

Bacillus pasteurii を用いたセメント改良土の海水環境下における劣化抑制技術

富山県立大学 学生会員 ○三原 一輝
富山県立大学 正 会 員 畠 俊郎

1. 目的

近年、軟弱地盤対策として、セメント改良土が盛んに利用されている。しかし、セメント改良土は海水環境下において曝露を受けると固化成分である Ca が溶出し Mg が吸収され劣化が起こることが明らかとなっている。そのため、海水環境下においてセメント改良土の劣化抑制を図る補助技術が必要である。そこで、本研究では微生物由来の尿素的加水分解酵素に着目した。尿素的加水分解に伴い発生する炭酸イオンとセメント中から溶出する Ca イオンを結合させることで炭酸カルシウムとしてセメント改良土中に再固定する新しい劣化抑制技術の有効性について検討した。また、海水によるセメント改良土の劣化は、海水に曝露する温度条件が高いとより劣化を促進することが明らかとなっている。そこで、添加する微生物の最適培養温度である 30℃における劣化抑制に対する微生物機能の有効性についても検討を行った。

2. 研究方法

本研究では、砂質土を対象とし表-1 に示す配合で図-1 に示す実験フローに従い実験を行った。使用した微生物種については、砂地盤を対象とした固化実験から強度増進効果や炭酸カルシウムの析出効果が明らかになっている陸域由来の微生物である *Bacillus pasteurii* (以下 *B.pasteurii* と表記) を用いた。*B.pasteurii* の特性を表-2 に示す。

供試体を作成し、20℃で28日間の気中養生を行った後、供試体を図-2 に示すように密閉面と曝露面が出来るように側面と底面を密閉し、人工海水による曝露試験を行った。海水に曝露する際の温度条件は通常の養生温度である 20℃と *B.pasteurii* の最適培養温度である 30℃の条件で行った。人工海水については14日毎に採水、曝露水の交換を行い、原子吸光光度計を用いて Ca イオンと Mg イオンの量を分析し、供試体の Ca イオン溶出量及び Mg イオン吸収量を算出した。また、28日毎に曝露面と密閉面に針貫入試験を行い、劣化深さの差を劣化促進量として評価し、その後劣化部分を取り除き一軸圧縮試験を行った。

表-1 供試体の配合表

ケース	A	B	C
純水 (%)	21.05	20.99	14.43
セメント (%)	6.58	6.56	
蛙目粘土 (%)	6.58	6.56	
飯豊珪砂 (%)	65.79	65.57	
尿素 (%)	0	0.33	
菌体培養液 (%)	0	0	6.56

※Cは *B.pasteurii* を含む培養液

表-2 微生物の特性

<i>B.pasteurii</i>	
単離源	陸域
耐塩性(NaCl %)	10
最適培養温度 (°C)	30
最適 pH	9
嫌気生育	+
登録番号	ATCC11859

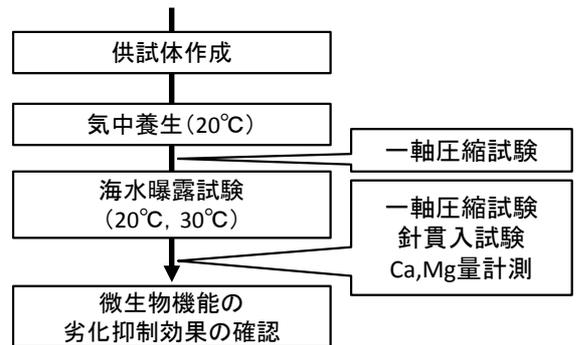


図-1 実験フロー

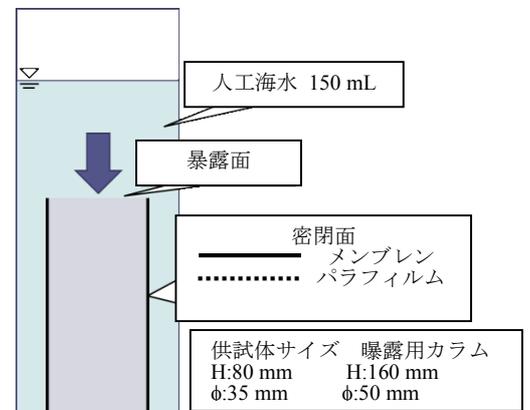


図-2. 曝露の様子

キーワード セメント改良土, 海水曝露試験, カルシウム溶出, MCP,

連絡先 〒939-0398 富山県射水市 黒河 5180 富山県立大学 TEL0766-56-7500

3. Ca,Mg 収支に基づく劣化メカニズムの把握

海水曝露 12 週間を終えたケース A, C の Ca 溶出量及び Mg 吸収量の経時変化を図-3 に示す. いずれのケースにおいても, 温度条件が高いほど Ca 溶出量, Mg 吸収量が増加する傾向が認められた. また, 曝露期間の増加に伴い Ca 溶出量と Mg 吸収量が増加していることから長期的に供試体の劣化が進行する危険性が明らかとなった.

