

セメントと微生物固化を併用した固化処理土の最適配合に関する検討

広島大学 学生会員 ○生駒 聖
同上 正会員 畠 俊郎

1. 背景・目的

セメントや石灰を用いた固化処理工法は社会基盤の構築に大きく貢献してきた。近年は固化体の耐久性に関する社会的関心が高まっており、対策技術の必要性について議論されている。これまでに Microbial Induced Carbonate Precipitation (MICP) を応用して固化体の軟化現象（以下、劣化と称す）を抑制する技術が提案されている。しかしながら実用化のためには、セメントと併用した場合の強度発現性に関する影響や溶出するアンモニア態窒素に関する検討などが必要とされる。本文では微生物添加量を調整した5ケースの供試体を用意し、56日間の海水曝露試験を実施し、カルシウムイオン及びアンモニア態窒素の溶出、一軸圧縮強度の推移、劣化抑制効果を踏まえ、最適な微生物添加量について検討した結果を報告する。

2. 実験手法

本研究では富山湾で採取された粘土を使用した。添加する微生物種は既往の研究においてセメント改良土の劣化抑制効果が確認されている *Sporosarcina aquimarina*（以下、*S.aquimarina* と表記）を選定した。供試体の配合を表-1に記す。表-1に記した材料をソイルミキサーに入れて混合し、型枠モールド（ $\phi = 35$ mm, $H = 80$ mm）に各層100回ずつタッピングしながら3層に分けて充填した。その後、20°Cの恒温槽で28日間気中養生した。海水曝露時には底面をパラフィルムで覆うことで供試体上面のみが海水に接する状態とし、プラスチックカラム（ $\phi = 50$ mm, $H = 160$ mm）内で150 mLの人工海水に供試体を浸すことで曝露した

（図-1参照）。試験期間は28日と56日とし、14日ごと人工海水を10 mL採水し、56日のケースについては28日経過時に海水交換を実施した。採水したサンプルについてはアンモニア態窒素とカルシウムの濃度を測定した。曝露試験終了後に供試体上面と底面を対象としてコーン貫入試験を行った。使用するコーンの形状は直径 $\phi = 4.2$ mm、先端角60°とし、2.4 mm/minの速度で貫入した。セメント改良土の劣化に関する明確な定義は存在しないため、本試験では供試体の上面と底面においてそれぞれ貫入抵抗10 Nを示すまでの貫入深さの差分を劣化深度として定義した。コーン貫入試験後は劣化した部分（劣化部）を除去し、劣化していない部分（健全部）を対象として一軸圧縮試験を行った。

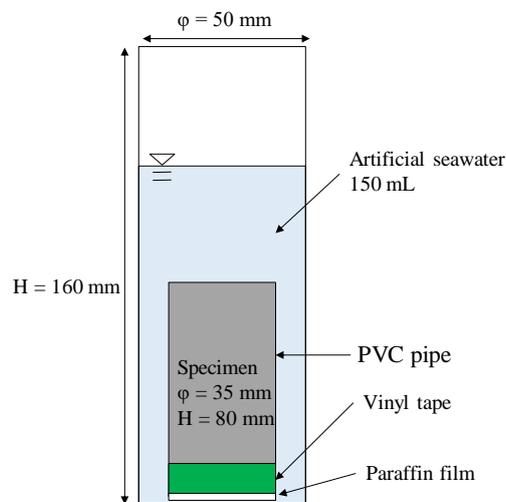


図-1 海水曝露試験の模式図

表-1 供試体の配合

項目 \ ケース	A	B	C	D	E
富山湾粘土 (g)	1000 (w = 液性限界×1.5 = 192.75 %)				
OPC (kg/m ³)	75				
菌体培養液 (%) (全体水分量に対して)	0.00	3.28	6.56	13.12	26.24
尿素 (g)	5.56				

キーワード セメント改良土, 微生物固化, 劣化抑制技術, コーン貫入試験, 一軸圧縮試験

連絡先 〒739-8511 広島県東広島市鏡山1丁目4番1号 TEL:082-424-7781

3. 実験結果

3.1. 水質分析（カルシウム・アンモニア態窒素）

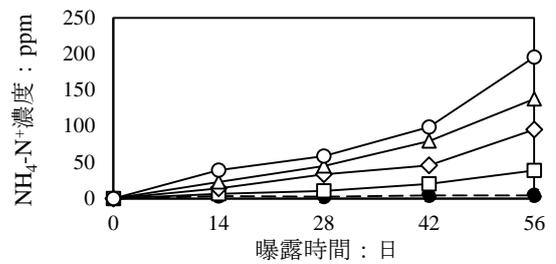
図-2 に人工海水へのアンモニア態窒素濃度とカルシウム溶出量の推移を示す。微生物を添加したケースでは、アンモニア態窒素濃度の上昇が確認されたことから、高 pH 環境下においても尿素の加水分解が確認された。また、アンモニア態窒素濃度の増加は 42 日から 56 日の期間に最も大きくなっており、供試体中で加水分解のもととなる酵素を生成する微生物量が増加していると考えられる。カルシウム溶出量は微生物添加量に伴って抑制量が大きくなっていることから、炭酸カルシウムとしての再固定量が増加していると推察できる。

