

薄層に支持させた杭の模型実験—II

正会員 ○池田和正^{*1}
同 土屋 勉^{*2}正会員 若松宏輔^{*3}
会員外 脇坂美博^{*4}

2. 構造-4. 基礎構造-e. 杭(鉛直)

薄層、模型実験、鉛直載荷、先端支持力、支持力算定式

1. はじめに

軟弱層が深い地盤における基礎形式としては、比較的密度の高い砂層(以下、薄層と呼ぶ)が存在する場合でも、これを打ち抜いて深部の密な砂礫層に杭支持させるのが一般的である。しかし、ある程度の沈下を許容するパイルド・ラフト基礎においては、このような薄層の積極的な利用も考えられることから、当研究室では模型実験による検討を進めている。

前報¹⁾では、先端支持力は薄層への根入れによらず、ほぼ杭先端以深の薄層厚に決定されることが示唆された。本報告では、新たに半円筒土槽を作成して地盤挙動を観察する可視化実験によって薄層の支持機構について考察する。更に、支持力実験の範囲を広げた結果に基づいて、薄層に支持させた杭の先端支持力算定式について検討を行う。

2. 実験方法および実験条件

図-1は支持力実験の装置である。珪砂6号をノズルとネットを利用した空中落下法により堆積させ、任意の相対密度を有する模型砂地盤を作製している。模型杭(アルミニウム製、直径 $d=20\text{mm}$ 、肉厚 $t=2\text{mm}$)は、周面抵抗が発揮されるよう表面に溶射加工($R_{max} \approx 200\mu\text{m}$)を施し、内壁面にはひずみゲージを貼付している。

地盤に等方拘束圧 20kPa を作用させた後、上載圧を2倍にして静止土圧($K_0=0.5$)の地盤に設置

された杭を再現した。杭頭へ載荷は荷重制御による単調増加方式(毎分 0.1kN)とした。

図-2は杭先端近傍の地盤構成であり、薄層を高密度地盤D($D_r=87\%$)、一般地盤L($D_r=43\%$)および中密度M($D_r=67\%$)としている。図-3は実験条件であって、薄層モデルはa/b-c(a:根入れ深さ、b:薄層厚、c:一般地盤の密度)、基本モデルはab(a:杭先端以浅の密度、b:杭先端以深の密度)で表記する。

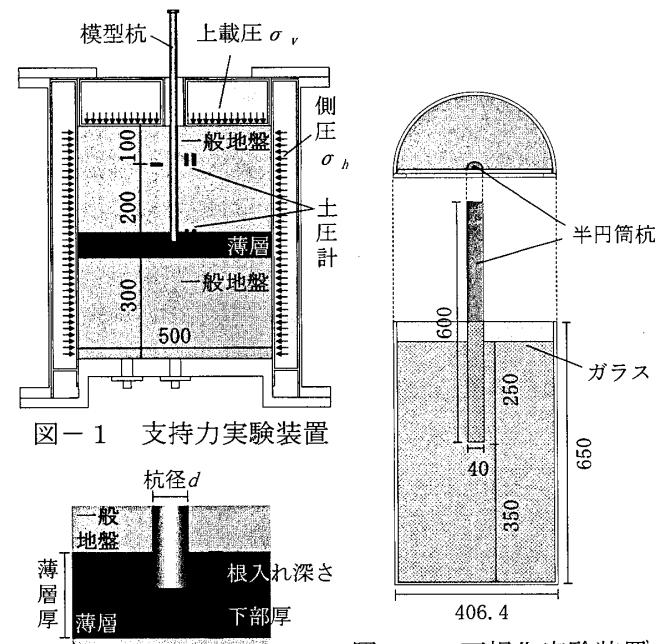


図-1 支持力実験装置

図-2 薄層断面図

図-4 可視化実験装置

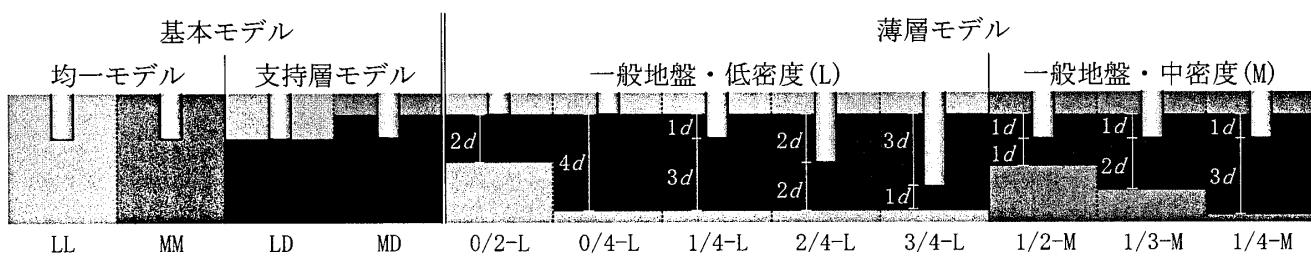


図-3 支持力実験の実験条件

Vertical Loading Tests of Model Pile on Thin Sand Layer—II.

