

非着底型地盤改良体と粘土の界面強度に着目した改良地盤の沈下挙動の解析

九州大学大学院 学生会員 ○有間航 正会員 石蔵良平

フェロー会員 安福規之 学生会員 江振波

1. はじめに

軟弱地盤上に地盤構造物を建設する際、沈下量の抑制が要求される。近年、軟弱地盤層が深く堆積している地域において、非着底型深層混合処理技術が適用されはじめている。図-1 に浅層改良を併用した非着底型深層混合処理技術の概念図を示す。粘土地盤中において通常、杭周面の摩擦抵抗は支持力として考慮されないが、非着底型改良を適用する場合、改良体の周面摩擦抵抗を積極的に利用することが実務において重要と考える。地盤と改良体間における摩擦の発現を考える場合、改良体の表面粗さが滑らかな場合は、異種材料間で滑り、粗い場合は境界面付近の地盤内で滑ることが想定される。本研究では、改良体の周面摩擦抵抗を明らかにするため、リングせん断試験を用いた異種材料間の摩擦特性について検討を行った。また改良体と粘土の相互作用を考慮した FEM 解析を実施し、圧密中に深層改良体に作用する周面摩擦抵抗と沈下特性の考察を行った。

2. リングせん断試験の概要と試験条件および手順

リングせん断試験装置を用いて、異種材料間の摩擦試験を行った。図-2 にリングせん断試験装置の概略図を示す。試料はカオリン粘土を用いた。表 1 にカオリン粘土と熊本県宇土市で採取した粘性土(宇土粘土)の物理的性質を示す。本研究では、カオリン粘土内部のせん断特性と、カオリン粘土と表面粗さの異なる材料の摩擦特性について検討を行った。異種材料間のせん断試験については、せん断箱の下半分に厚さ 20 mm の表面粗さが異なる材料を用いて、カオリン粘土との摩擦特性を調べた。せん断箱内に、含水比 w を 80 % に調整したカオリン粘土を脱気させながら投入し、予圧密を行った。所定の垂直応力 σ'_n まで、垂直応力を漸増させながら圧密を行い、3 種類の垂直応力 σ'_n (50 kPa、100 kPa、200 kPa) のもとせん断を行った。また変位速度は間隙水圧が発生しない速度を想定した。

3. 実験結果と考察

図-3 に改良体の表面粗さ R_y と、材料間の相対的な摩擦抵抗を表す $R = \tan \delta' / \tan \phi'$ の関係を示す。 δ' は異種材料間の摩擦角を示し、 ϕ' はカオリン粘土のせん断抵抗角を示す。 R は粘土内部のせん断抵抗と異種材料間の摩擦抵抗の比を意味する。カオリン粘土内部の表面粗さは、カオリンの通過百分率が 90% のときの粒径 D_{90} を x 軸の値として用いた。図より表面粗さが大きくなると、摩擦角はカオリン粘土のせん断抵抗角に近づき、摩擦抵抗の比 R も 1 に近づく。このことより、改良体の表面粗さ R_y が大きいと、摩擦角がカオリン粘土のせん断抵抗角の値に近づくので、カオリン粘土内部での滑りが支配的にな

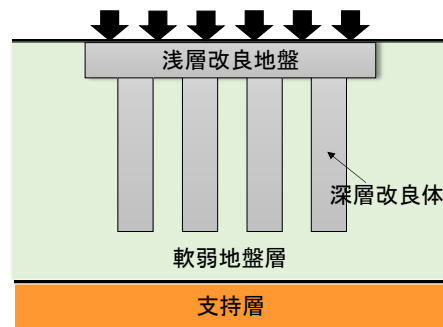


図-1 非着底型深層改良技術の概念図

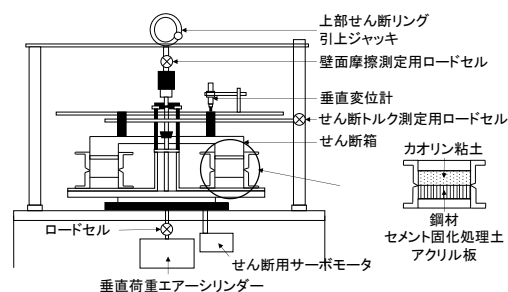
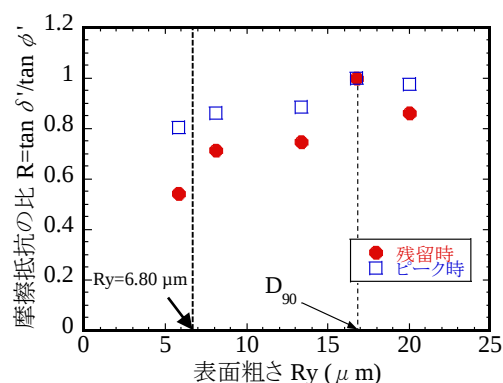


図-2 リングせん断試験装置の概要

表 1 使用した粘土の物理的性質

	$D_{50}(\mu m)$	$D_{90}(\mu m)$	均等係数 U_c	曲率係数 U_c'
カオリン	5.50	16.78	3.67	0.98
宇土粘土	17.32	80.66	6.13	0.98

図-3 表面粗さと $R(= \tan \delta' / \tan \phi')$ の関係

キーワード 圧密沈下 周面摩擦抵抗 深層改良体

連絡先 〒819-0395 福岡市西区元岡 744 番地 WEST2 号館 1108 Tel 082-900-3378

っていると考えられる。カオリン粘土の粒径 D_{90} より小さい表面粗さ R_y の材料を用いた条件では、摩擦抵抗の比は 1 よりも小さいことから、カオリン粘土と材料間で滑りが発生しているものと考えられる。

