

## 層状地盤に支持される杭先端の鉛直支持性能 その3：下部層の影響を受けなくなる地盤条件

正会員 ○堀井良浩\*<sup>1</sup> 同 山崎雅弘\*<sup>2</sup>  
同 長尾俊昌\*<sup>1</sup> 同 小椋仁志\*<sup>3</sup> 同 桑原文夫\*<sup>4</sup>

杭 先端支持力 中間層  
2層地盤

### 1. はじめに

我が国は地盤の地層構成が複雑であり、杭の先端部を図1に示すようなやや薄い支持層（中間層）に支持させる場合が少なくない。このような杭の先端支持力は、支持層の杭下方の厚さ  $H$  の先端径  $D$  に対する比  $H/D$  が小さくなると、剛性や強度が小さな下部層（後述）の影響を受け、支持層が厚い場合に比較して低下することが知られている（例えば<sup>1)</sup>）。建築基礎構造設計指針<sup>2)</sup>には、このような杭基礎の設計に関する基本的な考え方とともに、先端支持力の検討において直接基礎の極限支持力の評価に用いる2層地盤の支持力式の準用やFEM解析の適用が可能であることが示されている。既報<sup>3,4)</sup>では、図2に示す先端支持力の評価方法によれば、荷重分散角  $\theta$  と下部層の極限支持力  $q_c$  を適切に設定する場合には8例の実験結果と概ね対応する評価結果が得られること、またこの評価結果はFEM解析結果に比較して同程度もしくは小さめとなること等を報告した。

一方、先端支持力が支持層が厚い場合と殆ど変ら（下部層の影響を受け）ないと考えられる  $H/D$  の最小値  $(H/D)_{\min}$  について、概ね3~4以上とする報告がなされている（例えば<sup>1),2),5)</sup>。これは中間層の  $N$  値や下部層の一軸圧縮強度  $q_u$  に左右されると推察されるが、それらの関係に着目した報告は少ないと思われる。本報では、中間層の  $N$  値と下部層の  $q_u$  に対応する  $(H/D)_{\min}$  等を2層地盤の支持力式を利用して試算し、下部層の影響を受けないと考えられる地盤条件の目安を示す。なお、ここでは  $N$  値が大きくてやや薄い砂質土層等を中間層と称し、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ことにする。

### 2. 2層地盤の支持力式を利用した $(H/D)_{\min}$ 等の試算

$(H/D)_{\min}$  の試算方法を以下に述べる。中間層に支持される杭の先端沈下量が  $0.1D$  となるとききの極限先端支持力  $q_{pu}$  について、支持層が厚い場合の  $q_{pu1}$  と、支持層が薄い場合の  $q_{pu2}$  の小さい方として式(1)により評価する方法が提案されている（前述の図2）<sup>3)</sup>。

$$q_{pu} = \min[q_{pu1}, q_{pu2}] \quad (\text{MN/m}^2, \text{場所打ち杭}) \quad (1)$$

