

海水浸漬したセメント処理土に発生する白色析出物の生成条件と 化学成分の溶出・浸透抑制効果

山口大学大学院 学生会員 ○入口宗一郎
山口大学大学院 正会員 原 弘行

1. はじめに

近年、九州地方における感潮河川域の堤防において、堤体基礎部を構成する石灰処理土層の軟弱化が確認された。当河川は塩分を含んだ海水が遡上する感潮河川であり、著者ら¹⁾は幾つかの室内試験から固化処理土の劣化現象は海水中のマグネシウム (Mg) の影響によって生じることを明らかにしている。一方、海水に曝露された固化処理土において海水との界面に白色の析出物が生じる場合があることが報告されている²⁾。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 ($\text{Mg}(\text{OH})_2$) であり、劣化を遅延させる効果を持つことが示されている。そのため、今後沿岸域における固化処理土の劣化対策技術などへの展開が期待される。しかしながら、白色析出物の生成機構は十分に明かになっておらず、生成条件などの解明が望まれる。本研究ではセメント処理土に生じる白色析出物の生成条件を調べ、化学成分の溶出・浸透抑制効果を検討した。

2. 実験概要

実験に用いた試料土の物性を表-1 に示す。試料土と固化材を均一に混合するため試料土の含水比を 1.5 倍となるように調整して使用した。固化材は普通ポルトランドセメント (OPC) を用い、添加量は 70, 100, 150, 200, 250 kg/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養生した。養生時間は 3, 7, 28 日間とした。養生後に供試体上部を削り、高さを 50mm に成形して実験に

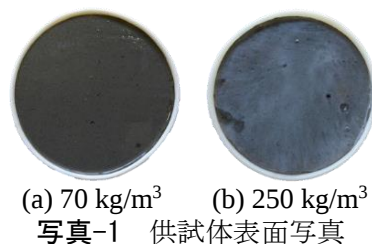
表-1 試料土の物理的性質

土粒子密度	(g/cm^3)	2.64
液性限界	(%)	138.0
塑性限界	(%)	42.2
粒度組成	(%)	
礫		0.0
砂		3.0
シルト		58.8
粘土		38.2

使用した。このとき、発生した削りくずから供試体の pH を測定した。供試体を浸漬させる水溶液は Mg 水溶液とイオン交換水の 2 種類を用いた。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、有明海の平均的な Mg^{2+} 濃度 (1000 mg/L)¹⁾ となるようにして作製した。作製した供試体と水溶液を用いて以下の手順で浸漬実験を行った。まず、供試体上面以外をパラフィルムで覆い、その上からゴムスリーブを被せ、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。なお、イオン交換水に浸漬させるケースは 28 日間養生した添加量 200, 250 kg/m^3 の供試体のみとした。浸漬終了後、供試体表面を撮影した後、浸漬水を全量採水して Ca^{2+} および Mg^{2+} 濃度を測定した。

3. 実験結果と考察

写真-1 に Mg 水溶液に浸漬した添加量 70 kg/m^3 , 250 kg/m^3 (養生 28 日) の供試体表面写真を示す。添加量 70 kg/m^3 の場合、浸漬前からほとんど変化はみられないのに対して 250 kg/m^3 の場合、白色の析出物が供試体表面を覆うように発生し、表面が白く変色していることが確認できる。なお、写真は示していないが、いずれの養生時間の場合においても添加量 70~150 kg/m^3 では白色析出物の発生は視認できず、200, 250 kg/m^3 の場合すべての養生時間で析出物の発生が視認できた。図-1 に pH と養生時間の関係を示す。添加量が高いときほど pH も高くなり、同じ添加量で比較すると養生時間が長いときほど pH が低下していることがわかる。赤色のプロットは白色析出物が観測された条件を示しており、pH がおよそ 12.5 以上の時に白色析出物が発生する傾向が示された。水質分析結果から Ca^{2+} 実測溶出量 M_{Ca} (g/m^2)、 Mg^{2+} 実測浸透量 M_{Mg} (g/m^2) を式 (1), (2) から算出した。