4.FEM 解析による摩擦発現特性と沈下挙動

本研究ではこれまで、非着底型改良地盤を模擬した平面ひずみ条件での模型実験を実施している。模型実験スケールでの改良体に発生する周面摩擦抵抗の分布を把握するため、FEM 解析を行った。表 2 および図-4 に解析に使用した材料パラメータと解析モデルを示す。解析モデルの寸法については、模型実験を参考に H 、 H_1 、 d 、 L はそれぞれ 0.35 m、0.20 m、0.03 m、0.25 m に設定した。解析において粘土で満たしたモデルに様な垂直応力を剛なプレートを通じて 2.5 kPa から 20 kPa まで漸増させながら載荷し、予圧密を行った。その後地盤の一部を改良体に置換し、垂直応力を 80 kPa ($\Delta p=60$ kPa) まで作用させ、解析モデル内の過剰間隙水圧が 1 kPa 以下になるまで圧密を行った。ここでは、改良体と粘土間にインターフェースを設け、インターフェースの最大せん断強度を上述した R を用いて、以下の式で定義した。

$$\tau_f = \sigma_n' \tan \delta' = R \sigma_n' \tan \phi' \cdots \cdots (1)$$

σ_n' はインターフェースに作用する有効応力を意味する。 R と改良率 a_p を変化させることで、インターフェースに生じる周面摩擦抵抗を変化させる。なお模型実験に使用した改良体の表面粗さ R_y は、6.80 μm であった。図-5 に、数値解析で得られた正規化改良深さと改良体周面に生じる摩擦抵抗の分布を示す。ここで、 z は地盤深度、 H_1 は改良体長さを示す。各深度で生じた周面摩擦抵抗を式(1)で求められるインターフェースの最大せん断抵抗で除した値を示す。改良率 a_p が小さいほど、また、インターフェースのせん断強度が小さいほど、最大せん断抵抗が発揮される改良体長さは大きくなる傾向を示した。図-6 に改良率 a_p と、正規化最終沈下量の関係を示す。正規化沈下量は各条件によって得られた改良地盤の最終沈下量 S を、改良体を置換せずに粘土で地盤を満たした場合の沈下量 S_0 で除した値を意味する。図より改良率が大きくなる程、またインターフェースの摩擦抵抗の比 R が大きくなる程正規化沈下量は減少する傾向を示した。

5. おわりに

本研究では、リングせん断試験装置を用いて、表面粗さの異なる改良体と粘土の異種材料間の摩擦特性を考察した。また、材料間の摩擦特性の違いが沈下挙動に及ぼす影響を明らかにするため、改良率とインターフェース強度を変化させた FEM 解析を実施した主な結論を以下に示す。

- 1) 材料の表面粗さが大きくなると、粘土と材料間の摩擦抵抗は大きくなり、材料の表面粗さが粘土の粒径 D_{90} より大きな条件では粘土と材料間の摩擦抵抗は、粘土内部のせん断抵抗と同程度となる。
- 2) 改良率が小さい程、また R が小さい程、最大せん断抵抗が発揮される改良体長さは大きくなる。
- 3) 改良率が大きい程、またインターフェースの摩擦抵抗の比 R が大きくなる程最終沈下量は減少する。

【参考文献】 1) 安福規之ら：ピークおよび残留状態に着目した砂と鋼材の摩擦特性、応用力学論文集 Vol.6, pp.563-571, 2003.

表 2 改良地盤のモデルパラメータ

	深層改良体	粘土	インターフェース
$\gamma_{sat}(\text{kN/m}^3)$	18	18	
$E(\text{kPa})$	4×10^8		
ν	0.3	0.15	
κ		0.33	
λ		0.16	
$c'(\text{kN/m}^2)$		1	1
$\phi'(^{\circ})$		31.35	31.35
e		1.64	
R			1, 0.8

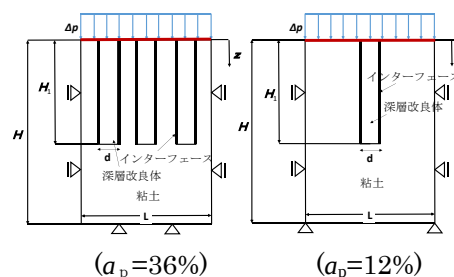


図-4 解析モデル

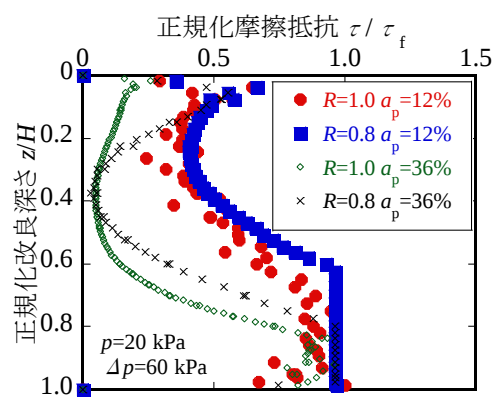


図-5 正規化摩擦抵抗と正規化改良深さ関係

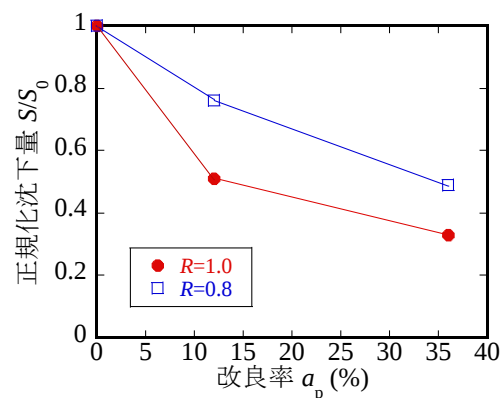


図-6 改良率と正規化沈下量の関係