

平成 21 年 4 月 15 日現在

研究種目：基盤研究（C）
 研究期間：2007～2008
 課題番号：19560493
 研究課題名（和文） 微生物的インディケータに基づく化学的改良土の工学的・環境学的性質の評価
 研究課題名（英文） Evaluation on geotechnical/geoenvironmental properties of chemical stabilized clayey soil from the viewpoint of microbiological indicator
 研究代表者：日野 剛徳（HINO TAKENORI）
 佐賀大学・低平地研究センター・准教授
 研究者番号：20295033

研究成果の概要：

北部九州に位置する有明海沿岸低平地域の表層には、海成の有明粘土層と非海成層の蓮池層からなる軟弱粘土層が厚く堆積している。これらの軟弱粘土層の上では、諫早湾干拓や有明海沿岸道路のビッグプロジェクトを始めとする種々の建設現場が存在し、化学的地盤改良技術の採用、あるいは検討がなされている。化学的地盤改良技術は決して新しいものではないが、その社会問題化が後を絶えない。この課題を解決するために、本研究では： 化学的改良土における物質循環の解明； 物質循環が認められる場合の具体的な課題の解明； この結果が化学的改良土の品質や周辺環境に及ぼす影響の解明、に取り組み、 対策の提案を行うことにより、地域・社会貢献を果たそうとするものである。

有明海沿岸域に堆積する採取直後の粘土、浮泥および底泥に生石灰(以後 CaO と呼ぶ)、酸化マグネシウム(MgO)および高炉セメント B 種(BB)を添加した化学的改良土の改良特性および溶出・固定特性に関する検討を行い、次の結果を得た：1)通常のタンクリーチング試験における pH と浸水日数の関係から、CaO ではほぼ 12 以上の pH を示し、BB、MgO の順で pH の値は小さくなり、どの固化材においても浸水日数の経過に伴う pH の変化は認められなかった；2)他方、エアレーションを与え好気性環境を再現した場合のタンクリーチング試験の pH と浸水日数の関係では、生石灰 150, 250kg/m³ のものは浸水当初に高い pH を示したものの、28 日間の浸水期間中に全ての改良パターンで改良前の値まで減少した；3)硫酸水溶液を用いたタンクリーチング試験では化学的改良土の劣化速度が進み、主成分の溶出特性に違いが認められた；4)タンクリーチング試験と実環境との間の具体的な対比および地表・地下における化学的改良土の環境影響・変遷の考え方について新たな視点・対策案を見出せた。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,600,000	480,000	2,080,000
2008年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,500,000	750,000	3,250,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学・地盤工学

キーワード：化学的改良土、物質循環、物理化学的性質

1. 研究開始当初の背景

北部九州に位置する有明海沿岸低平地域の表層には、海成の有明粘土層と非海成の蓮池層からなる軟弱粘土層が厚く堆積している。これらの軟弱粘土層の上では、諫早湾干拓や有明海沿岸道路のビッグプロジェクトの推進を始め、海岸・河川の堤防強化・管理対策、最近では縄文時代を代表する佐賀市東名遺跡の発見・発掘などが相次いでいる（日野ら，2005；日野・山中ら，2005；日野ら，2006；日野・山中，2006；Hino, Shimoyama, Yamanaka et al., 2006；Yamanaka, Shimoyama, Hino et al., 2006）。

上述した軟弱粘土の取扱いに際しては、改良を余儀なくされる。このことが深刻な社会問題を引き起こしている。例えば、諫早湾干拓では石灰系地盤改良工事が有明海における赤潮発生を引き起こすと報道され、大きな問題に発展した（例えば熊本日日新聞，2002）。佐賀低平地を流れて有明海に注ぐ六角川の河川堤防では、軟弱粘土の化学的改良土層からなる堤体部分から漏水が生じている。東名遺跡では、原位置における軟弱粘土をセメント系固化材で改良したカバー層による埋め戻し保存が決められたが、その確実性は今後の課題である（例えば毎日新聞，2006）。有明海沿岸道路プロジェクトはこれから本格化するものであり、社会問題に関する予測がまったくつかない。

軟弱粘土の化学的改良技術は決して新しいものではない。それにも関わらず、上述した問題が頻発するのはなぜか？

寺師（1999）は、化学的地盤改良技術の大きな柱である改良効果を予測判定する技術は、いつも施工技術の進歩を後から追いかけているのが実態、と述べている。上述した問題は、1980年代頃までは盛んに行われていた軟弱粘土の化学的改良に関する基礎的研究の絶対的不足を示していることにほかならない。

