

セメント添加量と養生環境の違いに着目したセメント改良砂の短期劣化特性

九州大学 学〇 渡邊 洋人

九州大学 F 安福 規之 正 石藏 良平

竹中工務店技術研究所 正 河野貴穂

1. はじめに

わが国では沿岸地域を中心にして軟弱地盤が広く形成されており、セメント改良技術は、軟弱地盤対策として広く用いられている。しかし近年になって、長期間海水環境下で曝されると劣化することが報告されている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。また、セメント改良砂の劣化メカニズムについては研究段階であり、その劣化進行予測についても一般的な手法は確立されていない。本研究では、セメント改良砂の劣化特性の把握、経年劣化の予測モデルを構築することを目的とする。本文では、(1)セメント添加量の違いが劣化に与える影響の把握、(2)養生環境の Mg 濃度(周辺地盤の透水性なども含む)が劣化に与える影響の把握、(3)劣化しないセメント添加量の3つの項目について、これまでの研究からセメント添加量と養生条件を変えることによって検討を行った。

2.これまでの研究

筆者らのグループにおけるこれまでの研究²⁾において、高炉スラグ高含有セメントを 265kg/m³ 混合したセメント改良砂を現場海水中で 2 年養生した後の針貫入強度比(劣化の進行具合を表し、値が 0 に近いほど強度が小さくなっている)とイオン分布を測定した結果を図-1 に示す。強度が小さくなっている部分では、Ca 濃度が小さく Mg 濃度が高くなっていることが分かっている。このことから、セメント改良砂の Ca イオンと海水に含まれる Mg イオンが交換されることが、セメント改良砂の劣化の主因と考えている。

3.実験概要

3-1.供試体の作製・養生条件

供試体の作製条件を表-1 に示す。セメントは高炉セメント B 種を用いた。セメント添加量については、既往の研究で作製されていない 150kg/m³ と、劣化しないセメント添加量の検討を目的として 265kg/m³ の供試体を作製した。養生条件については、(1) 直接海水に接触する環境での劣化を把握するため福岡市のアイランドシティの海域に設置した土のう(潮の干満により海面を出入りする)内の砂層内に供試体を養生し、室内では、(海水の Mg 濃度は約 10g/L に対して、)周囲の Mg 濃度の変化が劣化に与える影響を把握するため、(2)Mg 濃度を海水の 1/2(5.0g/L)に調整した MgCl₂ 水溶液で供試体を養生する条件、(3)Mg 濃度を海水の 1/4(2.5g/L)に調整した MgCl₂ 水溶液で供試体を養生する条件、(4)周囲の地盤の透水性が劣化に与える影響を把握するため母材である豊浦砂を海水で浸した環境で供試体を養生する条件下で養生を開始した。

3-2.強度試験・Ca 濃度測定

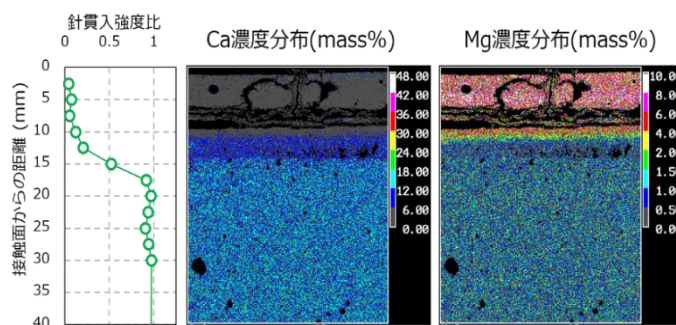


図-1 現場海水中で2年養生したセメント改良砂の針貫入強度比とイオン分布

表-1 供試体の作製条件

セメントの種類	高炉セメント B 種(BB)	
セメント添加量	150kg/m ³	265kg/m ³
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	1,3,6,12,24 ヶ月	
供試体寸法	φ115mm×h114mm	
w/c(%)	100	

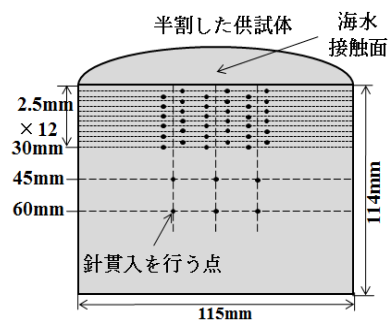


図-2 針貫入試験の計測点

一定期間の養生を終えた供試体について、針貫入試験を行い深さごとの劣化の様子を把握した。計測点を、図-2 に示す。この試験で計測する針貫入勾配は強度を表し、針貫入勾配が大きいほど強度が大きい。また、 MgCl_2 水溶液養生については、定期的に養生水の Ca 濃度を測定し、 Ca 溶出の様子を把握、針貫入試験の結果との比較検討を行った。

