設置位置、すなわち引張り側実験槽側壁からアンカー中心までの距離は、すべての場合において図-10(a)に示すように130cmと統一してあ

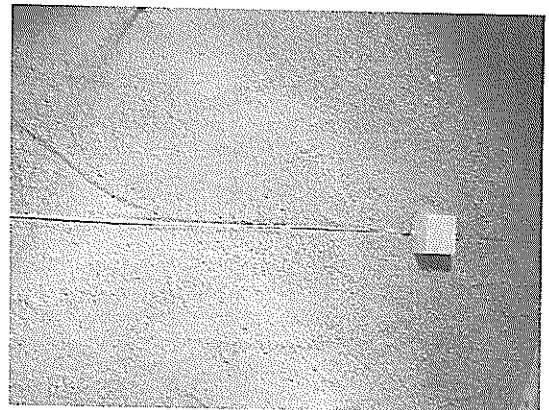


写真-6 アンカーの設置状況（水平引張り実験用）

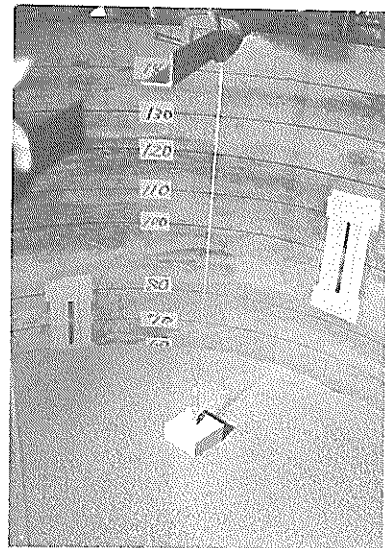
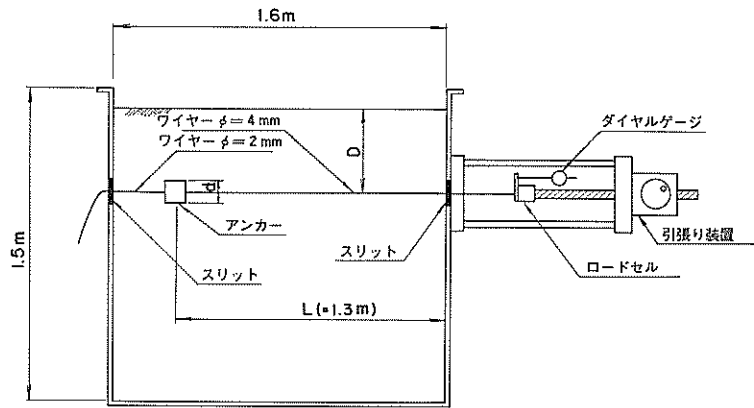


写真-7 アンカーの設置状況（鉛直引張り実験用）

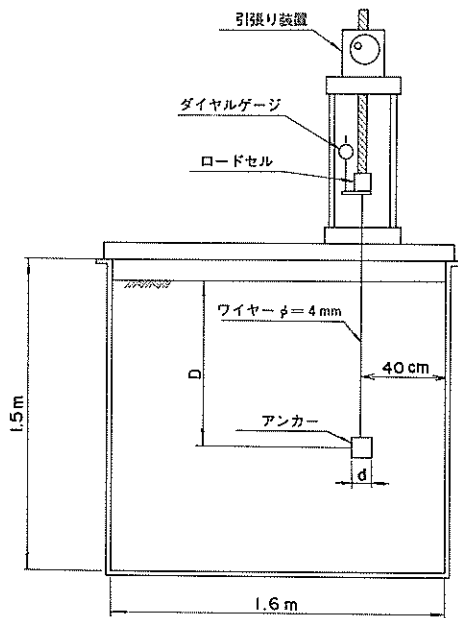
る。鉛直引張り用アンカーの埋設深さは、同じく実験条件であり図-10(b)及び表-4（後記参照）に示した。平面的にみた鉛直引張り用アンカーの設置位置も同じく統一してあり、側壁からアンカー中心までの距離は、図-10(b)に示すように40cmである。

### 3.4 実験の方法

水平引張り及び鉛直引揚げの実験状態は、それぞれ図-10(a)、(b)に示すとおりである。なお、これらの図に示した引張り装置は、アンカーの抵抗力を調べる本実験の場合1000kgfまで載荷可能な大型引張り試験機を用いている。摩擦測定用のキャリブレーションワイヤーの抵抗力を調べる場合は、実験槽に対する角度の調整が必



(a) 水平引張り実験



(b) 鉛直引揚げ実験

図-10 実験状態図

要(図-9参照)なため、その角度の調整が可能な小型引張り試験機を用いた。

実験における引張り速度は、本実験及びワイヤーの摩擦測定キャリブレーションともに $0.6\text{ mm/min}$ である。これは、一軸圧縮試験において普通用いられている、ひずみ速度 $0.8\text{ mm/min}$ よりもさらに若干遅くした速度である。

測定項目は、変位と引張り抵抗であり図-10(a), (b)

に示すように変位計及びロードセルでそれぞれ測定した。測定は、1分ごとに行っている。

実験の終了条件は、引張り抵抗がピークに達しそれ以降減少した場合、変位が $20\text{ cm}$ に達し引張り試験機のストロークがなくなった場合、引張り抵抗が $1000\text{ kgf}$ を越え引張り試験機の载荷能力に達した場合のいずれかである。

### 3.5 実験の条件

実験のケース数は、水平引張り41ケース、鉛直引張り16ケースの合計56ケースである。実験条件の一覧を、表

－3及び表－4に示す。なお表－3及び表－4の埋設深さ $D$ は 図－10(a), (b)に示すように最大深さではなく、地表面からアンカー中心までの距離であり、アン

表－3 水平引張り実験条件一覧

ケース名	アンカー径, 幅 $d$ (cm)	受圧面積 $A$ (cm <sup>2</sup> )	埋設深さ $D$ (cm)	単位体積重量 $\gamma$ (kgf/cm <sup>3</sup> )	根入れ比 $D/d$
L 40-1-1	10	100	40	.001672	4.
O 40-1-1	10.5	86.5901	40	.001672	3.80952
L 40-1-4	10	100	40	.001721	4.
O 40-1-4	10.5	86.5901	40	.001721	3.80952
O 100-3-4	5	19.6349	100	.001721	20.
L 40-1-5	10	100	40	.001742	4.
L 70-2-5	7.5	56.25	70	.001742	9.33333
L 100-3-5	5	25.	100	.001742	20.
O 40-1-5	10	86.5901	40	.001742	3.80952
O 70-2-5	7.5	44.1786	70	.001742	9.33333
O 100-3-5	5	19.6349	100	.001742	20.
L 40-3-6	5	25.	40	.001744	8.
L 70-2-6	7.5	56.25	70	.001744	9.33333
O 40-3-6	5	19.6349	40	.001744	8.
O 70-2-6	7.5	44.1786	70	.001744	9.33333
L 40-2-7	7.5	56.25	40	.001741	5.33333
O 40-2-7	7.5	44.1786	40	.001741	5.33333
L 40-2-8	7.5	56.25	40	.001724	5.33333
L 70-3-8	5	25.	70	.001724	14.
L 100-3-8	5	25.	100	.001724	20.
O 40-2-8	7.5	44.1786	40	.001724	5.33333
O 70-3-8	5	19.6349	70	.001724	14.
O 100-3-8	5	19.6349	100	.001724	20.
L 20-1-9	10	100	20	.001724	2.
L 50-3-9	5	25.	50	.001724	10.
L 80-3-9	5	25.	80	.001724	16.
O 20-1-9	10.5	86.5901	20	.001724	1.90476
O 50-3-9	5	19.6349	50	.001724	10.
O 80-3-9	5	19.6349	80	.001724	16.
L 30-2-10	7.5	56.25	30	.00175	4.
L 60-3-10	5	25.	60	.00175	12.
L 90-3-10	5	25.	90	.00175	18.
O 30-2-10	7.5	44.1786	30	.00175	4.
O 60-3-10	5	19.6349	60	.00175	12.
O 90-3-10	5	19.6349	90	.00175	18.
L 20-3-11	5	25.	20	.001765	4.
L 50-2-11	7.5	56.25	50	.001765	6.66667
L 80-2-11	7.5	56.25	80	.001765	10.66667
O 20-3-11	5	19.6349	20	.001765	4.
O 50-2-11	7.5	44.1786	50	.001765	6.66667
O 80-2-11	7.5	44.1786	80	.001765	10.66667

表-4 鉛直引揚げ実験条件一覧

ケース名	アンカー径、幅 $d$ (cm)	受圧面積 $A$ (cm <sup>2</sup> )	埋設深さ $D$ (cm)	単位体積重量 $r$ (kgf/cm <sup>3</sup> )	根入れ比 $D/d$
L 60-3-1	5	25.	60	.001672	12
O 60-3-1	5	19.6349	60	.001672	12
L 20-1-1	10	100.	20	.001672	2
L 40-2-2	7.5	56.25	40	.001694	5.33333
O 40-2-2	7.5	44.1786	40	.001694	5.33333
O 20-1-2	10.5	86.5901	20	.001694	1.90476
L 40-1-3	10	100.	40	.001598	4
O 40-1-3	10.5	86.5901	40	.001598	3.80952
L 80-1-8	10	100.	80	.001724	8
O 80-1-8	10.5	86.5901	80	.001724	7.61905
L 80-2-9	7.5	56.25	80	.001724	10.66667
O 80-2-9	7.5	44.1786	80	.001724	10.66667
L 100-2-10	7.5	56.25	100	.00175	13.33333
O 100-2-10	7.5	44.1786	100	.00175	13.33333
L 60-1-11	10	100.	60	.001765	6
O 60-1-11	10.5	86.5901	60	.001765	5.71429

カーの大きさ  $d$  は、立方体の場合一辺の長さ、球の場合直径である。また、面積  $A$  は、引張り方向に投影した場合の面積で、立方体の場合正方形の面積を、球の場合円の面積をそれぞれ示してある。載せてあるケース名について、まず  $L$  及び  $O$  と 1~3 までである二番めの数字は、表-1 と同様でアンカーのそれぞれ形状と大きさを意味する。 $L$  及び  $O$  に続く最初の数字は、埋設位置に対応している。また、三番めの数字は地盤の番号を意味しており、表-2 のケースNo. に対応している。

本実験の重要な実験条件であるアンカーの埋設深さ  $D$  は、表-3、及び図-9 に示してある。そして、表-3 のように変化させてその影響を見たものであるが、平面的に見た場合のアンカーの設置位置、すなわち引張り側実験槽側壁からアンカーまでのワイヤーの埋め込み長さ  $L$  は、図-10 (a) に示すとおり 1.3 m と統一しており、実験の条件とはしていない。

ところで、福岡等<sup>12)</sup>によれば、この埋め込み長さが長くなればなるほどアンカーの支持力は大きくなるが、ある限界長さを越えるとそれ以上支持力は期待できないと報告している。(図-11参照)。そして、その限界長さについて定量的には言及していないが、図-11によれば埋め込み長さをアンカーの大きさを割った値 ( $L/d$ ) で10程度であると推量できる。勝見<sup>11)</sup>等によれば、擁壁に取り付けられたアンカーについて、その擁壁が回転変位することにより

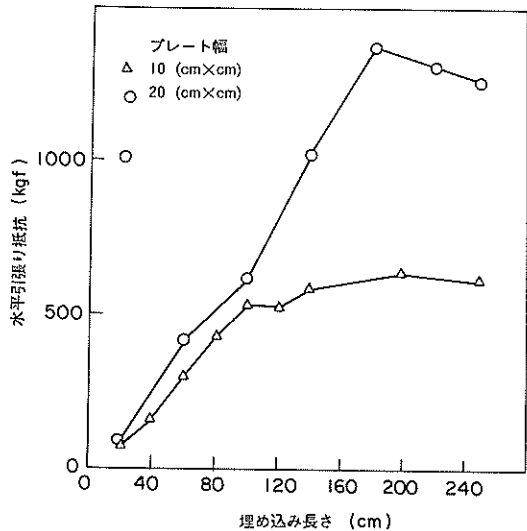


図-11 埋め込み長さと水平引張り抵抗の関係<sup>12)</sup>

発生する主働すべり線がアンカー前方に存在するため、埋め込み長さ  $L$  の大小によりアンカーの支持力も影響を受ける。そして、擁壁の回転変位の影響がなくなるためには、擁壁から主働すべり線までの距離を総埋め込み長さから引いた値が、アンカー幅の14倍であればよいと報告して

いる。

以上のことを考慮して本実験の埋め込み長さを考えれば、最も大きいアンカーを用いた場合で、立方体の場合一辺の長さ  $d = 10\text{cm}$ 、球体の場合直径  $d = 10.5\text{cm}$  であるから、埋め込み長さをアンカーの大きさを割った値は最も小さい場合でそれぞれ  $(L/d) = 13$ ,  $(L/d) = 12.38$  となり、福岡等の報告から推量した限界長さを越えている。つまり、埋め込み長さをこれ以上長くしても支持力の増大はみこめない状態であったということができ、福岡等の行った実験の結果、また勝見等の行った実験において擁壁の転倒が支持力に影響をおよぼさない状態で実験を行った結果と比較することができると考えられる。本実験の場合、勝見等の行ったような可動壁を用いた実験とは違い、側壁が固定されているため、アンカー前方の土が拘束されている。その影響をなるべくなくすために、このようにできるだけ長めの埋め込み長さを設定した。

#### 4. 実験結果

この実験の結果は、引張り抵抗力と変位置について補正を行うことが必要である。4.1でその補正について述べた後、4.2に水平引張り実験の結果、4.3に鉛直引揚げ実験の結果を示す。

