

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. 27      NO. 3      SEPT. 1988

NAGASE, YOKOSUKA, JAPAN



# 港湾技術研究所報告 (REPORT OF P.H.R.I.)

第27巻 第3号 (Vol. 27, No. 3), 1988年9月 (Sept. 1988)

## 目 次 (CONTENTS)

1. Similitude for Shaking Table Tests on Soil-Structure-Fluid Model  
in  $1g$  Gravitational Field ..... Susumu IAI ..... 3  
( $1g$  場での地盤—構造物—流体系の模型振動実験の相似則 ..... 井合 進)
2. Large Scale Model Tests and Analyses of Gravel Drains  
..... Susumu IAI ..... 25  
(グラベルドレーンの大型模型振動実験と解析 ..... 井合 進)
3. 現地観測における水圧波形から表面波への換算手法について  
..... 小舟浩治・合田良実・成田 明・佐々木 弘・森田行司... 161  
(Surface Wave Recovery from Wave Pressures Profile Based on  
Field Observation  
..... Koji KOBUNE, Yoshimi GODA,  
Akira NARITA, Hiroshi SASAKI and Yukiji MORITA)
4. 正規圧密地盤上の浅い基礎の支持力 ..... 北誥昌樹・遠藤敏雄・寺師昌明... 185  
(Bearing Capacity of Shallow Foundation on Normally  
Consolidated Ground  
..... Masaki KITAZUME, Toshio ENDOH and Masaaki TERASHI)

## 4. 正規圧密地盤上の浅い基礎の支持力

北 誥 昌 樹\*・遠 藤 敏 雄\*\*・寺 師 昌 明\*\*\*

### 要 旨

深さ方向に強度の増加する正規圧密地盤上の基礎に偏心傾斜荷重が作用する時の支持力について、遠心模型実験装置を用いた模型実験で検討を加えた。実験では、カオリン粘土を50gの遠心加速度の下で自重圧密して正規圧密地盤を作製した。さらに、大加速度場で作動するベーン試験機、コーン試験機を新たに開発して直接地盤強度の測定を行った。次に支持力実験では、鉛直支持力実験及び偏心傾斜支持力実験を行った。偏心傾斜支持力実験は、鉛直荷重が比較的大きく基礎が沈下するような破壊モード(支持力破壊モード)の実験と鉛直荷重が小さく基礎の水平変位が卓越するような破壊モード(滑動破壊モード)の実験の2種類について行った。支持力破壊モードの実験では、偏心量( $e$ )がほぼ0の条件での鉛直荷重成分( $V$ )と水平荷重成分( $H$ )の関係を求め、滑動破壊モードの実験では偏心量と水平荷重成分との関係を主として求めた。一連の実験結果と現在提案されている各種の支持力公式を基に $V-H-e$ の三次元空間での破壊包絡面を求めた。さらに Davis and Booker, Vaughan et al. の解及び円形すべり法による計算値とも比較検討した。偏心傾斜荷重下の支持力は Vaughan et al. の解で良く説明できるが、円形すべり計算による計算値は過大評価となることがわかった。

キーワード：浅い基礎，鉛直荷重，支持力，水平荷重，粘性土，模型実験

---

\* 土質部 主任研究官(地盤安定解析担当)

\*\* 土質部 地盤改良研究室

\*\*\* 土質部 地盤改良研究室長

## 4. Bearing Capacity of Shallow Foundation on Normally Consolidated Ground

Masaki KITAZUME\*

Toshio ENDOH\*\*

Masaaki TERASHI\*\*\*

### Synopsis

Normally consolidated ground of kaolin clay was made under the acceleration of 50 *g*. The strength profile of the ground was determined by means of the in-flight vane apparatus and the in-flight cone apparatus. A series of centrifugal tests was carried out to investigate the bearing capacity of shallow foundation on the ground under either vertical or eccentric inclined load.

Vertical bearing capacity increased with the increase of the footing width. The Davis and Booker's method reasonably explained the effect of strength increase with depth on the bearing capacity. Bearing capacity under inclined load was estimated successfully by the Vaughan et al.'s method. The slip circle method failed to explain the influence on the bearing capacity of load eccentricity, load inclination and strength increase with depth. By the test data, a failure envelope was constructed in the space composed of vertical load component, horizontal load component, and eccentricity.

**Key Words:** Shallow Foundation, Vertical Load, Bearing Capacity, Horizontal Load, Cohesive Soil, Model Test

---

\* Senior Research Engineer, Geotechnical Engineering Division

\*\* Member of Soil Stabilization Laboratory, Geotechnical Engineering Division

\*\*\* Chief of Soil Stabilization Laboratory, Geotechnical Engineering Division

## 目 次

要 旨	185
1. ま え が き	189
2. 実験装置及び試料	189
2.1 遠心模型実験装置	189
2.2 ベーン試験機及びコーン試験機	189
2.3 鉛直支持力実験装置	190
2.4 偏心傾斜支持力実験装置	191
2.5 粘土試料	192
3. 正規圧密地盤の作製	192
3.1 実験方法	192
3.2 実験結果	193
3.3 地盤強度の推定	194
3.4 まとめ	195
4. 鉛直支持力実験	195
4.1 実験方法	195
4.2 実験結果及び考察	195
4.3 計算値との比較	196
5. 偏心傾斜支持力実験 (1)	196
5.1 実験方法	196
5.2 実験結果及び考察	197
5.3 計算値との比較	197
6. 偏心傾斜支持力実験 (2)	198
6.1 実験方法	198
6.2 実験結果及び考察	198
7. 三次元荷重空間での破壊包絡面	202
8. 結 論	202
9. あとがき	202
参考文献	203
記号表	203

1. まえがき

日本の沿岸地域には、深さ方向に強度が増加する正規圧密地盤がよく見られる。このような地盤上に構造物を建設する場合、地盤の支持力は大きな問題の一つである。港湾構造物には構造物の自重（鉛直力）に加えて波力などの水平力も作用するのが一般的であるため、地盤には偏心傾斜荷重が作用することになる。しかし、このような地盤条件、荷重条件を十分に反映した支持力に関する研究例は少ない。

本研究では遠心模型実験装置を用いた模型実験で、正規圧密地盤を作製し、偏心傾斜荷重下の支持力について検討を加えた。まず遠心模型実験装置を用いて深さ方向に強度の増加する正規圧密地盤を作製し、その強度分布を確認した。強度分布の確認にあたっては、大加速度の下でも作動するペーン試験機、コーン試験機を新たに開発し、遠心場で強度分布を直接測定した。次に支持力実験では、鉛直支持力実験及び偏心傾斜支持力実験を行った。実験結果から支持力の鉛直荷重成分 ( $V$ )、水平荷重成分 ( $H$ )、偏心量 ( $e$ ) の三次元空間での破壊曲面を求めるのが最終の目的であるが、これら3つのパラメータについて網羅的に実験を行うのは不可能であった。このため、偏心傾斜支持力実験は、鉛直荷重が比較的大きく基礎が沈下するような破壊モード（支持力破壊モード）の実験と鉛直荷重が小さく基礎の水平変位が卓越するような破壊モード（滑動破壊モード）の実験の2種類について行った。支持力破壊モードの実験では、偏心量がほぼ0の条件での鉛直荷重成分と水平荷重成分の関係を求め、滑動破壊モードの実験では偏心量と水平荷重成分との関係を主として求めた。一連の実験結果と現在提案されている各種の支持力公式を基に  $V-H-e$  の三次元空間での破壊包絡面を求めた。

2. 実験装置及び試料

本研究では、まえがきに述べたように正規圧密地盤の強度分布の測定の試験のほかに鉛直支持力試験、偏心傾斜支持力試験（支持力破壊モードと滑動破壊モード）と多種多様な実験を行った。さらに各実験で必要に応じて基礎の大きさなども変化させているため、それぞれについて用いた実験装置、試料容器などは表-1、表-2に示すように異なっている。ここでは各実験ごとに使用した容器、実験装置について簡単に示す。

2.1 遠心模型実験装置

本研究では実物規模の地盤の応力状態を再現して、深さ方向に強度の増加する正規圧密地盤を作製するために遠心模型実験装置で実験を行った。装置の詳細については寺師<sup>1)</sup>を参照されたい。

2.2 ペーン試験機及びコーン試験機

大加速度の下で作製した地盤の強度を測定するために、遠心模型実験装置を一旦停止してから、ペーン試験、コーン試験などを実施すると、加速度の減少に伴って地盤の鉛直応力が大きく減少するため地盤は応力履歴の影響を受け、大加速度の下での地盤の強度と異なる強度分布を求めることになる。応力履歴を受けていない正規圧密地盤の強度を測定するために、大加速度の下で作動するペーン試験機、コーン試験機を新たに開発した。

表-2 試料容器一覧

試料容器名	寸 法
小型試料容器	幅 50 cm 深さ 35 cm 奥行き 10 cm
中型試料容器	幅120 cm 深さ 60 cm 奥行き 10 cm
円形試料容器	直径100 cm 深さ 35 cm

表-1 実験装置一覧

No.	実 験 装 置	試料容器	基 礎 の 幅	地 盤	図番号
① ② ③	鉛直支持力実験装置	円形試料容器 小型試料容器 中型試料容器	$B=2$ 及び $6$ cm $B=10$ cm $B=20$ cm	N. C N. C N. C	3 4 5
	鉛直支持力実験装置 (1)				
	鉛直支持力実験装置 (2)				
① ②	偏心傾斜支持力実験装置	中型試料容器 小型試料容器	$B=20$ cm $B=10$ cm	N. C O. C	6 7
	偏心傾斜支持力実験装置 (1)				
	偏心傾斜支持力実験装置 (2)				