IKEDA Kazumasa et al.

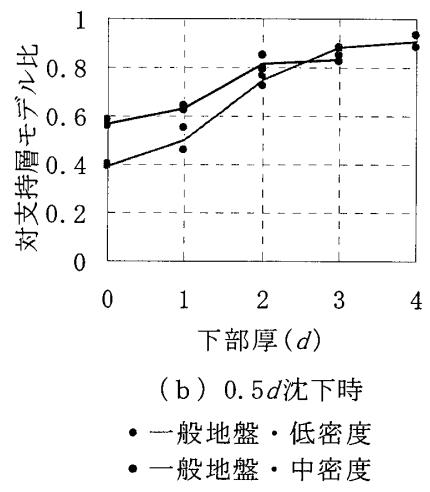
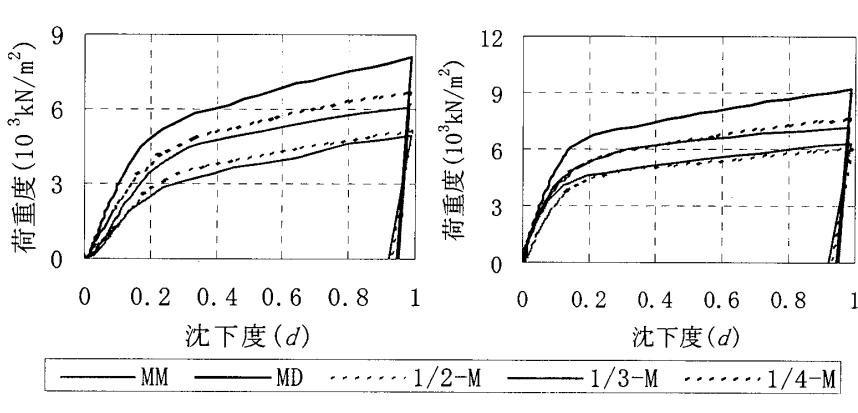
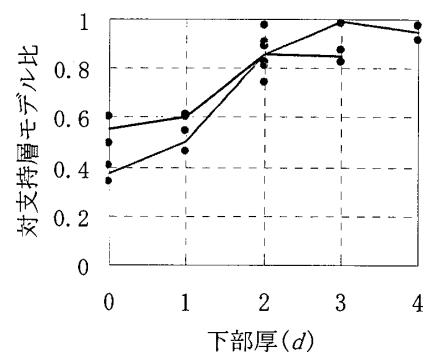
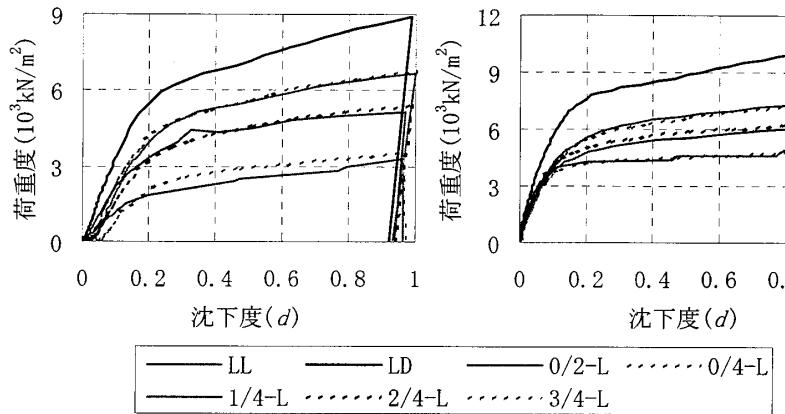


図-5 杭先端荷重～沈下関係

図-6 杭頭荷重～沈下関係

図-7 杭先端支持力と下部厚

図-4は可視化実験の装置で、土槽および模型杭（ステンレス製、杭径 $d=40\text{mm}$ 、肉厚 $t=2\text{mm}$ ）は半円筒形である。ガラス面を通して地盤挙動の観察を行うために、杭先端から深度 $0.5d$ 間隔に赤砂の層を配している。なお、杭頭載荷時には拘束圧を作用させていない。