$$q_{pu1} = 0.1N$$

$$q_{pu2} = \left(1 + 2 \cdot \frac{H}{D} \cdot \tan \theta\right)^2 \cdot q_c$$

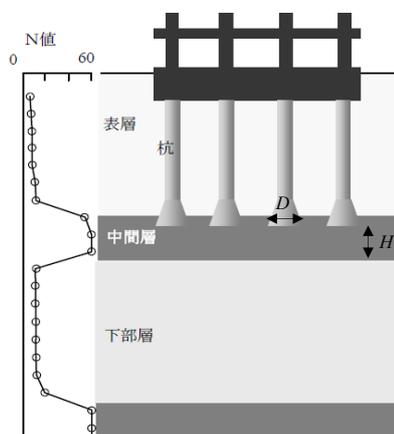


図1 杭の中間層支持の概念図

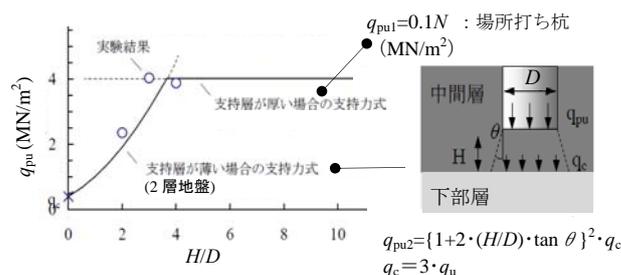


図2 中間層に支持される杭の先端支持力の評価方法<sup>3)</sup>

ここで  $q_{pu1}$  は場所打ち杭を想定して  $0.1N(\text{MN/m}^2)$  とした。また  $\theta$  と  $q_c$  は実験結果と概ね対応し、FEM解析結果と同程度または小さめの評価結果が得られる数値 ( $\theta = \tan^{-1}0.3$ 、 $q_c = 3q_u$ ) を用いる<sup>3)</sup>。このとき  $(H/D)_{\min}$  は、 $q_{pu2}$  が  $q_{pu1}$  と等しくなるときの  $H/D$  として式(2)により得ることができる。

$$\left(\frac{H}{D}\right)_{\min} = \frac{\sqrt{\frac{N}{30q_u}} - 1}{2 \cdot \tan \theta} \quad (2)$$

図3に、中間層の  $N$  値を25, 50, 75とする場合の  $q_{pu1}$  (\*印) および下部層の  $q_u$  を  $0.1 \sim 0.5 \text{MN/m}^2$  ( $0.1$  刻み) とする場合の  $q_{pu2}$  (\*\*印) の試算結果と  $H/D$  との関係を示す。また、これらに対応する  $(H/D)_{\min}$  の試算結果を同図中にプロット (○印) するとともに表1に示す。図と表より、 $(H/D)_{\min}$  は中間層の  $N$  値と下部層の  $q_u$  に応じて変化し、本試算範囲では  $0.5 \sim 6.7$  に分布することが分かる。例えば中間層の  $N$  値が50の場合には、下部層の  $q_u$  が  $0.1$ 、 $0.5 \text{MN/m}^2$  の場合に対応する  $(H/D)_{\min}$  は各々5.1、1.4を示す。

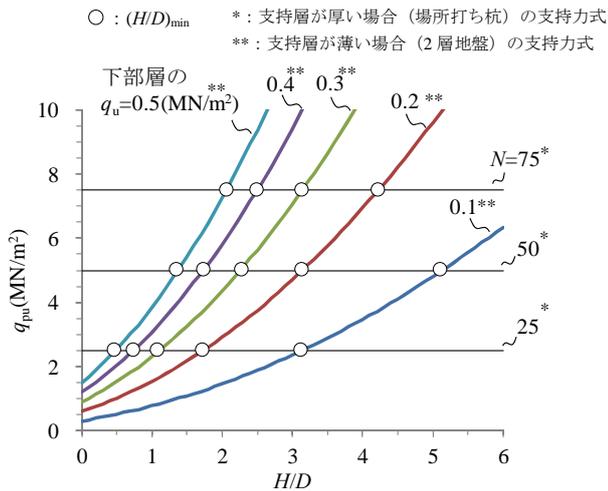


図3 2層地盤の支持方式を利用して試算した中間層に支持される杭の $q_{pu1}$ と $q_{pu2}$ と $(H/D)_{min}$

す。このことは $(H/D)_{min}$ は地盤条件によっては既往の報告(概ね3~4以上)より広めとなる場合があることを意味する。しかし、下部層の強度と剛性が相対的に小さい場合には、ここで用いた $\tan^{-1}0.3$ より $\theta$ が大きくなる傾向<sup>4)</sup>が指摘されており、本試算では下部層の $q_u$ が小さい場合には $(H/D)_{min}$ を大きめに評価している可能性がある。図4は、横軸に下部層の $q_u$ 、縦軸に中間層の $N$ 値をとって $(H/D)_{min}$ が一定(1.0~4.0、0.1刻み)の関係を示したグラフである。図より、この関係が直線状を呈することが分かり、また中間層の $N$ 値と下部層の $q_u$ に対応する $(H/D)_{min}$ を読み取ることができる。

表2は式(2)の関係を用いて、中間層の $N$ 値と $H/D$ に対して、下部層の $q_u$ がどの程度以上あれば先端支持力が下部層の影響を受けなくなるかを試算した結果である。表より、上記 $q_u$ (以下、 $q_{u\min}$ )は中間層の $N$ 値が大きいほど、また $H/D$ が小さいほど増加することが分かる。 $H/D$ が3の場合には、中間層の $N$ 値25~75に対応する下部層の $q_{u\min}$ は0.11~0.32MN/m<sup>2</sup>に分布する。

