

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 18 日現在

機関番号：17201

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2012～2014

課題番号：24656288

研究課題名(和文)セメント・石灰による改良粘性土の工学的性質における微生物の影響

研究課題名(英文)Effect of microbial on the engineering properties of cement/lime treated clays

研究代表者

柴 錦春 (Chai, Jinchun)

佐賀大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：20284614

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：ナタ豆由来ウレアーゼ菌の代謝活動によりCaCO₃の析出促進、粘性土の強度増強の効果を実験的に検討した。蒸留水にナタ豆粉末、尿素、CaCl₂を同時に混ぜることを方法1、先にナタ豆粉末と尿素を混合し、微生物の活動が活発になってから、CaCl₂を混合することを方法2とする。方法2の溶液中のCaCO₃の析出率(実際の析出量と理論上の析出量の比)は方法1のよりかなり高かったが、析出したCaCO₃は塊にならず粉末になった。方法1の溶液の場合、CaCO₃の析出量が高いほど、改良した粘性土の強度が高かった。しかし、方法2の溶液の場合、CaCO₃の析出量と改良した粘性土の強度の間に相関関係は認められなかった。

研究成果の概要(英文)：The effect of urease (from the powder of sword bean) induced precipitation of CaCO₃ and therefore, the increase of undrained shear strength (su) of clayey soils has been investigated experimentally. Define mixing urease, urea and CaCl₂ into distilled water at the same time as Method-1; mixing the urease and urea first, and when the metabolic activity of the urease animated, then adding CaCl₂ as Method-2. The test results indicate that the Method-2 had a higher CaCO₃ precipitation ratio (amount of precipitated divided by the theoretical value). However, the CaCO₃ crystal of the Method-2 was in powder form, while lumps for the Method-1. As for the value of su of the improved clayey soils, in case of the Method-1, the higher the amount of CaCO₃ precipitation, the higher the value of su. While in case of the Method-2 there is no such clear relationship.

研究分野：地盤工学

キーワード：ウレアーゼ 炭酸カルシウム 粘性土 せん断強度

1. 研究開始当初の背景

一部の微生物の代謝活動は、地盤中にセメンテーション効果があるカルサイト (Calcite) と炭酸カルシウム (CaCO_3) 等の生成・沈降を促進し、地盤改良効果がある。

微生物の代謝活動による砂地盤の改良に関する研究、現場応用を盛んに行っているが、粘性土地盤への応用研究が殆どなかった。その原因は粘性土の透水係数が低く、微生物、栄養と塩化カルシウム (CaCl_2) 溶液 (以下バクテリア溶液) が地盤中に浸透しにくいことである。しかし浚渫粘性土、建設発生粘性土にバクテリア溶液を混合し、 CaCO_3 の析出促進により、粘性土の強度を改良することが期待できる。また、他の地盤改良方法、例えばセメント・石灰による改良法と併用し、セメント・石灰のセメンテーション効果を増強する環境を作り出す可能性が十分あると考えられる。

2. 研究の目的

(1) バクテリア溶液を粘性土に混合し、粘性土のせん断強度における改良効果を検討する。

(2) 効率的な改良効果を得るためのバクテリア溶液各成分の濃度、養生条件を明らかにする。

(3) セメント・石灰改良法併用の場合の改良効果を究明する。

3. 研究の方法

主に室内試験によって研究を行う。

(1) ナタ豆粉末からウレアーゼ微生物の培養試験

(2) 微生物の代謝活動による CaCO_3 の析出率 (実際析出量と理論値との比) 試験

(3) 微生物溶液の混合による粘性土の強度増加試験

4. 研究成果

(1) ウレアーゼ微生物とその培養

本研究で使用した尿素分解菌は、ナタ豆由来のウレアーゼである。ウレアーゼの培養については、白ナタ豆を粉碎後に脱脂処理した“ナタ豆粉末”を使用した。ウレアーゼの代謝によって尿素は NH_4^+ と CO_3^{2-} に分解される。つまり、ウレアーゼの培養状況は、生成された NH_4^+ の濃度を測定することで間接的に確認できる。図-1 に尿素 1.0 mol/l とナタ豆粉末 1.0 g/l, 2.0 g/l, 0.5 g/l をそれぞれ混合した場合の NH_4^+ 濃度の経時変化を示す。ウレアーゼの代謝・繁殖活動は、約 2~3 週間程度でピークを示し、その後減少していることがわかる。これは、培養開始直後は、栄養塩としての尿素を分解しながら 2~3 週間はウレアーゼが順調に増殖し、その後は混合した尿素量の減少や NH_4^+ 等の塩類の濃度増加に伴ってウレアーゼが減少したためと考えられる。