2. 研究の目的

有明粘土の堆積当初の特性は、現在の有明海の浮泥・底泥に求めることができる。干潟・海底表層付近における浮泥・底泥は、大気・海水における酸素や引き続く上部への堆積による影響を受けて酸化還元状態を繰り返す。さらに上部への堆積が重なるとついには軟弱粘土層と化すが、この段階ではもはや還元状態を留め、以後は強還元状態へと移行し続けるのみである。

上述した粘土の酸化還元反応には、粘土中の好気性および嫌気性微生物による物質循

環が深く関わっている。硫黄バクテリア（好気性微生物）と硫酸還元細菌（嫌気性微生物）の関係はその代表例であり、後者は間隙水中の硫酸イオン（ SO_4^{2-} ）を生物起源パイライト（ FeS_2 ）に変化させて粘土の還元状態を促進させる。このようにして生成された FeS_2 は可逆的反応を引き起こし、それを含む粘土が再び酸素に触れる機会を得ると酸化鉄（ Fe_2O_3 ）と SO_4^{2-} を生成する。このようにして生成された SO_4^{2-} は、強酸性をもたらすことになる（Hino, Shimoyama, Yamanaka et al., 2006）。

以上のような潜在性を秘める軟弱粘土を対象に石灰系・セメント系固化材による化学的地盤改良を施した場合、その後の物質循環が改良土の性質にどのような影響を及ぼすのか、その副次産物として何が生じることになるのか、まったく未解明の問題なのである。

3. 研究の方法

種々の石灰系・セメント系固化材を用いて軟弱粘土を改良し、供試体パターン = F（含水比調整、固化材の種類、配合量、攪拌方法、作製方法、養生方法、養生日数）により供試体を作製し、それらの固化特性を得、地盤工学的性質に関する検討を行う。

で作製した固化供試体を用いてタンクリーチング試験を行い、環境学的性質に関する検討を行う。微生物的インディケータとして注目する物質は全硫黄（TS）、全窒素（TN）および全有機物量（TOC）の各全量であり、さらに一般水質分析として多用される pH および酸化還元電位（ORP）、土・水系の主成分であるナトリウムイオン（ Na^+ ）、カリウムイオン（ K^+ ）、マグネシウムイオン（ Mg^{2+} ）、カルシウムイオン（ Ca^{2+} ）、塩化物イオン（ Cl^- ）および硫酸イオン（ SO_4^{2-} ）の各イオンに注目する。

で作製した固化供試体を用い、タンクリーチング試験に基づく種々の硫酸水溶液を用いた劣化加速試験を実施し、に示した注目物質について検討を行う。

以上の検討結果に基づいて、現在の化学的地盤改良技術に認められる問題について考察する。化学的改良土自身、さらには改良土と周辺環境の関係を想定した物質循環に関する検討を行い、影響の要因を見極め、影響要因の具体的対策について検討し、実務に繋げるための方針をまとめる。

4. 研究成果

有明海沿岸低平地域における粘土、浮泥および底泥中の TS、TN および TOC は、堆

積当初の環境条件を留めたものでそれぞれ 0.8 重量%程度、0.1 重量%程度および 0.9 重量%程度と求められる。陸域において堆積環境の 2 次的な変化を強く受けた粘土の場合は特に TS の値が 0.4 重量%程度まで低下し、TOC と TN の比からなる C/N の値が増加する傾向が読み取れる。このような条件下では酸化還元環境も通常の還元状態から酸化状態に転じており、結果として FeS₂ の酸化に伴う SO₄²⁻ の生成により pH もアルカリ性から強酸性に転じ、セメント系固化材、石灰系固化材等のアルカリ環境下で改良効果を発揮する化学的改良土の特性に影響を及ぼすことになると考えられる。

通常のタンクリーチング試験における pH と浸水日数の関係によれば、生石灰 (CaO) ではほぼ 12 以上の pH を示し、高炉セメント B 種 (BB) の順で pH の値は小さくなる。さらに、研究開始直後に着目した新たな固化材である酸化マグネシウム (MgO、特に第二種特定有害物質の不溶化効果が期待される) の場合では、前二者に比べてさらに pH の値が 10 程度と小さくなる。通常のタンクリーチング試験による条件下ではしかしながら、どの固化材においても浸水日数の経過に伴う pH の変化は認められなかった。また、各固化材における添加量の違いにより、CaO では pH が最大で 1.18、BB では 1.21 の変化が認められた。MgO の場合は 0.52 の変化であった。これらことから、MgO の添加量は浸水液への pH 変化にあまり関与しないことがわかった。

