

鋼管杭の薄層支持メカニズムに関する解析的検討

阪神高速道路(株) 正会員 ○服部 駿佑 正会員 篠原 聖二 正会員 藤井 遥
(株) 地域地盤環境研究所 正会員 稲垣 祐輔 正会員 譽田 孝宏

1. はじめに

橋梁基礎の設計において、支持層が砂礫層に富み、かつ粘土を挟在する洪積砂泥互層が分布し、薄層支持状態となる場合がある。このような複雑な互層状態となる地盤の支持力の評価として薄層支持力式の適用性が考えられるが¹⁾、薄層支持力式は打込み杭工法への適用事例が無いことが課題である。本稿は、大口径(1,500mm)鋼管杭の鉛直載荷試験結果を基にした解析を用いて、打込み杭工法による鋼管杭における薄層支持メカニズムについて検討した結果を報告する。

2. 既往事例の整理

薄層支持力式は、図-1に示す杭先端と下位粘性土の位置関係をパラメータとし、 $1 \leq H/D \leq 3$ のとき $q_d' = \alpha \cdot q_d$; $\alpha = 1/2(H/D-1) - 3q_u/2q_d(H/D-3)$, $H/D < 1$ のとき $q_d' = 3q_u$ で表す。ここに、 H : 有効層厚(杭先端以深の支持層厚)(m)(図-3)、 D : 杭径(m)、 q_d' : 先端支持力度(kN/m²)、 q_d : 支持層の極限支持力度(kN/m²)、 q_u : 下位粘性土の一軸圧縮強度(kN/m²)、 α : 薄層を考慮した支持力度の補正係数である。文献2)および3)では、場所打ち杭工法、中掘杭工法等への適用性について、載荷試験の分析および杭-地盤の支持メカニズムに着目した解析を実施している。

3. 解析手法

検証にあたり、杭径1.5m、杭先端深度T.P.-55.0mの鉛直載荷試験(押し込み載荷試験)の再現解析⁴⁾を実施しており、本検討も同様に3次元弾塑性FEM解析(PLAXIS, Bentley製)を行う。杭-地盤の相互作用の実挙動を解明するため、地盤はソリッド要素、鋼管杭はシェル要素で設定し、地盤と鋼管杭の間には摩擦を考慮したジョイント要素でモデル化している。解析ケースは、薄層支持力式のパラメータである有効層厚比 H/D を用いて、(a) $H/D < 1$, (b) $1 \leq$

