

1.はじめに

高圧縮性、低強度の軟弱な粘性土地盤地で建設工事を行う際には、地盤の沈下量の抑制、強度増加を目的とする地盤改良が施される。中でも、セメントや生石灰等を用いた地盤改良工法はよく用いられる¹⁾。また、高含水比の浚渫粘性土や建設発生粘性土の処理・有効利用の際に、セメントや生石灰を粘性土に混合する方法も広く利用されている。

本研究では、軟弱な粘性土にセメントや生石灰などの固化材を混合した場合の改良土の強度、透水係数と微視構造の変化に着目し、それらの相互関係について検討した。固化材の混合量を変えて土の供試体を作製し、 K_0 (側方変位なし)状態で圧密・透水試験、一軸圧縮試験を実施し、改良土の強度と透水係数の変化について調べた。さらに、圧密・透水試験前後の供試体について、間隙径分布測定、電子顕微鏡観察(以降 SEM 観察と表記)を行い、微視的土構造についても検討した。

2.使用した試料と試験方法

本研究で使用した試料は、佐賀県小城市芦刈町より採取した練り返した有明粘土である。表-1 に物理的性質を示す。固化材は、US10 というセメントと生石灰を使用した。固化材の混合量は、試料の乾燥質量に対して2~16%とした。固化材混合後、4週間養生した後、圧密・透水試験、一軸圧縮試験、SEM 観察、間隙分布測定を実施した。なお、圧密・透水試験の供試体については直径 60mm×高さ 20mm とし、一軸圧縮試験については直径 50mm×高さ 100mm の供試体を用いた。

表-1 用いた試料の物理的性質

自然含水比 w_r (%)	145
土粒子の密度 ρ_s (g/cm ³)	2.635
液性限界 w_L (%)	115.0
塑性限界 w_P (%)	49.3
塑性指数 I_P	65.7

3.試験結果

3-1.圧密・透水試験：圧密試験及び透水試験については、改良した三軸圧縮試験機を使用した。この装置では供試体をゴムスリーブで拘束しているので、透水試験中にリング型試験機のように供試体とリング間からの水漏れがない利点がある。試料の側方変位がゼロ (K_0) 状態で圧密終了後に、透水試験を実施した。図-1 に透水試験の結果を示す。セメント 2~6%までの場合と、生石灰 2%を混合した場合において、試料の間隙比(e)と透水係数(k)の関係は、固化材を混合していない未処理土とほぼ同じ傾向を示した。セメント 12%と 16%の供試体については、同じ間隙比で比較すると、透水係数は明らかに小さくなった。

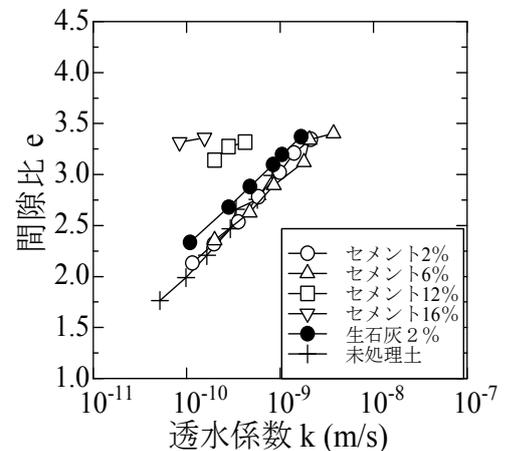


図-1 透水係数の変化

3-2.一軸圧縮試験：図-2 に、セメント 2~16%、生石灰 2%を混合した場合の一軸圧縮試験結果を示す。セメントの混合量 6%時における一軸圧縮強さ(q_u)は約 24kN/m²で、有明粘土の乱さない試料とほぼ同じ値となった。セメントの混合量 2%及び 4%の場合と、生石灰の混合量 2%の場合については、一軸圧縮強さが約 5kN/m²であり、かつ、ほぼ同程度であることが示された。本研究で用いた粘性土では、セメントが 6%程度の混合において、十分な強度改良が得られない

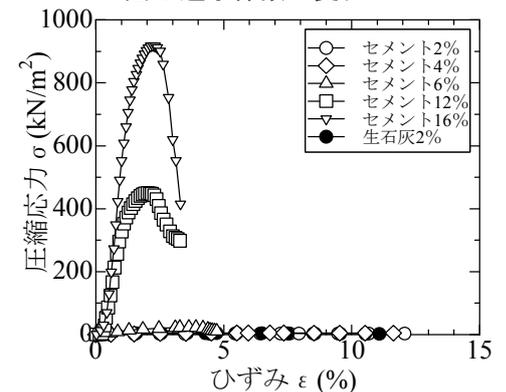


図-2 一軸圧縮強度の比較

ことがわかる。また、セメントを 12%及び 16%混合した試料の一軸圧縮強さはそれぞれ約 440kN/m²と約 940kN/m²であった。参考に、有明海沿岸道路工事現場においては、セメント深層混合により形成したソイル・セメントコラムの試料強度は概ね 500~2000kN/m²の範囲にある²⁾。

