セメント固化処理土の劣化抑制技術に関する研究

富山県立大学　学生会員　寺西健太
富山県立大学　正 会 員　畠 俊 郎

1. はじめに

近年,軟弱地盤対策として,固化処理工法が盛んに利用されている.しかしながら,原弘行ら[1)]の研究により,固化処理土は海水に接触すると固化成分であるCa(カルシウム)が溶出し,劣化することが明らかになっている.本研究では,セメント固化処理土を対象に人工海水を用いた曝露試験を行い,Ca及びMg(マグネシウム)の収支を明らかにすることで劣化メカニズムを把握することを目的とする.また,微生物が作り出す尿素の加水分解酵素を利用し,セメント中から溶出してくるCaを$CaCO_3$としてセメント固化処理土中に再固定することで劣化抑制効果を付加した供試体を対象とし,一軸圧縮試験及び針貫入試験を行う.これらの室内試験を通じて,強度増進と劣化抑制の両面に優れた配合の提案を目標とする.

2. 研究方法

本研究では,砂質土を対象とし,供試体サイズを直径35mm,高さ80mmで,**表-1**に示す4種類の配合で供試体を作成した後,28日間の気中養生を行った.続いて,人工海水及び純水による曝露試験を行った.なお,試験期間は12週間とし,2週間ごとに人工海水及び純水を入れ替えて,その時に採水した溶液を対象として分析を行った.加えて材齢4,8,12週ごとに一軸圧縮試験及び針貫入試験を行い,結果を比較することで強度増進と劣化抑制の両面に優れた配合の評価を行った.

表-1　サンプル詳細

サンプル名	配合(養生条件:海水,純水)
A	セメントのみ
B	セメント+尿素
C	セメント+*B.pas*(尿素を含む)
D	セメント+*S.aqu*(尿素を含む)

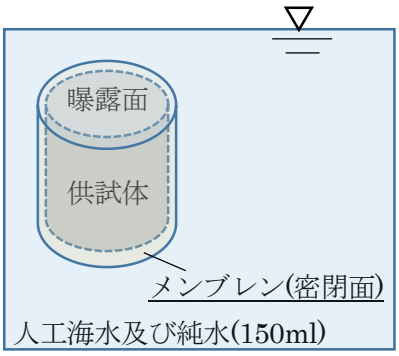

図-1　養生方法

3. 原子吸光光度計による劣化メカニズムの把握

(1)実験方法

4サンプルについて28日間の気中養生をした後,**図-1**のように曝露面と密閉面ができるようにメンブレンを被せた.続いて,人工海水と純水で別々の容器に入れて養生を行い,2週間ごとに水を入れ替えた.入れ替え時に採水した溶液を孔径0.20μmのメンブレンフィルターで減菌ろ過した後,原子吸光光度計を用いてろ液に含まれるCaイオンとMgイオンの濃度を測定した.

(2)結果と考察

結果の1例として,12週間の養生を終えたサンプルAの人工海水及び純水に含まれるCa量及びMg量の結果を**図-2, 3**に示す.**図-2**より,人工海水中に含まれるCa量が増加し,その分のMg量が減少していることが明らかとなった.一方,**図-3**の純水を用いた場合では,ほとんど変化はないことが明らかとなった.以上より,海水環境下では,セメント固化処理土に含まれるセメントの未反応成分であるCaが海水中に溶出し,海水中のMgがセメント内に吸収されることが示され,セメント固化処理土の劣化が想定される.Ca量より,Mg量が3～5倍に減少した理由に関しては,今後の研究で明らかにしていきたいと考えている.

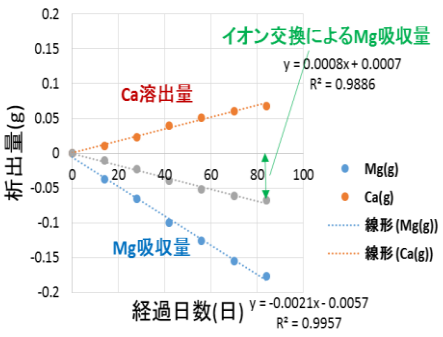

図-2　サンプルA(人工海水の場合)

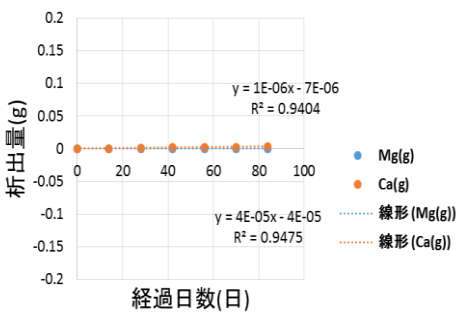

図-3　サンプルA(純水の場合)

4. 室内試験による劣化抑制技術の検討

(1)針貫入試験

供試体の劣化状況を確認するため,非破壊で劣化深さを測定可能な針貫入試験を行った.本試験では,1つの供試体に対して,曝露面(劣化)と密閉面(劣化なし)で比較試験を行った(**図-2**参照).海水養生8週を終えた供試体を対象とした結果を**表-2**に示す.人工海水に曝した場合,サンプルCの劣化促進量が0mmという結果が得られた.したがって,海水環境下において,4サンプルの中で最も劣化抑制の期待できる配合はサンプルCのセメント+尿素+*B.pas*であることが明らかとなった.

