

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。地盤材料と杭材間における摩擦の発現を考える場合、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。本報告では、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。またセメント固化処理土で造られる杭の表面粗さは粘土の粒径に依存すると考え、室内実験において供試体を作成し関連性についても考察した。

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。試料としてカオリン粘土 (Kaolin) を用いた。表 1 にカオリン粘土と有明海沿岸で採取した粘性土 (有明粘土) の物理的性質を示す。また図-4 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 9 種類の表面粗さが異なる改良体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 の改良体を設置し、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、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た。3 種類の垂直応力 σ'_n (50kPa, 100kPa, 200kPa) 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-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

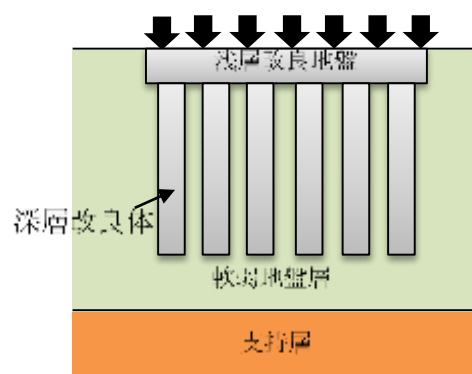


図-1 非着底型深層改良技術の概念図

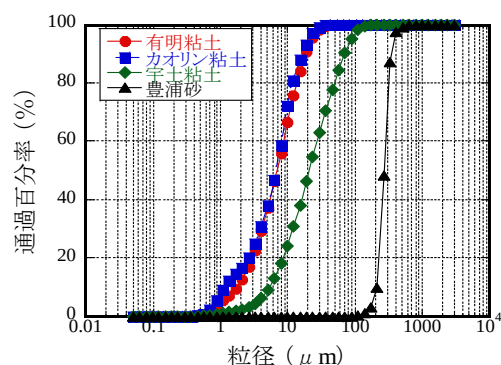


図-2 使用した粘土と砂の粒径加積曲線表

表 1 使用した粘土の物理的性質

	$D_{50}(\mu m)$	$D_{90}(\mu m)$
カオリン粘土	5.50	16.78
有明粘土	7.25	19.40
宇土粘土	21.62	76.36
豊浦砂	267.07	346.27

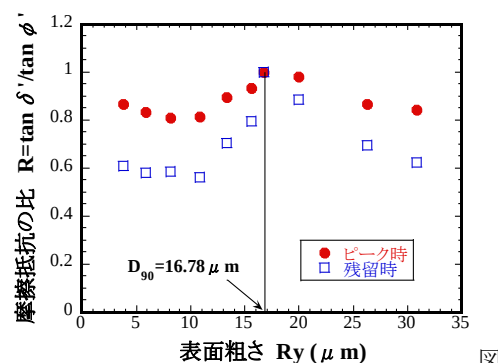


図-3 表面粗さと $R(= \tan \delta' / \tan \phi')$ の関係

用いた。図よりカオリン粘土の粒径 D_{90} よりも小さな表面粗さの改良体を用いると、 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改良体を用いた条件では、カオリン粘土内部ではなく、カオリン粘土と改良体の間で滑りが発生しているものと考えられる。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 Ry 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っていると考えられる。しかし、表面粗さ Ry が $25\mu\text{m}$ 以上の表面粗さの改良体を用いた場合、摩擦抵抗の比 R は小さくなった。原因としては図-4(a),(b)に示すように、 $Ry=30.78\mu\text{m}$ の改良体の方が表面粗さの大きな深度がでるピッチが細かくなかったことが考えられる。

また本研究においては粒径にも着目している。これは現地の深層改良杭は現地の粘土とセメントを混ぜたセメント固化処理土でつくられていて、国道 57 号熊本宇土道路の杭の表面粗さの最大高さとして現地の粒径の百分率 90% の値は非常に近い値をとった。このことより現地の粘土の粒径がわかれば、杭の表面粗さがわかるのではないかと考えた。そこでプラスチックのモールドを用意し豊浦砂、宇土粘土、有明粘土、カオリン粘土とセメントを用いてセメント固化処理土を作成した。セメントの添加量は実際のセメント混合量を参照し、 300kg/m^3 とした。作成したセメント固化処理土の表面粗さ Ry と粒径 D_{90} の関係をまとめたのが図-7 である。この図より粒径の大きな土を用いたセメント固化処理土の方が、表面粗さが粗い結果となったが、有明粘土とカオリン粘土の供試体のみ粒径と表面粗さが近い値となり、粒径が大きくなると表面粗さと粒径の関連性。

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改良体間の摩擦特性を考察した。また改良体の表面粗さと粘土の粒径の相関性についても考察を行い以下のような結果を得られた。

- 1) リングせん断試験において改良体の表面粗さが大きくなると、粘土と改良体間の摩擦抵抗は大きくなり、改良体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) 粒径の小さなセメント固化処理土の場合、表面粗さと関連性が見られ、粒径が大きくなるとセメント固化処理土の表面粗さが大きくなる。

【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。

また本研究の一部は、科学研究費補助金(課題番号 15K18114)の支援を得て実施したものである。ここに記して謝意を表します。

【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.

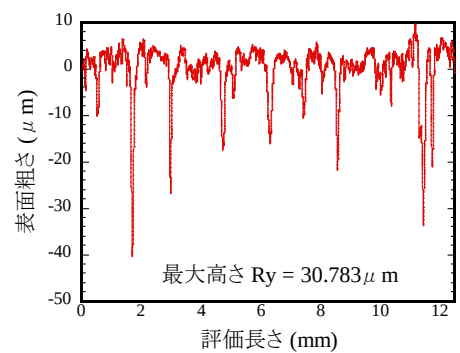


図-4(a) $Ry=30.78\mu\text{m}$ の改良体表面粗さ

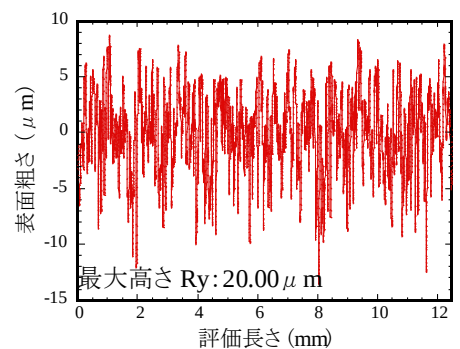


図-4(b) $Ry=20.00\mu\text{m}$ の改良体表面粗さ



写真-1 セメント固化処理土の供試体

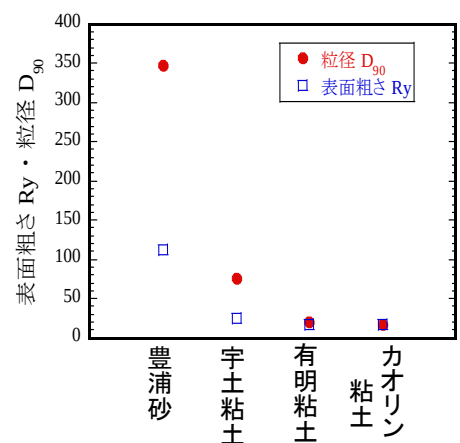


図-5 粒径と改良杭の関係