

杭の押し広げによる周面摩擦力改善効果の解析的検討

九州大学大学院 学○馬場崎 宗之助 工○落合 英俊

九州大学大学院 正 安福 規之 正 山田 正太郎

1. はじめに

杭の支持力改善を考える上で、貫入過程における地盤内の水平応力の変化を知ることは重要なことである。過去の研究においては、場所打ち杭を想定した押し広げ問題の検討を実験的に行ってきた¹⁾。この実験は、杭径可変・応力制御型载荷試験装置を用いて、模型杭を外側に押し広げることにより、杭に作用する水平応力を増加させ、杭の周面摩擦力を増加させることを目的としている。本研究においては、この実験結果を踏まえて、杭の押し広げ量と水平応力の変化の関係を円筒空洞における空洞膨張論を用いて評価し、実験値と理論値との比較を行なった。

2. 水平応力の変化に着目した周面摩擦力算定式

砂地盤における杭の周面摩擦力は、一般に次式で表される。

$$f_s = \sigma_h \tan \phi \quad \text{ここに、} f_s: \text{周面摩擦力、} \sigma_h: \text{杭に作用する水平応力、} \phi: \text{杭と地盤との摩擦角}$$

金川らは杭に作用する地盤内の水平応力変化に着目した周面摩擦力式を次式のように表している¹⁾。

$$f_s = (\sigma_{h0} + \Delta\sigma_h) \tan \phi = (\sigma_{h0} + \Delta\sigma_{h1} - \Delta\sigma_{h2}) \tan \phi$$

ここに、 σ_{h0} ；初期の水平応力、 $\Delta\sigma_h$ ；水平応力の変化、 $\Delta\sigma_{h1}$ ；水平応力の増加、 $\Delta\sigma_{h2}$ ；水平応力の緩和

本研究では、このうち、応力緩和前の杭に作用する水平応力の変化量に着目しており、杭を側方に押し広げる過程で増加する杭近傍及び杭周辺部の水平応力 ($\Delta\sigma_h$) を円筒空洞における空洞膨張理論を用いることで、理論的に評価している。

3. 空洞膨張論を用いた杭の押し広げの解析的検討について

3.1 仮定及び解析条件について

本研究においては Yu らの空洞膨張論²⁾を用いて理論解析を行った。これは、図-1 に示すように初期条件 (空洞半径 a_0 、空洞内圧 p_0) のもとで、空洞内圧 (p) の増加に伴う空洞半径 (a) の変化量を求めるものである。また、半径方向の地盤内応力 (σ_r) の変化についても考察を行った。ここで、地盤の破壊条件は Mohr-Coulomb の破壊条件を用いて、空洞内圧 (p) が降伏応力 (p_{1y}) に至るまでは地盤内応力は弾性挙動を示し、空洞内圧 (p) が降伏応力に至った後は、図-2 に示すように、空洞の膨張に伴い $r < c$ の範囲には塑性域が形成され、その周囲 ($r < c$) に弾性域が形成されるという状況を仮定している。

解析に用いた地盤定数及び初期条件を表-1 に示す。今回は解析結果と実験結果の比較を行なうために、地盤定数には実験に用いた地盤 (豊浦砂) のパラメーターを用いている。また、初期条件についても実験条件と同様の値とした。

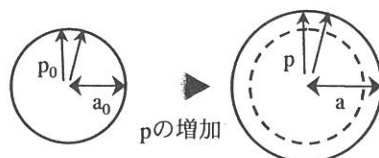


図-1 空洞膨張論における初期条件

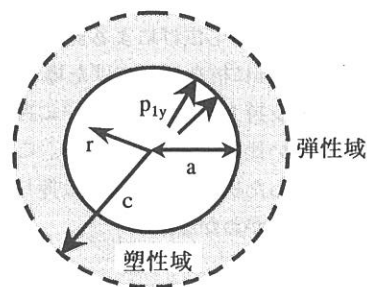


図-2 降伏後の地盤の状況

表-1 解析に用いたパラメーター

ヤング率 E (MPa)	13.0
ポアソン比 ν	0.3
粘着力 c	0
内部摩擦角 ϕ (°)	30
グレイタシ-角 ψ (°)	0
初期内圧 p_0 (kPa)	25
初期空洞半径 a_0 (mm)	35

3.2 解析結果

図-3 に解析結果を示す。図中の縦軸は空洞内圧を、横軸は空洞半径を表しており、それぞれ初期条件（空洞内圧 p_0 、空洞半径 a_0 ）で正規化している。また、図中の破線は降伏前、実線は降伏後の空洞内圧—空洞半径の関係をそれぞれ表している。この図より、弾性挙動を示す範囲は非常に小さく、ほぼすべての領域において降伏後の挙動を示していることが分かる。

