

潮汐の影響を考慮したセメント改良粘土の劣化特性に関する考察

九州大学 学 〇川原 涼

九州大学大学院 学 藤澤拓馬 正 石蔵良平 F 安福規之

1. はじめに

日本は沿岸地域を中心に軟弱地盤を形成しており構造物を建設する際は地盤改良を必要とする場合がある。地盤改良技術の一つとしてセメント系固化材を用いた軟弱地盤改良技術が河口付近の河川堤防基礎や沿岸部で広く適用されてきた。しかし、セメント固化処理土は長期間海水環境下に曝されると固化材の種類によっては劣化することが確認されており、高い耐久性、耐海水性を有するセメント系固化材の開発が求められる。本研究では、有明粘土を対象とし、潮汐が固化処理土の劣化に及ぼす影響を把握するため、室内養生試験を行った。実際の河口部を模擬するため、海水と淡水の水質変化や潮の干満による水圧変化を想定した養生環境で供試体を養生し、養生条件の違いが強度特性や Ca^{2+} 溶出量に及ぼす影響について考察した。

2. 実験概要

2-1. 供試体の作製手順

実験に用いた供試体の作製条件、養生条件を表 1 に示す。有明粘土に表 1 に示す所定のセメントおよびドロマイトを添加し、攪拌機で 10 分間練る。次に、2 種類の上部のみ開放されたプラスチック容器 ($\Phi 115 \times h114\text{mm}$, $\Phi 50 \times h100\text{mm}$) に充填した供試体を 14 日間空中養生した後、各養生条件で養生を開始した。

2-2. 養生条件

供試体 ($\Phi 115 \times h114\text{mm}$) を室内空中養生、室内海水養生に分けて養生する。Case1, 4, 5 については、供試体を MgCl_2 水溶液に浸漬させた。Case2 については供試体を MgCl_2 水溶液に浸漬させ、潮汐を考慮し、水深約 3m での水圧を想定して、6 時間周期で 30kPa の水圧の载荷・除荷を繰り返した。Case3 については、 MgCl_2 水溶液に浸漬し、1 週間周期で MgCl_2 水溶液と蒸留水を交換した。

2-3. 養生水 (MgCl_2 水溶液) の概要

セメント固化処理土の Ca 溶出は水中のマグネシウム塩が大きく影響しており、養生水が MgSO_4 水溶液の場合よりも MgCl_2 水溶液の方が Ca^{2+} の測定が容易なことが明らかにされている¹⁾。そこで、養生水は MgCl_2 水溶液とし、 $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ の粉末を蒸留水に溶かして MgCl_2 水溶液を作製した。 MgCl_2 水溶液の濃度は劣化を促進させるために海水の約 4 倍となるよう $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 濃度を 40.0g/L に調整した²⁾。

2-4. 針貫入試験の概要および養生水のイオン濃度測定

供試体上端面からの深さ方向の強度変化を把握するため、供試体 ($\Phi 115\text{mm} \times h114\text{mm}$) を半割にし、図 1 に示す点に半割面に対し垂直に針を貫入する。供試体上端面から 30mm まで 2.5mm 間隔、それ以降は 15mm 間隔で針を貫入し、貫入量が 10mm 時の貫入力または貫入力が 100N 時の貫入量を読み取る。次に、貫入力を貫入量で除して貫入勾配を求める。また、供試体を浸漬してから 1 週間ごとに養生水を採取し、養生水中の Ca^{2+} , Mg^{2+} 濃度を測定した。

表 1. 供試体の養生条件

Case	セメントの種類	セメント添加量	養生環境	加圧条件
1	BBセメント	150kg/m ³	海水	加圧なし
2	BBセメント	150kg/m ³	海水	0⇔30kPa (6時間周期)
3	BBセメント	150kg/m ³	海水⇔淡水 (1週間周期)	加圧なし
4	BBセメント	265kg/m ³	海水	加圧なし
5	BBセメント (ドロマイト置換)	セメント112.5 kg/m ³ ドロマイト37.5kg/m ³	海水	加圧なし

