

杭周辺地盤の挙動に着目し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. 背景および目的

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。複合杭の設計・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を目的とする。

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。杭長は 30cm とし、幅 30cm、高さ 50cm の領域に粒子を自由落下させ、2次元モデル地盤を生成した(図-1)。粒子は、1mm と 1.6mm を 3:2 に混合している。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。図-1 中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 $\phi_\mu = 21^\circ$ 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 $\phi'_\mu = 21^\circ$ 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、間隙比は $e = 0.24$ である。解析ケースは、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、表-1 に示す 7 ケースとした。模型実験の概要に関しては別報に詳しい²⁾。

2.2 解析結果（実験値との比較²⁾）

図-2 に、沈下量-貫入抵抗力関係の解析結果を示す。図中の記号は n:突起数、p:ピッチ、h:突起高さを表す(以下、同様)。貫入抵抗力は全てのケースにおいて沈下量とともに直線的に増加したあと、徐々に増加していく。同じ沈下量で比較すると、 $n=8$ 、 $p=3\text{cm}$ (Case6)のときに最も大きな抵抗力を発揮した。突起個数が 2 個(Case1～4)では、Case1 が最も大きな値であった。突起高さが各ケース共通であるため、複合杭の支持力を算定する場合には、やはり突起個数およびピッチが大きく関係している。さらに、過去の模型実験より、突起高さも全体の支持力に影響を与えることが明らかになっている。よって、今後は、突起高さを変えた解析を行う必要がある。

図-3 に、先端抵抗力-沈下量の関係を示す。突起個数が 2 個の場合については、4 ケースとも同じ値であるので、4 ケースの平均値とした。全てのケースにおいて、沈下量とともに先端抵抗力は増加する。この図から、突起個数により、若干の違いはあるが、先端抵抗力への影響はあまり大きくない。よって、杭全体の支持力を考えるさい、突起個数に関わらず、先端抵抗力の算定には、従来の支持力公式を用いて計算できると考えられる。

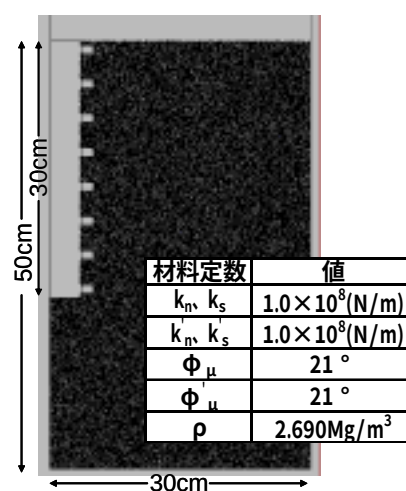


図-1 解析モデル図および材料定数

表-1 解析ケース

Case	Number of protrusions	Pitch (cm)	Height (cm)
1	2	20	1.5
2	2	15	1.5
3	2	10	1.5
4	2	5	1.5
5	4	6	1.5
6	8	3	1.5
7	11	1.5	1.5

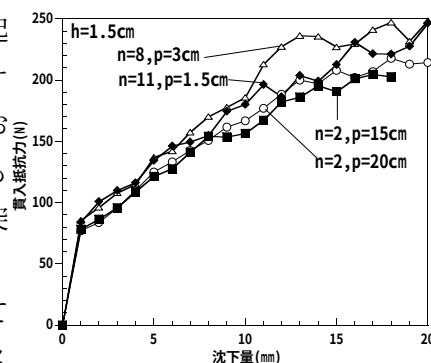


図-2 貫入抵抗力の比較

図-4 に、最下部に位置する突起の地表面からの深さが変化したときの突起支持力(20mm 貫入時)と深度の関係を解析値と実験値とで比較したものを示す。この図から、解析値に多少のばらつきはあるが、両結果ともに突起の設置深度が大きくなるほど、大きな支持力が得られ、その傾向は深度にほぼ比例するように増加する。また、実験値では、その増加率は突起が高いほど顕著である。これは、突起部分の上載圧が大きくなり、受動抵抗が増加すること起因するためだと考えられる。よって、最下部の突起支持力は、突起の設置深度との関係により求めることができると考えられる。

図-5 に、突起 1 本あたりの平均突起支持力(20mm 貫入時)とピッチの関係を解析値と実験値とで比較したものを示す。両結果とも同じような傾向を示す。各ケースで共通することは、ピッチが狭いときは突起支持力が小さく、逆にピッチが広がると突起支持力が大きくなる。これは、ピッチが狭いときは、上部突起のくさびと下部突起のゆるみ領域が影響しているため、十分な突起支持力が得られていないが、ピッチを広げることで、突起どうしの影響が弱まり、それぞれの突起が地盤からより大きな受動抵抗を受けるためだと考えられる。また、突起高さが高くなるほど、支持力が大きくなる傾向にある。これは、先にも述べたように、受動抵抗の増加によるものであると考えられる。