##### 4.1 ワイヤーの摩擦及び伸びの補正について

###### (a) ワイヤーの摩擦測定試験

アンカーの引張り抵抗力を調べる本実験において、アンカーを引っ張るためのワイヤーと土粒子の摩擦が、アンカーの抵抗力として結果に含まれるということは前述じ

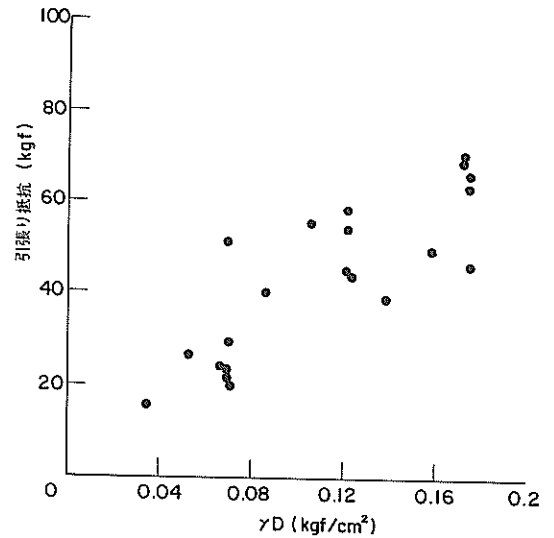


図-13 ワイヤー摩擦抵抗の深度別変化(生データ)

た。そこで、その補正の方法として、アンカーの引張り実験と同様の要領で、同じ地盤、同じ埋設深さにワイヤーのみを埋設し、その引張り抵抗を調べてアンカーの抵抗力から差し引くという作業を行うことにした。

ところで、前にも述べたように本実験では、アンカーを境にして引張り側(写真-6の右側)とその逆側(写真-6の左側)で使用したワイヤー径がそれぞれ4mmと2mmということで違う(図-10(a)参照)。一方、ワイヤーの摩擦測定試験では、地盤中に埋め込まれてい

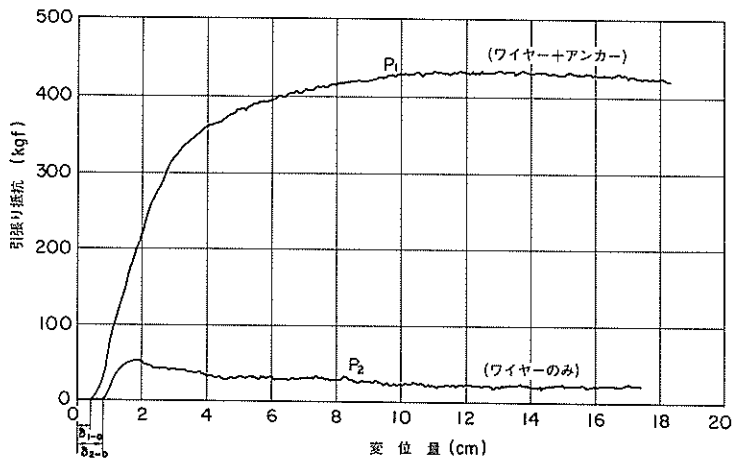


図-12 変位置と引張り抵抗の関係



るワイヤーの径は4 mmである。さらに図-9からわかるように本実験におけるアンカーとワイヤーは、平面的に見た場合円筒土槽の直径上に埋設されているのに対して、ワイヤーの摩擦測定試験におけるワイヤーは、直径よりややずれておりワイヤー長さとして前者より短いものとなっている。その長さの差は8.4 cmである。したがって、厳密には、この二つについて補正は完全ではないが、補正分に含まれる誤差は小さいと思われる。

図-12に、変位に応じたワイヤーの抵抗力 $P_2$ を、ワイヤーの抵抗力が含まれている状態のアンカーの抵抗力 $P_1$ とともに示す。なおこの図に示したものは、生データである。これはL60-3-10(表-3参照)の場合を一例として示している。また、図-13に $rD$ ( $r$ :単位体積重量、 $D$ :アンカーの埋設深さ)に対してワイヤーの抵抗力の最大値を示す。図-13によれば、 $rD$ に対してワイヤーの摩擦抵抗は直線的な増加傾向を示すが、そのばらつきは大きい。図-12には初期段階でなかなか荷重が増加しない部分 $\delta_{1-0}$ 、 $\delta_{2-0}$ が現れている。これは、アンカー及びワイヤー埋設時にたるみが生じないようにワイヤーを設置しているものの、常にそのワイヤーに緊張力を与えているわけではないため、砂搬入等の作業によりたるみが生じてしまうことによる。

(b) ワイヤーの伸び測定試験

アンカーに接続されたワイヤーは、本実験の際大きな力を受けるため、ワイヤー自体の伸びも無視できない。しかし、アンカーの引張り実験でダイヤルゲージをセットする変位の測定点は、図-10からもわかるように実験槽外にあるため、そのダイヤルゲージで測定される変位量には、ワイヤーの伸びがそのまま含まれることになる。そこで、力に対するそのワイヤーの伸びを把握するために、次の要領で試験を行った。

図-14にその試験概要を示す。まず、ワイヤーの一方の端を固定し、他方の端をアンカーの引張り実験に用いた大型引張り装置に接続する。もちろん、大型引張り装置も移動の生じないように固定してある。そして、図-14に示すようにダイヤルゲージ、ロードセルをセットし、

大型引張り装置により引張り力を加えるという試験である。引張り速度は0.5 mm/minであり、その変位、すなわち伸びの測定は、1 kgfごとに行った。最終荷重は1000 kgfである。また、試験対象は、アンカーの引張り実験に用いた6本のワイヤーすべてについて行っている。図-15に、加えた引張り力とワイヤーの伸びの関係の一例を示す。図-15によれば、引張り力 $P_3$ の増加に対して伸び $\delta_3$ は、ほぼ直線的な増加傾向を示している。図中に示した接線は、原点を通らない直線で傾き $K = 0.023 \text{ mm/kgf}$ となった。この直線が、原点からずれた部分 $\delta_{3-0}$ は、ワイヤー両端の輪状加工部がだ円状に変形するために生じたものと考えられる。

(c) ワイヤーの摩擦及び伸びの補正について

(a)及び(b)に述べた方法により、ワイヤーと土粒子の摩擦及びワイヤーの伸びについての補正を行うためのデータを得た。そこで、まず先に下記のA、Bに示す作業によりワイヤーの伸びの補正係数 $K$ を求め、これを用いて一連の実験に対する①~⑦の補正を図-16に示すフローチャートに従い行った。なお、フローチャートに示す番号と下記の説明に対する番号は対応している。

- A ワイヤーの伸び測定試験の結果から、引張り力( $P_3$ )、伸び( $\delta_3$ )の生データを得る。
- B Aの結果を整理し、ワイヤーの伸びの補正係数 $K$ を得る。

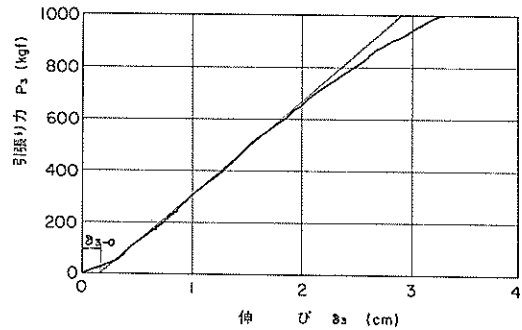


図-15 ワイヤーの引張り力と伸びの関係

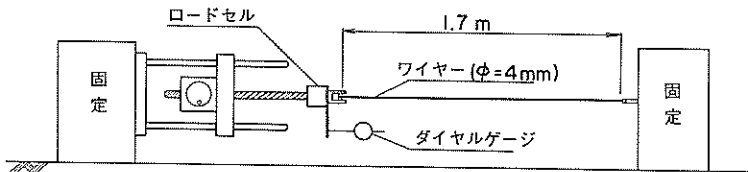


図-14 ワイヤーの伸び測定実験概要図

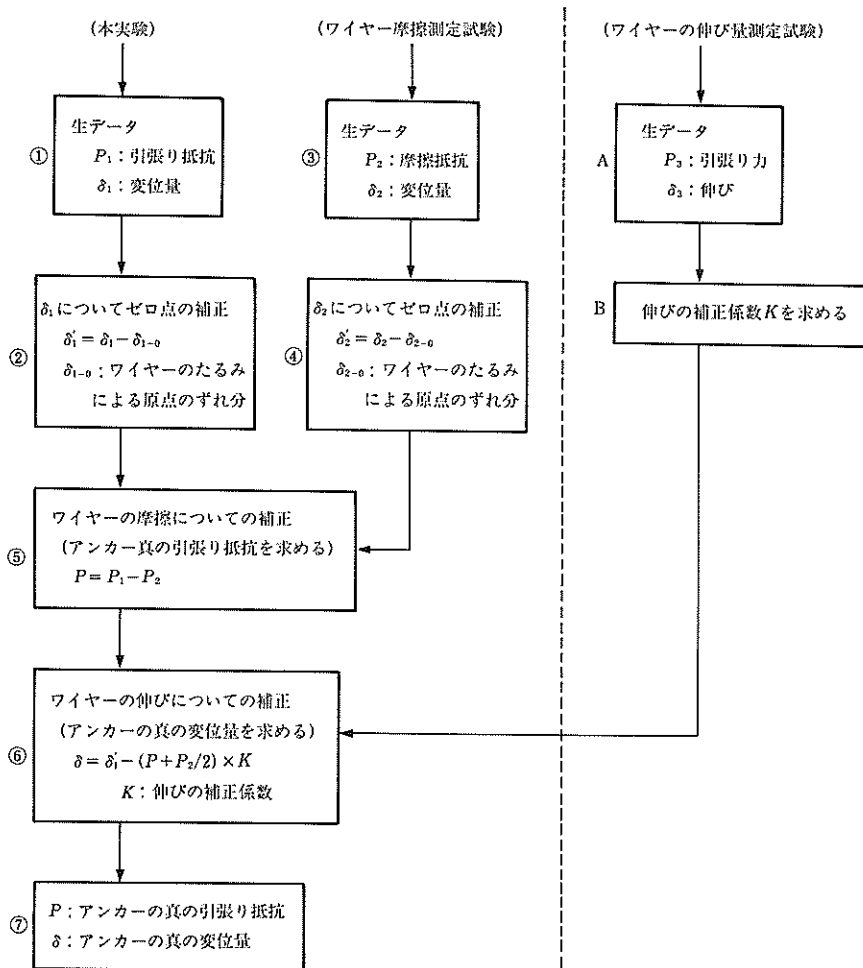


図-16 補正の手順を示すフローチャート

- ① アンカーの実験結果から、引張り抵抗 ( $P_1$ )、変位量 ( $\delta_1$ )の生データを得る。なおこの時点では、 $P_1$ にワイヤーの摩擦が、 $\delta_1$ にワイヤーの伸びが誤差として含まれる。
  - ② ワイヤーのたるみの分の原点を補正するために、 $\delta_1$ から $\delta_{1-0}$ ( $\delta$ 軸上で原点からずれた分(図-12参照))を差し引いて $\delta'_1$ とする。
  - ③ (a)ワイヤーの摩擦測定試験の結果から、摩擦抵抗( $P_2$ )、変位量( $\delta_2$ )を得る。なおこの時点では、ワイヤーの伸びが誤差として含まれる。
  - ④ ②と同様で $\delta_2$ から $\delta_{2-0}$ (図-12参照)を差し引いて補正を行ったものを $\delta'_2$ とする。
  - ⑤  $P_1$ から $P_2$ を差し引き、アンカーの真の引張り抵抗  $P$ を得る。この時 $P_2$ は、 $P_1$ と同じ変位に対する引張り抵抗を、その前後の点から内挿して求める。
  - ⑥ ワイヤーの伸び分を差し引き、真の変位量  $\delta$ を得る。 $K$ に掛け合わせる項としての張力には、ワイヤーの平均的な伸びを求めるために $P + P_2/2$ を用いる。
  - ⑦  $P$ : アンカーの真の引張り抵抗,  $\delta$ : アンカーの真の変位量の関係を得る。
- (d) 補正の精度及び補正後の結果  
(c)において行った補正の後でも、データには次の誤差が含まれている。  
(イ) 実際のワイヤーの摩擦抵抗を補正するためには、

土に対するワイヤーの変位に応じて実際発生している応力を差し引かなければならない。しかし、アンカーのついたワイヤーとキャリブレーション用のワイヤーとでは引張り荷重が異なるために伸びが相当に異なり、このためにワイヤー一本当たりの摩擦抵抗としてはアンカーのついたワイヤーとキャリブレーション用のワイヤーとでかなり違っている。(c)の⑤における $P_1$ と $P_2$ が発揮された時点での変位は、引っ張っている点では同じであるが、ワイヤーの伸びが異なるためにアンカーの位置では相当異なり、ワイヤーの摩擦抵抗も異なる。例えば図-12で、 $\delta_{1-0}$ と $\delta_{2-0}$ を差し引いた後の変位が2 cmとなる点を見ると、 $P_1=300$  kgf、 $P_2=50$  kgf程度である。この値に対して図-15からワイヤーの伸びを見ると、図-15の直線部分を使ってそれぞれ7 mm、1 mm程度となり、アンカーの位置での変位量はそれぞれ1.3 cmと1.9 cm程度となる。このようにワイヤー一本としての土粒子に対する変位量は、アンカーのついたワイヤーとキャリブレーション用のワイヤーとで異なり摩擦抵抗も異なるので、(c)の⑤によって求めた真の引張り抵抗 $P$ には誤差が含まれている。

(ロ) 伸びの補正係数 $K$ に、ワイヤー両端のリング部の変形が考慮されていない。

以上のような誤差または問題点について、以下に述べる考察に基づいて、今後の解析を行うものとする。

まず(イ)について説明する。変位に対して、補正前のアンカーの引張り抵抗とワイヤーの摩擦抵抗の関係は、図-12に示されている。図-12によれば、ワイヤーの最大摩擦抵抗が発揮される変位は、補正前のアンカーの最大引張り抵抗が発揮される変位に比べて小さい。そして、ワイヤーの摩擦抵抗は、その後変位が進行するに従い減少していき、安定した抵抗力を発揮するようになる。したがって、土に対するワイヤーの相対変位が大きくなると、ワイヤーの伸び及びワイヤー自体の変位を含む変位量の絶対値には無関係に、一定に近い摩擦力が作用することになる。そして、アンカーが最大引張り抵抗を発揮する点での変位量は、この安定したワイヤーの摩擦抵抗が発揮されている範囲に入っている。このことから、最大引張り抵抗に対する摩擦の補正は、十分に精確であると考えられる。しかし初期段階については、ワイヤーも伸びながら変位が進行しており、その変位に応じてワイヤーの摩擦抵抗が決まるため、高い精度は期待できない。