圧密・透水試験、一軸圧縮試験結果を併せて考察すると、改良効果が小さく改良土の強度が低い場合、改良土の透水係数は未改良土のものと同様である。改良土の強度が大きい場合、同じ間隙比で比較すると、改良土の透水係数は未改良土より大きく減少する。

3-3. 微視的土構造：セメントの混合量 2%と 16%の供試体についての間隙分布測定の結果を図-3 に示す。セメント 2%においては、多くの間隙径が 10⁰~10¹μm に存在しているが、セメント 16%の場合では、多くの間隙径は 10⁻¹~10⁰μm に存在しており、より小さい間隙径を中心に間隙が構成されていることがわかる。また、総間隙量ではセメント 2%の方はセメント 16%の約 1.25 倍であり、ほとんど大きな差がない。

セメントの混合量 2%と 16%の供試体の SEM 観察結果を図-4 に示す。セメント 2%と 16%を比較すると、セメント 2%では比較的大きな間隙が確認できるのに対し、セメント 16%では間隙は比較的小さい様相を示していることから、間隙径分布状況と SEM 観察結果とよく対応していることがわかる。これらの結果から、固化材混合量の増加に伴って、ポズラン反応の生成物³⁾が土粒子間の大きな間隙を埋めることになり、間隙径が小さくなることを明らかにした。

3-4. ディスカッション：透水試験、一軸圧縮試験、間隙分布測定、微視的土構造の観察を行った結果より、セメントや生石灰の混合によって改良した粘性土において、固化材の混合量が少ない場合は、改良土の強度が小さく、同じ間隙比での透水係数(k)と微視的土構造は未処理土とほぼ同様である。固化材の混合量が増加すると、改良土の強度は大きくなり、間隙はより小さい間隙径で構成されることになる。その結果として、同じ間隙比での透水係数も小さくなる。つまり、透水係数と強度、微視的土構造の間には相関性がある。

4.まとめ

セメントや生石灰の混合による改良土に対して、圧密・透水試験、一軸圧縮試験、間隙径分布の測定、SEM による微視的土構造の観察を実施し、得られた結果から、以下のことが分かった。

- (1) 試験した条件でセメントを混合する場合、混合量が乾燥重量の 6%までは、強度に対する改良効果があまりなく、透水係数と微視的土構造も大きな変化はなかった。
- (2) 改良土の固化材の混合量が異なる場合、同じ間隙比(e)で透水係数(k)、一軸圧縮強度(q_u)、微視的土構造の間を比較すると相関関係があることがわかった。つまり、固化材混合量の増加に伴い一軸圧縮強度が大きくなると、間隙を構成する間隙径は小さくなり、透水係数が低くなる。

参考文献：1) Nguyen duy Quang: Performance of Lime/Cement lightly treated clayey soils, 佐賀大学大学院工学系研究科都市工学専攻博士論文, 2013. 2) Igaya, Y. et al. : Laboratory and field strength of cement slurry treated Ariake clay. Proc. 8th International Symposium on Lowland Technology September 11-13, 2012 in Bali, Indonesia, pp. 40-45. 2012. 3) 岡林ら: 土を固める原理と応用~2. セメントとセメント系固化材の化学~, 土と基礎, No.52, Vol.10, PP47~54, 2004.

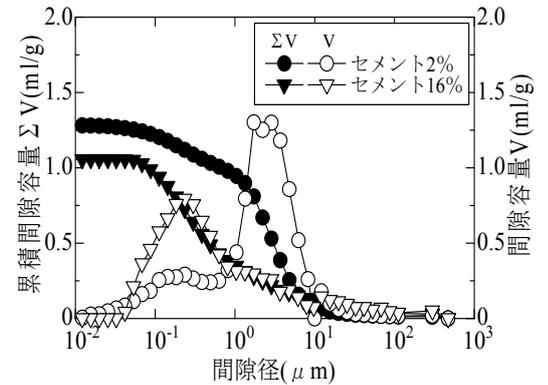
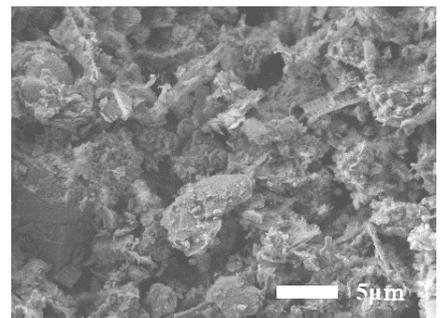
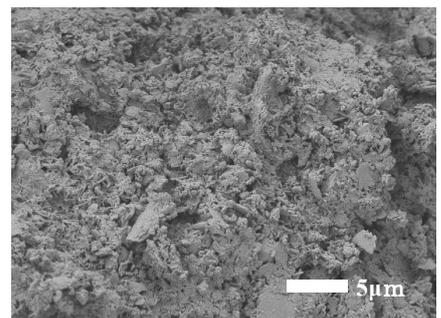


図-3 間隙径分布の比較



a)セメント 2%



b)セメント 16%

図-4 セメント処理土の SEM 写真