

杭の押し広げによる地盤内応力変化の評価について

九州大学大学院 学○坂本 俊彦 フェロー 落合 英俊 正 安福 規之

正 中島 通夫 学 馬場崎 宗之助

1. はじめに 杭を無排土もしくは低排土で貫入すると、杭体積に相当する発生残土は杭側方に押し広げられる。この効果は杭周辺地盤内の応力の増加につながり、杭の周面摩擦力改善が期待できる¹⁾。その反面、地下構造物の密接した都市部などでは、地盤内に生じた応力が周辺地盤の既設構造物に与える影響が懸念される。そのため杭の押し広げ効果により生じる地盤内応力変化を精度よく評価することは、周面摩擦力改善効果や周辺地盤への影響を考える上で大変重要となってくる。本研究では、これらの地盤内応力変化を模型装置を用い測定し、空洞膨張理論による評価を行った。

2. 実験概要 図-1 は今回の実験で使用した模型杭の概略図である。模型杭は断面 95mm×700mm のスチール製板にスチール製丸棒(図-1①)が固定されたもの(2 枚)とスチール製丸棒(図-1②)を取り付けた中心軸棒から成り立っている。杭周辺地盤が締固められる過程を表現するために、模型杭は杭内部のスチール製丸棒(図-1①,②)が噛み合うことで機械的に杭を側方に押し広げる構造となっている。図-2 は今回の実験で使用した杭径可変・2 次元模型試験装置の概略図である。土槽は横幅 970mm、高さ 900mm、奥行 95mm で、内部の亚克力板を鋼材で補強している。土槽内部の亚克力板表面には壁面との摩擦を避けるために、グリースを塗りメンブレンを貼ることにより土槽の圧力状態を保っている。杭が側方に開くことによって生じる地盤内水平応力変化を測定するため、図-3 に示す $h/r_0=6, r/r_0=1, 3, 5, 7, 9, 11$ の位置に小型土圧計を設置している。図-4 は本文中で用いた記号についての説明を行ったものである。 r_0 (=35mm)は杭の初期半径、 h は杭先端からの鉛直方向距離、 r は杭中心からの半径方向距離、 dr は杭を側方に押し広げたときの変位量、 dr/r_0 を初期杭半径 r_0 で正規化した値 dr/r_0 を押し広げ量と定義している。

模型実験は杭のある深さ位置の要素をモデル化したもので、今回の実験では上載圧 $\sigma_v=50\text{kPa}$ とした。杭を土槽に設置後、押し広げ量 $dr/r_0=0\sim 0.10$ に相当する変位を杭に与えてそのときの地盤内水平応力を測定した。試料は豊浦標準砂を用い、すべての実験で相対密度 75% である。

3. 実験結果及び空洞膨張理論による評価 本研究では、Carter ら²⁾による空洞膨張理論を適用し、杭の押し広げ効果による地盤内水平応力変化の評価を行った。同理論では地盤を Mohr-Coulomb 弾・完全塑性体と仮定し、円柱空洞が膨張したときの周辺地盤の水平応力変化を閉じた解として求めることができる。以下、模型実験と理論値との比較を行う。理論値を求めるにあたって用いたパラメータを表-1 に示す。

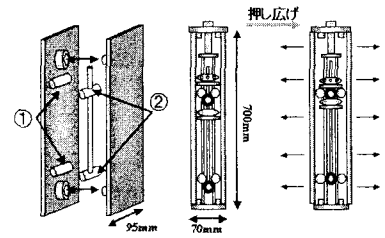


図-1 模型杭

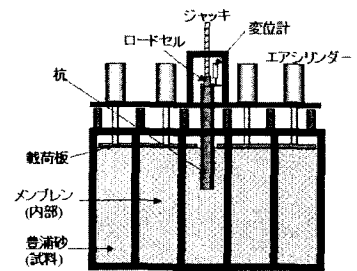


図-2 2次元試験装置

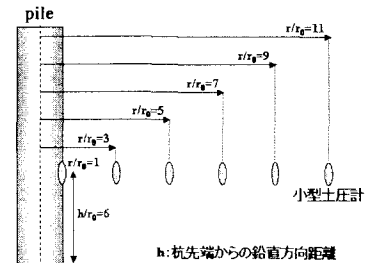


図-3 小型土圧計設置位置

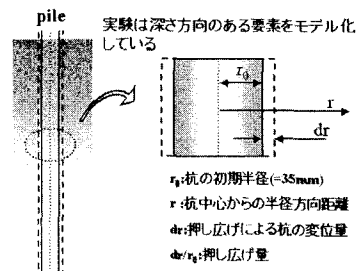


図-4 各種記号定義

3.1 杭側面に作用する地盤内水平応力変化 図-5 は、杭に押し広げ量 $dr/r_0=0\sim0.10$ に相当する変位を与えたとき杭側面に作用する地盤内水平応力変化の様子を示している。縦軸は押し広げ後、杭に作用する地盤内水平応力 σ_h を初期の水平応力 σ_{h0} で正規化した値である。実験結果、理論値ともに押し広げ初期に大きな応力変化を示しており、その後ある一定の値に収束する傾向が見られる。