また, *B.pasteurii* を添加したケース C とケース A を比較すると, Ca 溶出量, Mg 吸収量のいずれも減少していることから劣化抑制が期待できることがわかる. これは, 溶出した Ca が暴露面付近で炭酸カルシウムとして再結晶化されたことで Ca 溶出, Mg 吸収量が共に減少したと考えられる.

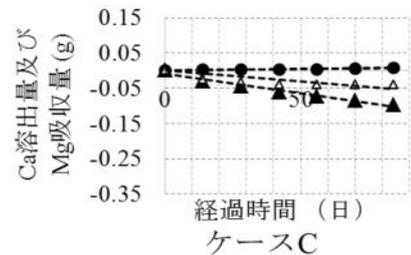
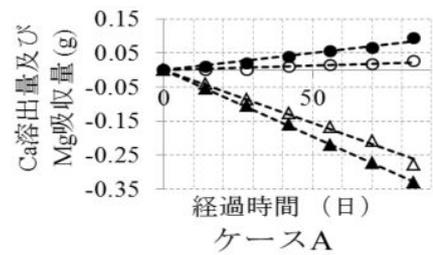
4. 力学試験による劣化抑制効果と強度増進効果の検討

ケース A, C の劣化促進量の経時変化を図-4 に示す. 図より, ケース A においては温度条件 20℃よりも 30℃の方がより劣化促進量が増加していた. それに対し, *B.pasteurii* を添加したケース C においては, いずれの温度条件においても劣化促進量に大きな差は見られなかった. セメント改良土は温度条件 30℃の劣化を促進する環境下においても, *B.pasteurii* を添加することで温度条件にかかわらずほぼ一定の劣化抑制効果が期待できるということがわかった. 暴露面から溶出する Ca イオンが炭酸イオンと反応し, 暴露面付近で炭酸カルシウムを再結晶化したことが原因であると考えられる.

また, ケース A, C の気中養生 28 日から海水曝露 84 日までの一軸圧縮応力の平均を図-5 に示す. 図より, ケース A とケース C とでは, 一軸圧縮応力に大きな差は見られなかった. これは, 暴露面付近に炭酸カルシウムが集中して析出していたため劣化促進量は減少したが, 劣化部を除いた供試体全体の一軸圧縮応力は一定であったと考えられる.

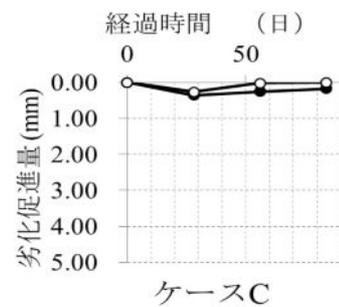
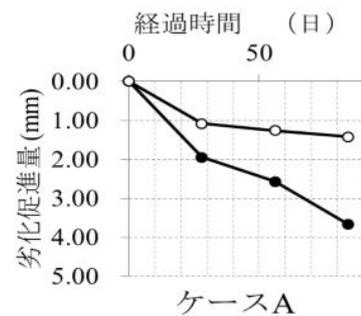
5. まとめ及び今後の予定

本研究では, セメント改良土の海水環境下での微生物機能を用いた劣化抑制技術について検討を行った. 陸域由来で炭酸カルシウムの析出効果が明らかになっている *B.pasteurii* はセメント改良土の海水による劣化抑制を期待できることが明らかとなったが, 強度増進効果はみられなかった. その原因として, 海水に接触している劣化面に炭酸カルシウムが偏って析出するため, 劣化促進量は減少するものの, 海水に接触しない部分は健全状態を維持したため一軸圧縮応力には影響を与えなかったのだと考えられる. 今後の予定として, 実際の施工に用いる場合に外来微生物を持ち込まず, 原位置微生物を用いることを想定し, 原位置微生物を用いたセメントの劣化抑制技術の検討をする予定である.



○20℃-Ca溶出量(g) ●30℃-Ca溶出量(g)
△20℃-Mg溶出量(g) ▲30℃-Mg溶出量(g)

図-3 ケース A, C における Ca 溶出量及び Mg 吸収量の経時変化



●温度条件30℃ ○温度条件20℃

図-4 ケース A における 2 種類の温度条件下での劣化促進量

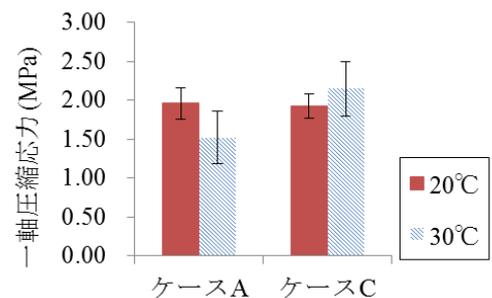


図-5 ケース A, C における一軸圧縮応力の平均