

独立行政法人港湾空港技術研究所

# 港湾空港技術研究所 報告

---

REPORT OF  
THE PORT AND AIRPORT RESEARCH  
INSTITUTE

---

VOL.44    NO.2    June 2005

NAGASE, YOKOSUKA, JAPAN

INDEPENDENT ADMINISTRATIVE INSTITUTION,  
PORT AND AIRPORT RESEARCH INSTITUTE



# 港湾空港技術研究所報告 (REPORT OF PARI)

第 44 卷 第 2 号 (Vol. 44, No. 2), 2005年6月 (June 2005)

## 目 次 (CONTENTS)

1. 台風 0314 号による大韓民国馬山湾の高潮の現地調査と数値計算  
.....河合 弘泰・富田 孝史・平石 哲也・安田 誠宏..... 3  
(Field Investigation and Numerical Simulation of Storm Surge in Masan Bay, Korea by Typhoon 0314  
..... Hiroyasu KAWAI, Takashi TOMITA, Tetsuya HIRAISHI, Tomohiro YASUDA)
2. 台風 0314 号の高潮による大韓民国馬山市街地での浸水に関する数値計算  
.....平石 哲也・河合 弘泰・南 靖彦・安田 誠宏 ..... 23  
(Numerical Simulation on Inundation in Masan City, Korea due to Storm Surge by Typhoon 0314  
..... Tetsuya HIRAISHI, Hiroyasu KAWAI, Yasuhiko MINAMI, Tomohiro YASUDA)
3. 非固定航路で不連続的に観測された流況データからの潮汐成分と残差流成分の分離手法について  
.....鈴木高二朗・竹田晃・橋本典明..... 39  
(Separation of Tidal and Subtidal Currents from Intermittent Currents Data measured at non-Fixed Routes  
..... Kojiro SUZUKI, Akira TAKEDA, Noriaki HASHIMOTO)
4. 管中混合固化処理地盤の強度変動と要因分析  
.....北詰昌樹・早野公敏..... 57  
(Strength Scatter and its Causes of Pneumatic Flow Mixing Treated Ground  
..... Masaki KITAZUME, Kimitoshi HAYANO)
5. 海水流動の 3 次元性を考慮した高潮・津波数値シミュレータ STOC の開発と津波解析への適用  
.....富田孝史・柿沼太郎..... 83  
(Storm Surge and Tsunami Simulator in Oceans and Coastal Areas (STOC)  
..... Takashi TOMITA, Taro KAKINUMA)
6. 構造物の沈下挙動を制御する新型基礎に関する基礎的研究  
.....水谷崇亮・菊池喜昭..... 99  
(Fundamental study on a new type foundation which control settlements of a structure  
..... Taka-aki MIZUTANI, Yoshiaki KIKUCHI)
7. 飛砂の限界摩擦速度変化特性を考慮した飛砂量推定  
.....有働恵子..... 123  
(Sand Transport Rate Estimate Considering Variation in the Threshold Wind Shear Velocity  
..... Keiko UDO)

## 構造物の沈下挙動を制御する新型基礎に関する基礎的研究

水谷 崇亮\*・菊池 喜昭\*\*

### 要 旨

近年、空港などの土木施設が地盤条件の悪い沿岸部に立地する例が増えている。このような場合、粘性土層の圧密による長期的な地盤沈下・それに伴う構造物の不同沈下が問題となり、構造物の設計の際にこれらを考慮する必要がある。通常、沈下対策として地盤改良を行ったり、杭基礎を利用するなどして構造物の沈下を抑止するが、このような対策工には費用がかかる。また、既存空港の拡張工事では、空域制限により使用できる重機が限られ、十分な深さまで地盤改良が行えない場合もある。そのため、多少の沈下が生じても構わないような構造物の場合には、沈下を許す設計の採用が考えられる。しかしながら、たとえ沈下が許される構造物であっても、構造物の不同沈下量が大きくなれば供用上問題を生じる。このような問題に対する対策として、沈下は許すがその沈下量がある程度の範囲内でコントロールしたり、構造物の不同沈下を抑制できる新しい基礎形式(沈下制御型基礎と呼ぶ)の開発を目指して基礎的研究を行なった。新型基礎の当面の検討の適用対象としては、面積が大きく上部構造物等による単位面積あたりの上載荷重が小さい構造物、基礎自体の挙動が構造物全体の挙動に比較的大きな影響を与える構造物を想定している。

本研究では、まず、パイルドラフト基礎及び軽量基礎について模型実験・二次元数値解析により地盤の圧密に伴う基礎の沈下挙動を調査した。その結果、パイルドラフト及び軽量基礎により基礎の平均沈下・不同沈下を抑制できることを確認した。また、パイルドラフトの杭頭とスラブの結合部の剛性が重要であること、軽量基礎で偏心が大きすぎると施工初期に大きな傾斜を持つ可能性があることなども併せて確認した。次に、これらの特性を組み合わせ沈下制御型基礎の試案を作成した。新しい基礎は周囲に板状の脚を持ち、スラブ部に空洞を設けることで重心を偏心させたものである。この基礎について三次元数値解析でその挙動を調査し、沈下制御型基礎という基礎形式の実現可能性があることを確認した。

キーワード：不同沈下，基礎，室内模型実験，数値解析

\* 地盤・構造部主任研究官

\*\* 地盤・構造部基礎工研究室長

〒239-0826 横須賀市長瀬 3-1-1 独立行政法人港湾空港技術研究所  
電話：046-844-5057 Fax：046-844-0618 e-mail:mizutani@pari.go.jp

## Fundamental study on a new type foundation which control settlements of a structure

**Taka-aki MIZUTANI\***

**Yoshiaki KIKUCHI\*\***

### Synopsis

In Japan, soft clayey strata lie thick in coastal areas, therefore it is a matter of great importance in coastal constructions how to prevent the subsidence of foundation. Pile foundation, which is costly, is often used to avoid the subsidence of structure. However, depending on the type of structures, the subsidence itself is not very important if it remains in permissible range, but the differential settlement have to be mitigated. In this paper, a new type of foundation, which could control the average settlement and reduce the differential settlement of structures, was proposed. One of the features of the new foundation was that the centre of balance was shifted from the centre of foundation to the side at which soft soil strata lie thinner. Another point of the proposed foundation was the short end wall attached to the edge of foundation. A series of two-dimensional and three-dimensional numerical analyses has been conducted to study about the behaviour of the new foundation. The result of analyses revealed that the proposed foundation could reduce the differential settlement of structure. It was also found that the end wall must be rigidly connected to the raft to obtain large effectiveness. On the other hands, it was true that the excessive shift of the centre of balance was harmful, because the lighter side of foundation float up and the foundation have a tilt at the beginning of the construction. Last of all, the applicability of the proposed foundation was discussed.

**Key Words** : Differential settlement, Foundation, Model test, Numerical analysis

---

\* Senior Reseacher, Geotechnical & Structural Engineering Department

\*\* Head, Foundations Division, Geotechnical & Structural Engineering Department  
3-1-1 Nagase, Yokosuka, 239-0826 Japan  
Phone : +81-46-844-5057 Fax : +81-46-844-0618 e-mail:mizutani@pari.go.jp

## 目 次

要 旨 .....	99
1. 序論 .....	103
1.1 研究の背景と目的 .....	103
1.2 既往の研究及び本研究の研究手法 .....	103
2. パイルドラフト基礎の沈下抑制効果に関する模型実験 .....	104
2.1 実験概要 .....	104
2.2 実験結果の検討 .....	105
2.3 パイルドラフト型基礎の模型実験結果のまとめ .....	106
3. パイルドラフト基礎の沈下抑制効果に関する数値解析 .....	107
3.1 解析条件及び解析手法 .....	107
3.2 解析結果の検討 .....	108
3.3 パイルドラフト型基礎の沈下抑制効果に関する数値解析結果のまとめ .....	111
4. 軽量基礎の沈下抑制効果に関する模型実験 .....	112
4.1 実験概要 .....	112
4.2 実験結果の検討 .....	112
4.3 軽量基礎の模型実験のまとめ .....	115
5. 軽量基礎の沈下抑制効果に関する数値解析 .....	115
5.1 解析方法及び解析条件 .....	115
5.2 解析結果の検討 .....	115
5.3 軽量基礎の関する二次元数値解析のまとめ .....	117
6. 新型基礎の原案及び三次元数値解析による挙動の調査 .....	117
6.1 解析対象とした新型基礎の原案 .....	117
6.2 解析方法及び解析条件 .....	117
6.3 解析結果の検討 .....	118
6.4 新型基礎の三次元数値解析のまとめ .....	120
7. 新型基礎の問題点及び適応性の検討 .....	120
7.1 新型基礎の形状 .....	121
7.2 基礎本体の剛性 .....	121
7.3 基礎の施工初期の傾斜 .....	121
7.4 新型基礎の応用的な利用 .....	121
8. 結論 .....	122
謝 辞 .....	122
参考文献 .....	122

## 1. 序論

### 1.1 研究の背景と目的

近年、空港などの土木施設が地盤条件の悪い沿岸部に立地する例が増えている。このような場合、粘性土層の圧密による長期的な地盤沈下・それに伴う構造物の不同沈下が問題となり、構造物の設計の際にこれらを考慮する必要がある。通常、沈下対策として地盤改良を行ったり、杭基礎を利用するなどして構造物の沈下を抑制するような設計が採用されるが、このような対策工には費用がかかる。また、既存空港の拡張工事では、空域制限により使用できる重機が限られ、十分な深さまで地盤改良が行えない場合もある。そのため、多少の沈下が生じて構わないような構造物の場合には、沈下を許す設計が採用されてきた。

しかしながら、たとえ多少の沈下が許される構造物であっても、構造物の不同沈下量が大きくなれば供用上問題を生じる。また、沈下を許す設計の構造物と沈下しないように設計された重要構造物との間で沈下量に差が生じ、この間をつなぐ通路やパイプラインなど様々な施設に害を及ぼすことも考えられる。筆者らは、これらの問題に対する対策として、沈下そのものは許すがその沈下量のある程度の範囲内でコントロールしたり、構造物の不同沈下を抑制できるような新しい基礎形式（沈下制御型基礎と呼ぶ）の開発を目指して研究を行なっている（水谷・菊池 2003, 2004, Mizutani and Kikuchi 2004）。本稿では、研究の第一段階として、模型実験や FEM 数値解析の結果から沈下制御型基礎の試案を作成し、さらに三次元数値解析でその挙動を確認して、沈下制御型基礎の実現可能性を検討する。新しい基礎の当面の適用対象としては、面積が大きく上部構造物等による単位面積あたりの上載荷重が小さい構造物など基礎構造物自体の挙動が構造物全体の挙動に比較的大きな影響を与える構造物（例えば、駐車場や空港のエプロン、ハンガーなど）を想定している。

### 1.2 既往の研究及び本研究の研究手法

新型の基礎をゼロから開発することは大変難しいし、実用化までに必要な期間を考えても現実的でない。そこで、新型の基礎形式への手掛りをパイルドラフト基礎と軽量基礎に求めることにした。まずはじめに簡単な模型実験と二次元 FEM 数値解析を行なってこれらの基礎形式の沈下抑制効果を検証し、その後、両者の良い点を生かしたより効果的な新型の基礎形式の試案を作成することを目指した。研究のフローを図-1 に示す。

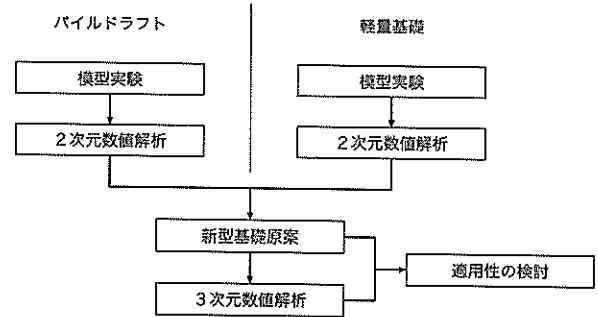


図-1 研究のフロー

パイルドラフト基礎は既存の構造形式であり、特に建築分野ではその原型が1960年前後から用いられている。ただし、荷重伝達機構が複雑なことから採用されない場合もあり、それ程広く普及しているとは言い難い（地盤工学会 1999）。しかしながら、近年、実測データの蓄積が進み、また様々な設計方法の提案が行なわれるなど、今後発展が見込まれる基礎形式である。この基礎形式を地盤の圧密沈下による構造物の沈下対策として用いることに関してはまだ検討例が少ないが、大野ら（1999）が数値解析による研究を行なっている。大野らは数値解析の結果、上載荷重が偏心している際にはパイルドラフトにより不同沈下を抑制できるが、支持地盤の傾斜による構造物の不同沈下に対してはパイルドラフトは効果を持たないとしている。しかしながら大野らの解析では粘土層厚に対して杭長が長いことや、構造物・軟弱粘土層厚などの規模が本研究で検討対象とするような港湾地域の構造物に比べてかなり小さいことなどから、本研究では改めてパイルドラフトの沈下抑制効果を検討することとした。

軽量基礎とは、ここでは基礎の一部に軽量部（あるいは空洞部）を設けて重量を軽くし、さらに基礎の重心位置を積極的に変化させたものを指している。あえて基礎を偏心させるため常時・地震時を含めて様々な問題が生じる恐れがあり、実工事に適応する前に検討すべき課題が多くあると考えられる。しかしながら、建築分野で地下室・地下駐車場等のある場合は必然的に同じような構造となっていることなどを考慮すると、想定する基礎の規模が異なるが実現できないものではないと考えられる。本稿は沈下制御型基礎開発のための基礎的な研究であることから、軽量基礎については沈下制御型基礎に適用できるかどうかのみに着目した検討を行ない、その他の諸元・詳細については検討対象としていない。



