

運輸省港湾技術研究所

# 港湾技術研究所 報告

---

---

REPORT OF  
THE PORT AND HARBOUR RESEARCH  
INSTITUTE

MINISTRY OF TRANSPORT

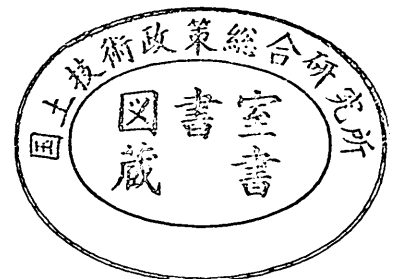
---

VOL. 22

NO. 4

DEC. 1983

NAGASE, YOKOSUKA, JAPAN



# 港湾技術研究所報告 (REPORT OF P.H.R.I)

第22巻第4号 (Vol. 22, No. 4), 1983年12月 (Dec. 1983)

## 目 次 (CONTENTS)

1. 直立壁に作用する衝撃波圧の発生機構に関する一考察  
.....高橋重雄・谷本勝利・鈴木諭司..... 3  
(Generation Mechanism of Impulsive Pressure by Breaking Wave on a  
Vertical Wall  
.....Shigeo TAKAHASHI, Katsutoshi TANIMOTO and Satoshi SUZUMURA)
2. 矢板壁の控え直杭に関する実験的研究  
.....高橋邦夫・荘司喜博.....33  
(Experimental Study on Vertical Anchor Piles of Sheet Pile Wall  
.....Kunio TAKAHASHI and Yoshihiro SHOJI)
3. 大型三軸圧縮試験による捨石材のせん断特性に関する考察  
.....荘司喜博.....59  
(Study on Shearing Properties of Rubbles with Large Scale Triaxial  
Compression Test  
.....Yoshihiro SHOJI)
4. コンクリート舗装上のアスファルトかさ上げの荷重分散効果とかさ上げ厚算定法  
.....八谷好高・福手 勤・佐藤勝久・林 洋介..... 121  
(Structural Evaluation of Asphalt Concrete Overlays on Concrete  
Pavements and Calculation Methods of Overlay Thicknesses  
.....Yoshitaka HACHIYA, Tsutomu FUKUTE, Katsuhisa SATO and Yosuke HAYASHI)
5. 深層混合処理工法による格子式改良地盤の地震時挙動  
.....風間基樹・稲富隆昌・今村俊博..... 141  
(Observation and Analysis of Seismic Response of Grid Type Improved  
Ground by Deep Mixing Method  
.....Motoki KAZAMA, Takamasa INATOMI and Toshihiro IMAMURA)
6. 係留船舶の動揺計算法とその評価  
.....上田 茂・白石 悟..... 181  
(Method and its Evaluation for Computation of Moored Ship's Motions  
.....Shigeru UEDA and Satoru SHIRAISHI)

## 2. 矢板壁の控え直杭に関する実験的研究

高橋 邦夫\*  
庄司 喜博\*\*

### 要 旨

矢板のたわみ性控え工としての控え直杭の抵抗評価については、地震の被災例調査等から、そのたわみが設計よりも大きいという指摘がされていた。そこで、現在の設計法の根拠となっている久保等の実験的研究及びその設計への応用について問題点を検討し、久保等の実験よりも現実に近い形の模型実験を行った。すなわち、実際と同様、控え直杭及びタイロッドが地中に埋っているモデルを用い、条件として土被り厚さ、壁と杭の距離等を変えた19ケースの実験である。その結果に港研方式杭の横抵抗理論を適用して解析し、設計への応用法を検討した結果、矢板壁の控え直杭に対しても港研方式杭の横抵抗理論があてはまること、S型地盤中の杭とした解析には無理があり、横抵抗定数のとり方によっては現在の設計法に問題があること、C型地盤中の杭として解析した方が合理的であること、最も現実に近いモデルは台形分布の横抵抗定数を仮定した場合であること等がわかった。

---

\* 土質部 主任研究官 (海洋基礎担当)

\*\* 前土質部 基礎工研究室長 (第五港湾建設局四日市港工事事務所長)

## 2. Experimental Study on Vertical Anchor Piles of Sheet Pile Wall

**Kunio TAKAHASHI\***

**Yoshihiro SHOJI\*\***

### Synopsis

According to reports of damaged port and harbor structures by earthquakes, deflection of vertical anchor piles of sheet pile wall is considered to be much larger than that calculated by the present design method. Therefore, after investigation of the experimental study by Kubo et al. and its application to design method, 19 series of model experiments were performed which were closer to actual structures than that by Kubo et al., i.e., with embedded anchor piles and tie rods and with varied conditions of embedded depth and distance between piles and wall. As consequences of analysing the results by the PHRI theory for lateral resistance of a pile, the following were made clear: the PHRI theory is also valid for the embedded anchor piles, assumption of S-type subsoil is not good to estimate the pile behavior, so that the present design method involves problems for some case, assumption of C-type subsoil is useful, the best estimation is made by assumption of trapezoidal distribution of horizontal subgrade reaction constant, and so on.

---

\* Senior Research Engineer of Soils Division

\*\* Ex-chief of Foundations Laboratory, Soils Division

(Head of Yokkaichi Port Construction Office, the Fifth District Port Construction Bureau)

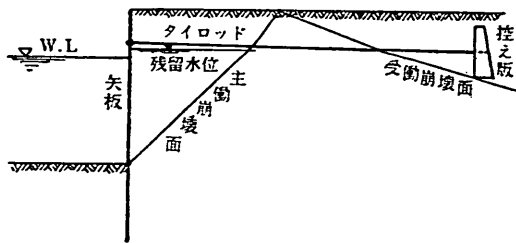
## 目 次

|                                  |    |
|----------------------------------|----|
| 要 旨                              | 33 |
| 1. ま え が き                       | 37 |
| 2. 控え直杭式矢板構造の模型実験                | 38 |
| 2.1 実験装置                         | 38 |
| 2.2 実験及び測定の方法                    | 40 |
| 2.3 実験ケース                        | 41 |
| 3. 模型実験の結果及びその検討                 | 42 |
| 3.1 実験地盤について                     | 42 |
| 3.2 パイロット杭の試験                    | 42 |
| 3.3 実験結果とその解析                    | 43 |
| 4. S型地盤の横抵抗定数を仮定した港研方式による実験結果の解釈 | 47 |
| 5. C型地盤の横抵抗定数を仮定した港研方式による実験結果の解釈 | 49 |
| 6. 台形分布横抵抗定数を仮定した港研方式による実験結果の解釈  | 51 |
| 6.1 台形分布横抵抗定数を仮定した港研方式の考え方       | 51 |
| 6.2 実験結果の検討                      | 51 |
| 7. 現実への対応                        | 54 |
| 8. ま と め                         | 57 |
| 9. あ と が き                       | 57 |
| 参 考 文 献                          | 58 |

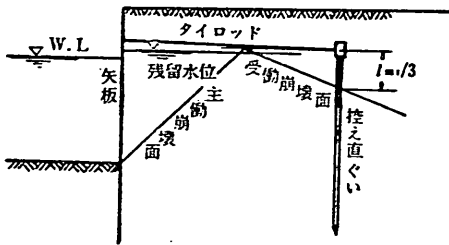
1. まえがき

矢板壁の控え工としては、一般に、控え版、控え矢板、控え直杭及び控え組杭の4種類がある。その設置位置の決定法は、それぞれ異っており、図-1に示す通りである<sup>1,2)</sup>。このうち控え直杭の設置位置については、久保等の実験的研究<sup>3)</sup>により決められたものであるが、従来、地震の被災例の調査、検討の結果から、問題が指摘されていた<sup>4-6)</sup>。すなわち、矢板壁と控え直杭が近すぎるのではないかという問題提起である。北島等<sup>7)</sup>は、剛性控え工としての控え版の方が、たわみ性控え工としての控え直杭や控え矢板よりも、長いタイロッド長を要求していることを、設計例の検討から明らかにしている。

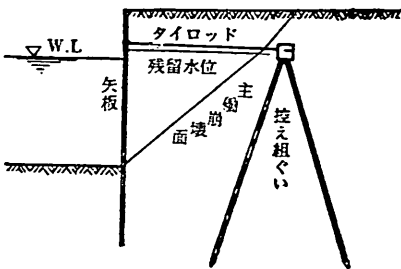
控え直杭に関する久保等の模型実験は、図-2に示され



(a) 控え版



(b) 控え直杭



(c) 控え組杭

図-1 控え工の設置位置

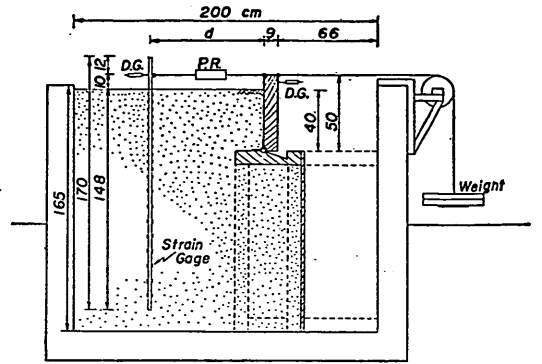


図-2 久保等の模型実験<sup>3)</sup>

る。剛性壁と模型杭を同時に変位させるものである。剛性壁のうしろからは主働土圧が作用し、杭の前面の土は横抵抗を発揮する。その両者の干渉による影響を、壁と杭との間隔を変えて実験を行い、調べている。その結果、壁背後の主働崩壊面と、杭の前面、深さ  $l_{m1}/3$  ( $l_{m1}$  は第1曲げモーメントゼロ点の深さ) より出発する受働崩壊面との交点まで、地表面が低下すると考えることにより、実験結果が合理的に説明されたとしている。さらに、同じ報告の付録として計算例をのせており、この考え方が設計基準<sup>1)</sup>の解説には取り入れられた。ところが、主働崩壊面と受働崩壊面とがタイロッド取付点高さで交差することを求めている基準本文の規定でも、前記の通り、近すぎるのではないかの指摘があったために、技術基準<sup>2)</sup>では、それよりも遠くするのが望ましい旨解説されている。

久保等の模型実験では、杭が地中杭（ここでは、杭天端が地盤中にある杭を地中杭と呼ぶ）でなく、タイロッドも地上10cmの高さにあった点が、実際の控え直杭式矢板構造との大きな相異である。久保等の報告の付録で、地中杭について示している計算例には、したがって、相当の単純化と飛躍とが含まれていると考えられる。久保等の計算例は、図-3に示されるものである。まず、杭が地中にあることに対して、横抵抗定数  $k_s$  を大きく与えている。それは、地盤中にある杭天端から、 $N$  値分布に対して、新たな  $k_s$  の線を引きという方法である。そうすると、それは実際の地表面から引いた  $k_s$  よりも大きいという結果になる。その大きく見積もられた（割り増しされた） $k_s$  を用いて、本文の結論である地表面低下の影響を計算している。

このように、鉛直な地中杭を控え工とする矢板構造では、その計算に二つの大きなプロセスが含まれている。一つは、地中杭の横抵抗の評価である。計算例では、久

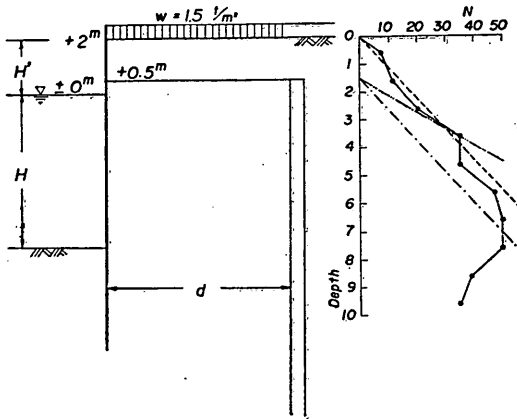


図-3 久保等による計算例<sup>3)</sup>

久保等は、S型地盤の深い部分に対して、別に大きい $k_s$ 値を与えている。このような操作が必要であると思われるが、この点については、久保等も確めている訳ではない。

二つ目のプロセスは、壁体と控え杭が近いことによる影響の評価である。久保等の研究は、これに対して模型実験の結果から解答を与えたもので、地表面の低下という有用な考え方を提案している訳である。なおこの地表面の低下という概念は、宮本等による群杭の研究<sup>7)</sup>にも応用されている。

地中杭の横抵抗は、一つの大きな問題なので、それはひとまずおき、ここでは、壁体背後の主働領域が控え杭に与える影響について少し考えてみよう。図-1(b)のように、主働崩壊面と受働崩壊面とが、タイロッドの高さで交わる場合、久保等の計算例では、主働領域の影響はあらわれない、すなわち、控え杭としての地中杭の横抵抗は、壁体がない場合の横抵抗と同じであるとしている。しかし、これは現実に即しているとは考えにくい。

なぜなら、地中杭であることに対して大きく見積った(割り増した) $k_s$ 値には、杭頭以上の土の抵抗が含まれているはずだから、この部分に主働崩壊面の影響があれば、地中杭の横抵抗としても多かれ少かれ、影響を受けるはずだからである。

久保等が研究の結果提案した地表面の低下という考え方にしたがうと、図-4の③の場合のように主働崩壊面と受働崩壊面とがタイロッドの高さで交わる場合の横抵抗が $k_s$ の形で評価できれば、この $k_s$ に対しては①、②の場合が計算できる。しかしながら、上に見たように、⑤の場合と③の場合(したがって④の場合も)とは横抵抗が異なると考える方が自然であろう。そうすると、久保等の研究成果を、地中杭の控え直杭に利用するには、さらに地中杭の横抵抗(⑤の場合)の問題と、地中杭であって主働崩壊面と受働崩壊面の交点がタイロッドの高さである場合(③の場合)の横抵抗の低下の問題を、検討する必要があることになる。

このようにまだいくつか重要な問題の残されている矢板壁の控え直杭の問題について、実際と同じように地中杭の直杭控え工を用いて、模型実験による研究を行った。なお、最初に述べたように、問題の指摘は地震時の被災例の検討から提起されたものだが、ここでは、静的な状態の問題として、合理的な方法を追求するものである。

## 2. 控え直杭式矢板構造の模型実験

### 2.1 実験装置

実験装置としては、図-5に示される、模型杭、タイロッド、矢板壁の模型である壁体、荷重装置があげられる。模型杭は、幅7cm、厚さ4mm、長さ80cmの鋼板杭である。図-6に示される個所には、表裏両側にひずみゲージが貼ってあり、全部で17ヶ所の測定点の1個所当り4枚のゲージにより、4アクティブ法の曲げひずみ測定