3. 実験結果

3. 1 荷重～沈下関係

図-5および図-6は、それぞれ杭先端および杭頭の荷重～沈下関係であり、荷重は杭底面積で除し荷重度、沈下量は杭径 d で除し沈下度で表現している。ここで、(a)は一般地盤が低密度、(b)は一般地盤が中密度の実験結果である。

図-5によると、載荷の初期段階からモデルによる特徴的な挙動が表れている。すなわち、下部厚が大きいと杭先端荷重も大きくなるが、(a)の $1/4\text{-L}$ モデルと $0/4\text{-L}$ モデル、(b)の $1/3\text{-M}$ と $1/4\text{-M}$ では値に大きな差はみられない。また、(a)の $0/2\text{-L}$ モデルと $2/4\text{-L}$ モデルがほぼ同程度の値である事から、根入れの影響は無いといえる。なお、全モデルにおいて沈下度 $0.2d$ 付近で荷重～沈

下曲線の折点がみられることから、この時点で杭先端部が降伏荷重に達したものと推察される。

図-6の杭頭部に着目すると、前述の杭先端部とは異なり、載荷初期では約 $0.1d$ 沈下付近までモデル毎の値の差は小さい。したがって、この時点までは杭周面荷重が杭先端荷重より大きく、薄層の影響がほとんど表れないと云える。しかし、約 $0.1d$ 沈下以降は(a)の $3/4\text{-L}$ モデルと LL , $0/2\text{-L}$ モデルと $2/4\text{-L}$ モデルで同程度の値である。このことから、主に薄層の下部厚の影響を受ける杭先端部の挙動が杭頭荷重に反映されていることが分かる。

3. 2 先端支持力と下部厚の関係

図-7は、下部厚を変化させた各モデルの杭先端支持力を支持層モデルに対する比で表したもので、(a)は杭先端降伏時、(b)は $0.5d$ 沈下時にについて示している。これによると、下部厚が大きくなると杭先端支持力は大きくなるが、その増加割合は徐々に小さくなり、(a)の杭先端降伏時では下部厚 $2d$ 、(b)の $0.5d$ 沈下時では下部厚 $3d$ で支持層モデルの 80%に達し、かつ一般地盤の影

響がほぼみられなくなっている。(b) の $0.5d$ 沈下時の方が沈下がより進行した時点であり、下方への影響範囲が大きくなっていることが分かる。ただし、下部厚 $1d$ では支持力の増加が微小であって、下部厚 $2d$ 以上で支持力増大が顕著になり、薄層が有効に作用する傾向がある。

3. 3 杭沈下による先端近傍地盤の挙動

図-8は、可視化実験により得られた杭先端付近の地盤の変形状況である。(a)は0/1-Lモデル、(b)は0/2-Lモデルで、それぞれ $0.2d$ 沈下時と $0.6d$ 沈下時について示している。

これによると、 $0.2d$ 沈下時では、地盤は全般的に圧縮され杭先端からほぼ放射状に変形しており、モデルによる大きな違いはみられない。 $0.6d$ 沈下

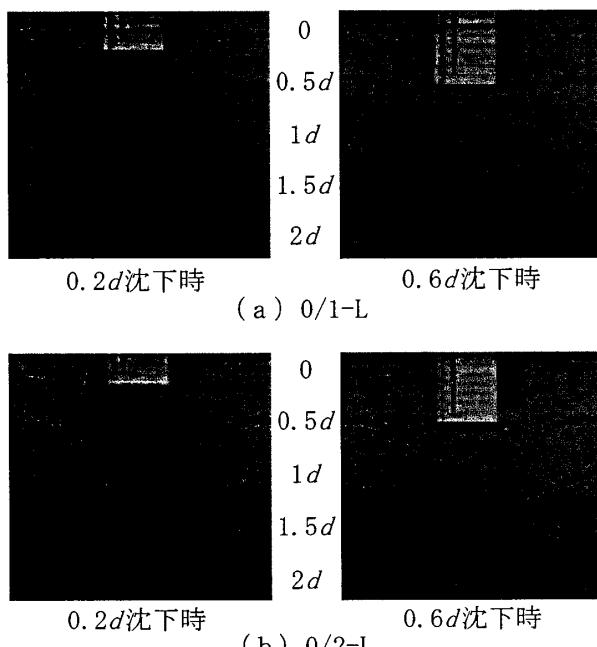


図-8 杭先端付近の地盤の変形

時では、杭先端下方 $0.5d$ の赤砂層は杭中心線上付近では水平を保ち明瞭であることから、この部分はほぼ杭と一体となって沈下していることが確認できる。それに対し、その側方では杭直下部分が下方に押込まれることでせん断破壊が生じ、赤砂層は不明瞭になり斜めに変形している。杭先端下方 $1d$ では杭中心線上で下に凸に変形しており、杭と一体となって沈下する部分の外部にあるといえる。また、その傾向は0/1-Lモデルでより明確にみられ、0/2-Lモデルでは同様の傾向はあるものの全体に丸みを帯びた変形になっている。