N. C : 正規圧密地盤 (カオリン粘土)

O. C : 過圧密地盤 (川崎粘土)

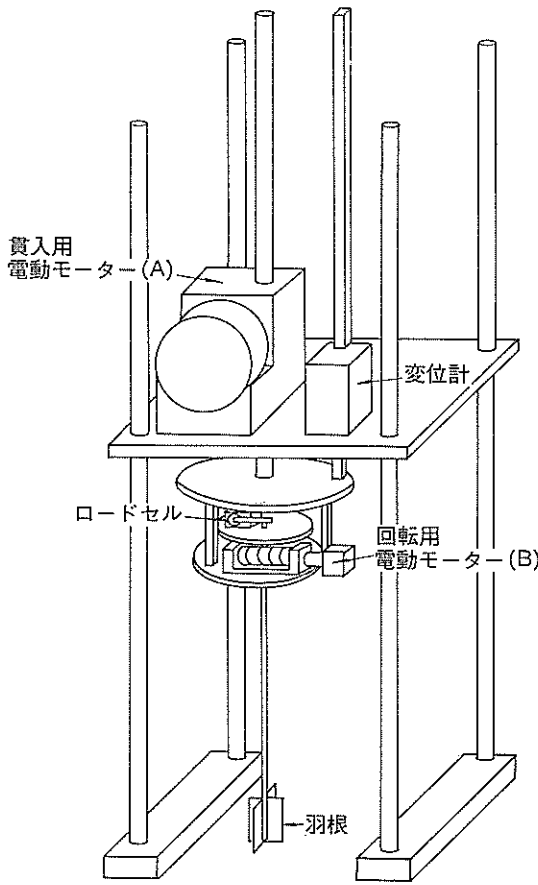


図-1 ベーン試験機

ベーン試験機は図-1に示すように、羽根の貫入と回転を独立に行えるように、それぞれに電動モーターを備えている。実験では、上部に設置したモーター(A)を作動させ羽根を所定の深さまで貫入した後、下部のモーター(B)で羽根を回転する。回転抵抗は羽根のシャフトに取付けたロードセルで計測し、地盤の強度を求めるようになっている。一ヶ所での計測の後、羽根をさらに貫入し、再度回転抵抗を測定することで地盤の各深度での強度の測定が可能である。なお、用いた羽根は直径2 cm、高さ4 cmである。

コーン試験機(図-2(a))はベーン試験機の貫入用の部分を利用したもので、ロッドは直径13mm、長さ300mmである。コーンとロッドの詳細を図-2(b)に示すが、先端コーン部とロッド周面部との縁を切った二重管構造で、先端抵抗力とロッド周面抵抗力の合力を計測するロードセル(A)と、先端抵抗力のみを計測するロードセル(B)の二つのロードセルを備えている。

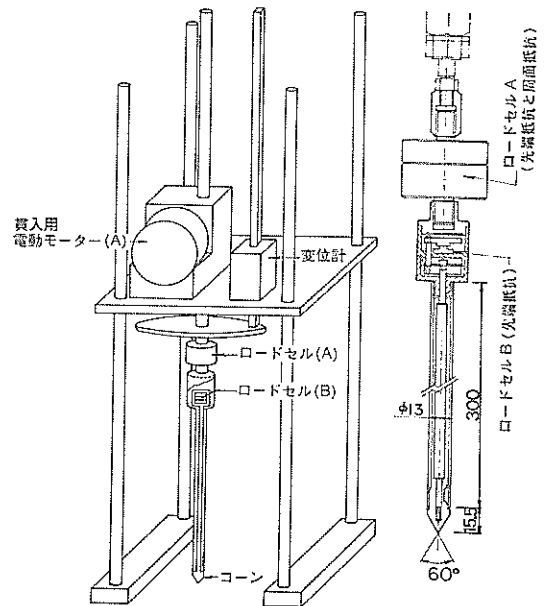


図-2(a) コーン試験機 図-2(b) コーンとロッドの詳細図

セル(B)の二つのロードセルを備えている。

### 2.3 鉛直支持力実験装置

鉛直支持力実験では、地盤の深さ方向の強度増加の支持力に及ぼす影響を検討するために、基礎幅を2 cm～20 cmまでの四種類の大きさに変化させて実験を行った。基礎の大きさが大きく異なるため、載荷方法も変化させた。さらに試料容器の大きさが支持力に影響を及ぼさないように、三種類の試料容器を用いた。

#### (1) 鉛直支持力載荷装置(1)

本装置は基礎幅が2 cm及び6 cmの基礎の支持力を求めるために使用したものである。装置は図-3に示すように、直径100 cm、深さ35 cmの円形試料容器とその上部に設置したシリンダー及び模型基礎よりなっている。鉛直載荷は基礎の自重によって行い、載荷速度はシリンダー内にあらかじめ圧入した油の流出速度で大まかに調整する。載荷中の基礎の鉛直荷重と鉛直変位は図に示したロードセル及びポテンショメーターでそれぞれ計測する。本実験で用いた基礎は2 cm(幅)×10 cm(長さ)、6 cm×30 cmであるため、隙密には三次元基礎の支持力を求めていることになるが、基礎の長さを幅の約5倍と大きくしているため、以下に述べる(2)、(3)の平面歪み状態での支持力実験との比較ができると思われる。

なお、基礎の底面には豊浦標準砂を貼り、粗な状態と

した。また、以下に説明する模型基礎を用いた載荷装置でも、その底面に砂を貼り、すべて同じ粗の状態で作荷を行った。

(2) 鉛直支持力実験装置(2)

本装置は基礎幅が 10 cm の二次元基礎の鉛直支持力を

求めるために使用したものである。装置は 図-4 に示すように、幅 50 cm、深さ 35 cm、奥行き 10 cm の小型試料容器と 模型基礎よりなっている。模型基礎は幅 10 cm、高さ 10 cm、奥行き 10 cm のアクリル容器で、これを遠心場で地盤の圧密完了まで水に浮かせておき、容器内に給水することで、鉛直に載荷する。鉛直荷重は基礎底面に取付けた圧力計の値及び容器内の水の重量より求め、基礎の鉛直変位は基礎側面に取付けた圧力計の水圧の計測値を用いて水面位置との関係として求めた。

(3) 鉛直支持力実験装置(3)

本装置は基礎幅が 20 cm の二次元基礎の鉛直支持力を求めるために使用したものである。装置は 図-5 に示すような幅 120 cm、深さ 60 cm、奥行き 10 cm の中型試料容器と、容器上部に設置した鉛直載荷装置及び模型基礎よりなっている。鉛直載荷は非排水条件での載荷を再現するため、17 mm/min の一定速度で模型基礎を地盤に貫入して行った。載荷中の鉛直荷重と鉛直変位はロードセル及び変位計でそれぞれ計測した。

2.4 偏心傾斜支持力実験装置

偏心傾斜支持力試験は 1. にも述べたように、支持力破壊モードの実験と滑動破壊モードの実験の二種類の試験を行った。

(1) 偏心傾斜支持力実験装置(1)

本装置は、鉛直荷重が比較的大きい支持力破壊モードの試験を行うために使用したものである。装置は 図-6 に示すように、鉛直支持力実験装置(3)と同じ幅 120 cm、深さ 60 cm、奥行き 10 cm の中型試料容器と水平載荷装置及び模型基礎よりなっている。模型基礎は幅 10 cm、高さ 10 cm、奥行き 10 cm のアクリル容器で、容器底部には幅 20 cm のフーチングを設けて基礎幅を 20 cm にしている。載荷にあたっては、まず試料容器側面に取付けた電磁弁を作動し、地盤上の水を排水させた。排水することで粘

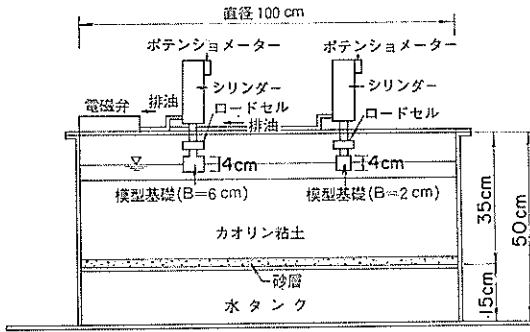


図-3 鉛直支持力実験装置(1)

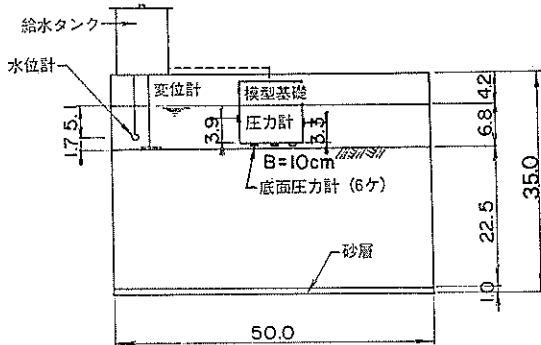


図-4 鉛直支持力実験装置(2)

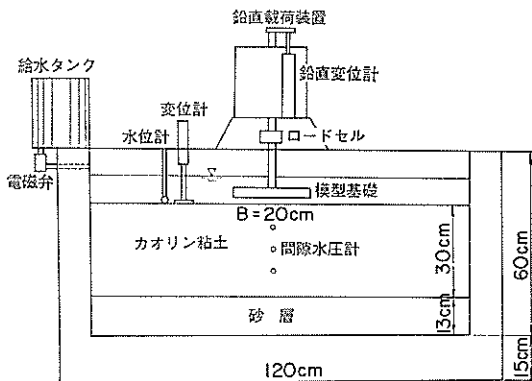


図-5 鉛直支持力実験装置(3)