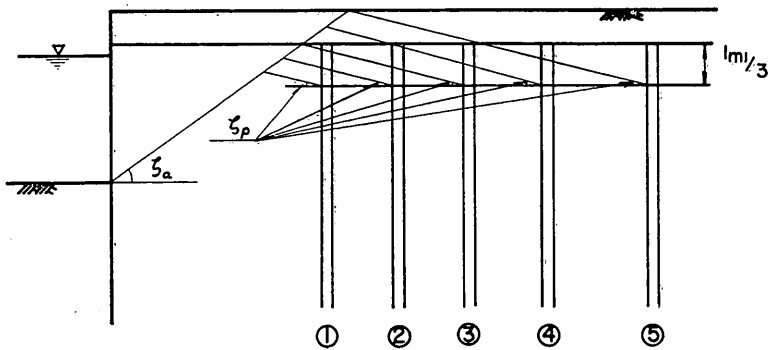


図-4 控え直杭の位置と仮想地表面

矢板壁の控え直杭に関する実験的研究

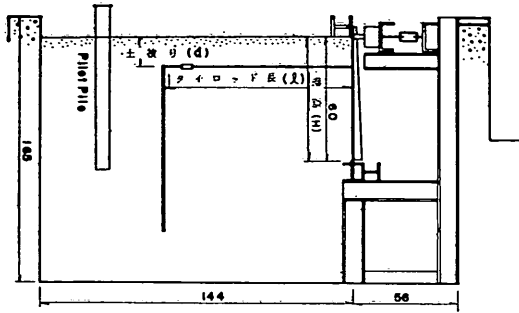


図-5 今回の実験装置

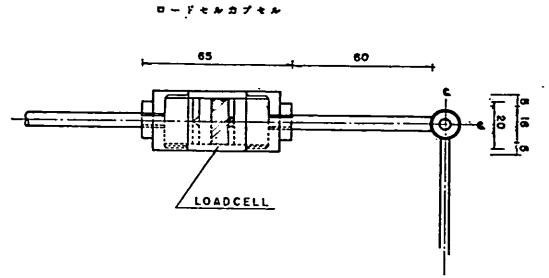
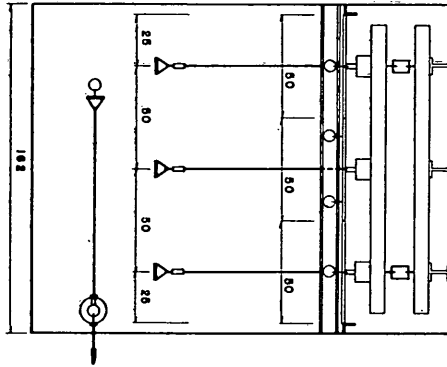


図-7 杭頭荷重計測用カプセル

実際に杭頭にかかる荷重は、この装置の抵抗分だけ、測定値よりもわずかに小さいはずである。

杭頭荷重計測用のロードセルは、図-7に示されたカプセルに入れられている。これは圧縮用の小型ロードセルにより引張荷重を測定するために、設計製作したもので、アルミニウム製である。

タイロッドは、この杭頭荷重計測装置と壁体の間を結んでいる直径6mmの丸鋼棒で、途中に長さ調節用のターンバックル、そして壁体への取付け部には、設置誤差を許容するためのユニバーサルジョイントを設けてある。

壁体は、条件を単純化するために、下端ヒンジの剛性壁としている。幅50cm、高さ63cm、厚さ8mmの鋼板で、剛性を高めるために、図-5に見るようなフランジを有している。下端は、ベアリングを用いたヒンジにより、回転のみ可能な状態で、台となるH型鋼の上に結合されている。ヒンジ点から上60cmのところ、各壁体の中央に、これまたユニバーサルジョイントを介して、ロードセル、ロードセルを固定している載荷フレーム、その全体を精度よく変位させるための2個のターンバックル、そしてさらにコンクリート壁に固定されたはりにと結合されている。ロードセルが固定してある載荷フレームは重量が大きくなるので、摩擦よけ台の上に載っている。

載荷フレームは共通なので、3枚の壁体の動きはほとんど同じとなるが、ロードセルによって測られる力はそれぞれ異なる。中央の壁体及び控え杭を主たる実験対象とし、両側の壁体、控え杭は参考とする。

以上の装置全体は、図-5に示される通りの鉄筋コンクリート製実験槽の中にセットされる。その内法は長さ2m、幅1.62m、深さ1.65mで、1つの側面が目盛り付きの硬質ガラスになっている。

実験に用いられた砂は、茨城県高萩海岸にて採取されたものである。比重2.655、粒径分布が図-8に示されるような中粒ないし粗粒の砂である。別途行った三軸圧縮

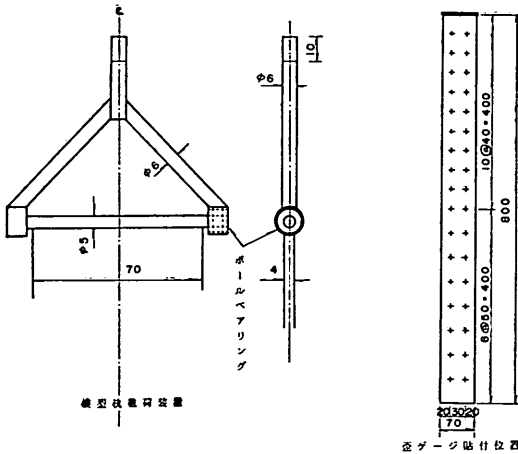


図-6 模型杭と頭部ヒンジ

が行われる。多数のひずみゲージから出ている大量のコードは、杭頭の邪魔物をなくすために杭先端に集め実験に影響を与えないように地中の深いところを通して、外に出してある。

杭頭部には、ヒンジの条件を満足させるために、図-6に示されるような装置が取り付けられている。杭頭荷重計測用のロードセルは、この装置の先に付けられるので、



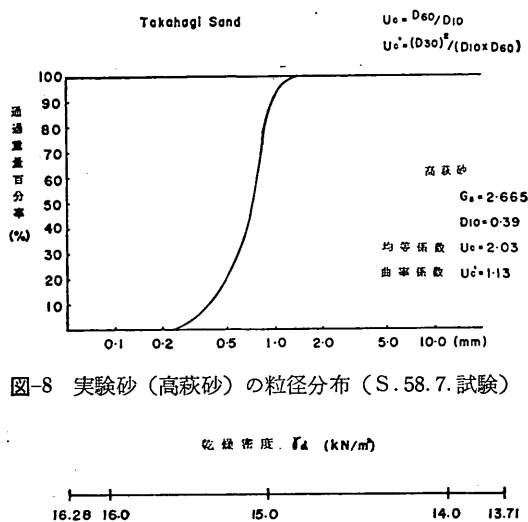


図-8 実験砂(高萩砂)の粒径分布(S. 58. 7. 試験)

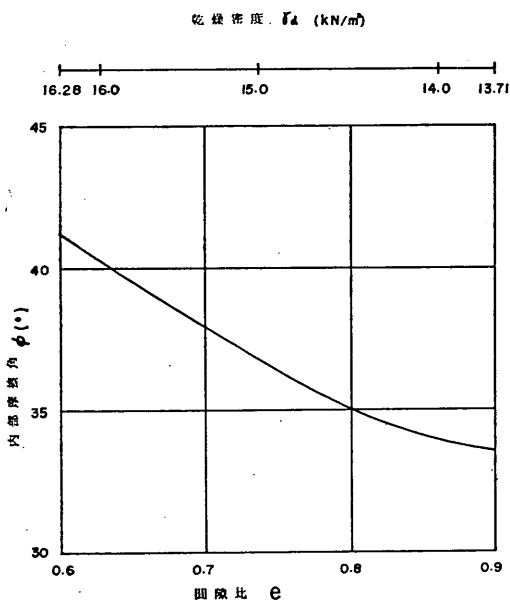


図-9 実験砂(高萩砂)の内部摩擦角(S. 58. 7. 三軸圧縮試験より)

試験により、間隙比  $e$  として乾燥密度  $\gamma_d$  と内部摩擦角  $\phi_d$  との間に、図-9のような関係のあることを確めてある。

## 2.2 実験および測定の方法

実験の準備として、まず最初に、パイロット杭を含めて、すべての装置を実験槽内にセットする。パイロット杭は、これの水平載荷試験を行うことにより、実験地盤の横抵抗定数を知る、すなわち、ある意味での地盤試験のために入れてある。

装置をセットした後、砂をその重量を計量しつつ、搬入する。均一な砂地盤を造成するために、厚さ20cmの層ごとに、底面積30cm×30cm、重さ8.3kgfのタンパー

により、表面をくまなく6回たたいて締め固める。実験条件として土被りのある地中杭の場合には、小さなタンパーにより軽くたたくのみなので、杭頭以上の層はそれより下の層に比べてゆる締めの傾向があると考えられる。

このようにして実験地盤が完成したら、搬入した砂の全重量を、計算される実験槽内部の容積で割って、単位体積重量が計算できる。この値から、図-9の関係を使って、実験地盤の内部摩擦角が推定できる。

実験の初期状態を、一定の安定した状態とするために、壁体とコンクリート製実験槽との間のターンバックルをのぼすことにより、3つのロードセルの指示値がそれぞれ50kgfになるように、壁体を裏埋め側にある固定H型钢のはりに押しつけておく。このため、壁体のターンバックル、ロードセルの軸線上の裏埋め側には、球座を設けてある。

杭頭の深さまで砂入れができれば、杭頭と壁体の所定の位置とをタイロッドにより結合する。この時、タイロッドにゆるみがあることは、実験条件及び測定に対する誤差となるので1kgf程度の引張り力を与えておく。地中杭の場合、その後の砂入れが完了した段階で初期に導入した引張力は数100gfになっている。地表面杭の場合には最初からこの程度の初期引張力を与える。なお、これらの値は実験開始時をゼロとして無視している。

実験そのものは、50kgfの力で固定ばりに押しつけてある壁体を、まずターンバックルをゆるめることから行う。最初のうちは、初め50kgfの圧縮力が急激に減少し変位は小さい。ある程度変位すると、ロードセルの指示値がゼロとなり、次に引張力となる。そうすると今度は、変位が大きく、荷重の変化が小さくなる。

そこで、実験の荷重-変位関係を密にとらえるために、ターンバックルによる壁体の移動は、壁体のヒンジ点から75cmの高さにとりつけてあるダイヤルゲージにより、次のように制御する。すなわち、変位が0~0.3mmの間の変位のステップ量は0.05mm、変位が0.3~1mmの間はステップ量0.1mm、変位が1~3mmの間はステップ量0.2mm、変位が3~5mmの間はステップ量0.5mm、変位が5mm以上ではステップ量1mmとするものである。

各ステップの載荷では、1分間の変位の変動量が0.01mm以下になることをもって載荷終了とした。この載荷方式では、一応変位制御となっているが、すみやかに安定状態となる。

測定は、荷重として、タイロッド張力を測る小型ロードセルのカプセル3個、壁体頭部に加える外力を測るロ

矢板壁の控え直杭に関する実験的研究

ードセル3個があり、杭体の曲げひずみ測定として、杭1本当たり17点、3本で合計51点がある。以上は、すべて電気式のストレインメータにより計測される。変位としては、壁体の上部のみを計測している。壁体下端のヒンジ軸上75cmで、両脇の壁体は載荷点の上それぞれ1点、中央の壁体については平均するように両端から5cmの2箇所、合計4点を測っている。壁体の変位量としての地表面変位は、ヒンジ点を変位ゼロとして、計算により求める。また、地中杭の変位も計測できないので、タイロッドの伸びがないものとして、その高さでの壁体の変位をもって、杭頭変位量とする。したがって、このことによる誤差として、初期引張力を導入しているのがあまりないと思われるが、杭頭変位は実際よりも大き目の値が与えられると考えられる。

控え直杭式矢板壁の実験が終了したら、同じ地盤中に建て込んであるパイロット杭の水平載荷試験を行う。これの目的は、一種の地盤調査として、杭の横抵抗定数を調べることにあるので、条件を単純化し、精度よいデータを得るために、地盤高に応じて10~30cmの載荷高さをもった、杭頭自由の水平載荷試験としている。

2.3 実験ケース

実験は、表-1に示す通り、全部で19ケースである。タイロッド長が60, 82.5, 110cmの3種類、壁高が40, 50, 60cmの3種類、土被り厚さが0, 5, 10, 15, 20, 25cmの6種類に変えてある。No.1~9は、タイロッド長と土被り厚さの組合せ9種類で、この場合壁高は土被り厚さに連動して変化している。すなわち、この場合、壁体下端のヒンジ点と杭頭の高さの差は、常に40cmとなっている。No.10~14,そして、No.15~19は、タイロッド長がそれぞれ110cm及び82.5cmで、壁高一定のまま、土被り厚さを変化させている。すなわちこの場合には、壁体下端ヒンジ点から杭頭までの高さが60~35cmまで変化している。

これらの条件を変化させている意図は、地表面杭及び地中杭の挙動について、壁体の動きの影響を受けないほど遠くに設置されたものから、壁体の動きにより影響を受ける様な近くのものまでをカバーして、地中杭の横抵抗に対する土被り厚さの影響及び控え杭に対する壁体の動きの影響をとらえることにある。