4.セメント添加量、養生環境の違いによる強度特性

針貫入試験の結果について、針貫入勾配を測定した後、深さごとの劣化の様子を把握するために、各深さの針貫入勾配を同じ供試体の最大の針貫入勾配で除した値を針貫入強度比としてグラフにまとめた。図-3 はセメント添加量の違いによる強度特性を把握するため、セメント添加量が $70, 150, 265 \text{ kg/m}^3$ の供試体を現場海水または海水と同等の Mg 濃度の MgCl_2 水溶液で 1 ヶ月養生後の針貫入勾配と針貫入強度比の深度分布の比較を示したものである。セメント添加量が多い供試体ほど針貫入勾配が大きく、またセメント添加量が 70 kg/m^3 の供試体のみで海水接触面付近で針貫入強度比が 1 を大きく下回っている部分が多く、劣化が見られた。図-4 はセメント添加量が 265 kg/m^3 の供試体をそれぞれの養生条件ごとで 1 ヶ月養生した後の針貫入勾配と針貫入強度比を示したものである。既往の研究と強度の差はみられ、また養生環境の Mg 濃度が海水の 2 倍の供試体のみでは海水接触面付近以外で針貫入強度比が 1 を下回っている部分があり、1 ヶ月でもわずかに劣化することが分かった。

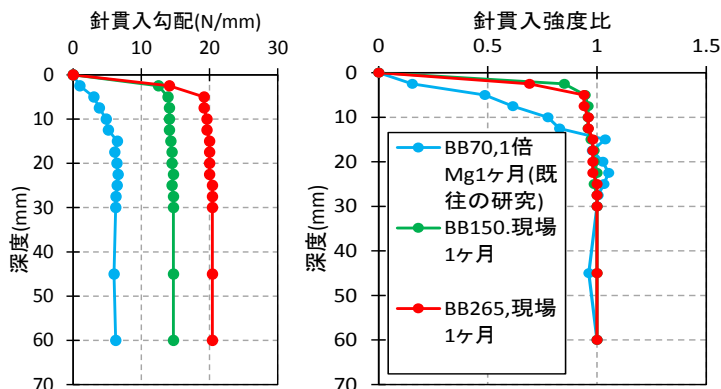


図-3 セメント添加量の違いによる強度特性の比較

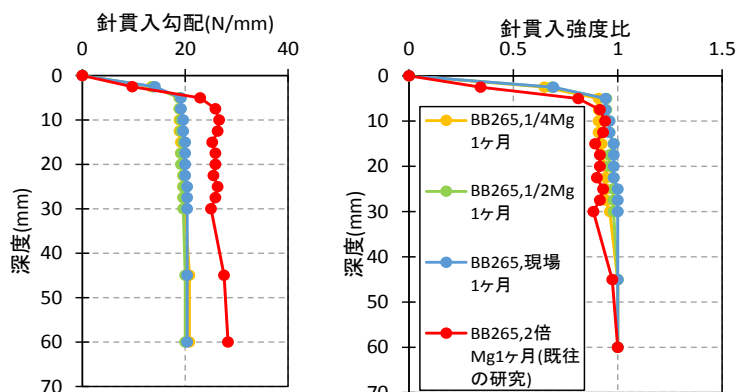


図-4 養生条件の違いによる強度特性の比較

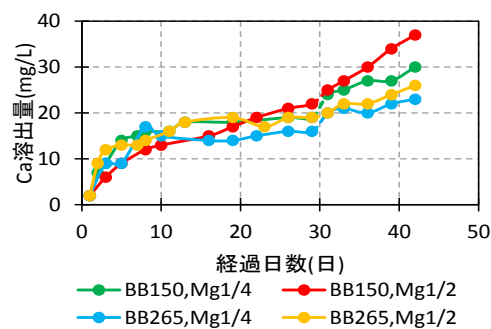


図-5 Ca 濃度測定

5. Ca 溶出特性

MgCl_2 水溶液養生について、養生水の Ca 濃度変化の様子を図-5 に示す。セメント添加量が少ないほど、また養生水の Mg 濃度が大きいほど Ca が多く溶出した。セメント添加量が 150 kg/m^3 で Mg 濃度が海水の $1/2$ の MgCl_2 水溶液で養生した供試体に関しては他のものより Ca の溶出速度が遅かったが時間の経過とともに溶出量が増加している。

6. 結論

- (1)セメント添加量が多い供試体(265 kg/m^3)の方が、セメント添加量が少ない供試体(150 kg/m^3)よりも針貫入勾配は大きくなる。
- (2)1 ヶ月という短い期間でもセメント添加量が少ない供試体や養生環境の Mg 濃度が大きい供試体では劣化する。
- (3)供試体の強度と Ca の溶出量とのはっきりとした相関は、1 ヶ月養生の供試体の比較ではみられなかった。

【謝辞】本研究の一部は、科学研究費補助金(課題番号 JP 15K18114)の支援を得て実施したものです。ここに記して謝意を表します。

【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, June, 2006.

2)藤澤拓馬: 海水環境におけるセメント改良砂の劣化特性の評価と劣化進行予測への展開, 九州大学工学部修士論文, 2017