

河川感潮域においてセメント処理土表面に現れる耐海水性物質の生成条件

山口大学大学院 学生会員 ○藤江 佑大
山口大学大学院 正会員 原 弘行

1. はじめに

近年、河川感潮域において固化処理土層の軟弱化が発見された。この現象は海水中のマグネシウム (Mg^{2+}) の影響によって生じることが明らかにされている¹⁾。一方で、固化処理土は海水との界面において白色の析出物が生成される場合がある。この析出物は劣化の化学反応で生成される水酸化マグネシウム ($Mg(OH)_2$) であり、当該物質が表面に生成された固化処理土は劣化の進行が極端に遅延されることが明らかにされている²⁾。現在までに、析出物の生成には処理土に添加する固化材の種類や添加量が影響することが示されている²⁾が、接触する海水の性状など外的な要因については触れられていない。上記現象が発生した河川感潮域では河口からの距離によって海水の濃度が異なる特徴を持つ³⁾。そこで、本研究では感潮河川を想定し、濃度を変化させた Mg 水溶液を河川水の代用としたセメント処理土の浸漬試験を実施し、白色析出物の生成に及ぼす河川水の濃度の影響や劣化抑制効果について検討した。

2. 実験概要

試料土には有明粘土を用いて、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。試料土の物理特性を表-1 に示す。固化材は普通ポルトランドセメント (OPC) を用い、その添加量は $150kg/m^3$ とした。試料土に固化材を添加し、攪拌機で混合して直径 50mm、高さ 100mm のプラスチックモールドに詰めて 28 日間養生した。養生後、供試体を高さ 50mm に整形し、浸漬試験に使用した。浸漬させる Mg 水溶液は、一般的な海水中の塩類組成を参考に塩化マグネシウム ($MgCl_2$) と硫酸マグネシウム ($MgSO_4$) の割合を 7:3 とし、 Mg^{2+} 濃度 0, 125, 250, 500, 1000, 2000mg/L となるように調製した。作製した供試体と水溶液を用いて以下の手順で浸漬試験を行った。まず、供試体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上面のみを開放させた状態で水溶液に 56 日間浸漬させた。また、浸漬直後から浸漬供試体表面の pH を複数回測定した。その測定時間は浸漬開始から 0, 1, 3, 5, 30, 60, 120, 240min, 1, 2, 7, 56days とした。浸漬終了後、供試体を取り出し、その表面を光源が一定に保たれた環境でデジタルカメラを用いて撮影した。また、浸漬水を全量採水し、 Ca^{2+} , Mg^{2+} 濃度を測定した。

表-1 試料土の物理特性

液性限界 $w_L(\%)$	塑性限界 $w_p(\%)$	塑性指数 I_p
138.0	42.2	95.8

3. 実験結果と考察

写真-1 に各 Mg^{2+} 濃度の水溶液における浸漬 56 日後の供試体表面写真を示す。 Mg^{2+} 濃度 0, 1000, 2000mg/L の場合では、供試体表面にほとんど変化がみられなかったのに対して、 Mg^{2+} 濃度 125, 250, 500mg/L の場合では供試体表面に白色析出物が視認できた。また、 Mg^{2+} 濃度 500mg/L の場合では、元々の供試体の暗緑色が透けている部分が確認でき、 Mg^{2+} 濃度 125, 250mg/L と比較して若干生成程度が低いことから、析出物の生成の可否だけでなく、その生成量にも Mg^{2+} 濃度が関係していることが示唆された。

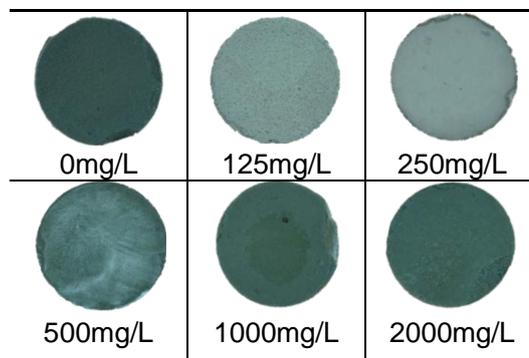


写真-1 浸漬 56 日後における供試体表面写真

図-1 に各 Mg^{2+} 濃度の水溶液における浸漬供試体の表面 pH の経時変化を示す。図中の赤色の直線は浸漬前の pH を示している。 Mg^{2+} 濃度が高いものほど、pH が浸漬直後から低下している。また、 Mg^{2+} 濃度 125, 250,

500mg/L の場合では、浸漬開始からおよそ 240 分後から供試体表面の色調に変化が現れ始め(青塗り or 青枠のプロットで示している.)、白色析出物が観測された。析出物が観測されなかった Mg^{2+} 濃度 1000, 2000mg/L の場合では、浸漬開始から終了 (56 日後) まで徐々に pH の低下がみられるのに対して、 Mg^{2+} 濃度 125, 250, 500mg/L の場合、析出物が観測されるまでは時間経過に伴い pH の低下がみられるが、それ以降は大きな pH の低下がみられない。このことから、白色析出物の生成によって pH の低下が抑制されたと推察される。また、本実験の条件では、イオン交換水 (Mg^{2+} 濃度 0mg/L) を除き、溶液と供試体界面の pH が一定時間、10 以上が保たれていた場合において白色析出物が観測された。

