

砂地盤における模型複合杭の鉛直載荷実験

福岡大学工学部 学 ○原 健一郎 九州大学大学院 正 善 功企
九州大学大学院 正 陳 光斉 九州大学大学院 正 笠間 清伸

1. はじめに 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が開発され、現場実証実験からもその有効性が認められている。しかし、支持力増加メカニズムについては未解明な点が多く、設計手法についても確立されていないのが現状である。これまでのアルミ棒積地盤を用いた実験により、複合杭周辺の土粒子の動き、複合杭の支持力特性および最適な形状が明らかになりつつある。本研究では、砂地盤の複合杭の支持力増加メカニズムの解明を目的として、セメントミルク固化体の形状を突起と見立て複合杭をモデル化し、鉛直載荷実験を行い複合杭の支持力特性を明らかにしようとするものである。

2. 実験概要 内径 489mm、高さ 600mm の円筒形状の土槽を用い、地盤には豊浦砂を使用し、空中落下法により相対密度 $Dr=40\%$ と 75% の地盤を作製する。

模型複合杭(杭長 300mm、直径 50mm)は、さまざまな形状に設定できるように、突起の高さ(h)、深度(y)およびピッチ(b)を変化させている。表-1 に示す実験ケースで、載荷速度 1mm/min の鉛直載荷実験を行った。また、用いた複合杭は、杭の先端部につけられている土圧計により、先端抵抗力と周面抵抗力を分離して測定することができる特徴を有する。

3. 実験結果および考察 複合杭の突起深度が支持力増加に与える影響を検討するために、1 個の突起を取り付け設置深度を変化させた実験を行った。図-1 に相対密度が 40% の地盤に、突起高さ 20mm の突起の設置深度を変化させたときの荷重-沈下曲線を示す。複合杭の荷重-沈下曲線は、突起深度が大きくなるほど、荷重-沈下曲線は右側に移動する。また、突起を取り付けることで、荷重-沈下曲線の形状も突起なしのものとは大きく変化する。これらの荷重-沈下曲線から、最大曲率の点を極限支持力と定義し、そのときに発現している先端抵抗力および周面抵抗力を用いて複合杭の支持力特性を検討する。

突起の設置深度が、先端抵抗に与える影響を評価するために、図-2 に先端抵抗力と突起深度との関係を示す。ただし、横軸は、突起の深度を杭の長さで割って正規化している。突起高さが大きいほうが大きい値を示しているが、突起深度に対して先端抵抗力の変化はあまり見られない。

複合杭の突起の影響を評価するために、複合杭の周面抵抗力から、突起なしの周面抵抗力を引くことで、突起が分担する支持力(以後、突起支持力と呼ぶ)を計算した。図-3 に突起深度と突起支持力との関係を示す。突起深度が大きくなるほど大きな突起支持力が得られており、その傾向は深さにほぼ比例する。これは、突起に作用する水平応力が大きくなることにより、突起下側に発現する受働抵抗が増加するためと考えられる¹⁾。

表-1 実験ケース

突起個数 (n)	相対密度 (%)	ピッチ (mm)	高さ (mm)	深度 (mm)
0				
1			0.	30, 80, 130, 180, 230, 280
2	40	135	2.5,	
3		90	5, 10, 20	
4		67.5		
8		35		
0				
1				280
2	75	135	5	
3		90		
4		67.5		
8		35		

