

層状地盤に支持される杭先端の鉛直支持性能
その4：既往実験結果に基づく追加検討

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 中間層 先端支持力評価
2層地盤

1. はじめに

杭の中間層支持は、基礎工事の工期短縮・経済性向上等を目的として建築物の規模によらず広く実施されている(例えば¹⁾)。杭下方の中間層厚 H の先端径 D に対する比 H/D が小さくなると、杭下方の中間層の土塊が下部層に貫入するような破壊性状を示し、先端支持力が低下する(例えば²⁾)。この検討法として建築基礎構造設計指針(以下、基礎指針³⁾)には直接基礎の極限支持力式であるいわゆる2層地盤の支持力式を準用することが示されている(図1)。本式は先端荷重の拡がり(荷重分散角 θ)を考慮して中間層の錘状土塊の底面支持力(下部層の極限支持力度 q_c)を求めるものであるが、基礎指針には θ と q_c が規定されていない。沈下量(先端径の0.1倍)にて決まる杭の極限支持力への適用にあたっては検証が十分でなく、設計者の合理的な判断を尊重したものと推察される。筆者等は既報において8事例の実験データを用いて2層地盤の支持力式の適用性(θ は $\tan^{-1}0.3$ と $\tan^{-1}0.5$ 、 q_c は $0.6c$ のみ)を調べた⁴⁾。本報では2事例を追加し、 q_c も変える場合を含めた適用性を示す。ここでは N 値が大きくてやや薄い砂質土等を中間層と称し、その直下にある N 値が小さくて粘性土を多く含む地層を下部層と称する。

2. q_{pu} の評価法と実験結果との対応

先端沈下量が $0.1D$ となる時の先端荷重 q_{pu} の評価は表1に示す4通りとする。ケース1~3では2層地盤の支持力式を利用して支持層が厚い場合と薄い場合の小さい方の q_{pu} を採用する⁴⁾。ケース1は θ を $\tan^{-1}0.3$ (縦:横=1:0.3)、 q_c を $3q_u$ とし、鉄道構造物等設計標準の方法⁵⁾と概ね対応する。これを基本にしてケース2は θ を直接基礎と同じ $\tan^{-1}0.5$ (同1:0.5)とし、ケース3は q_c も直接基礎の支持力式計算値とする³⁾。支持層が厚い場合の q_{pu} は各工法の先端支持力式(例えば³⁾)を用いて算出し、実験結果がある場合にはこれを用いる。ケース4は道路橋示方書を補完する杭基礎設計便覧⁶⁾の方法を参考として示す。 q_u が 400kN/m^2 以上(中間層の N 値が30以上)と大きい場合の場所打ち杭の q_{pu} を、 $H/D \leq 1$ の範囲は $3q_u$ 、 $H/D \geq 3$ の範囲は中間層が厚い場合と同じ、 $1 \leq H/D \leq 3$ の範囲はこれらの線形配分とするものである。

検討に用いた実験データ⁴⁾を表2に示す。1978年以降に国内で公表された q_{pu} と下部層の一軸圧縮強さ q_u がとも

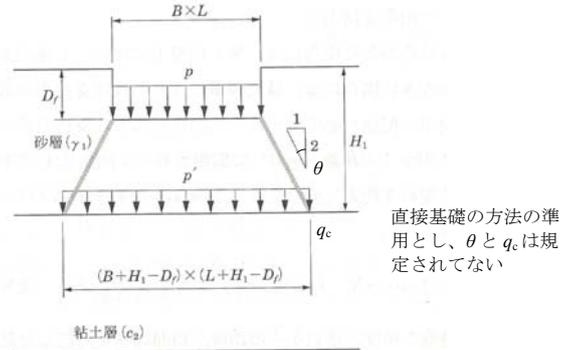


図1 基礎指針の先端支持力算定方法(文献図に加筆)³⁾

表1 q_{pu} の評価ケース

名称	算定方法	対応する 指針等	荷重分散角 θ		下部層の 極限支持力 q_c
			(rad)	縦:横	
ケース1	2層地盤の 支持力式	基礎指針, 鉄道標準	$\tan^{-1}0.3$	1:0.3	$6c$
ケース2		基礎指針	$\tan^{-1}0.5$	1:0.5	
ケース3					$5.1 \alpha c$ $+ \gamma H'$
ケース4	H/D の 一次関数	道路橋	—	—	$6c$

