

海水環境下における石灰処理土の表面変質がカルシウムの溶出に及ぼす影響

山口大学大学院理工学研究科 正会員 ○原 弘行
同上 正会員 松田 博

1. はじめに

最近、九州地方における河川感潮域の堤防において、堤体基礎部を構成する石灰処理土層の軟弱化がみられ、力学的性質の劣化が確認された。著者らは、固化処理土の劣化現象は海水中のマグネシウム (Mg) を含む塩が処理土のカルシウム (Ca) を溶出せしめることによって引き起こされることを明らかにした¹⁾。その一方で、著者らを含めて海水に曝された固化処理土において、海水との接触部に変質が生じる場合があることが報告されている^{2), 3)}。変質が生じた処理土は力学的劣化領域が比較的小さく、変質部が劣化を抑制する効果を持つ可能性が示唆された。しかしながら、このことについて詳細に議論した事例はみられない。今後、固化処理地盤の耐久性について検討する際には、劣化の進行を大きく左右し得る当該現象を把握しておく必要がある。本研究では、石灰処理土に生じる表面変質の発生機構と Ca の溶出に及ぼす影響について検討した。

2. 実験概要

試料土は、佐賀県小城市を流れる感潮河川の河口域から浚渫した有明粘土を用いた。試料土の物性を表-1 に示す。供試体作製時には、試料土の含水比を液性限界の 1.5 倍となるように調整して使用した。固化材は生石灰を用い、添加量は 35, 50, 70, 100kg/m³ の 4 段階に設定した。試料土に固化材を添加・混合し、 $\phi=50\text{mm}$, $H=100\text{mm}$ のプラスチックモールドに詰めて、温度 20℃、湿度 80%に調整した恒温恒湿器内で 28 日間養生した。養生後、高さを 50mm に成形したものを供試体とした。供試体を浸漬させる溶液には Mg 水溶液を用いた。先に述べたように、固化処理土の劣化現象を引き起こす主な海水中の成分は Mg 塩であり¹⁾、現象の単純化ならびに水質分析の精度向上を目的として、本実験では海水の代用として Mg 水溶液を使用した。一般的な海水中の塩類組成¹⁾を参考に、塩化マグネシウム (MgCl₂) と硫酸マグネシウム (MgSO₄) の割合がそれぞれ 7 : 3 になるように、MgCl₂ · 6H₂O と MgSO₄ · 7H₂O の混合試薬を作製する。これをイオン交換水に溶解し、平均的な有明海の海水中の Mg²⁺濃度 (938mg/L)¹⁾となるように調整した。

表-1 試料土の物理的性質

土粒子密度	(g/cm ³)	2.62
液性限界	(%)	140.7
塑性限界	(%)	45.3
粒度組成	(%)	
礫		0.0
砂		1.5
シルト		27.1
粘土		71.4

溶液への浸漬時には、供試体の上面以外をパラフィルムで覆い、さらにその上からゴムスリーブを被せて供試体の上面のみが溶液と接触するようにした。このとき、溶液は供試体 1 本当たり 1L とした。実験は以下の手順で実施した。まず、ポリエチレン容器に Mg 水溶液を投入し、供試体を浸漬させる。所定の期間経過後に浸漬水を全量採水し、水質分析により Ca²⁺, Mg²⁺濃度を測定した。また、採水と同時に供試体表面をデジタルカメラで撮影した後、新たな溶液に供試体を浸漬させた。溶液の更新時刻は開始から 0, 0.25, 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64 日目とした。

3. 実験結果と考察

浸漬 64 日後の添加量 35, 100kg/m³ の供試体の表面写真を写真-1 に示す。100kg/m³ の供試体のみ表面が白く変色していることが確認された。この供試体の表層部を採取して SEM 観察、蛍光 X 線分析を行った。写真-2 に SEM 画像を示す。写真から、白色析出物は 3~4 μm の球状を呈する物質の集合であり、これが処理土表面を被覆している様子が確認できる。さらに、元素分析に供した結果、Mg と酸素 (O) が全体の 90%以上を占めていることがわかった。これより、処理土表面の白色析出物は Mg に

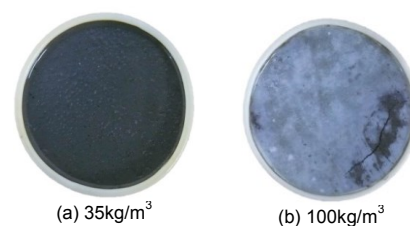


写真-1 供試体表面写真 (64 日後)