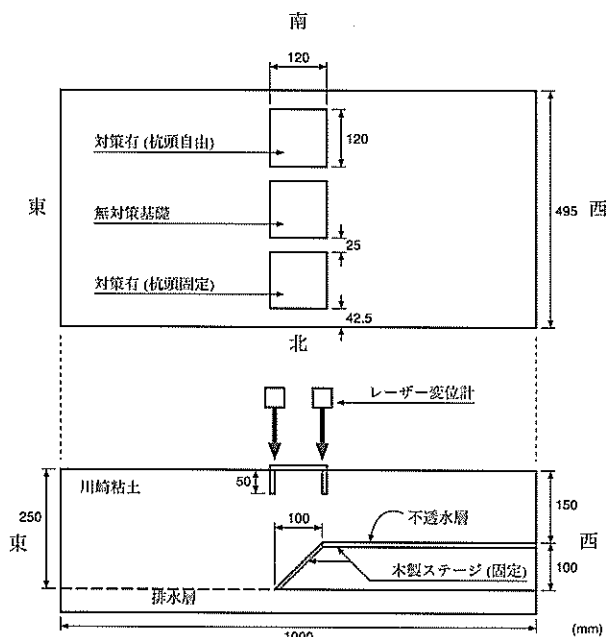


図-2 模型地盤の概略図

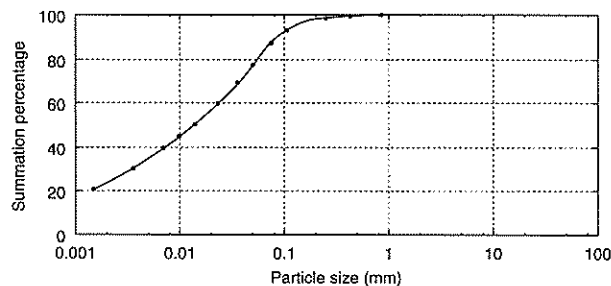


図-3 川崎粘土の粒径加積曲線

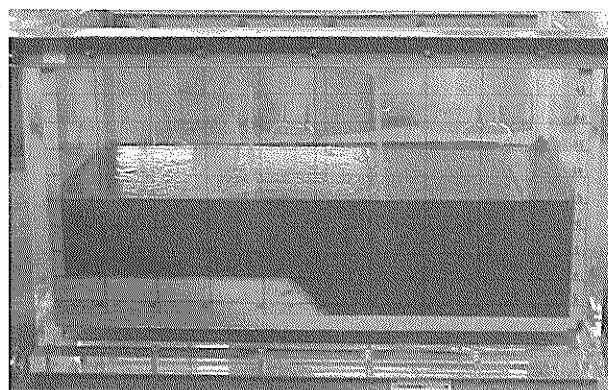


写真-1 地盤作製後の様子 (図-2 とは逆方向から撮影)

## 2. パイルドラフト基礎の沈下抑制効果に関する模型実験

### 2.1 実験概要

幅 1.00m, 奥行 0.50m, 深さ 0.50m のアクリル土槽に図-2 に示すような模型地盤を作製して実験を行なった。地盤材料としては川崎粘土を使用した。川崎粘土の物理特性を表-1 に、粒径加積曲線を図-3 に示す。

表面に防水加工を施した木製の台を土槽の底部に固定しておき、含水比が 90% となるように加水して練り混ぜた粘土を流し込んで地盤を作製する。作製後の粘土層厚は土槽西側で 150mm, 東側で 250mm であり、土槽中央付近でスロープにより粘土層厚が連続的に変化するようにした。地盤作製終了後の土槽の様子を写真-1 に示す。

地盤作製終了後、粘土地盤を一晩放置し、翌朝、無対

策・対策有 (杭頭固定)・対策有 (杭頭自由) の三種の基礎模型を土槽中央部に設置する。模型の概略図を図-4 に、外観を写真-2 に示す。

実験では簡単のため模型の二次元的な挙動を観察することとした。基礎の模型は床版の両端にパイルに相当する板を取り付けたもので、パイルドラフトを二次元的にごく簡素化した形状で模擬した。無対策模型とは床版のみのもの、対策有 (杭頭固定) はパイルに相当する両端の板を床版に剛結したもの、対策有 (杭頭自由) は両端の板を床版にピン結合し回転可能としたものである (写真-2 参照)。いずれの模型もアルミ製で、形状の違いによる重量差が生じないように床版上面にアルミ棒を貼付するなどして、すべての模型の質量を 520g に調整した。

基礎模型の沈下量はレーザー変位計を用い、各模型の四隅で計測した。模型の不同沈下量は模型の東側 (粘土層厚の厚い側) の平均沈下量と西側 (粘土層厚の薄い側) の平均沈下量の差として求めた。模型設置から一週間後に 200g, その一週間後にさらに 200g の鉄板をそれぞれの模型に載せて荷重を増加させ、模型設置から合計三週間にわたって模型の沈下量の計測を続けた。

表-1 川崎粘土の物理特性

土粒子の密度 $\rho_s$	( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	2.706
自然含水比 $w_n$	(%)	74.8
液性限界 $w_L$	(%)	57.5
塑性限界 $w_P$	(%)	27.2
塑性指数 $I_P$	(%)	30.3
pH		8.5
地盤材料の分類名		砂まじり粘土 高液性限界

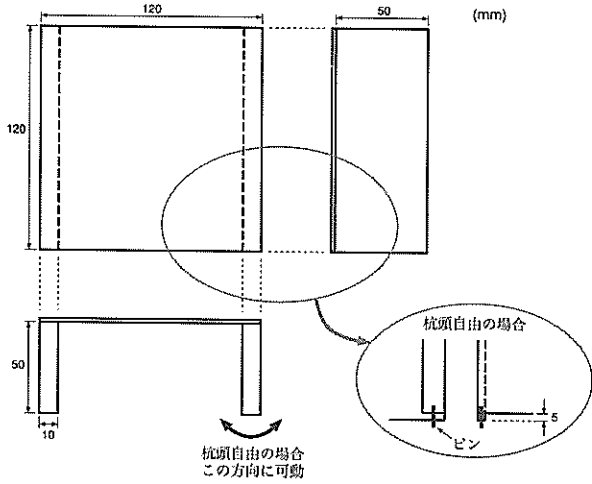


図-4 基礎の模型の概略図

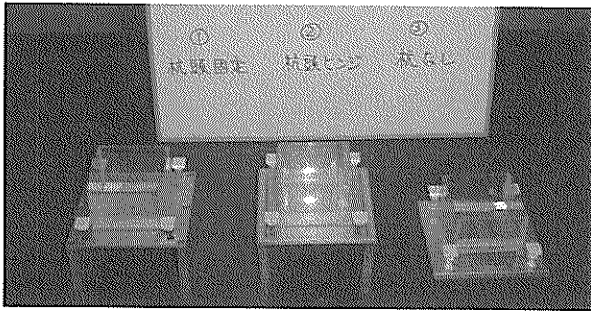


写真-2 基礎模型の外観

## 2.2 実験結果の検討

### (1) 模型地盤の挙動

図-5に模型地盤地表面の沈下状況を示す。粘土層厚の大きい土槽東側では最大17~20mm程度、粘土層厚の小さい土槽西側では最大約12mmの地表面沈下が生じており、土槽東側と西側で5~8mmの不同沈下が生じていることがわかる。

本実験では、模型地盤の水平方向への変位量を計測しなかったが、土槽中央に設置した基礎模型が実験終了時に土槽東側(粘土層厚の大きい側)へ大きく移動していたことから、地盤が圧密により鉛直方向へ沈下するだけでなく水平方向(東西方向)にも変位したことが推測される。また同じく実験終了時の基礎模型の位置から、土槽奥行方向(南北方向)への粘土地盤の変位はほとんど生じていないことも確認された。

### (2) 基礎の沈下挙動

各基礎模型の沈下量の時刻歴を図-6~8に示す。いずれの模型においても粘土層厚の大きい東側沈下量が西側

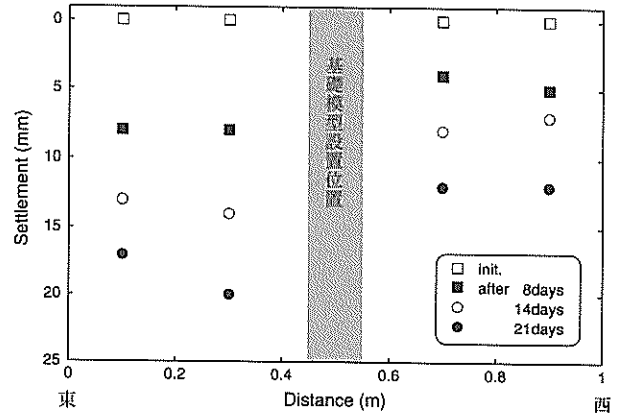


図-5 模型地盤の地表面の沈下量

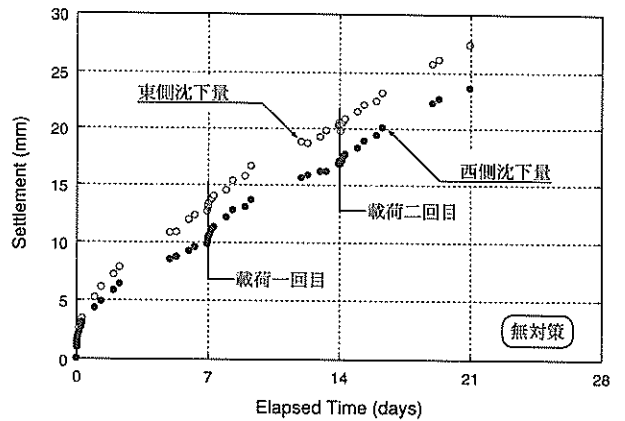


図-6 無対策基礎の沈下時刻歴

沈下量を上回っており、不同沈下が発生していることがわかる。不同沈下については次節で詳しく述べる。

図-6の無対策の場合や図-8の杭頭自由の場合の載荷二回目直後に東側沈下量の減少(基礎の浮き上がり)が観察される。これは、載荷の際、傾いた状態の基礎模型に均等に鉄板を載せることが難しく、一時的に模型の片側にだけ載荷された状況が生じたためであると考えられる。また、杭頭が自由な模型の場合、一旦基礎が浮き上がった後、東側沈下量の増分がそれ以前に比べて大きくなっている。これは、杭頭自由の模型の場合、ヒンジ部の回転が完全になめらかなものではないため、載荷時にそれまで静止していたヒンジが回転して脚と床板の角度が変化し、基礎の沈下挙動が変化したためと考えられる。一方、図-7に示した杭頭固定の場合には基礎が浮き上がるような挙動は観察されておらず、この基礎模型が他の模型に比べて安定な形状であると言える。

図-9に各基礎の平均沈下量の時刻歴を示す。図-9から読み取れるように、杭を取り付けた基礎は杭頭固定・



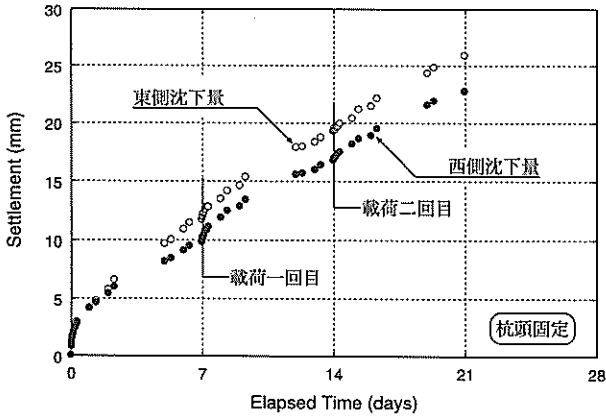


図-7 杭頭固定基礎の沈下時刻歴

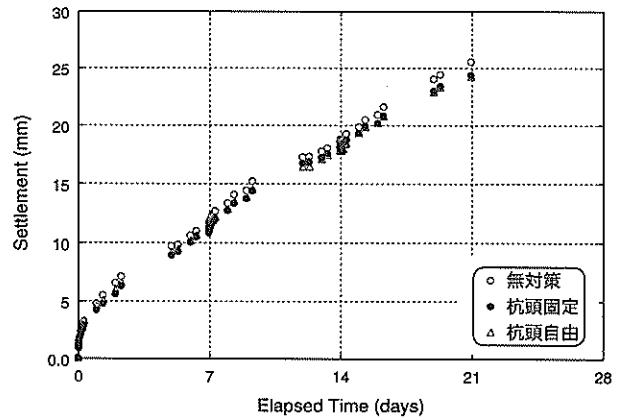


図-9 各基礎模型の平均沈下量の時刻歴

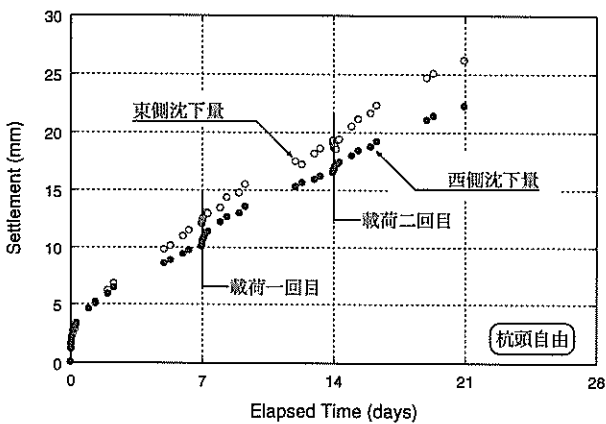


図-8 杭頭自由基礎の沈下時刻歴

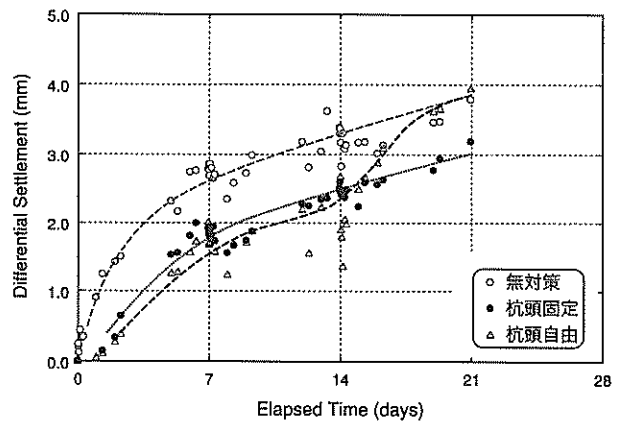


図-10 各基礎模型の不同沈下量の時刻歴

自由の場合とも無対策基礎の沈下量を若干下回っているが、その差はわずかである。本実験の条件では、杭による基礎の平均沈下量の軽減効果は確認できなかったと言ってよい。

### (3) 基礎の不同沈下量

図-10に各模型基礎の不同沈下量の時刻歴を示す。本実験では、各基礎とも不同沈下量があまり大きくないため、計測誤差などの影響で値がばらついている。そこで図-10では、不同沈下量のおおよその変化傾向を示すために補助曲線を入れている。