セメント処理土供試体について曝露面からの単位面積当たりの Ca^{2+} 溶出量 M_{Ca} (g/m^2) および Mg^{2+} 浸透量 M_{Mg} (g/m^2) を水質分析結果から式(1), (2)より算出した。

$$M_{Ca} = \frac{C_{Ca} \times V}{S} \quad (1)$$

$$M_{Mg} = \frac{(C_{Mg,0} - C_{Mg}) \times V}{S} \quad (2)$$

ここに、 C_{Ca} は浸漬水の Ca^{2+} 濃度 (g/m^3)、 V は浸漬水の体積 (m^3)、 S は曝露面の面積 (m^2)、 $C_{Mg,0}$ は供試体浸漬前の Mg 水溶液の Mg^{2+} 濃度 (g/m^3)、 C_{Mg} は浸漬水の Mg^{2+} 濃度 (g/m^3) を表す。各 Mg^{2+} 濃度に浸漬させた供試体における Ca^{2+} 実測溶出量および Mg^{2+} 実測浸透量を図-2 に示す。 Ca^{2+} 実測溶出量では、析出物が観測された Mg^{2+} 濃度 125, 250, 500mg/L の場合に注目すると、それらよりも Mg^{2+} 濃度が高い実験ケースに比べて著しく溶出量が少なくなっているだけでなく、イオン交換水 (Mg^{2+} 濃度 0mg/L) の場合よりも Ca^{2+} 溶出量が少ないことがわかる。また、 Mg^{2+} 実測浸透量についても、 Ca^{2+} 実測溶出量の場合と同様の傾向が得られたことから、白色析出物の生成によって Mg^{2+} の浸透を抑制し、それによって Ca^{2+} 溶出量が低下したと推察される。

4. まとめ

- 1) Mg^{2+} 濃度 125, 250, 500mg/L の水溶液にセメント処理土を浸漬させたときに析出物の生成が確認できた。
- 2) Mg を含有する水溶液と接触するセメント処理土供試体表面の pH が一定時間およそ 10 以上を維持できた場合に白色析出物が観測された。また、析出物生成後は処理土の pH の低下が抑制される。
- 3) 白色析出物はセメント処理土への Mg^{2+} の浸透および Ca^{2+} の溶出を抑制する効果がある。

【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) 原弘行, 末次大輔, 松田博, 亀井健史: 海水曝露した石灰処理土の表面に生成される白色析出物とその劣化抑制効果, 土木学会論文集 C (地圏工学), Vol.73, No.2, pp.224-232, 2017.
- 3) 上嶋英機, 藤原建紀, 早川典生: 感潮河川における物質輸送の機構について (第 1 報), 海岸工学講演会論文集, Vol.22, pp.239-247, 1975.

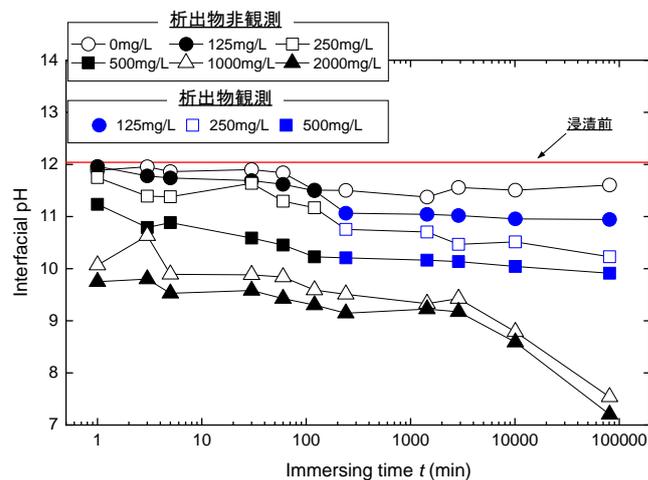


図-1 浸漬供試体の表面 pH の経時変化

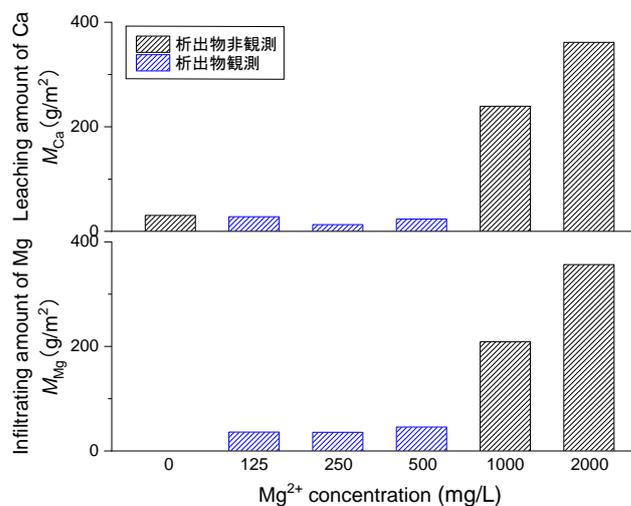


図-2 各 Mg^{2+} 濃度における Ca^{2+} 実測溶出量および Mg^{2+} 実測浸透量