次に、(ロ)について考える。ワイヤー両端のリング部の変形は、伸びの補正係数 $K$ の中に考慮されていない。これについてまず、上述したと同様の理由から、最大引張り抵抗に達した段階での変位の誤差は、抵抗力の補正に

対しては大きな意味を持たない。よって、上記と同様に最大引張り抵抗に対する摩擦抵抗の補正は満足できるものと考えられる。しかし、変位そのものに対する誤差は存在する。その誤差分(図-15における $\delta_{3-0}$ )を確認してみると約2~4 mm程度であった。しかしこの値は、アンカーの引張り実験の結果に、等しく含まれていると考えられる。なぜなら、図-15において引張り力が50 kgf程度以上になると、ワイヤーの伸びは $K=0.023$  (mm/kgf)により表される直線上にのってくる。アンカーの引張り抵抗は最も小さい例でも50 kgf以上あるのですべて $K=0.023$  (mm/kgf)の直線部分で補正されており、 $\delta_{3-0}$ 以外の部分に含まれるリングの変形による誤差も $K$

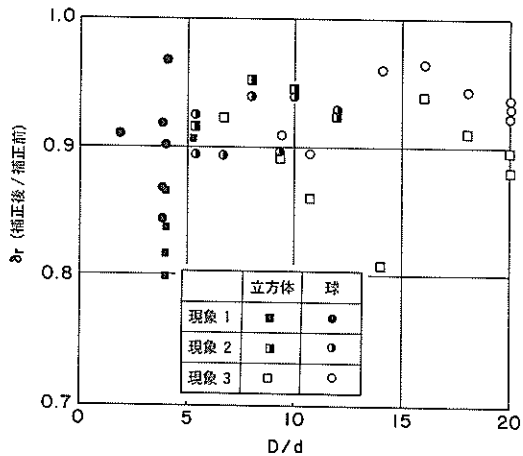


図-17 変位量の補正による減少状況

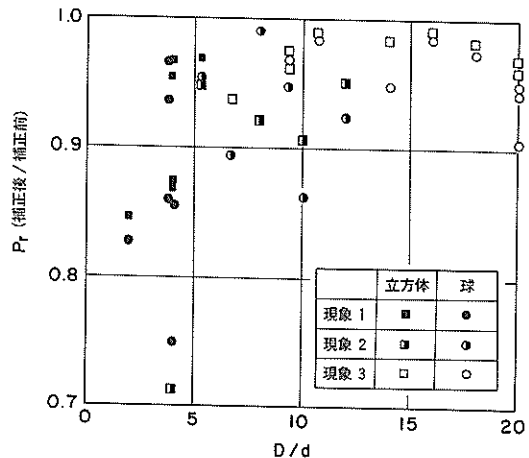


図-18 引張り抵抗の補正による減少状況

= 0.023 (mm/kgf) の直線部分では補正されていると考えられる。したがって、リングの変形量の誤差は定方向誤差として2~4mmとなり、以後の整理における $\delta_u$  (極限引張り抵抗が発揮された時点での変位)の値は、真の $\delta_u$ よりも2~4mm大きいということになる。2~4mmのばらつきによる誤差は、大きい場合で一割程度である。

以上により、水平引張り実験については、ある程度補正ができたものとする。しかし、鉛直引揚げ実験については、ワイヤーの摩擦及び伸びに対して補正を行っていない。これは、その補正を行うためのワイヤーの摩擦測定が、鉛直引揚げの場合困難だからである。そこで、水平引張り実験の補正の結果を使って、補正の前後でどの程度の変化があったかを吟味してみる。これによって補正していない鉛直引揚げ実験の結果を検討する上での参考とする。横軸に $D/d$  ( $D$ : アンカーの埋設深さ,  $d$ : アンカーの辺長または直径)、縦軸に変位量の補正による変化の状況を補正後と補正前の比 $\delta$ で表し図-17に示す。また、横軸に $D/d$ 、縦軸に抵抗力の補正による変化の状況を補正後と補正前の比 $P$ で表し図-18に示す。図-17及び図-18をみると、中には約0.7程度の低減率を示しているものもあるが、補正することにより引張り抵抗及び変位量ともにおおよそ1.0~0.8の割合で減

少している。以上のことから、鉛直引揚げ実験の補正についても、引揚げ抵抗及び変位量ともに生データより2割程度の減少はありうると考えられる。しかし、鉛直引揚げ実験は、アンカーを引揚げることによりアンカーが上方に移動し埋設深さがしだいに浅くなるという方向であるから、水平引張り実験と比較してワイヤーの摩擦抵抗が小さいと思われる。またアンカーの引揚げ抵抗力そのものも水平引張り抵抗と比べて小さいのでワイヤーの伸びも少なく、補正の低減率が小さくなると考えられる。

#### 4.2 水平引張り実験の結果

補正を行った後の真のアンカーの引張り抵抗力 $P$ と変位量 $\delta$ から、応力-ひずみ曲線を得る。そこで、すべての実験ケースについて応力-ひずみ曲線を検討した結果、次の要領で区別できる三種類のパターンが存在することがわかった。

現象1: 変位の増加により引張り抵抗が増加し、明確な極限值を示した後減少する場合。

現象2: 引張り抵抗が極限值を示した後、変位が増加するにもかかわらず安定した抵抗力を発揮する場合。

現象3: 引張り抵抗が、極限值を示さず変位に従って漸増する場合。

その典型例を、図-19に示す。また、縦軸にアンカーの

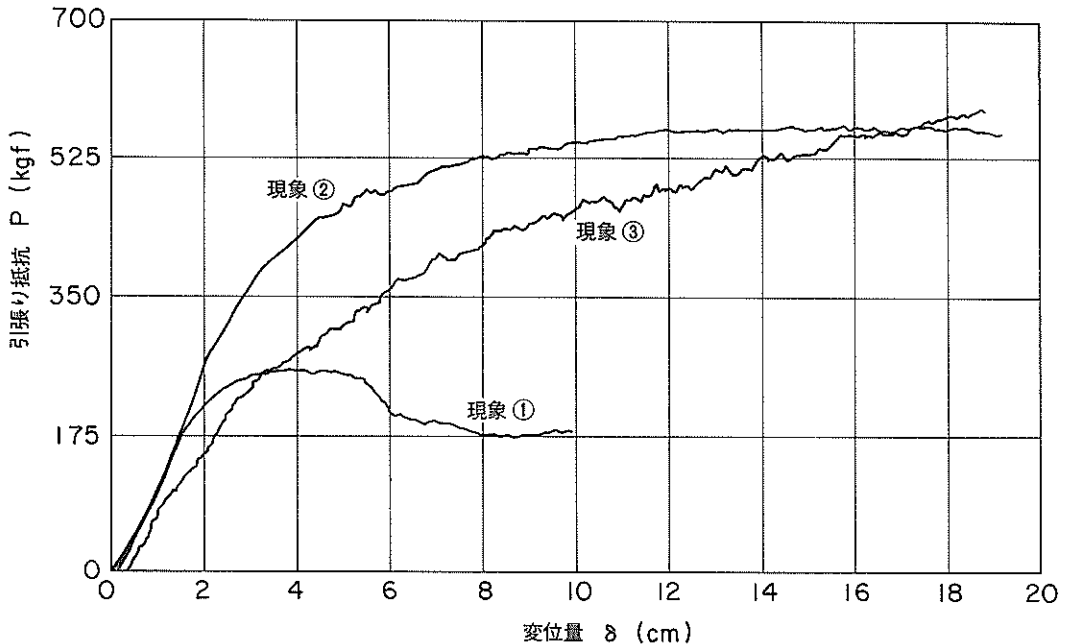


図-19 荷重-変位曲線の三種類のパターン

大きさ  $d$ 、横軸にアンカーの埋設深さ  $D$  を取り破壊パターンの分布傾向をみると、図-20 (a) 及び (b) に示すように立方体、球体ともに、その現象パターンによって分ける線を引くことができる。

図-21 (a), (b) (c) にアンカーの大きさ別に分けて深度方向の極限引張り抵抗  $P_u$  の分布状態を示す。図-21 (a), (b), (c) によれば、アンカーの埋設位置が深いほど引張り抵抗  $P_u$  は大きくなっており、合理的な結果を示している。立方体と球では、やはり立方体の引張り

抵抗が大きく、これもやはり合理的な結果と考えることができる。次にアンカーの大きさ別に分けて、極限引張り抵抗の発揮された時点での変位量  $\delta_u$  の深度方向分布状態を図-22 (a), (b), (c) に示す。図-22 (a), (b), (c) によれば、変位量  $\delta_u$  はアンカーの埋設位置が深いほど大きくなっていく。立方体と球体を比較すれば図-22 (a) 等では、球体のほうが明らかに変位量が短くなっている結果を与えているが、図-22 (c) ではそれが逆転している。さらに、図-22 (a), (b) 等を見

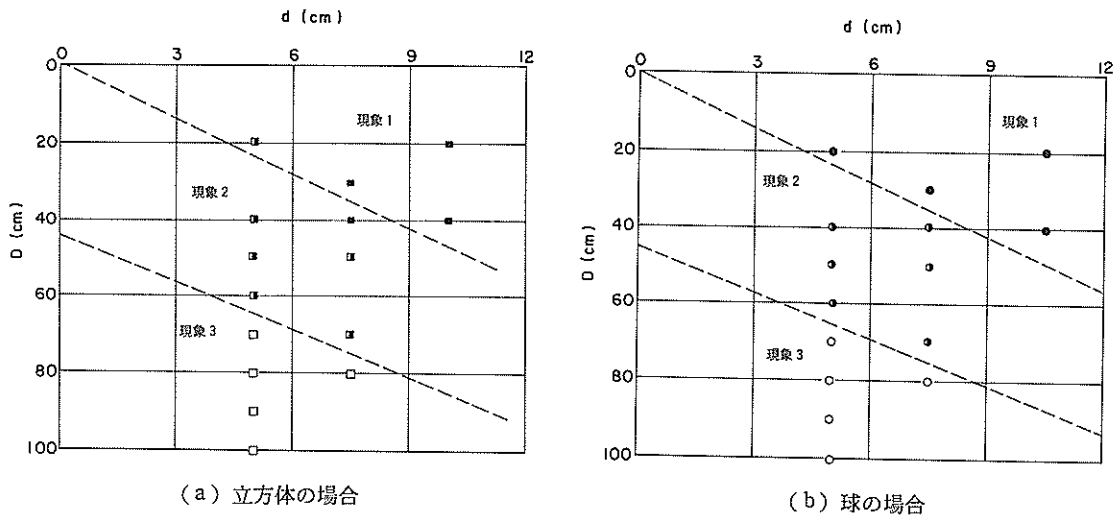
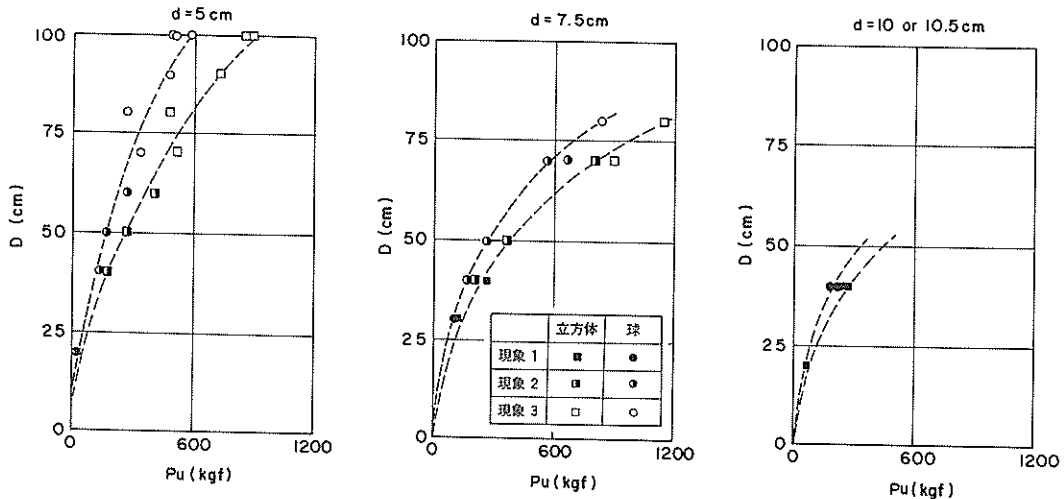


図-20 アンカーの大きさと埋設深さの関係における破壊パターンの違い (水平引張り実験)



(a)  $d = 5$  cm (b)  $d = 7.5$  cm (c)  $d = 10$  cm (立方体),  $d = 10.5$  cm (球)