図-10によると、無対策基礎の場合は実験開始直後に不同沈下量が増加し、7日目に行なった荷一回目以降も増加を続けることが分かる。また、杭頭を固定した基礎の場合には、不同沈下量の変化傾向は無対策基礎の場合とよく似ているが、不同沈下量の大きさは一貫して無対策の場合よりも小さくおさえられている。杭頭自由の基礎では、14日目に二回目の荷を行なうまでは杭頭固

定の場合と非常に良く似た挙動を示しているが、14日目以降に急激に不同沈下量が増加し、無対策の場合と同程度の不同沈下量が発生した。これは、前節で述べたように、荷荷時に杭頭自由の基礎の挙動が乱れたためであると思われる。さらに図-11に実験開始から一週間毎の各基礎の平均沈下量と不同沈下量の関係を示す。このグラフからも杭頭自由の基礎が14日目までは杭頭固定の基礎とほぼ同様の挙動を示していたにもかかわらず、21日目には無対策基礎の挙動に近づいていることが確認できる。

### 2.3 パイルドラフト型基礎の模型実験結果のまとめ

パイルドラフト型基礎の沈下抑制効果について簡単な室内模型実験を行ない、(1)杭を付けることにより基礎の不同沈下を抑制できること、(2)杭頭が自由の場合には杭頭が固定されている場合よりも沈下挙動が不安定となることなどを確認した。杭を付けることによる基礎の平均沈下量の軽減効果については、本実験では確認でき

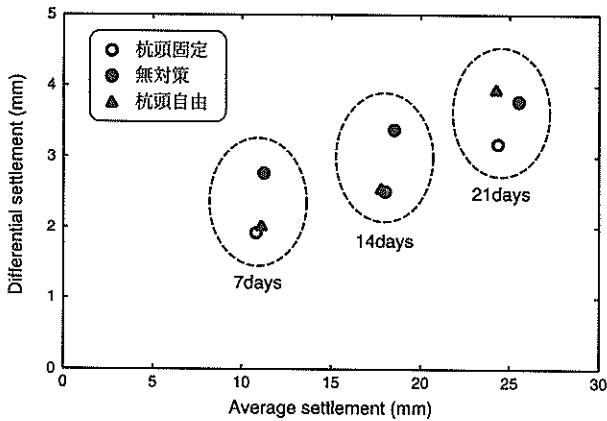


図-11 各基礎模型の平均沈下量と不同沈下量の関係

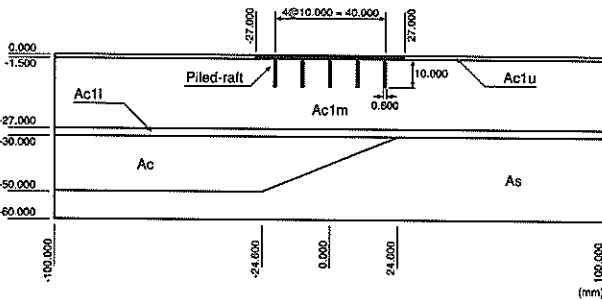


図-12 解析した地盤モデルの例

なかった。本実験に関する問題点としては、実験期間が短かくまた模型も小さいこと、三種の基礎を同時に実験したため互いの連れ込み沈下の影響が出ている可能性があることなどが挙げられる。

### 3. パイルドラフト基礎の沈下抑制効果に関する数値解析

#### 3.1 解析条件及び解析手法

有限要素法による数値解析を行ない、パイルドラフト型の基礎を圧密未了状態の粘土地盤上に構築した場合に発生する基礎の沈下量及び不同沈下量について検討した。解析には地盤解析汎用プログラム GeoFem (小林1990) を使用し、簡単のため二次元の地盤について数値解析を行なった。

解析した地盤モデルの例を図-12 に示す。図-12 中の黒色に塗りつぶした部分がパイルドラフト基礎の部分に対応している。また、図中の「Ac1u」及び「Ac1m」は埋立層、「Ac1l」は中間軟弱層、「Ac」は下部軟弱層、「As」は砂層を表している。解析の際に使用した各土層及び基礎部の材料定数を表-2 に、要素構成モデルを表-3 に示す。

表-3 各土層及び基礎部の要素構成モデル

部材	力学モデル
埋立層 (Ac1u)	線形弾性体モデル (圧密を考慮)
埋立層 (Ac1m)	弾粘塑性体モデル (関口・太田モデル)
中間軟弱層 (Ac1l)	線形弾性体モデル (圧密を考慮)
下部軟弱層 (Ac)	弾粘塑性体モデル (関口・太田モデル)
砂層 (As)	弾塑性体モデル (モール・クーロンモデル)
基礎部	線型弾性体モデル

表-4 解析条件一覧

ケース	杭長 (m)	杭間隔 (m)	杭頭条件
1	—	—	(杭無し)
2	5	5	固定
3	10	5	固定
4	20	5	固定
5	5	10	固定
6	5	20	固定
7	5	40	固定
8	5	10	自由

解析ではパイルドラフトの杭長、杭間隔、杭頭の固定条件などを変化させて沈下挙動の違いを調査した。表-4 に解析した基礎の条件を示す。簡単のため、杭頭固定の場合は杭とスラブを一体構造とし、杭頭自由の場合はスラブの杭接合部の要素をジョイント要素とすることで杭の回転とスラブに対する変位を許す構造とした。

数値解析上の施工工程は図-13 に示す通りである。便宜上、数値計算では全層同時に埋立を行ない、その後各層の自重圧密が始まると考えている。自重圧密が2年間経過した後に基礎の構築を開始するが、この時点では地盤の圧密度は基礎直下部分で40%にとどまっており、圧密未了状態である。基礎構築後、基礎上面に49.1kN/m<sup>2</sup>の上載圧を加え、50年後まで放置して地盤の挙動を計算した。

表-2 各土層及び基礎部の材料定数

	Ac1u 埋立層	Ac1m 埋立層	Ac1l 中間軟弱層	Ac 下部軟弱層	As 砂層	基礎部
E(kN/m <sup>2</sup> )	29.4	-	58.9	-	9.81 × 10 <sup>4</sup>	1.37 × 10 <sup>7</sup>
ν	0.333	0.333	0.333	0.333	0.300	0.170
γ(kN/m <sup>3</sup> )	5.40	5.40	5.40	5.59	9.81	10.8
C(kN/m <sup>2</sup> )	-	-	-	-	9.81	-
φ(°)	-	-	-	-	40.0	-
M	-	1.40	-	1.50	-	-
λ	-	0.380	-	0.420	-	-
κ	-	0.076	-	0.042	-	-
e <sub>0</sub>	-	2.260	-	2.120	-	-
η <sub>0</sub>	-	0.25	-	0.25	-	-
V <sub>0</sub>	-	3.38 × 10 <sup>-9</sup>	-	1.20 × 10 <sup>-9</sup>	-	-
α	-	3.70 × 10 <sup>-3</sup>	-	3.50 × 10 <sup>-3</sup>	-	-
k(m/day)	-	-	-	-	∞	-
Cv(m <sup>2</sup> /day)	0.050	0.050	0.050	0.050	-	1.00 × 10 <sup>-6</sup>
K <sub>0</sub>	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	-

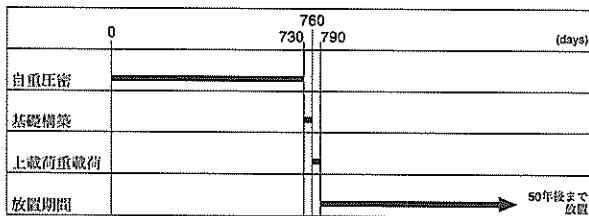


図-13 数値解析で想定した施工工程

### 3.2 解析結果の検討

#### (1) 地盤の変形状況

ケース1(無対策)と、ケース5(杭長5m, 杭間隔10m)の50年後の地盤の変形状況を図-14, 15に示す。地盤全体の変形パターンについては両者の間に大きな差はない。しかしながら、杭があるケース(図-15)では地盤の変形が杭先端以深で発生おり、また、杭と杭の間で地盤がアーチ状に盛り上がるような形状の変形を示している。杭と杭の間の地盤が杭によりしっかりと保持され、基礎と一体化したような挙動をとっていることが推測される。さらに、図-16に示したケース7(杭長5m, 杭間隔40m)の50年後の地盤の変形状況においても図-15と同様の変形パターンが確認できる。杭間隔が大きい場合でも杭が基礎下の地盤を拘束できることがわかる。

図-17にケース4(杭長20m, 杭間隔5m)の場合の50年後の地盤の変形状況を示す。全体的な地盤の変形状況・

杭間の地盤の変形状況ともに杭長が短いケース5(図-15)とそれ程大きくは異ならない。しかしながら、粘土層厚の小さい側(基礎右端付近)の杭直下で地盤が大きく圧縮されており、杭下端が支持地盤(As層)の影響を受けている可能性があると思われる。

#### (2) 杭長の影響

杭間隔が等しく、杭長の異なるケース2~4と杭が無いケース1について、基礎構築1年後, 5年後, 50年後の平均沈下量と不同沈下量の関係を図-18に示す。図-18中の数字は各プロットが基礎構築何年後のデータであることを表している。

図-18でまず平均沈下量に着目すると、杭長が長くなるに従って基礎の平均沈下量が小さくなっていくことがはっきりと読み取れる。杭長5mの基礎では平均沈下量は無対策の場合と大きくは変わらないが、杭長10mの基礎では無対策の場合の80%程度、杭長20mの場合には無対策の場合の40%程度にまで平均沈下量が軽減されている。杭長を長くすることによる平均沈下量の軽減効果は非常に大きいと言える。

一方、不同沈下量については、いずれの杭長でも無対策の場合よりも大きく軽減されており、杭長によらず不同沈下を抑制できることがわかる。また、図-18からは、杭長5m, 10mの場合よりも杭長20mの場合の方が不同沈下量が若干大きくなっていることも読み取れる。これ

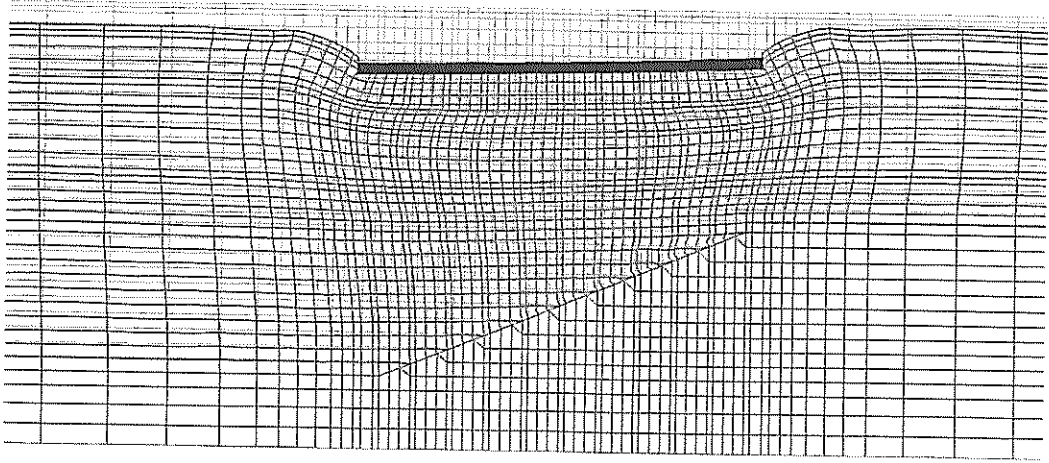


図-14 無対策基礎の場合の地盤の変形状況 (50年後)

