

## 塩水浸透劣化に伴うセメント処理土の強度特性の変化

佐賀大学大学院 学生会員 井上徹郎  
 宮崎大学工学部 正会員 末次大輔

### 1. はじめに

セメントあるいは石灰を添加する固化処理工法は、軟弱地盤対策として広く用いられている。一方で近年固化処理土が海水と接触すると、塩分に含まれるマグネシウムの影響で処理土中のカルシウムが溶出し、力学的に劣化することが明らかとなった<sup>1)</sup>。本研究は、セメント処理土の劣化進行に伴う強度特性の変化を明らかにすることを目的とし、劣化進行度の異なるセメント処理土の非圧密非排水一面せん断試験を行った。

### 2. 実験概要

実験に使用した供試体は、劣化の程度の異なるセメント処理土に加えて、比較試料とする添加量の異なる健全なセメント処理土、再構成した有明粘土である。母材となる粘土試料は佐賀平野を流れる六角川河口域で、干潮時に干出する堆積土である。(本文では有明粘土と称す)である。有明粘土の物性を表-1に示す。セメント処理土の作製方法は次の通りである。まず有明粘土の含水比を、液性限界の1.5倍となる225%に調整する。高炉セメントB種を有明粘土に添加し十分に攪拌混合する。セメント添加量は100, 75, 50, 40kg/m<sup>3</sup>の4ケースである(以下それぞれBB100, BB75, BB50, BB40と称す)。攪拌後、直径100mm、高さ200mmのモールドに詰め、恒温恒湿室内(室温20°C、湿度30%)で、28日間養生した。圧密供試体は、有明粘土をアクリル製のモールド(φ=23cm, H=35cm)に詰め、ベロフラムシリンダーを用いて圧密した。圧密圧力は50kPa, 77kPaの2ケースである(以後AC-50, AC-77と称す)。各供試体の物性を表-2に示す。表中の初期含水比w<sub>i</sub>%は脱枠および圧密終了直後の含水比である。また、BB100のみ、高さ3.0cm、直径10cmに整形し、有明海の20倍のマグネシウム濃度

表-1 母材に用いた有明粘土の物性

自然含水比 w <sub>n</sub> (%)	175.2
密度 ρ <sub>s</sub> (g/cm <sup>3</sup> )	2.58
液性限界 w <sub>L</sub> (%)	150.0
塑性限界 w <sub>P</sub> (%)	49.3
塑性限界 I <sub>p</sub>	100.7
有機物含有量 L <sub>i</sub> (%)	15.6

表-2 各供試体の物性

	初期含水比 w <sub>i</sub> (%)	間隙比 e	一軸圧縮強さ q <sub>u</sub> (kN/m <sup>2</sup> )
BB100	152.3	2.97	845.86
BB75	159.8	3.60	517.89
BB50	172.9	4.15	152.55
BB40	173.0	4.15	33.17
AC-77	96.0	2.53	47.54
AC-50	109.8	2.86	

(0.938g/L×20=18.76g/L)の塩化マグネシウム水溶液を定水位で透水し、透水期間を変えることで、劣化進行度の異なる供試体を6個作製した。定水位透水の方法は、著者らの実験<sup>2)</sup>を参考にしている。

非圧密非排水一面せん断試験は、せん断中の排水を完全に防ぐため、上箱および垂直応力載荷板のポーラスストーンに耐水サンドペーパーを貼り付けて不透水にした。供試体寸法は高さ2.0cm、内径6.0cmである。せん断は、垂直応力を50kN/m<sup>2</sup>加えた後、定体積状態で2.0mm/minの速度で急速せん断した。せん断終了後、供試体上部から厚さ5mmごと(4分割)に水平にスライスカットし、元素分析に供する試料を分取し炉乾燥した。元素分析には蛍光X線(SHIMADZU Rayny EDX-800HS)を使用した。pH試験は土懸濁液のpH試験(JGS 0211)に準拠して行った。

### 3. 試験結果および考察

一面せん断を行った供試体中のカルシウム濃度の深度分布を図-1に示す。引き出し線で示したデータラベルおよび凡例のハイフン以下の数字はそれぞれの供試体におけるせん断面(深度10mm)のカルシウム濃度を示す。せん断面のカルシウム濃度は、深度5~10mmと10~15mmのカルシウム濃度を平均して求めた。セメント処理土を人工海水に浸漬した場合には、完全劣化が曝露面から深さ方向に進行する<sup>1)</sup>。しかし本実験では、

上部のカルシウム溶出が進行していなくても、より深い深度でカルシウムの溶出が見られた。これはマグネシウムの移流や、マグネシウム濃度が高いことが原因と考えられる。せん断応力とせん断変位の関係を図-2に示す。せん断面のカルシウムの溶出に伴い、せん断強さが低下した。比較的カルシウム溶出が進行していたBB100-29.1, BB100-22.1, BB100-18.2, BB100-12.4は、固化材添加量の少ない処理土、あるいは圧密した有明粘土と類似したせん断挙動を示した。

