

層状地盤に支持される杭先端の鉛直支持性能
その1：既往実験結果に基づく検討

正会員 ○堀井良浩^{*1} 長尾俊昌^{*1}
同 山崎雅弘^{*2} 小椋仁志^{*3}

杭 先端支持力 沈下
鉛直載荷試験 2層地盤

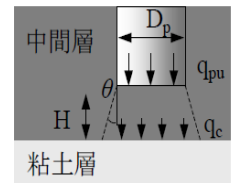
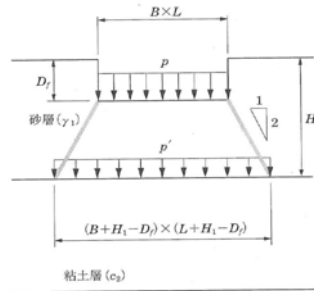
1. はじめに

地盤の地層構成が複雑である我が国では、軟弱地盤上の建築物を支える杭の支持地盤が砂質土層と粘性土層の互層で構成されることが多い(例えば¹⁾)。これに関連して建築基礎構造設計指針では、支持層が薄い場合の設計に関する基本的な考え方²⁾を示している。すなわち、所定の支持力を確保し、かつ有害な沈下が生じないことを確認すること、および先端支持力の検討において、図1に示すような直接基礎の方法³⁾(2層地盤の支持力式)の準用が可能であることを示している。ただし、本式における荷重分散角 θ と下部層の極限支持力は規定されていないため、図2に示す鉄道分野の算定方法⁴⁾等を参考に、設計者が工学的に判断しているものと推察される。しかしながら、本式の適用性や建築物の沈下予測で重要な荷重沈下関係について、実験データに基づいて検討した事例は数少ないと思われる。本論文では、設計上の参考資料を得ることを目的として、その1において既往の実験結果を収集し、既往式との比較検討を行う。その2では非線形FEM解析を行い、その1で得られた知見を評価可能であるか確認する。いずれも、N値が大きくてやや薄い砂層等(中間層)を杭の支持層とし、かつ下部層が粘性土層となる場合を検討対象とする。

2. 既往実験結果の収集と整理方法

実験データは、1985年以降に日本建築学会、地盤工学会、専門誌及び民間各社研究所報で公表された文献から

収集した。2層地盤の支持力式等を検討するため、収集した文献から、先端沈下比 S_p/D が0.1の時の先端荷重 q_{pu} と下部層の一軸圧縮強さ q_u がともに判別できること、荷重沈下関係が記載されていること等を条件に事例を選別した。検討対象とした事例を主要なデータとともに表1に示す。鋼管杭の打撃工法が2事例、同じく埋込工法が1事例、場所打ち杭が3事例、模型杭(非打込杭)が4事例の合計10事例である。拡大根固部を有する事例(H)の先端径と下端深さは、それぞれ根固部の直径と下端深さを採用した。模型杭の事例(Z-1~Z-4)は遠心模型実験(縮尺1/50)¹⁰⁾であり、先端径等は実物換算値を示し、また中間層のN値は先端支持力からの換算値を示した。先端径Dは1.0~1.75m、中間層の杭下方厚さの先端径に対する比H/Dは1.0~4.0、 q_{pu} は2.1~6.7MPaの範囲に分布する。なお、杭先端深さの有効上載圧は0.32MPa以下と推定された。



$$q_{pu} = \{1 + 2 \cdot (H/D) \cdot \tan\theta\}^2 \cdot q_c$$

$$q_c = 3 \cdot q_u$$

図1 2層地盤の支持力計算式(直接基礎の方法)³⁾より

図2 鉄道分野の算定法⁴⁾

表1 鉛直載荷実験データの一覧(中間層支持杭)