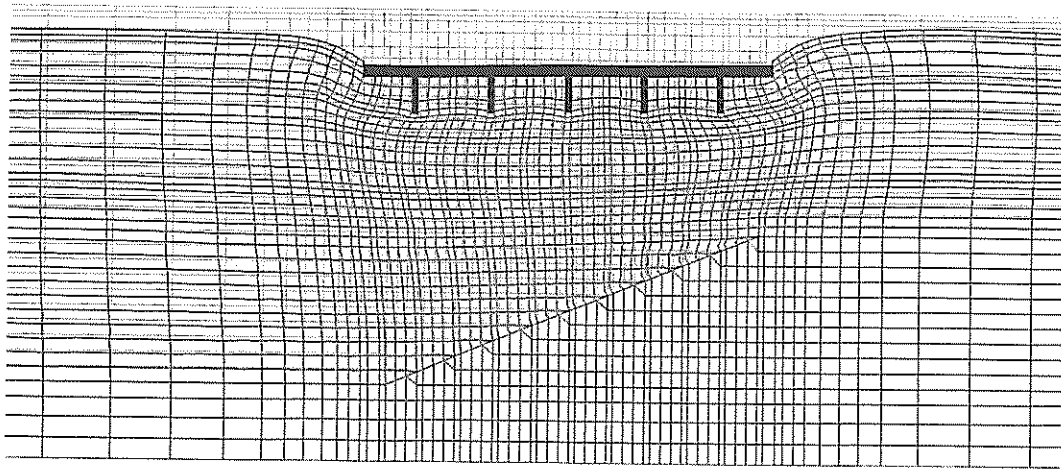


図-15 パイルドラフト形基礎 (杭長 5m, 杭間隔 10m) の場合の地盤の変形状況 (50年後)

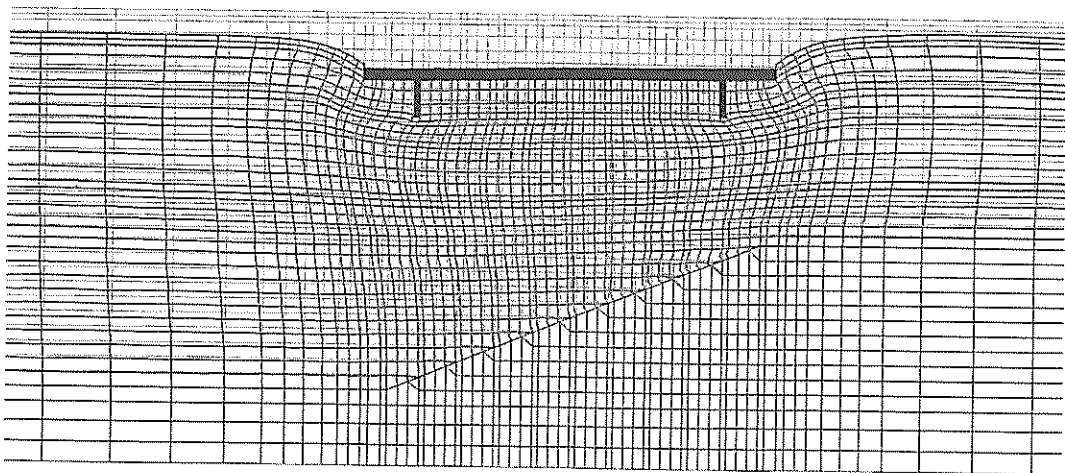


図-16 パイルドラフト形基礎 (杭長 5m, 杭間隔 40m) の場合の地盤の変形状況 (50年後)

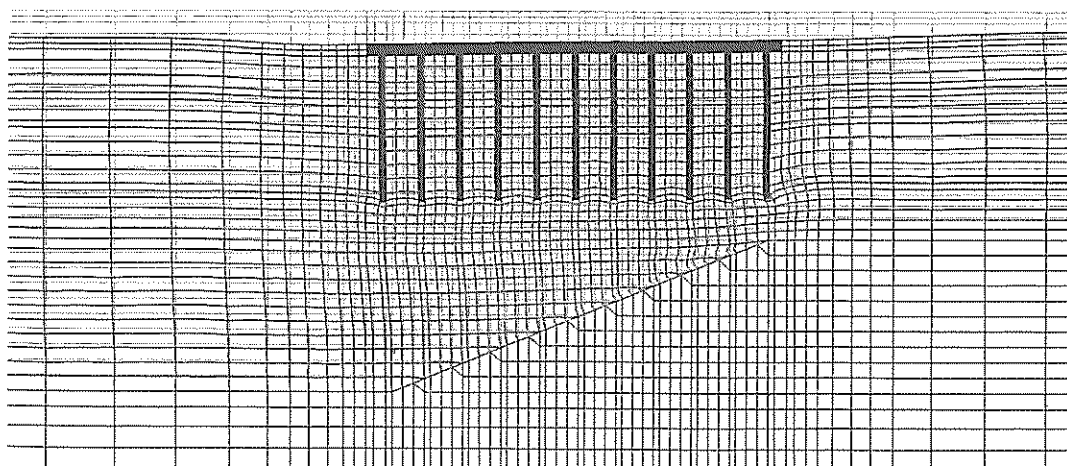


図-17 パイルドラフト形基礎（杭長 20m, 杭間隔 5m）の場合の地盤の変形状況（50年後）

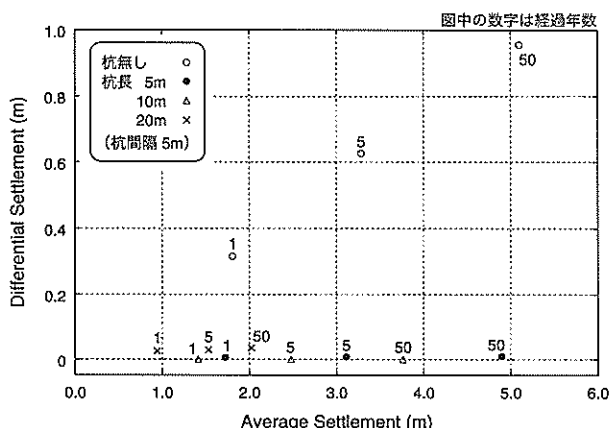


図-18 平均沈下量と不同沈下量の関係（杭長の影響）

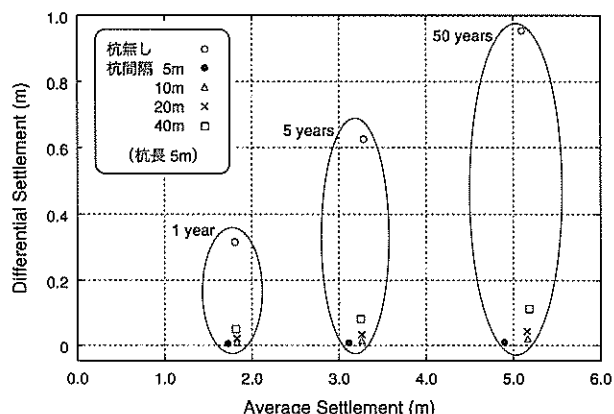


図-19 平均沈下量と不同沈下量の関係（杭間隔の影響）

は、杭長が20mの場合、杭先端が支持層であるAs層にかなり近い位置にあるため（図-12参照）、わずかに先端抵抗を発揮してしまい、各杭毎に支持層の深さが異なることによる影響を受けてかえって基礎の不同沈下を生じさせてしまったものと推測される。

### (3) 杭間隔の影響

杭長が等しく杭間隔が異なるケース2, 5~7と無対策のケース1について、基礎構築1年, 5年, 50年後の平均沈下量と不同沈下量の関係を図-19に示す。

図-19によると、杭間隔が5mの場合に基礎の平均沈下量が無対策の場合より若干小さくなっているものの、その他のケースでは無対策の場合と同程度の平均沈下量が生じている。このことから杭間隔が広いと基礎の平均沈下量の軽減効果は小さくなることが推測される。

また、基礎の不同沈下については、杭間隔が広くなるに従って沈下量が大きくなる傾向が図-19から読み取れる。しかしながら、杭間隔が40mとかなり広い場合でも不同沈下量を無対策の場合の15%程度にまで軽減できている。本解析ケースでは杭間隔40mの場合、杭は基礎の両端近くに各1本ずつ計2本あるだけである。このことから、基礎の不同沈下量については、杭の間隔の影響は少なく、杭がありさえすれば不同沈下をかなり軽減できるのではないと思われる。

### (4) 杭頭固定条件について

図-20に、杭長・杭間隔が同条件で杭頭固定条件が異なるケース5, 8と無対策のケース1の基礎構築1, 5, 50年後の平均沈下量と不同沈下量の関係を示す。

図から明らかなように、杭頭が固定されている場合に

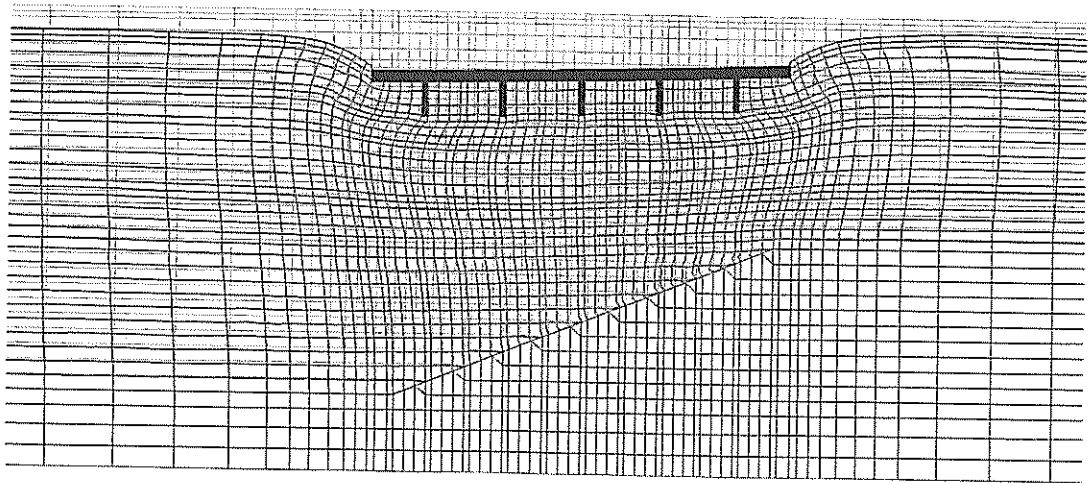


図-21 杭頭自由（杭長 5m, 杭間隔 10m）の場合の地盤の変形状況（50年後）

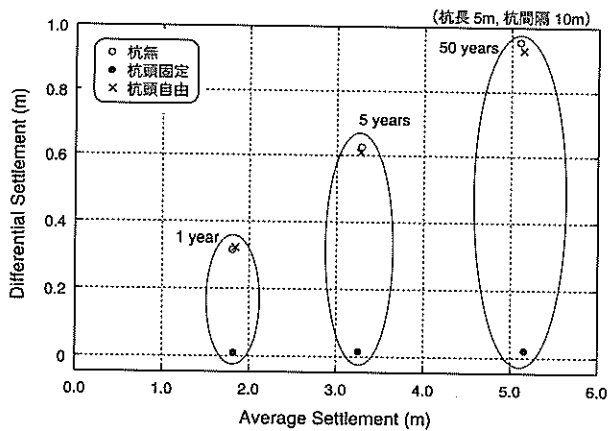


図-20 平均沈下量と不同沈下量の関係（杭頭固定条件の影響）

は特に基礎の不同沈下量について大幅な軽減効果が期待できるが、杭頭が自由の場合には平均沈下・不同沈下の両者について軽減効果が全く発揮されていない。このことから、杭頭の固定条件が非常に重要であることが分かる。

さらに図-21に杭頭自由の場合の50年後の地盤の変形状況を示す。全体的な地盤の変形状況については、図-14、15に示した杭無しの場合や杭頭固定の場合の地盤の変形状況と大きくは異ならない。しかしながら、図-15で見られたような杭先端の間の地盤のアーチ状の変形状は図-21の杭頭自由の場合には見られない。杭頭自由の基礎では杭間の地盤をしっかりと拘束することができないため、無対策の基礎と同じような挙動になると思われる。

ところで、前章で述べた模型実験では、杭頭自由の場合

でも実験途中まで沈下軽減効果が見られ、実験途中で無対策の基礎の挙動との差がなくなったが、数値解析では解析当初から沈下抑制効果が確認されなかった。この原因の一つとして、模型実験の模型杭頭はヒンジで固定しているため回転が完全に自由という訳にはいかないが、数値解析では杭頭の回転が全く抵抗なしに許されることが挙げられる。また、模型実験では杭長（10cm）が上部軟弱粘土層厚（15cm）の1/3あったため実験開始当初は杭が多少は効果を発揮できたが、数値解析では杭長（5m）が粘土層厚（30m）の1/6しかなかったため、解析開始当初から杭が働かなかったということもあるかも知れない。いずれにせよ、杭頭がしっかりと固定されていないと、杭が基礎の平均沈下量・不同沈下量の軽減に貢献できないことは明らかである。

### 3.3 パイルドラフト型基礎の沈下抑制効果に関する数値解析結果のまとめ

パイルドラフト型基礎の沈下抑制効果に関し二次元数値解析を行なった結果、杭長が長ければ基礎の平均沈下量は軽減できるが不同沈下に関して悪影響が出る場合があること、不同沈下の抑止効果に関しては杭長・杭間隔はそれ程大きな影響を与えないことなどがわかった。また、杭頭部の固定条件が基礎の沈下挙動に与える影響は大変大きく、沈下を軽減するには杭頭部とラフト部の結合の剛性を高める必要があることを確認した。



