

1.はじめに

軟弱地盤上に高盛土のような地盤構造物を建設する際、建設コストの削減とともに沈下量の抑制を要求される。近年、軟弱地盤層が深く堆積している地域において、非着底型の深層混合処理技術が建設コストの削減や、地盤環境への配慮の観点から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は通常、杭周面の摩擦抵抗は支持力として考慮されないが、このような非着底型改良を適用する場合は、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。そのためには、実改良体の表面粗さを把握し、周辺粘土との相互作用を明らかにする必要がある。図-2 は、熊本県宇土市で施工された深層改良体の表面粗さを表面粗さ計測機を用いて計測した一例を示す。表面粗さは最大で $92.9\ \mu\text{m}$ であった。地盤材料と杭材間における摩擦の発現を考える場合、図-3(a)(b)に示されるように、杭材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¹⁾。本報告では、改良体の周面摩擦抵抗を明らかにする基礎的な取り組みとして、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。

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。このせん断試験は、連続したせん断面に無限大のせん断変位を与えることができ、大変形までの摩擦特性を把握することができる。図-4 にリングせん断試験装置の概略図を示す。試料としてカオリン粘土 (Kaolin) 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。また図-5 に各試料の粒径加積曲線を示す。

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が滑らかな鋼材間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 $20\ \text{mm}$ の表面が滑らかなリング鋼材を設置し、カオリン粘土との摩擦特性を調べた。滑らかな鋼材の表面粗さは最大高さ $Ry:5.885\ \mu\text{m}$ 、算術平均高さ $Ra:0.966\ \mu\text{m}$ であった。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、所定の垂直応力を作用させた状態で、 15 時間程度の排水時間を設け

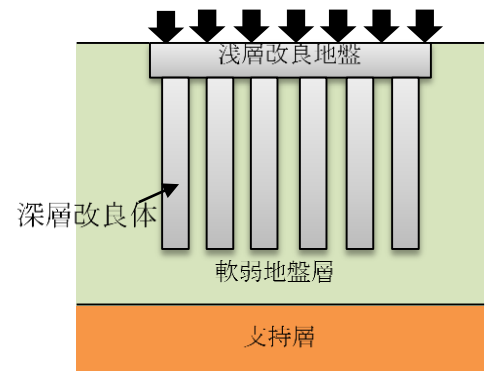


図-1 非着底型深層改良技術の概念図

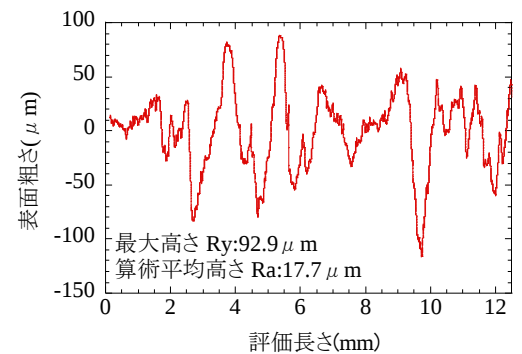


図-2 実改良体の表面粗さ

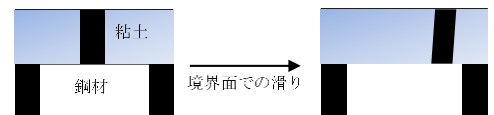


図-3(a)粘土と滑らかな鋼材の接触面近傍の模式図¹⁾

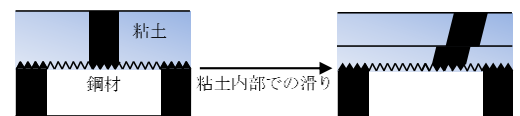


図-3(b)粘土と粗い鋼材の接触面近傍の模式図¹⁾

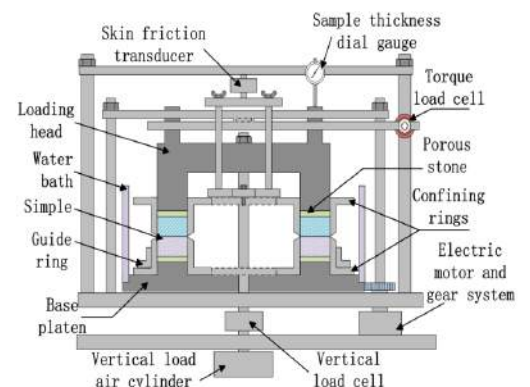


図-4 リングせん断試験装置の概念図

た。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。

せん断速度は、供試体中心半径 250 mm における変位速度を 0.02 mm/min とし、せん断時の上下リング間の隙間を 0.15 mm とした。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 6(a)にカオリン粘土と滑らかな鋼材間の水平変位とせん断応力の関係を示している。図に示されるように、各垂直応力 σ_n' において、水平変位が 5mm 程度でせん断応力のピーク値を示した。その後、せん断応力は残留状態に達して一定の値に収束した。各実験により得られた垂直応力とせん断応力の関係を図-6(b)に示す。これよりピーク時と残留時のそれぞれのカオリン粘土のせん断抵抗角 ϕ_p', ϕ_r' とカオリン粘土と滑らかな鋼材間の摩擦角 δ_p', δ_r' を得た。それぞれのせん断抵抗角、摩擦角はクーロンの破壊基準より求めた。ピーク時、残留時ともに、粘土の有効せん断抵抗角は、粘土と鋼材間の摩擦角よりも大きな値を示した。図-6(c)にリング鋼材の表面粗さ 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。カオリン粘土内部の表面粗さは定義できないため、ここでは、カオリン粘土の通過百分率が 90% のときの粒径 D_{90} を用いた。 R は粘土内部のせん断抵抗と異種材料間のせん断抵抗の比を意味する。