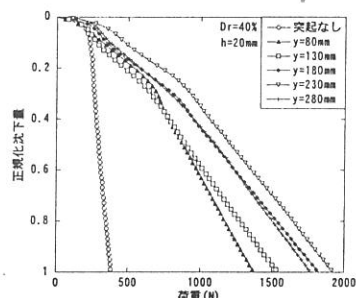


図-1 1個突起の荷重-沈下曲線

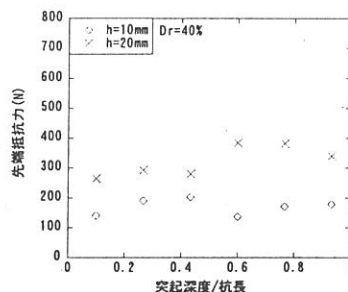


図-2 突起深度と先端抵抗力の関係

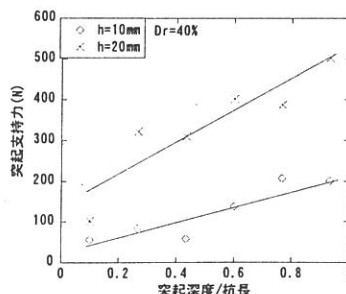


図-3 突起深度と突起支持力の関係

図-4に突起高さ10mmで、複数の突起を有する場合の荷重-沈下曲線を示す。興味深いことは、突起の数が2個までは、荷重-沈下曲線が大きくなるが、それ以降は減少し、1個と8個のときはほとんど同じ荷重-沈下曲線を示すことである。これは、突起の支持力発現モードが異なることが原因であると考えられ、複合杭の支持力を最大限にする最適な突起形状の存在を示唆する。これまでのアルミ棒積地盤を用いた実験¹⁾から、複合杭の支持力分担は、先端抵抗(Q_p)と周面抵抗(Q_s =突起支持力(Q_r)+周面摩擦力(Q_f))に分けることができ、突起支持力は、最下部に位置する突起支持力(最下部突起支持力: Q_{r1})と、それ以外の突起支持力(上部突起支持力: Q_{r2})に分けられることが明らかとなっている。そこで図-5に、突起1個あたりの上部突起支持力と高さとの関係を示す。ピッチが大きくなると突起支持力が増加し、突起が高い方がより支持力大きい。アルミ棒積地盤ではその増加量に限界値があるとの結果があるが、今回の実験においては、増加量に限界があることに加えて、突起高さ5mm、2.5mmの突起支持力は、増加量の限界を迎えると減少するような結果となった。これは、突起高さに対するピッチの関係が大きくなることにより、破壊モードが、突起なしの破壊モードと近くなったためであると考えられる。

相対密度の違いによる影響を見るために、相対密度40%および75%の地盤において突起高さ5mmの比較実験を行った。実験により得られた上部突起支持力とピッチの関係を図-6に示す。相対密度75%における上部突起支持力の方が2倍程度大きくなっているが、グラフの形状はほとんど同じであり、支持力が最大となる最適なピッチは、相対密度によらないと考えられる。

突起の最適な形状の提案を行うために縦軸に、上部突起1個あたりの応力(上部突起支持力/個数/突起面積)を示している。横軸には、突起の形状を示すパラメータとして突起高さにピッチを掛けて突起面積で正規化したものを図-7に示す。図-7を見ると、I~IVの4つの領域に分けることができる。I:突起同士が干渉し合い突起支持力が発揮していない領域、II:突起同士は干渉し合っているがピッチの増加により突起支持力が発揮する領域、III:突起同士が干渉し合わず突起支持力が最大に発揮する領域、IV:突起高さに対するピッチが大きくなることにより突起支持力が減少する領域である。これらの領域のIIIの領域の始点が突起の最適なピッチ b_{best} であると考え、 $b_{best}=\pi(0.55h+2.75)$ と表すことができる。

4. 結論 ①突起を1個有する場合、突起深度に比例して突起支持力は増加する。

②複数突起を有する場合、ピッチが大きくなる

ほど上部突起支持力は増加するが、その増加量には限界があり、やがて減少する。③相対密度が大きくなると突起支持力は大きくなるが、支持力特性は変わらない。④突起の最適ピッチは $b_{best}=\pi(0.55h+2.75)$ で表すことができる。

参考文献 1) 鴨川慎矢、「模型実験における複合杭の支持力発現機構に関する研究」九州大学平成13年度卒業論文。

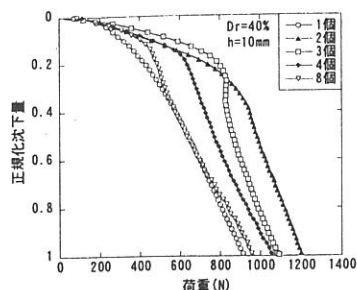


図-4 複数突起の荷重-沈下曲線

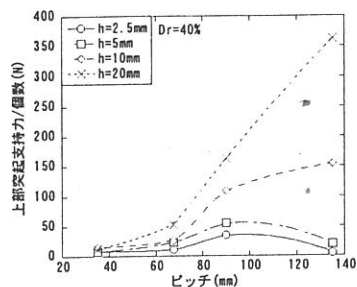


図-5 突起支持力とピッチの関係

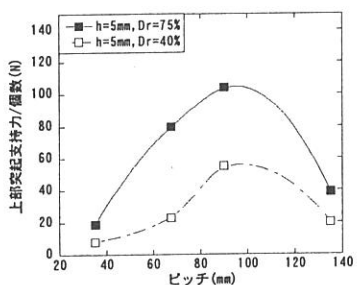


図-6 相対密度の影響

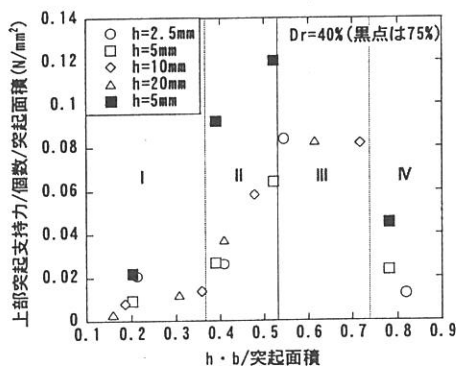


図-7 突起の最適形状