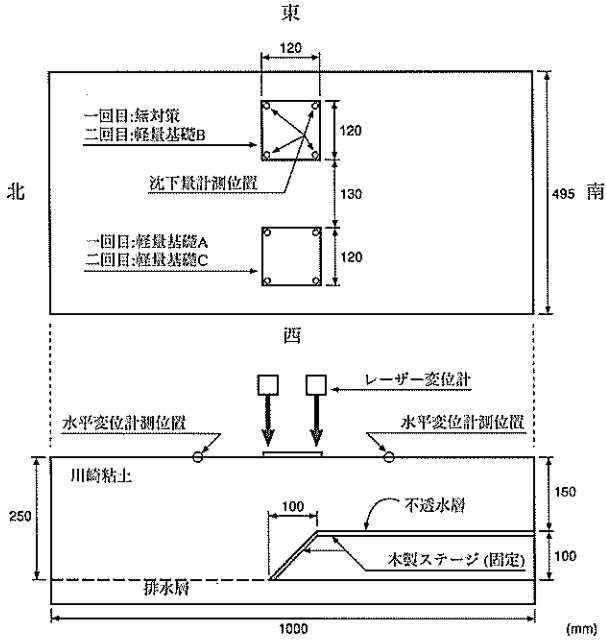


図-22 模型地盤の概略

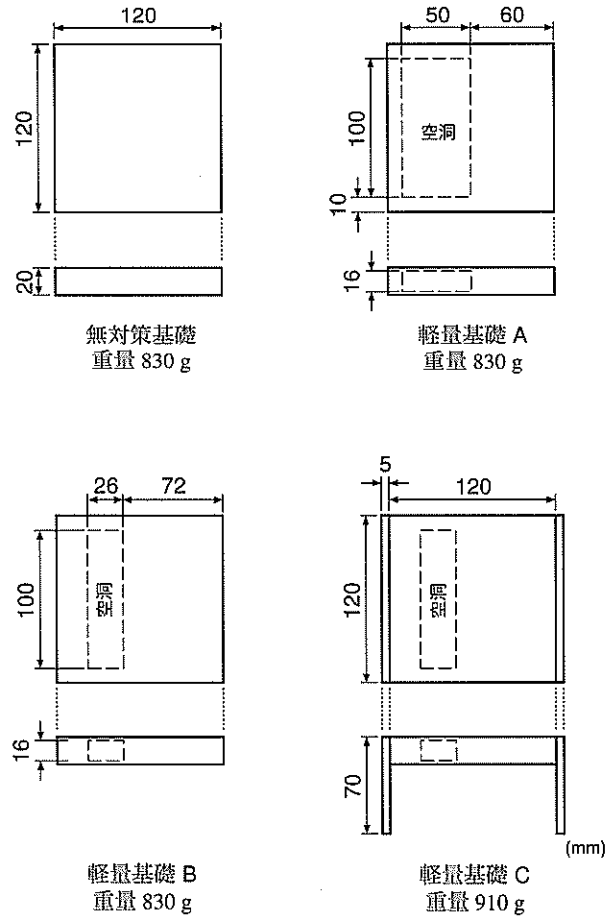


図-23 基礎模型の概略

#### 4. 軽量基礎の沈下抑制効果に関する模型実験

##### 4.1 実験概要

模型地盤の概略図を図-22に示す。地盤作製手順は2.1節で述べたパイルドラフト型基礎の沈下抑制効果に関する模型実験の場合とほぼ同じであるが、本実験では模型地盤の地表面に設置する基礎模型を3台から2台に減らし、実験を2回繰り返して行なうことで計4種の基礎模型の挙動を観察した。また、土槽の設置方向も異なっているので注意が必要である。

基礎模型は無対策基礎の模型と3種の軽量基礎模型の計4種を使用した。基礎模型の概要を図-23に示す。基礎模型はアルミニウム製で、軽量基礎模型A~Cには空洞部を設け基礎の重心が偏るようにした。軽量基礎AとBは空洞部の大きさが異なるもの、軽量基礎Cは軽量基礎Bに脚をつけた形状のものである。基礎設置後、1~2週間毎に各基礎に質量200gの鉄板を載せて載荷し、三回載荷した後、さらに1~2週間計測を続けて実験を終了した。基礎模型の沈下量はレーザー変位計により各模型の四隅で計測した。模型の不同沈下量は模型の北側二点の平均沈下量と南側二点の平均沈下量の差として求めた。

##### 4.2 実験結果の検討

###### (1) 模型地盤の挙動

模型地盤の地表面の沈下の様子を図-24に示す。試験期間や計測時期が異なるため直接比較は難しいが、図-5

に示したパイルドラフト基礎の模型実験の場合と概ね同じ傾向で地盤の沈下が進んでいる。最終的な沈下量は粘土層の厚い土槽北側で30mm強、粘土層の薄い南側で15mm程度であり、15~20mmの不同沈下が発生していることがわかる。

2.2節で述べたようにパイルドラフト型基礎の模型実験では模型地盤の水平変位は計測しなかったが、本実験では模型地盤の地表面にターゲットを設けて地盤の水平変位量を計測した。図-25に軽量基礎Cの北側15cm地点付近(図-22参照)の水平変位量を、図-26に軽量基礎Cの南側15cm地点付近の水平変位量をそれぞれ示す。

図-25, 26から分かるように、基礎模型を設置した際に地盤地表面は基礎模型側へ引張られ、その後、粘土層厚の大きい側(北側)へ変位していく。地盤が鉛直への沈下だけでなく、水平方向へも5~10mm程度の大きな変位を生じていることがわかる。一方、土槽奥行き方向(東西方向)へは、変位の読取り精度(目視のため1mm程度の誤差が見込まれる)以上の大きな変位は生じておらず、地盤が二次元的な挙動をしていることが確認できる。

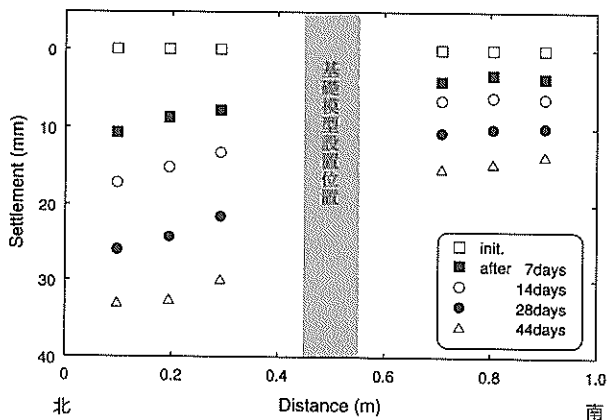


図-24 地盤地表面の沈下状況

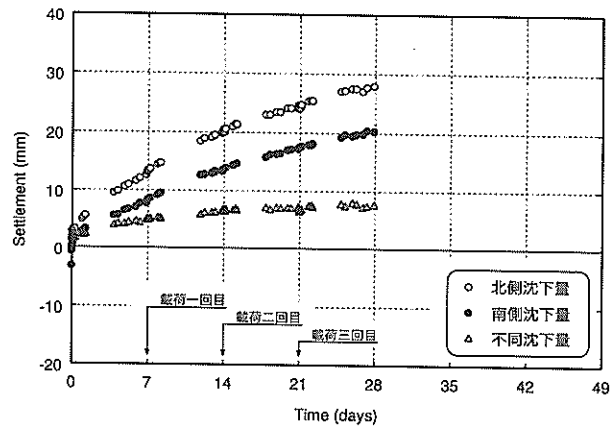


図-27 無対策基礎の沈下時刻歴

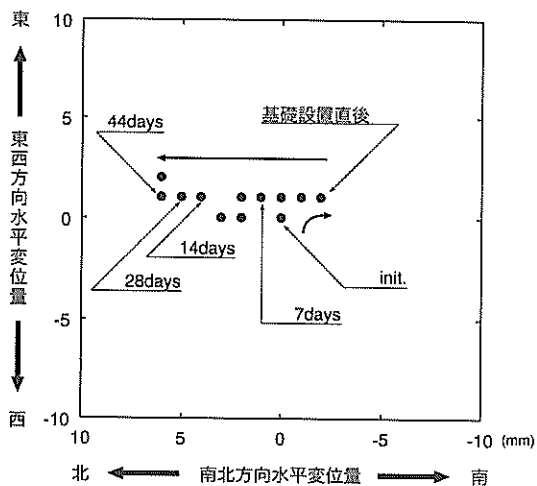


図-25 地盤地表面の水平変位量（軽量基礎 C の北側 15cm 地点）

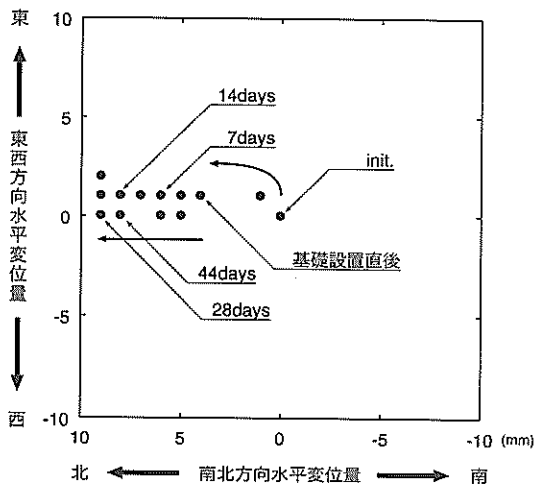


図-26 地盤地表面の水平変位量（軽量基礎 C の南側 15cm 地点）

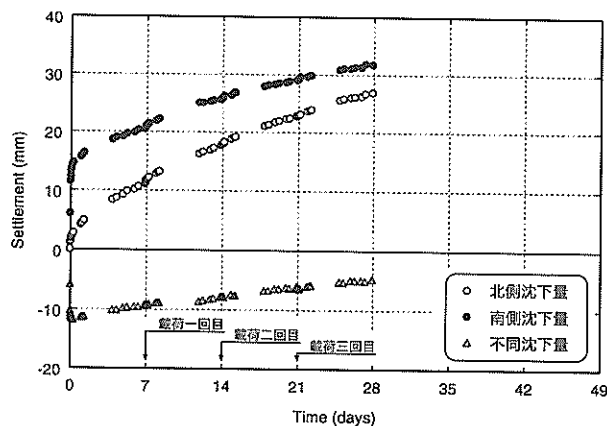


図-28 軽量基礎 A の沈下時刻歴

(2) 基礎模型の挙動

図-27~30 に各基礎の北側及び南側のそれぞれの平均沈下量とその差（不同沈下量）の時刻歴を示す。本実験では実験の都合により、基礎模型への載荷時期や実験継続時間が異なるため、各基礎の平均沈下量や不同沈下量の時刻歴を直接比較することは難しいが、参考のため各基礎の平均・不同沈下量の時刻歴を同一グラフにプロットしたものをそれぞれ図-31, 32 に示す。以下、基礎模型の不同沈下量, 平均沈下量それぞれに分けて検討する。

(3) 基礎の不同沈下

図-27 の無対策基礎の結果を見ると、実験開始当初から、粘土層厚の大きい北側の沈下量が層厚の小さい南側沈下量を上回り、不同沈下量が時間経過とともに増大していく様子が分かる。一方、図-28~30 に示した軽量基礎 A~C の場合には、実験当初は空洞の無い基礎南側の沈下量が空洞のある基礎北側の沈下量を上回り、無対策の場合とは逆方向に基礎が傾く。その後、時間経過とともに

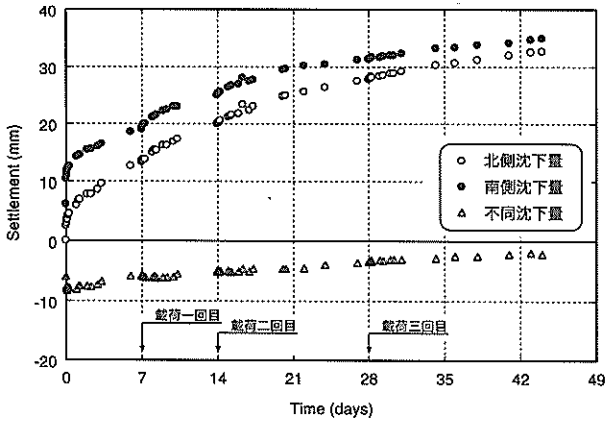


図-29 軽量基礎 B の沈下時刻歴

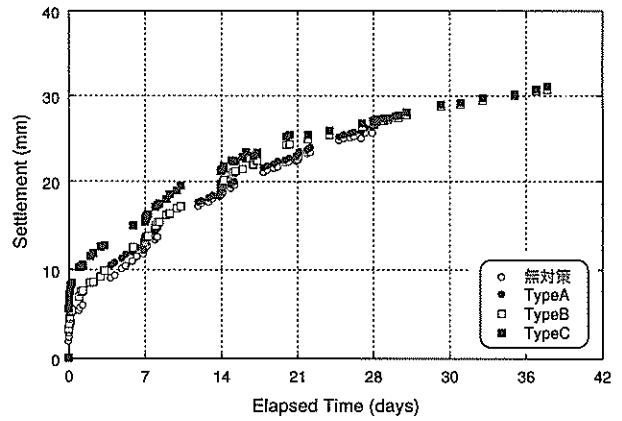


図-31 各基礎の平均沈下量の時刻歴の比較 (参考図)