図-9は、杭沈下による地盤挙動の模式図である。沈下量の小さい段階では、地盤は杭により圧縮され放射状に変位する。しかし、さらに沈下が進行すると、杭先端直下の地盤はより下方へ押込まれるもの、その側方では杭により押込まれることはなく、両者の境界でせん断破壊が生じる。このようにして、杭直下に杭と一体となって沈下する紡錘状のコアが形成され、そのコアが地盤を押し広げていくことで、大きく沈下が進行するものと考えられる。杭先端下方 $1d$ の赤砂層は杭中心線付近で大きく変位しており、コアにより下方へ押し下げられたためと思われる。これよりコアの先端は $0.5d$ 下方の赤砂層と $1d$ 下方の赤砂層の間に存在すると推察される。

下部厚 $1d$ である0/1-Lモデルでは、コア先端と下層の軟弱地盤との距離が小さく、コアからの応力が下方へと集中して大きく変位する。それに対して、0/2-Lモデルはコアの下方に更に $1d$ 以上の高密度地盤が存在するため、下部地盤は放射状に押し広げられるように変位し、より丸みを帯びた赤砂層の変形として表れたものと推察される。

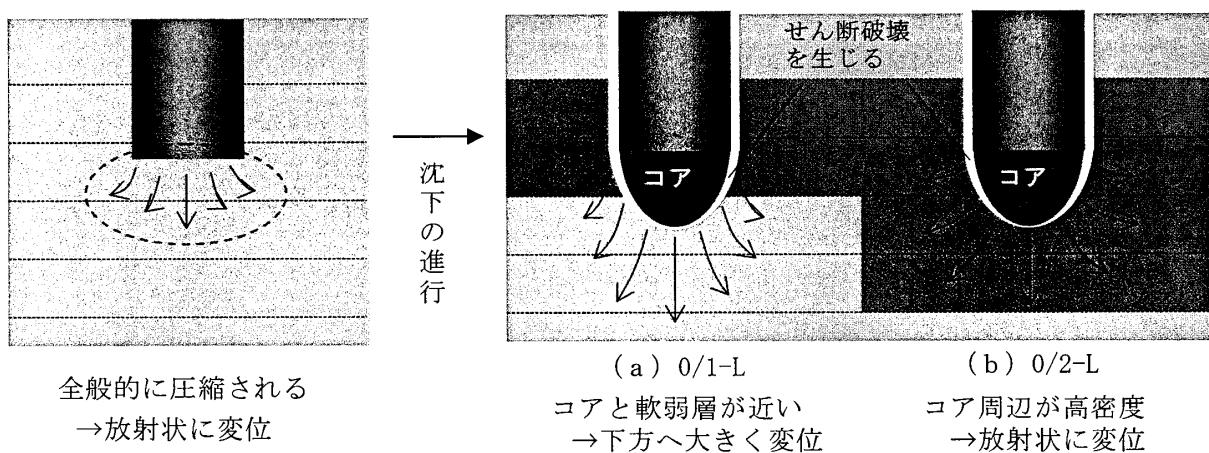


図-9 沈下による地盤挙動の模式図

以上のことから、下部厚 $1d$ では薄層の大部分がコアとなって下方の軟弱層へ突き抜けるパンチング破壊を呈するため、先端支持力の増加が微小となるのに対して、下部厚 $2d$ 以上を有すると、コア下方に存在する高密度地盤が先端支持力の増大に寄与するものと考えられる。

4. 薄層による先端支持力増分の算定式

薄層に支持させた杭の先端支持力は、根入れ深さではなく下部厚に影響されることから、薄層による支持力増分 Δq_d を下部厚 H の関数で表すことが考えられる。本報告では、薄層による杭先端支持力増分に関する以下の算定式（図-10 参照）を誘導した。

$$\Delta q_d = \alpha_{1d}(N_2 - N_1) + (\alpha - \alpha_{1d})(N_2 - N_1) \frac{H^*}{H^* + \alpha}$$

Δq_d : 薄層による先端支持力増分 (kN/m^2)

