海水環境下における石灰処理土の Ca 溶出特性に及ぼす塩分の影響

佐賀大学大学院　学　○原　弘行
佐賀大学低平地研究センター　正　末次　大輔，F　林　重徳，学　古野浩太郎

1. はじめに

著者らは，石灰処理土を海水に浸漬すると処理土中の Ca 濃度とコーン貫入抵抗が低下することを明らかにした[1)]．しかし，石灰処理土からの Ca の溶出機構に関しては未解明な点が多い．化学的安定処理土の海水の影響による Ca 濃度低下に関する報告[例えば2)]はいくつかみられる．しかし，それらでは，海水= NaCl 溶液として用いられており，実際の海水を用いた報告は見当たらない．海水環境下にある化学的安定処理土の Ca の溶出機構を正確に調べるためには，NaCl 以外の成分を含んだ海水での検討が必要である．本研究では，NaCl 溶液並びに人工海水を用いて溶出試験を行い，石灰処理土の Ca 溶出に及ぼす海水中の塩分の影響について検討した．

2. 実験概要

本研究では，試料土に佐賀県小城市の六角川河口域で採取した有明粘土を用いた．試料土の物性を**表**-1 に示す．固化材は生石灰である．石灰処理土作製時には，試料土の含水比を液性限界の 1.5 倍(w=256.8%)となるように調整した．固化材の添加量は 35, 50, 70kg/m^3 である．石灰処理土は，試料土と生石灰をハンドミキサーで十分に混合し，28 日間気中で養生して作製した．養生終了後，石灰処理土を破砕し，2mm ふるいを通過したものを使用した．溶出試験には，NaCl 溶液と人工海水の 2 種類の溶液を用いた．実験で使用した人工海水は，海水の組成を模して調整された市販の粉末をイオン交換水で溶解したものである．人工海水に含まれる Na, Ca, Mg イオン濃度を**表-2** にまとめる．溶出試験では，溶液の NaCl 濃度を 0, 5, 10, 20, 40g/L に調整したものを使用した．なお，本文における人工海水の濃度は，その海水の NaCl 濃度(g/L)で表記する．溶出試験の条件は，固液比を 1:10 とし，振とう速度 200rpm，振とう時間は 6 時間とした．振とう後，懸濁液の pH を測定し，孔径 0.45μm のメンブランフィルターでろ過した．ろ液を溶出液とし，その中に含まれる Ca イオン，Mg イオン濃度を測定した．本実験におけるイオン濃度の測定には ICP-AES(Optima 5300DV)を使用した．

表-1　試料土の物性

自然含水比	(%)	239.4
土粒子の密度	(g/cm^3)	2.63
液性限界	(%)	171.2
塑性限界	(%)	58.7
粒度組成	(%)	
礫		0.0
砂		0.4
シルト		29.6
粘土		70.0

表-2　人工海水の成分表

分析項目	濃度(mg/L)
Naイオン	8872.9
Caイオン	507.7
Mgイオン	597.5
備考	NaCl濃度20g/Lの人工海水を作製して分析

3. 実験結果と考察

3.1 NaCl における pH,と Ca イオン溶出量の変化

NaCl 溶液における NaCl 濃度と pH および Ca イオン溶出量の関係を**図**-1 に示す．Ca イオン溶出量は，溶出液と振とう前の溶液に含まれる Ca イオン濃度の差である．NaCl 濃度が高くなると pH は若干低くなる傾向がみられる．pH の低下の程度は固化材の添加量によらず同程度であり，35kg/m^3 の場合，NaCl 濃度 0g/L と 40g/L を比較すると，pH は 11.6 から 11.3 まで 0.3 低下した．また，50, 70kg/m^3 の場合においても pH の低下は 0.3～0.4 であった．

NaCl 溶液における NaCl 濃度が高くなると Ca イオン溶出量は多くなる傾向がみられる．35kg/m^3 の場合，NaCl 濃度 0g/L と 40g/L を比較すると，Ca イオン溶出量は約 200g/L から約 350g/L まで 150g/L 程度増加した．50, 70kg/m^3 の場合においても増加量はそれぞれ 160, 110g/L 程度であった．

3.2 人工海水における pH, Ca イオン溶出量の変化

人工海水の NaCl 濃度と pH および Ca イオン溶出量の関係を**図-2** に示す．NaCl 濃度が高くなると pH は低下する. pH の低下の程度は固化材添加量が少ないものほど大きいことがわかる．固化材添加量 35kg/m^3 の場合，NaCl 濃度 0g/L と 40g/L を比較すると，pH は 11.5 付近から 9.5 付近まで低下したが，50, 70kg/m^3 の場合では，それぞれ 10.5，11.5 までしか低下しなかった．

人工海水の NaCl 濃度が高くなると Ca イオン溶出量は多くなる．NaCl 濃度に対する Ca イオン溶出量の増加割合は, 固化材添加量にかかわらず NaCl 濃度 20g/L を境に低下する傾向がみられた．

