

養生水中のマグネシウム塩濃度に着目したセメント固化処理土の短期劣化特性

九州大学大学院 学 ○藤澤拓馬
九州大学大学院 正 石藏良平 正 安福規之
竹中工務店 正 河野貴穂

1. はじめに

セメント系固化材による固化処理技術は軟弱地盤対策として現在広く用いられている。しかし、長期間海水環境下で曝されると、固化材の種類によっては劣化することが確認されている¹⁾。そのため、高い耐久性、耐海水性を有するセメント系固化材の開発が求められる。本研究では、水中のマグネシウム塩と固化処理土中のカルシウム化合物の化学反応による Ca^{2+} 溶出が劣化の大きな一因とされる²⁾ことから、水中のマグネシウム塩濃度やセメント添加量の違いによる Ca^{2+} 溶出量や溶出速度を比較した。また、針貫入試験の結果から推定される劣化深度と Ca^{2+} 溶出量との関係を考察した。

2. 実験概要

2-1. 供試体の作製手順

実験に用いたセメントの性状および供試体の作製条件を表1、表2に示す。セメントには普通ポルトランドセメント、高炉スラグ、無水石膏の配合割合を変えた2種類(BB, 試作)を選定した。表2に示す所定のセメントと水を混ぜ合わせ、スラリー状にしたセメントペーストを母材に加え、10分間攪拌機で練る。次に2種類のプラスチック容器($\phi 115 \times h 114 \text{ mm}$ および $\phi 50 \times h 100 \text{ mm}$)に充填した供試体を所定期間気中養生した後、各養生環境下で養生を開始する。

2-2. 養生条件

供試体($\phi 115 \times h 114 \text{ mm}$)を室内気中養生、室内海水養生の2つの条件に分けて養生する。室内海水養生については、室内で供試体を MgCl_2 水溶液に浸漬させ設置し、養生を開始した。養生水は28日ごとに交換を行った。表2に示す養生日数が経過した供試体に対して実験を行う。また、所定期間気中養生した供試体($\phi 50 \times h 100 \text{ mm}$)に対しても一軸圧縮試験を実施する。

2-3. 養生水(MgCl_2 水溶液)の概要

セメント固化処理土の Ca 溶出は水中のマグネシウム塩が大きく影響している。 MgCl_2 水溶液に試験体を浸漬した場合、 MgSO_4 水溶液の場合よりも Ca^{2+} 溶出量の測定が容易なことが明らかにされている²⁾。そこで、養生水は MgCl_2 水溶液とし、 $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ の粉末を蒸留水に溶かして所定の濃度の MgCl_2 水溶液を作製した。

水溶液の濃度は人工海水(塩分濃度3.3%で $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 濃度が 9.9 g/L)³⁾を参考に $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 濃度が 5.0 g/L 、 10.0 g/L 、 20.0 g/L となるように調整した。

2-4. 劣化深度評価のための針貫入試験方法

供試体($\phi 115 \times h 114 \text{ mm}$)を半割にし、供試体上端面からの深さ方向の強度変化を把握するため、図1に示す観測点に、半割面に対して水平方向に針を貫入する。供試体上端面から30mmまで2.5mmピッチ、それ以降は15mmピッチごとに試験を行い、貫入勾配を求める。貫入勾配とは貫入量が10mm時の貫入力、または貫入力が100N時の貫入量を読み取り、貫入量で貫入力を除した値を意味する。

2-5. 養生水中の Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 濃度測定

養生水中の Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 濃度を、原子吸光分析装置を用いて測定した。供試体を浸漬してから期間において養生水を採取し、原液を所定の濃度に希釈し、各試液に対して3回ずつ測定を実施した。測定した Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 濃度と推定した劣化深度を比較し、関係性を調査する。

表1 セメントの性状

セメント種類	略記	OPC (%)	高炉スラグ (%)	無水石膏 (%)
高炉セメントB種	BB	55~60	40~45	0
高炉スラグ高含有セメント	試作	30	60~70	0~10