記号	杭		中間層			下部粘土層		実験結果(杭先端)				文献番号				
	杭種	工法	軸径(m)	先端径(根固径) D(m)	根入深さ(m)	N値	杭下端からの深さH(m)	H/D	厚さ(m)	q_u (MPa)	N値		最大沈下比 S_{pm}/D	第2限界抵抗力 P_p (MN)	q_{pu} (MPa)	荷重沈下関係の有無
C-1	鋼管杭	打撃	1.0	1.0	40	50	2.7	2.69	—	0.22	—	—	2.9	3.7	×	5
C-2		打撃	1.0	1.0	45	50	1.3	1.25	—	0.15	—	—	1.7	2.1	×	5
H		中掘拡大根固	0.9	1.35	15.5	60	4.3	3.15	6以上	—	2程度	0.23	7.7	5.4	○	6
D		ベント	1.2	1.2	36	60	1.2	1.00	9.7	0.50	10程度	0.23	4.2 ¹⁾	3.7 ¹⁾	○	7
E-3	場所打	リバース	1.2	1.2	38.5	60	3.5	2.92	18.6	—	20程度	0.08	7.6 ¹⁾	6.7 ¹⁾	○	8
J		アースドリル	1.6	1.75 ⁴⁾	35	20程度	3.1	1.77	—	0.41	16以下	0.09	6.5	2.7	○	9
Z-1	模型杭(非打込杭) ²⁾		1.0 ²⁾	1.0 ²⁾	18 ²⁾	40 ³⁾	2.0 ²⁾	2.0	5.0 ²⁾	0.13	—	0.5以上	7.4 ²⁾	2.4	○	10
Z-2						3.0 ²⁾	3.0	12.7 ²⁾					4.0	○		
Z-3						4.0 ²⁾	4.0	12.2 ²⁾					3.9	○		
Z-4						21 ³⁾	3.0 ²⁾	3.0					6.7 ²⁾	2.1	○	

1) 推定値。2) 縮尺1/50の遠心模型実験であり表中の数値は実物換算値。3) 先端支持力からの換算値($N=q_{pu}/10$)。4) 直杭先端部の実測値。

3. 検討結果

実杭 4 事例と模型杭 4 事例の先端荷重 q_p ~ 先端沈下比 S_p/D 関係を図 3 に示す。 S_p/D の最大値が 0.1 以下の 2 事例では $S_p/D=0.1$ 時の先端荷重 q_{pu} を推定した。図 4 は、図 3 の縦軸と横軸を $S_p/D=0.1$ 時で基準化したもので、図中、支持層が砂質土で厚い場合の設計推奨曲線¹⁾と既往式¹²⁾を併記している。図 4 より、 $q_p/q_{pu} \sim S_p/0.1D$ 関係の実験結果は、支持層が薄い場合 (H/D が 2 以下)、および支持層が厚くて下部層の強度が小さいと思われる場合 (N 値が 2) において、設計推奨曲線より曲率が大きめとなる傾向を確認できる。このことは、先端荷重がある破壊基準を超えると、支持層にてせん断破壊が急激に進展し、支持層が厚い場合に比較して顕著な剛性低下が生じたことを示唆すると考えられる。

実杭 4 事例と模型杭 4 事例の $S_p/D=0.1$ 時の q_{pu} (第 2 限界抵抗力) の実験結果について、2 層地盤の支持力式による計算結果との比較を行う。 q_{pu} の計算値は、図 5 に示すように支持層が薄い場合と厚い場合の小さい方の数値として求めた。ここで下部層の支持力はこれを支持層とする杭の q_{pu} 相当とした。計算は、荷重分散角 θ を $\tan^{-1}0.5$ と $\tan^{-1}0.3$ とする 2 通りについて行った。計算結果と実験結果の比較を図 5 に示すが、 θ を $\tan^{-1}0.5$ とする場合の計算結果 (a 図) は実験結果をやや大きめに評価する傾向があるのに対し、 $\tan^{-1}0.3$ とする場合 (b 図) は実験結果の中間にあることを確認できる。

4. まとめ

中間層に支持される杭先端の荷重沈下関係および先端支持力の実験結果を既往式と比較した。その結果、実験データ数は限られるものの、基準化した荷重沈下関係の実験結果は、設計推奨曲線に比較して支持層が薄い場合等に曲率が大きめとなること、および先端支持力の実験結果に対して、2 層地盤の支持力式において荷重分散角 θ を $\tan^{-1}0.5$ とした計算結果より $\tan^{-1}0.3$ としたその方が整合

