

## pHに着目した高炉セメントB種を用いた改良土に発生する白色析出物の生成条件

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、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が明らかされている<sup>1)</sup>。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。この析出物は、劣化の化学反応時に生成される水酸化マグネシウム( $Mg(OH)_2$ )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<sup>2)</sup>。また、著者らはすでに固化材として普通ポルトランドセメント(OPC)を用いた場合の生成条件を検討した<sup>3)</sup>。今後、この析出物を援用した劣化対策技術等を開発するには固化材によらない生成条件の解明が望まれる。そこで本研究では、高炉セメントB種(BB)で改良したセメント処理土を使用して浸漬実験を実施し、析出物の生成条件を調べ、固化材にOPCを用いた場合と比較検討した。さらに、生成された析出物の劣化抑制効果について検討した。

## 2. 実験概要

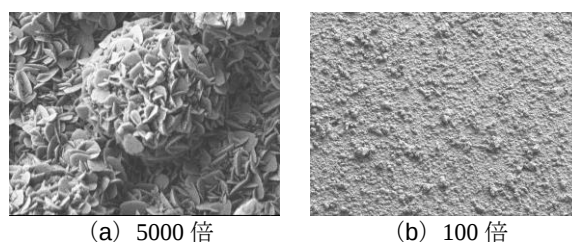
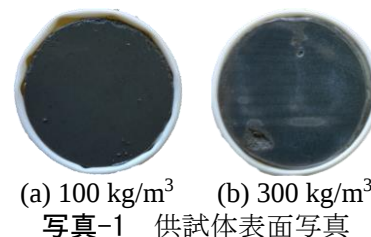
実験に用いた試料土の物性を表-1に示す。試料土は含水比を液性限界の1.5倍となるように調整して使用した。固化材はBBを用い、その添加量は100, 200, 250, 300kg/m<sup>3</sup>とした。試料土に固化材を添加し、攪拌機を用い、3分、3分、4分にかけて計10分間攪拌混合し、直径50mm、高さ100mmのプラスチックモールドに詰めて養生した。養生時間は3, 7, 28日間とした。養生後に供試体上部を削り、高さを50mmに成形して実験に使用した。このとき、発生した削りくずから供試体のpHを測定した。pHの測定方法はJGS0211「土懸濁液のpH試験」に準拠した。供試体を浸漬させる水溶液には海水の代用としてMg水溶液を用いた。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<sup>2+</sup>濃度(1000mg/L)<sup>1)</sup>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、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。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<sup>2+</sup>、Mg<sup>2+</sup>濃度を測定した。

表-1 試料土の物理的性質

|       |                      |       |
|-------|----------------------|-------|
| 土粒子密度 | (g/cm <sup>3</sup> ) | 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  |

## 3. 実験結果と考察

写真-1にMg水溶液に浸漬した添加量100kg/m<sup>3</sup>、300kg/m<sup>3</sup>(養生7日)の供試体表面写真を示す。添加量100kg/m<sup>3</sup>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添加量300kg/m<sup>3</sup>の場合、析出物が表面を覆うように生成が認められた。その表面部分の電子顕微鏡写真が写真-2である。球状の物質が曝露面を覆うように生成されていることが確認できる。なお、いずれの養生時間の場合においても添加量100~200kg/m<sup>3</sup>では白色析出物の発生は視認できず、比較的固化材量が多く養生時間が短い実験ケースで析出物の発生が確認できた。図-1に浸漬前の供試体のpH

写真-2 白色析出物の電子顕微鏡写真  
(養生28日、添加量300kg/m<sup>3</sup>)

キーワード Ca<sup>2+</sup>溶出、Mg<sup>2+</sup>浸透、pH、海水、セメント処理  
連絡先 〒755-8611 宇部市常盤台2-16-1 TEL0836-85-9005

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。

青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。これは固化材に OPC を用いた場合と同様であった<sup>3)</sup>。水質分析結果から  $\text{Ca}^{2+}$  実測溶出量  $M_{\text{Ca}}$  ( $\text{g}/\text{m}^2$ )、 $\text{Mg}^{2+}$  実測浸透量  $M_{\text{Mg}}$  ( $\text{g}/\text{m}^2$ ) を式(1), (2)から算出した。