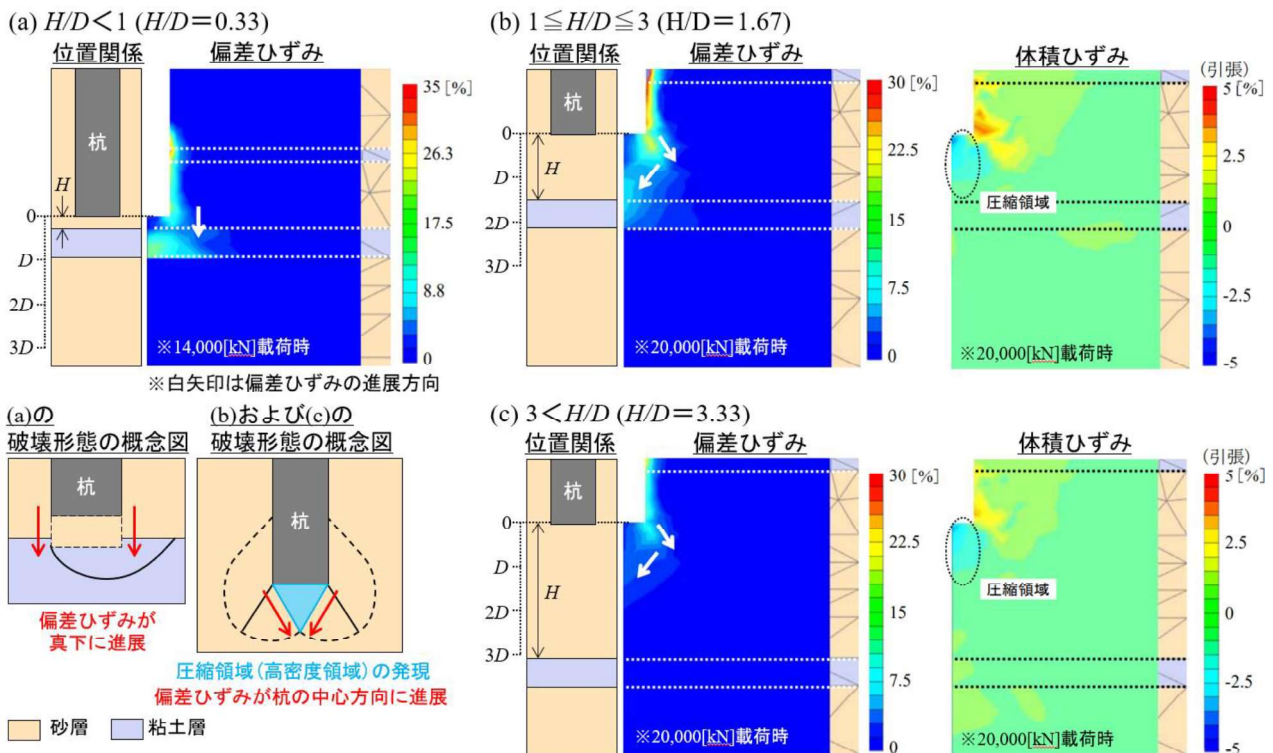


図-1 杭と下位粘性土の位置関係、偏差ひずみ、体積ひずみ分布および破壊形態の概念図

キーワード 薄層支持, 鋼管杭, 載荷試験, 支持力公式, 全応力解析
連絡先 〒650-0023 神戸市中央区栄町通 1-2-10 読売神戸ビル
阪神高速道路(株) 神戸建設部 TEL 078-331-9820 (代表)

$H/D \leq 3$, (c) $3 < H/D$ の3 ケースとし、下位の弱層の層厚は 1.0m とした。加えて、下位の弱層の層厚の影響を確認するため、弱層がモデル下端まで分布するケースも検討した。

4. 薄層支持のメカニズム

各ケースの偏差ひずみ、体積ひずみ分布および破壊形態の概念図を図-1 に示す。ケース(a)の場合、鉛直载荷に伴って杭下端以深の地盤での圧縮領域(高密度領域)は発現しにくく、偏差ひずみが杭の真下方向に弱層まで発達することで「パンチング破壊」となり、大きな先端支持力が得られなくなった。ケース(b)の場合、鉛直载荷に伴って杭下端以深の地盤において圧縮領域(高密度領域)が発現し、それに沿った形で偏差ひずみが発達する。また、その偏差ひずみが弱層まで到達する場合、杭直下地盤の広範囲が塑性化した。ケース(c)の場合、上記に示したような弱層の影響は受けず、高密度領域が出現するとともに、杭下端に発生した偏差ひずみは支持層内で収束し、弱層の層厚の違いに依存することなく、十分な先端支持力が発揮される結果になった。