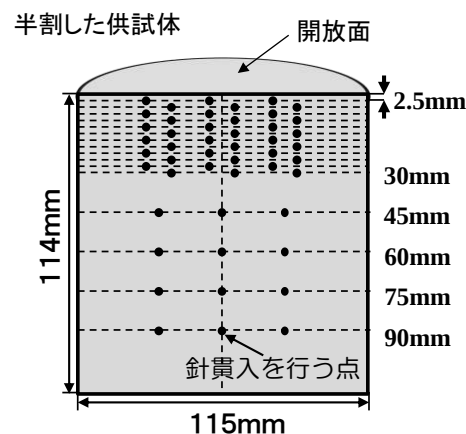
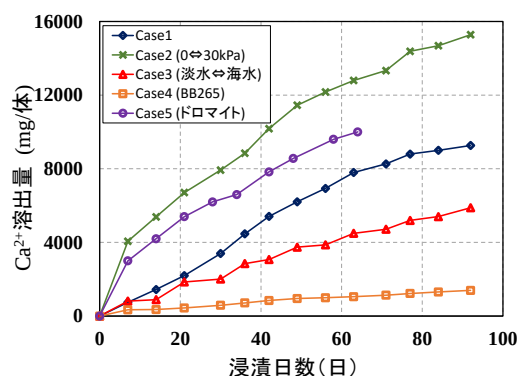


図 1. 針貫入試験の計測点

図 2. Ca^{2+} 溶出量の経時変化

3. 実験結果と考察

図2に供試体1体あたりの Ca^{2+} 溶出量の経時変化を示した。セメント添加量が多い Case4 では、 Ca^{2+} 溶出量が最も小さくなっている。1週間周期で海水と淡水を入れ替えた Case3 では海水中養生した Case1 より Ca^{2+} 溶出量が小さくなっており、淡水と接触している間はほとんど Ca^{2+} が溶出していないと考えられる。6時間周期で 30kPa の水圧の载荷・除荷を繰り返した Case2 では Ca^{2+} 溶出量が最も大きくなっている。なお、養生約2ヶ月経過時には、ドロマイトによる Ca^{2+} 溶出を抑制する効果は見られていない。

図3に MgCl_2 溶液に浸漬して約1ヶ月が経過した供試体の針貫入勾配分布と針貫入強度比分布を示した。針貫入強度比とは各供試体の養生環境の影響を受けないと考えられる健全部(開放面からの深さ 60mm, 75mm)での平均貫入勾配を求め、供試体の各点での貫入勾配を平均貫入勾配で除した値を意味する。針貫入勾配を比較すると、セメント添加量が多いほど全体的な強度は大きくなっているが、どの供試体についても開放面付近で強度の低下が見られた。針貫入強度比をみると、海水中養生した Case1 よりも海水と淡水を1週間周期で入れ替えた Case3 の方が開放面付近の針貫入強度比が大きくなっている。また、加圧なしの Case1 よりも6時間周期で 30kPa の水圧の载荷・除荷を繰り返した Case2 の方が開放面付近の強度比が小さくなっている。針貫入強度比から劣化の進行度合を比較するため、従来は針貫入勾配が緩やかに増加する部分と急激に増加する部分の近似直線の交点を劣化深度と定義していた³⁾。強度比が1より小さくなっている範囲をより詳細に比較するため今回新たに、図4に示すように理想的な健全供試体において各深さの針貫入強度比が1である場合の緑色の領域 P_1 の面積に対する劣化進行後の黄色の領域 P_3 の面積の割合を劣化率と定義した。実験により得られた各 Case における Ca^{2+} 溶出量と劣化率の関係を図5に示す。 Ca^{2+} 溶出量が大きくなるほど劣化率も大きくなっている。

