

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 28 日現在

機関番号：92604

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26289198

研究課題名(和文) 微生物代謝を利用した既存建物直下地盤の液状化対策の開発

研究課題名(英文) Development of liquefied soil improvement method under existing building using microbial ureolysis

研究代表者

鈴木 康嗣 (SUZUKI, Yasutsugu)

鹿島建設株式会社(技術研究所)・その他部局等・グループ長

研究者番号：70416767

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 10,500,000円

研究成果の概要(和文)：既存建物直下地盤の液状化対策として、地下水の流れを利用して既存建物直下地盤に「カルシウム源と餌」を注入し、土壌に実在する微生物の代謝を利用して析出させた炭酸カルシウムで地盤を固化する工法の実用化を目指す。北海道から九州までの10箇所以上の砂地盤から採取した土壌微生物を用い、改良液の注入回数・間隔、養生期間・温度等による液状化強度の違いを明らかにした。模型注入試験により改良液は地下水を押しよけて拡がること、注排水で拡散可能なことを明らかにした。原位置地盤に改良液を注入し、地下水の流れで拡散することを確認した。今後、サンプリング等により原位置液状化強度を確認する予定である。

研究成果の概要(英文)：As a countermeasure for liquefaction of the ground under the existing building, we will inject "calcium source and feed" into the ground under the existing building using the groundwater flow and aim to practical application of the ground improvement method using microbial metabolism living in soils which produces calcium carbonate precipitated. Using microorganisms contained soil collected from more than 10 sandy grounds from Hokkaido to Kyushu, the difference in liquefaction strength due to the number of injections, injection interval, curing period and curing temperature was clarified. The model injection test revealed that the improvement liquid spreads out by pushing out the original groundwater and that the improvement liquid can be diffused by drainage. Improvement liquid was injected in the in situ ground and it was confirmed that the improvement liquid spread with the groundwater flow. In the next study, liquefaction strength will be confirmed by sampling.

研究分野：地盤工学

キーワード：地盤工学 地震 微生物 液状化 地盤改良

1. 研究開始当初の背景

東日本大震災では、液状化により浦安市などの埋立地に建つ戸建て住宅で沈下・傾斜の被害が多数発生した。また、首都圏の加速度がそれほど大きくなかったことから液状化の被害は埋立地の戸建て住宅に限られていたが、より大きな加速度が予測される首都直下地震では、埋立地の戸建て住宅以外の建物でも液状化による甚大な被害が予想されている。液状化対策は、更地で実施することを前提とした工法が多く、既存建物に対する液状化対策は更地で実施される液状化対策に比べてコストが10倍以上かかることがあるため、検討はされても対策をあきらめるケースがほとんどである。そこで、既存建物に対応可能な安価な液状化対策工法の開発が求められている。

2. 研究の目的

既存建物直下地盤の液状化対策として、地中に「カルシウム源と餌」を注入し、地下水の流れを利用して既存建物直下に拡散させ、国内の土壤に実在する微生物の代謝を利用して炭酸カルシウムを析出し、地盤を固化させる地盤改良工法を開発する。

3. 研究の方法

(1) 北海道から九州までの国内10箇所以上の砂地盤から採取した土壤微生物を前培養し、微生物と改良液(塩化カルシウム、尿素、微生物の栄養素等)を相対密度50%の豊浦標準砂に注入し、三軸液状化試験を実施した。また、走査型電子顕微鏡(SEM)による画像解析および元素分析を行った。

(2) 注水単独および注水と排水を組み合わせた手法により、地盤内に改良液がどのように拡散するかを確認するため、室内土槽実験を実施した。

(3) 透水係数が比較的大きく、改良液を注入し易いと考えられる原位置地盤において、改良液の注入孔を1か所、確認のための観測孔を3か所設置し、事前に改良液が拡散することを食塩水で確認するとともに、前培養した土壤微生物と本地盤において最適と考えられる改良液を地中に注入し、固化確認試験を実施した。