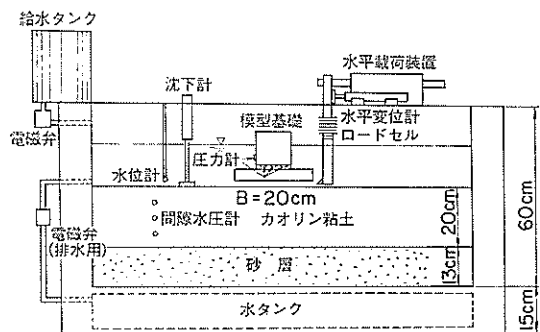


図-6 偏心傾斜支持力実験装置(1)



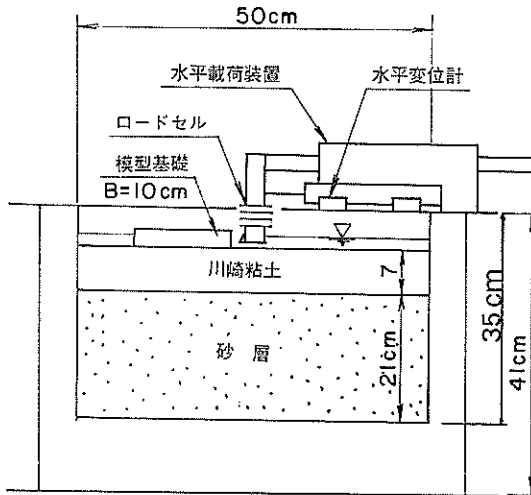


図-7 偏心傾斜支持力実験装置(2)

土地盤の圧密中、水に浮かせておいた模型基礎を地盤に接地させ、さらに排水して鉛直荷重を作用させた。所定の鉛直荷重を与えた後、直ちにモータージャッキ式の水平載荷装置で4.5mm/minの一定速度で水平に載荷を行った。水平載荷の載荷点は模型基礎底面近くとし、水平荷重の作用中も偏心量がほぼ0を保つような条件とした。水平荷重と水平変位は載荷装置に取付けたロードセル及び変位計でそれぞれ計測し、模型基礎の鉛直変位、回転変位は写真解析から求めた。

(2) 偏心傾斜支持力実験装置(2)

本装置は、鉛直荷重が比較的小さい滑動破壊モードの実験を行うために使用したものである。装置は図-7に示すよう鉛直載荷実験装置(2)と同じ、幅50cm、深さ35cm、奥行き10cmの小型試料容器と水平載荷装置及び模型基礎よりなっている。載荷は、まず1gの下で予備圧密した地盤表面に模型基礎をセットし、遠心模型実験装置を回転し遠心加速度を増加させる。所定の遠心加速度(40g)に達した後、モータージャッキ式の水平載荷装置で4.5mm/minの一定速度で水平に載荷を行った。模型基礎の水平荷重と水平変位は載荷装置に取付けたロードセ

ル及び変位計で計測し、鉛直及び回転変位は実験前後に模型基礎の位置を測定して求めた。

2.5 粘土試料

本研究では表-1に示すように、正規圧密地盤に関してはカオリン粘土を、過圧密地盤については川崎粘土を用いた。なお、過圧密地盤を用いた実験は滑動破壊モードの実験のみである。カオリン粘土は圧密係数が大きく、遠心場での自重圧密に要する時間が短くなる利点があるので、正規圧密地盤に対する実験に用いた。一方、川崎粘土は圧密一除荷一再圧密といった応力履歴による強度低下が小さい。滑動破壊モードの実験では現象を支配する地盤表面での強度の推定が重要な点である。そのため応力履歴の影響が小さく、強度の推定が比較的容易な川崎粘土をカオリン粘土のかわりに用いた。

カオリン粘土はASP-100と5Mカオリンを1:1の割合で混合したもので、その物理特性、力学特性を川崎粘土とあわせて表-3、表-4にそれぞれ示した。

3. 正規圧密地盤の作製

ここでは、カオリン粘土を用いた正規圧密地盤の作製とその強度分布の測定について述べる。なお、ここで述べる地盤は幅10cmの基礎の鉛直支持力実験に用いたものである(図-4参照)。

3.1 実験方法

- (1) 小型試料容器底面に砂層を豊浦標準砂を良く締め固めかつ飽和するように十分注意して作製した。この砂層は圧密中に排水層として機能する。
- (2) 含水比120%の下で真空脱気しながら良く練り混ぜた粘土スラリーを砂層上に投入し、0.1kgf/cm<sup>2</sup>の圧力で予備圧密を行った。予備圧密圧力の大きさ

表-4 力学特性

粘土の種類	強度増加率	圧密係数	圧縮係数	膨潤指数
	Cu/P	C <sub>v</sub> (cm <sup>2</sup> /min)	C <sub>c</sub>	C <sub>s</sub>
カオリン粘土	0.314	0.15	0.49	0.12
川崎粘土	0.300	0.03	0.59	0.11

表-3 物理特性

粘土の種類	比重	コンシステンシー特性(%)			粒度組成(%)		
	G <sub>s</sub>	W <sub>L</sub>	W <sub>P</sub>	I <sub>P</sub>	砂分	シルト分	粘土分
カオリン粘土	2.692	59.0	16.8	42.2	0	35.6	64.4
川崎粘土	2.688	83.4	38.6	44.8	2.7	44.8	52.2

は、載荷中の地盤の変形を観測するために用いるターゲットの粘土側面に設置する時の作業性を考慮して決定した。予備圧密終了後の含水比は約73%で、粘土層内ではほぼ一様である。

- (3) 地盤内の間隙水圧分布の計測のために、粘土層内の5種類の深さに間隙水圧計を設置し、さらに粘土表面には圧密中の地表面沈下計測用の変位計を設置する。
- (4) 試料容器を遠心模型実験装置に搭載し、各計測器の配線を行った。
- (5) 遠心模型実験装置を回転し、模型地盤に50gの遠心加速度を作用させ、その条件の下で地盤の自重圧密を起こさせた。圧密中は、地盤内の間隙水圧及び地盤の沈下を計測して圧密の経過を判定した。
- (6) 圧密終了後、遠心装置をそのまま回転し続け、ベーン試験またはコーン試験を行い、地盤の強度分布の計測を行った。
- (7) 実験終了後は地盤内の含水比分布を求め、ベーン試験、コーン試験及び要素試験結果から求めた強度分布の基礎資料とした。

### 3.2 実験結果

#### (1) 時間～沈下曲線

50g到達後の経過時間と粘土表面の沈下量との関係の一例を図-8に示す。ここに示す地盤は、粘土層厚が自重圧密終了後に20cmとなるように初期粘土層厚を調整した地盤である。実験では50gの遠心加速度に達するまでに約1.5mmの沈下を示し、圧密終了時には約14mmの沈下量を示している。圧密の終了は、三軸圧縮試験等でよく用いられている方法を参考に、時間～沈下曲線の最急勾配の直線を時間軸方向に1.5倍シフトした直線と時間～沈下曲線が交差する時点とした。ここに示した例では、圧密に要する時間は約900分程度であった。

#### (2) 間隙水圧の挙動

模型地盤内に埋め込んだ間隙水圧計の計測値の時間変化を図-9に示した。実験値は圧密初期には全土被り圧に相当する圧力を示し、地盤の浅い位置に埋め込んだ間隙水圧計(No. 4~6)を除いて、時間の経過とともに徐々に間隙水圧が消散し、ほぼ静水圧に達する過程を良く表している。No. 4~6の間隙水圧計の値が逆に増加する傾向を示しているのは、圧密により地表面が沈下し、間隙水圧計自体も沈下してより深い位置での静水圧を計測したためである。図-10には50g立ち上げ時及び圧密終了時の地盤内の実測した間隙水圧分布を、全土被り圧と静水圧の計算値とあわせて示した。同図からも、圧密初期には地盤内の間隙水圧が全土被り圧を示し、圧密の進