表-1 実験ケース

| ケース No. | タイロッド長 $l(\text{cm})$ | 壁高 $H(\text{cm})$ | 土かぶり $d(\text{cm})$ | $\gamma_s(\text{tf/m}^3)$ | $\phi(^{\circ})$ | $\zeta_s(^{\circ})$      | $\zeta_p(^{\circ})$      | pilot 杭 載荷高 $(\text{cm})$ |
|---------|-----------------------|-------------------|---------------------|---------------------------|------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------------|
| 1       | 60                    | 40                | 0                   | 1.469                     | 34.98            | 65.04                    | 18.68                    | 30.8                      |
| 2       | 60                    | 50                | 10                  | 1.532                     | 36.97            | 65.65                    | 17.86                    | 18.4                      |
| 3       | 60                    | 60                | 20                  | 1.445                     | 34.30            | 64.85                    | 18.96                    | 11.1                      |
| 4       | 82.5                  | 40                | 0                   | 1.528                     | 36.82            | 65.60                    | 17.92                    | 27.5                      |
| 5       | 82.5                  | 50                | 10                  | 1.510                     | 36.14            | 65.38                    | 18.20                    | 16.0                      |
| 6       | 82.5                  | 60                | 20                  | 1.494                     | 35.29            | 65.13                    | 18.55                    | 10.0                      |
| 7       | 110                   | 40                | 0                   | 1.529                     | 36.87            | 65.61                    | 17.90                    | 28.7                      |
| 8       | 110                   | 50                | 10                  | 1.499                     | 35.75            | 65.26                    | 18.36                    | 19.2                      |
| 9       | 110                   | 60                | 20                  | 1.483                     | 35.26            | 65.12                    | 18.57                    | 10.0                      |
| 10      | 110                   | 60                | 0                   | 1.478                     | 35.13            | 65.08                    | 18.62                    | 10.0                      |
| 11      | 110                   | 60                | 5                   | 1.488                     | 35.40            | 65.16                    | 18.51                    | 10.0                      |
| 12      | 110                   | 60                | 10                  | 1.483                     | 35.23            | 65.11                    | 18.58                    | 10.0                      |
| 13      | 110                   | 60                | 15                  | 1.503                     | 35.86            | 65.30                    | 18.32                    | 8.6                       |
| 14      | 110                   | 60                | 25                  | 1.516                     | 36.32            | 65.44                    | 18.13                    | 8.8                       |
| 15      | 82.5                  | 60                | 0                   | 1.501                     | 35.80            | 65.28                    | 18.34                    | 9.8                       |
| 16      | 82.5                  | 60                | 5                   | 1.529                     | 36.87            | 65.61                    | 17.90                    | 10.4                      |
| 17      | 82.5                  | 60                | 10                  | 1.546                     | 37.48            | 65.82                    | 17.64                    | 10.0                      |
| 18      | 82.5                  | 60                | 15                  | 1.539                     | 37.22            | 65.73                    | 17.75                    | 9.0                       |
| 19      | 82.5                  | 60                | 25                  | 1.484                     | 35.26            | 65.12                    | 18.57                    | 10.0                      |
|         |                       |                   |                     |                           |                  | $(\delta = +15^{\circ})$ | $(\delta = -15^{\circ})$ |                           |

### 3. 模型実験の結果およびその検討

#### 3.1 実験地盤について

実験地盤としての砂の重量は、搬入時にすべて計量してある。これを実験槽の内容積で割って $\gamma_d$ （この場合では、気乾状態の単位体積重量）を求めた。これから、図-9の關係を使って、実験地盤の内部摩擦角が得られる。次に、控え直杭の位置の問題を検討するのに必要な主動崩壊角( $\zeta_a$ )、受働崩壊角( $\zeta_p$ )を求めた。これには、技術基準<sup>2)</sup>に示されているクーロンの砂地盤に対する計算式を用いた。なお、同書に記されている通り、壁面摩擦角( $\delta$ )としては、主動土圧の場合 $+15^\circ$ 、受働土圧の場合 $-15^\circ$ を用いた。

以上の諸数値をまとめて表-1に示した。

#### 3.2 パイロット杭の試験

パイロット杭の荷重—杭頭変位關係を、図-10に示す。パイロット杭は、実験の都合から、載荷高さがそれぞれ異っている。パイロット杭の載荷高さも表-1に示してある。グラフは3グループに分かれており、載荷高さ30cm程度のケース1、4、7、載荷高さ20cm程度のケース2、5、8、そしてそれ以外が全て載荷高さ10cm程度となっている。

パイロット杭の試験は、地盤の横抵抗定数を求めるのが目的であり、また一方、毎ケース同じ地盤を造るよう、同一の締固め方式をとっている。そこで、同一の地盤ができているかどうかを、パイロット杭の試験から求められる横抵抗定数によりチェックしてみる。そのためにここでは、各パイロット杭の荷重—変位關係を、港研方式杭の横抵抗計算法の相似則にしたがって、基準杭の荷重—変位關係に変換する。用いている杭はすべて同じ寸法、同じ曲げ剛性だから、ここでは基準杭を実験に用いた杭そのものとする。そうすれば、変換は載荷高さについてのみ行えばよく、最も試験例の多い10cmを基準載荷高さとする。

港研方式による相似則<sup>3)</sup>のうち、次の2式を使う。

$$R_x = R_x^1 R_{E1}^{-1} R_{Bk}^1$$

$$R_y = R_y^1 R_{E1}^1 R_{Bk}^1$$

ここで、

$$R_x = \frac{S_2}{S_1}$$

$$R_y = \frac{y_2}{y_1}$$

$$R_z = \frac{x_2}{x_1}$$

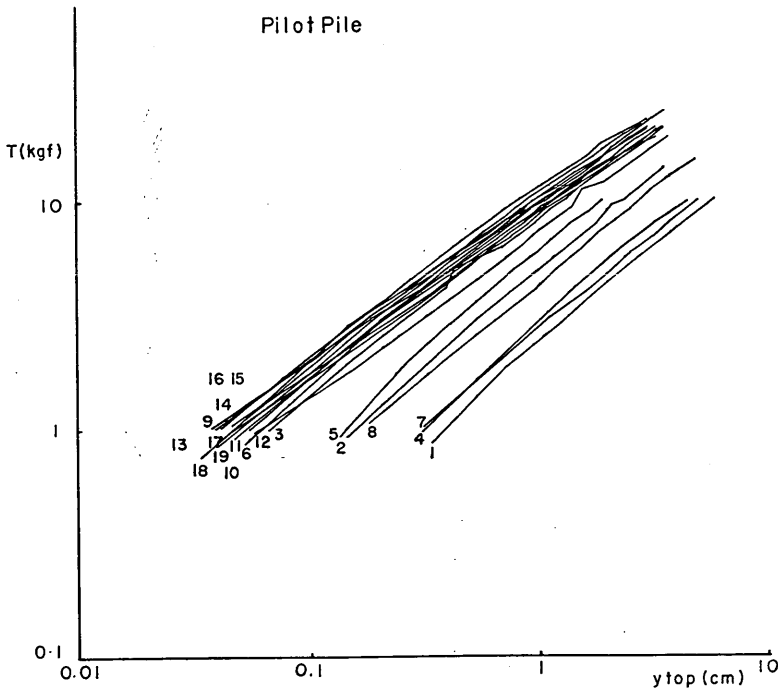


図-10 パイロット杭の荷重—杭頭変位關係

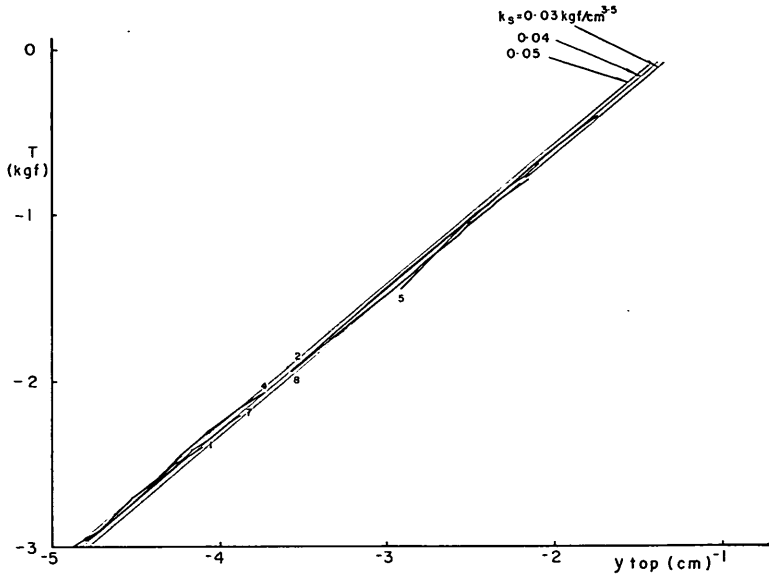


図-11(a) パイロット杭の荷重—杭頭変位関係（載荷高さ10cmに変換したもの）

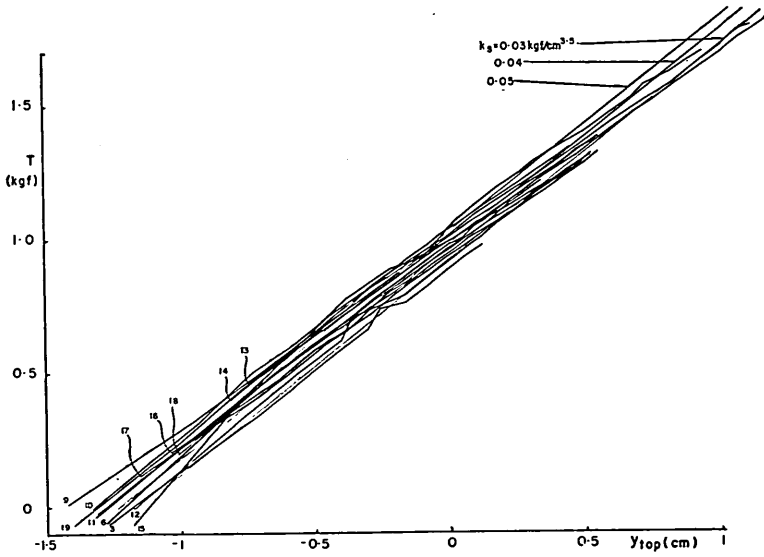


図-11(b) パイロット杭の荷重—杭頭変位関係（載荷高さ10cmに変換したもの）

$$R_{EI} = \frac{(EI)_2}{(EI)_1}$$

$$R_{Bk} = \frac{(Bk)_2}{(Bk)_1}$$

S: せん断力

y: 杭のたわみ

x: 地表面からの深さ

EI: 杭の曲げ剛性

Bk: 杭幅Bと横抵抗定数kとの積

添字1: 載荷高さ10cmの試験杭に対する量であることを表す。

添字2: 計算しようとする杭に対する量であることを表す。

これらの比は、載荷高さ10cmの試験杭に対する載荷高さの異なる同じ杭の比ということだから、 $R_{EI}=1$ 、 $R_{Bk}=1$ として、

$$R_s = R_z$$

$$R_y = R_z^2$$

したがって、求めようとしている試験杭の荷重—変位関係を基準杭の荷重—変位関係に直すには、

$$T_2 = \left(\frac{h_2}{h_1}\right)^7 T_1$$

$$y_2 = \left(\frac{h_2}{h_1}\right)^{10} y_1$$

なる式を用いばよい。

ここで、

$$R_s = \frac{S_2}{S_1} = \frac{T_2}{T_1}$$

$$R_x = \frac{x_2}{x_1} = \frac{h_2}{h_1}$$

T: 杭頭水平荷重

h: 載荷高さ

これらの変換を行って、各杭の荷重—変位関係を描いたのが、**図-11(a)**、**(b)**である。範囲が広がって、1葉の図に描くと判りにくいので、2葉に分けて示しているが、荷重—変位関係は、**図-10**に比べてずっと集中し、かつ、広い範囲にわたって、港研方式S型地盤の計算による横抵抗定数  $k_s = 0.04 \text{kgf/cm}^{3.5}$  の線とよく一致している。

このグラフから、一定の方式による地盤造成により、毎ケースほぼ同じ地盤ができ上っていたとおおむね言えるが、それでもばらつきはあり、 $k_s$  で言っても  $0.04 \text{kgf/cm}^{3.5}$  を中心にして  $\pm 0.01 \text{kgf/cm}^{3.5}$  程度である。

### 3.3 実験結果とその解析

この模型実験の解析対象は控え直杭であり、その測定結果は、杭頭荷重  $T$ 、杭頭変位  $y_0$ 、杭の曲げひずみ分布である。

杭頭荷重—杭頭変位関係を **図-12(a)**、**(b)**に示す。**(a)**は方眼用紙に、**(b)**は両対数用紙に描いたものである。両対数グラフにおいて、直線的でなく、上に凸の形でわん曲しているものは、誤差を含んだものであると思われる。一般に、このグラフは直線的になるのが普通である。このようにわん曲した理由としては、2.2で述べた  $y_0$  に含まれる誤差が主であると考えられる。すなわち、測定された杭頭変位は、実際の杭頭変位に比べて大きい、すなわちグラフの上で右に移動している。この様子は、**図-12(a)**を見るときよくわかる。いくつかのカーブが、原点からなめらかに始まっていない。**図-12(b)**においては、これがわん曲として表されている。実際の変位に近づけるように、杭頭変位を減らす、すなわちグラフ上で左に移動させると、両対数グラフの性質で、上に凸のカーブは直線的になり、方眼グラフでは、原点から始まるようになるのである。

No.1, 4, 7の3ケース、No.2, 5, 8の3ケース及び、No.3, 6, 9の3ケースは、それぞれタイロッド長さすなわち壁体と控え直杭の間隔だけが変化させてある。これによる違いを見るために、これら9ケースを取り出して比較したのが **図-13**である。それぞれの3ケースの比較では、タイロッド長が長くなるにつれて抵抗が大きくなり、そしてタイロッド長が同じものの比較では、土被り厚さが大きくなる程抵抗力が大きくなるという、妥当な結果を示している。No.4とNo.7とが同じようなカーブを示しているのは、両方ともがNo.1に比べて十分に遠いために、No.4とNo.7との間の違いは出てこなかったものと考えられる。

曲げモーメントは、**図-6**に示される1本当たり17ヶ所において測定された曲げひずみから、その分布が計算される。17点をなめらかに結ぶことにより、最大曲げモーメント  $M_{\max}$ 、曲げモーメント第1ゼロ点位置  $l_{m1}$  が求められる。

曲げひずみを積分することによりたわみ角が、さらにもう一度積分することによりたわみが求められる。今回の実験は、杭頭荷重と杭頭変位の測定精度にかなり問題のあることが、**図-12**の荷重—変位曲線からも想像される。しかし、曲げひずみは、荷重や変位よりも高い精度で測定されている。これに積分操作を加えても、荷重や変位のデータよりも精度は高いと考えて、計算機による曲げひずみ分布の多項式近似およびその積分を行った。そしてそれにより得られた杭頭たわみ角 ( $i_{\text{local}}$ ) および

