

杭先端に突起を設置した複合杭の支持力機構

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、複合杭を突起を有する杭とモデル化した模型実験により、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),2)}。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を用いて、複合杭の支持力発生メカニズムの解明を行う。

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。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、これまでに行った解析結果をもとに、図-2に示す18ケースとした。なお、本個別要素法による数値解析の妥当性については、別途、模型実験結果との比較により検討を行った³⁾。また、便宜上、本研究では複合杭が発揮する抵抗力について図1に示すように定義する。

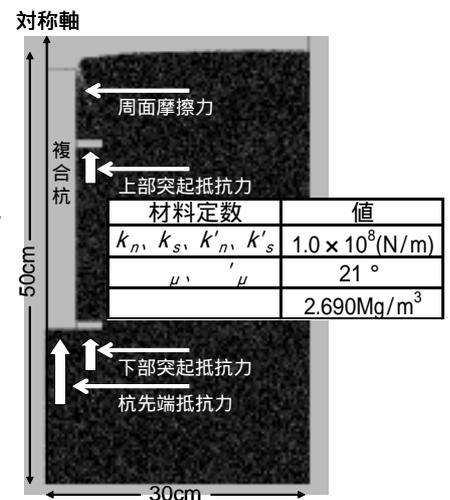


図-1 解析モデル図および材料定数

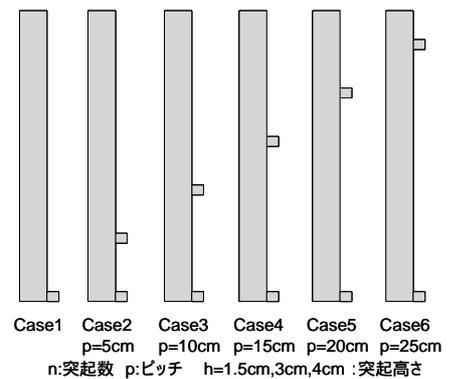


図-2 解析ケース

2.2 解析結果

図-3に突起高さ3=cmのときの、正規化沈下量-貫入抵抗力の関係を示す。ここで、正規化沈下量とは沈下量を杭径で除した値である(以下同様)。貫入抵抗力は、沈下量とともに直線的に増加したあと、徐々に増加した。同じ沈下量で比較すると、ケースによる違いは大きくなり、この傾向は突起高さによらず共通であった。また、突起高さが増すにつれて、貫入抵抗力は増加した

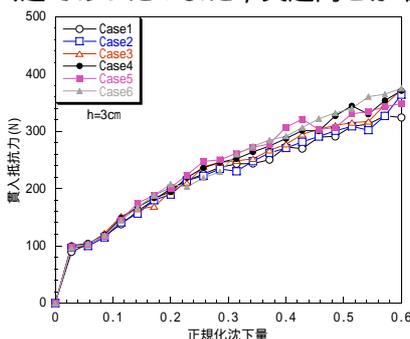


図-3 正規化沈下量-貫入抵抗力

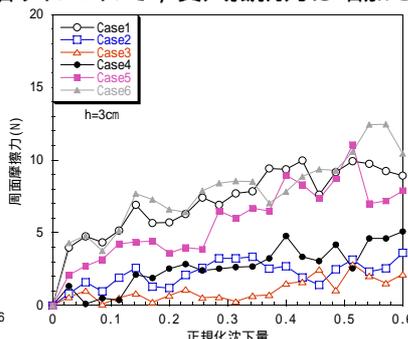


図-4 正規化沈下量-周面摩擦力

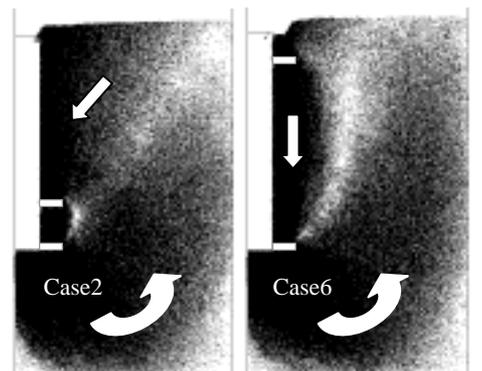


図-5 杭貫入時の杭周辺の地盤状況

図-4 に、突起高さ $3=cm$ のときの正規化沈下量-周面摩擦力の関係を示す。解析結果はばらつきが大きい、本解析の条件においては複合杭の周面摩擦力による抵抗力は非常に小さい。また、各ケースとも杭側面の面積は同じにもかかわらず、Case2,3,4 と Case5,6 ではその値が倍近く異なった。