α :形状係数(円形は1.2), $\gamma H'$:下部層の有効上載圧, c :粘着力(= $q_u/2$)

にはほぼ判別可能な10事例であり、今回事例 $K^7)$ と $M^8)$ を追加している。内訳は鋼管杭が2事例、場所打ち杭が3事例、模型杭が4事例、合成杭(鋼管ソイルセメント)が1事例である。模型杭は縮尺1/50の遠心模型実験であり、表中の先端径・根入れ深さ等は実物換算値で、実験結果は2回の平均を示している。 H/D は1.0~4.0、中間層の N 値は20~60、 q_{pu} は2.1~8.2MN/m²で、鋼管杭の q_{pu} は中実断面積相当値である。なお下部層上面の有効上載圧は0.17~0.39MN/m²と推定した。

各事例の q_{pu} の評価結果と実験結果の比較を図2に示す。図より、 q_{pu} の評価結果はケース4(事例D、Mのみ)、1、2、3の順に大きいこと、また事例C-2、D、Z-1、K、Mにおいて、ケース1と4の評価結果が実験結果より小さいのに対し、ケース2は同程度以上で、ケース3は大きいことが分かる。評価ケースごとの比較を図3に示す。図中、 q_{pu} の評価結果の実験結果に対する比の平均 X を併記しているが、ケース1は0.88、ケース2は1.14、ケース3は1.23である。本検討においてはケース1が安全側の評価を与えるのに対し、ケース2と3は危険側の評価となる場合がある点は注意を要する。

表2 中間層に支持される杭の載荷実験データ (既報⁴⁾より事例K⁷⁾とM⁸⁾を追加)

事例	杭					中間層			下部粘土層			実験結果 (杭先端)			
	杭種	工法	軸径 (m)	先端径 (根固径) D (m)	根入 深さ (m)	N 値	杭下方 厚さ H (m)	H/D	厚さ (m)	q _u (MN/m ²)	N 値	上面 有効 上載圧 (MN/m ²)	最大 沈下比	第2限界抵抗力	
													S _p /D	P _p (MN)	q _{pu} (MN/m ²)
C-1	鋼管杭	打撃	1.0	1.0	40	50	2.7	2.69	—	0.22	—	0.36	—	2.9	3.7
C-2		打撃	1.0	1.0	45	50	1.3	1.25	—	0.15	—	0.39	—	1.7	2.1
D	場所打杭	ベノト	1.2	1.2	36	60	1.2	1.00	9.7	0.50	10	0.29	0.23	4.2 ¹⁾	3.7 ¹⁾
J		アース ドリル	1.6	1.75	35	約20	3.1	1.77	—	0.41	16	0.3	0.09	6.5 ¹⁾	2.7 ¹⁾
K		リバーズ	1.2	1.7 ⁴⁾	15	50(87) ³⁾	5.3	3.09	—	0.32	10	0.22	0.09	18.6	8.2
M	合成杭	鋼管ソイル セメント	1.0	1.2	34	約60	1.7	1.38	—	0.43	7	0.32	0.05	5.3 ¹⁾	4.3 ¹⁾
Z-1	模型杭 (非打込杭) ²⁾		1.0	1.0	18	(40) ³⁾	2.0	2.0	5.0	0.13	—	0.17	0.5 以上	—	2.4
Z-2							3.0	3.0				0.18		—	4.0
Z-3							4.0	4.0				0.19		—	3.9
Z-4							(21) ³⁾	3.0				3.0		0.18	—

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) H/Dが大きい場合のq_{pu}実験結果換算値による目安 (N=10q_{pu}), 4) 有効径
5) 砂質土層18kN/m², 粘性土層16kN/m² (不明の場合は17kN/m²), 地下水位が不明の場合はGL-2mと仮定して算定。