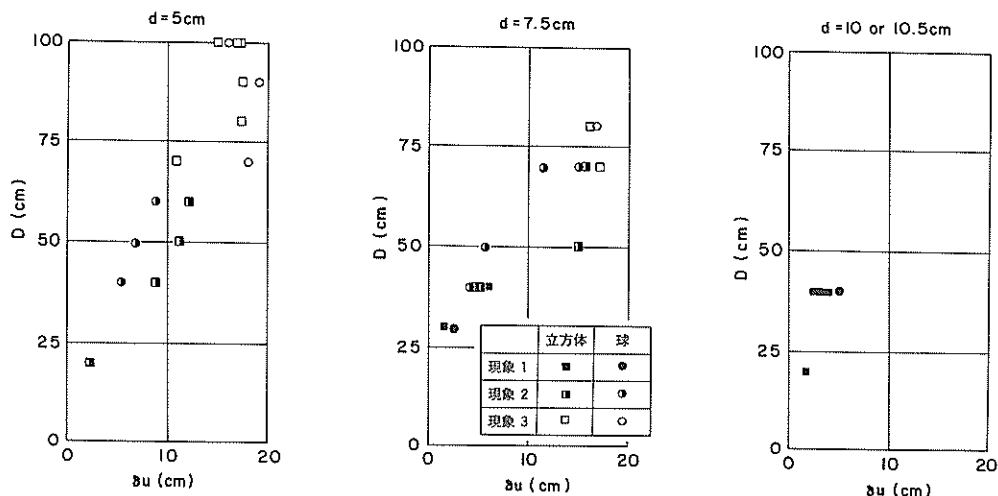
図-21 極限引張り抵抗  $P_u$  の深度分布 (水平引張り実験)

ると現象3の結果が変位15~20cm付近に集中しているが、これは実験において与えた変位量を、最大で20cmまでとしたためである。

#### 4.3 鉛直引揚げ実験の結果

鉛直引揚げ実験の結果は、ワイヤーの摩擦と伸びに対

する直接的な補正を行っていないので、ここでは生データを実験結果として提示する。まずここでも、すべての実験結果に対する応力-ひずみ曲線の比較を行った。そして、水平引張り実験の結果では三種類の破壊パターンが存在したが、鉛直引揚げ実験では、水平引張り実験



(a)  $d = 5 \text{ cm}$

(b)  $d = 7.5 \text{ cm}$  (c)  $d = 10 \text{ cm}$  (立方体),  $d = 10.5 \text{ cm}$  (球)

図-22 変位量  $\delta_u$  の深度分布 (水平引張り実験)

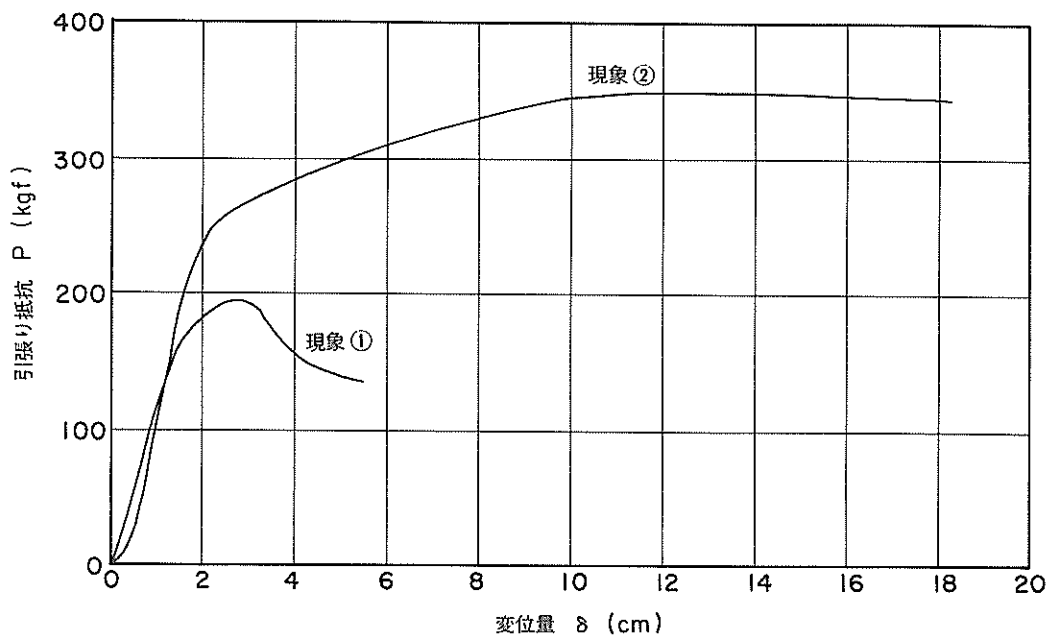
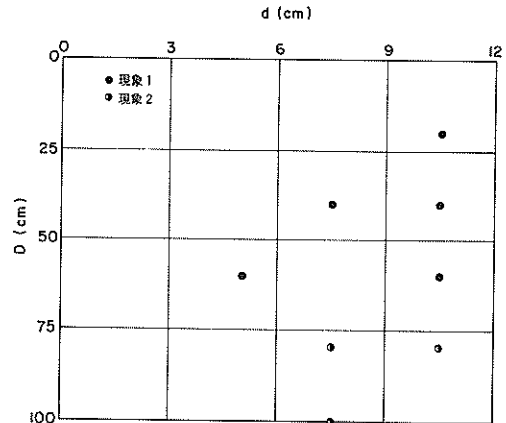
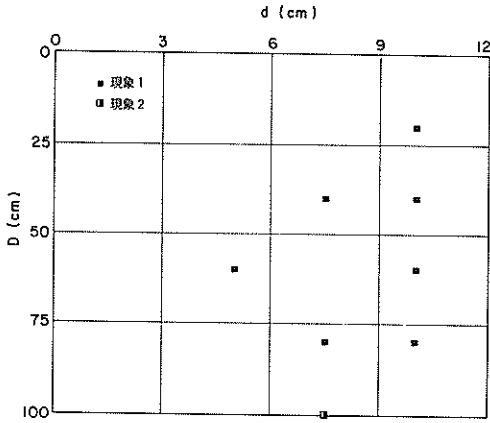


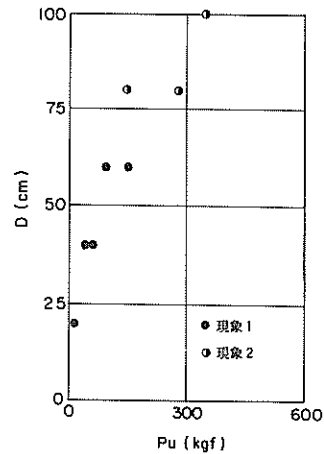
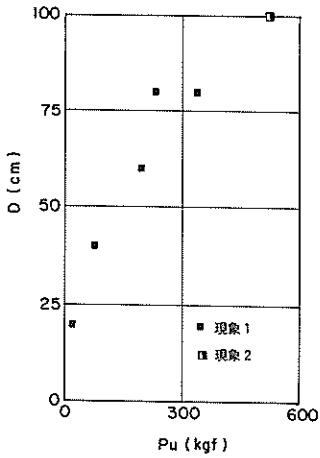
図-23 荷重-変位曲線の二種類のパターン (鉛直引揚げ実験)



(a) 立方体の場合

(b) 球の場合

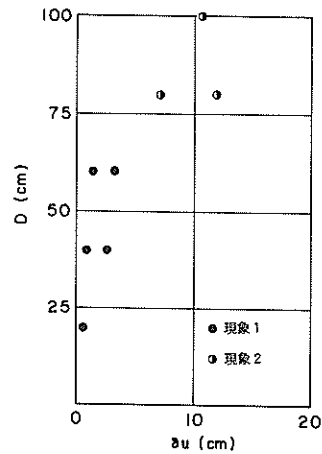
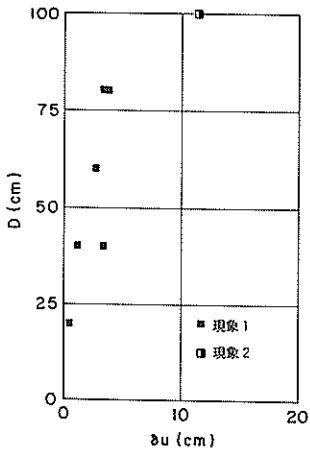
図-24 アンカーの大きさと埋設深さの関係における破壊パターンの違い (鉛直引揚げ実験)



(a) 立方体の場合

(b) 球の場合

図-25 極限引揚げ抵抗  $P_u$  の深度分布 (鉛直引揚げ実験)



(a) 立方体の場合

(b) 球の場合

図-26 変位量  $\delta_u$  の深度分布 (鉛直引揚げ実験)

の結果の現象1と現象2に相当する二つの破壊パターンしか現れなかった。その二つの破壊パターンの典型例を図-23に示す。また水平引張り実験の場合と同様に、縦軸にアンカーの大きさ  $d$ 、横軸にアンカーの埋設深さ  $D$  を取り、破壊パターンの分布傾向を図-24 (a), (b) に示す。図-24 (a), (b)によれば、今回のように埋設深さ  $D$  が  $20\text{ cm} \leq D \leq 100\text{ cm}$ 、またアンカーの大きさ  $d$  が立方体で  $5\text{ cm} \leq d \leq 10\text{ cm}$ 、球で  $5\text{ cm} \leq d \leq 10.5\text{ cm}$  程度の実験では、ほとんどの場合において極限值が明らかに現れる結果となった。このことから、鉛直引揚げ実験は、同じ範囲で実験条件を与えている水平引張り実験よりピークが出やすいということが言える。図-25 (a), (b) に極限引揚げ抵抗  $P_u$  の深度に対する分布状態を示す。図-25 (a), (b)によれば、アンカーの埋設位置が深いほど引揚げ抵抗  $P_u$  は大きくなっており、合理的な結果と思われる。引揚げ抵抗は (a), (b) の比較になるためグラフの上から判別しがたいが、やはり立方体のほうが大きく、これもやはり合理的な結果であると思われる。次に、極限引揚げ抵抗が発揮された時点での変位量  $\delta_u$  の深度方向分布状態を、図-26 (a), (b) に示す。

図-26 (a), (b) によれば、変位量  $\delta_u$  はアンカーの埋設深さが深いほど大きくなっている。

## 5. 考察

### 5.1 水平引張り実験の考察

アンカーの埋設深さ  $D$  と大きさ  $d$  の比  $D/d$  を根入れ比と呼ぶことにして、縦軸に極限引張り抵抗  $P_u$ 、横軸に根入れ比  $D/d$  を取り、図-27 (a), (b) に示す。図-27 (a), (b) によれば、 $D/d$  の増加により  $P_u$  は指数関数的に増加する。また、アンカーの大きさにより、その増加傾向の違いが顕著に現れている。

また、次の式 (7) により極限引張り抵抗  $P_u$  を無次元化した値を  $N_q$  として、

$$N_q = P_u / A r D \quad (7)$$

ここで、 $A$  : 受圧面積

$r$  : 単位体積重量

$D$  : 地表面からアンカー中心までの深さ (埋設深さ)

縦軸に  $N_q$ 、横軸に根入れ比  $D/d$  を取り、図-28 (a), (b) に示す。なお、現象3の場合最大引張り抵抗は実験終了時の値となるが、この値は最終変位量により変わるため、変位量  $\delta$  をアンカーの大きさ  $d$  で無次元化した値  $\delta$

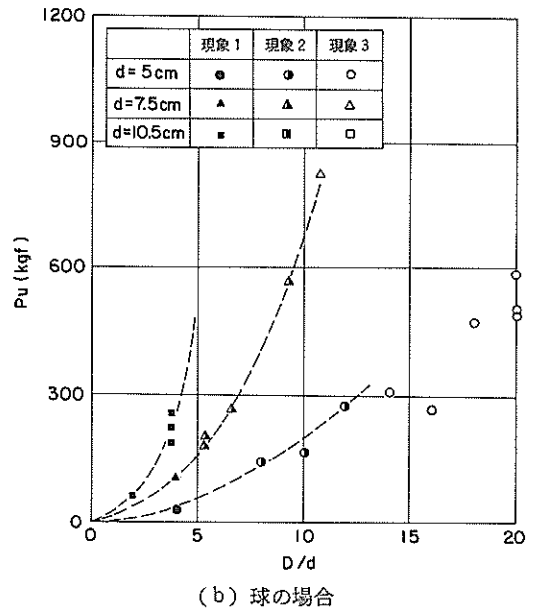
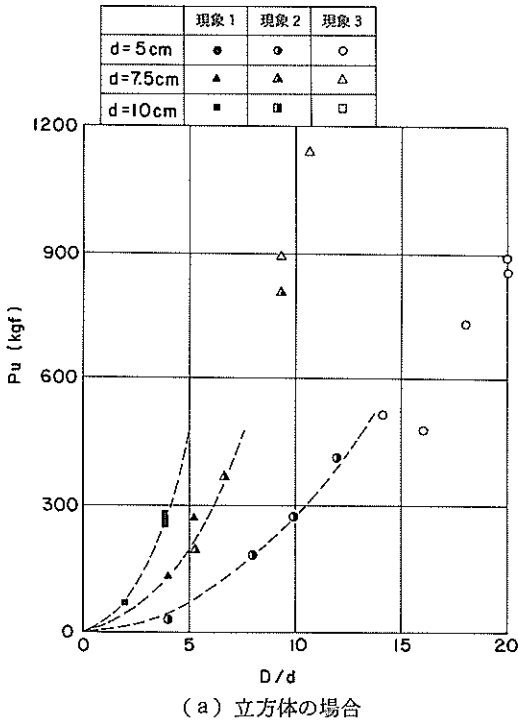
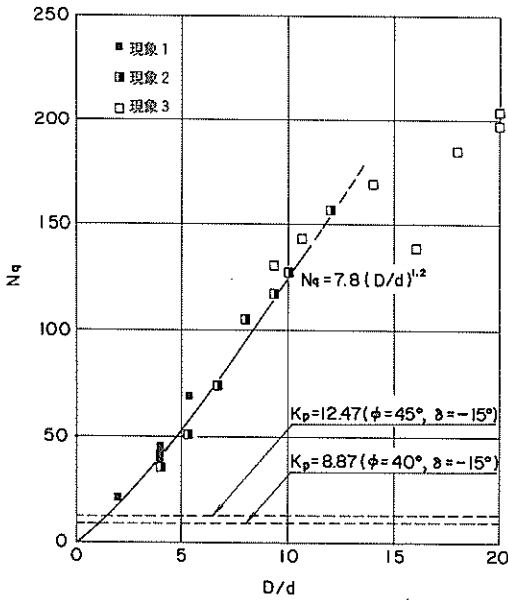
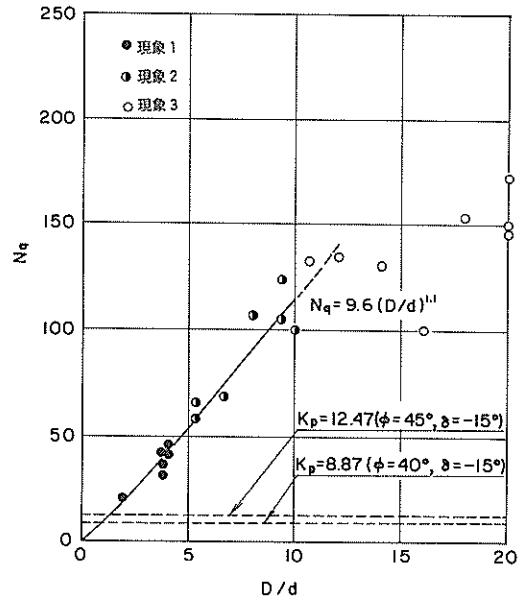