人工海水を使用した溶出試験における振とう前の溶液と振とう後の溶出液に含まれる Mg イオン濃度を**表-3** に示す．振とう後の溶液中の Mg イオン濃度は，固化材の添加量にかかわらず，ゼロもしくは振とう前に比べて極めて小さい値を示した．

3.3 溶出試験結果の考察

図-2 に示した人工海水の場合，**図-1 の** NaCl 溶液の場合に比べて，pH の低下や Ca イオン溶出量の変化が大きい．また，振とう後には Mg イオン濃度の顕著な減少がみられた．これらの結果から，次のような Ca の溶出機構が推察される．すなわち，石灰処理土を人工海水と合わせて振とうすると，海水中の Mg イオンが OH イオンと結合し，不溶解性の $Mg(OH)_2$ が生成される [3]．そのため，pH が低下し，低 pH 条件下で溶解度が大きい Ca イオン溶出量が増加したと考えられる．石灰処理土からの Ca イオンの溶出には処理土と接触する溶液中の Mg イオン濃度の影響が非常に大きいと推察される．このことから，海水の影響による石灰処理土の劣化現象を検討する場合は, NaCl 溶液ではなく他の塩分を含む海水を使用して実験を行う必要がある．

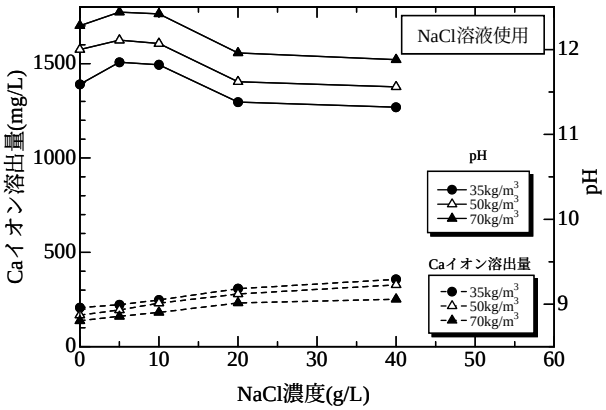

図-1 NaCl 濃度と pH，Ca イオン溶出量の関係 (NaCl 溶液)

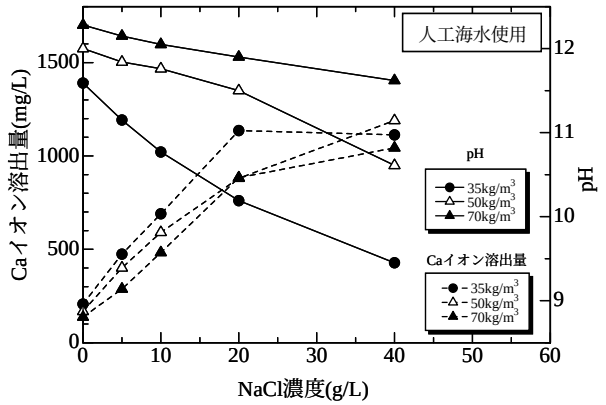

図-2 NaCl 濃度と pH, Ca イオン溶出量の関係 (人工海水)

表-3 Mg イオン濃度の分析結果

NaCl濃度 (g/L)	振とう前の溶液 (mg/L)	振とう後の溶液 (mg/L)		
		35kg/m^3	50kg/m^3	70kg/m^3
0	0.0	0.0	0.2	0.4
5	149.4	0.0	0.0	0.0
10	298.7	0.6	0.0	0.0
20	597.5	5.2	0.0	0.0
40	1195.0	120.1	0.7	0.0

4. まとめ

本研究では，NaCl 溶液並びに人工海水を使用した溶出試験を行い，石灰処理土の Ca 溶出に及ぼす海水中の塩分の影響について検討した．得られた知見をまとめると以下のようになる．

1) NaCl 溶液および人工海水の濃度が高くなると pH は低くなり，Ca イオンの溶出量は多くなる．その程度は NaCl 溶液を使用した場合よりも，人工海水を使用した場合の方が非常に大きい．
2) 人工海水を使用した場合，溶出液中の Mg イオン濃度は振とう前に比べて小さい値を示す．

【参考文献】 1) 原ら：海水浸漬下における石灰処理土の性質変化に関する実験的検討，地盤改良シンポジウム，Vol.8, pp. 65-70, 2008. 2) 橋本ら：セメント系改良地盤の Ca 溶脱に伴う強度低下に関する Cl^- の影響を考慮した長期予測，土木学会論文集 C, Vol64, No.2, 226-237, 2008. 3) 檜垣ら：生石灰で粒状化処理した建設発生土の海水に対する環境影響について，土木学会論文集，No.581/Ⅳ-37, 59-69, 1997.