### 3. まとめ

中間層に支持される杭の先端支持力について、下部層の影響が殆ど無いと考えられる $H/D$ の最小値 $(H/D)_{min}$ を2層地盤の支持方式を利用して試算した。その結果、 $(H/D)_{min}$ は中間層の $N$ 値と下部層の一軸圧縮強さ $q_u$ に応じて変化し、 $q_u$ が小さい場合には大きめの評価となる可能性があるものの、地盤条件によっては既往の報告(概ね3~4以上)より広めとなる場合があること等を示した。これらは杭基礎の設計や地盤調査の計画において、下部層の影響を検討する際の安全側の目安になるのではないかと考えている。ただし、本検討は $N$ 値が25~75、下部層の $q_u$ が0.1~0.5MN/m<sup>2</sup>の範囲について行った、既報<sup>3)</sup>で示した先端支持力の評価方法に基づく試算であり、実験に

表1 2層地盤の支持方式を利用して試算した下部層の影響を受けなくなる最小 $H/D$ の目安

中間層の $N$ 値	下部層の $q_u$ (MN/m <sup>2</sup> )				
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
75	6.7	4.2	3.1	2.5	2.1
50	5.1	3.1	2.3	1.7	1.4
25	3.1	1.7	1.1	0.7	0.5

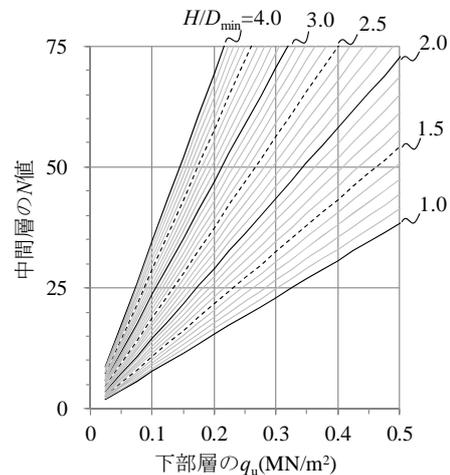


図4 2層地盤の支持方式を利用して試算した下部層の影響を受けなくなる最小 $H/D$ の目安

表2 2層地盤の支持方式を利用して試算した下部層の影響を受けなくなる下部層の最小 $q_u$ の目安

中間層の $N$ 値	$H/D$			
	1	2	3	4
75	0.98	0.52	0.32	0.22
50	0.65	0.34	0.21	0.14
25	0.33	0.17	0.11	0.07

単位: MN/m<sup>2</sup>

より適用性を確認した範囲外となる場合も含まれている。より合理的な評価を行う場合などにはFEM解析<sup>4)</sup>などの検討も行うことが望ましい。今後はさらなる実験データとの比較や $q_u$ が小さい場合等の解析検討により、ここで示した目安の検証を行いたい。なお本報告は「建築基礎設計のための地盤定数検討小委員会地盤抵抗評価WG」(2008.12~、主査: 桑原文夫)の活動成果の一部である。

### 参考文献

- 1) 松井保・小林正司・前川義男・松井謙二: 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.
- 2) 日本建築学会: 建築基礎構造設計指針, pp.210, 2001.
- 3) 堀井良浩・長尾俊昌・山崎雅弘・小椋仁志: 層状地盤に支持される杭先端の鉛直支持性能(その1), 日本建築学会大会学術講演梗概集, B-1, pp.415-416, 2012.
- 4) 山崎雅弘・堀井良浩: 層状地盤に支持される杭先端の鉛直支持性能(その2), 日本建築学会大会学術講演梗概集, B-1, pp.417-418, 2012.
- 5) 山崎雅弘: 杭先端の荷重沈下量関係に影響をおよぼす地盤領域の検討, 日本建築学会論文報告集, 第652号, pp.1113-1120, 2010.

\*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)  
 \*4 パイルフォーラム(株)

\*1 Technology Center, Taisei Corporation  
 \*2 Dept. of Architecture, Okayama University of Science  
 \*3 JAPAN PILE Corporation  
 \*4 PILE FORLUM Corporation