

セメント処理土に発生する耐海水性を付与する白色析出物の生成促進手法

山口大学大学院創成科学研究科 学生会員 ○入口 宗一郎
山口大学大学院創成科学研究科 正会員 原 弘行

1. はじめに

海水環境下における固化処理土の劣化現象の主要因は海水中のマグネシウム (Mg) であることが明らかにされた¹⁾。すでに、沿岸域において固化処理土の軟弱化が報告された事例もみられ、その対策が望まれている。固化処理土は海水との界面において白色の析出物が生じる場合があり、劣化を遅延させる効果を持つことが明らかにされている。この析出物は劣化の化学反応時に生成する水酸化マグネシウムであり、これを利用した新しい劣化対策技術の開発が期待される。また、析出物は固化材量が比較的多く、高い pH を呈するとき生成される傾向が確認されており²⁾、現時点では、析出物の生成には多量の固化材を添加する必要がある。そこで、本研究ではアルカリ助剤を用いて処理土の pH を上昇させ、析出物の生成促進を図り、それによって付与される耐海水性について検討した。

2. 実験概要

試料土には徳山港粘土を用いた。その物理特性は、表-1に示すとおりである。試料土は液性限界の1.5倍となるように調整して使用した。固化材は普通ポルトランドセメント (OPC) を用いた。固化材添加量は50, 70, 100, 150, 200kg/m³とし、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させた。それぞれの固化材量の供試体に対し、アルカリ助剤としてNaOHを添加する供試体 (アルカリ助剤供試体) と添加しない供試体 (助剤非含有供試体) の2種類を作製した。アルカリ助剤供試体は、予めpHが13.0となるようにNaOHを添加した試料土を用いて上記と同様の要領で作製した。養生時間は3, 28日間とした。養生後、供試体を高さ50mmに成形し、浸漬実験に使用した。この際、発生した削りくずを使用して供試体のpHを測定した。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 (MgCl₂) と硫酸マグネシウム (MgSO₄) の割合を7:3とし、有明海の平均的なMg²⁺濃度 (1000mg/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、供試体を取り出し、浸漬水を全量採水し、Ca²⁺濃度を測定した。さらに、浸漬後の供試体の曝露面近傍 (深度約2.5mm) の位置でpHを測定した。

表-1 試料土の物理的性質

土粒子の密度 (g/cm ³)	2.649
液性限界 (%)	122.5
塑性限界 (%)	42.8
粒度組成 (%)	
礫	0.0
砂	5.9
シルト	60.4
粘土	33.7

3. 実験結果と考察

図-1に養生3日供試体における浸漬前供試体の pH とセメント添加量の関係を示す。助剤を添加したことにより、全ての添加量においてアルカリ助剤供試体の方が助剤非含有供試体よりも pH が高くなっていることがわかる。また、セメント添加量が増すほど供試体の pH が高くなっている。析出物が観測された供試体の pH はいずれも 12.5 以上を示しており、既往の研究報告²⁾と符号する。したがって、析出物の生成に要する pH 条件はアルカリ助剤の有無によらないことが明らかになった。なお、養生28日の場合においても pH が 12.5 以上の実験ケースで析出物が観測された。

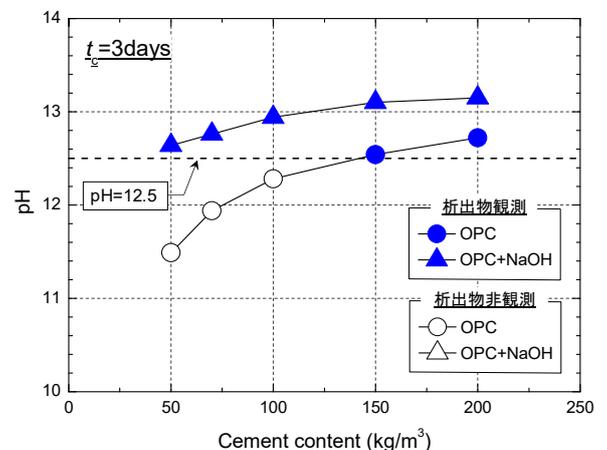


図-1 浸漬前供試体の pH とセメント添加量の関係

キーワード 海水, 土質安定処理, 劣化抑制, Ca²⁺, pH

連絡先 〒755-8611 山口県宇部市常盤台 2-16-1 山口大学工学部 TEL 0836-85-9325

写真-1に3日間養生した添加量150kg/m³の浸漬56日後の供試体表面写真を示す。助剤非含有供試体は表面が若干白色を呈する程度であるのに対し、アルカリ助剤供試体は処理土表面全体を覆うように白色析出物が生成していることが確認できる。このことから、アルカリ助剤の添加は白色析出物の生成を促進させる効果があることがわかった。一方で、写真-2は添加量70kg/m³におけるアルカリ助剤供試体の浸漬に伴う表面の様子の変化を示したものである。アルカリ助剤の効果によって浸漬当初は明瞭に観測された析出物が浸漬時間の経過とともに一部あるいはすべてが消失している。このような傾向は、添加量50～100kg/m³の比較的固化材量が少ないケースで確認された。