他方、エアレーションを与え好気性環境を再現した場合のタンクリーチング試験における pH と浸水日数の関係では、CaO の添加量が 150kg/m³ および 250kg/m³ の場合は浸水当初に高い pH を示したが、28 日間の浸水期間中に改良前の土の値 (pH 8~9) まで低下した。CaO は添加量が 150kg/m³ を越えると 7 日間の養生期間では反応が不十分であり、安定化しなかった成分が溶出したためと考えられる。

Na⁺、Ca²⁺、Mg²⁺ および K⁺ の各溶出量は、どの固化材を用いても浸水日数および添加量の増加に伴い増加した。Cl および SO₄²⁻ の溶出量は CaO および BB の場合は添加量に伴い減少したが、MgO の場合は増加傾向を示した。これらのことが固化材間で異なる pH 特性を示す理由と考えられる。

硫酸水溶液を用いたタンクリーチング試験の結果、上記までの結果に比べいずれの固化材の場合も Na⁺、K⁺、Mg²⁺ および Ca²⁺ の各陽イオンの溶出量の増加が認められた。特に Mg²⁺ については MgO を用いた改良の場合で 1 オーダー上回る溶出量を示す結果を得た。また、当該条件における供試体の劣化は著しく、タンクリーチング試験後の一軸圧縮

試験が不可能であった。

以上の検討から、化学的地盤改良技術の適用上の課題について検討を行った。まず、これまでにセメント系固化材・石灰系固化材の使用で懸念されてきた pH の高アルカリ化は、主成分の内陽イオンの過剰溶出に伴う現象であることが確認できた。この現象はしかしながら、化学的地盤改良技術の地表・地下への適用で一様に認められるものではなく、特に地表の好気性環境を再現したタンクリーチングの試験結果では pH は早期に適用前の土・水系の数値に落ち着くことを示している。このメカニズムとして、地表では大気中の二酸化炭素 (CO₂) の溶解により炭酸水素イオン (HCO₃⁻) が溶解することで中性化が図られていることが考えられる。つまり、高アルカリ化はむしろ大気との接触がない地下での適用に際して注意を払う必要があることが示されている。

他方、硫酸水溶液を用いたタンクリーチング試験の結果から、化学的地盤改良技術の地表での適用に際しては劣化問題に注意を払う必要性が示されている。地表における化学的地盤改良ではコストの観点からバックホーを始めとする簡便な攪拌改良機械が用いられることが少なくないが、簡便な方法ほど改良土中にムラを生じせしめる可能性があり、結果として改良土中に未改良土が残り、これが酸化し SO₄²⁻ を生じせしめて短期間に改良土自身を劣化させることなどが考えられる。

以上のことから、化学的地盤改良技術の地下での適用に際しては、従来の着定による改良方法は極力避けてフロート式を検討するなどによって地下の環境保全を重んじること、地表での適用に際しては機械の攪拌能力の向上を図ること、これらの結果生じる高コスト化は環境コストであり、必要経費であるとの考え方を早急に確立する必要があること、などが本研究を通じて得られた今後の実務面における具体的な対策の提案事項である。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 6 件)

日野剛徳, 田口岳志: 浮泥・底泥の安定処理特性と直送安定処理プロセスに基づくコストの試算, 低平地研究, No.18, 2009. (印刷中)(査読有)

Taguchi, T., Hino, T., Chai, J.-C. and Shen, S.-L.: Evaluation of microstructure of stabilized soil, International Symposium on Deep Mixing & Admixture Stabilization OKINAWA, Japan, 2009. (in press)(査読有)

田口岳志, 日野剛徳, 柴錦春, 西野伸幸, 三浦友規子: 佐賀低平地における酸化マグネシウムを用いた浮泥・底泥の安定処理特性と溶出特性に関する基礎的研究, 第8回地盤改良シンポジウム発表論文集, 日本材料学会, pp.59-64, 2008. (査読有)

日野剛徳, 田口岳志, 柴錦春, 荒牧軍治: 佐賀低平地の有明海沿岸道路プロジェクトにおける軟弱地盤の特性と浚渫土の盛土材料としての有効利用に関する研究, 土と基礎, Vol.56, No.1, pp.28-31, 2008. (査読有)