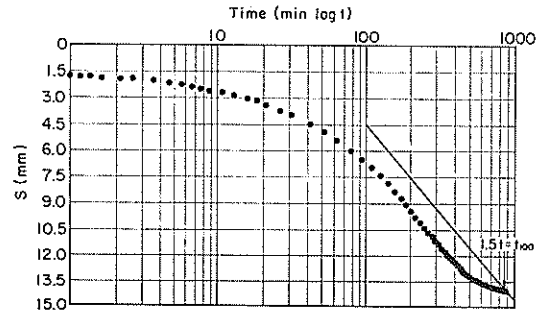


図-8 時間～沈下曲線

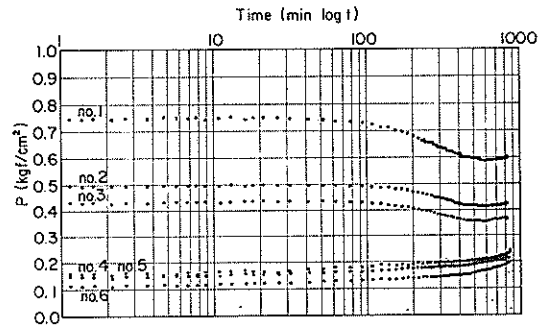


図-9 間隙水圧の挙動

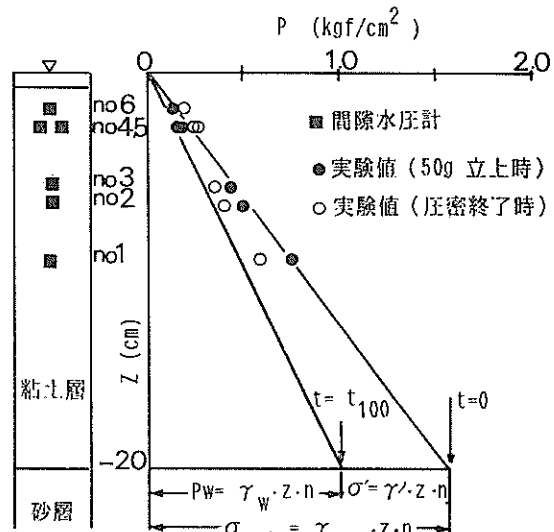


図-10 地盤内の圧力分布

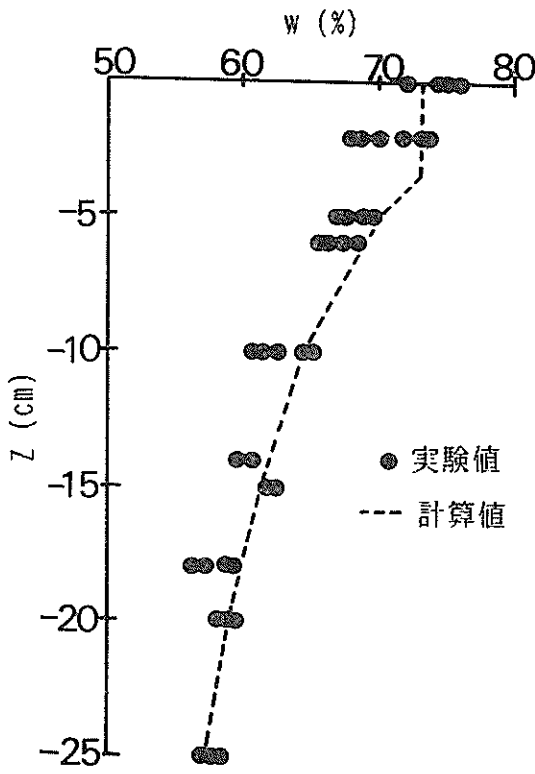


図-11 含水比分布

行と共に静水圧にまで減少する傾向がわかる。

以上のように、粘土地表面での沈下及び地盤内の間隙水圧の計測値から地盤の自重圧密が終了したことが確認できた。

(3) 含水比分布

圧密終了後、遠心模型実験装置を停止させた後に測定した含水比分布を図-11に示した。測定された含水比は深さ方向に減少する傾向を示している。遠心場での有効土被り圧と標準圧密試験から推定した計算値もあわせて示したが、両者は良い一致を示しており、有効応力が深さ方向に増加し、正規圧密地盤が形成されていることが確認できる。

3.3 地盤強度の推定

遠心力場で作製した地盤は、予備圧密荷重が遠心場での自重より大きい地表面付近での過圧密領域と自重の方が大きい正規圧密領域の二つに分けられる。正規圧密領域の強度は、大加速場で行ったベーン試験、コーン試験結果と要素試験から地盤強度を推定した。しかし、過圧密領域は地表面のごく浅い範囲であるため、ベーン試験、コーン試験から強度の推定を行うことができないの

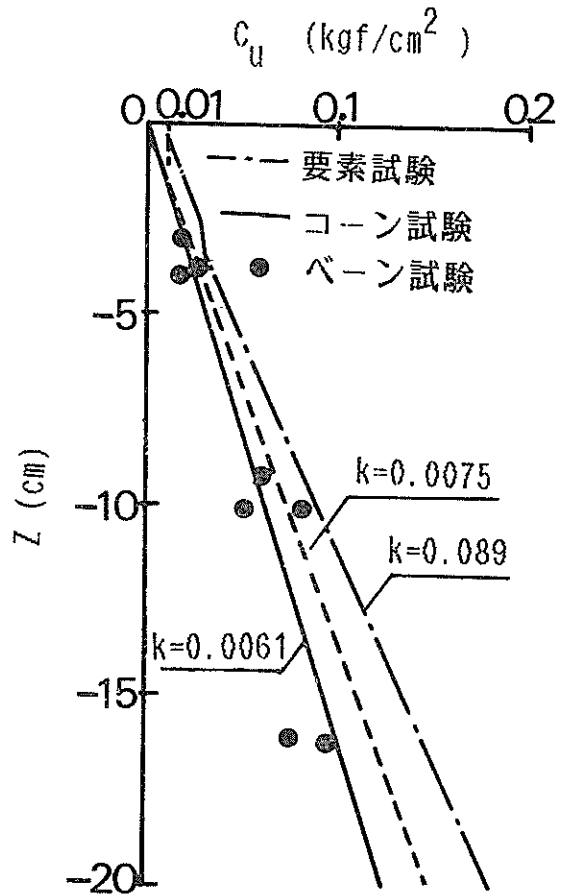


図-12 地盤の強度分布

で、要素試験結果をもとに強度の推定を行った。

(1) 正規圧密領域の強度分布

正規圧密領域の強度分布はベーン試験及びコーン試験結果と要素試験結果から推定した。

a) ベーン試験は3ケースの地盤について行い、その結果を後述するコーン試験結果及び要素試験結果とともに図-12に示した。2.に示したように、ベーン羽根の高さは4cmと大きく、羽根の上面と下面位置での鉛直応力が異なるため地盤強度も異なっていることが予想される。ここではベーン羽根の大きさ全体での平均値とし、羽根中心位置での強度として示している。3ケースの実験ともほぼ同様の結果を示し、深さ方向に強度の増加する傾向が見られる。

b) コーン試験は全部で5ケースの地盤に対して行った。2.に述べたようにA, B, 2つのロードセルで計測したが、周面抵抗も含めた計測値は先端抵抗のみの計測

値に比較して大きな値を示しており、コーン周面での抵抗力の大きいことがわかったので、地盤の強度の推定には先端抵抗のみを計測したBのロードセルの計測値を用いることとした。また、コーン支持力( $qc$ )と地盤強度との関係については、いろいろな関係が提案されているが、ここでは式(1)を用いて地盤強度を推定し、図-12にあわせて示した。

$$qc = 10 * Cu \quad (\text{kgf/cm}^2) \quad \dots\dots(1)$$

ここで  $Cu$ : 非排水せん断強度 ( $\text{kgf/cm}^2$ )

$qc$ : コーン支持力 ( $\text{kgf/cm}^2$ )

c) 三軸  $\overline{CK_0U}$  試験から地盤の強度の推定について述べる。地盤の深さごとの鉛直有効応力を算出し、表-4に示した強度増加比を用いて地盤の強度を推定した。このようにして求められた強度分布を図-12に示した。

地盤の強度分布は、本来要素試験より推定された値になるはずであるが、ベーン試験及びコーン試験より求められた地盤強度は要素試験からの推定値よりも小さくなっている。ベーン試験、コーン試験では羽根やコーンの貫入にとまない地盤を乱している可能性が大きいために、強度が小さく現れたと考えられる。ここでは4.での鉛直支持力試験結果をも考慮して、地盤の強度の深さ方向の増加率を $0.0075 \text{ (kgf/cm}^3)$ とした。

(2) 過圧密領域の強度分布

地盤の上層(約3.4cm)は準備時の予備圧密荷重の方が遠心場での圧密荷重より大きいため過圧密地盤となっている。過圧密領域の厚さが小さく、ベーン試験、コーン試験では強度を求めることができない。そのため、応力履歴を再現した要素試験結果をもとに強度を推定した。要素試験ではまず、 $\overline{CK_0U}$  試験より応力履歴の影響を受けていない状態での強度を求めた。次に圧密—除荷—再圧密という応力履歴を受けた時の強度と正規圧密状態での強度との比率を  $\overline{CIU}$  試験で求めた。本来は  $\overline{CK_0U}$  試験で求めるものであるが、実験技術等を考慮して、ここでは  $\overline{CIU}$  試験で求めた。図-13には過圧密比と強度比率との関係を示した。ここで過圧密比は圧密荷

重と再圧密荷重との比で与えられ、強度比率は応力履歴を受けた供試体の強度と応力履歴を受けていない正規圧密供試体の強度との比率である。

この関係と  $\overline{CK_0U}$  試験での  $Cu/P$  を用い、さらに各地盤深さでの予備圧密圧力と遠心場での鉛直応力との比率を推定して過圧密領域での地盤の強度を推定した。その結果、過圧密領域の地盤の強度は図-12に示されるような分布となった。

3.4 まとめ

以上の検討から、50gの下で遠心模型実験装置を長時間運転することで、深さ方向に強度が増加する正規圧密地盤を作製することができた。さらに、含水比分布、ベーン試験、コーン試験などからも正規圧密地盤の確認ができた。

4. 鉛直支持力実験

3.で述べたように遠心場で正規圧密地盤の作製が可能となったので、カオリン粘土の正規圧密地盤に対して鉛直支持力実験を行った。深さ方向に強度の増加する地盤の鉛直支持力は、基礎の大きさに大きく影響を受けるので、本実験では四種類の基礎幅を持つ基礎に対して鉛直支持力実験を行った。

4.1 実験方法

鉛直支持力実験は2.に述べたように全部で3種類の装置を用いた。載荷方法は、応力制御方式、変位制御方式などさまざまであるが、模型地盤は3.に述べた方法で作製した正規圧密地盤で、すべての実験ケースで同一である。

4.2 実験結果及び考察

基礎幅が20cmの実験は変位制御方式での載荷であり、基礎幅10cmは応力制御の載荷である。さらに、基礎幅が2cm及び6cmの実験は本来はいずれの載荷方式でもないが、実験中の時間—沈下関係を見ると結果的に変位制御方式での載荷となっている。このように載荷方式は各実験で異なっているが、いずれの実験も載荷速度は十分に大きく非排水条件での載荷である。