5. 先端支持力の評価手法

図-2 に杭先端荷重～沈下関係を、図-3 に先端支持力度～有効層厚比の関係を示す。FEM 解析による先端支持力度について、変位急増時(ワイブル分布曲線より推定)および杭径 10%沈下時の2点を抽出した。ケース(a)について、図-3 より FEM 解析値に比べて、設計支持力は小さい先端支持力となっており、特に杭径 10%沈下時は余裕量が多く見える。しかし破壊形態を考えると、杭径 10%沈下に達する前に杭先端荷重は変位急増点(降伏点)を超過しており、降伏点を越えた先端支持力を設計支持力と見なすことは危険であると考えられる。さらに、下位の弱層の層厚を大きくしたケースでは、変位急増点を超過した後の沈下量の増加がより大きい。よって変位急増点で先端支持力を評価することが妥当と考えられ、薄層支持力式の適用は妥当と考えられる。ケース(c)について、杭沈下の進行とともに先端支持力が増加する傾向が強いことから、FEM 解析結果において杭径 10%沈下時の先端支持力に着目することは適切であり、杭下端以深の地盤の N 値から設計支持力を設定する手法は妥当である。なお、下位の弱層の層厚を大きくしたケースでも、荷重沈下関係は変化しなかった。これは、図-1 の偏差ひずみ分布に示す圧縮領域が杭先端から 3D 下方に及んでいないことに起因すると考察した。最後に、ケース(b)について、杭沈下の進行とともに先端支持力が増加する傾向にあることから、弾塑性 FEM 解析結果において杭径 10%沈下時の先端支持力に着目することは適切であり、便宜上、 $H/D=1$ で期待する先端支持力と $H/D=3$ で期待する先端支持力を線形配分して設定する手法は妥当と考えた。

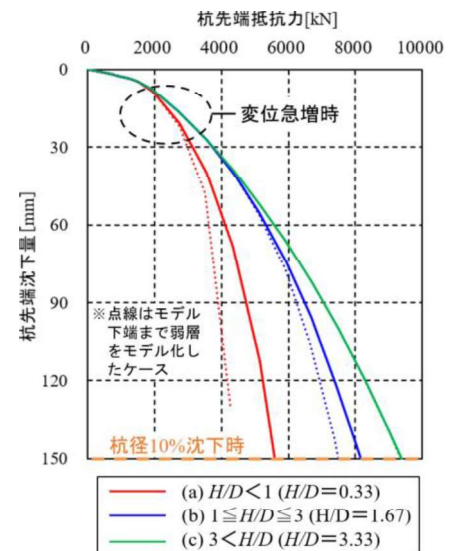


図-2 杭先端荷重沈下関係

6. 結論

本稿は、鋼管杭の鉛直载荷試験を基にした解析を用いて、薄層支持メカニズムの観点から、打込み杭工法による鋼管杭における薄層支持力式の適用性について確認した。なお支持力度の評価においては、弱層の一軸圧縮強度や N 値の評価が支持力度に大きな影響を与えるため、土質調査結果等を慎重に分析し、基礎設計を行う必要がある。

参考文献

1) 服部ほか：鉛直载荷試験をふまえた大口径鋼管杭の支持力評価方法，第 78 回年次学術講演会，2023。2) 大志万ほか：薄層支持杭の支持力特性に関する研究，阪神高速道路公団技報，1990。3) (一社) 鋼管杭・鋼矢板技術協会：薄層に支持された鋼管杭の先端支持力の評価，明日を築く 83 号，2015。4) 稲垣ほか：薄層支持地盤における鋼管杭の鉛直载荷試験の再現解析，第 79 回年次学術講演会，2024。

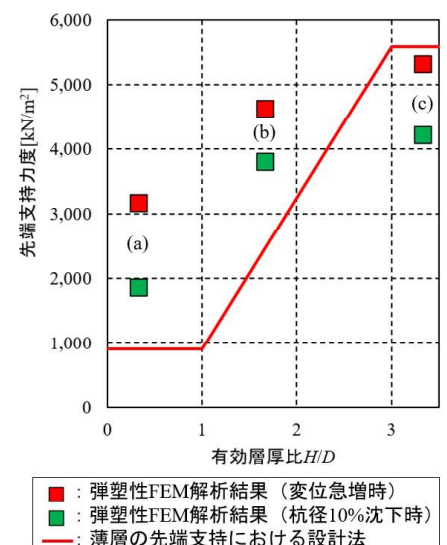


図-3 先端支持力度有効層厚比関係