3.2 杭の押し広げ効果が周辺地盤に与える影響 図-6 は押し広げ量 $dr/r_0=0.06$ のときの杭中心軸線からの半径方向距離とその位置での地盤内水平応力変化の関係である。縦軸は押し広げ後の地盤内水平応力 σ_h を初期の水平応力 σ_{h0} で正規化した値、横軸は杭中心からの半径方向距離 r を杭の初期半径 r_0 で正規化した値である。実験結果、理論値ともに杭近傍で顕著に生じた地盤内水平応力変化は杭からの距離が離れるにつれて減少していくことがわかる。

3.3 実験結果と空洞膨張理論の比較 押し広げ効果に空洞膨張理論を適用することで杭側面に作用する地盤内水平応力変化と周辺地盤における地盤内水平応力変化ともに応力変化の特性を把握することができた。しかし、空洞膨張理論によって求めた値は実験値よりも相対的に大きな値となった。その理由として、図-7 に示すようにダイレタンシー角 ψ やせん断弾性係数 G の与え方によって理論値が大きく変動することが挙げられ、実験条件に適した G や ψ の与え方を明確にする必要があると考えられる。また、空洞膨張論は押し広げ過程での土の圧縮を ψ のみで表現している。実際には平均応力の増加による圧縮も生じるはずであるから、平均応力の増加による塑性域の体積ひずみを反映した項を考慮する必要があると考えられる。一方、実験面では押し広げ効果によって生じた地盤内応力変化が模型地盤表面に逃げようとするため、土槽内の鉛直方向に対する平面ひずみ状態が満足されず、実験値が実際よりも小さな値になったとも考えられる。

4. まとめ 本研究では、杭の押し広げ効果により生じた地盤内応力を定量的に評価するため実験値と空洞膨張理論の比較を行った。その結果、

- 1) 杭に作用する地盤内水平応力変化は押し広げ初期に顕著であり、その後一定の値に収束していく。
- 2) 押し広げ効果によって生じた地盤内水平応力変化は杭近傍で顕著であり、杭から離れるにつれ一定の値に収束していく。
- 3) 空洞膨張理論を用いた地盤内水平応力の予測値により、実験値の特性を定性的に表現することができた。このことは今後、押し広げ効果による杭の周面摩擦力改善効果と周辺地盤に与える影響の範囲を地盤の物性と杭設置時の境界条件に応じて定量的に評価できることを示唆する。

なお、本研究は科学研究費基盤研究 B(No.14350260(地盤の圧縮性を考慮したテーパー杭基礎の支持力評価と性能設計への展開))の成果の一部である。

【参考文献】

- 1) 金川ら：杭の押し広げによる地盤内応力変化と主面摩擦力改善効果，土木学会西部支部研究発表会講演概要集，ppA-420-421,2002
- 2) Carter ら：Cavity Expansion in cohesive frictional soils, *Geotechnique*, Vol.36, No.3, pp.349-358, 1986

表-1 各種パラメータ

初期水平応力	25kPa
初期杭半径 r_0	35mm
押し広げ量 dr/r_0	0, …… , 0.10
摩擦角 ϕ	30°
ダイレタンシー角 ψ	5°
粘着力 c	0
せん断弾性係数 G	100, 200, 300(kgf/cm ²)

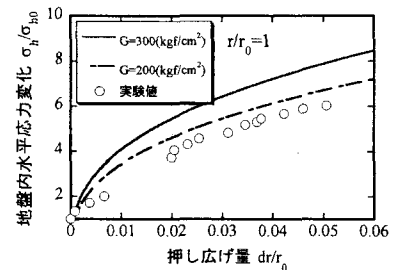


図-5 押し広げ量-水平応力変化

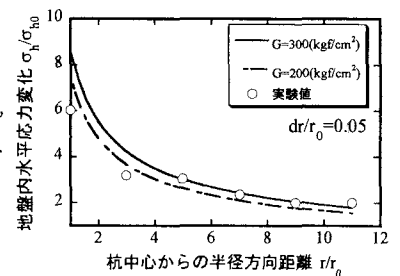


図-6 半径方向距離-水平応力変化

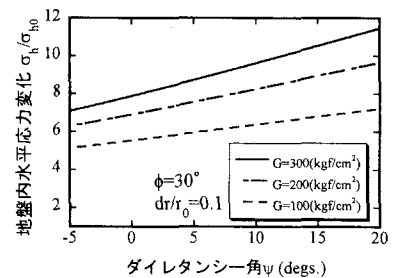


図-7 ψ -水平応力変化