せん断強さとカルシウム濃度の関係を図-3に示す。BB100-41.7からBB100-34.2では、せん断強さに大きな変化は見られなかった。しかし、BB100-34.2からせん断強さが大きく低下し、BB100-22.1からBB100-12.4のせん断強さは健全な供試体の1/4~1/5程度しか有していない。各供試体の状態はセメント処理土の劣化メカニズム<sup>1)</sup>を参考に以下の様に考えられる。BB100-41.7からBB100-34.2では、間隙中の水酸化カルシウムが塩化カルシウムに変化することで系外へ溶出し、pHが低下している段階と考えられる。水和物中のカルシウムはほとんど溶出しておらず、せん断強さの変化が起きなかったと考えられる。BB100-34.2からBB100-22.1のせん断強さに著しい差が生じている。BB100-34.2のpHが母材に近い値を示した。このことからBB100-34.2では水和物中のカルシウム溶出が始まった段階であり、それよりも劣化が進行したBB100-22.1からBB100-12.4は水和物からカルシウムが溶出したためにせん断強さが低下したと考えられる。

4.まとめ

本研究で得られた知見は次のとおりである。(1)セメント処理土はカルシウムの溶出に伴いせん断強さが低下する。(2)劣化したBB100のカルシウム濃度が41.7~34.2 (wt%)の範囲では、せん断強さに大きな変化は無かった。これは、溶出したカルシウムの多くが、水酸化カルシウムに含まれるものであったためと考えられる。(3)劣化したBB100は、カルシウム濃度が34.2 (wt%)を下回るとき、せん断強さが大きく低下した。これは、間隙中のpHが低下して水和物中のカルシウムが溶出し、セメンテーション効果が消失したためと考えられる。

謝辞

本研究は日本学術振興会科学研究費補助金(基盤C(一般)18K04348)により実施されたものである。

参考文献

1) 原弘行, 末次大輔, 林重徳, 松田博: 海水に曝露したセメント処理土の劣化機構に関する基礎的研究, 土木学会論文集C(地圏工学), Vol.69, No.4, pp.469-479, 2013. 2) Tetsuro Inoue, Daisuke Suetsugu: Effects of seawater infiltration on permeability of the cement treated soil, Proc. of the Technical Forum on Mitigation of Geo-disasters in Asia, pp.96-101, 2019.

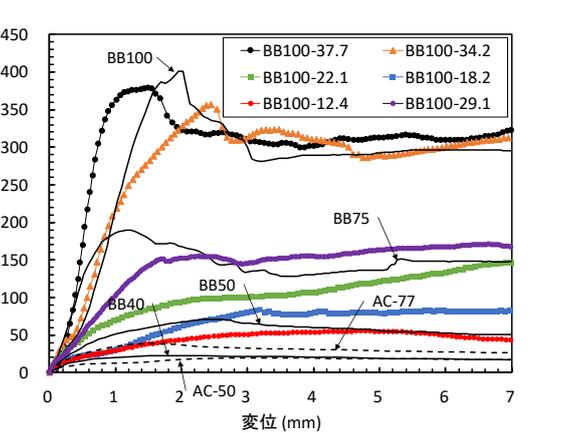
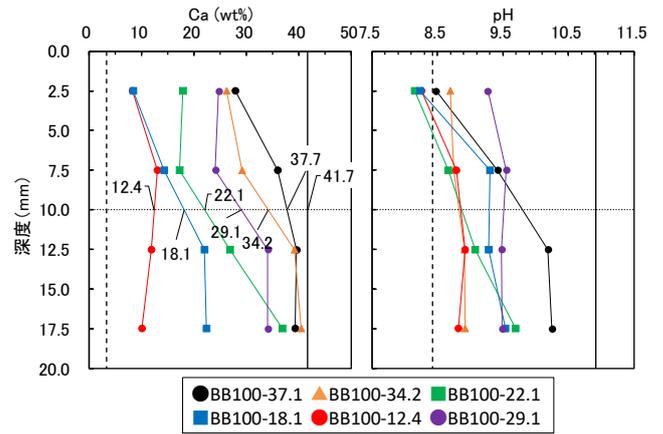


図-2 各供試体のせん断応力と変位の関係

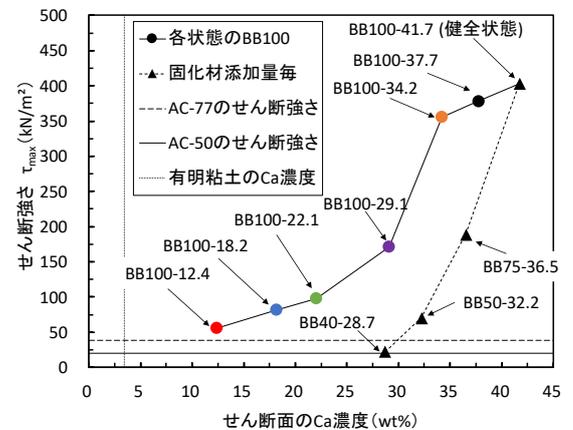


図-3 せん断強さとカルシウム濃度の関係