3.2. 強度試験

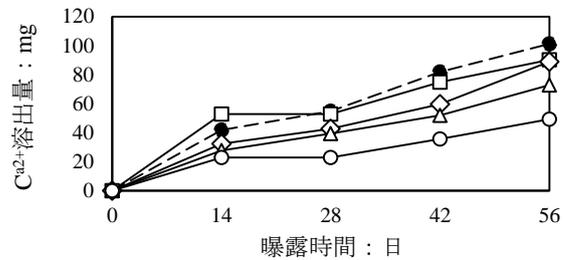
コーン貫入試験から算出した劣化深度の推移を図-3 に示す。なお、ケース B の 28 日曝露の供試体は脱型時に崩壊したため、データなしとしている。微生物を添加したケースの劣化深度はケース A と比較して小さくなっていることから、劣化抑制効果が確認された。水質分析の結果から微生物添加量の増加に伴って炭酸カルシウム析出量が増加していると推察されるが、劣化抑制効果についてはケース C・D において最も大きくなった。次に図-4 に健全部の最大圧縮応力の推移を示す。曝露前の時点では微生物添加量に伴って最大圧縮応力が低下している。これは微生物添加によって供試体中の有機物量が増加したことによってセメントの水和反応が阻害されたことが原因と考えている。しかし曝露開始から 28 日経過した時点では、微生物を添加したケースはケース A と比較して強度増進が著しく、56 日時点でケース C はケース A と同程度、ケース B はケース A より大きな強度を示した。したがって適切な微生物添加量を調節することで固化体の長寿命化が期待できると言える。図-5 に曝露 56 日の微生物添加率に伴う強度試験結果への影響を示す。微生物添加率約 6% の時、微生物を添加していないケースと同等の強度を維持しつつ、劣化抑制効果が発現したことから本研究においては最適な配合と言える。

4. 結論

本研究を通じて得られた知見は、1)微生物添加率の増加に伴って尿素の加水分解が促進され、炭酸カルシウムの析出効率が向上する、2)微生物添加によって初期強度は低下するものの、海水環境下における強度増進が促進される、3)約 6% の菌体添加率に調整することで微生物を添加しない場合と同等の強度を維持しつつ、劣化抑制効果を得られる、ことである。



(a)



(b)

図-2 人工海水へのカルシウム及びアンモニア態窒素の溶出, (a)アンモニア態窒素, (b)カルシウム

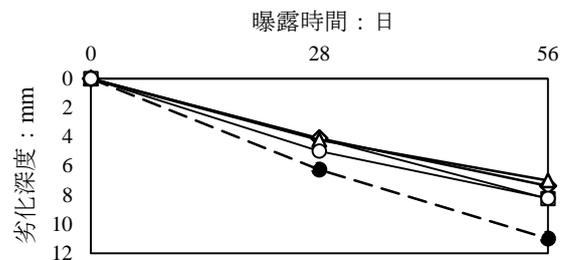


図-3 海水曝露に伴う劣化深度の進行

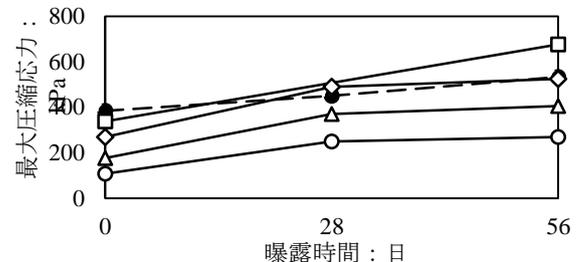


図-4 最大圧縮応力の推移

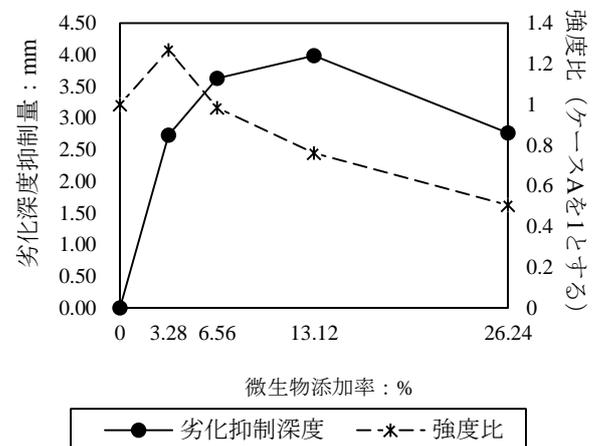
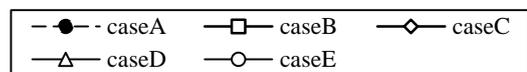


図-5 微生物添加率の効果