表2 供試体の作製条件

CASE名	CASE1	CASE2	CASE3
母材 (質量比)	豊浦砂: ガイロメ粘土=9:1		
練り混ぜ水	精製水		
養生日数	28日・90日・150日・365日		
供試体寸法	$\phi 115 \text{ mm} \times h 114 \text{ mm}$ $\phi 50 \text{ mm} \times h 100 \text{ mm}$		
セメント	BB	試作	BB
セメント添加量	70 kg/m^3		265 kg/m^3
w/c (%)	100		80

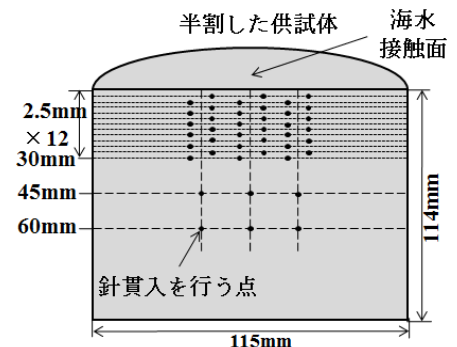


図1 針貫入試験の計測位置

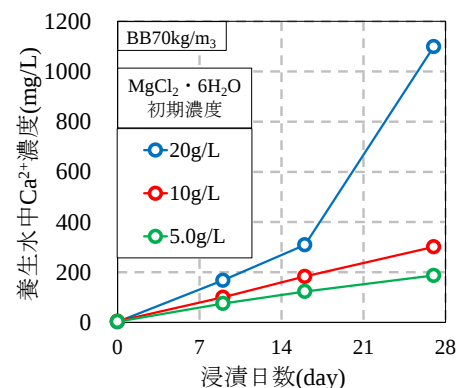


図2 養生水の濃度の違いによる養生水中 Ca^{2+} 濃度の経時変化

3. 実験結果と考察

図2に養生水中の濃度の違いによる養生水中の Ca^{2+} 濃度の経時変化を示した。養生水の MgCl_2 濃度が高いものほど Ca^{2+} 濃度の変化速度が大きくなった。養生水の MgCl_2 濃度が高くなるほど、 Ca^{2+} の溶出量が大きくなると考えられる。図3にセメント添加量の違いによる養生水中の Ca^{2+} 濃度の経時変化を示した。同じ濃度の養生水に浸漬しても、セメントの添加量が多くなると Ca^{2+} 濃度の経時変化は小さくなった。今回は27日経過後の養生水中の Ca^{2+} 濃度を Ca^{2+} 溶出量と呼ぶこととする。図4に水溶液に浸漬を開始して1ヶ月が経過した供試体の針貫入強度比を示している。針貫入強度比とは、各供試体の養生環境の影響を受けないと考えられる健全部(開放面からの深さが30mmおよび45mm)での平均貫入勾配を求め、各供試体の深さ方向の貫入勾配を除した値を意味する。同じセメント添加量で針貫入強度比を比較すると養生水の MgCl_2 濃度が大きいほど、開放面付近の強度比が小さくなっている。よって、養生水の MgCl_2 濃度が大きいほど劣化の進行速度が大きくなることが考えられる。また、セメント添加量が大きくなると、開放面付近の針貫入強度比も大きくなることがわかる。図4の結果を考慮すると、セメント添加量が大きくなると Ca^{2+} 溶出量が小さくなり、劣化速度も小さくなると考えられる。針貫入強度比から劣化深度を決定するため、今回適用した劣化深度の定義を図5に示す。針貫入強度比が増加する部分と、収束した値を示す部分をそれぞれ直線で近似し、その交点を劣化深度と定義した⁴⁾。 Ca^{2+} 溶出量と劣化深度の関係を図6に示す。 Ca^{2+} 溶出量が大きくなると劣化深度も大きくなった。 Ca^{2+} の溶出量と劣化深度の大きさには関係があると考えられる。

4. まとめ

本研究では、セメント添加量の異なるセメント固化処理土を3種類の MgCl_2 水溶液に浸漬し、針貫入試験と養生水中の Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 濃度測定を行った。そこから得られた主な結果と考察を以下に示す。