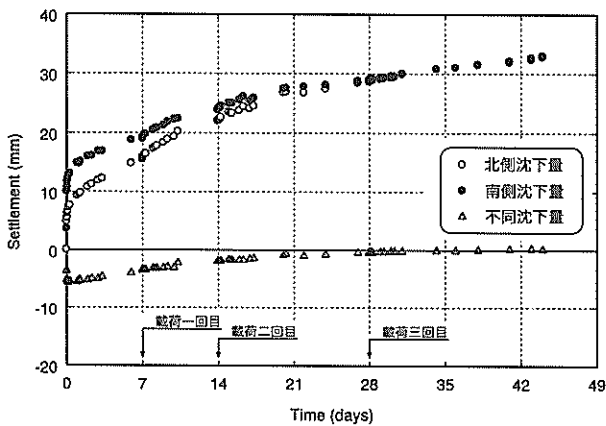


図-30 軽量基礎 C の沈下時刻歴

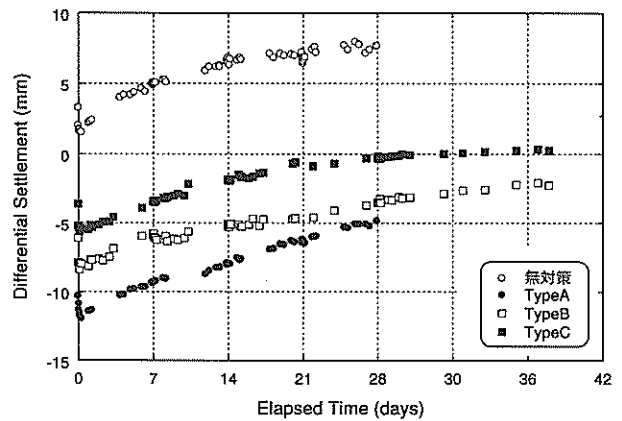


図-32 各基礎の不同沈下量の時刻歴の比較 (参考図)

徐々に北側沈下量が南側沈下量に追いつき、基礎の不同沈下量が減少していく。特に図-30 に示した軽量基礎 C の場合には、実験開始後 4 週程度で南北の沈下量の差はなくなり、その後は基礎がほぼ水平を保って沈下している。このことから、粘土層の厚い側に空洞部を設けて基礎を偏心させることで、基礎の不同沈下をコントロールできることが分かる。ただし、空洞部が必要以上に大きいと、基礎構築直後に大きな傾きを生じるので注意が必要である。空洞が大きい軽量基礎 A (図-28) では、実験開始直後に 10mm 以上の傾きが生じ、4 週経過後も 5mm 程度の不同沈下量が残留している。実施工を考えた場合、供用開始時に基礎が水平に戻っていれば良いので、施工当初に基礎が傾くことがすぐに問題となる訳ではない。しかしながら、無対策基礎の実験終了時の不同沈下量が高々 10mm であることを考えると、軽量基礎 A については大きな空洞を設けたことが逆効果であったと言わざるを得ない。地盤条件に応じた適切な軽量部の設定方法を確立することが今後の課題であると考えられる。また、脚付

の軽量基礎 C に関しては、空洞による効果に併せて脚による不同沈下の抑制効果も現われていると考えられ、今後、それぞれの効果の分担割合について精査する必要がある。

#### (4) 基礎の平均沈下量

図-27~30 で基礎の北側・南側の沈下量に着目すると、無対策基礎の方が軽量基礎 A~C よりも沈下量が小さく、有利であるように見える。これはグラフのゼロ点を基礎の北側沈下量の初期値に統一したためで、絶対的な平均沈下量はいずれの基礎でも大きな差は見られなかった(図-31 参照)。また、図-30 に示した軽量基礎 C については、脚を取付けた分だけ重量が若干大きいのが、本実験条件ではその影響は見られなかった。脚を付けると重量が増す反面、脚が沈下を抑制する効果もあると考えられ、今後、重量増と沈下抑制効果のトレードオフ関係についても調べる必要がある。尚、いずれの実験ケースでも、途中三回の載荷を行なっているが、これによる沈下挙動へ

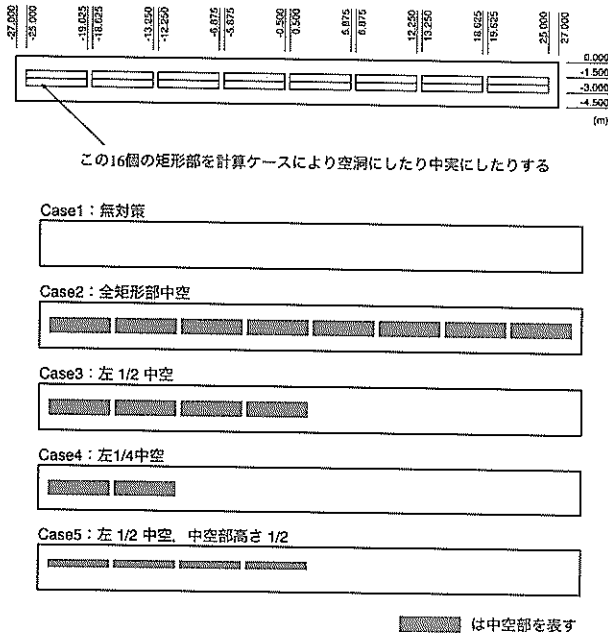


図-33 解析対象とした基礎形状

の影響は大きくは現れなかった。これは、基礎模型の重量に対して載荷による荷重増分が小さかったためと思われる。

#### 4.3 軽量基礎の模型実験のまとめ

基礎に空洞部を設けて重心を偏心させることにより基礎の不同沈下量を抑制できることがわかった。しかしながら、重心がずれているため建設初期の段階で大きな傾きを生じる可能性があることもわかった。また、基礎に空洞部を設けることによる基礎の平均沈下量の低減効果は本実験では確認できなかった。

### 5. 軽量基礎の沈下抑制効果に関する数値解析

#### 5.1 解析方法及び解析条件

解析方法や解析対象とした地盤の形状、使用した物理モデル、各種パラメータ、解析工程はすべて3.1節で述べたパイルドラフト型基礎の2次元数値解析の場合と同じ条件とした。異なるのは基礎の形状のみである。図-33に解析対象とした基礎の形状を示す。

基本とする基礎形状は図-33の上部に示したように、幅54m、厚さ4.5mの基礎に16箇所の矩形領域を設けたものである。解析ではこの矩形領域を解析ケースに応じて中実あるいは中空とすることで基礎の形状を変化させた。解析は5ケース行なった。各基礎の形状は図-33に示した通りである。空洞が無いケース1の基礎の水中単

位体積重量 $\gamma'$ が $10.8\text{kN/m}^3$ であるのに対し、ケース2では基礎全体の見かけ上の $\gamma'$ は $7.93\text{kN/m}^3$ 、ケース3では $9.37\text{kN/m}^3$ 、ケース4及び5では $10.1\text{kN/m}^3$ となっている。

#### 5.2 解析結果の検討

##### (1) 地盤の変形状況

図-34, 35に無対策の基礎(ケース1)と左1/2に中空部を設けた基礎(ケース3)の数値計算により得られた50年後の地盤の変形状況を示す。地盤の全体的な挙動については両ケースとも同様な変形傾向を示しており差は見られない。また、基礎直下部分を見ても、特に大きな差異は確認できない。軽量基礎の場合、単純に重心がずれているため二次元圧密の進み具合が変化するだけで、特に無対策の場合と大きく異なった形態の地盤挙動が発生している訳ではないということが分かる。

##### (2) 基礎の沈下挙動

図-36に基礎構築1, 5, 50年後の各基礎の平均沈下量と不同沈下量の関係を示す。図-36より基礎の中空部が大きいもの程基礎の平均沈下量が小さいことが分かる。これは中空部が大きいと基礎がその分軽くなるためであるが、平均沈下を軽減できる量はほんのわずかであり、中空部を設けることによる平均沈下量の軽減効果はさほど大きくないと言える。

次に不同沈下量に着目すると、重心の基礎中央からのずれが大きいものほど不同沈下を軽減できていることがわかる。このことは、図-36で中空部の大きさが同じケース4とケース5を比較すると、重心のずれが大きいケース4の方が不同沈下の抑制効果が大きいことなどから確認できる。一方、全断面にわたって中空部を設けたケース2については、無対策の場合よりも不同沈下量が多い結果となった。これは基礎自身が軽くなることで基礎荷重による圧密沈下と粘土の自重により生じる圧密沈下の相対的な関係が変化し、粘土の自重圧密の影響を受けやすくなるためであると思われる。基礎を軽くすることによる基礎の平均沈下量の軽減効果も少ないことから、平均沈下量の抑制には3.2節で確認した杭長を長くすることによる効果を利用し、基礎の軽量部は主に重心をずらして不同沈下量を軽減するために使用した方が良いと判断される。

##### (3) 基礎構造物の変形

図-37にケース5の基礎の構築1, 5, 50年後の基礎の変形状況を示す。図-37によると、基礎構築5年後に空

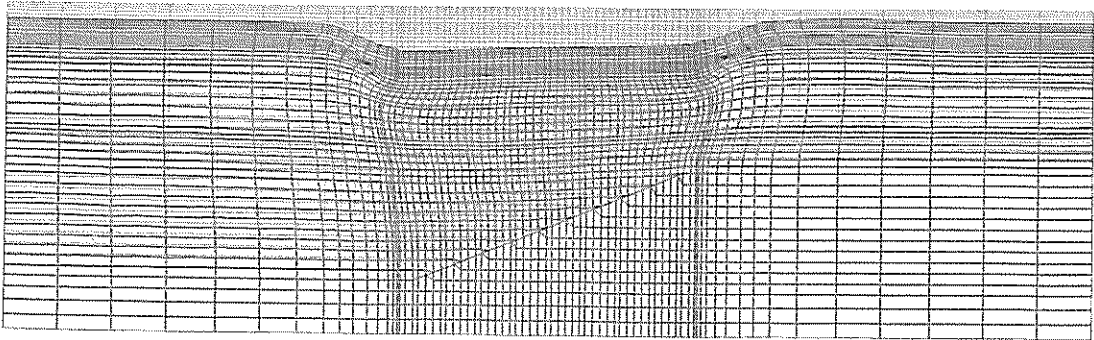


図-34 無対策基礎の場合（ケース1）の地盤の変形図（50年後）

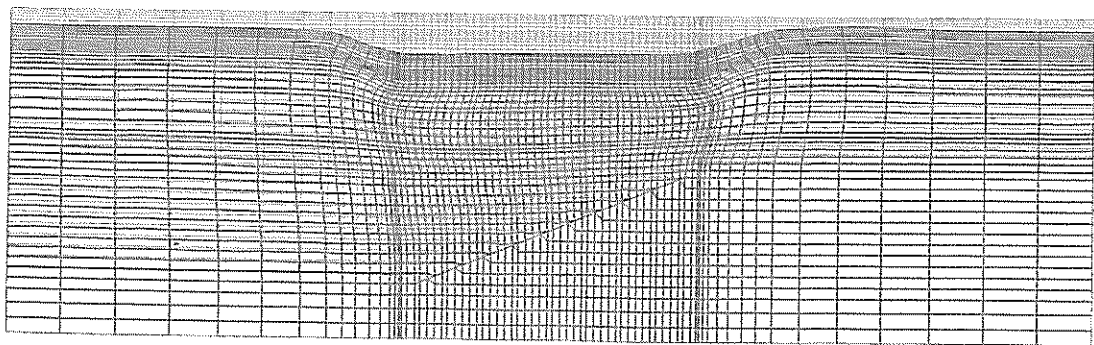


図-35 左1/2に中空部を設けた場合（ケース3）の地盤の変形図（50年後）

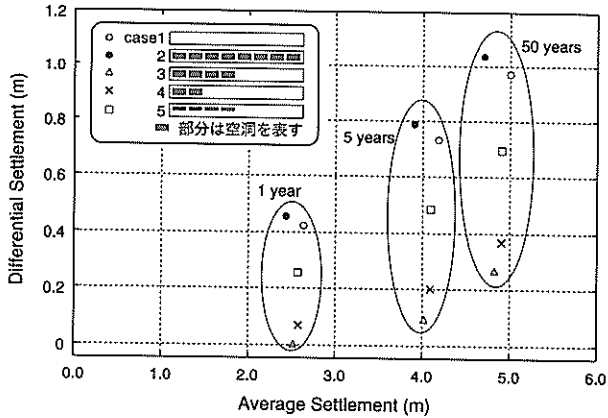


図-36 各基礎の平均沈下量と不同沈下量の関係

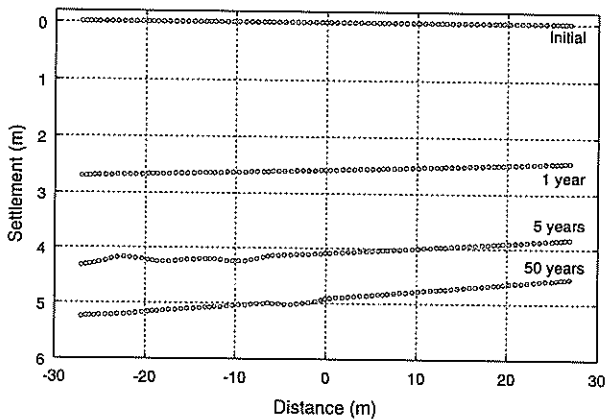


図-37 ケース5の基礎の変形状況

空洞の設けられている基礎左側が波打つように変形していることが分かる。この変形は50年後には明確ではなくなるが、基礎中心付近、空洞のある基礎左側と空洞のない基礎右側のつなぎめにあたる部分に変形の集中が見られる。変形の集中する部分には応力やひずみが集中することが予想されるため、この部分を補強するなど対策しておく必要があると思われる。

