

海水浸漬させたセメント処理土に生じる析出物の有無によるカルシウム溶出挙動の変化

宮崎大学工学部 学生会員 ○渡辺瑛司
宮崎大学工学部 正会員 原 弘行

1. はじめに

近年、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。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) を溶出させることによって生じることが明らかにされている¹⁾。その一方で、海水に曝露された固化処理土において、海水との界面に析出物が生じる場合があることが報告されている²⁾。析出物が生じた処理土は力学的劣化領域が比較的小さく、析出物が劣化を抑制する効果を持つことが示されている。本研究では、セメント処理した粘性土の表面に生じる析出物の有無が Ca の溶出挙動に及ぼす影響について検討した。

2. 実験概要

本実験には表-1 に示す有明粘土を使用した。固化材は普通ポルトランドセメントを使用した。試料土の含水比を 207% (液性限界の 1.5 倍) に調整して、固化材を 70, 100, 130, 150, 200 kg/m³ の割合で添加し、プラスチックモールド ($\phi=50\text{mm}$, $h=100\text{mm}$) に詰めて 20°C 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。各添加量の供試体を Mg 水溶液とイオン交換水にそれぞれ 32 日間浸漬させた。このとき、供試体上面のみが溶液と接触できるように側面および下部をパラフィルムで覆い、ゴムスリーブを被せた。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。実験は以下の手順で実施した。まず、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。イオン交換水のケースも同様に行い水質分析は Ca²⁺濃度のみを対象とした。浸漬水の量は供試体 1 本に対し 1 リットルとし、浸漬水の更新は浸漬開始から 0.25, 1, 2, 4, 8, 16, 32 日目に実施した。

表-1 試料土の物理的性質

土粒子の密度 (g/cm ³)	2.64
液性限界 (%)	138.0
塑性限界 (%)	44.2

3. 実験結果と考察

Mg 水溶液の浸漬 0.25 日後と 32 日後の添加量 70, 200kg/m³ の供試体の表面写真を写真-1 に示す。Mg 水溶液に浸漬した 200kg/m³ の供試体のみ表面に白色の析出物が生じていることが確認された。ここで、浸漬前から表面が白色化した面積の比率を白色化域 S_w と定義して、次のような手順で求めた。まず、供試体表面写真をグレースケール化する。次に、閾値を設けて二値化する。二値化後、それぞれのピクセル数をカウントし、式(1)によって白色化域 S_w を算出した。

$$S_w = \frac{P_{w,n}/P_{a,n} - P_{w,0}/P_{a,0}}{1 - P_{w,0}/P_{a,0}} \times 100 \quad (1)$$

ここに、 $P_{w,n}$ は浸漬 n 日の対象範囲において白にカウントされたピクセル数、 $P_{w,0}$ は浸漬前の対象範囲において白にカウントされたピクセル数、 $P_{a,n}$ は浸漬 n 日の対象範囲全体のピクセル数、 $P_{a,0}$ は浸漬前の対象範囲全体のピクセル数を表す。

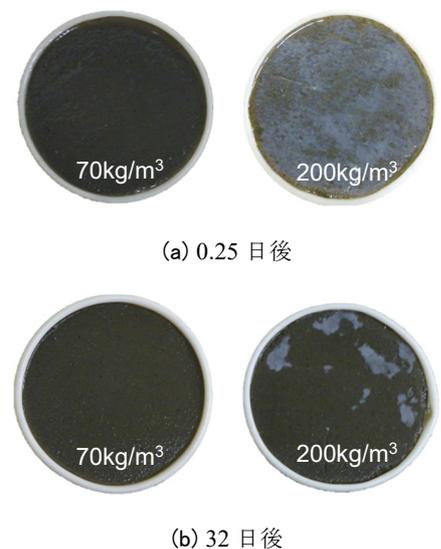


写真-1 供試体表面写真

Mg 水溶液に浸漬させた供試体の白色化域 S_w と浸漬時間の関係を図-1 に示す。Mg 水溶液に浸漬した添加量 200 kg/m^3 のみ白色化していることがわかる。しかし、浸漬 0.25 日をピークとし徐々に白色析出物が剥離し、供試体表面が露呈していくことが確認された。

水質分析の結果から、式(2)、(3)を用いて各分画の Ca の実測溶出量 $M_{Ca,i}$ と Mg 実測浸透量 $M_{Mg,i}$ を求めた³⁾。

$$M_{Ca,i} = \frac{C_{Ca,i} \cdot V_i}{S} \quad (2) \quad M_{Mg,i} = \frac{(C_{Mg,0} - C_{Mg,i}) \cdot V_i}{S} \quad (3)$$

ここに、 $C_{Ca,i}$ は分画 i の溶液の Ca^{2+} 濃度、 V_i は分画 i の溶液体積、 S は溶液と接触する供試体上面の表面積、 $C_{Mg,0}$ 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 累積溶出量の時間変化を図-2 に示す。イオン交換水に浸漬したケースは Mg 水溶液に浸漬したケースに比べ低い値を示しており、Mg の影響によりセメント処理土からの Ca 溶出が促進されていることがわかる。