図-6 に、初期状態から 20mm 貫入後での粒子の移動ベクトル図を示す。杭先端部における粒子は、各ケースともに下方に押し出され、同じような挙動を示している。しかし、杭側面部の粒子は、Case1 と Case7 で周辺地盤の挙動が若干異なる。Case1、つまり突起が 2 個の場合には、粒子が突起高さより外側の広い領域において、突起間で弧を描くように移動している。Case7(突起が複数)では、前者よりも移動している領域が少ない。また、弧を描くのではなく、下方への移動が目立つ。また、杭周辺地盤の間隙比変化を検討した結果も、Case1 と Case7 ではその変化率に違いが見られた。以上より、突起個数(ピッチ)により、破壊時の周辺地盤の挙動をいくつかのパターンに分類できるのではないかと考えられる。さらに、これらの破壊モードを明確にすることで、支持力算定式への適応ができるのではないかと考える。

以上から、先端支持力、最下部突起支持力、上部突起支持力を個別に算出し、足し合わせることで、複合杭全体の支持力が求められることがわかる。

今後は、これまでに提案されている複合杭の算定式と解析結果との相関性を見出し、より適切な算定式の提案に向けて、研究を進めていく所存である。

3. 結論

- (1)突起による先端抵抗力への影響はあまりなく、複合杭の先端支持力は従来の支持力公式が適用できる。
- (2)最下部突起支持力は、深さに比例して増加する。
- (3)突起個数、ピッチにより、破壊時の周辺地盤の挙動をいくつかのパターンに分類できる。

<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力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)鴨川慎矢：模型実験による複合杭の支持力発現機構に関する研究,九州大学卒業論文2002.

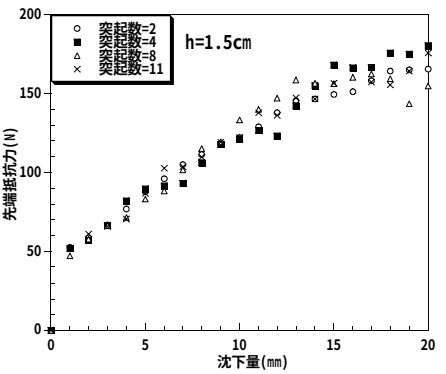


図-3 沈下量-先端抵抗力

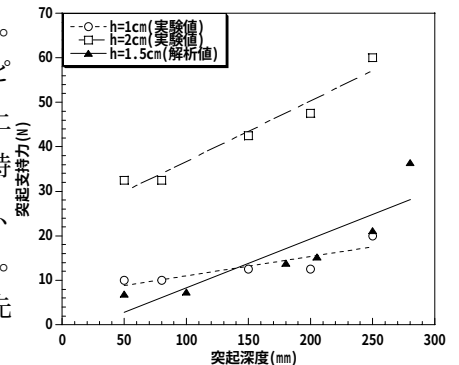


図-4 突起支持力と突起深度

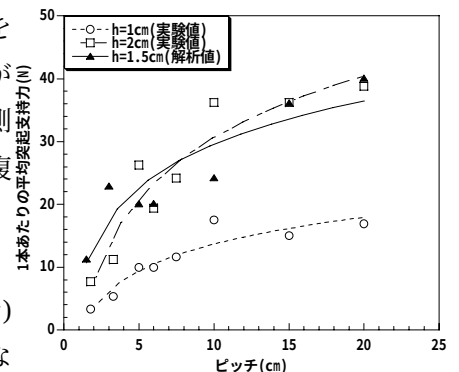


図-5 平均突起支持力(1本)とピッチ

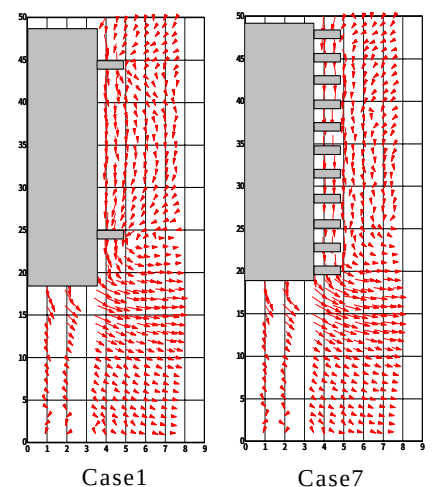


図-6 粒子の移動ベクトル図