

化学的改良土の強度と地盤環境の関係に関する基礎的研究

佐賀大学理工学部 学○篠原 卓 佐賀大学理工学部 正 根上武仁
佐賀大学 低平地研究センター 正 日野剛徳
宇部マテリアルズ株式会社 非 杉山智則

1. はじめに

我が国の化学的地盤改良は、構造物本体および基礎として多くの実績を有している¹⁾。最近、化学的改良土のごく短期間での劣化現象が指摘されるようになってきた^{1),2)}。このことが事実なら、多くの改良土体は危険な状態にさらされていることになり、大きな社会問題と化す。さらには、化学的地盤改良工法が地盤環境に及ぼす影響の懸念も増す。果たして化学的改良土の劣化メカニズムは存在するのか、存在する場合はどのような対策を講じることができるのか、改良柱体が地盤環境に及ぼす具体的な影響は何なのか、これらのことについて、本研究では地質学、地盤工学、環境地盤工学による総力を結集し、総合的に明らかにすることを目的とする。この端緒として、本報では生石灰やセメントで改良した有明粘土試料を蒸留水、塩水および希硫酸中に水浸させた試料について、水浸溶液への溶出特性と一軸圧縮強さの変化を調べた結果について速報する。

2. 試料と試験方法

本研究では、有明海沿岸道路（佐賀福富道路）の 8m 級試験盛土施工現場³⁾付近の地表面から 2m の部分の海成有明粘土を採取したものをを用いた。試料の地盤工学的性質を表-1 に示す。改良材は生石灰（以後 CaO と呼ぶ）およびセメント系固化材（以後セメントと呼ぶ）を用い、現場条件に照らして CaO については 30kg/m³および 60kg/m³、セメントについては 140kg/m³の配合条件を設定した。供試体作製は JGS 0821-2000 に準拠した。所定の期間養生後、一軸圧縮試験を行い、タンクリーチング試験による溶出試験および当該試験後の一軸圧縮試験も併せて実施した。浸水液には蒸留水、塩水 20g/l 溶液（人工海水、以後塩水と呼ぶ）の水溶液²⁾および酸（希硫酸 0.01N 溶液、以後希硫酸と呼ぶ）を用いた。なお、希硫酸を用いたのは、有明粘土中には生物起源パイライトが含まれており、酸化によって硫酸が生成されることによる⁴⁾。浸水後 7, 28 日経過したものについて各浸水液を採取し、pH 測定と ICP による分析を行った。

3. 試験結果と考察

3-1. **タンクリーチング試験における pH の経時変化**：図-1 に、タンクリーチング試験における pH と浸水日数の関係を示す。蒸留水浸水時では CaO・30kg/m³は、11.4 から約 10 と減少していたが、CaO・60kg/m³やセメント・140kg/m³はほとんど変化が見られなかった。塩水浸水時では全てにおいてほとんど変化が見られなかった。希硫酸の場合は、28 日水浸後の pH は 10 以上に増加していた。固化材がアルカリ性であり、この一部が溶出して浸水液の pH を増加させたものと考えられる。

3-2. **主成分の溶出特性と経時変化**：図-2 は水浸液が蒸留水の場合のタンクリーチング試験結果を示したものである。CaO・60kg/m³のケースでは浸水日数の経過に伴って Ca²⁺の溶出濃度は高くなった。しかし、CaO・30kg/m³およびセメント・140kg/m³については、水浸日数の経過とともに溶出量はやや低下した。Na⁺については、水浸 7 日目では CaO・30kg/m³の場合の溶出濃度が高かったが、水浸 28 日目ではいずれの場合も同程度の溶出濃度となった。図-3 は、水浸液が塩水の場合を示したものである。固化材添加量と固化材の種類に関係なくほぼ同じ溶出量となった。水浸液が蒸留水の場合と比較すると Ca²⁺および Na⁺濃度がかなり高いが、これは水浸液が人工海水であり、供試体水浸前から多くの Ca²⁺および Na⁺を含むためである。図-4 は水浸液が希硫酸の場合を示したものであ