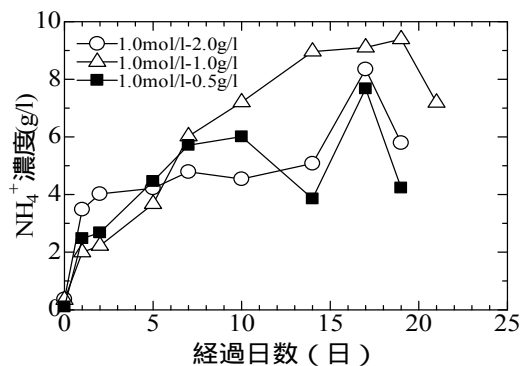


図-1 溶液の NH_4^+ 濃度変化

(2) 炭酸カルシウムの析出

二つの方法でバクテリア溶液を作って、試験を実施した。方法 1 は蒸留水にナタ豆粉末、尿素と CaCl_2 を同時に混合し、3 週間養生して、 CaCO_3 の析出量を測定した。方法 2 はまず蒸留水にナタ豆粉末と尿素を混合し、2 週間養生してから CaCl_2 を入れる。その後さらに 3 週間養生して、 CaCO_3 の析出量を測定した。すべてのケースに用いたナタ豆粉末の量は 0.4 g/l であったが、尿素と CaCl_2 の濃度を 0.1 ~ 1.6 mol/l に変化させた。その結果は図-2 に示す。析出率 (η) は以下の式で計算する。

$$\eta =$$

$$\frac{\text{析出したCaCO}_3\text{の質量}}{\text{溶液中のCa}^{2+}\text{がすべてCaCO}_3\text{になった場合の質量}}$$

図-2 から方法2の析出率が高かったことがはっきり見てとれる。その理由について、明らかにしていないところがあるが、溶液中の塩類（特に CaCl_2 ）濃度が高くなること、微生物の繁殖に不利な影響を与えたと考えられる。また、尿素と CaCl_2 の濃度が 0.1mol/l の場合、両方法の析出率は、ほぼ同じである。さらに方法1の場合、析出率最大になる尿素と CaCl_2 の濃度が存在していることが分かる。また、方法1と2の CaCO_3 の結晶の形状が異なった。方法1の析出した CaCO_3 は結晶し、塊になったが、方法2の場合、 CaCO_3 の粉末になった。方法2の場合、微生物の代謝は活発な状態で CaCl_2 を入れたので、急に CaCO_3 の結晶が多く形成され、お互いに結合せず、粉末状になったと考えられる。

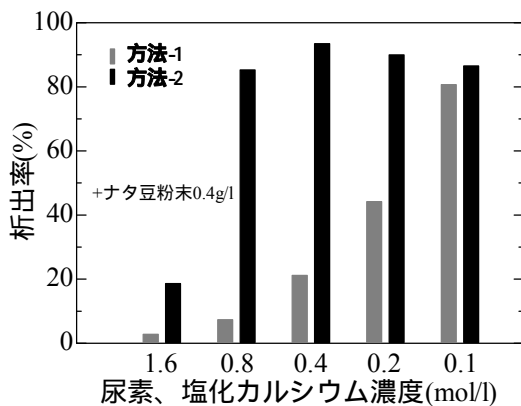


図-2 CaCO_3 の析出率の比較

(3) 粘性土の強度増加に関する検討

まず、内径 100 mm、高さ 150 mm のモールドを用いて、粘性土に方法1のバクテリア溶液を混合することにより、強度増加ができるかを実験により確認した。初期含水比約 140%の有明粘土に 蒸留水； 1mol/l の CaCl_2 溶液； 尿素、 CaCl_2 の濃

度 1mol/l 、ナタ豆粉末 0.5g/l のバクテリア溶液をそれぞれ入れ、最終含水比が 200%になる供試体を作成した。3 週間養生後、室内ベーン（直径 20mm、高さ 40mm）せん断試験により、その非排水せん断強度 (s_u) を測定した。結果は図-3 に示す。含水比が高かったので、絶対の s_u 値は低い、バクテリア溶液を混合したケースの s_u 値は一番高かったことが分かる。