- 1) 養生水の MgCl_2 濃度が高くなると、養生水中の Ca^{2+} 濃度の経時変化量は大きくなる。
- 2) 養生水の MgCl_2 濃度が高くなると Ca^{2+} 溶出量も大きくなると考えられる。
- 3) 養生水の MgCl_2 濃度が高いほど、開放面付近の強度の減衰量が大きくなる。
- 4) セメント添加量が大きくなると、 Ca^{2+} 濃度の経時変化量と開放面付近の強度の減衰量が比較的小さくなる。
- 5) Ca^{2+} 溶出量と劣化深度には関係があると考えられる。今後、長期的に Ca^{2+} 溶出量と劣化深度の関係を調査する必要がある。

【謝辞】

平成27年度九州地域づくり協会の研究助成の支援を受けて本研究の一部は遂行されました。ここに深甚たる感謝の意を表します。

【参考文献】 1)中村健, 北詰昌樹: セメント安定処理土の耐久性に関する室内試験, 港湾空港技術研究所資料, No.1128, pp.3-4, June.2006 2)原弘行, 末次大輔, 林重徳: 海水環境下における石灰処理土のカルシウム溶出機構, Journal of the Society of Materials Science, Japan, Vol.61, No.1, pp.11-14, Jan.2012 3) 石丸信幸: ポリ乳酸によるフジツボ付着制御, 九州工業大学博士学位論文, 2013 4) 石蔵良平, 安福規之, 河野貴徳, 黒川諒一: Sort term durability of cement stabilized sandy soil under seawater environment, 9th International Symposium on Lowland Technology September 29-October 1 in Saga, Japan, pp.181-187

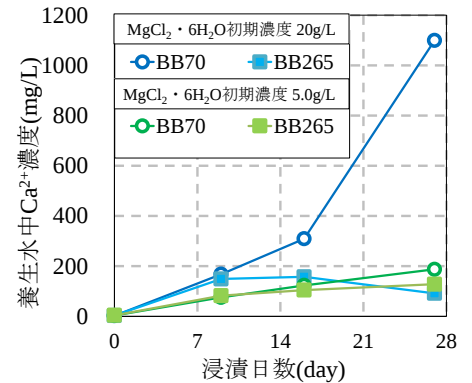


図3 セメント添加量の違いによる養生水中の Ca^{2+} 濃度の経時変化

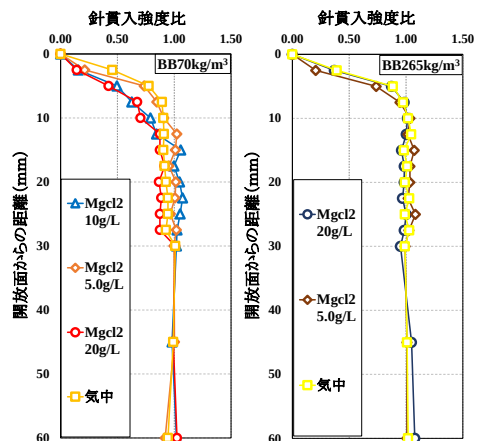


図4 針貫入強度比

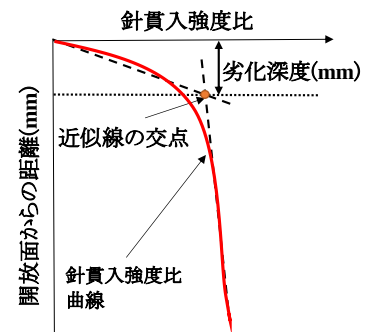


図5 劣化深度の定義

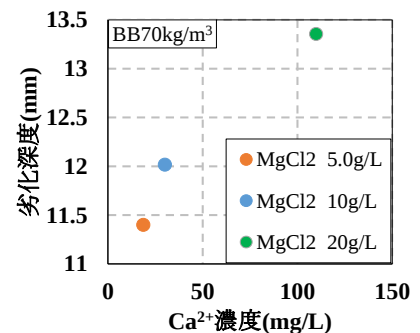


図6 Ca 溶出量と劣化深度の関係