

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 5 月 31 日現在

機関番号：32644

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2010～2012

課題番号：22560498

研究課題名（和文）

マイクロバイアルセメンテーションに関する研究

研究課題名（英文）

Study on Microbial Cementation

研究代表者

福江正治（FUKUE MASAHARU）

東海大学・海洋学部・教授

研究者番号：40119699

研究成果の概要（和文）：

室内試験および現場試験によって、微生物によって尿素の加水分解を起こし、それに金属イオン（Ca および Mg イオン）を反応させて炭酸塩を生成させ、それによって土粒子を結合させることができた。

簡易動的コーン貫入試験などの原位置試験や一軸および三軸圧縮試験、および繰返し三軸圧縮試験により砂の固結度を調べた。これらの試験・測定結果から、固結砂の強度は液材の注入回数が多いほど、また炭酸塩含有量が高いほど高いことが分かった。

研究成果の概要（英文）：

Soil particles were cemented using bacteria, urea,  $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{MgCl}_2$  and buffer materials. The stiffness of the cemented sand column was measured with various instruments and tests, such as dynamic small cone penetration test, measurements of surface wave velocity, unconfined compression test, cyclic loading triaxial compression test, etc. The results showed that the stiffness was increased with increasing of carbonate content.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010 年度	900,000	270,000	1,170,000
2011 年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2012 年度	1,200,000	360,000	1,560,000
年度			
年度			
総計	3,200,000	960,000	4,160,000

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：地盤改良 地盤防災 地盤固化技術

### 1. 研究開始当初の背景

1990 年ころから、海成土の強度と炭酸塩含有量との相関性について調べており、炭酸塩が土のセメンテーションの原因であると考えていた。また、自然界では有機物を微生物が分解することで、炭酸塩が生成することもわかっていた。そこで、有機物である尿素の加水分解酵素を産生する微生物を探した。当初は、単離した微生物を用いて炭酸塩の結晶

を生成するまでが可能であった。

### 2. 研究の目的

尿素の加水分解酵素を産生する微生物を利用して、土の中で炭酸塩を生成させ、それをバインダーとして土の岩石化技術を確立することを目的とした。室内試験および現場実験によって、土を固化するための最適方法を検討した。

### 3. 研究の方法

- (1) 室内実験で固化の状況について調べる。
- (2) 固化させた試料から供試体を作製し、強度を調べるための試験を行う。
- (3) 現場において盛土地盤を作製し、その中に液材を注入して出来形および固化強度を調べる。

### 4. 研究成果

微生物に尿素の加水分解を起こさせ、それに金属イオン(CaおよびMgイオン)を反応させて炭酸塩を生成させ、土粒子を結合させることにより、地盤の続成作用と同じ作用を促進させることを実証した。すなわち、砂岩が形成する過程を人為的に作り、極めて短期間に土を岩石化する実証試験を行った。まず、培養液と反応液の混合液を用いて砂の浸透特性および固化状況を土槽実験から調べた。

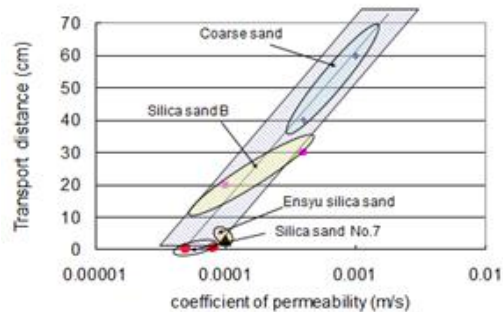


図1 土の透水係数とバクテリア移動距離の関係

その結果、微生物の浸透特性は土の透水性および浸透速度によって変わること、その特性によって固結領域が異なることが分かった。そこで、透水性の異なる砂試料を用いて一次元浸透における微生物の到達距離を固結領域から推定した(図1)。これから、粗砂、中砂および細砂におけるおおよその微生物の浸透特性が把握できた。次に土槽実験で微生物と反応液を混合した液材の注入実験を実施した。この実験では、砂の粒径、砂の厚さ、浸透速度、注入管の太さ等が浸透域と固結領域に与える影響を調べた。これらについては、飽和砂と乾燥砂に分けて、それぞれ国際会議で研究発表を行った。



図2 現場実験において固化された砂円柱

平成24年10月～11月にかけて、現場実証試験を行った。静岡市安倍川河川敷に砂盛土(高さ1.2m)を作製し、その天端中央から注入管を用いて液材を注入して、砂の固結状況を調べた(図2)。

