

セメント改良体の表面粗さと粘土の土粒子径の関係に着目した界面強度の評価

九州大学大学院 学 ○有間 航 正 石藏 良平 F 安福 規之

1.はじめに

軟弱地盤上に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。軟弱地盤層が深く堆積している地域において、図1に示す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ます。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、非着底型改良は、従来の着底型の改良工法と比べて上載荷重を実改良杭の周面抵抗で支持する割合が大きいいため、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¹⁾。本研究の目的は、土粒子径と実改良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。本報告では、模型攪拌装置を用いてセメント改良体を室内にて作製し、セメント改良土の表面粗さと土粒子径の関係性について考察した。また表面粗さと土粒子径の関係と、異種材料間の摩擦特性より粘土と改良体の境界強度の決定の検討を行った。

2.土粒子径と表面粗さに着目したセメント改良体の作製

現地粘土とセメントを混合した実改良杭の表面粗さと現地粘土の粒度分布の関係を調査した。図2に大川佐賀道路と国道57号熊本宇土道路で実際に施工された実改良杭の一部を採取し、表面粗さを計測した結果を示す。図より表面粗さの最大高さ R_y と現地の粘土粒径 D_{90} が近い値となっている。次に実施工を模擬したセメント改良体を模型攪拌装置を用いて室内で作製し、表面粗さを測定した。

(1) 実験概要 母材には、カオリン粘土、有明粘土2種類の粘土を用いた。図3に試料の粒径加積曲線を示す。模型攪拌装置を用いたセメント改良体作製の手順を図4に示す。セメント添加量が 150kg/m^3 になるようにセメントスラリーの供給量を調整した。また回転翼の直径は 50mm 、回転数は 15 回転/分、貫入、引抜き速度は 10cm/分 、改良深さは 15cm 、養生期間は 7 日とした。

(2) 実験結果と考察 作製したセメント改良体と現地で採取した2種類の実改良杭の表面粗さ R_y と粘土の粒径 D_{90} の関係および表面粗さの算術平均高さ R_a と粘土の粒径 D_{50} の関係をそれぞれ図5 a) b) に示す。図5 a)に示すように、すべての改良体で母材粘土の粒径 D_{90} より表面粗さ R_y が大きくなった。また図5 b)より、母材粘土の粒径 D_{50} と表面粗さ R_a には概ねよい相関関係が示された。したがってセメント改良杭の表面粗さについては、母材粘土の粒径から推定できる可能性がある。

3.粘土と地盤改良体の摩擦特性

周面摩擦抵抗 τ は粘土のせん断抵抗角 ϕ' と異種材料間の摩擦角 δ' の比、すなわち $\tan\delta'/\tan\phi'$ を R として $\tau = R(c' + \sigma_n \tan\phi')$ と表現できる。本研究ではこれまで、摩擦抵抗の比 R の

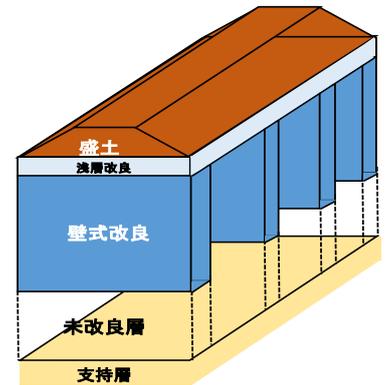


図1 非着底型深層改良技術の概念図

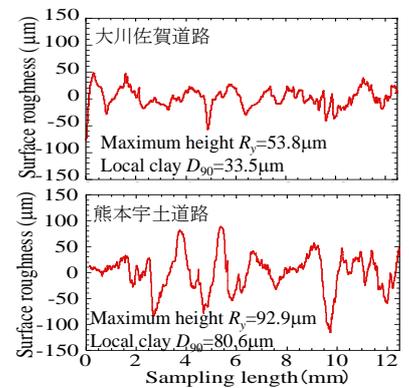


図2 実改良体の表面粗さ

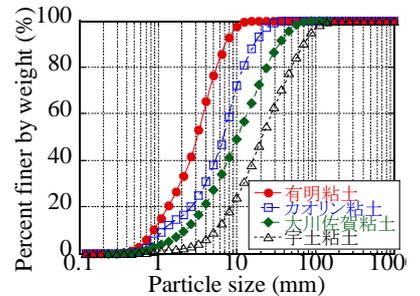


図3 試料の粒径加積曲線

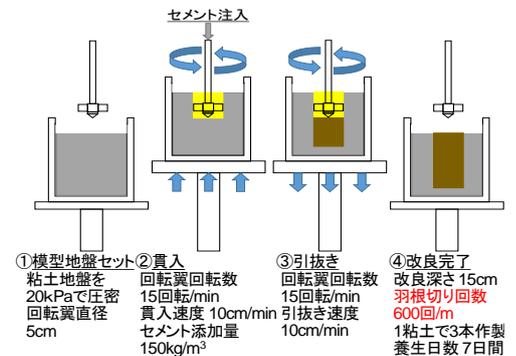


図4 模型攪拌装置を用いた改良体の作製手順

違いが改良地盤の沈下抑制効果に及ぼす影響を評価するために、模型実験ならびに FEM 解析を実施している²⁾。そこで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ている²⁾。試料としてカオリン粘土と有明粘土を用い、粘土内部のせん断特性と、粘土と改良体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ている。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 と算術平均高さ R_a を用いた。