4. 研究成果

(1) 東京の砂地盤から採取した土壤微生物を前培養し、微生物と改良液(塩化カルシウム、尿素、微生物の栄養素等)を相対密度50%の豊浦標準砂に注入し、図1に例を示すように注入と養生を繰り返し、三軸液状化試験を実施した。改良液の注入回数による液状化強度の違いを図2に、注入間隔による違いを図3に、養生期間による違いを図4に示す。いずれの実験ケースでも液状化強度は上昇し、各種影響度合いを明らかにすることができた。

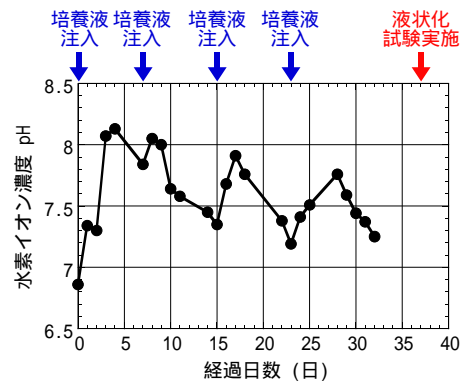


図1 注入間隔と水素イオン濃度測定結果

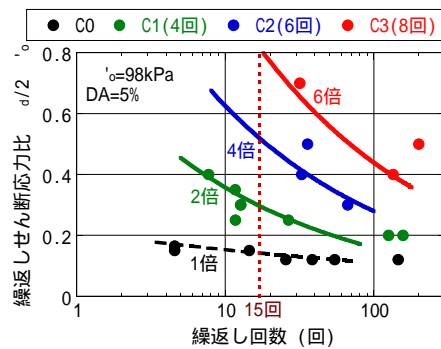


図2 注入回数の違いによる液状化強度

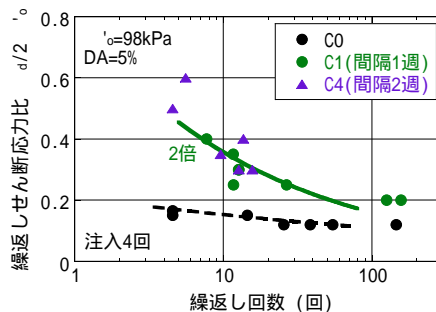


図3 注入間隔の違いによる液状化強度

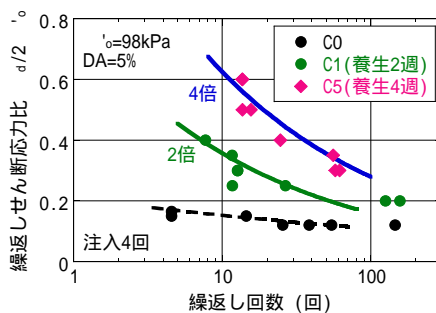


図4 養生期間の違いによる液状化強度

また、各三軸液状化試験に用いた試料の走査型電子顕微鏡(SEM)による画像解析および元素分析結果を図5に示す。図5より、炭酸カルシウム(緑粒子)が一面に析出し、砂粒子を固結している状況を確認するとともに、各種条件によって炭酸カルシウム結晶の析出個数や大きさなどが異なることを明らかにした。

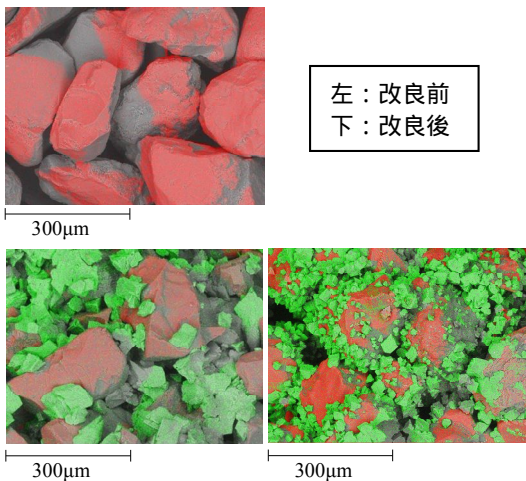


図5 SEMによる画像および元素分析結果
(赤：砂粒子，緑：炭酸カルシウム)