浸漬3, 28日供試体の浸漬前のpHと浸漬後の供試体表層部のpHの関係を図-2に示す。いずれの場合も、浸漬後の曝露面近傍のpHは浸漬前に比べて低下していることがわかる。析出物が観測されたケースはいずれも浸漬前のpHが12.5以上を示した。浸漬終了後も析出物が観測されたケースは、表層部のpHがすべて10.0を超えていたのに対し、浸漬途中で析出物が消失したケースはすべてpHがそれを下回っており、供試体のpHが低下すると時間とともに析出物が消失することがわかった。

セメント処理土供試体において、曝露面の単位面積当たりのCa²⁺溶出量M_{Ca} (g/m²)を式(1)によって算出した。

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

ここに、浸漬後のMg水溶液中のCa²⁺濃度をC_{Ca} (g/m³)、溶液の体積をV (m³)、供試体の曝露面の表面積をS (m²)と表す。図-3に養生3日供試体におけるセメント添加量とCa²⁺溶出量M_{Ca}の関係を示す。アルカリ助剤供試体は、いずれの固化材添加量の場合も助剤非含有供試体に比べてCa²⁺溶出量が低くなり、とくに固化材添加量150kg/m³ではその差が著しく大きかった。以上より、セメント添加量に応じて効果の程度は異なるものの、アルカリ助剤の添加によって耐海水性の向上が確認された。

4. まとめ

本研究では、セメント処理時にアルカリ助剤を加えることで処理土のpHを増加させ、析出物の生成促進を図り、それによって付与される耐海水性について実験的に検討した。得られた知見は以下のとおりである。

- 1) アルカリ助剤添加の有無にかかわらず、供試体のpHが12.5以上の時に析出物が観測された。しかし、浸漬後の供試体のpHが大きく低下すると、析出物が徐々に消失する傾向が確認された。
- 2) 固化材量によって程度は異なるが、アルカリ助剤を添加すると、セメント処理土からのCa²⁺溶出量が低くなる。

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.64, No.4, pp.469-479, 2013. 2) 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.

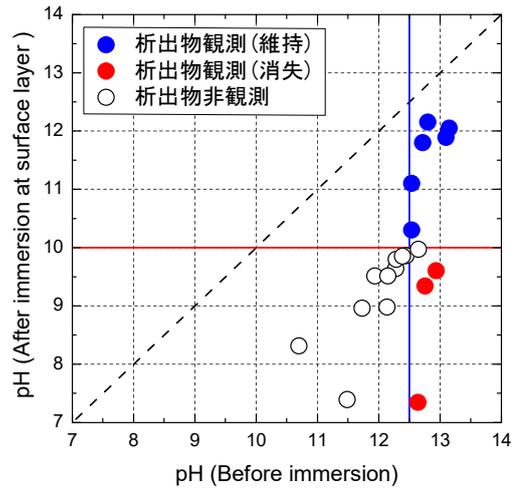
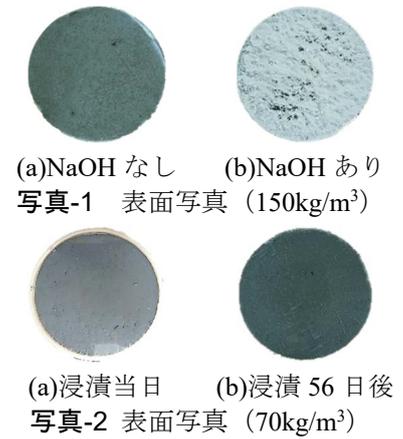


図-2 浸漬前と浸漬後の供試体 pH の関係

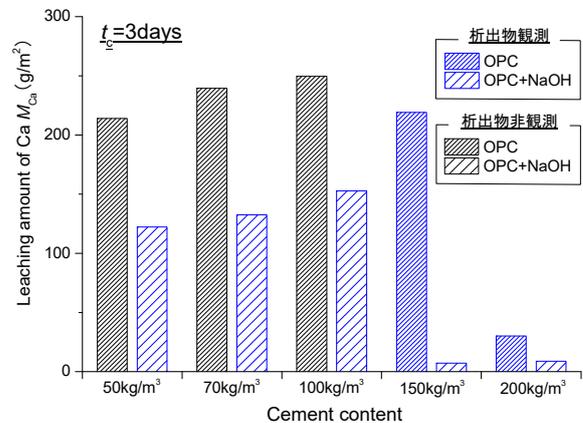


図-3 セメント添加量と Ca²⁺溶出量の関係