

周面形状を確率モデル化した模型複合杭の支持力特性

九州大学大学院 ○学 仁井 克明 正 善 功企
正 陳 光育 正 笠間 清伸

1.はじめに

パイププロジェクトを併用して鋼管杭の外周面部にセメントミルクを注入し、地盤を固化させる工法が開発されている。最近、現場実証実験が施され、その有効性が認められているが、支持力増加のメカニズムについては、未解明な点が多く残されている。本研究では、複合杭の複雑な周面形状が支持力や破壊モードに及ぼす影響、およびセメントミルク注入量だけで支持力を評価してよいかということを室内模型実験により調べた。

2. 実験概要

本実験は、2次元平面ひずみ条件下で模型杭の鉛直載荷実験を実施した。模型地盤には、アルミ棒の移動が直接測定でき、破壊モードを観察しやすいなどの利点からアルミ棒積層地盤を用いた。模型地盤は幅約 60cm、高さ約 70cm、奥行き 5.0cm であり、地盤の材料は、長さ 5.0cm で直径 1.6mm と 1.0mm のアルミ丸棒を重量比で 3:2 の割合で混合したものである。アルミ棒積層地盤の間隙比は約 $e=0.30$ 、単位体積重量は $\gamma=20.2(\text{kN/m}^3)$ であり、密な地盤といえる。杭の載荷方式は、ひずみ制御方式とし、毎分 2mm 以下の速度で沈下量が約 20mm を超えるまで貫入させた。また、途中地盤の変形状態を確認するため、貫入を一時中断し、デジタルカメラによって撮影を行った後、載荷を続けた。測定値は、杭頭荷重と先端抵抗であり、周面抵抗は、杭頭荷重から先端抵抗を差し引くことにより求めた。今回は複合杭の周面抵抗に着目しており、先端抵抗については今後の研究としている。

3. 複合杭のモデル化

本研究で用いた模型杭の種類は全部で 5 種類であり、その一覧を図-1 に示す。杭本体はいずれも長さ 30cm、幅 3.0cm でアルミ板を用いている。実際の複合杭における固化域の分布を確率的な観点でモデル化するために、その複雑形状を高さの異なる連続した突起に代表させた。突起の頻度分布は平均 2.02、分散 0.47 の正規分布とした。突起部分は厚さ 5mm、奥行き 5.0cm で、高さは 1cm、1.5cm、2.0cm、2.5cm、3cm の 5 種類であり、片側に 60 個つけた。case2~4 の全てのケースにおいて各高さの突起個数は等しい。つまり突起の平均値、分散を等しくした。case2 および case3 はそれらの突起をランダムに配置している。case4 は突起を上から小さい順に並べ、case5 はその逆の順で並べた。

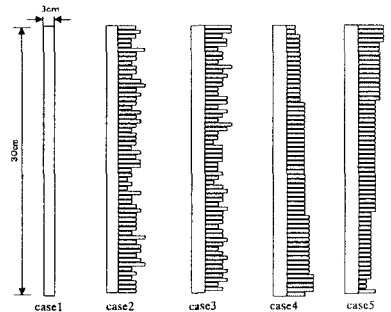


図-1 実験ケース一覧

4. 実験結果および考察

正規化沈下量-鉛直支持力関係

図-2 は各実験ケースにおける沈下量・周面抵抗関係である。case1は、抵抗力が沈下量 1mm程度までで一気に増加し、その後はほぼ一定値である。それに比べcase2~case5については、抵抗力は徐々に増加し、沈下量が 10~15mm 程度でピークに至り、その後はほぼ一定値となっている。このことから、複合杭の周面抵抗力の発現機構は、従来の摩擦杭とは異なったものであると考えることができる。周面抵抗力をピーク値で比較してみると、case2,3,4,はほぼ同じ抵抗力を有しており、case1 の4倍程度で最も大きく、次いで case5 が case1 の 3 倍程度、そして case1 が周面抵抗力は最も小さい。突起の平均値、分散が等しくても、周面抵抗力に違いがあることが分かる。

杭周辺地盤の破壊状況の違い(図-3を参照)

case1: 杭先端直下の地盤は、大きく変位しているものの、周面において

(左右対称のため、半分のみ記載)

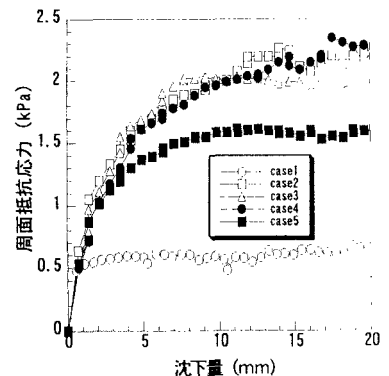


図-2 沈下量-周面抵抗関係

はほとんど変位していないことがわかる。このことから周面抵抗力は杭-地盤間の相対的変位によるすべり摩擦によるものだと考えられる。

case2: 杭周辺の地盤は、全ケースの中でも最も破壊領域が広く、すべり面は地盤内部で生じている。よって、密な地盤では砂粒子のダイレイタンスーにより、地盤内応力が増大すると考えられる。またこの形状が杭近傍の地盤をやや水平方向へ押し出しているため、水平応力が増加していることが考えられる。