そこで、破壊モードの違いを考察するために、図-5 には杭貫入時の周辺地盤における地盤状況(Case2,Case6)を示す。なお、図中の矢印は粒子の移動方向を示している。Case2,3,4 ではピッチが小さいため、上部突起の上側の地盤がゆるみ側方の粒子が流入し明確なすべり線が形成される。よって、杭と粒子との摩擦が起きにくく、摩擦抵抗が発揮されにくい。一方、Case5,6 はピッチが大きいために、上部突起による地盤のゆるみには影響が少なく、杭と突起間に挟まれた粒子との間で Case2,3,4 よりも大きな摩擦抵抗が発揮される。また、地盤上部へ粒子が押し出され、地盤上面が若干盛り上がっている。よって、杭先端に突起を設置した場合には、ピッチにより破壊モードを二つに大別できる。

次に、杭に設置した二つの突起に着目する。図-6 にピッチ-上部突起支持力の関係を示す。ここでは、沈下量 20mm 時の荷重を支持力とした(以下同様)。上部突起支持力は Case4 が最も大きな値となった。図-4 では Case4 と 5 を境に破壊モードを区別できたので、この結果と図-6 より、摩擦抵抗および上部突起抵抗が最も発揮される効果的なピッチがこの付近に存在すると予想される。また、各ケース共通して、上部突起支持力の増加率は突起高さとはほぼ比例関係にあった。また、図-7 に突起高さ-下部突起支持力の関係を示す。下部突起支持力は上部突起とは異なり、ケース(ピッチ)によってその値はそれほど変わらず、突起高さが増すにつれて増加する。また、その増加率は上部突起と同様に比例関係にある。ここで、突起支持力(上部突起+下部突起)に対する下部突起支持力の割合を計算してみると約 90%前後が下部突起支持力により発現されていた。したがって、二つの突起を用いて、一方を杭先端に設置した場合には下部突起抵抗の効果が大きいといえる。

図-8 に複合杭全体の支持力に対する杭先端支持力と下部突起支持力の合計の割合を示す。全ケースとも 90%以上がこの両者により発現されている。しかし、Case 番号が小さくなるにつれて、その割合は若干小さくなった。これは、複合杭の形状により、支持力の発現機構が異なるからだと考えられる。

つまり、Case1 は下部突起のみであるから、先端部での抵抗が大きくなるのは明らかである。Case2,3 は上部突起、周面摩擦による抵抗がほとんど発現されないため、先端部での抵抗が大きくなる。また、Case4 では上部突起による抵抗、Case5,6 では周面摩擦による抵抗が他のケースよりもそれぞれ大きくなることで、先端部の割合が小さくなる。これは、上述した破壊モードの違いにより、各抵抗の発現機構が異なるためだと考えられる。

3. 結論

杭先端に設置した突起の効果は大きく、大きな支持力増加をもたらす。また、突起を二つ設置するさいには、最も効果的なピッチが存在し、またピッチにより、杭貫入時の周辺地盤の破壊モードを大きく二つに大別できる。この破壊モードの違いにより、抵抗力の発現機構も異なる。

<参考文献>

- 1)原健一郎：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.
- 3)村上敏幸ら：複合杭周辺地盤の変形解析に対する個別要素法の適用性，土木学会西部支部研究発表会 -37,2005.3.

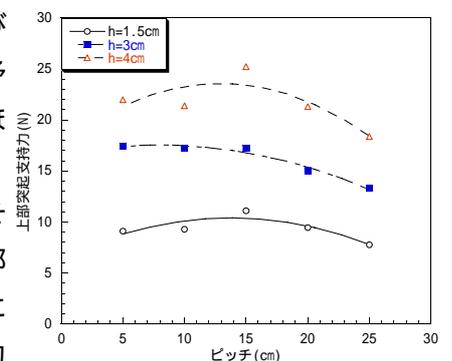


図-6 ピッチ-上部突起支持力

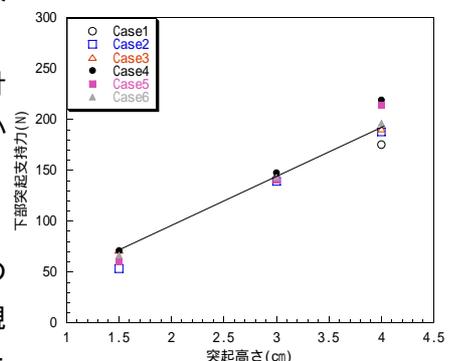


図-7 突起高さ-下部突起支持力

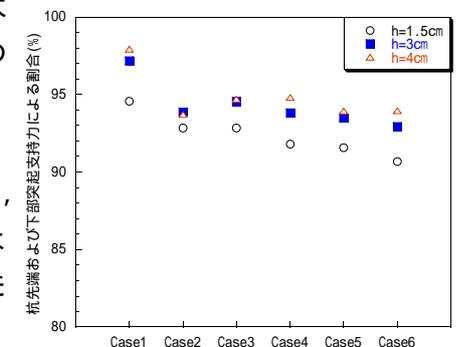


図-8 複合杭先端による支持力割合