### 5.3 軽量基礎に関する二次元数値解析のまとめ

中空部を設けて偏心させた軽量基礎について二次元の数値解析を行ない、偏心させることで基礎の不同沈下を抑制できることを確認した。基礎の平均沈下量については偏心による沈下量軽減効果は現れなかった。また、基礎本体に発生する問題として、中空部を設けることにより基礎の断面形状の変化する部分に応力やひずみの集中が予想されることから、そのような部位の剛性の確保を設計時に検討しておく必要があることがわかった。

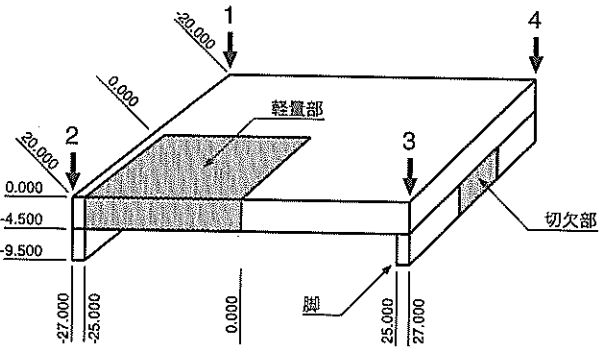


図-38 新型基礎の原案

## 6. 新型基礎の原案及び三次元数値解析による挙動の調査

### 6.1 解析対象とした新型基礎の原案

本節では、前節までの実験及び数値解析の結果をもとに新しい基礎の原案を作成し、三次元数値解析によりその挙動を調査する。

まず、パイルドラフト基礎の実験・解析の結果から杭間隔は沈下抑制効果にさほど影響を与えないことが分かったので、新しい基礎では杭は基礎の両端にのみ設置し、基礎中間部の杭は省略することとした。また、杭頭の固定条件が重要であること、杭間の地盤をしっかりと拘束すること必要があることなどから、当初考えていたような杭を使う形式ではなく、板状の脚をつける形式を試すことにした。これについては、脚に切欠きを設けたタイプのもも解析することで、長い板状が良いか短いものが良いかの検討を行なうことにする。

軽量部については粘土層の厚い部分に軽量材を使用するだけにとどめ、空洞部のない単純な形状を設定することとした。これは、形状が複雑になると二次元数値解析で確認されたような基礎自体の変状が発生して挙動が複雑化することや、偏心していることで生じる施工初期の傾きを推定することが困難になることを避けるためである。

以上のような方針で三次元数値解析の対象とする新型基礎の原案を図-38に示すようなものに定めた。三次元解析の際には、脚・空洞部・脚の切欠きの有無を変化させ、それぞれの影響を調査することとした。解析ケースを表-5に示す。

### 6.2 解析方法及び解析条件

解析対象とした地盤を図-39に示す。図-39には方角が書き込まれているが、これは後で基礎の水平変位を示



表-5 解析ケース

ケース	空洞部	脚	脚の切欠部
1	無	無	無
2	無	有	無
3	有	無	無
4	有	有	無
5	有	有	有

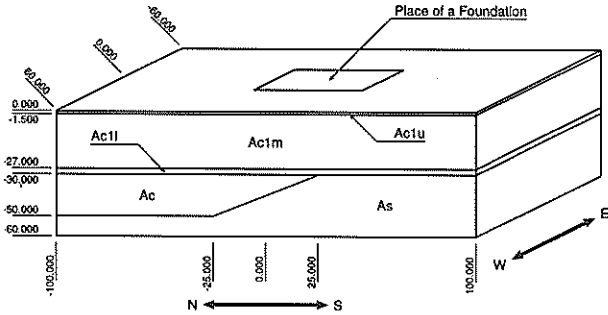


図-39 模型地盤の概略図

す時に向きがわかりやすいように加えたもので、数値解析上は何ら意味を持つものではない。地盤の断面形状はパイルドラフト型基礎や軽量基礎の二次元数値解析の場合とほぼ同じである。ただし、砂層Asはスロープと階段を組み合わせた複雑な形状となっており、奥行き方向にも粘土層厚が変化している。As層のみを取り出した俯瞰図を図-40に示す。

計算に使用した地盤の各種パラメータについても、二次元数値解析の場合と同じ値を採用しており、表-2に示した通りである。ただし、地盤が複雑化したことに伴ない数値計算が不安定となったため、中間軟弱層に相当するAc11層の圧密係数Cvを0.05から0.8m<sup>2</sup>/dayに変更し、計算の安定化を図った。この値の変更は、Cvの増量がそれほど大きくないことやAc11層の層厚が薄いことなどから、地盤の全体的な挙動に大きな影響を与えるものではない。

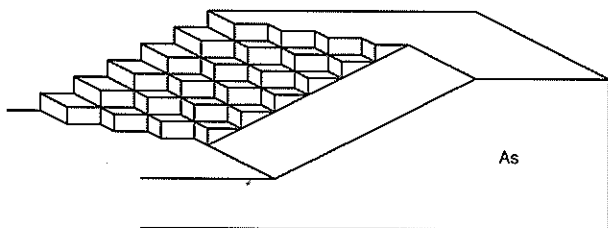


図-40 As層の俯瞰図

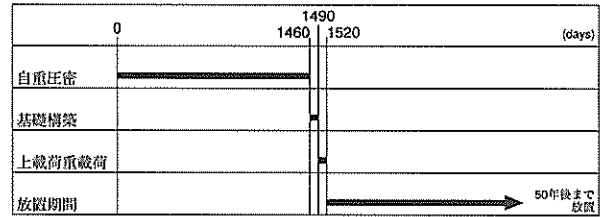


図-41 数値解析で想定した施工工程

図-41に三次元数値解析上の施工工程を示す。基本的な手順は二次元の場合と同じであるが、二次元解析の場合は図-13に示したように基礎構築まで放置期間を2年間としているのに対し、三次元解析では4年の放置期間を設けている。自重圧密状態で放置4年後には、地盤の圧密度は基礎中心付近で約75%である。

### 6.3 解析結果の検討

#### (1) 基礎の平均沈下量

図-42に各解析ケースにおける基礎の平均沈下量の時刻歴を示す。各基礎の平均沈下量は図-38の四隅の測点1, 2, 3, 4の沈下量の平均として計算した。

本解析では各ケース毎の平均沈下量の差があまり現れなかった。これは、解析対象とした基礎の脚長が5mと短く、平均沈下量を大きく軽減するには不十分であったためと思われる。しかしながら、図-42からは、脚があるグループ(ケース2, 4, 5)と脚が無いグループ(ケース1, 3)で沈下量に差が生じることが確認でき、脚による平均沈下量の軽減効果が一応あらわれていると言える。また、ケース4, 5間の平均沈下量に差が無いことから、脚に切欠部が存在しても沈下軽減効果には影響を与えないということが分かる。

#### (2) 基礎の不同沈下量

図-43に各解析ケースにおける基礎の平均沈下量の時刻歴を示す。各基礎の平均沈下量は図-38の四隅の測点1, 2, 3, 4の沈下量のうち、最も沈下量が大きい測点と最も沈下量が小さい測点の沈下量の差として計算した。尚、本解析で計算したケースでは、すべてのケースについて、終始、最も沈下量が大きいのは最も粘土層が厚い側にある測点2、最も沈下量が小さいのは最も粘土層厚が小さい側の測点4となった。

平均沈下量の時刻歴と同様、不同沈下量の時刻歴にも各ケース間の差が大きくは現れなかった。これは、二次元解析の際には地盤の圧密度が40%の状態为基础の構築を行なったのに対し、本解析では地盤の圧密度が80%とかなり圧密が進んだ状態で基礎の構築を行なったため、

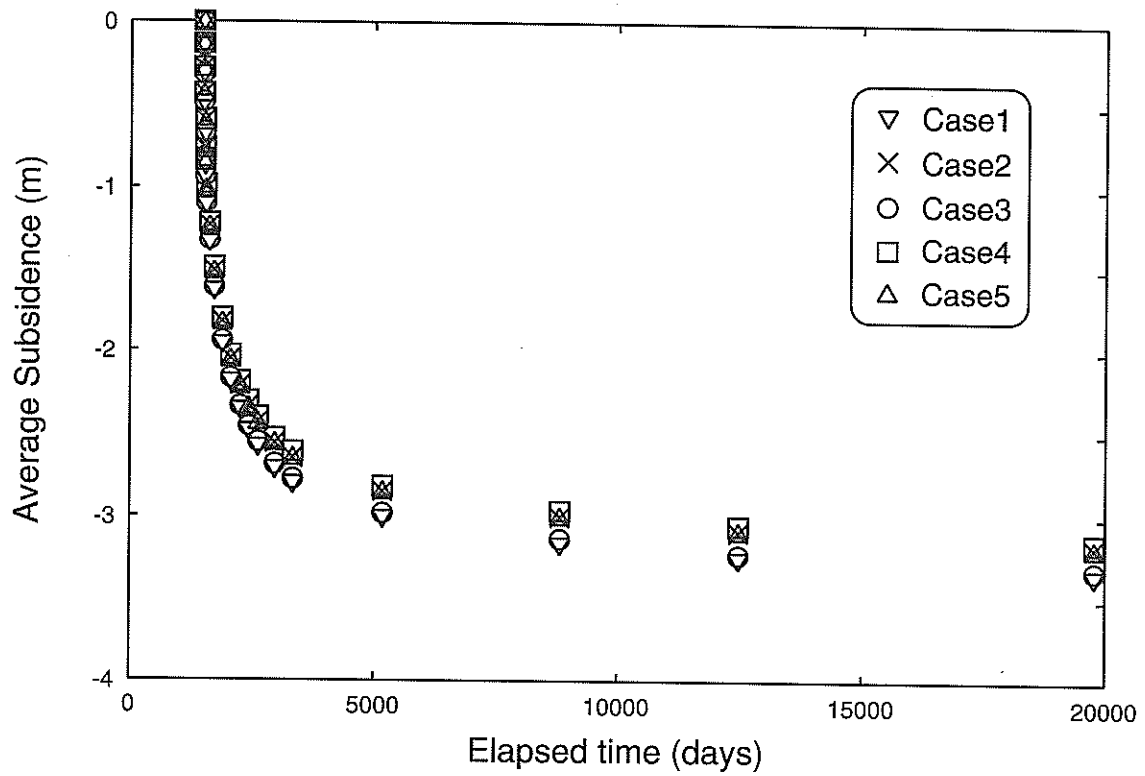


図-42 基礎の平均沈下量の時刻歴

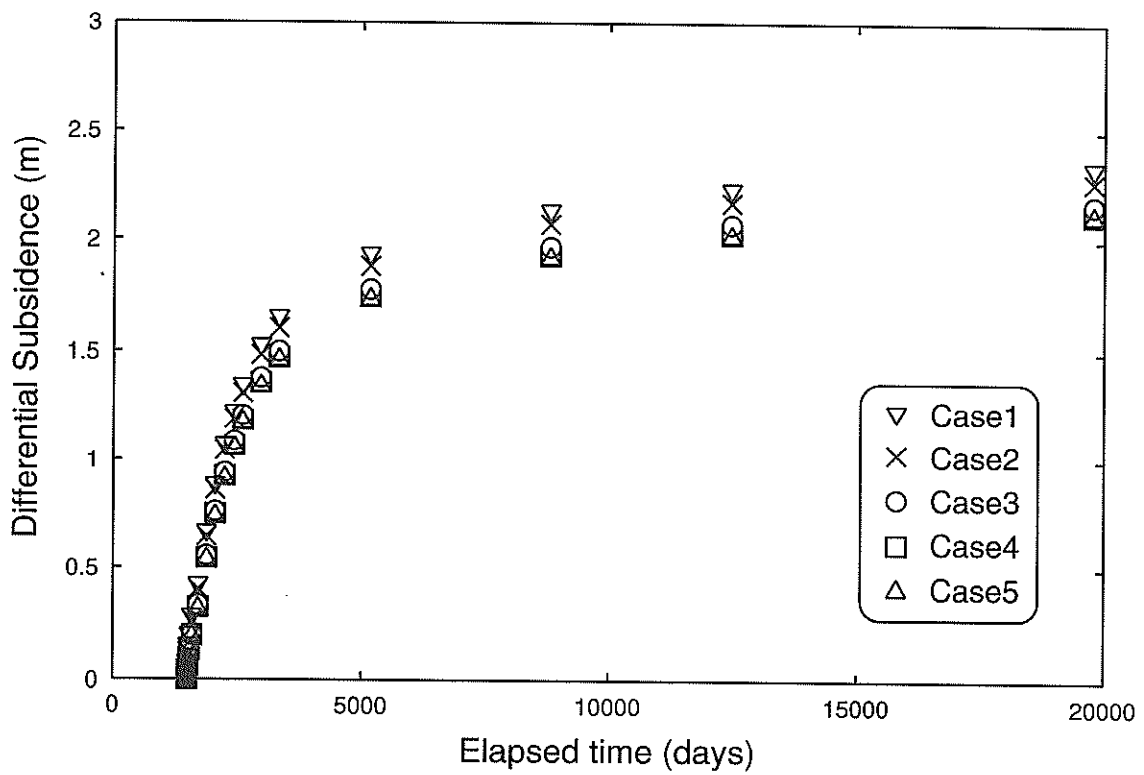


図-43 基礎の不同沈下量の時刻歴

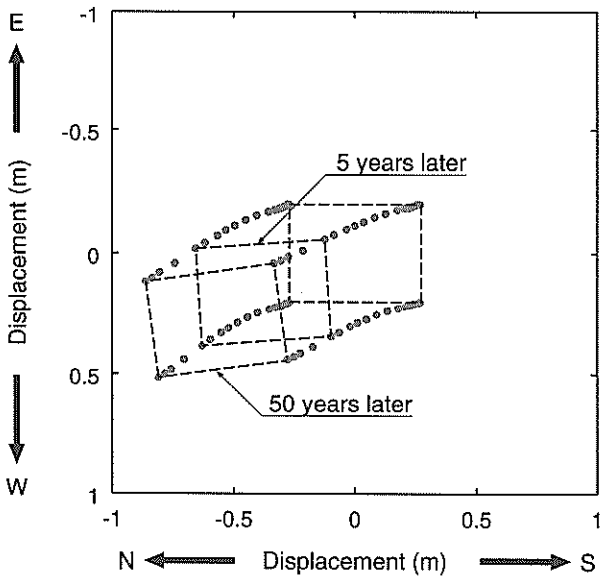


図-44 ケース 1 (無対策) の場合の基礎の水平変位量

二次元解析の場合ほどの劇的な効果があらわれなかったものと思われる。しかしながら、図-43からは、空洞のあるグループ(ケース3~5)と空洞のないグループ(ケース1, 2)では不同沈下量に差があることが読み取れることから、軽量基礎による不同沈下の抑側効果は確認できたと言える。