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

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

ここに、 $C_{\text{Ca}}$  は浸漬水の  $\text{Ca}^{2+}$  濃度 ( $\text{g}/\text{m}^3$ )、 $V$  は浸漬水の体積 ( $\text{m}^3$ )、 $S$  は曝露面の面積 ( $\text{m}^2$ )、 $C_{\text{Mg},0}$  は供試体浸漬前の  $\text{Mg}$  水溶液の  $\text{Mg}^{2+}$  濃度 ( $\text{g}/\text{m}^3$ )、 $C_{\text{Mg}}$  は浸漬水の  $\text{Mg}^{2+}$  濃度 ( $\text{g}/\text{m}^3$ ) を表す。各添加量供試体の  $\text{Ca}^{2+}$  溶出量、 $\text{Mg}^{2+}$  実測浸透量の関係を図-2 に示す。養生 7 日、添加量  $250\text{kg}/\text{m}^3$  の実験ケースは、浸漬容器の破損部分からの溶液漏れが生じ正確な  $\text{Ca}^{2+}$  溶出量が得られなかったため除外している。析出物が発生していないケースの  $\text{Ca}^{2+}$  溶出量はいずれも約  $M_{\text{Ca}}=250\text{g}/\text{m}^2$  程度を示しているのに対し、析出物が発生したケースの  $\text{Ca}^{2+}$  溶出量はそれよりも低い値を示している。ただし、添加量  $250\text{kg}/\text{m}^3$  の養生 3 日の場合、他の析出物が観測されたケースに比べ、 $\text{Ca}^{2+}$  溶出量が高い。当該供試体の析出物は他の析出物観測ケースに比べてその生成程度が低かったため  $\text{Ca}^{2+}$  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される。

$\text{Mg}^{2+}$  実測浸透量についても、析出物の発生が確認されなかったケースは  $\text{Ca}^{2+}$  溶出量のようにいずれも同程度の値を示しているのに対して、析出物が発生したケースは  $\text{Mg}^{2+}$  浸透量が低い値を示している。また、養生 3 日、添加量  $250\text{kg}/\text{m}^3$  の供試体については、先述のとおり析出物の発生状況の違いから析出物の発生した他の実験ケースに比して浸透量が大きくなったものと考えられる。

#### 4. まとめ

- 1) 固化材に高炉セメント B 種を用いた場合も、普通ポルトランドセメントのときと同様に白色析出物は供試体の pH がおよそ 12.5 以上になると発生する傾向がある。
- 2) 白色析出物が発生した場合、生成された析出物によって  $\text{Ca}^{2+}$  の溶出および  $\text{Mg}^{2+}$  の浸透が抑制される。

#### 【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) 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. 3) 入口宗一郎，原弘行：海水環境下においてセメント処理土表面に現れる白色析出物の生成に及ぼす pH の影響とその劣化抑制効果，第 13 回地盤改良シンポジウム論文集，pp.143-148, 2018.

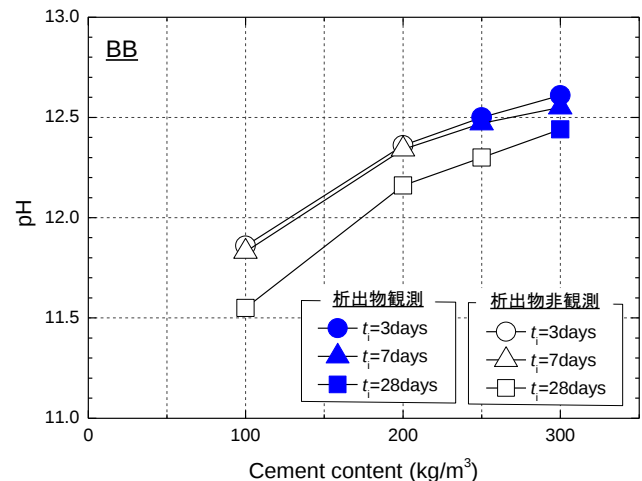


図-1 供試体の pH と養生時間の関係

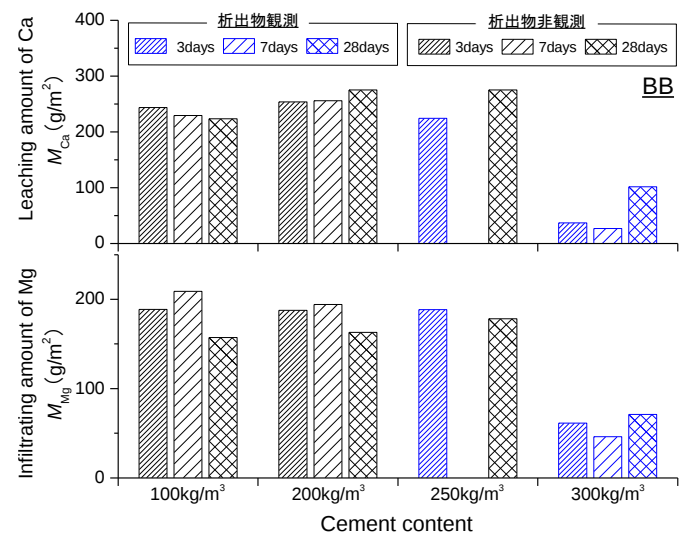


図-2 固化材添加量と  $\text{Ca}^{2+}$  実測溶出量と  $\text{Mg}^{2+}$  実測浸透量の関係