

DEMを用いた複合杭の支持力機構に関する検討

九州大学大学院 学生会員○村上 敏幸
正会員 陳 光斉フェロー会員 善 功企
正会員 笠間 清伸

1. 目的

鋼管杭の支持力向上策として鋼管杭の外周面部にセメントミルクを注入し、地盤を固化する工法（以下、複合杭）が開発されている。しかしながら、現場の施工状況が変わり易いこともあり、その設計・施工は過去の事例や経験により行われているのが現状である。これまで、模型実験により、杭の支持力特性および破壊メカニズムの解明がなされてきた¹⁾。そこで本文では、杭貫入時の挙動を評価する手法として個別要素法（以下、DEM）を用いて、模型実験との比較検討を行い、複合杭の支持力発生メカニズムの解明を行うことが目的である。

2. 内容

2.1 解析概要

解析では、アルミ丸棒積層地盤を用いた模型実験をできる限り忠実にモデル化した。まず最初に、幅 30cm、高さ 50cm の 2 次元モデル地盤を自由落下させて生成した。解析に必要な材料定数は、粒子間の法線方向および接線方向バネ定数(k_n 、 k_s)、粒子～境界壁および杭間の法線方向および接線方向バネ定数(k_n 、 k_s)、粒子間摩擦角(ϕ_μ)、粒子～境界壁および杭間摩擦角(ϕ_μ')、粒子の密度(ρ)である。表-1 に解析に用いた材料定数を示す。ここで、粒子間摩擦角(ϕ_μ)は、アルミ丸棒の粒子間摩擦角 $\phi_\mu=16^\circ$ ²⁾を使用した。また、粒子～境界壁および杭間摩擦角(ϕ_μ')は境界面においてもアルミ棒積層地盤が横方向に続いているとし粒子間摩擦角 ϕ_μ と同じ $\phi_\mu'=16^\circ$ を使用した。粒子の密度(ρ)もアルミ丸棒の密度である $\rho=2.690\text{Mg/m}^3$ を採用した。解析ケースについては実験値との比較が行ないやすいように過去に行なわれた模型実験を参考に、図-1 に示す 4 ケースとした。模型実験の概要に関しては別報に詳しい³⁾。

2.2 周辺地盤の破壊状況

Case2,3 における 20mm 貫入時の実験および解析結果のベクトル図をそれぞれ図-2,3 に示す。Case2,3 とともにすべり面が突起位置よりもやや外側になっており、Case3 のほうが側方へ移動している領域が広い。また、突起直下の地盤は、水平方向に押し出されている。周面抵抗に関しては Case1 よりも、Case2,3,4 のほうが大きくなった。これは、ひずみ分布図から判断すると、突起直下の地盤が圧縮され、その結果、受動抵抗が生じ、突起直下付近では水平応力が増加したためであると考えられる。Case3 では、突起間のピッチが広いこと、上側の突起と下側の突起の相互干渉が弱まり、水平応力が増加している領域が Case2 よりも大きくなっていると考えられる。つまり、突起ピッチを広げることにより、支持力は大きくなる傾向にあるが、これまでに突起ピッチを互いの突起間のゆるみ領域と圧縮領域が干渉しない最適ピッチが存在することが明らかとなっている。

表-1 DEM 解析で用いた材料定数

材料定数	値
k_n, k_s	$1.0 \times 10^8 (\text{N/m})$
k_n, k_s	$1.0 \times 10^8 (\text{N/m})$
ϕ_μ	16°
ϕ_μ'	16°
ρ	2.690Mg/m^3

