

フローティング式杭状改良地盤の鉛直支持力特性と等価基礎による評価

九州大学大学院 学○石蔵 良平

九州大学大学院 F 落合 英俊 正 大嶺 聖

九州大学大学院 正 安福 規之 学 松井 秀岳

1. はじめに

フローティング式杭状改良地盤は、従来の軟弱地盤対策と比較して、経済性や環境面において有効な工法として期待されており、改良地盤の変形性・安定性の把握が重要である。本研究では、今回改良地盤の支持力特性に着目し、改良率の異なる模型地盤に対して載荷試験を行い、改良地盤の破壊挙動について考察を行う。次に、本研究が対象とする群杭形式での改良地盤の鉛直支持力を評価するために、群杭改良地盤を改良率に応じた根入深さをもつ仮想の等価基礎と仮定してFEM解析を行い、鉛直支持力特性の比較を行う。

2. 模型実験の概要と手順

実験装置の概要を図1に示す。模型地盤作製方法は、まず市販のカオリン粘土を圧密させて未改良地盤を作製する。含水比 80%に調節した粘土を、20kPaの圧密応力で予備圧密したものを未改良地盤と見なす。表1に模型実験に使用したカオリン粘土の物性値を示す。未改良地盤に改良柱体を挿入し、改良地盤を作製する。均質化を図るために、改良体にはエーテル系ウレタンを使用する。ウレタンの寸法は直径 30mm の円柱型で、変形係数は約 50MPa であった。載荷方法は、改良地盤作製後に、改良地盤全体に p_c kPa の載荷圧を鉛玉等により作用させしばらく放置し、ベロフラム式エアシリンダーにより応力制御の条件で改良地盤の中心に、載荷板を介して非排水条件で急速載荷を行う。載荷板中心部に変位計を取り付け、改良地盤全体の沈下量を測定する。地盤内の挙動は、土槽前面のメンブレンに記したメッシュの変形により測定する。表2に実験条件を示す。無改良と改良深さは一定で改良率のみを変化させた計 3 ケースの載荷試験を行った。改良形式は、杭式の正方形配置とした。

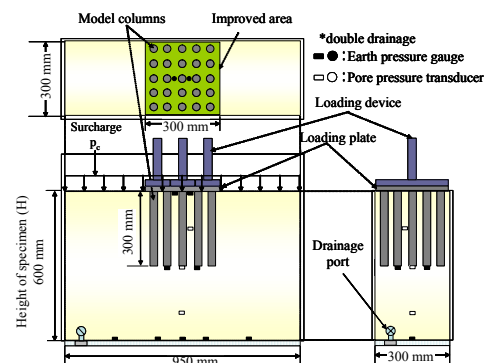


図1. 実験装置の概要

表1. カオリン粘土の物性値

土粒子密度 ρ_s (g/cm ³)	初期間隙比 e_0	塑性限界 w_p (%)	液性限界 w_l (%)
2.71	2.17	50.60	31.00
圧縮指数 C_c	膨潤指数 C_r	有効粘着力 c (kPa)	有効内部摩擦角 Φ (°)
0.21	0.053	0	31.3

表2. 実験ケース

Improvement ratio f_s (%)	Ground depth H (mm)	Improved depth H_i (mm)	Surcharge P_c (kPa)	Arrangement of columns
Case0	0	610	0	unimproved
Case1	12.5	610	300	group column
Case2	19.6	610	300	group column

3. 実験結果と考察

図2に、載荷試験から得られた荷重強度—沈下量関係を示す。図より、Case0（無改良）では、載荷初期には、弾性的挙動を示すが、ある荷重を超えると急激に沈下量が増加する傾向を示した。これは、ある荷重を超えて地盤がせん断破壊を生じ、急激な沈下が生じたものと考えられ、模型地盤が全般せん断破壊を示しているものとする。Case1,2では、明確な破壊点を示さずに徐々に沈下が増大していく傾向を示した。これは、地盤が全般的にせん断破壊を生じるのではなく、荷重の増加とともに、徐々に局所的なせん断破壊を示したものと考えられる。本研究では、全般せん断破壊を生じるCase0においては、沈下が増加する点での荷重強度を鉛直支持力 q_0 と定義した。局所せん断破壊が生じるCase1, 2の場合においては、鉛直支持力を定義することは難しいが、ここでは、荷重強度—沈下量曲線がそれ以降直線的となる点での荷重強度を鉛直支持力 q_1 , q_2 と定義した。

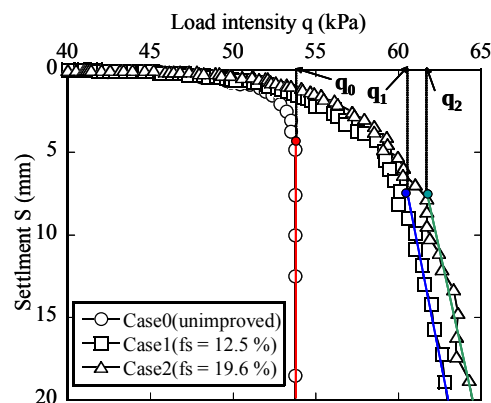


図2. 荷重強度—沈下量関係

4. 鉛直支持力特性の比較

図3に Case1 ($f_s=12.5\%$) の破壊時の変位ベクトル図と模型地盤の改良部分を示す。変位ベクトルは、载荷前後の土槽前面のゴムスリプに記したメッシュの挙動の変化により求めた。図中に示される改良部分の幅は载荷領域を、深さは改良深さ H_1 を表す。図より改良部分の大部分が一体となり鉛直方向に変位が卓越する挙動が確認された。また改良部分下端付近からは、徐々に水平方向への変位が生じ始める挙動も確認された。これは、改良部直下の未改良部分に局部的にせん断破壊が生じたためと考えられるが、改良地盤全体に明確なすべり面は確認されなかった。これは、図2に示される荷重強度—沈下曲線での、明確な破壊点を示さずに徐々に沈下が増大する局所せん断破壊の傾向と一致すると考えられる。载荷板を介して改良地盤に一樣に载荷する今回の実験条件では、低改良率の改良地盤においても改良部分内部にせん断すべりは発生しないことが明らかとなった。