矢板壁の控え直杭に関する実験的研究

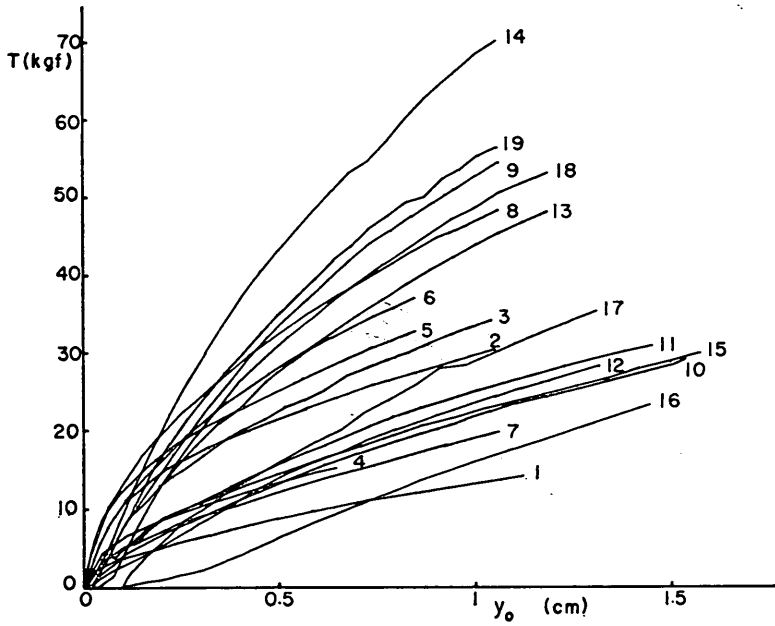


図-12(a) 控え直杭の杭頭荷重—杭頭変位関係

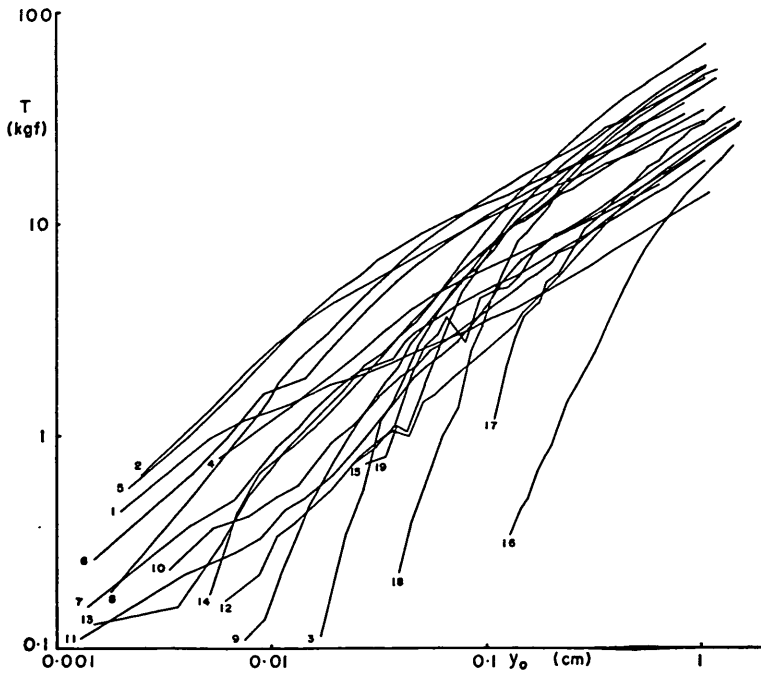


図-12(b) 控え直杭の杭頭荷重—杭頭変位関係

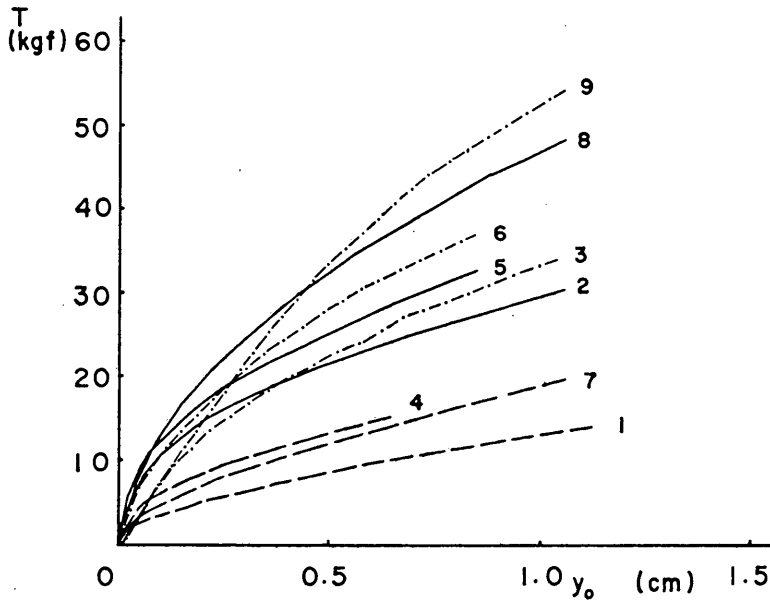


図-13 ケース1～9の杭頭荷重—杭頭変位関係

杭頭たわみ ( $y_{ocal}$ ) を解析に用いた。微分することにより、せん断力及び地盤反力も得られるが、微分には大きな誤差が含まれるので、これらの計算結果は用いなかった。

以上に述べた通り、解析に用いるための実測値及び計算されたデータは、杭頭荷重  $T$ 、杭頭変位  $y_0$ 、最大曲げモーメント  $M_{max}$ 、第1曲げモーメントゼロ点  $l_{m1}$ 、曲げモーメント分布から積分計算された杭頭たわみ角  $i_{ocal}$ 、および同じく杭頭たわみ  $y_{ocal}$  の6種である。

これらの値をさまざまに組み合わせ、実験結果を検討した訳であるが、一例を示すと、図-14(a)～(d)である。これらの図では、測定された点をすべて示している訳ではない。全部の点を示すと多すぎるので、大体は5ステップおきに点をプロットしているし、最大曲げモーメントをグラフから求めることおよび杭頭たわみ角と杭頭たわみの積分計算は、必要と思われる点についてのみ行っている。

1例として示した図-14(a)～(d)からも、この実験における地中杭としての控え直杭の挙動は、 $p \propto y^{1/2}$  を特徴とする港研方式の杭の横抵抗理論に適合していることが、明らかである。このことは、ここに図示しなかった多くの図も含めてすべての関係について認められる。港研方式の理論によれば、地表面杭の場合、S型地盤、C型地盤の条件の違いに応じて、図-14に示した諸関係が、

それぞれ一定のべき乗関係にあり、両対数紙上においては、一定の傾きを持った直線として示される。図-14に示した関係は、それぞれが、港研方式によって得られる傾きを持った直線群になっている。もちろん、実験杭は単純な地表面杭ではないので、例えばC型地盤による結果とまったく同じ結果にはならないが、4.以降に見るように、今回の結果は、S型地盤、C型地盤そしてその中間的な性質を持つ台形分布横抵抗定数をもつ地盤における諸関係と、よく一致した傾きを持った直線として認められるのである。

#### 4. S型地盤の横抵抗定数を仮定した港研方式による実験結果の解釈

久保等の報告では、実験結果をS型地盤の杭の横抵抗として検討し、壁体と控え直杭が近いことによる支持力減少効果を、地表面の低下という概念で解釈している。そして、その実験的研究の成果を実際に適用するのに、その付録としての計算例において、まず地中杭としての控え直杭の横抵抗定数を、杭頭が地中にあることに対して、 $N$ 値の分布から改めて大きく評価している。すなわち、久保の考え方によれば、地中杭である控え直杭の横抵抗を算定するには、まず地中杭としての横抵抗定数の割り増しを行い、次に壁体との干渉による支持力減少を地表面低下により評価する、という手順になっている。

矢板壁の控え直杭に関する実験的研究

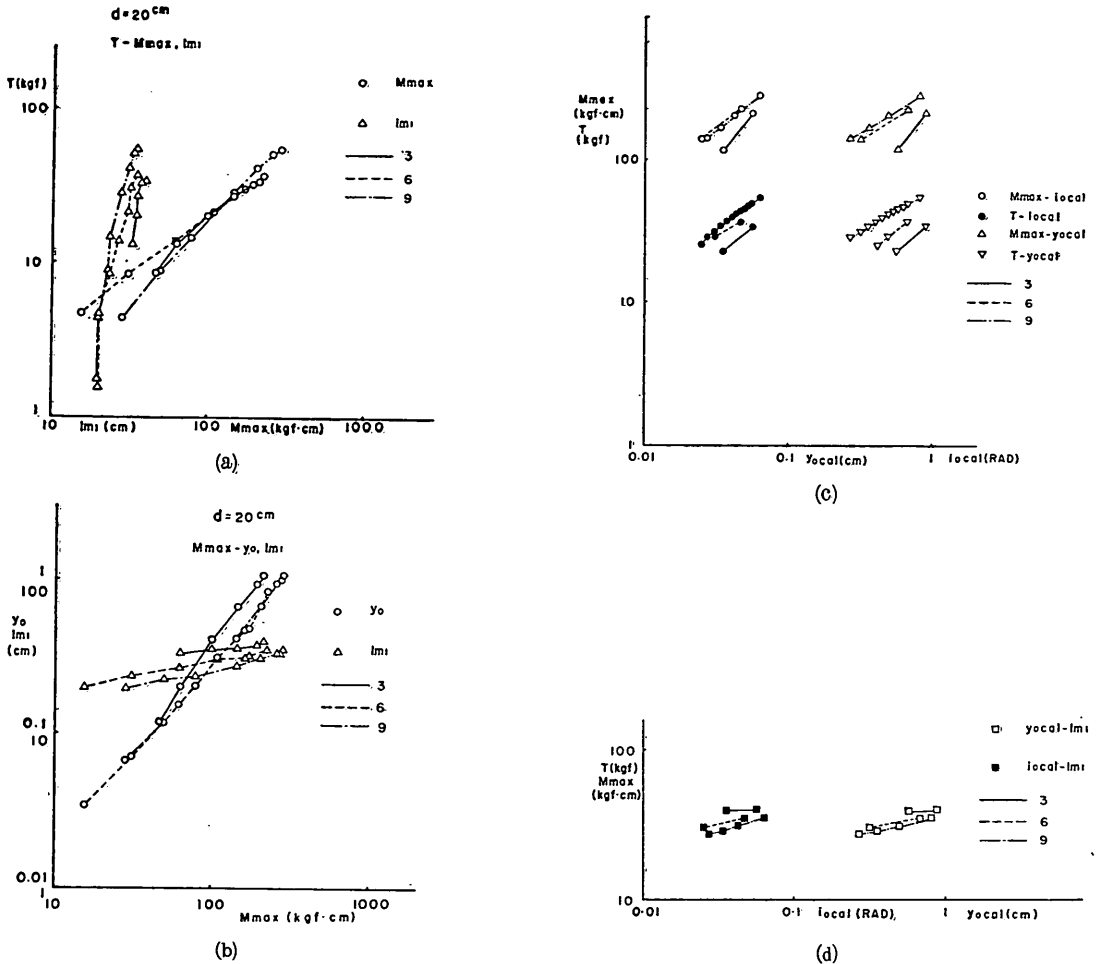


図-14 ケース 3, 6, 9 の諸関係

そこで、この考え方にしたがって、今回の模型実験の結果を検討してみる。実験結果を検討するには、精度の悪いと思われる杭頭変位  $y_o$  や杭頭荷重  $T$  だけでは不十分なので、3.3に述べた計算の結果をも含めて、すべて用いる。3.3に示した図-14及び他のケースに対する同様のグラフから、それを最もよく表すことのできる仮想のS型地盤横抵抗定数  $k'_s$  を読み取るのである。読み取った  $k'_s$  を一括して表示したのが、表-2である。

この仮想の横抵抗定数  $k'_s$  による評価が妥当であるならば、それぞれのケースで、諸関係に対する  $k'_s$  がまとまってくるはずである。表-2をよく見ると、土被り厚  $d$  がゼロの場合、特に壁体との距離が近くそれとの干渉の影響がはいっていると考えられるケース1を除いた、ケース4, 7, 10, 15は、ほとんどすべてが  $0.04$  (kgf/cm<sup>3.5</sup>) という値の回りにばらついている。この  $0.04$  という値

は、パイロット杭の試験結果の検討から得られた、本試験地盤に対する平均的な横抵抗定数の値である。これは当然のことであって、土被り厚がゼロで、壁体との干渉もなければ、これは地表面載荷杭の試験に相当している。しかも、土被り厚がゼロの場合、他のケースと違って、杭頭荷重や杭頭変位にはいってくる誤差もかなり小さくなっているはずである。したがって、この場合は当然、ここでやっている整理における仮想の  $k'_s$  が、実験地盤の固有の  $k_s$  そのものとなってくる。そして、逆に、これら土被り厚がゼロのケースによって、実験地盤の横抵抗定数が、 $0.04$  kgf/cm<sup>3.5</sup> を中心として、 $0.035$  から  $0.045$  程度にバラついていることが、再び確認できたことにもなる。