基礎幅を四種類に変化させて行った支持力試験で得られた荷重—沈下曲線を図-14にまとめて示した。同図で、基礎幅10cmの荷重—沈下曲線は基礎幅6cmのそれよりも全体的に小さくなっているが、4本の荷重—沈下曲線は全体にはほぼ同様の傾向を示しており、上で述べた載荷方式の違いはあまり見られない。荷重—沈下曲線には明瞭なピークが見られないため、荷重—沈下曲線を両対数でプロットしなおし、曲線の変曲点での荷重を鉛直支持力とした。このようにして求められた鉛直支持力と基礎

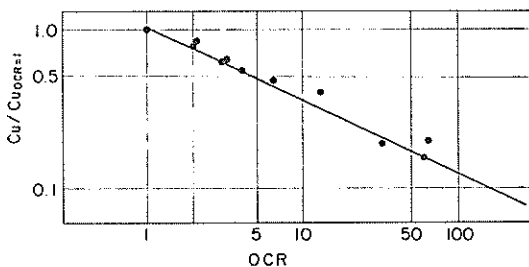


図-13 過圧密比—強度比率

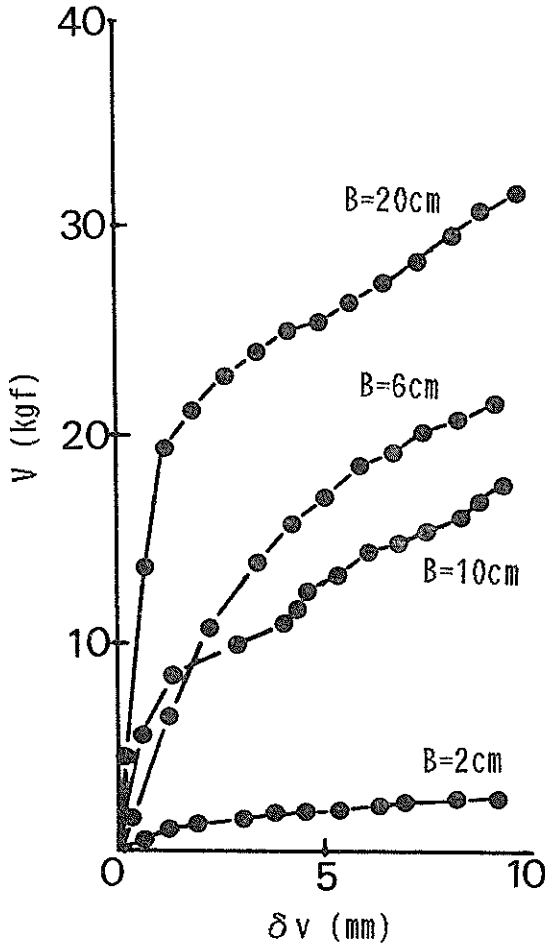


図-14 荷重～沈下曲線

幅との関係を図-15に示した。図中、横軸は基礎幅 (B) を、縦軸は鉛直支持力を模型基礎の底面積 (A) で除した応力 ( $q_f$ ) で示している。先に示したように基礎幅が 2 cm と 6 cm の実験は三次元基礎を用いたものであるが、基礎幅に比べ基礎の長さを 5 倍と大きくしているため、ここでは平面歪み条件での支持力値とあわせて示している。実験値は基礎幅が 10 cm 程度まではそれほど大きな増加を示していないが、基礎幅が 20 cm にまで大きくなると基礎幅 2 cm での支持力に比べ 70% 程度も大きくなる傾向を示している。このような基礎幅の増加にとともに支持力が増加する傾向は、深さ方向に強度の増加する正規圧密地盤の特徴である。基礎幅が大きくなると滑り線も大きく、深くなり、より大きな強度が発揮するようになるためである。

#### 4.3 計算値との比較

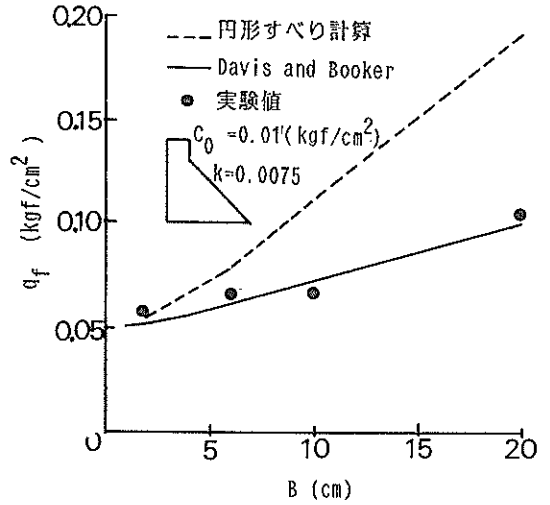


図-15 実験値と計算値

実験で得られた支持力と計算値と比較を行った。ここで行った計算は Davis and Booker<sup>2)</sup> と円形すべり法の 2 種類である。前者は特性すべり線法による解析解である。計算を行う前に、地盤の過圧密領域の強度分布が 3.3 に示したように複雑であるため、そのままでは計算を行うことができなかった。そのため、ここでは地盤の強度分布を(2)式のように単純化して計算を行った。

$$C_u = 0.01 \text{ kgf/cm}^2 \quad (Z < 3.4 \text{ cm})$$

$$C_u = 0.01 + 0.0075Z \text{ kgf/cm}^2 \quad (Z > 3.4 \text{ cm}, Z = 0 \text{ at } 3.4 \text{ cm}) \dots (2)$$

図-15に、2 種類の計算値を実験値とあわせて示した。実験値と計算値を比較すると、基礎幅が小さい場合にはいずれの計算値も実験値と良い一致を示しているが、基礎幅が大きくなると円形すべり計算は支持力を過大に評価する傾向が見られる。この原因は基礎幅の小さい範囲ではすべり線が地表面近くの強度の様な部分内を通るため実験値と一致する値を与えるものの、基礎幅が大きくなり強度の変化する範囲にまですべり線が達すると解析解でのすべり線と異なってくるためである。一方、Davis and Booker による計算値は実験値と良い一致を示している。

#### 5. 偏心傾斜支持力実験 (1)

ここでは、カオリン粘土を用いた正規圧密地盤に対して鉛直荷重が比較的大きい支持力破壊モードの実験について述べる。

##### 5.1 実験方法

用いた実験装置は図-6 に示したもので、正規地盤の

表-5 支持力破壊モード実験ケース一覧

実験ケース	鉛直荷重 (kgf)	最大水平荷重 (kgf)	偏心量 ( $e/B$ )
1	10.17	1.40	0.018
2	17.43	0.75	0.009
3	20.07	0.62	0.008

作製は 3. に示した通りである。载荷は自重圧密の終了した地盤に、圧密中、水中に浮かせておいた模型基礎を地表面に接地させ、さらに水位を低下させて所定の鉛直荷重を作用させた後、直ちに水平荷重を作用させ、地盤を破壊させた。

5.2 実験結果及び考察

本実験では水平荷重の載荷高さを地表面近くにして、載荷中も偏心量がほぼ 0 に近い状態を保つような条件で行った。実験は表-5 に示すように、4. で求められた鉛直支持力以下の 3 種類の鉛直荷重について行った。水平載荷過程で得られた基礎の水平荷重と水平変位との関係を図-16 に示した。鉛直荷重が小さいほど大きな水平荷重を示す傾向が見られる。最大水平荷重時の変位は 2 ~ 4 mm で、鉛直荷重が小さく水平荷重が大きくなるほど最大水平荷重時の水平変位も大きくなる傾向が見られる。最大水平荷重と鉛直荷重との関係を図-17 に示した。図中、横軸 ( $H/(A \cdot C_0)$ )、縦軸 ( $V/(A \cdot C_0)$ ) は最大水平荷重 ( $H$ ) と鉛直荷重 ( $V$ ) を基礎底面積 ( $A$ ) と地表面強度 ( $C_0$ ) でそれぞれ除して無次元化して示している。なお、ここで用いた地表面強度 ( $C_0$ ) は 4.3 で仮定した  $0.01 \text{ kgf/cm}^2$  である。同図には No. 4 として基礎幅 20 cm の場合の鉛直支持力実験結果もあわせて示した。実験値は鉛直荷重の最も小さい No. 1 での水平荷重が一番大きく、鉛直荷重が大きくなるにつれて水平荷重が小さくなる傾向を示しており、全体に楕円形の包絡面を示している。

5.3 計算値との比較

偏心傾斜支持力の実験値と計算値を比較した。ここでは Vaughan ら<sup>3)</sup> の支持力解と円形すべり法の 2 種類について行った。図-18 に計算値を実験値とあわせて示した。鉛直支持力の場合 (図-15) に見られたように円形すべり計算は鉛直荷重を過大に評価しているため、鉛直荷重が大きい範囲での水平荷重も過大に評価する傾向が見られる。しかし鉛直荷重が小さくなると、実験値に近付いてくる傾向は見られるが、全体としては過大に評価している。一方、Vaughan らの解は鉛直荷重の大小にかかわらず、全体的に実験値と良い一致を示しているこ

