

土粒子径と表面粗さに着目した粘土と地盤改良体の界面強度の評価

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

1.はじめに

軟弱地盤上に盛土構造物を建設する際、建設コストの削減と共に沈下量の抑制を要求される。軟弱地盤層が深く堆積している地域で、図-1に示す非着底型の深層混合処理技術が経済性や、地盤環境への配慮の観点から適用され始めている。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、非着底型改良を適用する場合は、改良杭が粘土層に留まっているため、周面摩擦抵抗を設計に積極的に利用することが実務において重要と考える。対象とする実杭が現地粘土とセメントを混合したセメント固化処理土の場合、粘土の粒度分布が改良杭の表面粗さに関係すると考えている。そこで本研究の目的は、土粒子径と実杭の表面粗さの関係を明らかにして実改良杭の界面強度を定量的に評価することである。本論文ではまず、土粒子径と改良杭の表面粗さの関係を明らかにするためセメント固化処理土を室内で作製し、粘土の粒度分布と供試体の表面粗さの関係について考察した。次に実改良杭と周辺粘土との界面強度を調べるために、リングせん断試験機を用いて改良体を想定した表面粗さの異なる材料と粘土の摩擦特性を調べた。

2.室内で作製したセメント固化処理土の表面粗さと土粒子径の関係

土粒子径と実改良杭の表面粗さの関係を明らかにするために4種類の試料（有明粘土、カオリン粘土、宇土粘土、豊浦砂）を用いてセメント固化処理土を作製し、供試体の表面粗さを測定した。図-2に試料の粒径加積曲線を示す。プラスチックのモールドを用い、現地の混合量を参考にセメント混合量を 300kg/m^3 とした。作製したセメント固化処理土の表面粗さ R_y と粒径 D_{50} , D_{90} の関係をまとめたのが表-1と図-3である。表面粗さは最大高さ R_y で評価する。 R_y は評価長さを基準長さに分け、各基準長さの最大高さを平均した値である。これより、室内で作製した有明粘土とカオリン粘土の供試体は粒径 D_{90} と表面粗さが同程度であることがわかる。しかし宇土粘土の供試体の場合、現地改良杭は粒径 D_{90} と表面粗さが同程度であったが、室内改良土は粒径 D_{50} と表面粗さが同程度であった。図-4に示すように同じ宇土粘土を用いたセメント固化処理土では室内で作製した場合の方が表面粗さは滑らかであることがわかる。室内で作製した場合、供試体の表面粗さは粒径よりも表面が滑らかなモールドの影響を強く受けたためと考えられる。これより室内でセメント固化処理土を作製する場合、改良杭の表面粗さは母材粘土の粒径のみならず杭周辺の材料の表面粗さ、今回ではモールドの表面粗さも影響すると考えられる。

3.リングせん断試験の概要と結果の考察

キーワード 粒度分布, 表面粗さ, 周面摩擦抵抗, 界面強度, セメント固化処理土

連絡先 〒819-0395 福岡県福岡市西区元岡 744 番地 WEST2 号館 1108-2 TEL 092-802-3378

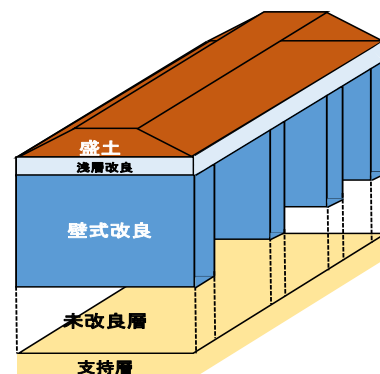


図-1 非着底型深層改良技術の概念図

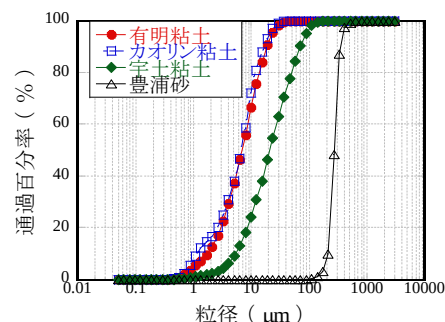


図-2 試料の粒径加積曲線

表-1 試料の物理的特性

	$D_{50}(\mu\text{m})$	$D_{90}(\mu\text{m})$
カオリン粘土	5.5	16.8
有明粘土	7.3	19.4
宇土粘土	21.6	76.4
豊浦砂	267.1	346.3

