

層状地盤に支持される杭先端の鉛直支持性能
その2：FEM解析に基づく検討

正会員 ○山崎雅弘*
同 堀井良浩**

杭 先端支持力 沈下
FEM解析 2層地盤

1. はじめに

本論では FEM 解析結果に基づいて中間層下が粘性土層である場合について、粘性土の強度である粘着力（剛性は粘着力に比例すると仮定する）、中間層の層厚と剛性・強度、有効上載圧の先端支持力特性に対する影響と、極限先端荷重度（杭径の 10%沈下時の先端荷重度）の評価方法として直接基礎の 2 層地盤の支持力式¹⁾の適用性について検討し、その 1 で得られた知見と比較する。

2. FEM モデル

FEM モデルを図 1 に示ように軸対象アイソパラメトリック要素で構成した。佐伯等²⁾の研究では杭先端より上方の地盤は杭先端の支持力にほとんど影響を与えないことが示されているため、杭先端から下をモデル化し、解析モデル上端には有効上載圧 σ'_v を作用させた。地盤の構成方程式は Duncan 等³⁾が提案したものをを用いる。解析モデルは文献 4 で示したモデルと等しい。解析に用いたパラメータを表 1 に示す。上載圧 $\sigma'_v=0.4 \text{ MN/m}^2$, 0.2 MN/m^2 , 杭径 D は 1000mm である。

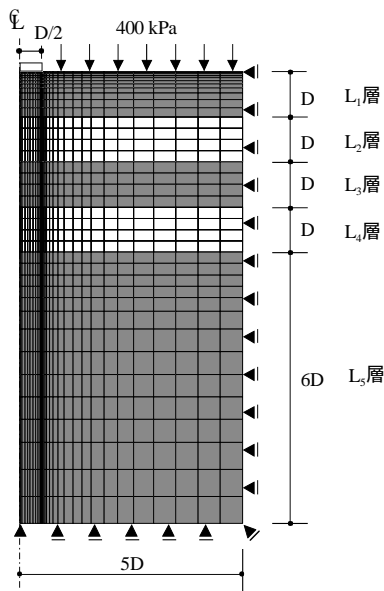


図 1 FEM モデル

3. 解析結果

図 2 は粘性土 A の下層地盤で上載圧が 0.4MN/m^2 の場合の荷重～沈下量関係 ($P\sim\delta$ 関係) を示している。凡例 A_H*は中間層のパラメータが砂質土 A、中間層厚 $H=10D$ (D は杭径) で 2 層地盤ではなく均一地盤である

表 1 地盤パラメータ

中間層	砂質土 A		砂質土 B	
K	2462		852	
ϕ (°)	38.5		38.5°	
中間層下層	粘性土 A	粘性土 B	粘性土 C	粘性土 D
c (MN/m ²)	0.1	0.05	0.03	0.01
K	350	175	105	35
m=n=0.0, Rf=0.9, Kb=100K ($\nu=0.495$)				

ことを表し、A_H3 は中間層厚が $3D$, A_H0 は層厚が 0 , すなわち粘性土地盤に杭が設置されていることを示す。砂質土 A, B の均一地盤の極限先端支持力 R_{pu} は 6.37MN , 4.95MN であった。これは極限先端支持力度 q_{pu} にすると 8.11 MN/m^2 , 6.31MN/m^2 である。粘性土 A の均一地盤の場合、 R_{pu} は 0.48 MN となり、 q_{pu} は 0.61MN/m^2 である。この図より、中間層厚が $4D$ である A_H4 の $P\sim\delta$ 関係は均一地盤と等しいが、砂質土 A では $3D$, 砂質土 B では $2D$ になると中間層下の粘性土の影響が見られる。図 3 は P を R_{pu} で、 δ を 10cm で除し正規化した荷重比～沈下量比関係を示している。層厚が小さくなるのにもとない、 $P\sim\delta$ 関係の曲率が大きくなるのがわかる。他のケースもほぼ同様であった。

極限先端支持力度 q_{pu} と中間層の層厚比 H/D の関係を図 4, 図 5 に示す。図中の実線と点線は、解析結果の q_{pu} と適合する荷重分散角 θ と、 $\theta=\tan^{-1}(0.3)$ によって評価した q_{pu} を示している。前者の θ の値は凡例に示している。図 4 (a) を見ると、 H/D がゼロでは 0.61MN/m^2 , H/D が大きくなるとともに q_{pu} は大きくなる。 H/D が 4 と均一地盤を表す H/D が 10 の q_{pu} がほぼ等しい値であるので、 H/D が 4 以上になると中間層下の地盤の影響はほとんど無いと言える。