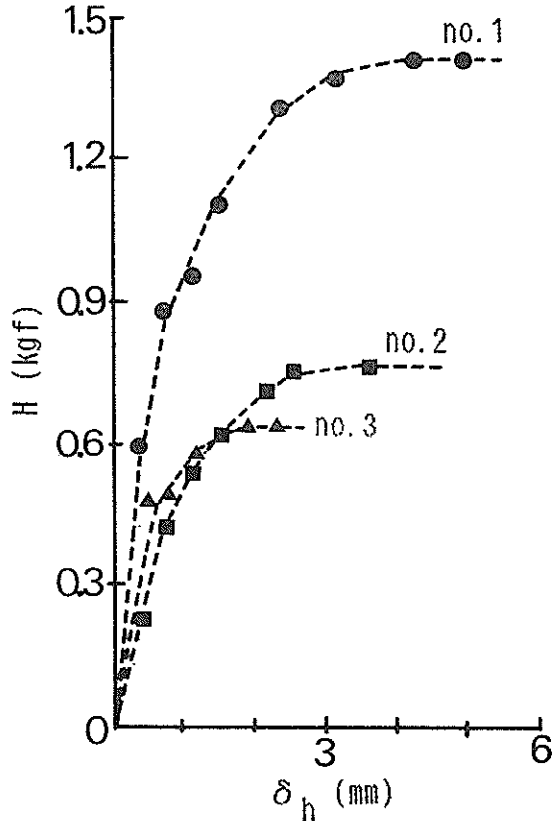


図-16 水平荷重～水平変位

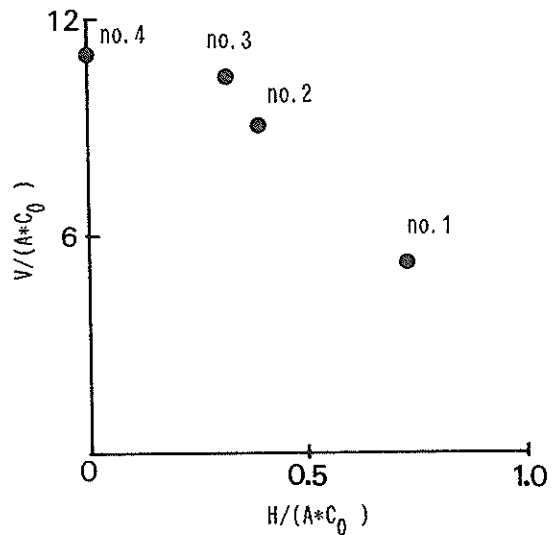


図-17 鉛直荷重～水平荷重 (実験値)

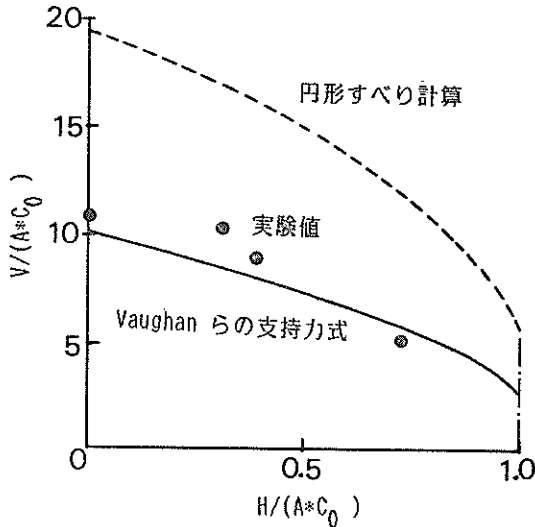


図-18 鉛直荷重～水平荷重 (実験値と計算値)

とがわかる。

### 6. 偏心傾斜支持力実験 (2)

ここでは鉛直荷重が比較的小さく、地盤の破壊が地盤地表面近くで生ずる滑動破壊モードの実験について述べる。実験では地表面強度と水平荷重との関係、鉛直荷重レベルと水平荷重との関係、偏心量と水平荷重との関係

に着目した。

本実験のみ、川崎粘土を用い、過圧密粘土地盤を対象に実験を行った。これは、鉛直荷重が小さい場合、水平荷重の大きさは粘土表面での強度に大きく影響を受け、より深い位置での地盤強度には大きな影響を受けなため、正規圧密地盤を作製する必要がないこと、さらに所定の遠心加速度 (40g) に達するまでに基礎の鉛直荷重による再圧密が生じて、地盤表面の強度の推定が困難にならないようにすることを考慮して、圧密係数が小さく、応力履歴の影響の小さい川崎粘土を用いた。

#### 6.1 実験方法

- (1) 図-7 に示したように、小型試料容器内に基礎の砂層を作製し、あらかじめ含水比 130% の下で良く練り混ぜた川崎粘土を投入した。
- (2) 粘土投入後、0.1~0.4kgf/cm<sup>2</sup> の圧力で予備圧密を行った。予備圧密の終了後、幅 10cm の模型基礎を地盤表面に接地し、水平載荷装置を容器上面にセットした。
- (3) 準備の終了した地盤に遠心加速度を増加させ40g に達した後、直ちに水平載荷を行った。載荷中は基礎の水平荷重及び水平変位を計測し、基礎の鉛直及び回転変位は実験前後に模型基礎の位置を測定して求めた。

#### 6.2 実験結果及び考察

本実験では粘土地盤強度、偏心量を変化させて実験を

表-6 滑動破壊モード実験ケース一覧

実験ケース	偏心量 <i>e</i>	$\sigma_v/q_e$	圧密圧力 $P_c$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	鉛直荷重 <i>V</i> (kgf)	最大水平荷重 <i>H</i> (kgf)	
1	1-1	0	0.2	0.4	11.61	7.09
	1-2		0.1	5.60	2.06	
	1-3		0.4	0.3	17.01	9.00
2	2-1	<i>B</i> /6	0.2	0.1	2.39	1.61
	2-2			0.2	3.95	3.02
	2-3			0.4	7.66	4.65
	2-4		0.4	0.1	3.77	2.18
	2-5			0.2	7.78	4.48
	2-6			0.4	15.82	10.18
3	3-1	<i>B</i> /3	0.2	0.2	1.95	1.56
	3-2			0.4	3.89	3.66
	3-3		0.4	0.1	1.88	1.58
	3-4			0.2	3.90	3.68
	3-5			0.4	8.06	5.34

行ったため、各実験値の比較を行うには、鉛直荷重の絶対値ではなく、鉛直支持力 ( $q_e$ ) との比である鉛直荷重レベルを用いる方が便利である。偏心荷重下の支持力 ( $q_e$ ) を Meyerhof の有効基礎幅の考えをもとに (3) 式で求めた。

$$\sigma_v/q_e = V/A/q_e$$

$$q_e = Nc \cdot C_0 \cdot (1 - 2e/B) \quad \dots\dots(3)$$

ここに、

- A : 基礎の底面積 ( $A = B \cdot L$ )
- B : 基礎幅 (cm)
- $C_0$  : 地表面強度 (kgf/cm<sup>2</sup>)
- e : 偏心量 (cm)
- L : 基礎奥行き長さ (cm)
- Nc : 支持力係数

- $q_e$  : 偏心荷重下の支持力 (kgf/cm<sup>2</sup>)
- V : 鉛直荷重 (kgf)
- $\sigma_v$  : 鉛直応力 (kgf/cm<sup>2</sup>)

実験は表-6 に示す 3 ケース、計 14 回行った。なお、表中の  $\sigma_v/q_e$  は上に示した鉛直荷重レベルを表している。各実験ケースごとに実験結果及び考察を加える。

(1) 地表面強度の影響

実験では予備圧密圧力 ( $p_c$ ) を 0.1~0.4 kgf/cm<sup>2</sup> まで大きく変化させ、地盤の強度と水平荷重との関係を検討した。実験で得られた水平荷重~変位曲線の代表例を図-19 に示した。同図には偏心量 (e) が B/6、鉛直荷重レベル ( $\sigma_v/q_e$ ) が 0.4 と一定で、地盤の強度のみを変化させたもの (実験ケース 2-4~2-6) である。

地盤の強度が増加すると最大水平荷重も大きくなり、最大水平荷重時の変位量もわずかに大きくなる傾向が見られる。最大水平荷重と地表面強度との関係を図-20 に示した。横軸は地表面強度 ( $C_0$ ) を、縦軸は最大水平荷重 (H) を基礎底面積 ( $A = B \cdot L$ ) と地表面強度 ( $C_0$ ) で除して無次元化して示している。同図にプロットした実験データは実験ケース 2-4~3-5 (表-6) についての結果である。偏心量及び鉛直荷重レベルが異なっているため、 $H/(A \cdot C_0)$  の値も大きく異なっているが、同一偏心量、同一鉛直荷重レベルでは、地表面強度が変化しても  $H/(A \cdot C_0)$  の値はほぼ一定であり、地表面強度に比例して水平荷重が大きくなることを示している。