図-27 極限引張り抵抗  $P_u$  と根入れ比  $D/d$  の関係 (水平引張り実験)





(a) 立方体の場合



(b) 球の場合

図-28 引張り抵抗の係数 $N_q$ と根入れ比 $D/d$ の関係 (水平引張り実験)

$/d$  が 3 程度となる変位量のときの引張り抵抗  $P_u$  とした。現象 3 では変位にしたがってどこまでも引張り抵抗が増えていく形になっているわけであるが、なるべく極限抵抗に近いという意味で変位量が大きく、かつその変位量が実際の範囲にあるものという考えから、 $\delta/d = 3$  とした。また  $\delta/d = 3$  は、引張り実験のほとんどのケースで試験されている最大の範囲という意味もある。式 (7) は、マイヤホフの深いアンカーに対する引張り抵抗の係数を求める式 (2)、また Das の示した引張り抵抗の係数を求める式 (4) と一致する。

図-28 (a), (b) によれば、 $D/d$  の増大とともに  $N_q$  は増加する。これは、2.1 において説明した、アンカーの引張り抵抗の係数は埋設深さが深くなるに従って増大するという事に一致した結果である。ところが、 $D/d > 10$  程度になるとばらつきが大きくなり、 $D/d$  が増加しても  $N_q$  は増加せず減少している点もある。このことは、ある一定の埋設深さに達すると一定の引張り抵抗の係数を示すようになるという一般的な意見を支持する結果と思われるが、今回の実験ではその一定になる深さ  $(D/d)_{cr}$  が明確に現されておらず、 $(D/d)_{cr} = 10 \sim 15$  程度と言えよう。

式の上から  $N_q$  は、土圧係数に相当するものとなる。

本実験地盤の受働土圧係数は、内部摩擦角  $\phi$  が  $40^\circ$  で、かりに模型アンカーと砂地盤との壁面摩擦角を  $\delta = -15^\circ$  とすれば  $K_p = 8.87$ 、また  $\phi = 45^\circ$ 、 $\delta = -15^\circ$  とすれば  $K_p = 12.47$  となり、図-28 に示す点線となる。これは、土かぶり深さ及び受圧面積に無関係に一定値をとるわけであるが、しかし本実験における  $N_q$  はパラメータ  $D/d$  に支配され、 $D/d$  の増加により  $N_q$  も増加している。そして、図-28 によれば、 $D/d$  が約 2 程度で、すでに受働土圧係数  $K_p$  を越えている。そこで、土圧の釣り合いよりも抵抗が増える側の因子を考えれば、例えば立方体の場合、アンカーの上下の面及び両側面に作用する摩擦抵抗が挙げられる。そして、上下の面には土の自重による摩擦が、両側面には横からの静止土圧に対する摩擦が作用すると仮定すれば、次の式 (8) により摩擦を含む全体の引張り抵抗が計算される。

$$P_u = A r D \{ K_p + 2(1 + K_o) \tan \delta \} \quad (8)$$

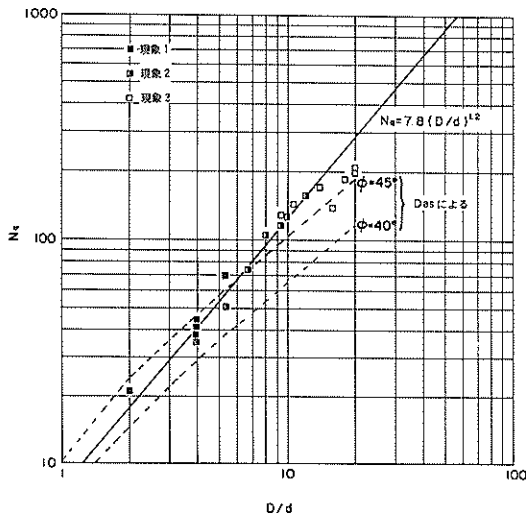
ここに、 $P_u$  : 極限引張り抵抗

$K_p$  : 受働土圧係数

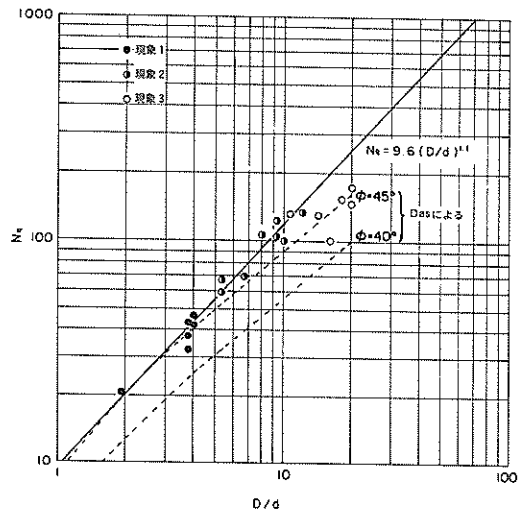
$K_o$  : 静止土圧係数

$\delta$  : 壁面摩擦角

すなわち、{ } 内第二項がその摩擦抵抗の分である。



(a) 立方体の場合



(b) 球の場合

図-29 引張り抵抗の係数 $N_q$ と根入れ比 $D/d$ の関係(水平引張り実験, 対数グラフ)

なお、式(8)ではアンカーの自重を無視している。この摩擦抵抗の分を、かりに $K_0 = 0.5$ 、 $\theta = 15^\circ$ として計算すれば、約0.8となり、前記した受働土圧係数 $K_0$ の値に与える影響は小さい。このことから、クーロンの受働土圧係数より土圧を求めてその抵抗力を計算する現行設計法は、埋設深さ $D$ が小さいくかつアンカーの大きさ $d$ が大きい場合は適当であるが、そうでない深いアンカーのような場合は極めて安全側の設計であると考えられる。

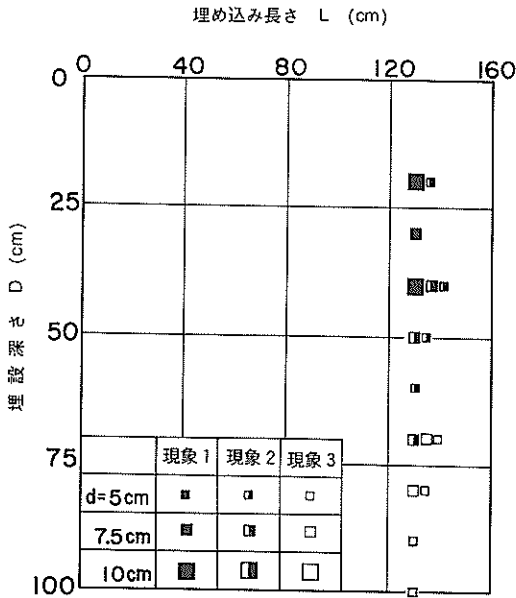
引張り抵抗の係数が受働土圧係数よりも大きくなるのには、もう一つの重要な原因がある。それは、三次元的な効果である。すなわち、この場合アンカーは立方体と球であるが、アンカー前面の引張り抵抗は、これが水平方向に連続した円柱または四角柱の単位幅当たりの抵抗よりも大きい。アンカーの研究では、これを形状係数<sup>14)</sup>(shape factor)と呼んでいる。しかし今回は、立方体及び球のブロックアンカーを対象にして研究をまとめることにし、形状係数についてはこれ以上言及しない。

図-28(a)、(b)に示した $N_q$ と $D/d$ の関係を両対数紙上にプロットし直したものを図-29(a)、(b)に示す。そして、極限值に達していない現象3を除いて、べき乗関数による最小二乗近似を行うと式(9)となり、これを図中に実線で示した。この図から $N_q$ と $D/d$ は $D/d < 10$ の範囲において、明らかに直線的な関係にあることがわかる。

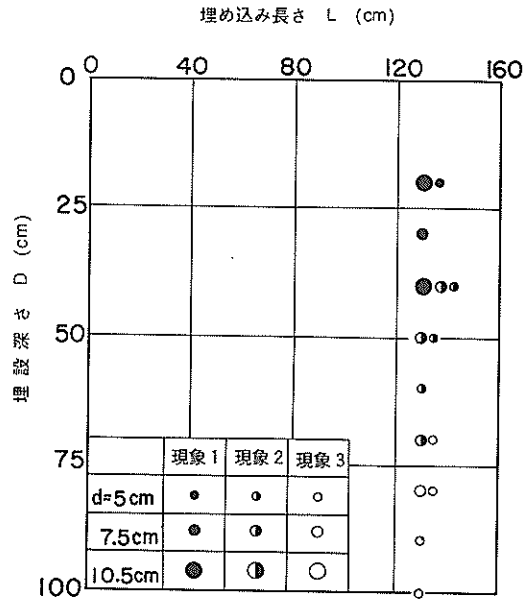
$$\left. \begin{array}{l} \text{立方体の場合 } N_q = 7.8 (D/d)^{1.2} \\ \text{球の場合 } N_q = 9.6 (D/d)^{1.1} \end{array} \right\} \quad (9)$$

これは、2.1において説明したDasの近似式(3)と意味がやや異なる。式(3)における引張り抵抗の係数の定義では、極限引張り抵抗 $P_u$ を $r d^3$ で割った無次元の量としている。しかし、本実験における引張り抵抗の係数は式(7)であり、これは立方体のアンカーの場合 $P_u / r d^2$ と書き直すことができる。すなわち、Dasが与えた引張り抵抗の係数に $(D/d)^{-1}$ を掛けたものは、本実験の引張り抵抗の係数と比較することができる。式(3)にこのような操作を加えて、図-29(a)、(b)中の点線で示す。なお、Dasは $D/d = (1 \sim 5)$ 程度の範囲で実験を行い式(3)を求めているが、図-29には $D/d$ で20まで計算し書き入れた。

次に、アンカーの大きさ $d$ とその埋設深さ $D$ の関係により分類した現象1~3までの破壊特性について考えてみる。縦軸にアンカーの埋設深さ $D$ と、横軸にアンカーの埋め込み長さ $L$ をとり、4.2に述べた破壊現象の相違を見てみると、図-30の(a)、(b)に示すとおりとなる。図-30(a)、(b)の横軸で $L = 130$  cmの線上にない点もあるが、これは実験ケースすべての点をプロットしたためによるもので、実際はすべて $L = 130$  cmである。この場合、ワイヤー長さ $L$ は130 cmと一定であるため、埋め込み長さの影響は見ることができない。そして、埋め



(a) 立方体の場合



(b) 球の場合

図-30 埋設深さDと埋め込み長さLの関係における破壊現象の違い(水平引張り実験)

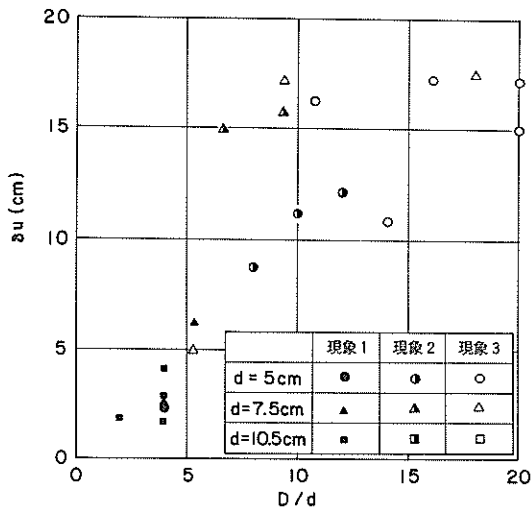
込み長さは、3.5実験条件に詳しく述べたように、影響が出てこないほど十分な距離をとってある。しかし、埋設深さDについては、浅い場合明確なピークを示す現象1となるが、深くなればなるほど現象2から現象3へと移り、極限の出にくいものとなるという傾向が認められる。これは、図-20(a),(b)と同様の結果であり、この二通りのグラフから次のことが考えられる。埋設深さが浅い場合は、すべり線が地表面に達して破壊するという全般破壊の現象が起こる。これは、引張り抵抗としては、ピーク値を示すことになる。しかし、それが深くなってくると、破壊の影響範囲が広くなるとともにすべり線が地表面に達するまでに大きな変位を要するため、極限が出にくくなる。そして更に深くなるとすべり線は地表面に達することなく、地中においてアンカーの周囲地盤だけの局部破壊を起こす。この場合が、極限が出ないといった現象に対応していると思われる。アンカーの大きさは破壊現象に影響し、ある深さのときに、大きいアンカーではすべり線が地表面に達し、小さいアンカーでは達しないということがあるはずである。深さ70cmのときに5cmのアンカーが現象3を示し、7.5cmのアンカー現象2を示しているのは、このことが実際に生じ