しかしながら、それ以外の場合には非常にばらつきの大きいことが、図-15からわかる。横軸は、久保の考え



表-2 実験結果を最もよく表現する仮想の  $k'_s$  (kgf/cm<sup>3.5</sup>)

| Case | $d$<br>(cm) | $H$<br>(cm) | $l$<br>(cm) | $T-y_0$ | $T-y_{ocal}$ | $T-M_{max}$ | $T-l_{m1}$ | $T-i_{ocal}$ | $M_{max}-y_0$ | $M_{max}-l_{m1}$ | $M_{max}-i_{ocal}$ | $M_{max}-y_{ocal}$ | $y_{ocal}-l_{m1}$ | $i_{ocal}-l_{m1}$ |
|------|-------------|-------------|-------------|---------|--------------|-------------|------------|--------------|---------------|------------------|--------------------|--------------------|-------------------|-------------------|
| 1    | 0           | 40          | 60          | 0.016   | 0.019        | 0.019       | 0.023      | 0.019        | 0.013         | 0.024            | 0.019              | 0.019              | 0.025             | 0.023             |
| 4    | 0           | 40          | 82.5        | 0.034   | 0.041        | 0.06        | 0.035      | 0.045        | 0.024         | 0.035            | 0.03               | 0.033              | 0.035             | 0.035             |
| 7    | 0           | 40          | 110         | 0.03    | 0.035        | 0.025       | 0.04       | 0.035        | 0.03          | 0.04             | 0.04               | 0.04               | 0.04              | 0.04              |
| 10   | 0           | 60          | 110         | 0.035   | 0.04         | 0.035       | 0.048      | 0.04         | 0.035         | 0.045            | 0.05               | 0.05               | 0.05              | 0.04              |
| 15   | 0           | 60          | 82.5        | 0.035   | 0.04         | 0.035       | 0.04       | 0.04         | 0.035         | 0.04             | 0.045              | 0.045              | 0.045             | 0.043             |
| 11   | 5           | 60          | 110         | 0.045   | 0.05         | 0.013       | 0.065      | 0.035        | 0.10          | 0.06             | 0.11               | 0.15               | 0.04              | 0.05              |
| 16   | 5           | 60          | 82.5        | 0.028   | 0.03         | 0.012       | 0.045      | 0.022        | 0.05          | 0.05             | 0.06               | 0.07               | 0.045             | 0.05              |
| 2    | 10          | 50          | 60          | 0.06    | 0.074        | 0.20        | 0.045      | 0.085        | 0.027         | 0.035            | 0.035              | 0.035              | 0.04              | 0.04              |
| 5    | 10          | 50          | 82.5        | 0.09    | 0.12         | 0.5         | 0.05       | 0.15         | 0.027         | 0.035            | 0.03               | 0.04               | 0.035             | 0.035             |
| 8    | 10          | 50          | 110         | 0.14    | 0.17         | 0.6         | 0.08       | 0.24         | 0.043         | 0.05             | 0.06               | 0.06               | 0.05              | 0.06              |
| 12   | 10          | 60          | 110         | 0.04    | 0.05         | 0.028       | 0.06       | 0.04         | 0.055         | 0.05             | 0.08               | 0.08               | 0.06              | 0.06              |
| 17   | 10          | 60          | 82.5        | 0.06    | 0.07         | 0.08        | 0.05       | 0.073        | 0.045         | 0.05             | 0.06               | 0.06               | 0.04              | 0.045             |
| 13   | 15          | 60          | 110         | 0.07    | 0.15         | 0.25        | 0.09       | 0.19         | 0.07          | 0.07             | 0.10               | 0.10               | 0.08              | 0.08              |
| 18   | 15          | 60          | 82.5        | 0.15    | 0.18         | 0.45        | 0.09       | 0.21         | 0.055         | 0.08             | 0.08               | 0.09               | 0.06              | 0.06              |
| 3    | 20          | 60          | 60          | 0.064   | 0.09         | 0.25        | 0.045      | 0.10         | 0.03          | 0.035            | 0.035              | 0.04               | 0.035             | 0.035             |
| 6    | 20          | 60          | 82.5        | 0.066   | 0.14         | 0.27        | 0.079      | 0.17         | 0.06          | 0.06             | 0.10               | 0.086              | 0.06              | 0.06              |
| 9    | 20          | 60          | 110         | 0.16    | 0.22         | 0.5         | 0.09       | 0.25         | 0.06          | 0.065            | 0.08               | 0.10               | 0.06              | 0.06              |
| 14   | 25          | 60          | 110         | 0.25    | 0.35         | >1.0        | 0.11       | 0.47         | 0.07          | 0.10             | 0.10               | 0.15               | 0.10              | 0.10              |
| 19   | 25          | 60          | 82.5        | 0.16    | 0.23         | 0.5         | 0.15       | 0.25         | 0.08          | 0.13             | 0.25               | 0.27               | 0.09              | 0.09              |

方にしたがって、 $k'_s$ により計算される  $l_{m1}$ から求めた量とすべきだが、表-2に見る通り、 $k'_s$ は大きくばらついているので、ここでは、実測された  $l_{m1}$ を使い、杭頭から  $l_{m1}/3$ の点を出発点として交点を求めた。その計算値による仮想土被り厚を  $d_1$ としている。 $d_1$ がゼロのところは、5ケースが集まっているので、少し範囲が広がっているが、それでもまとまっている。その他、 $d_1=5\text{cm}$ ,  $8.4\text{cm}$ , のところにまとまりのよいケースが示されている。

久保の考え方は、地中杭の横抵抗は大きく見つかった  $k'_s$ により評価しようとするものだから、図-15においては、少なくとも、壁体との干渉が十分小さいと考えられるもの(この場合では  $d_1 \geq 0$ )では、それぞれの  $d_1$ の上にデータがまとまり、かつ各ケースのデータのまとまりが、 $d_1$ と比例的に並ぶという結果になるはずである。しかしながら、多くのデータはばらつきが極めて大きく、また  $d_1$ との相関関係も非常に弱い。したがって、久保の考え方、すなわち地中杭の横抵抗を、大きく見つかった S型地盤の横抵抗定数で評価しようとするやり方は、データの精度には問題があるものの、無理であると言えそうである。

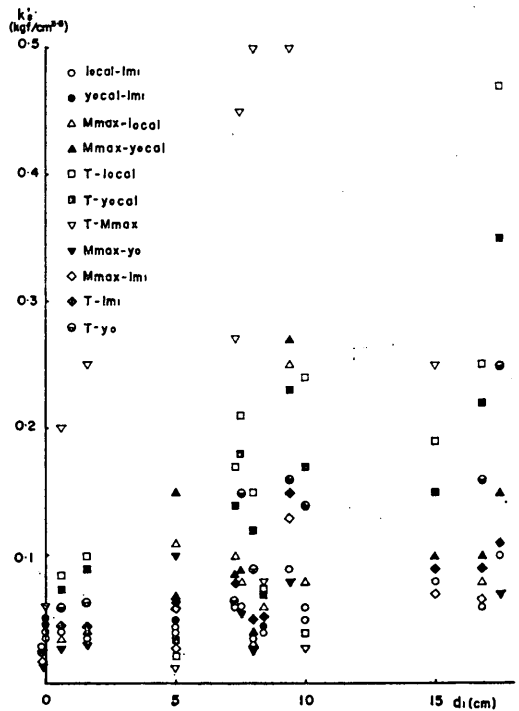


図-15  $k'_s$ と  $d_1$  (実測  $l_{m1}/3$ より計算)の関係

5. C型地盤の横抵抗定数を仮定した港研方式による実験結果の解釈

次に、C型地盤の横抵抗定数  $k_c$  を仮定して、実験結果を検討してみる。この模型実験では、地盤がS型地盤であることがわかっているので、少し深いところの地盤の反力をうまく表せないことにはなるが、地中杭に対して、杭頭部の抵抗を考慮できるという大きなメリットがあるので、 $k_c$  の仮定はむしろ有力な方法と考えられる。

前と同じように、図-14及び他のケースに対する同様の実験データを最もよく表すことのできる仮定の  $k_c$  を読みとった。前の  $k_c$  の場合もそうであるが、この読み取りは、 $k_c$  を変化させたグラフを諸関係について半透明紙に描いておき、これをデータのグラフと重ね合わせて行った。その結果を一括して、表-3に示す。ここでは、 $k_c = 0.2 \sim 2.0 \text{ kgf/cm}^2 \cdot \text{s}$  の範囲で読み取り、それより小さいものと大きいものは読まず、表中に⊕あるいは⊗と示している。

土被り  $d$  が 0 cm と 5 cm の場合の  $T-M_{\max}$  の列が⊕ばかりであるのには理由がある。すなわち、土被りが小

さい場合には、S型地盤をC型地盤の定数  $k_c$  で表現しにくいということである。S型地盤の状態をC型地盤の定数  $k_c$  で無理に表現しようとする、他の量が同程度となるようなS型地盤とC型地盤中では、C型地盤において最大曲げモーメントは小さくなり、曲げモーメント第1ゼロ点位置は深くなるという傾向がある。これを概念的に示したのが図-16である。地表面杭を対象とした例であるが、地表面たわみを同じにした場合、最大曲げモーメントはS型、台形、C型と小さくなり、曲げモーメント第1ゼロ点位置は同じ順序で深くなる様子がわかる。したがって、逆に荷重と最大曲げモーメントの関係から得られた  $k_c$  は、小さくなって出てくるのである。この様な傾向は、他の量においても、また土被り厚さが大きくなって、多かれ少かれ、必ずある。ここにおける整理では、理論のあてはめの上で明らかに無理がある  $d$  の小さい場合は、無意味だし、グラフも見にくくなるので、整理の対象としなかった。したがって、S型地盤の土被りが浅い場合を  $k_c$  で表現しようとする場合は、特に  $M_{\max}$  に大きな誤差を含むことに注意しなければならない。

表-3 実験結果を最もよく表現する仮定の  $k_c$  ( $\text{kgf/cm}^2 \cdot \text{s}$ )

| Case | $d$<br>(cm) | $H$<br>(cm) | $l$<br>(cm) | $T-y_0$ | $T-y_{ocal}$ | $T-M_{\max}$ | $T-l_{m1}$ | $T-i_{ocal}$ | $M_{\max}-y_0$ | $M_{\max}-l_{m1}$ | $M_{\max}-i_{ocal}$ | $M_{\max}-y_{ocal}$ | $y_{ocal}-l_{m1}$ | $i_{ocal}-l_{m1}$ |
|------|-------------|-------------|-------------|---------|--------------|--------------|------------|--------------|----------------|-------------------|---------------------|---------------------|-------------------|-------------------|
| 1    | 0           | 40          | 60          | ⊕       | ⊕            | ⊕            | 0.3        | ⊕            | 0.25           | 0.42              | 0.3                 | 0.22                | 0.42              | 0.41              |
| 4    | 0           | 40          | 82.5        | 0.22    | 0.26         | ⊕            | 0.52       | 0.24         | 0.34           | 0.49              | 0.43                | 0.4                 | 0.6               | 0.6               |
| 7    | 0           | 40          | 110         | 0.21    | 0.25         | ⊕            | 0.52       | 0.2          | 0.40           | 0.62              | 0.64                | 0.54                | 0.69              | 0.62              |
| 10   | 0           | 60          | 110         | 0.26    | 0.28         | ⊕            | 0.50       | 0.24         | 0.49           | 0.8               | 0.72                | 0.6                 | 1.0               | 0.8               |
| 15   | 0           | 60          | 82.5        | 0.26    | 0.29         | ⊕            | 0.52       | 0.24         | 0.49           | 0.68              | 0.7                 | 0.59                | 0.79              | 0.7               |
| 11   | 5           | 60          | 110         | 0.29    | 0.33         | ⊕            | 0.7        | 0.20         | 1.1            | 1.0               | 1.5                 | 1.5                 | 0.8               | 0.78              |
| 16   | 5           | 60          | 82.5        | 0.20    | 0.21         | ⊕            | 0.5        | ⊕            | 0.6            | 0.8               | 0.8                 | 0.8                 | 0.8               | 0.8               |
| 2    | 10          | 50          | 60          | 0.38    | 0.43         | 0.4          | 0.6        | 0.41         | 0.36           | 0.6               | 0.55                | 0.43                | 0.7               | 0.65              |
| 5    | 10          | 50          | 82.5        | 0.50    | 0.6          | 0.8          | 0.7        | 0.61         | 0.36           | 0.6               | 0.49                | 0.45                | 0.63              | 0.6               |
| 8    | 10          | 50          | 110         | 0.76    | 0.8          | 0.9          | 0.9        | 0.82         | 0.57           | 0.9               | 0.79                | 0.65                | 0.9               | 0.9               |
| 12   | 10          | 60          | 110         | 0.28    | 0.32         | ⊗            | 0.6        | 0.24         | 0.64           | 0.8               | 1.0                 | 0.9                 | 1.0               | 1.0               |
| 17   | 10          | 60          | 82.5        | 0.38    | 0.43         | 0.2          | 0.65       | 0.4          | 0.6            | 0.8               | 0.8                 | 0.7                 | 0.7               | 0.7               |
| 13   | 15          | 60          | 110         | 0.69    | 0.72         | 0.49         | 1.0        | 0.7          | 0.8            | 1.2               | 1.2                 | 1.1                 | 1.2               | 1.2               |
| 18   | 15          | 60          | 82.5        | 0.78    | 0.83         | 0.8          | 1.0        | 0.81         | 0.67           | 1.0               | 1.0                 | 0.95                | 1.1               | 1.01              |
| 3    | 20          | 60          | 60          | 0.43    | 0.5          | 0.45         | 0.58       | 0.5          | 0.4            | 0.6               | 0.6                 | 0.54                | 0.6               | 0.6               |
| 6    | 20          | 60          | 82.5        | 0.59    | 0.7          | 0.5          | 0.8        | 0.71         | 0.68           | 0.9               | 1.2                 | 0.98                | 1.0               | 0.9               |
| 9    | 20          | 60          | 110         | 0.80    | 1.0          | 0.9          | 1.0        | 1.0          | 0.7            | 1.0               | 1.1                 | 1.1                 | 1.0               | 1.0               |
| 14   | 25          | 60          | 110         | 1.17    | 1.5          | 2.0          | 1.49       | 1.5          | 0.8            | 1.4               | 1.2                 | 1.3                 | 1.5               | 1.5               |
| 19   | 25          | 60          | 82.5        | 0.84    | 1.1          | 0.8          | 1.2        | 1.0          | 0.8            | 1.4               | ⊗                   | 2.0                 | 1.4               | 1.4               |

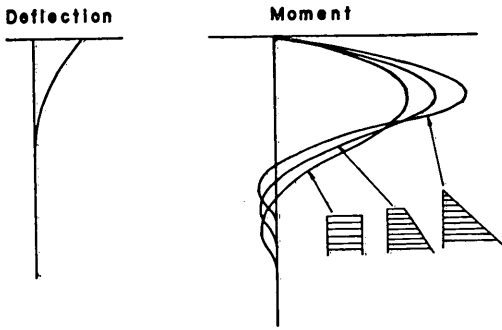


図-16 杭頭たわみが等しく地盤反力状態が異なる場合のモーメント分布の相異（地表面杭の場合）

$k'_c$  の場合と同じく、 $d_1$  を横軸として、 $k'_c$  の分布を図-17に示す。図-15と比べた場合、こちらの方が、各ケースにおけるばらつきは、幾分小さくなっている。また  $d_1$  と  $k'_c$  との比例的な相関も、図-15より強く認められる。

図-17は、実測値の  $l_{m1}$  を使って、 $l_{m1}/3$  の点から出発した受働崩壊面により求めた交点の杭頭からの高さ  $d_1$  を横軸としているが、出発点を  $l_{m1}/2$  として求めた交点の高さ  $d_2$  を横軸として描いたのが、図-18である。縦軸はまったく同じだから、縦方向でのばらつきは、両図で同

じなのであるが、図-18の方がまともによく見えるのは、横軸  $d_2$  との相関が強いためである。したがって、この場合には、実測された  $l_{m1}$  を使うと、 $l_{m1}/3$  よりも  $l_{m1}/2$  を出発点として受働崩壊面を描いた方が、実験結果との対応がよいということになるが、データのばらつきも大きく、はっきりとしたことは言えない。