case3: 杭周辺地盤の破壊状況は case2 と類似していたため省略。

case4: 地盤の水平方向への移動はあまり見られないため、水平応力の増加は小さい。しかし、case2,3 と同程度の抵抗力を発揮しているのは、杭先端付近の地盤内応力の増加により、最下端の突起が大きな抵抗を受けているためだと考えられる。

case5: 突起高さの変った直後ではその他の箇所と異なり、地盤がやや横方向に押し出され、局所的な水平応力の増加が見込まれる。突起高さの変化点が周面抵抗力増加と大きく関係していると思われる。

5. 周面抵抗力の検討

一般に杭-地盤間の周面摩擦力は次式で表される。

$$f = \sigma_h \cdot \mu = K \sigma_v \cdot \tan \phi \quad (\phi: \text{内部摩擦角} \quad K: \text{土圧係数}) \quad (1)$$

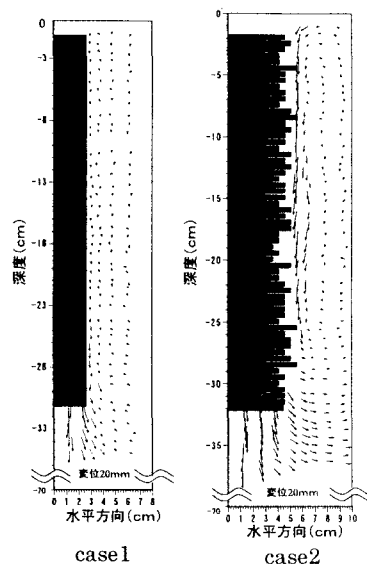
この式を case2 の周面抵抗力に適用することを考える。図-3 より、摩擦面は地盤内部で生じ、また杭周面近くの地盤が水平方向に押し出されることにより、摩擦面付近の地盤が受動状態にあると仮定すると(1)式の K 値は増大しているはずである。case2 について(1)式にアルミ棒の内部摩擦角 $\phi = 21.2^\circ$ を用いて K 値を変化させ、case1 については、文献¹⁾より、杭-地盤間の摩擦係数 $\mu = 0.2$ 、静止土圧係数 $0.63 \leq K_0 \leq 1$ として比較を行った結果が、図-5 である。これより $K_0 = 0.63$ の時 $K_2 = 1.3$ 、 $K_0 = 1.00$ の時 $K_2 = 2.1$ で実験結果と一致することが分かる。また、このときの K_2 は $\phi = 21.2^\circ$ の時のランキン受動土圧係数 $K_P = 2.12$ よりも小さい値である。周面形状に関する水平応力増加の最大値を K_P で評価してよいかは、今後の課題である。

6. おわりに

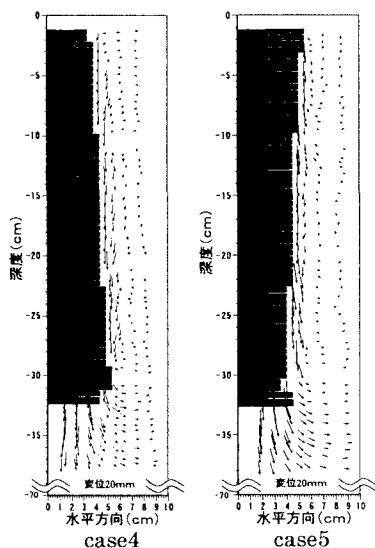
本研究の結論を示す。

- (1) 複合杭の沈下量・荷重関係は従来の摩擦杭と異なっており、荷重がピークに至るまでの沈下量が多い。
- (2) 複合杭の周面抵抗ピーク値は、地盤内部の側圧を考慮した摩擦として発揮される。
- (3) 複合杭の周面抵抗は突起の平均値や分散だけでは求められず、水平応力を増大させる形状に起因している。つまり実地盤で考えた場合、セメントミルク注入量が等しくても固化域の形状次第で支持力が大きく変わってくると考えられる。

<参考文献> 1) 杭基礎の設計法とその解説編集委員会:「杭基礎の設計とその解説」、土質工学会 2) 国民科学者:新編土質力学、pp.216~217



case1 case2



case4 case5

図-3 杭周辺地盤の破壊状況

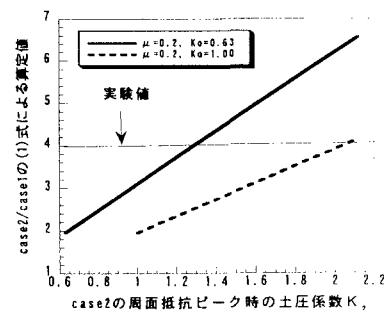


図-4 実験値と算定値の比較