4. 実験値と計算値の比較

4.1 杭周辺地盤における水平応力変化量の比較

図-4、図-5 は空洞膨張に伴う地盤内応力の変化量を表している。図中の縦軸の σ_r は空洞の半径方向の土圧を表しており、空洞内圧 σ_{r0} ($=p$) で正規化している。横軸の r は空洞の中心からの距離を表しており、空洞の半径 a_0 で正規化している。図-4、図-5 はそれぞれ空洞半径を 2%、6% 増加させた時の地盤内応力の実験値と解析値を表している。これらの図より、いずれの結果においても実験値が解析値を下回る結果となっていることがわかる。これは、実験は二次元の模型装置で行なっており、壁面の摩擦の影響により応力伝播が阻害されたためであると考えられる。

4.2 周面摩擦力比較

図-6 は実験値と解析値の周面摩擦力改善効果の比較を表している。図の縦軸の f_s は解析によって得られた σ_h の値を前述の周面摩擦力式に代入することにより得られた周面摩擦力を示しており、膨張前の周面摩擦力 (f_{s0}) で正規化している。横軸は模型実験により得られた周面摩擦力を表しており、縦軸と同様に膨張前の周面摩擦力 (f_{s0}) で正規化している。図中では、杭の表面粗さが $R_{max}=1.0\mu m$ 、 $100\mu m$ の場合の実験結果を解析値と比較している。この図より、杭の表面粗さが周面摩擦力の改善効果に大きく寄与すると考えられる。従って、杭の表面粗さを含めた空洞内壁と地盤との摩擦の影響を計算値に反映させる必要があると考えられる。

5. まとめ

本研究では、空洞膨張論を用いて杭の押し広げによる水平応力の増加についての理論解析を行なった。この結果をまとめると、

- 1) 空洞が膨張するほぼすべての過程において地盤は弾塑性挙動を示すという結果を得た。
- 2) 杭周辺地盤における水平応力の変化量の解析値と実験値の比較においては実験値が解析値を下回る結果となったが、これは、実験における土槽壁面の摩擦の影響が考えられる。
- 3) 解析により得られた値 (σ_h) を周面摩擦力の式に反映させる際には空洞内壁と地盤の摩擦の影響を考慮する必要があると考えられる。

【参考文献】1) 金川ら：杭の押し広げによる地盤内水平応力変化と周面摩擦力改善効果、土木学会西部支部研究発表会講演概要集、pp418-419、2002 2) Yu, H.S. and Housby, G.T.: Finite cavity expansion in dilata soils: loading analysis. Geotechnique, 41(2), pp173-183, 1991

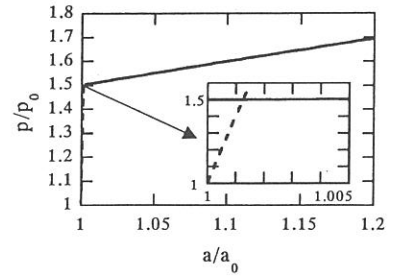


図-3 p/p_0 - a/a_0 関係

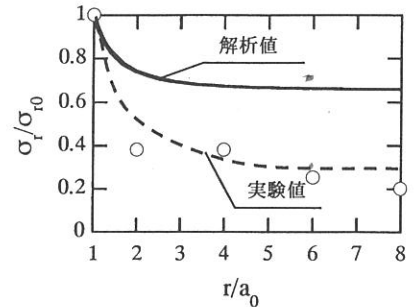


図-4 σ_r/σ_{r0} - r/a_0 関係 ($a/a_0=1.02$)

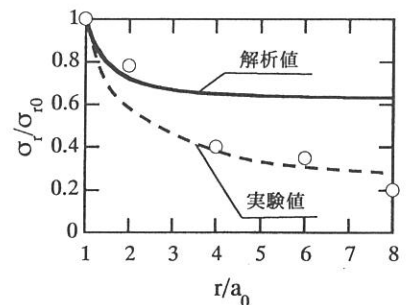


図-5 σ_r/σ_{r0} - r/a_0 関係 ($a/a_0=1.06$)

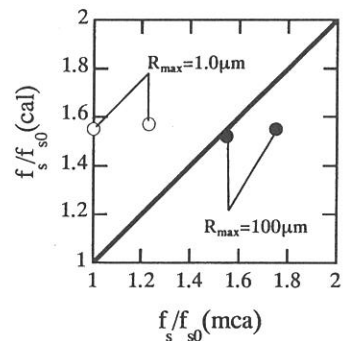


図-6 周面摩擦力改善効果の比較