表-1 試料土の物理化学的性質

自然含水比 w_n (%)		141.5
土粒子の密度 ρ_s (g/cm ³)		2.562
粒度 組成	砂分 S (%)	22
	シルト M (%)	29
	粘土分 C (%)	48
液性限界 w_L (%)		109.7
塑性限界 w_p (%)		45.2
塑性指数 I_p		64.5
酸化還元電位 ORP (5分)		-340
pH		9.1
塩濃度 NaCl (g/L)		1.14
強熱減量 Li (%)		8.2

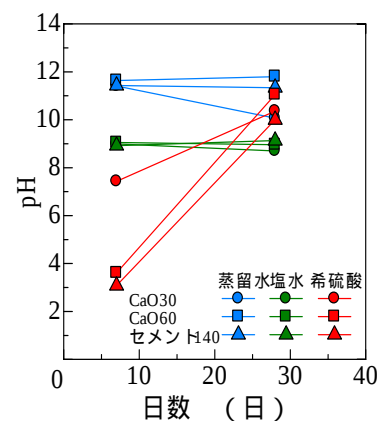


図-1 pH の経時変化

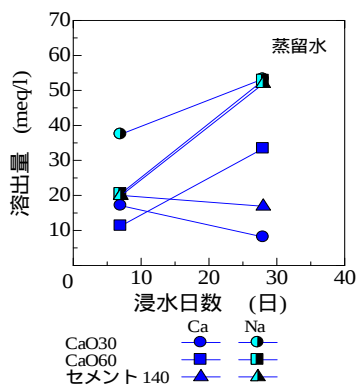


図-2 ICP 測定結果 (蒸留水)

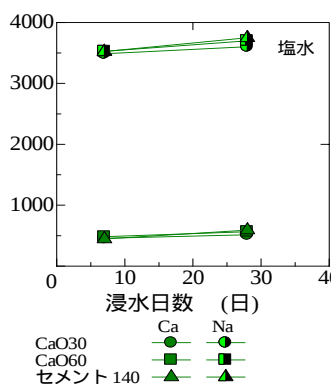


図-3 ICP 測定結果 (塩水)

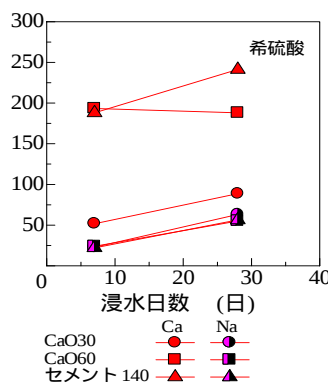
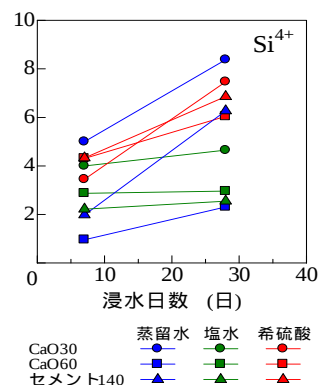


図-4 ICP 測定結果 (希硫酸)

図-5 ICP 測定結果 (Si⁴⁺)

る。蒸留水と塩水の場合とは異なり、Na⁺よりもCa²⁺の溶出量が多い。またCaO・30kg/m³のCa²⁺の溶出量がCaO・60kg/m³やセメント・140kg/m³と比較するとかなり低くなった。図-5は、各水浸液におけるSi⁴⁺の溶出量を示したものである。蒸留水の場合は、固化材による差はあるが溶出量は増加傾向にある。固化材による差はあるが、塩水に水浸した場合の溶出量はほとんど変化していない。また、希硫酸に水浸した場合は固化材による差はあまり無く、溶出量は増加傾向である。