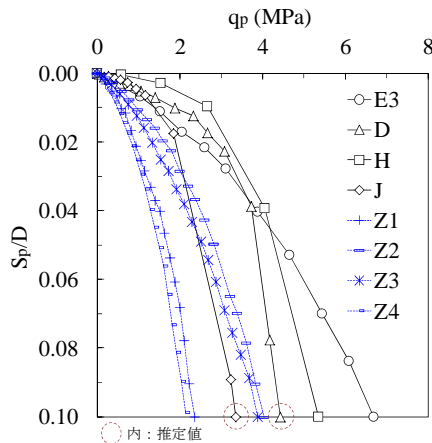


図 3 $q_p \sim S_p/D$ 関係

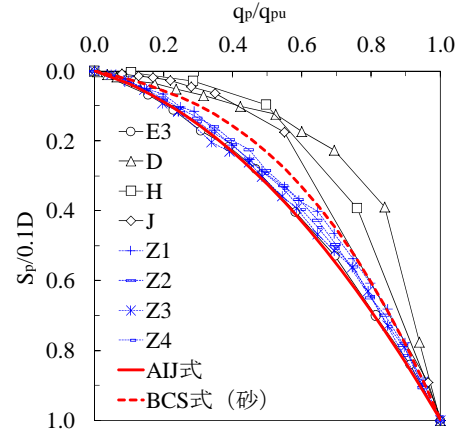


図 4 $q_p/q_{pu} \sim S_p/0.1D$ 関係

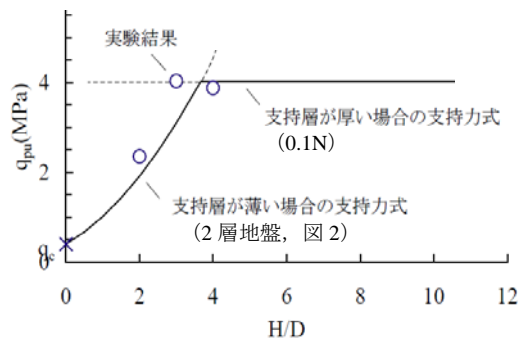


図 5 先端支持力の計算方法の概念

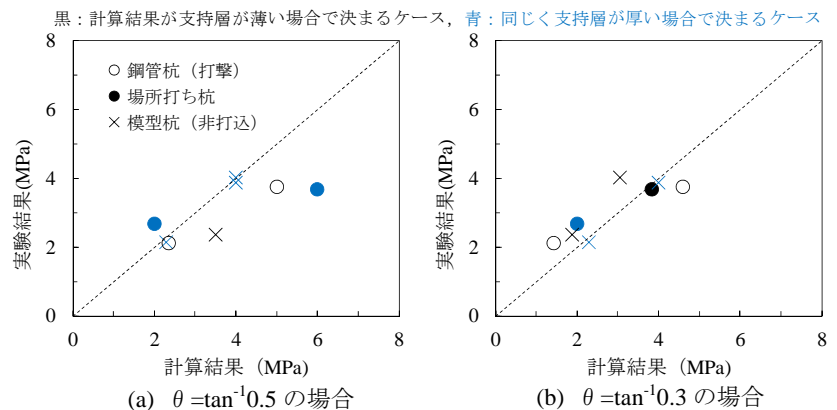


図 6 q_{pu} の実験結果と計算結果の比較

すること等が得られた。なお、本報告は「建築基礎設計のための地盤定数検小討委員会地盤抵抗評価 WG (主査：桑原文夫)」(2008.12~) の活動成果の一部である。

【参考文献】

- 川村東雄 (他)：中間砂礫層で支持された高層ツインタワービルの沈下観測 (その 1~3), 日本建築学会大会学術講演梗概集, B-1, pp.445-450, 2000.
- 日本建築学会：建築基礎構造設計指針, pp.210, 2001.
- 日本建築学会：建築基礎構造設計指針, pp.116-117, 2001.
- 鉄道総合技術研究所：SI 単位版鉄道構造物設計標準・同解説 基礎構造物・杭土圧構造物, pp.234-235, 2001.
- 本山蒔 (他)：薄層支持鋼管杭の載荷試験, 土質工学会研究発表会, pp.1283-1284, 1989.
- 石濱吉郎 (他)：中間層を支持層とする鋼管杭の支持力特性の評価, 日本建築学会大会学術講演梗概集, B-1, pp.331-332, 2006.9.
- 松井保 (他)：薄層における場所打ち杭の鉛直支持力特性とその設計法, 橋梁と基礎, pp.33-38, 1994.
- 鈴木俊雄 (他)：OAP 計画における杭の支持力実験 (その 1~5), 日本建築学会大会学術講演梗概集, B-1, pp.1257-1266, 1992.
- 萩原伸治 (他)：基盤層に根入れしない場所打ち杭の杭先端載荷試験, 日本建築学会大会学術講演梗概集, B-1, pp.673-674, 1998.
- 堀井良浩 (他)：中間層支持杭の鉛直支持力特性に関する研究, 大成建設技術センター報, 第 42 号, pp.22-1~4, 2009.
- 日本建築学会：基礎構造設計指針, pp.226-227, 2001.
- 持田 (他)：場所打ちコンクリート杭の支持力性能 (その 1), 日本建築学会大会学術講演梗概集, B-1, pp.725-726, 2000.

*1 大成建設 (株) 技術センター
 *2 岡山理科大学工学部建築学科
 *3 ジャパンパイル (株)

*1 Technology Center, Taisei Corporation
 *2 Dept. of Architecture, Okayama University of Science
 *3 JAPAN PILE Corporation