キーワード Ca^{2+} 溶出、 Mg^{2+} 浸透、pH

連絡先 〒755-8611 宇部市常盤台 2-16-1 TEL 0836-85-9005

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

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

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 OPC 添加量供試体の Ca^{2+} 溶出量を図-2 に示す。赤塗りのは白色析出物が発生したケースで、析出物が発生していないケースに比べて Ca^{2+} 溶出量が低い値を示している。特に、添加量 $250kg/m^3$ の場合、イオン交換水に浸漬させた場合よりも Mg 水溶液に浸漬させた方が Ca^{2+} 溶出量が小さい。このことから、 Mg による Ca^{2+} の溶出促進効果よりも、析出物の生成によって発揮される溶出抑制効果の方が大きくなっているものと考えられる。ただし、添加量 $200kg/m^3$ の養生 28 日の場合、 Ca^{2+} の溶出量が他の養生時間に比べて高くなっている。当該供試体は、析出物の発生は確認できたが他の析出物が観測されたケースとはその発生状況が異なっており、写真-1 (b) に示したように析出物が供試体表面をすき間なく覆っていたわけではなく、供試体表面に浮いたように点々と析出物が生成されていたため、 Ca^{2+} の溶出を抑制する効果が十分には発揮されなかったものと推定できる。次に、各 OPC 添加量の供試体における Mg^{2+} 実測浸透量を図-3 に示す。白色析出物が発生したケースは、析出物の発生が確認されなかったケースに比べて Mg^{2+} 浸透量が低い値を示している。また、OPC 添加量 $200kg/m^3$ の養生 28 日の供試体については、 Ca^{2+} 溶出量の場合と同様に析出物の発生状況の違いから他の養生時間に比して浸透量が大きくなったものと推定される。しかしながら、析出物の発生がみられない供試体よりも Mg^{2+} 浸透量はいくぶん小さいため、一定の Mg^{2+} の浸透抑制効果は有しているものと考えられる。

4. まとめ

- 1) 白色析出物の生成条件にはセメント処理土の pH が関係しており、pH がおよそ 12.5 以上のときに生成される傾向が示された。
- 2) 白色析出物が発生した場合、処理土からの Ca^{2+} 溶出量が著しく低くなり、イオン交換水に浸漬させた場合よりも Ca^{2+} 溶出量が低くなるケースも確認された。
- 3) Mg^{2+} の水質分析を行うと白色析出物が発生した場合 Mg^{2+} 浸透量が極めて低くなった。

【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) 小西一生，今井政之，斉藤聰，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.

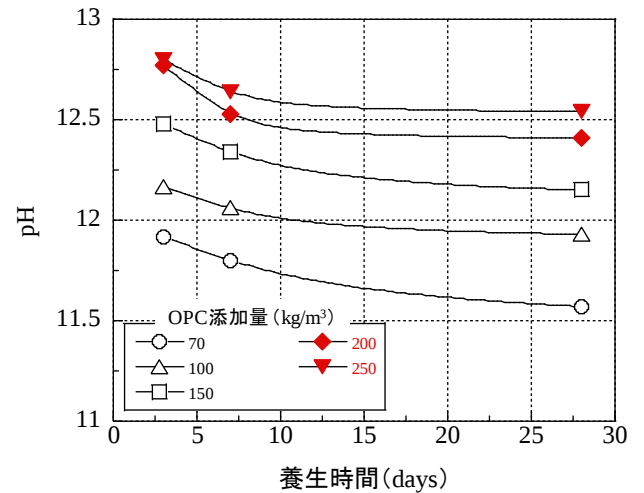


図-1 供試体の pH と養生時間の関係

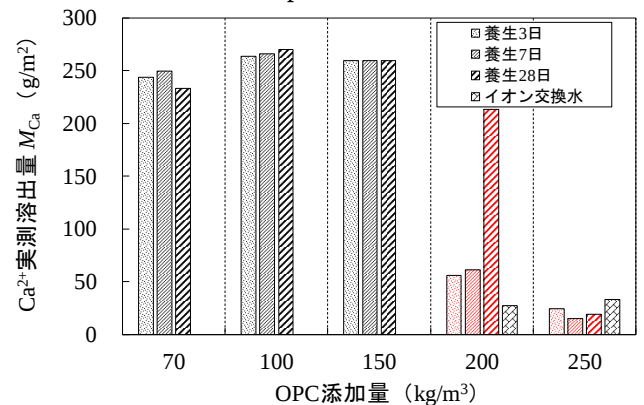


図-2 各 OPC 添加量供試体の Ca^{2+} 実測溶出量

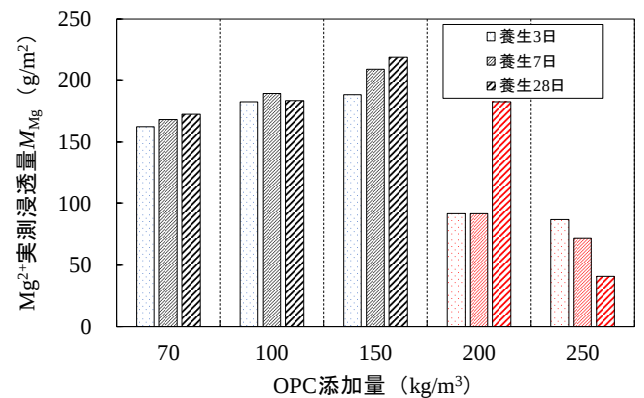


図-3 各 OPC 添加量供試体の Mg^{2+} 実測浸透量