3-3. 一軸圧縮強さの経時変化: 図-6 に一軸圧縮試験結果を示す。CaO・30kg/m³は、養生日数の増加に伴う強度発現はあまり大きくなく、水浸させると蒸留水、塩水、希硫酸の順番にいずれの場合も強度が低下した。塩水に水浸させた場合は、初期の一軸圧縮強さの半分程度の改良強度を示した。CaO・60kg/m³は、非水浸の場合は養生日数の経過に伴って強度増加が見られる。水浸させた場合は、CaO・30kg/m³の場合と同様にいずれのケースも非水浸の場合に比べ強度は低い。蒸留水に水浸した場合は、養生63日の時に一軸圧縮強さが低下しているが、養生35日と養生91日の場合の一軸圧縮強さはほぼ等しい。塩水に水浸した場合は、養生35日～91日の強度増加は非水浸の場合に比べ低くなった。希硫酸に水浸させた場合は、養生61日までは改良強度は増加するが、養生91日では低下した。セメント・140kg/m³の場合は、CaO・30kg/m³および60kg/m³の場合よりも改良強度は大きい。養生日数の経過に伴う改良強度の変化は、蒸留水と塩水に水浸した場合では同じ傾向を示し、養生63日までは改良強度は増加するが、養生91日で改良強度は低下する。生石灰を混合した場合と反対に、希硫酸に水浸した場合は養生日数の経過に伴う改良強度の変化は増加傾向を示した。

4. まとめ 本研究で得られた知見を要約すると、次のとおりである。

- 1) 固化材がアルカリ性であるため、タンクリーチング試験から得られたいずれのケースでもpHの値はアルカリ性を示した。水浸液が希硫酸の場合でも、28日経過後のpHはアルカリ性を示す。
- 2) 水浸液が塩水の場合、水浸日数によるpH、Na⁺、Ca²⁺およびSi⁴⁺の溶出量はほとんど変化せず、既往の知見とは異なる結果を得た。
- 3) 一軸圧縮試験結果は、固化材の混合率に関わらず通常の養生を行った場合の改良強度が最も高く、水浸液の種類によらず水浸させて養生した場合は改良強度が低下する。

今後は、長期養生を行った場合の水浸液の種類が改良強度におよぼす影響と各種イオンの溶出特性について検討を深める予定である。

謝辞: 本研究の実施に際しては、九州建設技術管理協会の研究開発助成を受けた。記して感謝します。

参考文献: (1)国土交通省九州地方整備局佐賀国道事務所：地盤調査結果概要と軟弱地盤対策工の選定，大川佐賀道路軟弱地盤対策技術基準検討委員会・軟弱地盤WG資料，pp.27-30，2009。(2)原弘行，末次大輔，林重徳，水城正博：海水浸漬下における石灰処理土の強度低下に関する実験的検討，第8回地盤改良シンポジウム論文集，(社)日本材料学会，pp.65-70，2008。(3)佐賀県有明海沿岸道路整備事務所：みちしるべ，佐賀県有明海沿岸道路広報誌，第4号，2009。(4)国土交通省九州地方整備局佐賀河川総合開発工事事務所：佐賀導水事業巨勢川調整池～東名遺跡の保存対策～，130p，2007。(5)(社)地盤工学会：土質試験の方法と解説-第一回改訂版-，p.902，2000。

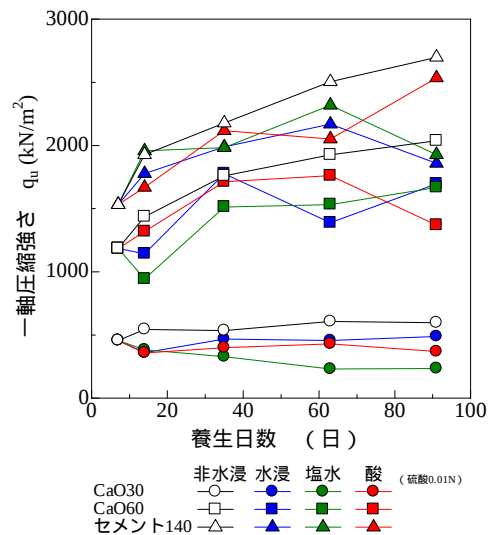


図-6 一軸圧縮試験結果の経時変化