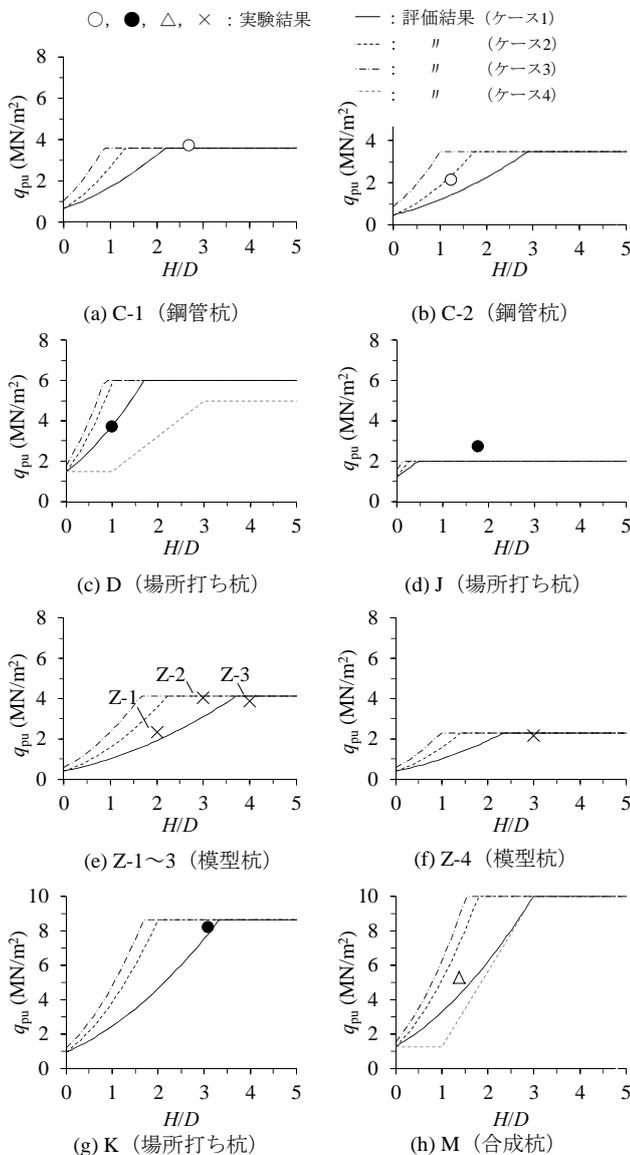


図2 q_{pu}の実験結果と評価結果の比較 (各事例)

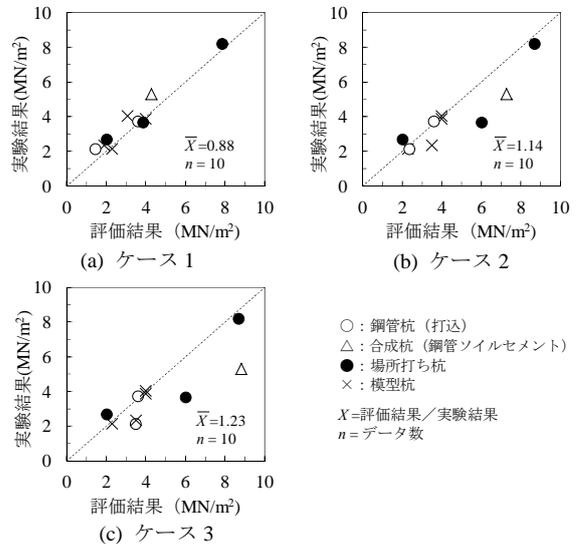


図3 q_{pu}の実験結果と評価結果の比較 (各評価ケース)

3. おわりに

中間層支持杭の先端支持力の実用的評価法と実験結果との対応を最新のデータを加えて示した。データが限られており、設計実務においては複数の評価法を比較したり、地盤・施工法が類似する実験データを参考にする等、慎重な対応が望ましい。更なるデータ蓄積を期待したい。

<追記>本報告は建築基礎設計のための地盤定数検討小委員会および地盤評価(刊行)小委員会の活動成果の一部である。関係者に謝意を表します。

参考文献

- 1)川村 (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., 2)松井 (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., 3)日本建築学会: 建築基礎構造設計指針, 2001., 4)堀井 (他): 層状地盤に支持される杭先端の鉛直支持力性能その1, 日本建築学会大会学術講演梗概集, B-1, pp.415-416, 2012., 5)鉄道総合技術研究所: 鉄道構造物等設計標準・同解説 基礎構造物・杭土圧構造物, 2012., 6)日本道路協会: 杭基礎設計便覧平成18年度改訂版, 2007., 7)平井 (他): TKR 杭工法—熊谷組 画期的な場所打ち杭, 建築の技術 施工, pp.47-57, 1978.11, 8)河野 (他): 薄層に支持された鋼管ソイルセメント杭 (HYSC 杭) の支持力について, 基礎工, pp.78-80, 2014.6.

*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