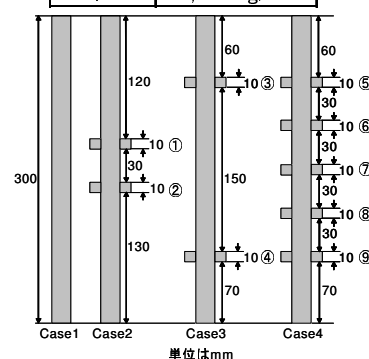


図-1 解析ケース

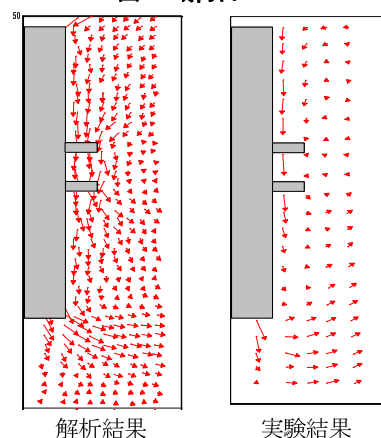


図-2 Case2 におけるベクトル図

キーワード 複合杭 個別要素法 支持力

連絡先 〒812-8581 福岡市東区箱崎 6-10-1 九州大学大学院 防災地盤工学研究室 TEL/FAX 092-642-4399

2.3 理論値との比較

これまでに提案されている支持力算定式¹⁾から求めた複合杭の周面抵抗の理論値と解析値とを比較したものを、図-4,5,6 に示す。図中の番号は、図-1 中の突起番号に対応している。**Case2** : ①の突起において解析値では理論値の約半分の値となった。これは、②の突起の影響により、地盤がゆるんだことで理論値ほどの支持力が発揮されなかったと考えられる。②の突起については理論値と近い値となった。**Case3** : **Case2** の場合と同様に下部の突起 (④) については、理論値と近い値となった。割的にみても②の突起とかなり近い結果である。上部の突起 (③) では、**Case2** とは逆に理論値の2倍となった。これは、突起直下に発生する受動抵抗が原因であると考えられる。また、**Case3** の、解析値では、③と④の突起がほぼ等しい支持力となった。これは、互いの突起の効果が十分に発揮されているとためだと考えられる。**Case4** : 最下部 (⑨) と最上部 (⑤) にある突起は理論値と近い値となった。しかし、⑦、⑧、⑨の突起については **Case2** 同様、理論値ほどの支持力は発揮されていない。これは、ピッチが小さいために上下の突起の作用を受け、突起の効果が十分に発揮されていないのだと考えられる。

以上の示す結果から、突起の効果が、最大に発揮されるピッチが存在することが確認された。一方、各ケースともに最下部に位置している突起については理論値と近い値となった。理論値では式中に単位体積重量が入っているために、杭の根入深が突起支持力に影響を及ぼす。また、突起直下の地盤への影響などを考慮していない。つまり、通常の杭の周面支持力は根入深さによって変化するが、複合杭は、単純に突起深度によって支持力を求めることが出来ないことを示唆する。複合杭の周面支持力は、突起間のピッチによって互いに影響を及ぼしあう度合いが異なる。以上のことから、突起の支持力算定式を求めるさいには、突起間のピッチおよび杭貫入時の突起直下の地盤のゆるみ等を考慮する必要があると考えられる。今後は、DEM を用いて、複合杭の最適形状および、より正確な支持力算定指式の提案に向けて研究を進めていく所存である。

3. 結論

- (1) 突起の存在により、杭周面の地盤は大きく変位し、支持力に大きく影響する。
- (2) 突起の位置によって、理論値の精度が異なる。最下部に位置する突起支持力は、理論式を用いて定量的に評価することができる。
- (3) 杭全体の支持力を考えるさいには、突起上部のゆるみ領域を考慮した算定式の検討が必要である。

<参考文献> 1) 原健一郎ら：複数の突起を有する杭の周面抵抗に関する理論的考察、土木学会西部支部研究発表会講演概要集第1分冊、pp.A-264-265、2004. 2) 松岡元、斎木清志：2次元粒状体（丸棒）の粒子間摩擦角 (ϕ_μ) の一測定法、第27回土質工学研究発表会、pp579~580、1992. 3) 仁井克明：模型地盤における複合杭の支持力特性、九州大学卒業論文、2000.

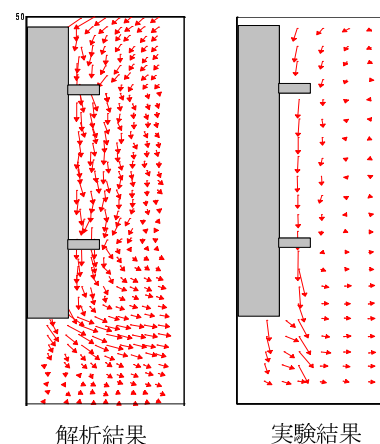


図-3 Case3におけるベクトル図

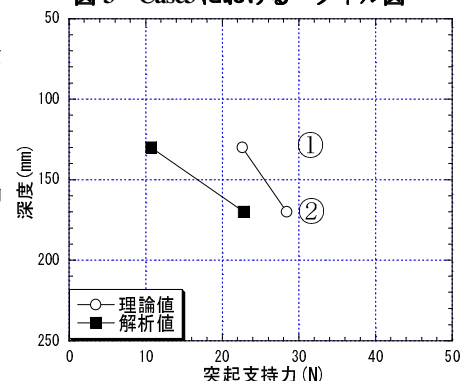


図-4 Case2における理論値との比較

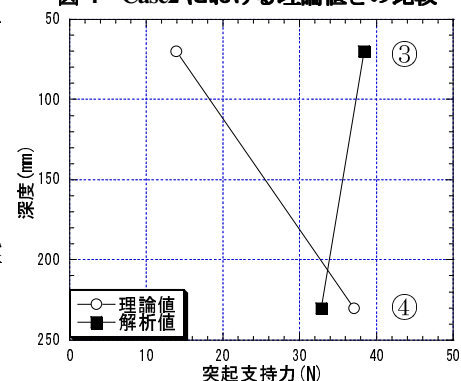


図-5 Case3における理論値との比較

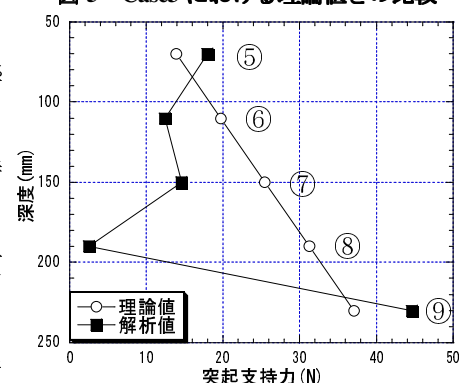


図-6 Case4における理論値との比較