ているものと考えられる。

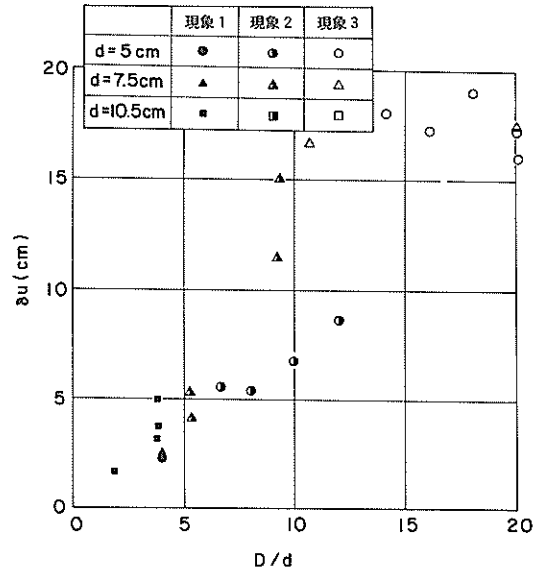
変位量に対する考察について次に述べる。縦軸に極限抵抗が発揮された時点での変位量 $\delta_u$ 、横軸に根入れ比 $D/d$ を取り、図-31(a),(b)に示す。また、縦軸に $\delta_u/d$ 、横軸に根入れ比 $D/d$ を取り、図-32(a),(b)に示す。図-31(a),(b)によれば、現象3のややばらついたデータはあるが、 $D/d$ の増加にともなう $\delta_u$ も増加している。図-32(a),(b)も同様で現象3を除けば、 $\delta_u/d$ は $D/d < 10$ の範囲で、 $D/d$ の増加に従って増加しており、(a)と(b)のグラフの比較から形状による違いも読み取ることができる。 $N_q$ の場合と同様に、図-32(a),(b)を両対数紙上にプロットし直したものを図-33(a),(b)に示す。現象1と現象2を対象にしてべき乗関数による最小二乗近似を行うと、次の式(10)となる。

$$\left. \begin{array}{l} \text{立方体の場合} \quad \delta_u/d = 0.031 (D/d)^{1.8} \\ \text{球の場合} \quad \delta_u/d = 0.055 (D/d)^{1.4} \end{array} \right\} (10)$$

図-33中に示した直線は、この近似結果である。そして、プロットされた点は、現象1及び2の $D/d < 10$ の範囲ではほぼこの直線上にあることが示されている。

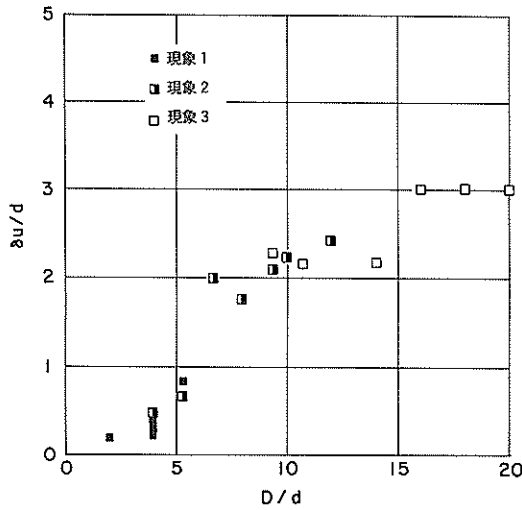


(a) 立方体の場合

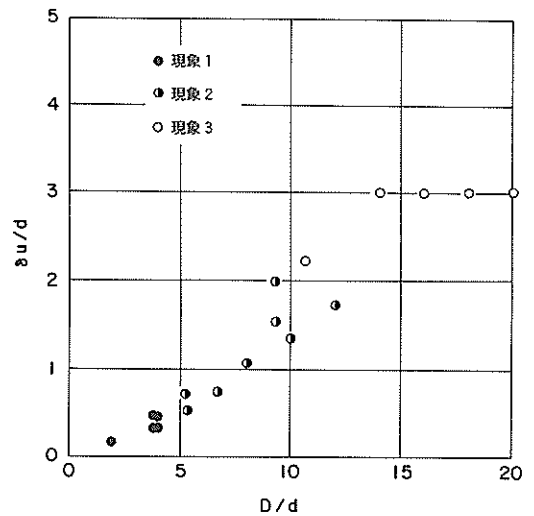


(b) 球の場合

図-31 変位量  $\delta_u$  と根入れ比  $D/d$  の関係 (水平引張り実験)



(a) 立方体の場合

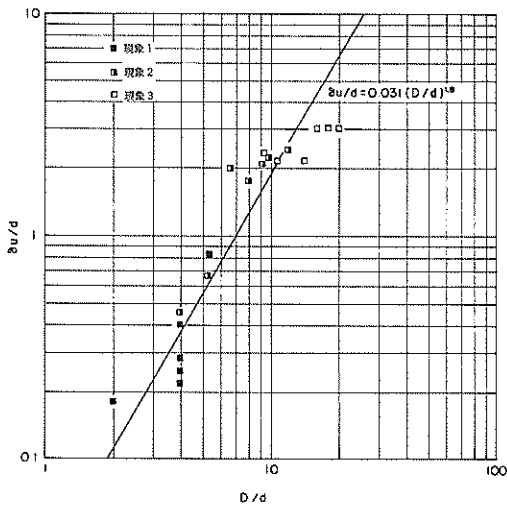


(b) 球の場合

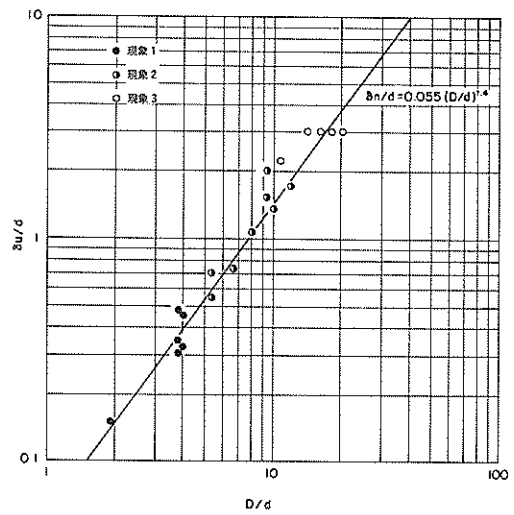
図-32  $\delta_u/d$  と根入れ比  $D/d$  の関係 (水平引張り実験)

ところで、本実験において極限の引張り抵抗が発揮された点での変位量  $\delta_u$  をみると、現象1の場合で  $\delta_u/d = 0.5$ 、現象2の場合だと  $\delta_u/d = 2$  程度の範囲まで分布している。一般的にみてこれは、大きめの変位である

と考えられる。本論文中に引用した他の研究例はすべてプレートアンカーを使用しているが、本実験ではブロックアンカーを使用しているために、この現象が起こったと考えられる。すなわち、ブロックアンカーの場合には、

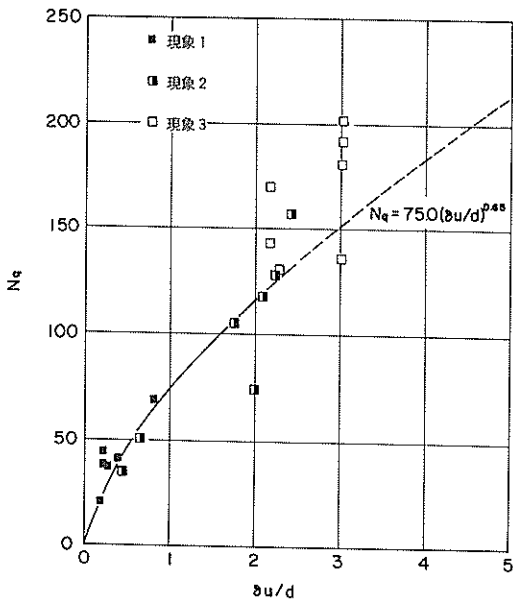


(a) 立方体の場合

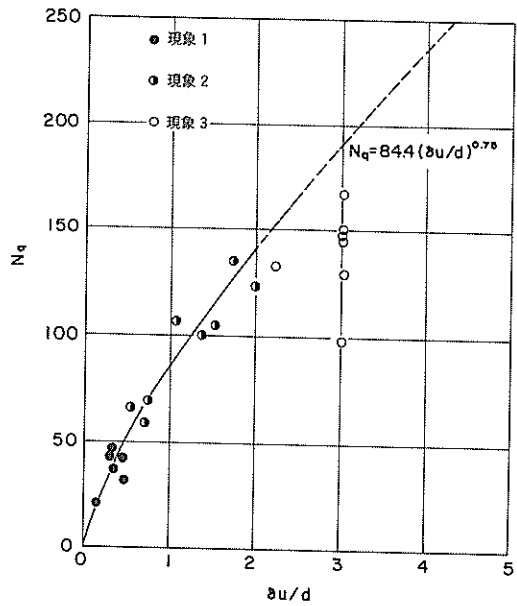


(b) 球の場合

図-33  $\delta_u/d$  と根入れ比  $D/d$  の関係 (水平引張り実験, 対数グラフ)



(a) 立方体の場合



(b) 球の場合

図-34 引張り抵抗の係数  $N_q$  と  $\delta_u/d$  の関係 (水平引張り実験)

プレートアンカーに比べて抵抗の要因と抵抗力の発揮の仕方が複雑であり、また同じ大きさのプレートアンカーに比べて、アンカー周囲の破壊領域が大きくなると考えられる。このことにより、浅いアンカーの場合には、ブロックアンカーでも現象1となつて上のことが成り立た

ないが、深いアンカーの場合には、プレートアンカーよりもブロックアンカーのほうが、極限抵抗力を発揮するまでの変位量が大きくなり、極限抵抗力そのものも大きくなる (後述) とと思われる。

図-30の  $N_q$  と図-33の  $\delta_u/d$  は、両方ともに  $D/d$

という量をパラメーターとして表されているから、 $N_q$ と $\delta_u/d$ とは一義的に結びつけられる。そこで、縦軸に $N_q$ を、横軸に $\delta_u/d$ を取り図-34 (a), (b)に示す。なお、図-34 (a), (b)において現象3の $\delta_u > 3$ の場合については実験終了時の値を用いても無意味であるから、ここでも $\delta_u/d = 3$ のときの $N_q$ を用いて示している。その結果、変位を無次元化した $\delta_u/d$ が増加すると引張り抵抗の係数 $N_q$ も増加するという傾向が表れている。そして、これらの関係は式(9)と式(10)から、次の式(11)のように表現することができる。

$$\left. \begin{array}{l} \text{立方体の場合 } N_q = 75.0 (\delta_u/d)^{0.65} \\ \text{球の場合 } N_q = 84.4 (\delta_u/d)^{0.75} \end{array} \right\} (11)$$

図-31 (a), (b)中に式(11)の結果を示す。極限值に達していないために解析から除外した現象3以外の現象1と現象2は、この曲線上にあることがわかる。

以上に得られた結果により、本実験における砂地盤中のブロックアンカーが示す荷重-変位特性が一応示されたことになる。ただし、 $D/d < 10$ の範囲に限る。

## 5.2 鉛直引揚げ実験の考察

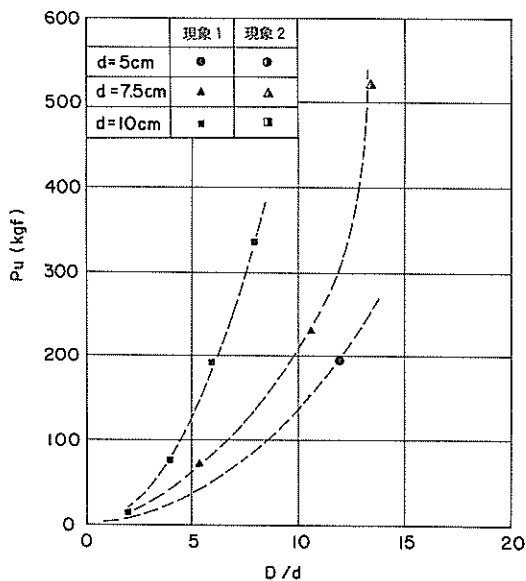
鉛直引揚げ実験も水平引張り実験の場合と同様の整理を行い検討を加えることにし、抵抗力と変位量とに分け

て考察する。まず、抵抗力について、縦軸に極限引揚げ抵抗 $P_u$ 、横軸に根入れ比 $D/d$ を取り図-35の(a), (b)に示す。これによれば、水平引張り実験と同様の増加傾向を見せており、 $P_u$ は $D/d$ の増加にともない増加している。また、アンカーの大きさにより、その増加傾向の違いが顕著に現れている。次に、水平引張り実験のときと同様に式(7)により極限引揚げ抵抗を無次元化して $N_q$ で表し、縦軸に $N_q$ 、横軸に根入れ比 $D/d$ を取り図-36 (a), (b)に示す。図-36 (a), (b)によれば $D/d$ の増加により $N_q$ はやはり増加している。すなわち、水平引張り実験と同様でアンカーの埋設深さ及びその大きさに無関係な $N_q$ は存在せず、やはり $D/d$ に依存する結果となった。ここで、図-36 (a), (b)に示したグラフを、対数グラフに書きなおして式(9)のべき乗関数による最少二乗法近似を行うと、

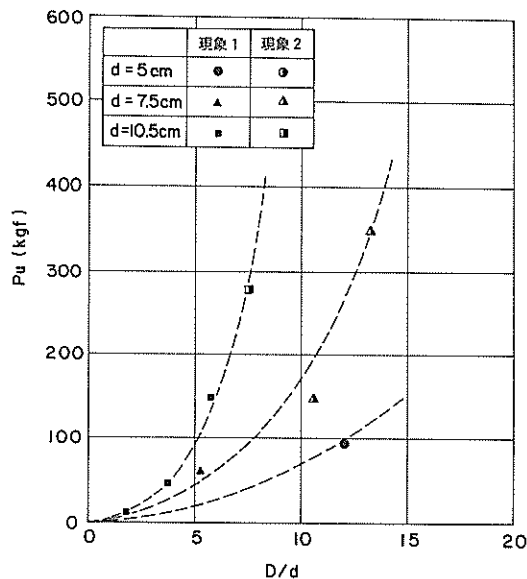
$$\left. \begin{array}{l} \text{立方体の場合 } N_q = 1.9 (D/d)^{1.3} \\ \text{球の場合 } N_q = 2.1 (D/d)^{1.2} \end{array} \right\} (12)$$