図6 a)に改良体の表面粗さ R_y を粘土の粒径 D_{90} で除した相対粗さと、摩擦抵抗の比 R の関係を、図6 b)に改良体の表面粗さ R_a を粘土の粒径 D_{50} で除した相対粗さと、摩擦抵抗の比 R の関係をそれぞれ示す。異種材料間の摩擦角と粘土のせん断抵抗角を比較した場合、カオリン粘土と有明粘土はそれぞれ、異種材料間の摩擦角より粘土の内部のせん断抵抗角が大きい。図6 a)より相対粗さ R_y/D_{90} が1に近づくにつれ、異種材料間の摩擦角が粘土のせん断抵抗角に近づき、摩擦抵抗の比 R の値が大きくなる傾向を示した。さらに相対粗さ R_y/D_{90} が1を超えると一定の値となる。カオリン粘土の場合、残留時の摩擦抵抗の比 R は0.8程度となり、ピーク時は1.0に近づく。有明粘土の場合、摩擦抵抗の比 R はピーク時、残留時共に0.8程度であった。このことより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、カオリン粘土と改良体の間で滑りが発生しているものと考えられる。また、改良体の表面粗さ R_y が大きいと、異種材料間の摩擦角が粘土のせん断抵抗角の値に近づくので、図7 b)に示すように粘土内部での滑りが支配的になっていると考えられる。図6 b)より相対粗さ R_a/D_{50} が増加すると図6 a)と同様に摩擦抵抗の比 R の値が大きくなる傾向を示した。相対粗さ R_a/D_{50} が0.5を超えると摩擦抵抗の比 R は図6 a)と同様に一定の値となった。

4.まとめ

今回、模型攪拌装置によってセメント改良体を作製し表面粗さの測定を行った。また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。これより本研究で用いた粘土の場合、セメント改良体の表面粗さと粘土粒子径の関係および異種材料間の摩擦特性を用いて粘土と改良体の界面強度を決定できる。得られた知見をまとめると以下の通りである。

- (1) 地盤改良にセメント改良体を用いた場合、相対粗さ R_y/D_{90} は図 5a) 表面粗さ-粒径関係より 1.0 以上となるので沈下量の推定の際は図 6 a) より、ピーク時は摩擦抵抗の比 $R=1.0$ を用い、残留時は $R=0.8$ を用いることが合理的である。セメント改良体の表面粗さ R_a と粘土の粒径 D_{50} に着目した場合も相対粗さ R_a/D_{50} は図 5 b) 表面粗さ-粒径関係より 0.5 以上となるので沈下量の推定の際は図 6 b) より、ピーク時は摩擦抵抗の比 $R=1.0$ を用い、残留時は $R=0.8$ を用いることが推奨される。
- (2) 杭に鋼材等を用いる場合は粘土の粒度分布と杭の表面粗さ R_y あるいは R_a を計測することにより相対粗さが決定でき、図 6 a) あるいは b) よりピーク時、残留時の摩擦抵抗の比 R を算出することができる。

【謝辞】：実改良体の表面粗さの計測は、国土交通省九州地方整備局熊本河川国道事務所、佐賀国道事務所の方々に、多大なご配慮をいただいた。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。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. 2)有間航ら：粘土とセメント改良体の界面強度の評価と改良地盤の沈下解析への適用，第12回地盤改良シンポジウム論文集 pp.37-40, 2016.

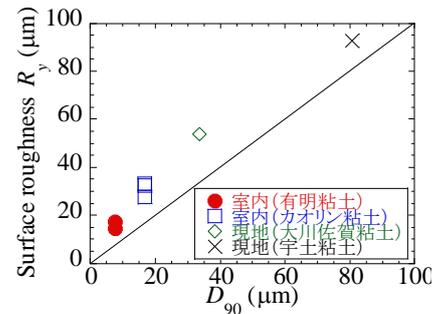


図 5 a) 粒径 D_{90} -表面粗さ R_y 関係

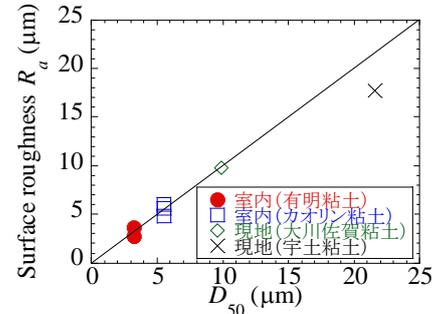
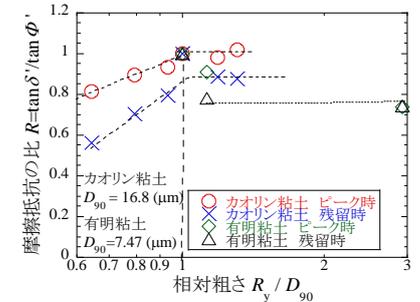
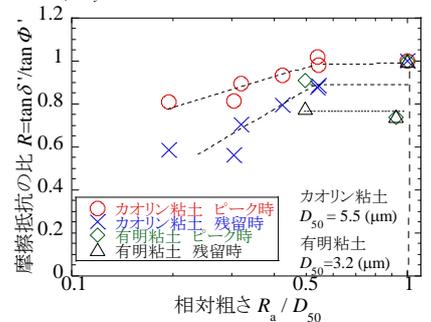


図 5 b) 粒径 D_{50} -表面粗さ R_a 関係



a) $R_y - D_{90}$ 関係に着目した場合



b) $R_a - D_{50}$ 関係に着目した場合

図 6 粘土と改良体の界面強度関係

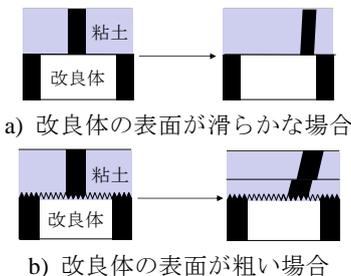


図 7 粘土と改良体の接触面模式図