Mg 水溶液に浸漬したケースでは添加量が高いものほど溶出量が大きいの傾向がみられるが、 200 kg/m^3 の場合最も溶出量が小さい。図-3 は Ca 累積溶出量と Mg 累積浸透量の関係を示したものである。図より 200 kg/m^3 の場合、Mg 浸透量に対する Ca 溶出量が他のケースに比べて少ない。また、 200 kg/m^3 以外のケースは Mg 浸透量と Ca 溶出量の間に一義的な関係がみられる。

4. まとめ

本研究では、セメント処理した粘性土に対して Mg 水溶液とイオン交換水を用いた浸漬実験を実施し、処理土表面に生じる析出物の有無による Ca 溶出挙動の差異を調べた。得られた主な知見は以下のとおりである。

1. 本研究の実験条件では、セメント添加量 200 kg/m^3 の供試体において、供試体表面に析出物が生じた。また、その析出物は時間の経過とともに減少する傾向が確認された。
2. Mg 水溶液に浸漬させた場合、イオン交換水に比べてセメント処理土からの Ca 溶出が促進される。
3. 析出物が生じた供試体は、Ca の溶出量が他のケースに比べて小さい。
4. 析出物が生じない場合、Ca の溶出量と Mg の浸透量の間に一義的な関係がみられる。

参考文献

1) 原ら：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) 小西ら：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. 3) 肴倉ら：利用形状に応じた拡散溶出試験による廃棄物溶融スラグの長期溶出量評価，廃棄物学会論文誌，Vol.14, No.4, pp.200-209, 2003.

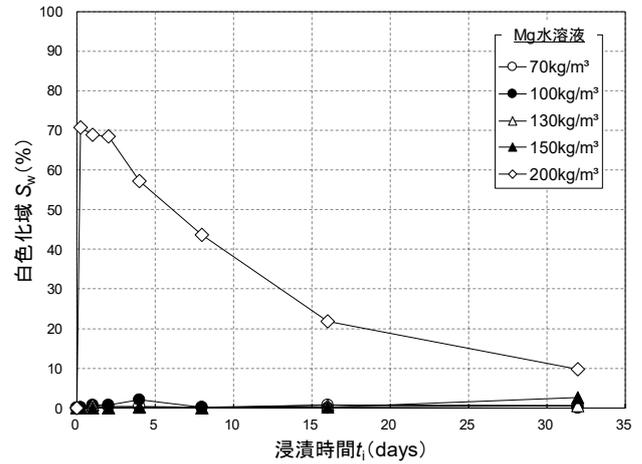


図-1 白色化域の経時変化

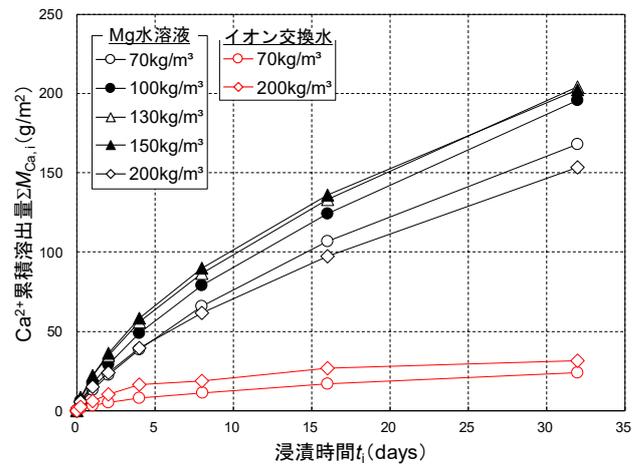


図-2 Ca 累積溶出量の時間変化

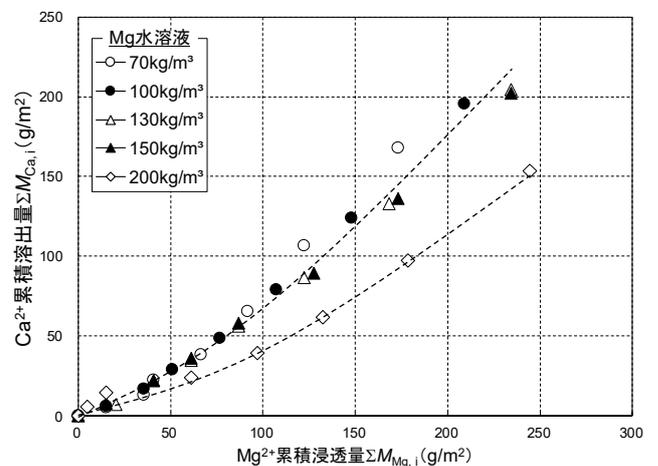


図-3 Ca 累積溶出量と Mg 累積浸透量の関係