Hino, T., Taguchi, T. and Chai, J.-C.: Around-Ariake-Bay-Road Project in Saga lowland: Properties of soft foundation and ways of using waste clayey soils as embankment material, International Symposium on Lowland Technology ISLT2008, IALT, pp.467-472, 2008. (査読有)

Taguchi, T., Hino, T., Suzuki, M. and Yamamoto, T.: Consideration on applying of unconfined compressive strength evaluation of soil-cement column cured under stress to Saga lowland, Proceedings of the International Symposium on Geotechnical Engineering, Ground Improvement and Geotechnics for Human Security and Environmental Preservation, AIT, pp.659-667, 2007. (査読有)

[学会発表](計 11件)

東裕輔, 日野剛徳, 田口岳志, 山中寿朗, 大崎良輔, 西野伸幸: 有明海浮泥・底泥を用いた化学的改良土における pH と主成分溶出特性の経時変化, 平成 20 年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集, CD-ROM, pp.1007-1008, 2009.

森坪裕太, 山北耕史, 田口岳志, 日野剛徳, 柴錦春, 西野伸幸: 2 段階処理施工パターンにおける MgO・BB・CaO ハイブリッド式安定処理土の強度発現と間隙構造, 平成 20 年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集, CD-ROM, p.557-558, 2009.

田口岳志, 日野剛徳, 山中寿朗, 三浦友規子, 山北耕史: マグネシウム系固化材を用いた浚渫改良土の溶出特性, 土木学会第 63 回年次学術講演会講演概要集, CD-ROM, pp.749-750, 2008.

山北耕史, 田口岳志, 日野剛徳, 三浦友規子, 山中寿朗: 固化～破碎プロセスにおける浚渫改良土の一軸圧縮・コーン指数・溶出特性について, 土木学会第 63 回年次学術講演会講演概要集, CD-ROM, pp.347-348, 2008.

三浦友規子, 田口岳志, 日野剛徳, 柴錦春, 山中寿朗: 有明海北岸低平地における浮泥・底泥を用いた安定処理土の溶出特性に関する研究, 土木学会第 63 回年次学術講演会講演概要集, CD-ROM, pp.751-752, 2008.

田口岳志, 日野剛徳, 三浦友規子, 柴錦

春: 有明海北岸低平地における安定処理土の微視的土構造の評価, 第 43 回地盤工学研究発表会平成 20 年度発表講演集, CD-ROM, pp.703-704, 2008.

三浦友規子, 田口岳志, 日野剛徳, 柴錦春, 山中寿朗, 西野伸幸: 有明海北岸低平地における浮泥・底泥の安定処理に伴う酸化マグネシウムの適用, 第 43 回地盤工学研究発表会平成 20 年度発表講演集, CD-ROM, pp.2063-2064, 2008.

山北耕史, 田口岳志, 日野剛徳, 柴錦春: 固化～破碎プロセスを考慮した浚渫改良土の一軸圧縮・コーン指数・締固め特性について, 第 43 回地盤工学研究発表会平成 20 年度発表講演集, CD-ROM, pp.701-702, 2008.

田口岳志, 日野剛徳, 柴錦春, 山中寿朗, 西野伸幸, 三浦友規子: 水銀圧入型ポロシメーターを用いた浚渫安定処理土の品質管理手法の検討, 平成 19 年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集, CD-ROM, pp.403-404, 2008.

三浦友規子, 田口岳志, 日野剛徳: 佐賀低平地における酸化マグネシウムを用いた浮泥・底泥の安定処理特性と溶出特性に関する基礎的研究, 平成 19 年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集, CD-ROM, pp.447-448, 2008.

山北耕史, 田口岳志, 日野剛徳, 柴錦春, 三浦友規子: 破碎の有無を伴う浚渫改良土の一軸圧縮・締固め特性について, 平成 19 年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集, CD-ROM, pp.401-402, 2008.

[図書](計 0件)

[産業財産権]

出願状況(計 0件)

取得状況(計 0件)

[その他]

6. 研究組織

(1) 研究代表者

日野 剛徳 (HINO TAKENORI)
佐賀大学・低平地研究センター・
准教授
研究者番号: 20295033

(2) 研究分担者

田口 岳志 (TAGUCHI TAKESHI)
佐賀大学・低平地研究センター・
研究機関研究員
研究者番号: 00452839

(3) 連携研究者

なし