となり、次の図-37 (a), (b)に示すとおりとなる。図中に示した直線はその近似結果である。水平引張り実験の結果に比べるとやや相関が悪くなっているが、直線関係が認められる。

鉛直引揚げ実験の場合について、破壊現象のパターン

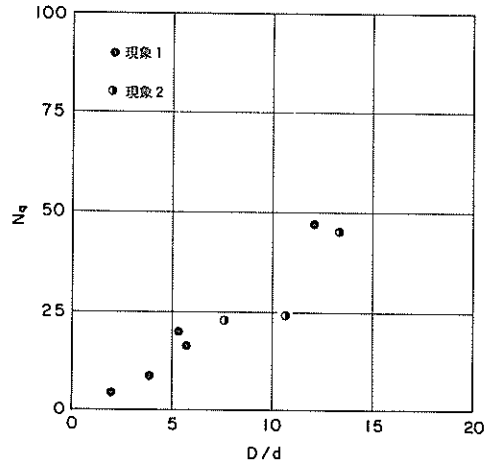
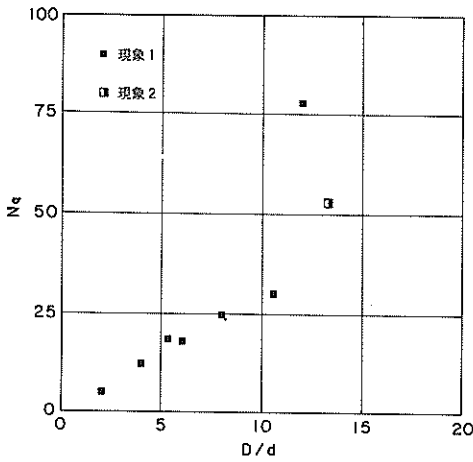


(a) 立方体の場合



(b) 球の場合

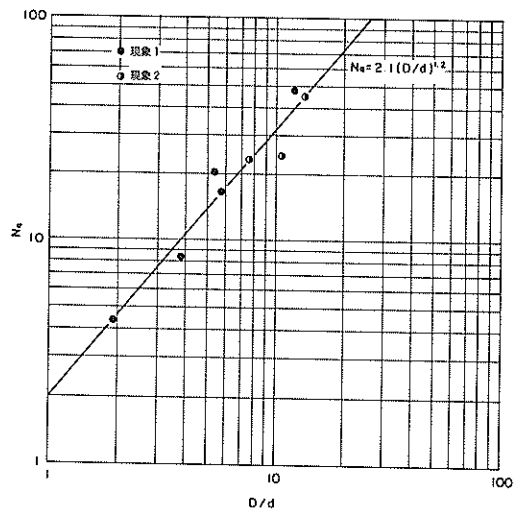
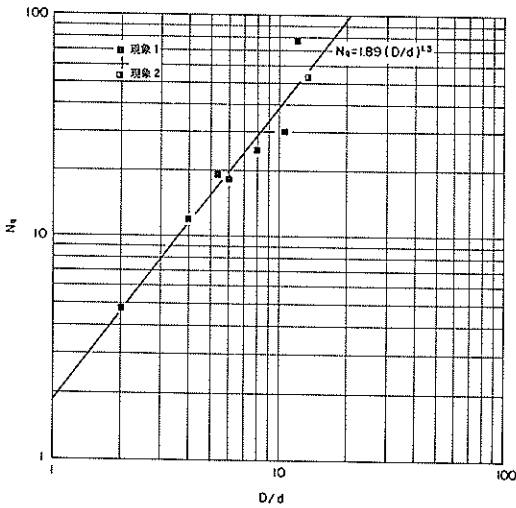
図-35 極限引揚げ抵抗 $P_u$ と根入れ比 $D/d$ の関係(鉛直引揚げ実験)



(a) 立方体の場合

(b) 球の場合

図-36 引揚げ抵抗の係数 $N_q$ と根入れ比 $D/d$ の関係(鉛直引揚げ実験)



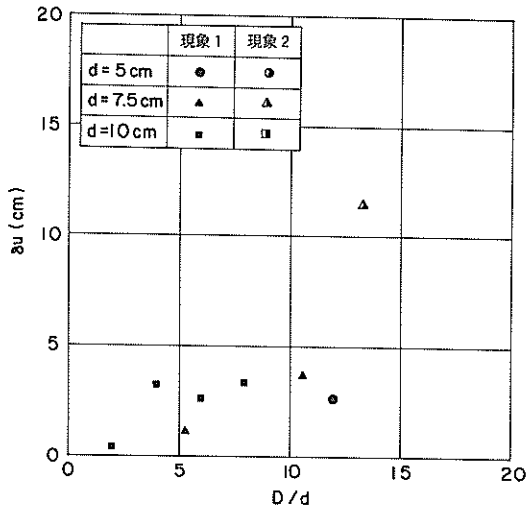
(a) 立方体の場合

(b) 球の場合

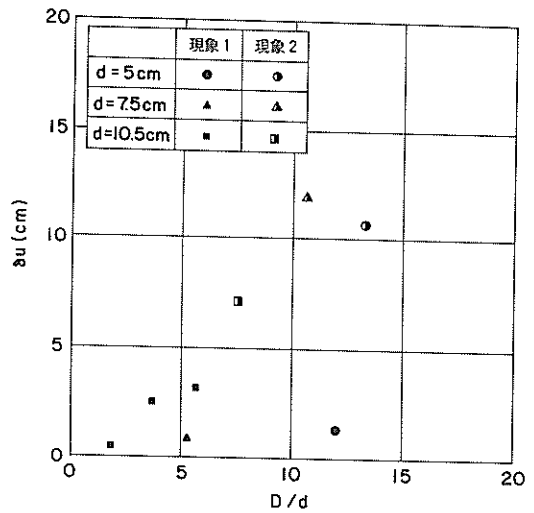
図-37 引揚げ抵抗の係数 $N_q$ と根入れ比 $D/d$ の関係(鉛直引揚げ実験、対数グラフ)

の分類をしてみると、ピークが明確に現れる現象1が多く、残る少しのケースが現象2となっている。勝見によれば、アンカー基礎が抜け上がる時地表面に円形の盛り上がり見られ、これはアンカー基礎の破壊すべり面と地表面の交点に相当する。そしてその盛り上がりが見られるか、そうでないかの境界でアンカーの挙動(破壊現象)が違うのではないかと考察している。勝見はこの境界値を、 $D/d$ をパラメータにして表しており、大まかながら $(D/d)_{cr} = 3 \sim 6$ の範囲と報告している。マイ

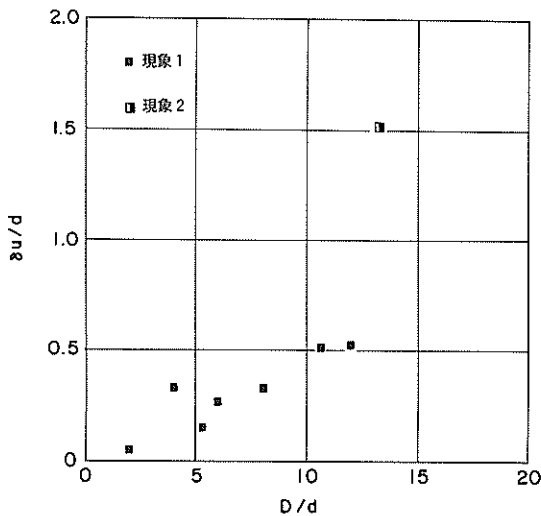
ヤホフは、 $(D/d)_{cr} = 4$ であると述べている。本実験においては、 $D/d$ が小さい場合として立方体で $D/d = 2$ 及び4、球で $D/d = 2$ 及び3.8の場合のみ地表面の盛り上がり観測されているが、そうでない場合は明瞭な盛り上がりを観察することはできなかった。勝見の言う観察された盛り上がりという観点から破壊現象の相違を見るならば、本実験では $(D/d)_{cr} = 4$ 程度となり、マイヤホフと一致する。しかし、応力-ひずみ曲線の上での違い(現象1, 2, 3)から破壊現象の違いを見よ



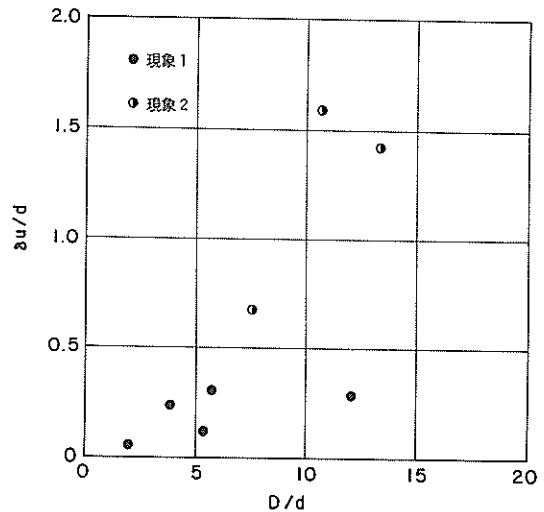
(a) 立方体の場合



(b) 球の場合

図-38 変位量  $\delta_u$  と根入れ比  $D/d$  の関係 (鉛直引揚げ実験)

(a) 立方体の場合



(b) 球の場合

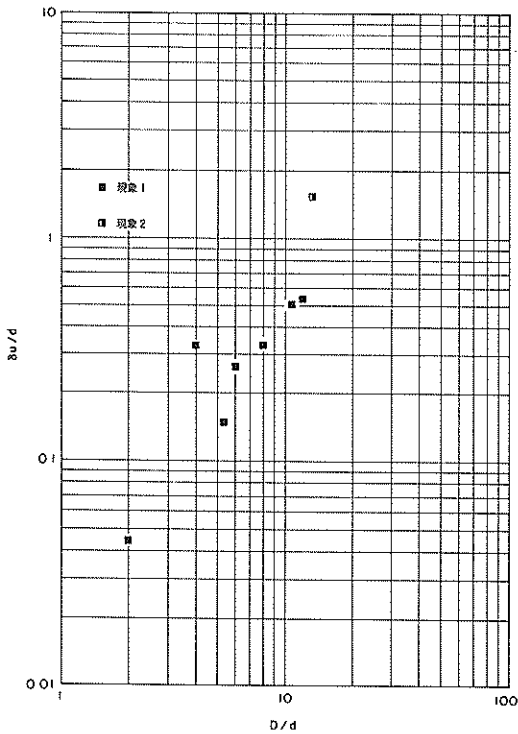
図-39  $\delta_u/d$  と根入れ比  $D/d$  の関係 (鉛直引揚げ実験)

うとするならば、図-37 (a), (b) から  $D/d < 12$  程度の範囲ですべて現象 1 及び 2 であり、 $N_q$  は一定の傾きをもつ直線関係にあるので、 $(D/d)_{cr}$  は少なくとも 12 より大きいということになる。こう考えると、マイヤホフ及び勝見より大きめの値を与える結果となる。

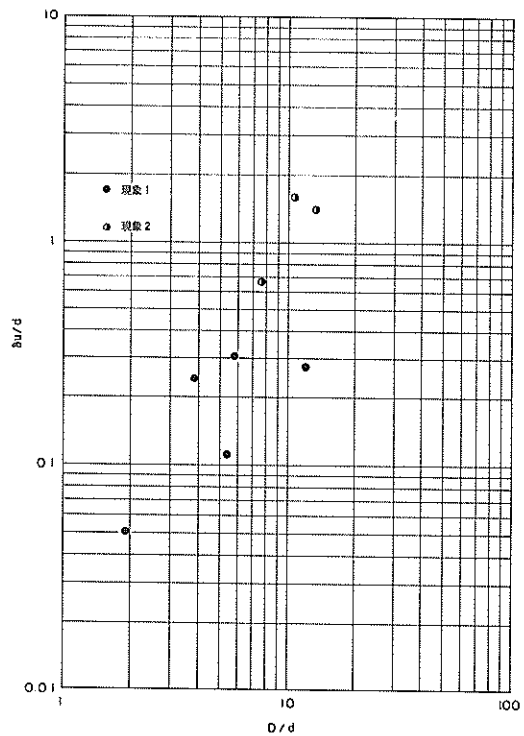
次に、変位量に対して縦軸に極限引揚げ抵抗が発揮された時点での変位量  $\delta_u$  を、横軸に根入れ比  $D/d$  を取り、

図-38 (a), (b) に示す。図-38 (a), (b) によれば、 $D/d$  の増加により  $\delta_u$  は増加するが、水平引張り実験における同じ関係のグラフに比べて、アンカーの大きさに対する傾向の違いや増加傾向そのものが明瞭でなく、相関が悪いものとなっている。また、縦軸に  $\delta_u/d$  を、横軸に  $D/d$  を取り図-39 (a), (b) に示す。これもやはり水平引張り実験の  $\delta_u/d$  と  $D/d$  の関係よりもば





(a) 立方体の場合



(b) 球の場合

図-40  $\delta_u/d$ と根入れ比 $D/d$ の関係(鉛直引揚げ実験, 対数グラフ)

らつきは大きいですが、 $D/d$ が増加すれば $\delta_u/d$ も増加するという定性的な傾向は、はっきり現れている。そして、これまでと同様に図-39(a), (b)に示したグラフを両対数グラフに書き直して、図-40(a), (b)に示す。このように、鉛直引揚げ実験は水平引張り実験に比べて、抵抗力についてややばらつきが大きくなり、変位量についてはさらにばらつきが大きく相関が悪いものとなった。これは、抵抗力に関してワイヤーの摩擦を、変位量に関してワイヤーの伸びを補正していないためと考えられる。