(2) 鉛直荷重レベルの影響

小さな鉛直荷重下の粘土地盤の水平荷重は、一般には

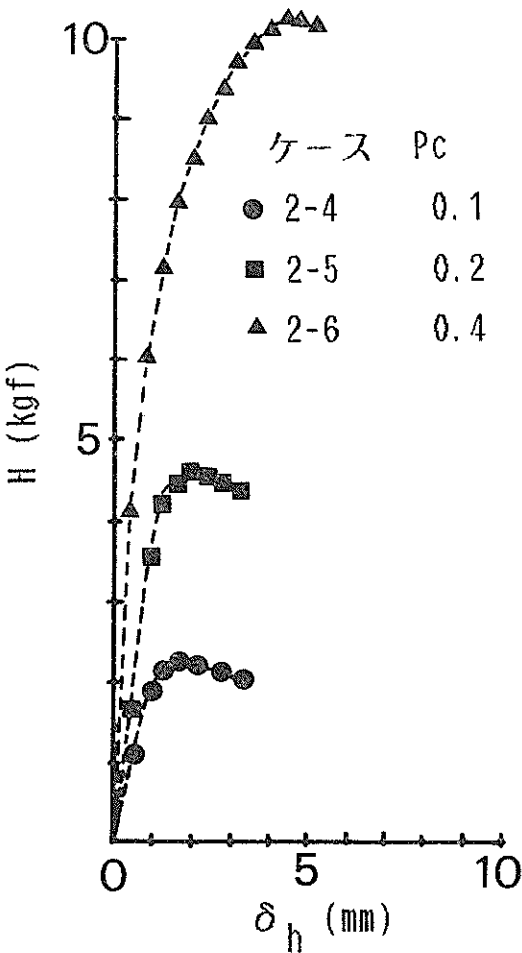


図-19 水平荷重~水平変位

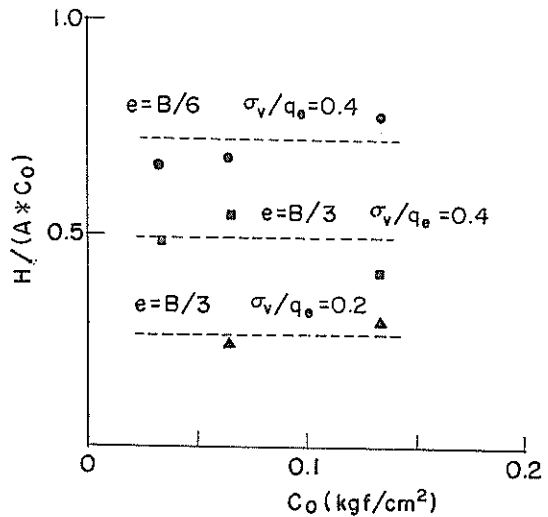


図-20 最大水平荷重~地表面強度



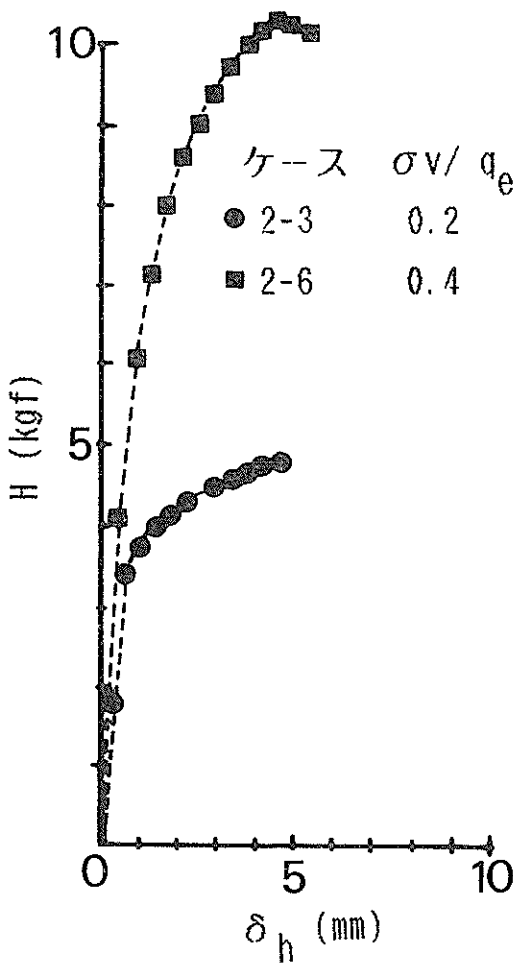


図-21 水平荷重～水平変位

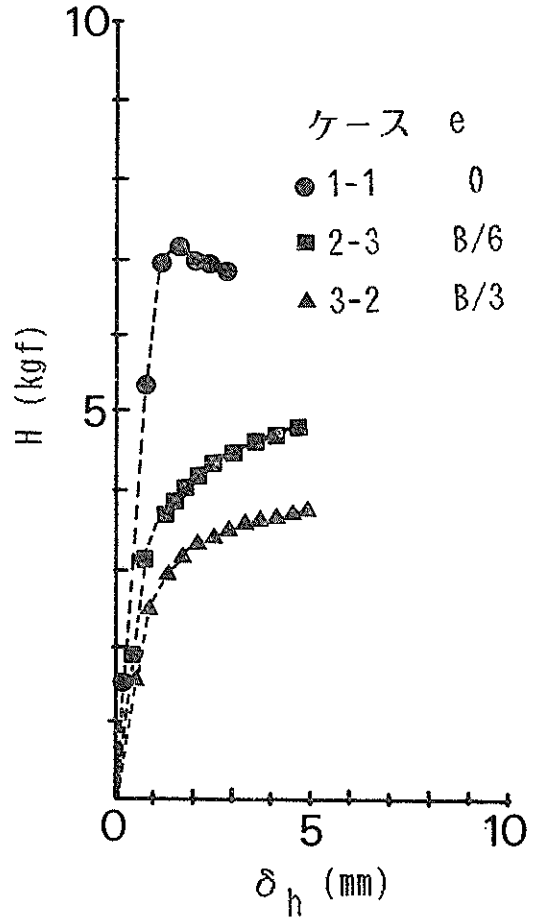


図-23 水平荷重～水平変位

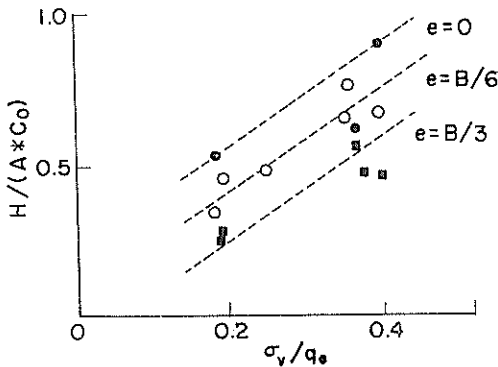


図-22 最大水平荷重～鉛直荷重レベル

鉛直荷重に無関係に地表面強度と基礎の底面積との積で求められると思われている。しかし、あまりにも小さい鉛直荷重の下では、十分に地盤の付着力が発揮しない可能性がある。そのため、ここでは鉛直荷重レベルを変化させた実験を行い、最大水平荷重への影響について検討を加えた。

実験は同一偏心量の下で、鉛直荷重レベル ( $\sigma_v/q_e$ ) を0.2, 0.4と変化させて行った。実験で得られた水平荷重と水平変位との関係の代表例(実験ケース2-3, 2-6)を図-21に示した。実験値には、同一偏心量であっても、鉛直荷重レベル ( $\sigma_v/q_e$ ) が小さくなると水平荷重も小さくなる傾向が見られる。 $\sigma_v/q_e$  と最大水平荷重との関係を図-22に示したが、偏心量が0の場合、 $\sigma_v/q_e$  が0.4程度まで大きければ、 $H/(A \cdot C_0)$ の値はほぼ1で、地表面強度 ( $C_0 \cdot A$ ) 程度の水平抵抗を示すものの、 $\sigma_v/q_e$  が

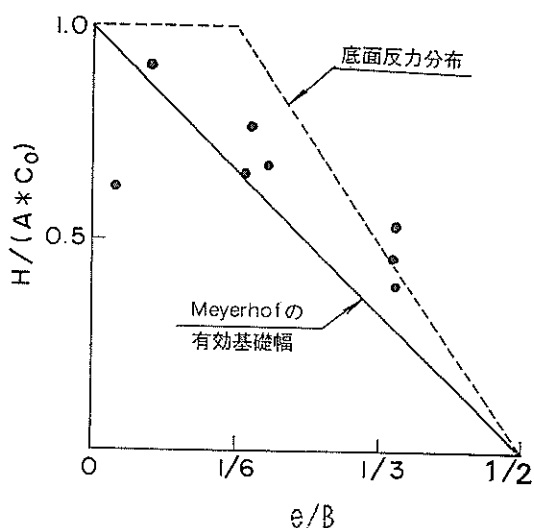
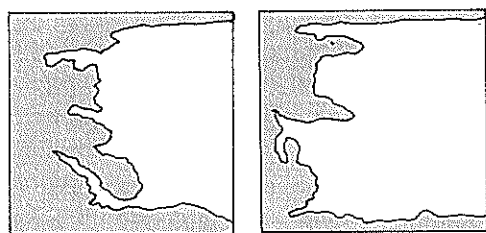


図-24 最大水平荷重～偏心量



(a)実験ケース 2-4  $e = B/6$  (b)実験ケース 3-3  $e = B/3$

図-25 基礎底面の粘土の付着状況

0.2程度にまで減少すると、 $H/(A \cdot C_0)$ の値は約0.5となり、地表面強度の50%程度しか水平抵抗力が発揮しなくなる傾向が見られる。また偏心量の大きい場合にも鉛直荷重レベルによって水平荷重が変化し、その減少割合は偏心量が0の場合とほぼ同様の傾向が見られる。

(3) 偏心量の影響について

鉛直荷重の偏心量を0から  $B/3$  まで変化させた時の水平荷重と水平変位との関係の代表例(実験ケース1-1, 2-3, 3-2)を図-23に示した。偏心量の増加によって最大水平荷重( $H/(A \cdot C_0)$ )が減少する傾向が見られる。鉛直荷重レベル( $\sigma_v/q_e$ )が0.4程度のものについて、最大水平荷重と偏心量との関係をまとめて図-24に示した。偏心量の増加にともない最大水平荷重が減少する傾向が見られる。