本研究ではこれまで、フローティング式杭状改良地盤の沈下量を推定することを目的に、改良率や改良深さと圧密沈下対象層厚を関連付ける沈下モデルを提案している。その中で、図4に示す等価換算係数 α の値が改良率や改良深さの違いにより変化することを示した。今回、この考え方をを用いて、杭状改良地盤の鉛直支持力を評価するために、模型実験スケールでの FEM 解析を行った。ここでは、実際の杭状改良地盤の改良率に応じて α を決定し、図に示すような根入れ深さ D を算定した等価基礎として解析を行った。根入れ深さ D は改良率が増加するほど大きくなる傾向を示す。等価基礎には、改良体と未改良土が一樣にひずむと仮定して得られる弾性係数 $\bar{E}_v$ の弾性体を使用した。未改良土については、表1のカオリン粘土の物性値を参考にカムクレイモデルを構成モデルに使用した。図5に、Case1 ($f_s=12.5\%$) を等価基礎に置き換えた条件での FEM 解析の破壊時変位ベクトル図を示す。図より、FEM 解析により得られた変位ベクトルは、改良部分が一体となり鉛直方向に変位が卓越し、改良部分下端付近から水平変位が生じ始める実験結果の傾向とよく一致している。図6に、模型実験および FEM 解析での鉛直支持力の比較を示す。鉛直支持力は、改良率の増加に伴い、大きくなる傾向を示した。FEM 解析の結果が、実験値と比較的良好一致を示すことから、杭状改良地盤の鉛直支持力を、改良条件に応じた根入れ深さ D の等価基礎として評価できることが確認された。

5. まとめ

- ・今回模型载荷試験を行い、低改良率改良地盤の破壊時の挙動を観察した。その結果、低改良率改良地盤においても、局所的な破壊は見られるものの、明確なせん断すべりは発生しないことが確認された。
- ・杭状改良地盤の鉛直支持力は、改良率や改良深さと根入れ深さ D を関連付けた等価基礎の鉛直支持力として評価できることが示された。

【参考文献】1)石蔵良平・落合英俊・大嶺聖他：フローティング式杭状改良地盤の沈下量推定における等価換算係数の考え方，土木学会西部支部研究発表会，2006

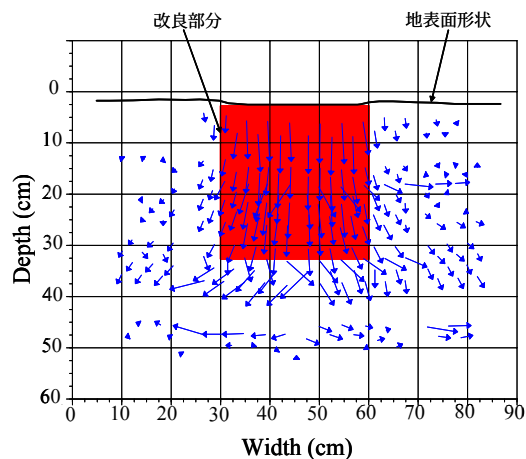
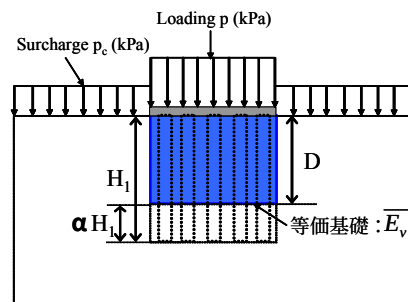


図3. 破壊時変位ベクトル (実験: $f_s=12.5\%$)



$\bar{E}_v$: 一樣にひずむと仮定した等価基礎の剛性
 H_1 : 改良深さ, D : 仮定の根入れ深さ

図4. 等価基礎の概念図

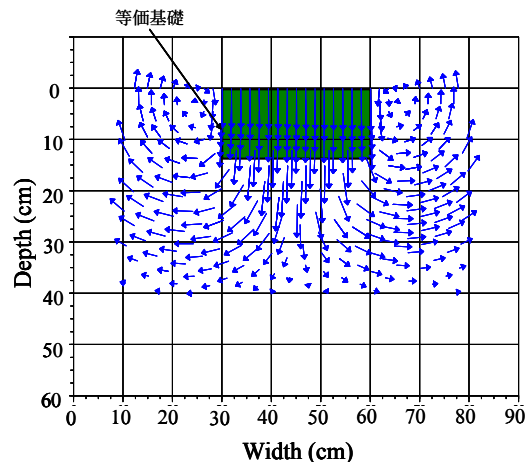


図5. 破壊時変位ベクトル (解析: $f_s=12.5\%$)

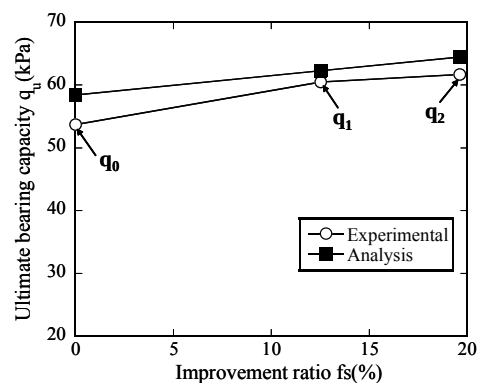


図6. 極限支持力の比較