### 5.3 既往の計算法による検討

アンカーの引張り抵抗において重要な条件の一つである内部摩擦角 $\phi$ については本実験の場合、三軸試験の結果より $40^\circ \sim 45^\circ$ 程度という値を得ている。そこでアンカーの引張り抵抗と地盤の内部摩擦角 $\phi$ との関係について検討を行う。

まず、水平引張り抵抗の係数 $N_q$ と $D/d$ との関係について、勝見<sup>(1)</sup>及びDas<sup>(2)</sup>等の実験結果と本実験の結果を比較したものを、図-41に示す。図-41によれば本

実験の結果は、勝見及びDasのいずれの実験結果に対しても、水平引張り抵抗の係数は大きめの値を与えており、 $(D/d)_{cr}$ も本実験のほうが10程度と大きい。これは、勝見及びDasのいずれの実験と比べても本実験の内部摩擦角 $\phi$ が大きめであるから当然ではあるが、その他に勝見及びDasの実験はプレートアンカーを用いているのに対して、本実験ではブロックアンカーを用いていることも理由として考えられる。

内部摩擦角 $\phi$ に対する極限の引張り抵抗係数 $N_q$ の関係を図-42に示す。この場合の $N_q$ はある一定の深さに達すると一定の値を示すようになると言われている点での値で、つまり、 $(D/d)_{cr}$ を越えた一定の引張り抵抗の係数としての値である。本実験結果の場合は、 $(D/d)_{cr} = 10 \sim 15$ とその値が明確でないので、 $D/d > 10$ である点をすべてプロットすることにした。また、内部摩擦角 $\phi$ は、三軸試験の結果から間隙比との関係を得ており、実験地盤の間隙比から各実験地盤の内部摩擦角 $\phi$ を算出している。図-42によれば、本実験の結果はややばらつい

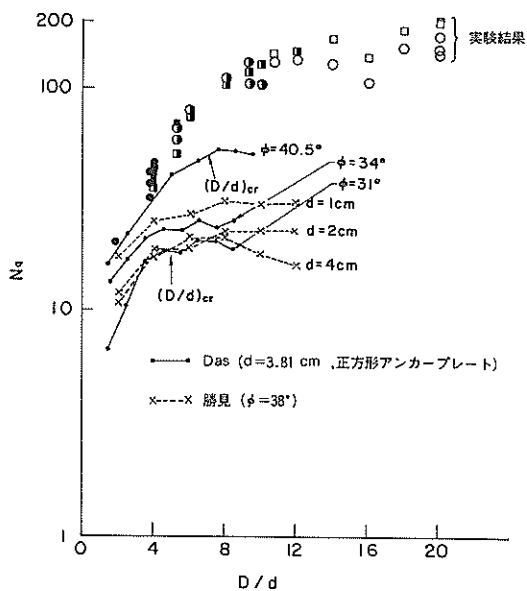


図-41 実験結果の比較  
(水平引張り抵抗の係数 $N_q$ について)

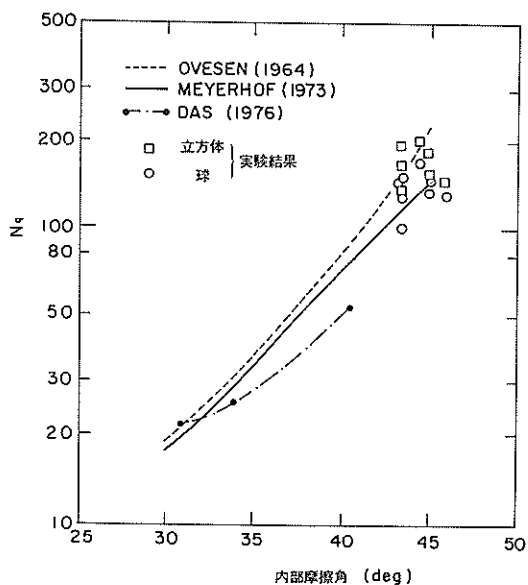
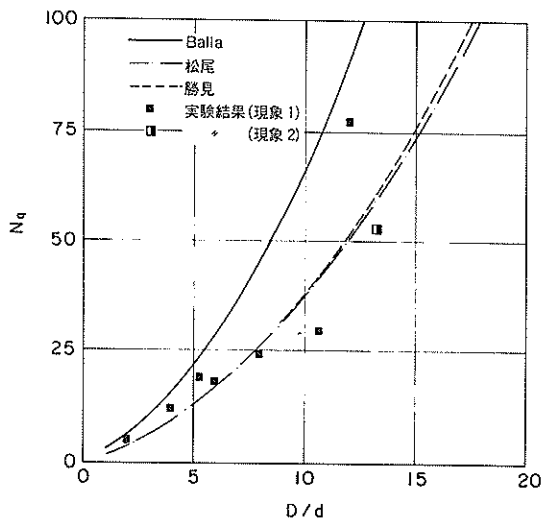
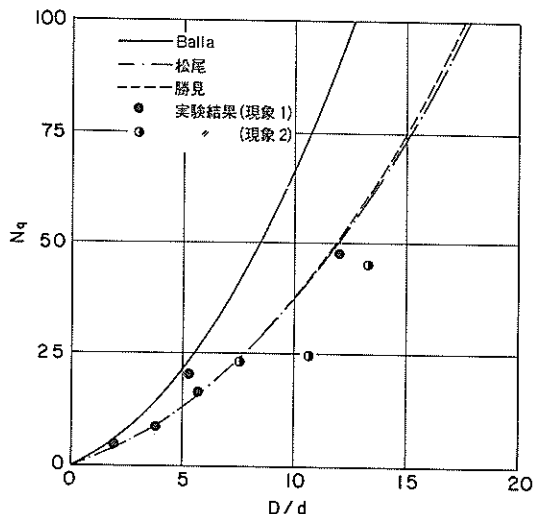


図-42 内部摩擦角 $\phi$ に対する実験結果の比較  
(水平引張り抵抗の係数 $N_q$ について)



(a) 立方体の場合



(b) 球の場合

図-43 実験結果の比較 (鉛直引揚げ抵抗の係数 $N_q$ について)

ているが、ほぼ Ovesen, Meyerhof の与えた結果と一致している。

しかし、ここに示した実験結果は大半が現象3の破壊パターンのものであり、ここに示した $N_q$ を求めた時点

での変位量は $3d$ と大きいのであるが、それでも極限状態に達していない可能性がある。したがって、本実験の引張り抵抗の係数は図-42より少し大きくなることも考えられる。これは、5.1に述べたと同様で、Ovesen,

Meyerhofがプレートアンカーを用いているのに対して、本実験ではブロックアンカーを用いているのが大きな原因と思われる。

次に鉛直引揚げ抵抗について、Balla,<sup>5)</sup> 松尾<sup>6)7)</sup>及び勝見<sup>8)</sup>の提案した計算法による計算結果と本実験結果の比較を行う。図-43に、その結果を示す。図-43には、 $\phi = 40^\circ$ とした場合にそれぞれの与える計算結果と、本実験の結果を示してある。これによれば $\phi = 40^\circ$ の場合、松尾と勝見の与える計算結果は非常によく一致した値となり、本実験の結果も立方体及び球ともにこれらとほぼ一致している。

## 6. まとめ

砂地盤中のブロックアンカーの引張り実験を行い、その結果について検討し考察を加えたので、以下にまとめて報告する。まず、水平引張り実験の結果について、

- 1) 極限水平引張り抵抗 $P_u$ を無次元化した値 $N_q$ は、根入れ比 $D/d$ が増加するにつれて増加し、この二つの間には直線に近いべき乗の関係がある。
- 2)  $D/d$ が限界根入れ比 $(D/d)_{cr}$ に達すると $N_q$ は一定の値に漸近する傾向にある。そして、本実験における限界根入れ比 $(D/d)_{cr}$ は、10~15程度となった。
- 3)  $D/d$ が2程度より大きくなると、現行設計法の受働土圧の考え方に基づいた抵抗力よりもずっと大きな抵抗力が得られる。
- 4) 極限水平引張り抵抗 $P_u$ が発揮されたときの変位量 $\delta_u$ を無次元化した値 $\delta_u/d$ は、根入れ比 $D/d$ が増加するにつれて増加し、この二つの間にはほぼ直線に近いべき乗の関係がある。

また、鉛直引揚げ実験の場合においても、精度は水平引張り実験の場合よりも劣るが、無次元の抵抗係数 $N_q$ は、水平引張り実験の結果と同様に、根入れ比 $D/d$ が増加するにつれて増加し、この二つの間にはほぼ直線に近いべき乗の関係が見られた。

## 7. あとがき

ここに述べて来た内容は、埋設型コンクリートブロックアンカーについての模型実験とその結果の検討である。そして考察の力点は、比較的深く埋設されたブロックアンカーの水平引張りに置かれていた。しかし、これまでしばしば用いられている中程度の把駐力を得るためのコンクリートブロックアンカーは、普通は投設型として用いられている。すなわち、ブロックアンカーの設置され

る位置は、非常に浅い場合が多いと思われる。したがって、ブロックアンカーの抵抗力の算定法を検討するためには、投設型すなわち浅い場合の抵抗力についての考察のほうがむしろ必要であると考えられる。しかし、浅い場合と挙動が異なってくる深い場合というのがどの程度の深さから始まるのか、そしてその異なる挙動がどういふものであるのかを調べることは必要であるし、またこれから浮遊式構造物がますます重要となって大把駐力のアンカーが求められるようになった場合には、その一つの形として深く埋設されたアンカーの抵抗力を見積ることが必要になってくると思われる。そしてこれを全体的に理解するためには、埋設型と投設型を結びつける考え方も有用であろう。これまでは条件のむしろ単純な深い埋設型アンカーの抵抗について研究を進めてきたが、これからは投設型アンカーの抵抗、しかも必要ならば斜め上方に引揚げる場合の抵抗力について検討して行きたいと考えている。さらに、ここに述べてきた議論はすべて模型実験の結果を土台にしたものであり、実物大あるいは大スケールの実験による検討及び確認が望ましいことは言うまでもない。

本実験の一部は、元基礎工研究室の富樫浩一技官（現在第一港湾建設局秋田港工事事務所）が実施したものであることを附記して、謝意を表する。

(1986年3月31日受付)

## 参考文献

- 1) 日本港湾協会：港湾施設の技術上の基準・同解説、第11章、昭和54年3月
- 2) 土質工学会：アースアンカー工法、(付・土質工学会アースアンカー設計・施工基準)、昭和53年6月、pp.8~15
- 3) 土質工学会：「アースアンカー」小特集、土と基礎、Vol.27, No.2, 1979
- 4) Balla, A.: The Resistance to Breaking out of Mushroom Foundation for pylons, *Proc. 5th ICSMFE*, Vol.1, pp.569~576, 1961.
- 5) 松尾稔：送電用鉄塔基礎の引張抵抗力について、土木学会論文報告集、第105号、昭和35年5月、pp.9~18
- 6) 松尾稔・田河勝一：基礎の引き揚げ抵抗力算定式の新しい展開と斜面内基礎の抵抗力について、土木学会論文報告集、第149号、昭和43年1月、pp.27~35
- 7) 勝見雅・西原晃：アースアンカーの引き抜き抵抗に関する基礎的研究、土木学会論文報告集、第276号、昭和53年8月、pp.65~76
- 8) Meyerhof, G.G.: Uplift Resistance of Inclined Anchors and Piles, *Proc. 8th. ICSMFE*, Moscow, Vol.2, 1973, pp.167~172

- 9) Das, B.M.: Pullout Resistance of Vertical Anchors, *Journal of Geotechnical Engineering Division*, Proc. ASCE, Vol. 101, GT 1, 1975, pp. 87~91
- 10) Das, B.M., Seely, G.R. and Das, S.C.: Ultimate Resistance of Deep Vertical Anchor in Sand, *Soils and Foundations*, Vol. 17, No. 2, 1977, pp. 52~56
- 11) 勝見雅・岩城敬介: アースアンカーの引抜き抵抗について (第三報), 第40回土木学会年次学術講演会, 昭和60年9月, pp. 111~112
- 12) 福岡正己・今村芳徳・沢田俊一: プレートアンカー現場実物引抜き実験, 第19回土質工学研究発表会, 昭和59年6月, pp. 1181~1182
- 13) 前掲1), 第5章
- 14) Neely, W.J., Stuart, J.G. and Graham, J.: Failure Loads of Vertical Anchor Plates in Sand, *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division*, Proc. ASCE, Vol. 99, No. SM 9, Paper 9980, Sept, 1973, pp. 669~685

- $d$  : 立方体アンカーの場合一辺の長さ (cm)  
 : 球アンカーの場合直径 (cm)
- $(D/d)_{cr}$  : 限界根入れ比
- $e$  : 土の間隙比
- $G_s$  : 土の比重
- $K$  : ワイヤーの伸びの補正係数 (mm/kgf)
- $K_a$  : 主働土圧係数
- $K_p$  : 受働土圧係数
- $K_o$  : 静止土圧係数
- $L$  : 埋込み長さ (水平実験における引張り方向のワイヤー長さ) (cm)
- $N_q$  : 極限引張り抵抗を無次元化した値 ( $P_u / A \gamma D$ )
- $P$  : 引張り抵抗 (kgf)
- $P_u$  : 極限引張り抵抗 (kgf)
- $\gamma$  : 土の単位体積重量 (tf/m<sup>3</sup>)
- $\delta$  : 変位量 (cm)
- $\delta_u$  : 極限引張り抵抗が発揮された時の変位量 (cm)
- $\delta_u / d$  : 極限引張り抵抗が発揮された時の変位量を無次元化した値
- $\rho_{dmax}, \rho_{dmin}$  : 土の最大, 最小乾燥密度 (t/m<sup>3</sup>)
- $\phi$  : 土の内部摩擦角 (deg)

#### 記号一覧表

- $A$  : アンカーの受圧面積 (引張り方向に投影した場合の面積) (cm<sup>2</sup>)
- $D$  : 地表面からアンカー中心までの深さ (cm)

港湾技研資料 No. 553

1986.6

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 阿部写真印刷株式会社

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