4. まとめ

本研究では、養生環境の変化や加圧の有無、ドロマイトの添加などの供試体の作製条件および養生条件を変化させた供試体を MgCl_2 水溶液に浸漬し、養生水中の Ca^{2+} , Mg^{2+} 濃度測定および針貫入試験を行った。そこから得られた主な結果を以下に示す。

- 1)セメント固化処理土は MgCl_2 水溶液と接触すると接触面から Ca^{2+} が溶出するが、淡水との接触では Ca^{2+} の溶出が抑えられている。
- 2)加圧条件下では、加圧しない条件と比較して、供試体からの Ca^{2+} 溶出量が大きくなる。
- 3)養生約2ヶ月経過時には、ドロマイトによる Ca^{2+} 溶出を抑制する効果は見られなかった。
- 4)養生水への Ca^{2+} 溶出量と供試体の劣化率には相関関係がある。

【参考文献】

- 1)原弘行, 末次大輔, 林重徳: 海水環境下における石灰処理土のカルシウム溶出機構, Journal of the Society of Materials Science, Japan, Vol.61, No.1, pp.11-14, Jan.2012
- 2)石丸信幸: ポリ乳酸によるフジツボ付着制御, 九州工業大学博士学位論文, 2013
- 3)原弘行, 末次大輔, 林重徳, 松田博: 海水環境下におけるセメント処理した有明粘土の劣化の進行に関する検討, Vol.63, No.1, p.49-54, Jan.2014
- 4)黒川諒一: 海水環境に着目したセメント改良砂の短期劣化特性, 九州大学工学部卒業論文, pp.19-25, 28-34, 2014

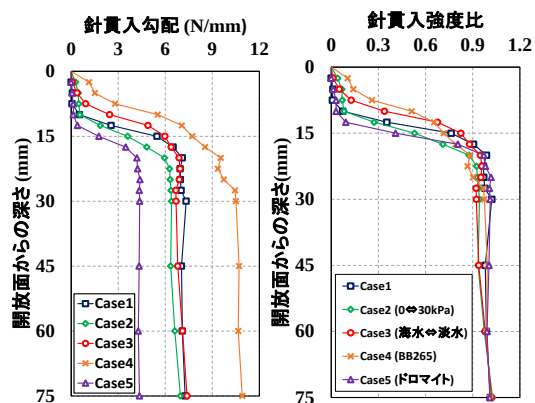


図3. 針貫入勾配分布と強度比

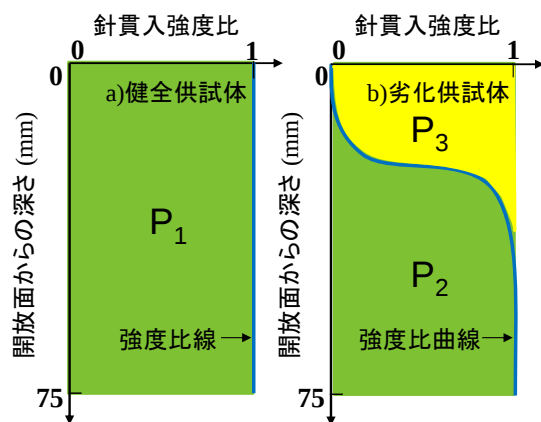


図4. 各供試体における針貫入強度比分布の概念図

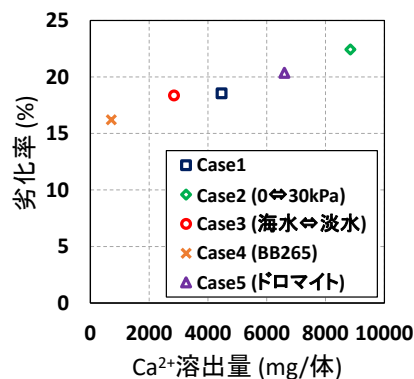


図5. Ca^{2+} 溶出量と劣化率の関係