解析結果と適合する θ に対して粘性土の粘着力 c と剛性および σ'_v の影響は大きく、砂質土 A と B の差、即ち剛性パラメータ K の影響は小さい。また、粘性土の剛性と強度は σ'_v の影響を受けないが、中間層の砂質土は σ'_v が大きくなると共に剛性と強度が大きくなる。この 2 つの特徴から、中間層の強度が下層の粘土層のそれに対して大きくなると適合する θ が大きくなる特徴があると言える。これは杭先端荷重が下に伝ってもこれに抵抗する反力が粘性土層から得られず、荷重が周囲へ伝達される傾向が強くなるためと考えられる。

$\theta=\tan^{-1}(0.3)$ の点線は (b) の $c=0.1\text{MN/m}^2$, $\sigma'_v=0.2\text{MN/m}^2$ の場合は解析結果と適合する θ の実線と等しいが、その他は解析結果を下回る。従って、 $\theta=\tan^{-1}(0.3)$ で q_{pu} を評価して設計することは安全側となる。しかし、軟弱な粘性土では H/D が 4 においても評価値が解析値を大きく下回ることと、 H/D が 4 以上になると中間層下の影響が殆ど無いという解析結果との間には大きな差がある。この差

が小さい評価手法の提案が今後の課題である。

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をFEM解析によって、その支持力特性と荷重分散角による支持力評価の適用性について検討を行った。

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（主査：桑原文夫）」（2008.12～）の活動成果の一部である。

[参考文献]

- 1) 日本建築学会：建築基礎構造設計指針, pp.116-117, 2001.
- 2) 佐伯英一郎, 岩松浩一, 木下雅敬：Non-Displacement Pileの先端支持力推定のための地盤の「平均N値」に関する解析的一考, 日本建築学会構造系論文集, 第535号, pp.87-94, 2000.
- 3) Duncan. J. M, Byrne. P, Wong. K. S & Mabry. P: Strength, Stress-strain and Bulk Modulus Parameters for Finite Element Analyses for Stresses and Movements in Soil Masses, Report No. UCB/GT/80-01, Univ. of California, Berkeley, 1980.
- 4) 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.