図-17においても、図-18においても、横軸がゼロ、すなわち、地表面杭の時の  $k'_c$  は  $0.5\text{kgf/cm}^{2.5}$  程度になっている。この値は意味のある値であって、この模型杭の計算では、実験地盤である  $k_s=0.04\text{kgf/cm}^{3.5}$  のS型地盤中の地表面杭の杭頭たわみが  $1\text{cm}$  の時の  $l_{m1}$  と、やはり杭頭たわみ  $1\text{cm}$  の時の  $l_{m1}$  が同じになるC型地盤の横抵抗定数が  $0.5\text{kgf/cm}^{2.5}$  なのである。 $d_1$  あるいは  $d_2$  がゼロの時のデータは、 $k'_c=0.5\text{kgf/cm}^{2.5}$  を中心にしてばらついて見えているように見える。そこで、これを出発点として、実験地盤の  $k_s$  値  $0.04$  を傾きとして、図-17および図-18の上に、直線をひいてみた。直線の式は、

$$k'_c = 0.5 + 0.04d_n \quad (1)$$

である。そうすると、ばらつきは大きいものの、データは、ほぼ直線の周囲に分布していると言ってよいと思われる。特に、図-17の  $d_1$  では、点が直線で下側に多い傾向があるのに対して、図-18の  $d_2$  では、ほぼ直線を中心にしてばらついていると認められる。

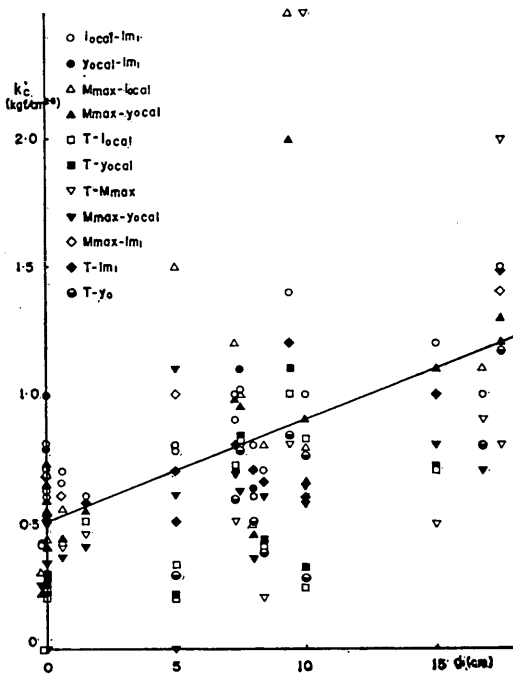


図-17  $k'_c$  と  $d_1$  (実測  $l_{m1}/3$  より計算) の関係

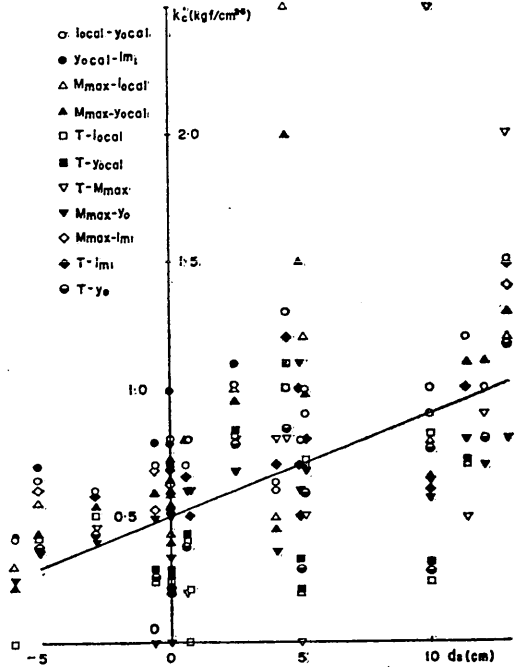


図-18  $k'_c$  と  $d_2$  (実測  $l_{m1}/2$  より計算) の関係

6. 台形分布横抵抗定数を仮定した港研方式による実験結果の解釈

6.1 台形分布横抵抗定数を仮定した港研方式の考え方

地中杭であることを $k_s$ の割り増しで評価し、壁体との干渉の効果を主働及び受働崩壊面の交点まで地表面が低下するとして評価する久保の考え方では、その交点が実際の地表面とタイロッドとの間にある時の杭の抵抗力が、壁体のない場合と同じになるという不合理については、1.に述べた通りである。また、4.に示した通り、今回の実験結果も、久保の考え方によって説明するには無理があった。

これらの点を合理的に解決するには、港研方式の前提はもちろんの事として、台形分布の横抵抗定数を仮定するのがよいと考えられる。すなわち、地中杭の支持力増大効果を評価するのに、図-19のような杭頭から始まる台形分布の横抵抗定数を仮定するのである。これは、台形分布の横抵抗定数を有する地盤中の地表面載荷杭ということである。この図で、直線の傾きは、地盤に固有の定数 $k_s$ による横抵抗定数の増加率である。港研方式では $k_s$ と $k_e$ の両者に横抵抗定数という言葉を与えているが、ここでは便宜上、この図における横軸である $k_s x$  ( $\text{kgf/cm}^2 \cdot \text{m}$ )をも横抵抗定数と呼ぶことにする。この台形分布の横抵抗定数を仮定する考え方は、久保等のように $k_s$ の割り増しを行うよりも、現実に近いものと考えられる。5.に示したように、C型地盤を想定し、 $k_e$ により評価するのも有力な方法と思われるが、それよりも、台形分布を仮定した方法は、優れて現実に近いと思われる。

この場合にも、主働及び受働崩壊面の交差の影響は、久保等と同じく、地表面の低下という概念を用いる。そして、地盤に固有の値としての $k_s$ は、同一とする。すなわち、図-20のようなになる。この考え方は、久保等の結

論である地表面の低下の概念を、台形分布の場合にそのまま適用しようとするものである。すなわち、交点より上の土はないものとして、さらに台形分布としている訳である。この考え方にしたがえば、久保等の方法で問題となった、交点がタイロッドと実際の地表面の間にある場合を合理的に評価できるし、交点がタイロッドより下になった場合も、地表面を $k_s$ 一定のままさらに下げて、自由長を有する杭と考えればよい訳である。

以上の2つのプロセス、地中杭の横抵抗増加は台形分布の横抵抗定数で評価する、壁体との干渉の影響は主働及び受働崩壊面の交点まで地表面が低下したとして評価することにより、今回の模型実験の結果が矛盾なく説明できるかどうか、以下に検討してみることにする。

6.2 実験結果の検討

実験結果を検討するには、これまでと同じように、図-14及び他のケースに対する同様のグラフから、それを最もよく表現できる仮想土被り厚さ $d'$ を読み取るのである。この場合、地盤の横抵抗定数は、3.2に述べたように、 $0.03 \sim 0.05 (\text{kgf/cm}^2 \cdot \text{m})$ の値を取っている訳であるが、中央値  $0.04 \text{kgf/cm}^2 \cdot \text{m}$  と仮定して解析した。したがって解析結果は、この分の誤差を考慮に入れて判断しなければならない。ここで行う検討の内容を式で表わすと、次のようになる。

$$p = 0.04(d' + x)y^{0.5} \quad (2)$$

$x$ は杭頭からの深さである。これが、図-20を横抵抗定数とした場合の港研方式の地盤反力の表示である。

式(2)中の $d'$ を結果のグラフから読みとるには、そのための何らかのものさしが必要な訳である。ここでは、杭を80の有眼要素に分割し、各要素をはりとして式(2)を数値解析により解いて、地中杭の横抵抗に関する諸々の値の間の関係グラフを作成した。この計算精度は、有効数字で3~4桁はあると考えられる。それらのグラフは $d$

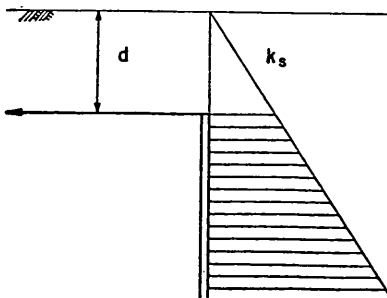


図-19 台形分布の考え方

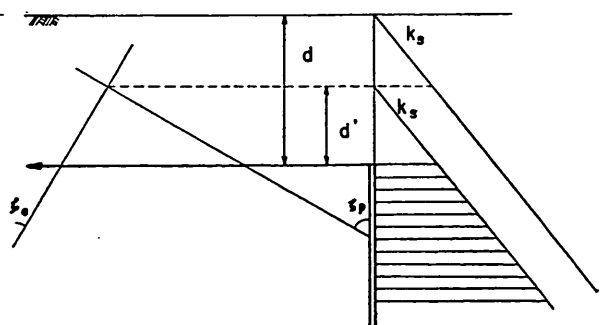


図-20 主働及び受働崩壊面の交差がある場合の台形分布

表-4 実験結果を最もよく表現する仮想の  $d'$  (cm)

| Case | $d$<br>(cm) | $H$<br>(cm) | $l$<br>(cm) | $T-y_0$     | $T-y_{ocal}$ | $T-M_{max}$ | $T-l_{m1}$  | $T-i_{ocal}$ | $M_{max}-y_0$ | $M_{max}-l_{m1}$ | $M_{max}-i_{ocal}$ | $M_{max}-y_{ocal}$ | $y_{ocal}-l_{m1}$ | $i_{ocal}-l_{m1}$ |
|------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|-------------|-------------|--------------|---------------|------------------|--------------------|--------------------|-------------------|-------------------|
| 1    | 0           | 40          | 60          | $h=5$       | $h=4$        | $h=2$       | $h=5$       | $h=4$        | $h=11$        | $h=7$            | $h=12$             | $h=9$              | $h=8$             | $h=8$             |
| 4    | 0           | 40          | 82.5        | $h=1$       | 0            | 2           | $h=0\sim 1$ | 1            | $h=2$         | $h=2$            | $h=3$              | $h=2$              | $h=1$             | $h=1$             |
| 7    | 0           | 40          | 110         | $h=2$       | $h=1$        | $h=0\sim 1$ | 0           | $h=1$        | $h=2$         | 0                | 2                  | 1                  | 0                 | 0                 |
| 10   | 0           | 60          | 110         | $h=0\sim 1$ | 0            | $h=0\sim 1$ | 1           | 0            | $h=1$         | 3                | 5                  | 3                  | 5                 | 2                 |
| 15   | 0           | 60          | 82.5        | $h=0\sim 1$ | 0            | $h=0\sim 1$ | 2           | 0            | $h=1$         | 1                | 3                  | 1                  | 1                 | 1                 |
| 11   | 5           | 60          | 110         | 1           | 2            | $h=4$       | 5           | $h=1$        | 17            | 7                | 27                 | 27                 | 0                 | 3                 |
| 16   | 5           | 60          | 82.5        | $h=2$       | $h=1$        | $h=4$       | 0           | $h=3$        | 3             | 4                | 7                  | 7                  | 2                 | 4                 |
| 2    | 10          | 50          | 60          | 3           | 4            | 9           | 2           | 5            | $h=4$         | 0                | $h=2$              | $h=0\sim 1$        | 0                 | 0                 |
| 5    | 10          | 50          | 82.5        | 6           | 9            | 20          | 3           | 11           | $h=4$         | 0                | $h=2$              | $h=0\sim 1$        | $h=0\sim 1$       | $h=0\sim 1$       |
| 8    | 10          | 50          | 110         | 11          | 14           | 21          | 10          | 19           | 0             | 7                | 5                  | 7                  | 5                 | 5                 |
| 12   | 10          | 60          | 110         | 0           | 2            | $h=1$       | 1           | 0            | 4             | 4                | 12                 | 13                 | 8                 | 9                 |
| 17   | 10          | 60          | 82.5        | 3           | 4            | 4           | 3           | 4            | 1             | 4                | 7                  | 5                  | 0                 | 1                 |
| 13   | 15          | 60          | 110         | 10          | 13           | 11          | 13          | 13           | 8             | 13               | 18                 | 15                 | 11                | 12                |
| 18   | 15          | 60          | 82.5        | 13          | 16           | 19          | 13          | 18           | 4             | 10               | 12                 | 13                 | 8                 | 9                 |
| 3    | 20          | 60          | 60          | 5           | 7            | 10          | 1           | 8            | $h=2$         | $h=1$            | 0                  | 1                  | $h=2$             | $h=2$             |
| 6    | 20          | 60          | 82.5        | 9           | 12           | 11          | 9           | 13           | 4             | 7                | 19                 | 12                 | 6                 | 6                 |
| 9    | 20          | 60          | 110         | 15          | 20           | 20          | 13          | 20           | 5             | 9                | 13                 | 18                 | 8                 | 9                 |
| 14   | 25          | 60          | 110         | 24          | 33           | 45          | 23          | 34           | 8             | 20               | 20                 | 24                 | 20                | 20                |
| 19   | 25          | 60          | 82.5        | 16          | 21           | 20          | 18          | 20           | 11            | 20               | 50                 | 45                 | 18                | 18                |

を変化させて複数のカーブを描いておき、それをものさしとして、模型実験の結果のグラフから  $d'$  を読み取ったのである。得られた結果を表-4に示す。表中の数示は  $d'$  をcm単位で示すものである。

表中で、 $h$ として数字が示されているものは、式(2)で与えられるよりも抵抗力が小さく、自由長のある普通の状態の杭として、横抵抗が評価されたものである。土被りのないケース1, 4, 7, 10, 15, そして、土被りがあっても、壁体と控え杭との距離が近く、図-20の考え方により、仮想土被り厚がゼロとなるようなケース2, 5, 3等に、この表示のものが多いのは、妥当な結果と言える。

$d'$ の値は、各ケースで、11項目に対してすべて同一となるのが理想的であるが、そうはならず、むしろかなりばらついている。そのばらつきがどの程度かを、図-21に見ることができる。横軸は、 $k'_s$ および $k'_c$ に対するこれまでの整理と同じく、実測された $l_{m1}$ の1/3の点から発した受働すべり面を使って求めた土被り厚である。ばらつきは小さくないが、これまでよりもさらに、まとまりはよくなり、横軸との対応関係も見やすくなっていると考えられる。図中の直線は、横軸と縦軸との1対1の対応