このような傾向の原因としては、偏心荷重によって基

礎底面での反力分布が変化し、反力の小さい部分での付着力が、(2)で述べたように減少し、その結果として全体の水平荷重が減少したことが考えられる。底面で発揮されている付着力と底面反力分布との関係を個々に推定するのは困難であるため、ここでは地盤強度と同じ付着力の発揮する面積が偏心量によって変化すると考え、偏心量と水平荷重との関係を検討することとする。このような考え方の妥当性は、図-25に示した実験終了後の基礎底面の粘土の付着状況から、偏心量の大きさによって基礎底面に付着した粘土の範囲が大きく変化する傾向が見られることから確かめられる。そこで付着力の発揮する面積を、①Meyerhofの有効基礎幅に基づく考え方と②底面反力分布に基づく考え方の2種類について検討した。①の考えは、偏心荷重支持力を(4)式で示される有効基礎幅を持つ基礎の鉛直支持力とする考え方で、水平荷重についても同様に適用するもので、最大水平荷重は(5)式で表される。

$$B' = B \cdot (1 - 2e/B) \quad \dots\dots(4)$$

$$H = C_0 \cdot B' \cdot L \quad \dots\dots(5)$$

ここに、

- $H$  : 最大水平荷重 (kgf)
- $C_0$  : 地表面強度 (kgf/cm<sup>2</sup>)
- $B$  : 基礎幅 (cm)
- $B'$  : 有効基礎幅 (cm)
- $L$  : 基礎の奥行き長さ (cm)
- $e$  : 偏心量 (cm)

一方、②は偏心荷重作用時の底面反力を直線分布と仮定すると、偏心量が  $B/6$  より小さい範囲では基礎底面での反力は台形分布であるため、すべての底面で付着力が発揮すると考え、偏心量が  $B/6$  より大きくなると、三角形の反力分布を示すため、反力が0の部分では付着力が発揮しないとする考え方である。以上を式で表すと(6)式ようになる。

$$H = C_0 \cdot B \cdot L \quad (e < B/6)$$

$$H = C_0 \cdot B \cdot L \cdot 3(1/2 - e/B) \quad (e \geq B/6) \quad \dots\dots(6)$$

以上の2つの計算で得られた偏心量と最大水平荷重の関係、実験結果とともに図-24に示した。 $H/(A \cdot C_0)$ は、Meyerhofの考え方では偏心量の増加とともに直線的に減少するが、底面反力を基にした考え方では偏心量が  $B/6$  まででは一定で、偏心量がそれ以上になると直線的に減少する。Meyerhofの考え方は偏心量が  $B/6$  程度の小さい範囲では、実験値と計算値は比較的良い一致を示しているが、偏心量が  $B/3$  程度では計算値は実験値を過少に評価している。一方、底面反力の考え方は

$B/6$  程度では最大水平荷重を過大に評価している。現実には偏心量の大きな構造物はあまり建設されないこと、Meyerhof の考え方が安全側の値を与えていることを考えると、底面反力に基づく考えより Meyerhof の考えの方が良いと思われる。

### 7. 三次元荷重空間での破壊包絡面

これまで5., 6. で、偏心傾斜支持力実験を行い、鉛直荷重 ( $V$ )、水平荷重 ( $H$ )、偏心量 ( $e$ ) の関係を検討してきた。しかし、これまで見てきた破壊包絡面は鉛直荷重、水平荷重、偏心量の3次元の空間に形作られる破壊包絡面をそれぞれ  $V-H$ 面と  $H-e$ 面 で輪切りにして表したものである。ここでは、上記の空間で作られる破壊包絡面について検討を加える。

まず、偏心傾斜支持力実験(1)からは、偏心量がほぼ0の場合の鉛直荷重 ( $V$ ) と水平荷重 ( $H$ ) との関係が、Vaughan らの支持力式ではほぼ推定できること、偏心傾斜支持力実験(2)からは、鉛直荷重が小さい時の水平荷重 ( $H$ ) と偏心量 ( $e$ ) との関係が、Meyerhof の有効基礎幅に基づく考え方によって推定できることを示した。そこでこれらの結果を踏まえ、鉛直荷重、水平荷重、偏心量の空間での破壊包絡面の形を考えると、図-26 のようになると思われる。本来、荷重の軸を偏心量のかわりにモーメント荷重とする方が、軸の次元を合せる意味でも良いと思われるが、モーメント荷重で示される破壊曲面が複雑な形状になること、偏心量の方がより理解しやすいことから、ここでは偏心量で表している。求められた破壊包絡面は偏心量が0の場合には  $V/(A \cdot C_0)$  が小さくなると、 $H/(A \cdot C_0)$  は1まで大きくなるが、更に  $V/(A \cdot C_0)$  が小さくなると逆に減少し、地表面強度程度の水平荷重を期待するためには、ある程度大きな鉛直荷重

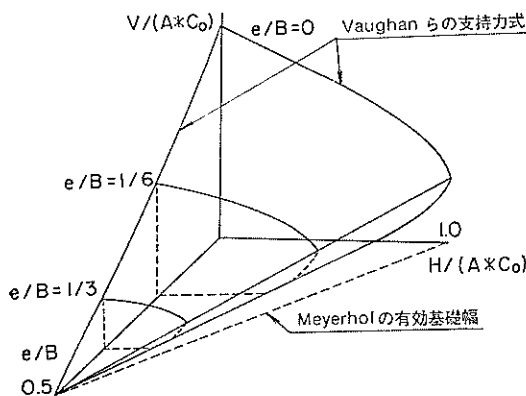


図-26 三次元荷重空間での破壊包絡面

が必要であることを示している。また、偏心量が大きくなるにつれ、 $V/(A \cdot C_0)$  と  $H/(A \cdot C_0)$  の関係はほぼ相似形を保つものの、鉛直荷重と水平荷重の大きさそのものが小さくなることを示している。

### 8. 結 論

本研究で得られた結論を以下に示した。

- (1) 遠心加速度を長時間地盤に作用させ、地盤の自重圧密を起こさせ、深さ方向に強度の増加する正規圧密地盤を作製できることがわかった。また地盤の強度は遠心場で行ったベン試験とコーン試験、室内の要素試験などから推定することができた。
- (2) 正規圧密地盤の鉛直支持力は深さ方向の強度増加の影響を受けるため、基礎の大きさによって大きく変化する。実験で得られた支持力は、Davis and Booker による計算値と良い一致を示したが、円形すべり計算による計算値は支持力を過大評価することがわかった。
- (3) 偏心量がほぼ0の支持力破壊モードの実験から、鉛直荷重成分が大きくなると水平荷重成分が小さくなる傾向が確認された。このような条件での支持力は Vaughan et al. の式で求めることが可能であるが、円形すべり計算は支持力を過大に評価することがわかった。
- (4) 滑動破壊モードの支持力の水平荷重成分は、偏心量の増加にとまらぬほぼ直線的に減少し、この関係は Meyerhof の有効基礎幅の考えを基に推定することが可能である。また、水平荷重成分の大きさは鉛直荷重成分の大きさに影響を受ける。
- (5) 実験結果に基づいて、 $V-H-e$  の3次元空間に破壊曲面を組み立てることができた。この曲面で荷重の偏心量、傾斜角が基礎の支持力に及ぼす影響を統一的に把握することが可能となった。

### 9. あとがき

横荷重を受ける構造物の設計では、従来、ともすると鉛直支持力に対する検討と地表面での滑動に対する検討とを切り離して考える傾向にあった。今回の研究で得られた荷重成分の空間での破壊曲面は、深さ方向に強度が増加する正規地盤での偏心傾斜荷重下の支持力の理解を高めるために有益なものと考えている。

正規圧密の粘土地盤に直接基礎を設置する事例は、港湾の分野では一般的ではない。しかし、比較的小さな波力を対象とする防波堤では、重力式の構造物と地盤改良の組み合わせという従来常識にとらわれず、軽量の堤体

## 正規圧密地盤上の浅い基礎の支持力

を粘土地盤に直接建設するアイデアがあってもよい。本研究の直接のきっかけとなったのは、第四港湾建設局のこの種の防波堤（平型軟着底防波堤）の開発研究であり、測量試験費による支援を受けた。関係各位の御理解に感謝したい。

本研究を通して、遠心場で正規圧密地盤が再現できることが確認され、現場で生ずるさまざまな問題についての遠心模型実験の適用の可能性が広がった。また複雑な荷重条件での実験も可能となり、今後ますます遠心模型実験の適用範囲が広がるものと思われる。

(1988年6月30日受付)

### 参考文献

- 1) 寺師昌明：遠心力載荷実験手法とその適用例—深層混合処理改良地盤の挙動—，港湾技術研究所講演会講演集，1985，pp.119-184.
- 2) Davis E.H. & Booker, J.R.: The effect of increasing strength with depth on the bearing capacity of clays, *Geotechnique* Vol. 23, No. 4,

1973, pp. 551-563.

- 3) Vaughan, et al.: Stability analysis of large gravity structures, *BOSS '76*, 1976, pp.467-487.

### 記号表

$A$	: 基礎の底面積 ( $A = B * L$ )
$B$	: 基礎幅 (cm)
$B'$	: 有効基礎幅 (cm)
$C_0$	: 地表面強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )
$C_u$	: 非排水せん断強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )
$e$	: 偏心量 (cm)
$H$	: 最大水平荷重 (kgf)
$L$	: 基礎奥行き長さ (cm)
$q_c$	: コーン支持力 (kgf/cm <sup>2</sup> )
$q_e$	: 偏心荷重下の支持力 (kgf/cm <sup>2</sup> )
$N_c$	: 支持力係数
$V$	: 鉛直荷重 (kgf)
$\sigma_v$	: 鉛直応力 (kgf/cm <sup>2</sup> )