図に示されるように、カオリン粘土の粒径 D_{90} よりも小さな表面粗さを有する鋼材を用いると、 R が小さくなる傾向を示した。このことよりカオリン粘土と表面が滑らかな鋼材を用いた条件では、カオリン粘土内部ではなく、カオリン粘土と鋼材の間に滑りが発生しているものと考えられる。今後は、実改良杭の表面粗さを模擬した様々なセメント固化処理土のリングを試作し、粘土との摩擦特性を調べると同時に粘土試料の粒径との関係を調べる必要がある。

4. まとめ

本研究では、深層改良体と粘土の摩擦特性を明らかにすることを最終目的として、リングせん断試験を用いて粘土内部のせん断抵抗および粘土と滑らかな鋼材間の摩擦特性を考察した。今後は、実改良杭の表面粗さを模擬した様々なセメント固化処理土を用いて、セメント改良体と粘土間の摩擦特性を明らかにする予定である。

【謝辞】: 本研究を進めるにあたり、実改良体の表面粗さの計測については、国土交通省九州地方整備局熊本河川国道事務所の方々に、多大なご配慮をいただいた。ここに厚く感謝の意を表します。

【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 1 使用した粘土の物理的性質

	$D_{50}(\mu\text{m})$	$D_{90}(\mu\text{m})$	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

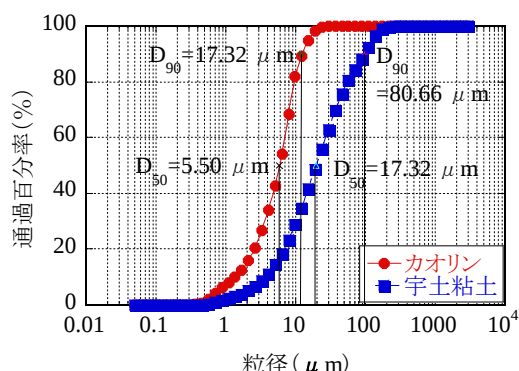


図-5 カオリンと宇土粘土の粒径加積曲線

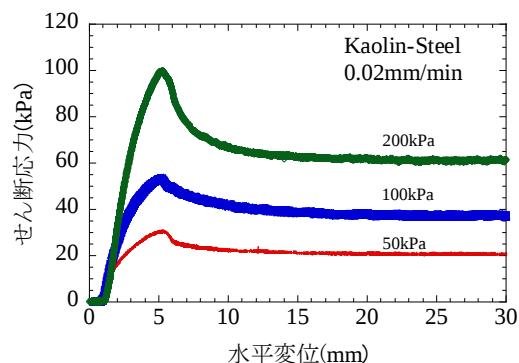


図-6(a) 水平変位-せん断応力関係

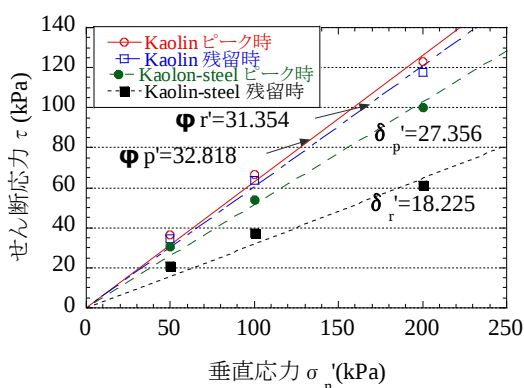


図-6(b) 垂直応力-せん断応力関係

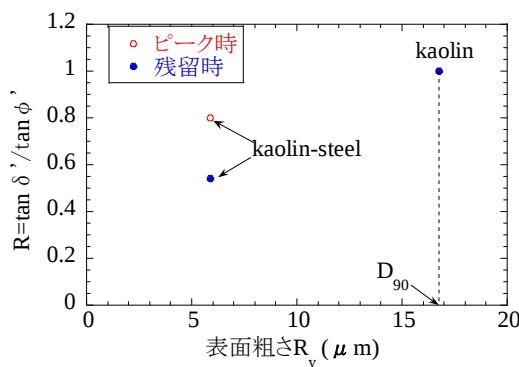


図-6(c) 表面粗さと $R (= \tan \delta' / \tan \phi')$ の関係