次に尿素と CaCl_2 の濃度を变化させて、有明粘土供試体の s_u の変化を検討した。この場合、尿素と CaCl_2 の濃度、含水比 200%での間隙水全体の量に対して調整したものである。バクテリア溶液の製作方法については前述の方法1であった。すべてのケースで使用したナタ豆粉末は 0.4g/l （全間隙水に対する）であった。試験結果は図-4 に示す。同じ濃度のバクテリア溶液について CaCO_3 の析出量も図中に示している。粘性土の s_u 値は CaCO_3 の析出量に相関していることが分かる。

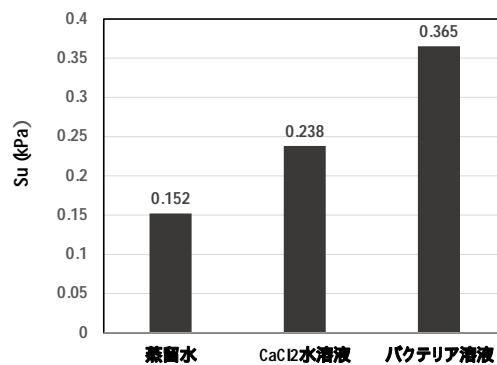


図-3 非排水せん断強度の比較

さらに前述の方法2で、バクテリア溶液を製作し実験を行った。この場合、粘性土の s_u 値と CaCO_3 の析出量との相関関係は認められなかった。その原因について、粘性土の強度増加に、 CaCO_3 の量だけではなく、 CaCO_3 の結晶形状も影響を及ぼしていると考えられる。方法2の場合、析出した CaCO_3 は粉末状なので、粘土粒子クラ

スター間の結合の増強につながったと推測する。そして、尿素分解菌の CaCO_3 の析出促進効果を利用して、粘性土の強度を増強する場合、 CaCO_3 の析出率（量）とその結晶状態を総合的に考慮して、各成分の混合量、混合時期を決める必要がある。

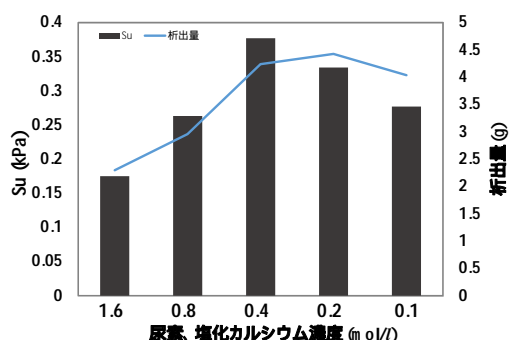


図-4 CaCO_3 析出量と s_u 値の関係

(4) 微生物作用とセメント・石灰混合処理併用について

セメント、石灰で混合処理した有明粘土を用いて直径 50 mm、高さ 100 mm の一軸圧縮試験の供試体を作成し、蒸留水、

バクテリア溶液中にそれぞれ入れ、4 週間養生してから、一軸圧縮試験を行った。バクテリア溶液中に養生したものの一軸強度は低かった。尿素はセメント、石灰のセメンテーションの発生を遅らせる添加材として、コンクリート工学の分野で使用している。バクテリア溶液中の尿素の存在により、セメント、石灰改良粘性土の強度増加率が低かったことが分かった。つまり同時にセメント、石灰の改良効果と微生物の作用効果を利用することは期待できないことを明らかにした。

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 0 件)

〔学会発表〕(計 2 件)

船戸翔平、根上武仁、柴 錦春、微生物による粘性土の強度増加に関する研究、平成

25 年度土木学会西部支部研究発表会、2014 年 03 月 08 日、福岡、pp. 403-404.

船戸翔平、根上武仁、柴 錦春、微生物の炭酸カルシウム析出促進効果による粘性土の強度増加、平成 26 年度土木学会西部支部研究発表会、2015 年 03 月 07 日、沖縄、III-42、pp. 335-336.

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕
出願状況(計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

取得状況(計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

柴 錦春 (Chai, Jinchun)
佐賀大学・大学院工学系研究科・教授
研究者番号：20284614

(2) 研究分担者

日野 剛徳 (Hino, Takenori)
佐賀大学・低平地沿岸海域研究センター・教授
研究者番号：20295033

(3) 連携研究者

()

研究者番号：