よる劣化の化学反応¹⁾によって生成された水酸化マグネシウム ($\text{Mg}(\text{OH})_2$) と推察される。

水質分析の結果から、式(1)～(3)を用いて各分画の Ca の実測溶出量 $M_{Ca,i}$ と溶出フラックス $J_{Ca,i}$ ならびに Mg 実測浸透量 $M_{Mg,i}$ を求めた。

$$M_{Ca,i} = \frac{C_{Ca,i} \cdot V_i}{S} \quad (1) \quad J_{Ca,i} = \frac{M_{Ca,i}}{t_i - t_{i-1}} \quad (2)$$

$$M_{Mg,i} = \frac{(C_{Mg,0} - C_{Mg,i}) \cdot V_i}{S} \quad (3)$$

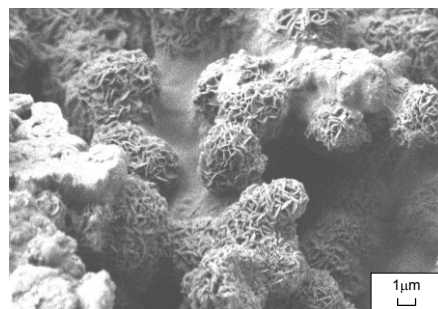


写真-2 白色析出物の SEM 画像

ここに、 $C_{Ca,i}$ は分画 i の Ca 溶出濃度、 V_i は分画 i の溶出液体積、 S は溶液と接触する供試体上面の表面積、 t_i と t_{i-1} はそれぞれ i 回目、 $i-1$ 回目の溶液更新時刻、 $C_{Mg,0}$ は溶液の初期 Mg^{2+} 濃度、 $C_{Mg,i}$ は分画 i の Mg^{2+} 濃度を表す。

Ca 溶出フラックスの時間変化を図-1 に示す。添加量 35, 50, 70 kg/m^3 の供試体は、いずれも同様な減少傾向を示す。白色析出物が観測された 100 kg/m^3 の場合、初期のフラックスは他のケースよりも高い値を示すものの、その後時間とともに著しく減少していることがわかる。また、100 kg/m^3 の場合、浸漬の後半でフラックスの減少傾向が初期のものから逸脱し、若干大きくなっている。これは、浸漬 16 日付近で供試体表面においてクラックの発生を確認しており、溶液との接触面積が増大したことが原因と考えられる。Ca 累積溶出量 ΣM_{Ca} と Mg 累積浸透量 ΣM_{Mg} の関係を図-2 に示す。35, 50, 70 kg/m^3 の場合、同様な傾向がみられ、Mg 浸透量に対する Ca 溶出量は一義的な関係があることがわかる。ところが、100 kg/m^3 の場合のみ他のケースに比べて Ca の溶出量が著しく低い値を示している。

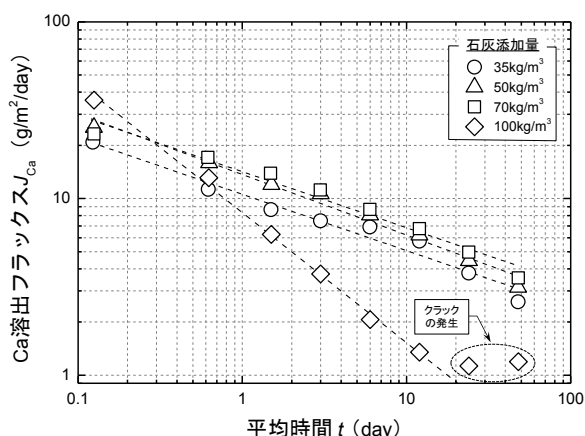


図-1 Ca 溶出フラックスの時間変化

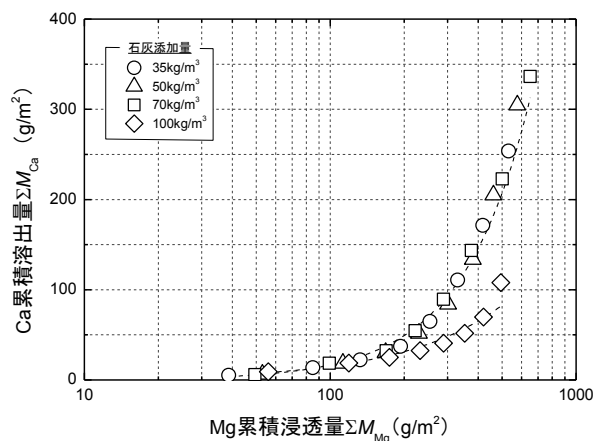


図-2 Ca 累積溶出量と Mg 累積浸透量の関係

4. まとめ

本研究では、固化材添加量の異なる石灰処理土を Mg 水溶液に浸漬し、処理土表面に観測された白色析出物が Ca の溶出に及ぼす影響について検討した。その結果、処理土表面に析出した $\text{Mg}(\text{OH})_2$ とみられる物質は、その緻密な構造によって処理土からの Ca の溶出を抑制する効果を持つことが明らかになった。

謝辞：本研究は科学研究費補助金および鹿島学術振興財団研究助成金の補助を受けて実施されたものである。

ここに記して謝意を表す。

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.64, No.4, pp.469-479, 2013.11. 2) H. Hara, D. Suetsugu, S. Hayashi : Deterioration Characteristics and Surface Alteration of Lime-treated Soil under Seawater, JS-Seoul2012, pp.115-118, 2012. 3) 小西一生, 今井政之, 斉藤聡, 坂井悦郎：セメント改良土の耐久性に関する基礎的研究 (その 2), 第 10 回地盤改良シンポジウム論文集, pp.273-280, 2012.