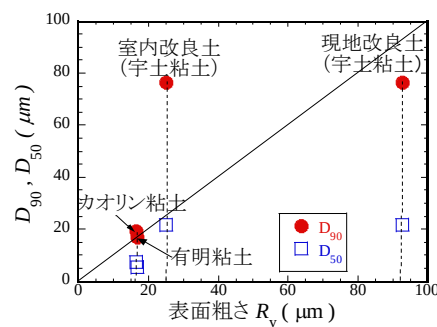


図-3 粒径と改良杭の関係

次に実改良杭と周辺粘土との界面強度を調べるためにリングせん断試験機を用いて、異種材料間の摩擦試験を行った。試料としてカオリン粘土と有明粘土を用い、本研究では、カオリン粘土内部および有明粘土内部のせん断特性と、カオリン粘土および有明粘土と改良杭周面の表面粗さを模擬したアクリル板との摩擦特性について検討を行った。改良体の表面粗さを表すパラメータとして最大高さ R_y を用いた。異種材料間のせん断試験では、せん断箱の下半分に厚さ20 mmの改良体を設置し、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所定の排水時間を設けた。3種類の垂直応力 σ_n' (50kPa, 100kPa, 200kPa)のもとせん断を行い、せん断速度は間隙水圧が発生しない速度(0.02 mm/min)に設定した。図-5にカオリン粘土と有明粘土の垂直応力-せん断応力関係を示す。これよりピーク時、残留時ともに有明粘土のせん断抵抗角が大きいことがわかる。図-6に改良体の表面粗さ R_y を粒径 D_{90} で除した相対粗さと、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 $R = \tan \delta' / \tan \phi'$ の関係を示す。 δ' は異種材料間の摩擦角を示し ϕ' は粘土のせん断抵抗角を示す。図-6よりカオリン粘土の相対粗さが1に近づくにつれ、 R がカオリン粘土のせん断抵抗角に近づく傾向を示した。さらに1を超えると一定の値となる。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、図-7 a)に示すように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 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、図-7 b)に示すように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。有明粘土は図-6に示すように異種材料間の摩擦角よりも粘土内部のせん断抵抗角が大きい。相対粗さが1.1のときは異種材料間の摩擦抵抗の比 R はピーク時、残留時共に0.8以上であった。

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、改良体の表面粗さと粘土の粒径の関係について考察を行った。またリングせん断試験機を粘土内部のせん断抵抗および粘土と改良体の摩擦特性を考察した。得られた結果は主に以下である。

- 1) 室内モールドでセメント固化処理土を作製した場合、 D_{90} が20 μm 以下のカオリン粘土および有明粘土においては供試体の表面粗さと D_{90} の関連性が確認できた。一方 D_{90} が70 μm 以上の宇土粘土の場合、供試体表面粗さと D_{90} に差異が見られたが、実際に現場施工された改良体においては表面粗さと D_{90} の間に関連性が確認できた。
- 2) カオリン粘土と改良杭の界面強度を調べるためのリングせん断試験を実施した。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粒径 D_{90} より大きい場合は、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ことを確認した。

【謝辞】：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。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.

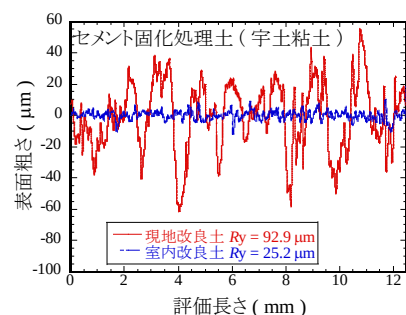


図-4 セメント固化処理土の表面粗さ

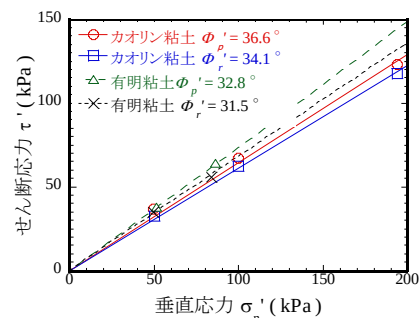


図-5 垂直応力-せん断応力関係

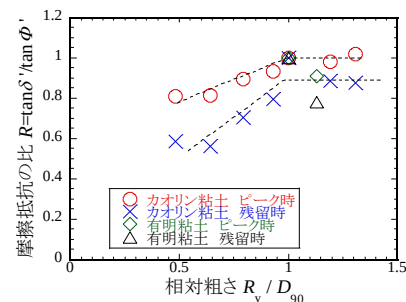


図-6 粘土と改良体の界面強度関係

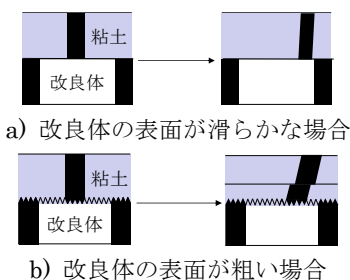


図-7 粘土と改良体の接触面模式図