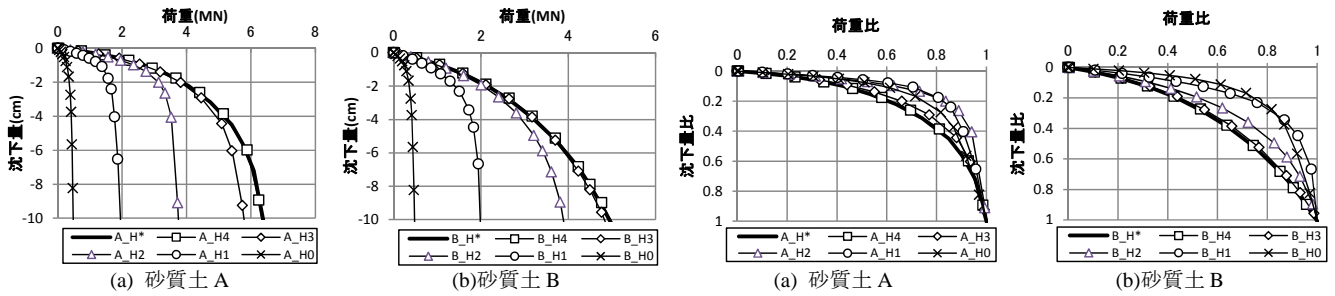


図2 P~δ関係

図3 荷重比~沈下量比

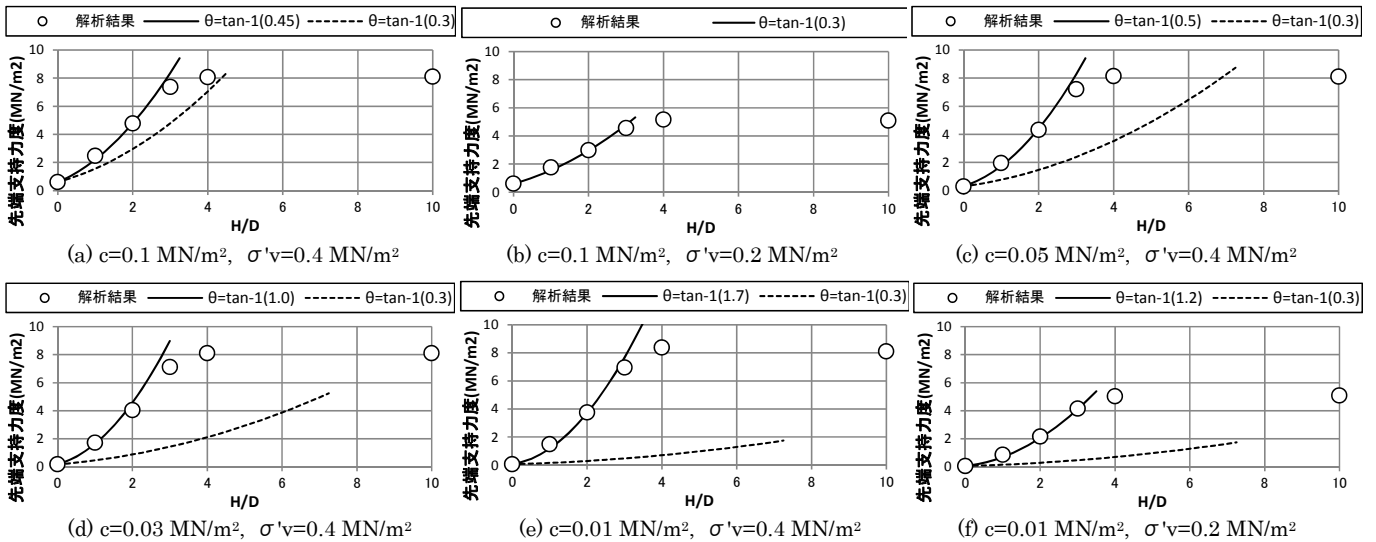


図4 極限先端支持力と中間層厚の関係（砂質土Aの場合）

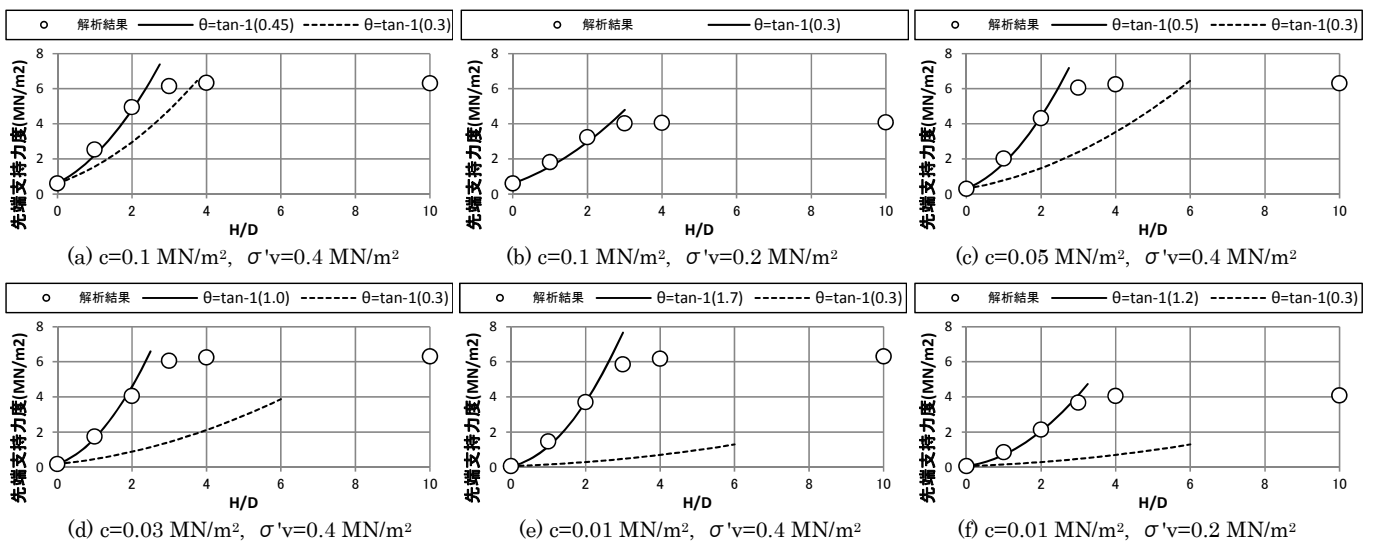


図5 極限先端支持力と中間層厚の関係（砂質土Bの場合）

* 岡山理科大学工学部建築学科
 ** 大成建設（株）技術センター

* Dept. of Architecture, Okayama University of Science
 ** Technology Center, Taisei Corporation