一方、本解析では脚による不同沈下の抑制効果は見られなかった。この原因としては、地盤条件に対し脚長が不十分で対策効果があらわれなかったという考え方と、そもそも脚は地盤の自重による圧密に対して有効なのであって地盤の圧密がある程度進んだ状態からはあまり効果を発揮しないという考え方の二通りの考え方が可能である。しかしながら、図-43では、脚の有るケース2の方が脚無しの場合1よりもわずかに不同沈下量が小さくなっていることから、脚長や脚間隔を地盤条件に合わせて適切に決定することができれば、不同沈下の軽減ができるのではないと思われる。また、ケース4, 5の不同沈下量に差がないことから、不同沈下の軽減に関しても脚の切欠きの影響はないと言える。

### (3) 基礎の水平変位

模型実験の結果などからすでに明らかなように、基礎は水平方向に大きく変位する。図-44, 45に解析ケース1(無対策)の場合とケース4(脚:有, 空洞:有)の場合の基礎の水平変位の時間変化を示す。

いずれのケースにおいても基礎がNW方向へ大きく変位している。図-39に示したように、NW方向は粘土層

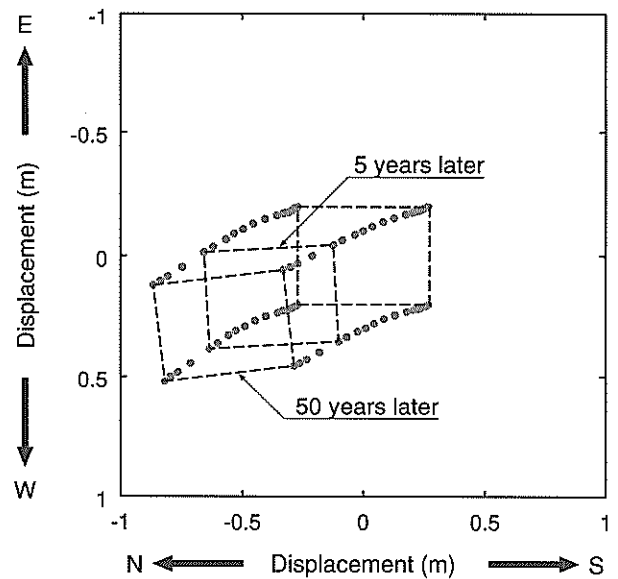


図-45 ケース 4 (脚:有, 空洞:有) の場合の基礎の水平変位量

厚が最も厚くなる方向である。4.2節で述べた実験結果と同様、粘土地盤は鉛直に圧密すると同時に粘土層厚の厚い方向へ水平変位を生じ、地盤とともに基礎も水平に移動するということが分かる。また、図-44, 45に示した両ケースの水平変位量にあまり大きな差はないことから、脚や空洞を設けることによって沈下量や不同沈下量を抑制することはできても、水平方向への変位は軽減できないと言える。従って、水平変位が問題となるような場合には別途対策を用意する必要がある。

### 6.4 新型基礎の三次元数値解析のまとめ

新型基礎の原案を作成し三次元数値解析を行なった結果、わずかではあるが基礎の平均沈下量、不同沈下量ともに軽減できることが分かった。今後、脚や空洞部の形状などを地盤条件に合わせて適切に定める方法を模索していく必要がある。また、新しい形式の基礎であっても、水平変位は無対策の場合と同様に発生し、軽減されないことがわかった。水平変位が問題となるような構造物の場合には、別途対策を検討しておく必要があると思われる。

### 7. 新型基礎の問題点及び適応性の検討

前節までの実験及び数値解析により、沈下をコントロールするという新型基礎の実現の可能性をある程度つかむことができた。それと同時に、新型基礎の持つ問題点や適応性が明らかになりつつある。本章ではそれらを

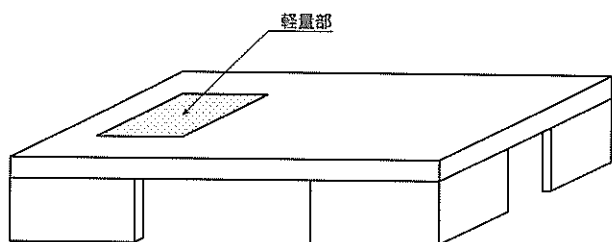


図-46 新型基礎のイメージ

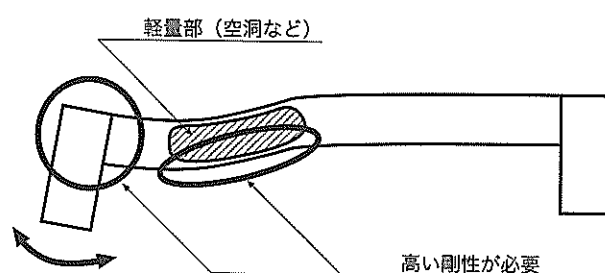


図-47 剛性が要求される部位

改めて整理・検討する。

### 7.1 新型基礎の形状

三次元数値解析で解析対象とした基礎の原案(図-38)に、解析結果を考慮しながら少し手を加え、新型基礎の一案とすることにした。変更点は脚を基礎の四方に取り付けた点と脚に切欠き部が設けられている点の二点である。脚の四方への取り付けは、地盤の地層構成や沈下予測に不確定要素があっても不同沈下を軽減できることや、基礎本体の剛性を高める構造部材としての働きなどを期待したものである。また、脚中央に切欠き部が存在しても、沈下軽減効果に影響がなかったことから、基礎本体重量や材料費の軽減を目的として全ての脚に切欠き部を設けた。

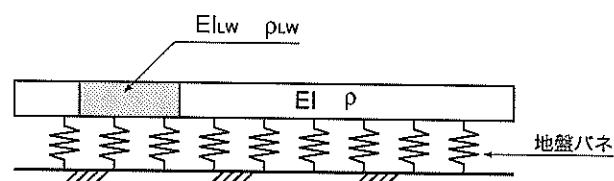
考案した基礎形状は新型基礎の一案に過ぎず、検討すべき点も多く残されているが、本研究の一応の成果として図-46に示しておく。

### 7.2 基礎本体の剛性

図-47に新しい基礎において、特に剛性に注意すべき点を示す。新しい基礎では、脚とスラブの結合の剛性を高くすることが絶対条件である。また、基礎に空洞部を設けることにより空洞部近辺への応力集中が予想されることから、そのような部分についても剛性を高めておく必要がある。解析の結果を見る限りでは、通常のコンクリートスラブなどが破壊するような大きな応力集中が起こることは無さそうだが、スラブ上面の利用方法によってはスラブの変形が問題になる場合も考えられる。条件に応じて適切な剛性を持つ基礎本体を設計する必要がある。

### 7.3 基礎の施工初期の傾斜

新しい基礎は重心位置が大きく偏心される場合があるため、施工初期に基礎の傾斜が発生することが避けられない問題となる。従って、事前に初期傾斜を予測しておく必要がある。初期傾斜の計算方法の一案として、図-48



軽量部では剛性、単位体積質量が異なるとして計算

図-48 初期傾斜の計算方法

に示したような弾性支承上の梁として計算する方法が考えられる。

### 7.4 新型基礎の応用的な利用

本研究では、1.1節で述べたように、新しい基礎の一案を作成するにあたり、その対象構造物を「面積が大きく上部構造物等による単位面積あたりの上載荷重が小さい構造物など基礎構造物自体の挙動が構造物全体の挙動に比較的大きな影響を与える構造物」とした。しかしながら、今回作成した試案では、脚や空洞部の大きさを調整することで平均沈下量もある程度コントロールできることから、杭基礎で支えられた構造物と支えられていない構造物の橋渡しをするための基礎としても利用できようである。図-49に応用的な利用のイメージを示す。

このような使用方法を考えた場合、基礎の水平変位や

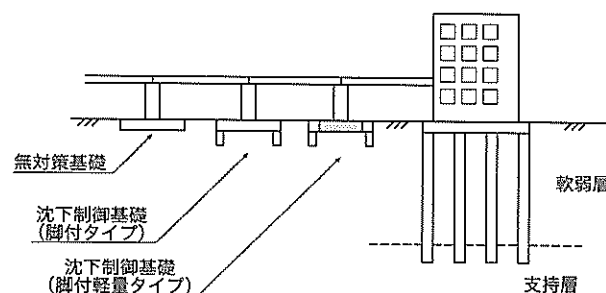


図-49 新型基礎の応用的な利用のイメージ

地震時の挙動が他の基礎形式と比較してどのような傾向を示すかという点が重要な問題である。水平変位の発生については今回の試案では全く防ぐことができないため、上部構造物やそれを介して接続されている杭基礎で支持された構造物に余計な外力が働くことが考えられる。また、地震時の挙動については、本研究では全く取り扱っていない。これらの検討は、今後の研究において必ず実施すべき課題である。

## 8. 結論

パイルドラフト基礎、軽量基礎に関する模型実験及び二次元数値解析を行ない、次のようなことを確認した。

- ・パイルドラフトにより基礎の平均沈下・不同沈下を抑制できる。
- ・パイルドラフトの杭長が大きい方が平均沈下量を大きく抑制できるが、地盤条件によっては不同沈下を生じる原因となる。
- ・パイルドラフトの杭間隔は平均沈下・不同沈下の抑制効果にあまり影響しない。
- ・パイルドラフトの場合、杭頭とラフトの結合部の剛性が重要で、この部分の剛性が低いと不同沈下の抑制効果はほとんど発揮されない。
- ・軽量基礎により基礎の不同沈下を抑制できる。
- ・軽量部の設定が不適切な場合、施工直後に基礎が大きな傾きを持つことがある。
- ・軽量部を設けることで基礎断面が変化し、応力・ひずみの集中する部分が生じる。このような部分の剛性に十分注意する必要がある。

これらの結果から、パイルドラフトと軽量基礎に基づく沈下制御型基礎の試案を作成した。また、三次元数値解析により作成した基礎の沈下挙動を調査した。調査した条件は限られたものではあるが、その条件下で平均沈下量・不同沈下量ともに軽減できることを確認した。

しかしながら、沈下制御型基礎の実用化のためには多くの課題が残されている。何よりも数値解析の検討ケースが不十分であるため、今後さらに数値解析を行なって幅広い条件下で基礎の挙動を調査する必要がある。また、大規模かつ長期的な実験（あるいは試験施工）を行なってデータを蓄積し、数値解析結果の検証を行なわなければならない。さらには、水平変位の問題や地震時の挙動などについても解明していく必要がある。今後、一つ一つ課題をクリアにし、実用化に向けた研究を進めていきたいと考えている。

(2005年2月10日受付)

## 謝辞

本研究は、国土交通省航空局からの受託研究の成果を中心にとりまとめたものである。関係各位に感謝致します。また、本研究全体をとおして鹿島港湾・空港整備事務所長の水上純一氏（元 港湾空港技術研究所地盤・構造部主任研究官）よりご助言を頂いた。模型実験については、東亜建設工業（株）技術研究所の武林昌哉氏、中村明教氏、（有）泉エンジニアリングの泉重和氏、森脇康夫氏にご尽力いただいた。数値解析については、（株）エス・エフ・コーナの日野努氏にご協力・ご助言を頂いた。皆様に深く感謝致します。

## 参考文献

- 大野雅幸, 浅岡顕, 野田利弘, 山田英司, 高稲敏浩 (1999): パイルドラフト基礎による地盤の不同沈下抑制効果, 第54回年次学術講演会 講演概要集, 第3部(A), pp.480-481, 土木学会.
- 小林正樹 (1990): 有限要素法による地盤の安定解析, 港湾技術研究所報告, 第23巻, 第1号, 運輸省港湾技術研究所.
- 地盤工学会 編 (1999): 地盤工学ハンドブック, 第4編, 第3章, pp.870-872.
- 水谷崇亮, 菊池喜昭 (2003): パイルドラフト基礎の不同沈下抑制効果に関する室内模内実験, 第38回地盤工学研究発表会 平成15年度発表講演集, 第2分冊, pp.1543-1544, 地盤工学会.
- 水谷崇亮, 菊池喜昭 (2004): 軽量基礎を用いた不同沈下抑制手法に関する室内模型実験, 第39回地盤工学研究発表会 平成16年度発表講演集, 第2分冊, pp.1385-1386, 地盤工学会.
- Mizutani, T. and Kikuchi, Y. (2004): Numerical analysis on the new type foundation which mitigates the differential settlement of structures on soft ground in coastal areas, CD-Rom Proceedings of Oceans'04 Techno-Ocean'04, pp.2066-2071.