N_2 : 薄層の N 値

N_1 : 一般地盤の N 值

α : 均一地盤の先端支持力係数

α_{1d} : 下部厚 $1d$ の増分に関する係数

a : 初期勾配に関する係数

H^* : 有効下部厚 (d) $\quad \text{※} H^* = H - 1$

上式は杭の支持力算定法として現在広く使用されている支持力係数 α と N 値に基づいている。第1項は杭先端から $1d$ までの範囲における薄層の支持力増分である。第2項は、杭先端下方 $1d$ 以深の薄層厚である有効下部厚 H^* の支持力増分であつて、1次双曲線関数で表現している。

図-11 は、実測値と算定式の値との比較であつ

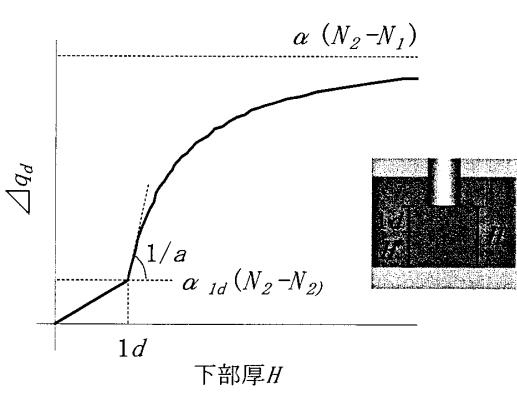
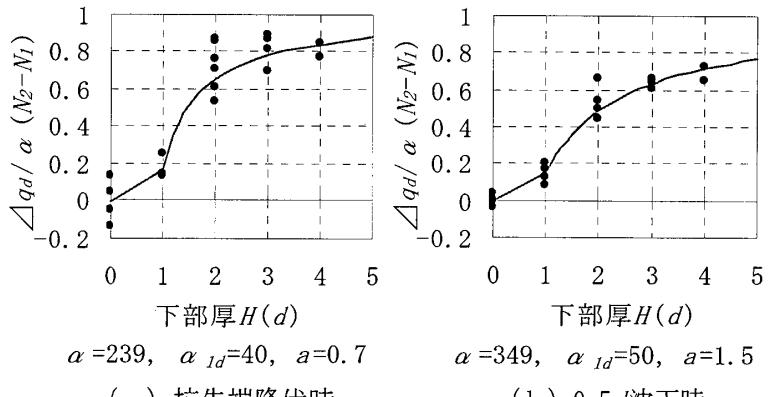


図-10 支持力算定式の構成



て、支持力増分 Δq_d をそれぞれ $\alpha(N_2 - N_1)$ で除し、下部厚の影響度を表している。(a) の杭先端降伏時、(b) の $0.5d$ 沈下時共に算定値は実測値に概ね近い値になっており、上記算定法の適用性が認められる。

4. まとめ

- ①. 薄層の杭先端支持力は、下部厚 $2d \sim 3d$ で支持層モデルの 80% に達する。
- ②. 沈下が進行すると、杭先端直下に杭と一体となって沈下する紡錘状のコアが形成される。
- ③. 下部厚 $1d$ で先端支持力の増加が微小であるのは、薄層の大部分がコアとなってパンチング破壊が起こることによる。
- ④. 薄層の下部厚を杭先端直下 $1d$ とそれ以深の部分に区分けして、それぞれの支持力増分を加算する算定式を構築した。

今後は、薄層の条件を種々変化させた実験結果の蓄積を図り、薄層による杭の支持性能をより明確にしていく予定である。

参考文献

- 1) 若松宏輔、土屋 勉、池田和正、他：薄層に支持させた杭の模型実験、日本建築学会北海道支部研究報告集、No. 80, pp. 125-128, 2007. 7.
- 2) 池田和正、土屋 勉、中沢楓太、他：模型実験に基づく杭先端近傍の周面摩擦特性、日本建築学会北海道支部研究報告集、No. 79, pp. 167-170, 2006. 7.
- 3) 大谷 順、深い基礎の支持力特性の解明に関するニューフロンティア-X 線 CT の適用ー、日本建築学会大会（九州）構造部門（基礎構造）・基調講演資料、2007. 8

*1 (株) 日水コン

*2 室蘭工業大学 教授・工博

*3 室蘭工業大学 博士前期課程

*4 西松建設 (株)

Nihon Suido Consultants Co.,Ltd.

Professor, Muroran Inst. of Tech., Dr. Eng.

Graduate Student, Muroran Inst. of Tech.

Nishimatsu Construction Co.,Ltd.