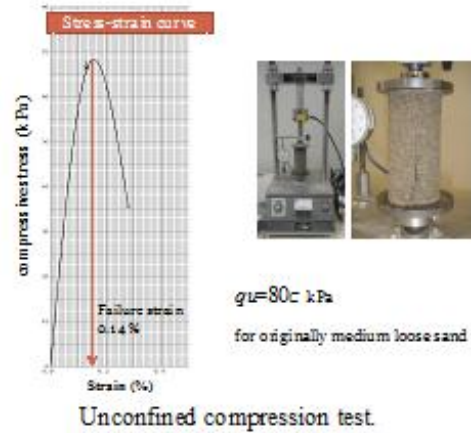


図3 一軸圧縮試験の例

原位置試験として簡易動的コーン貫入試験、表面波速度測定、山中式土壌硬度計による測定を行った。また、サンプリングした固結砂については、一軸および三軸圧縮試験、および繰返し三軸圧縮試験により砂の固結度の影響を調べた。これらの試験・測定結果から、固結砂の強度は液材の注入回数が多いほど、また炭酸塩含有量が高いほど高いことが分かった。たとえば、砂の炭酸塩含有量を1%増やすことにより、一軸圧縮強さは約80kPa増大した(図3)。また、液状化強度は炭酸塩含有量が0.52%増えた場合、繰返し応力比は約2倍になった。

地盤改良の材料として本研究で開発した技術が使用できることが分かった。

### 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2件)

- ① 福江正治・小野信一・佐藤義夫・坂本泉：ウレアーゼ産生微生物による炭酸塩粒子の成長、地盤工学ジャーナル、2011, Vol.6, No.3, 455-464. (査読付).

[http://www.jiban.or.jp/index.php?option=com\\_content&view=article&id=123&Itemid=74](http://www.jiban.or.jp/index.php?option=com_content&view=article&id=123&Itemid=74)

- ② Fukue, M., Ono, S., Sato, Y. Cementation of sands due to Microbiologically-induced Carbonate, Soils and Foundations, 51-1, 2011, pp.83-93, (査読付).

[http://www.jiban.or.jp/index.php?option=com\\_content&view=article&id=122&Itemid=73](http://www.jiban.or.jp/index.php?option=com_content&view=article&id=122&Itemid=73)

[学会発表] (計7件)

- ① Fukue, M., Abe, S., Jitsukata, N., Takahashi,

R., Shibata, T., Fujimori, Y., 30th Danubia-Adria Symposium on Advances in Experimental Mechanics, DANUBIA-ADRIA, CROATIA, Sept. 25-28, 2013 (submitted).

- ② Fukue, M., Jitsukata, N., Mulligan, C. N., Lechowicz, Z., Tsukamoto, M., Takahashi, R., Soft soil engineering using artificial diagenesis, Proceedings of the first International Conference on Foundation and Soft Ground Engineering Challenges in Mekong Delta, Binh Duong, Vietnam, June 5-6, 2013, (Accepted).
- ③ Fukue, M., Ono, S., Sato, Y., Sakamaoto, I., Iwata, T., Mulligan, C.N., Microbial cementation of dry sands by injecting microbes and chemical agents, Proceedings of 3rd International Conference on Advances in Biotechnology, Global Science and Technology Forum, 17-22, Singapore, March 18-19, 2013.
- ④ Fukue, M., Ono, S., Sato, Y. Sakamoto, I., and Iwata, T., A transport technique of microbes for soil improvement using microbial precipitation of carbonates, Proceedings of 15<sup>th</sup> International Conference on Experimental Mechanics, pp.1-14, Port, Portugal, July, 22-27, 2012.
- ⑤ Fukue, M., Ono, S., Sato, Y. and Takahashi, R., Application of microbial carbonation to agglomeration in suspension-flocculation, Proceedings of 5th International Granular Workshop, Nestle and the University of Sheffield, Lausanne, Swiss, June 20-21, 2011.
- ⑥ 福江正治・小野信一・佐藤義夫・高橋理恵：カルサイト結晶成長を利用する懸濁粒子の処理技術の検討,第46回地盤工学研究発表会,2063-2064,神戸市,7月5～7日, 2011.
- ⑦ 實方規晃・福江正治・小野信一・佐藤義夫：マイクロバイアル・セメント工法の現場実験,第46回地盤工学研究発表会,895-896,神戸市,7月5～7日,2011.

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

福江正治 (FUKUE MASAHARU)

東海大学・海洋学部・教授

研究者番号：40119699