関係を示すものであるが、データはその周りにばらついていると見ることができる。

図-21と図-17とを比較した場合、図-21の方がまとまりよくなってはいるものの、左程明らかな差とも言えない。そして、縦軸が両図で異なるので、これは適切な比較とはならない。そこで、図-21の縦軸  $d'$ 、図-17の縦軸  $k'_c$  を、同一レベルにおいて比較するために、次のようにした。すなわち、それぞれの条件 ( $k_s=0.04\text{kgf/cm}^{3.5}$ で仮想土被り  $d'$  の台形分布の地盤、または、仮想の横抵抗定数  $k'_c$  のC型地盤)において、杭頭変位が1cmの時の最大曲げモーメントを求め、それを比較するのである。この結果を図に示したのが、図-22及び図-23である。この両図を比較すると、 $d'$  による  $M_{max}$  の方が明らかに集まりがよく、また横軸との相関関係も強く認められるのがわかる。なお、図-22では、表-4中に  $h$ と示された自由長のある場合について、同様の条件の  $M_{max}$  を計算して図中に書き込んである。それらが、単純な  $k'_s=0.04\text{kgf/cm}^{3.5}$  の場合に相当する水平な直線  $M_{max}=230\text{kgf}\cdot\text{cm}$ よりも下に分布している点である。

さらに、 $k'_c$ についても、ここで同じような比較を念のためしておく、図-24となる。やはり  $k'_c$  の仮定には、

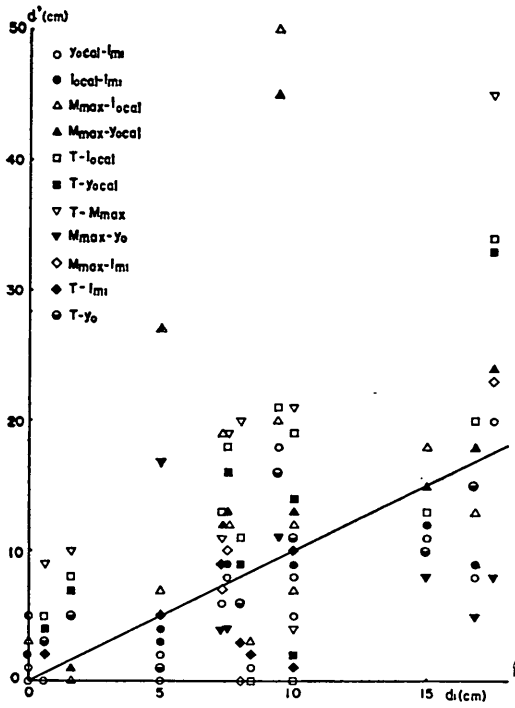


図-21  $d'$  と  $d_1$  (実測  $l_{m1}/3$  より計算) の関係

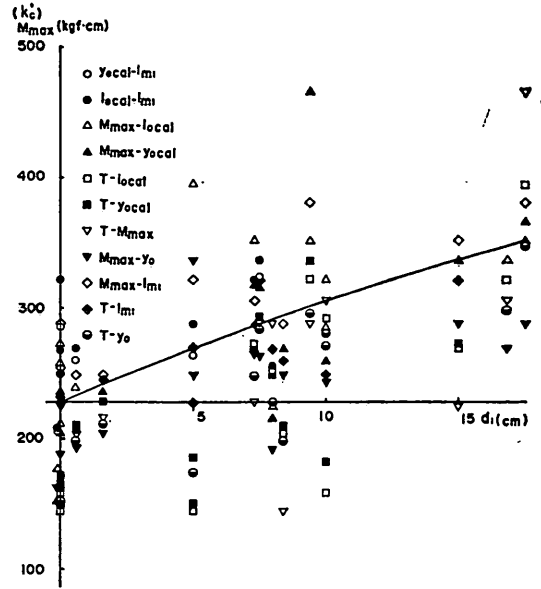


図-23  $M_{max}$  ( $y_0=1\text{cm}$ として  $k_c$  より計算) と  $d_1$  (実測  $l_{m1}/3$  より計算) との関係

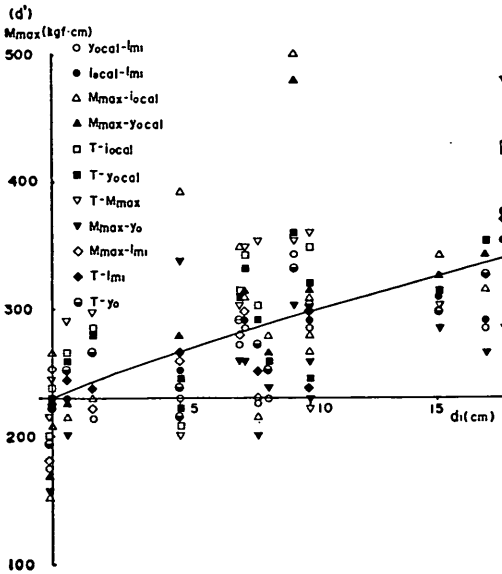


図-22  $M_{max}$  ( $y_0=1\text{cm}$ として  $d'$  より計算) と  $d_1$  (実測  $l_{m1}/3$  より計算) との関係

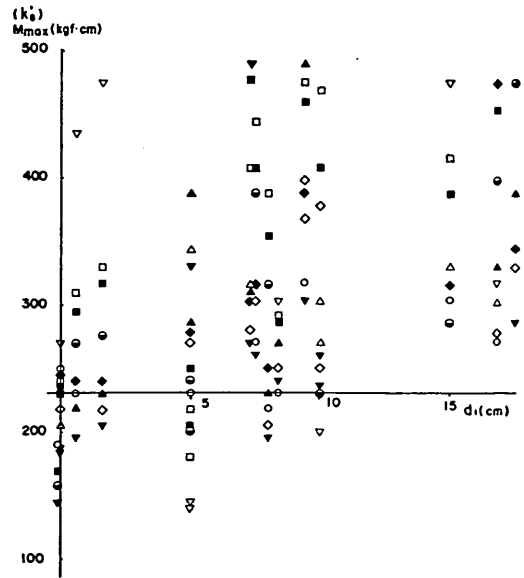


図-24  $M_{max}$  ( $y_0=1\text{cm}$ として  $k_c$  より計算) と  $d_1$  (実測  $l_{m1}/3$  より計算) との関係

$d'$  や  $k'_c$  の仮定よりも、大きな問題のあることがわかる。

### 7. 現実への対応

これまでに見てきたことから、台形分布の横抵抗定数を仮定した方法により、控え直杭の横抵抗挙動が大体表せること、また仮想的なC型地盤の横抵抗定数  $k'_c$  を仮定することによっても、ばらつきはさらに大きくなるが、表せることなどがわかった。しかしながら、これまでの整理では、横軸として、すべて実測された  $l_{m1}$  を使った計算値  $d_1$  または  $d_2$  をとっていた。しかし、この値は、事前の計算では知ることができない。そこで、設計などの実際の場において、これをどう処理するかが次に問題となる。まず最初に、より優れていると考えられる台形分布の場合について実際採るべき方法を検討してみる。

1つには、台形分布の横抵抗定数を仮定した港研方式による繰り返し計算を行えばよいことは明らかである。実測の  $l_{m1}$  を用いた横軸における整理では、それを近似する台形分布地盤の  $l_{m1}$  も、ほぼうまく表現されている訳であるから、くり返し計算によれば、その  $l_{m1}$  に収束するはずである。しかしこの計算は、ある程度手間のかかるものである。非線型の港研方式の計算を、しかも、台形分布に対して行い、求められた  $l_{m1}$  から受働崩壊線

を描き、新たに決められる仮想土被りを持つ台形分布を次に仮定して、再び港研方式の計算を行うという繰り返してある。時間もかかるので、大型計算機でないとは処理できない。

そこで、次に考えられるのは、他の単純な条件を仮定して  $l_{m1}$  を計算し、これにより仮想土被りを決めるという考え方である。 $l_{m1}$  は、非常に安定した値で、他の条件による影響を受けにくいので、十分可能な方法である。まず、壁体との干渉を考慮しない実際の土被り厚で台形分布の計算を行い、その  $l_{m1}$  を使って、計算上出て来る土被り厚  $d_3$  により結果を検討してみる。 $d_3$  と、実測の諸関係を最もよく表現する  $d'$  の関係をプロットしたのが図-25である。図-21と比べても、元々データのばらつきが大きいために、有為な差を認めることができない。しかし、ほぼ同程度の相関関係があるように思われる。

次に、さらに単純に考えて、元々の横抵抗定数  $k_c = 0.04 \text{ kgf/cm}^{2.5}$  をそのまま使って、地表面杭として  $l_{m1}$  を求め、これから計算される土被り厚  $d_3$  により整理したのが、図-26である。これによっても、ばらつきや相関関係が特に悪くなったようには見えない。これは、データのばらつきが大きいこともあるが、 $l_{m1}$  が種々の条件に対して、かなり安定した値であることが、大きく寄与

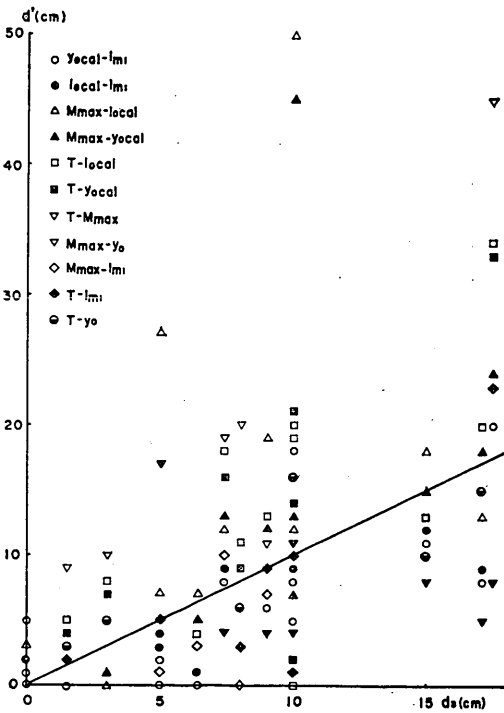


図-25  $d'$  と  $d_3$  (台形分布  $l_{m1}/3$  より計算) の関係

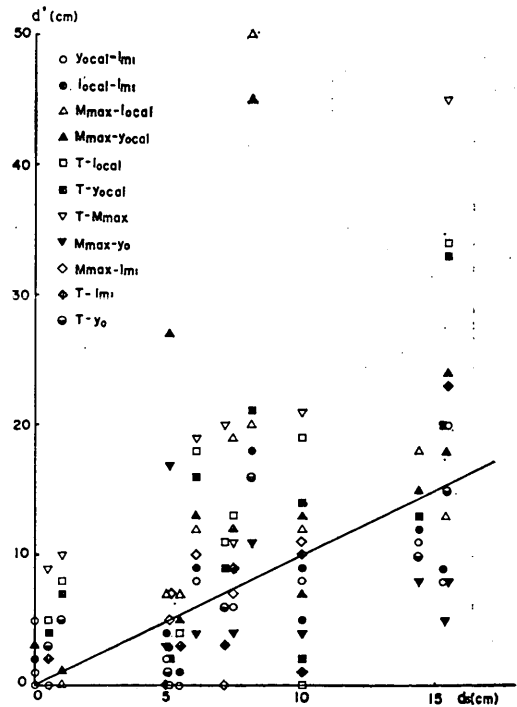


図-26  $d'$  と  $d_3$  (S型分布  $l_{m1}/3$  より計算) の関係

矢板壁の控え直杭に関する実験的研究

表-5 3種類の  $l_{m1}$  とそれにより計算される仮想土被り厚さ (cm)

| Case | 実際の土被厚 | $y_{top} \div 1\text{cm}$ のときの実測 $l_{m1}$ |                                  |                                  | 台形計算による $l_{m1}$ |                                  |                                  | $k_s=0.04\text{kgf/cm}^{3.5}$ による $l_{m1}$ |                                  |                                  |
|------|--------|---|----------------------------------|----------------------------------|------------------|----------------------------------|----------------------------------|--|----------------------------------|----------------------------------|
|      | $d$    | $l_{m1}$                                  | $d_1$<br>$(\frac{l_{m1}}{3}$ より) | $d_2$<br>$(\frac{l_{m1}}{2}$ より) | $l_{m1}$         | $d_3$<br>$(\frac{l_{m1}}{3}$ より) | $d_4$<br>$(\frac{l_{m1}}{2}$ より) | $l_{m1}$                                   | $d_5$<br>$(\frac{l_{m1}}{3}$ より) | $d_6$<br>$(\frac{l_{m1}}{2}$ より) |
| 1    | 0      | 42.0                                      | -0.1                             | -6.1                             | 39.21            | 0                                | -4.9                             | 38.92                                      | 0                                | -4.7                             |
| 4    | 0      | 36.6                                      | 0                                | 0                                | //               | 0                                | 0                                | //   | 0                                | 0                                |
| 7    | 0      | 38.7                                      | 0                                | 0                                | //               | 0                                | 0                                | //   | 0                                | 0                                |
| 10   | 0      | 36.2                                      | 0                                | 0                                | //               | 0                                | 0                                | //   | 0                                | 0                                |
| 15   | 0      | 37.6                                      | 0                                | -0.6                             | //               | 0                                | -1.3                             | //   | 0                                | -1.1                             |
| 11   | 5      | 33.9                                      | 5                                | 5                                | 37.07            | 5                                | 5                                | //   | 5                                | 5                                |
| 16   | 5      | 35.5                                      | 5                                | 0.7                              | //               | 5                                | 0.1                              | //   | 4.9                              | -0.7                             |
| 2    | 10     | 38.4                                      | 0.6                              | -5.1                             | 35.38            | 1.5                              | -3.6                             | //   | 0.5                              | -5.1                             |
| 5    | 10     | 36.0                                      | 8                                | 4.1                              | //               | 8.0                              | 2.9                              | //   | 7.1                              | 1.4                              |
| 8    | 10     | 35.8                                      | 10                               | 10                               | //               | 10                               | 10                               | //   | 10                               | 9.5                              |
| 12   | 10     | 34.6                                      | 10                               | 10                               | //               | 10                               | 10                               | //   | 10                               | 8.5                              |
| 17   | 10     | 36.5                                      | 8.4                              | 0.6                              | //               | 6.4                              | 1.1                              | //   | 5.4                              | -0.3                             |
| 13   | 15     | 32.5                                      | 15                               | 11.4                             | 34.02            | 15                               | 10.8                             | //   | 14.4                             | 8.8                              |
| 18   | 15     | 33.9                                      | 7.5                              | 2.5                              | //               | 7.4                              | 2.5                              | //   | 6.0                              | 0.4                              |
| 3    | 20     | 37.0                                      | 1.6                              | -2.9                             | 32.90            | 3.0                              | -1.7                             | //   | 1.0                              | -4.5                             |
| 6    | 20     | 30.7                                      | 7.3                              | 5.2                              | //               | 9.0                              | 4.4                              | //   | 7.4                              | 1.8                              |
| 9    | 20     | 33.4                                      | 16.8                             | 12.1                             | //               | 17.1                             | 12.4                             | //   | 15.4                             | 9.8                              |
| 14   | 25     | 31.4                                      | 17.5                             | 13                               | 32.00            | 17.5                             | 12.9                             | //   | 15.5                             | 9.9                              |
| 19   | 25     | 34.2                                      | 9.4                              | 4.5                              | //               | 10.0                             | 5.3                              | //   | 8.1                              | 2.5                              |