(2)一軸圧縮試験

針貫入試験後,劣化した箇所を目視にて取り除き成形した供試体に対して,一軸圧縮試験を行い,圧縮応力を算出した.人工海水及び純水で8週間養生した供試体を対象とした結果を**図-4**に示す.人工海水中で養生した供試体は,純水の場合と比較して,圧縮応力の値が平均的に低いことが分かる.これは,曝露面から,人工海水が浸み込み,健全な部分まで劣化が進行し,強度低下につながったと考察できる.また,人工海水を用いたケースのみで比較した場合,サンプルDが2.24 MPaと最も強度に優れていることが分かる.しかし,針貫入試験の結果を考慮すると,海水環境下で,強度増進,劣化抑制ともに優れていると考えられる配合は,2番目に強度が高いサンプルCであると考えられる.

5. まとめ及び今後の予定

本研究では,海水環境下におけるセメント固化処理土の劣化メカニズムの把握及び,微生物の加水分解酵素を用いた劣化抑制技術の提案を目的に室内試験を実施した.試験結果より,セメント固化処理土は海水環境下で劣化し,その劣化にはCaの溶出量が関与することを確認できた.また,海水養生8週を終えた供試体を対象とした劣化促進量及びCa溶出量の相関を**図-5**に示す.**図-5**より,劣化促進量が深くなるにしたがって,Ca溶出量も高くなることが分かる.つまり,Ca溶出量を測定すれば,劣化促進量を推定することが可能であることが明らかになった.さらに,微生物機能により,セメント固化処理土から溶出するCaを炭酸カルシウムとして再結晶化させ,海水環境下での劣化を抑制する技術の基本的有効性を明らかにすることができた.今後は,セメントのみ及びセメント+微生物のサンプルの劣化側を対象としてレーザーラマンを用いて元素マッピングを行い,供試体鏡面において炭酸カルシウムが析出している範囲の確認等を行う予定である.

表-2 針貫入試験(海水養生 8W) 試験結果

サンプル	※劣化促進量(mm)	
	人工海水	純水
サンプル A	5.00	0.37
サンプル B	4.00	0.00
サンプル C	0.00	0.37
サンプル D	1.70	0.45

※劣化促進量=(曝露側の劣化深さ)-(密閉側の劣化深さ)

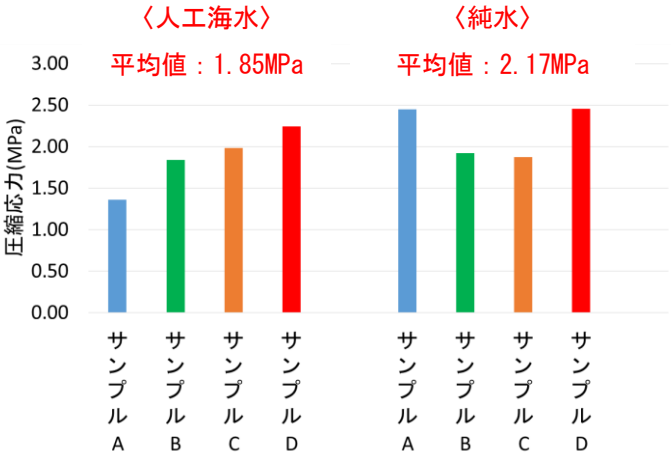

図-4 一軸圧縮試験(人工海水及び純水 8W)
応力比較結果

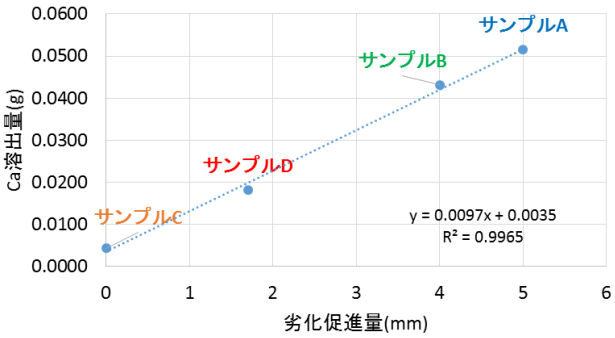

図-5 劣化促進量及び Ca 溶出量の相関図
(人工海水 8W)

参考文献

1)原 弘之,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.11-14,2012.