しているからである。

$l_{m1}$  がどれ位違ってくるかを見るために、表-5に3通りの  $l_{m1}$ 、そして、それから計算される仮想の土被り厚さについても、種々示した。これからわかる通り、 $l_{m1}$  は、実測、台形分布の計算、 $k_s$ による計算の間で余り違わないし、計算される土被り厚さは、壁と杭とが遠い場合、実際の土被り厚さそのものとなるために、更に一層違いが少なくなっている。出発点を  $l_{m1}/3$ にした場合と、 $l_{m1}/2$ にした場合とは、かなり違ってくるが、それぞれの場合で、地盤条件の異なる3通りでは、余り違わない。

以上のことから、実際にこの方法を使って控え直杭の横抵抗を計算するには、まず、地盤に固有の値としての  $k_s$  を使って地表面杭としての  $l_{m1}$  を求め、その1/3の深さから出発する受働崩壊面によって交点を求め、そこまで地表面が低下したものと、台形分布の横抵抗定数を仮定して計算すれば、図-25の程度の精度の計算は、できることになる。なお、 $d_3$ によって  $d_1$  を代用させることは、地盤を弱くして  $l_{m1}$  を評価するから、 $l_{m1}$  はわずかに深くなり、安全側の仮定ということになる。また交

点がタイロッド高さより低くなると自由長のある杭ということになる。そしてこの場合は安全側にはならない。

現実の設計の場では、壁体との干渉を評価して、その程度に応じた控え杭の抵抗を計算する、というやり方はとられていないと考えられる。1.でも述べた通り、主働及び受働崩壊面の交点が、タイロッドの高さになるように、控え杭の位置を決めるというやり方が、一般的に採られているものと考えられる。この考え方と今回の実験的な結果とを、うまく合成することができる。すなわち、これまでと同じように、交点がタイロッドの高さに来るように、控え杭の位置を決めてやると、地表面はタイロッドの高さまで低下することになる。その場合、台形分布がたまたま三角形分布の一般的なS型地盤に一致することになる。したがって、このやり方によれば、台形分布の数値計算は、設計といった場面では必要ないことになる。すなわちこのやり方では、地盤に固有の値  $k_s$  を持った地盤中の地表面杭として計算すればよいことになるのである。

手順としては、まず、地盤に固有の値としての  $k_s$  を用



いて地表面杭としての計算をする。その計算結果の一つとしての  $l_{m1}$  により、 $l_{m1}/3$  から出発する受働崩壊面と壁体からの主働崩壊面との交点が、タイロッド高さに一致するように、控え杭の位置を決める、そうすれば、この控え杭の挙動は最初に計算した地表面杭の挙動そのものになるという手順である。この方法が、久保の示した方法と異なる点は、最初に地中杭としての  $k_s$  の割増評価を行っていないことである。

次に、 $k_s$  による方法についても、少し検討しておく、まず、台形分布の場合と同様に、 $l_{m1}$  を何らかの方法により求めて、仮想の土被り厚さを求めねばならない。それには、前と同様にして、実際の土被りの台形分布による  $d_s$  及び地盤に固有の  $k_s$  による  $d_s$  を使う。これらを横軸にとり、縦軸を  $k_s'$  としたグラフを図-27および図-28に示すが、これまた、前と同様に有為な差は認められない。したがって、最も簡便な  $k_s$  の計算による  $l_{m1}$  を使った  $d_s$  で、図-28の程度の精度を持った計算ができるということになる。

しかし、図-28では、図-27でも同様だが、この場合比較的合理的と思われる考え方から導かれる式(1)を示す直線に対して、データのばらつきは、下に寄っている傾向が見受けられる。この傾向は図-17と同列のものである

ので、ここで、 $k_s$  による  $l_{m1}$  に対して、出発点を  $l_{m1}/2$  とした計算を行い、横軸をその結果である  $d_s$  とし、図示してみる(図-29参照)。それによれば、やはり、図-18と同様、この方が、式(1)から求められる同上の曲線の周囲に、均等にデータのばらついていることが認められる。しかしながら、やはり前と同様、ばらつきが大きすぎて、 $l_{m1}/2$  とした方がばらつきの中心とは思われるものの、はっきりとしたことは言えない。

まとめると、この場合にも、地盤に固有の  $k_s$  を用いて  $l_{m1}$  を求め、 $l_{m1}/3$  の点から出発する受働崩壊面との交点を仮想の地表面として土被り厚さを求め、その仮想土被り厚さを式(1)に代入して仮想の  $k_s'$  を求めて、地表面杭として計算すればよい。

最後に、交点が地表面上にくるように壁体と杭とを離れた状態の杭の挙動について言及する。これまで検討してきたことから、この場合、第1には、実際の土被り厚さによって台形分布の計算をするか、そうでなければ、実際の土被り厚さを式(1)に代入して仮想の  $k_s'$  を求めて、地表面杭の計算をすればよいことになる。しかしながら、この場合は、地中杭であって壁体との干渉がない単純なケースであるから、久保の考え方の通り、大きく見積った  $k_s'$  によっても評価できるものと考えられる。すなわ

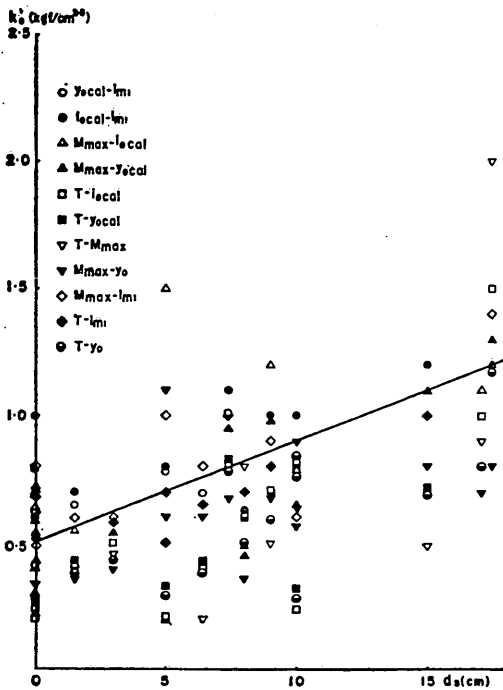


図-27  $k_s'$  と  $d_s$  (台形分布  $l_{m1}/3$  より計算) の関係

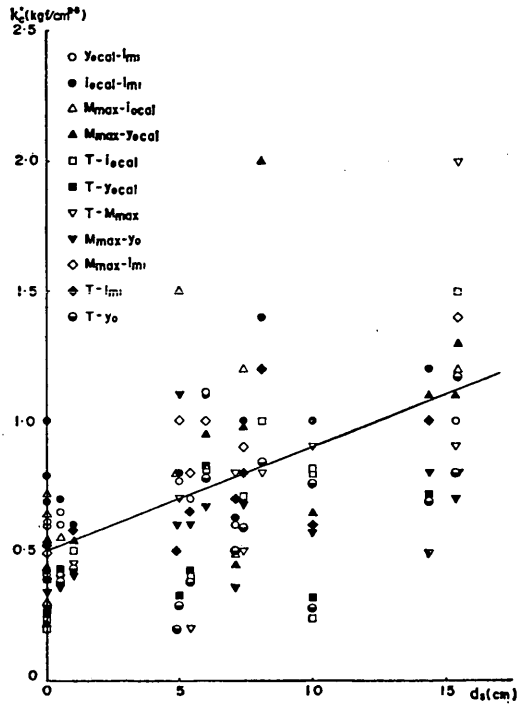


図-28  $k_s'$  と  $d_s$  (S型分布  $l_{m1}/3$  より計算) の関係

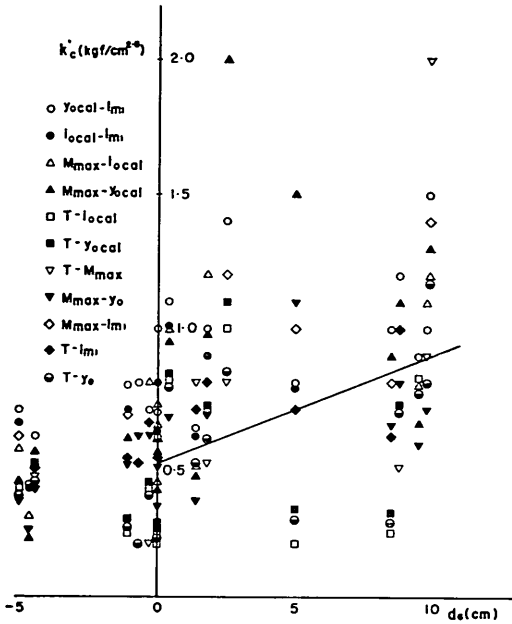


図-29  $k_c$  と  $d_e$  (S型分布  $l_{m1}/2$  より計算) の関係

ち、現在の設計法<sup>2)</sup>として望ましいとされている様に、大きく見積った  $k_c$  により求めた交点が、地表面に来るように控え直杭を矢板壁から離す考え方は、首尾一貫しており、 $k_c$  の評価そのものには問題を含むものの、今回の実験結果からも肯定される。

### 8. まとめ

複雑な問題であり、これまでの考え方では、合理的でない面が含まれていたと考えられる矢板壁の控え直杭の問題について、より現実に近いモデルを用いた模型実験を行い、控え直杭の挙動を検討した。その結果明らかになった点を列挙すること、以下の通りである。

- 1) 地中杭としての控え直杭の挙動は、港研方式の杭の横抵抗理論 ( $p \propto y^{1/2}$ ) により十分に表現される。
- 2) 控え直杭の挙動は、地中杭としての抵抗力増大効果と、控えとして壁体との干渉により抵抗力が減少する分との複合した結果である。
- 3) 久保が提示した方法である、S型地盤を仮定した仮想の  $k_c$  による計算法には、無理がある。
- 4) 壁体との干渉を考慮した仮想地表面に対して、C型地盤を仮定した仮想の  $k_c$  が計算される。この  $k_c$  による地表面杭の計算をすれば、誤差はあるものの、大体合理的な推定ができる。
- 5) 台形分布の横抵抗定数を仮定した港研方式の数値計算法について検討した。やはり、壁体との干渉を

考慮した仮想地表面に対して、この方法による地表面杭の計算を行った結果、4)の方法よりも更によく実験値を説明できた。

- 6) 4)及び5)の方法において、仮想地表面を求めるには、地盤に固有の  $k_c$  により地表面杭の計算を行い、その  $l_{m1}$  の1/3の深さから発する受働崩壊面と、壁体から発する主働崩壊面との交点をとればよい。
- 7) 設計上便利な方法として、6)の計算による交点が、タイロッド高さに一致するように杭の位置を決めれば、杭の計算は、地盤の  $k_c$  による地表面杭の計算でよい。

### 9. あとがき

本文に述べた通り、ここで取り扱った控え直杭の問題には、地中杭の横抵抗の問題と、壁体との干渉による抵抗力の低下(控えの位置の問題)という、2つの大きな問題が含まれている。地中杭の横抵抗の問題は、素通りできないので、台形分布の横抵抗という考えで評価し、ここでは壁体との干渉の評価方法を力を注いだつもりである。基礎工研究室では、この実験に引き続いて、地中杭の横抵抗の問題に、当時基礎工研究室長であった荘司(現第五港湾建設局四日市港工事事務所長)を中心にして取り組んだ。この大きな問題についても、いずれ報告がなされるはずである。

ここにとりまとめた実験的研究の経緯について、若干触れておきたい。控え直杭の実験的研究は、久保等の研究以降、昭和52年2月に、本報告に示したものと違う大型実験槽において、行ったものが最初である。その後、装置は若干異なるが、本報告に示した実験槽において、昭和54年9月、昭和55年7、8月と実験を繰り返して来たが、精度のよいデータを得るまでには至らなかった。このうち、昭和55年の実験は、当時豊橋技術科学大学から卒業論文のために基礎工研究室に滞在した南谷俊樹氏が、努力して行ったものである。その結果、実験装置、実験テクニック共に相当進歩して、昭和56年4月より、基礎工研究室研修生として滞在した若築建設榎田澄則氏の協力を得て実施した実験が、本報告の内容である。

またこの実験は、当時設計基準部長であった松並仁茂氏(現新東京国際空港公団)が遂行していた一連の研究のうちの一部として必要なものであったので、基礎工研究室の富樫浩一技官の他に、設計基準部より紫田鈞三技官、吉田行秀技官(現第二港湾建設局企画課)も実験に加わった。以上の諸氏に対し、心からの謝意を表すものである。

なお、高橋が、昭和56年7月より昭和58年1月まで、アメリカ合衆国ノースウエスタン大学に留学して不在だったこともあって、とりまとめが大幅に遅れた。

(1983年9月30日受付)

#### 参 考 文 献

- 1) 日本港湾協会：港湾構造物設計基準，昭和42年4月，pp. 8-4-19～8-4-20.
- 2) 運輸省港湾局監修：港湾の施設の技術上の基準・同解説，日本港湾協会，昭和54年3月，pp. 8-25～8-26.
- 3) 久保浩一・三枝富士男・鈴木敦己：垂直控え杭の横抵抗について，港湾技術研究所報告，第4巻，第2号，1965年5月，pp. 22～40.
- 4) 片山猛雄・中野拓治・蓮見 隆・山口孝市：1968年十勝沖地震などの被災例による現行設計法の検討，港湾技研資料，No. 93，1969年12月.
- 5) 北島昭一・上部達生：矢板岸壁地震時被災の分析，港湾技術研究所報告，第18巻，第1号，1979年3月，pp. 67～128.
- 6) 松並仁茂：係船岸におけるたわみ性控え工の設計法に関する研究，港湾技研資料，No. 439，1983年3月.
- 7) 宮本六男・沢口正俊：群クイの横抵抗に対するクイ間隔の影響（第1報）——縦間隔について——，港湾技術研究所報告，第10巻，第4号，1971年12月，pp. 53～108.
- 8) 前掲 2)，pp. 5-46～5-58.