(2) 図6に示す北海道から九州までの国内10箇所以上の砂地盤から採取した土壤微生物を前培養し、微生物と改良液(塩化カルシウム、尿素、微生物の栄養素等)を相対密度50%の豊浦標準砂に注入し、三軸液状化試験を実施した。改良液の配合、栄養素の種類、濃度、注入回数、養生期間、養生温度(図7)、土壤微生物の種類等によって効率は異なるものの、図8に示すようにいずれのケースでも液状化強度が増加することを明らかにした。また、安価な素材による改良液の配合を検討し、コスト試算を行った。



図6 微生物を採取した11地点

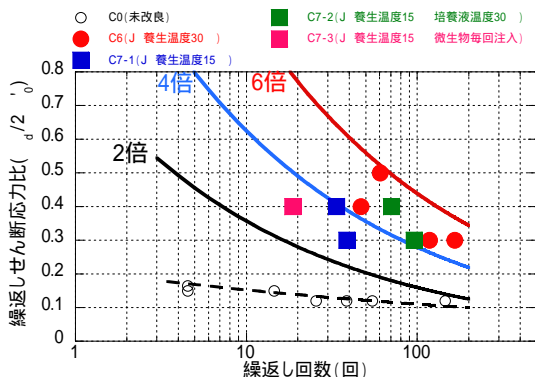


図7 養生温度の違いによる液状化強度

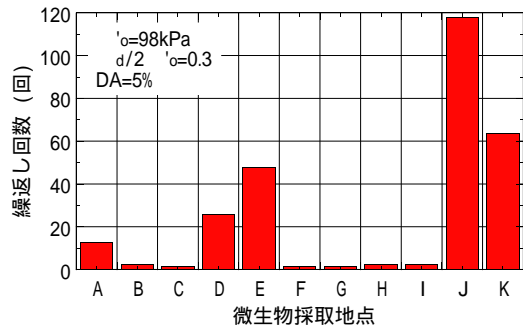


図8 全国の試料による繰り返し回数の比較

(3) 原位置地盤では地下水に流れがあることから、改良液を注入した地中位置にある程度の時間滞留させる必要性が生じた。そこで、上記改良液に粘性を持たせた新たな改良液を考案し、この改良液でも pH が上昇すること、炭酸カルシウムが析出することを確認した。

(4) 全面がアクリル板の土槽中に、粘性土からなる非透水層を2層作製し、その中間砂層に色水を注入する試験(図9)と、注水と排水を組み合わせる試験(図10)を行った。注入試験により色水はほとんど拡散せず、元の水を押し上げて注入されること、注排水試験により色水が横方向に綺麗に移動することを確認した。

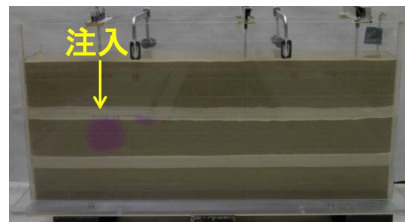


図9 色水注入による拡散状況

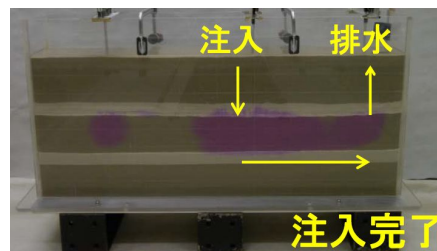


図10 色水注入と排水による拡散状況

(5) 透水係数が比較的大きく、改良液を注入し易いと考えられる原位置地盤において、図11に示すように改良液の注入孔を1か所、確認のための観測孔を3か所設置し、改良液に見立てた食塩水を地中に注入して食塩水がどの程度の時間でどの程度拡散するかを、電気伝導度を測定することで確認した。この結果を踏まえ、改良液注入による本試験(固化確認試験)の実施計画を立案した。

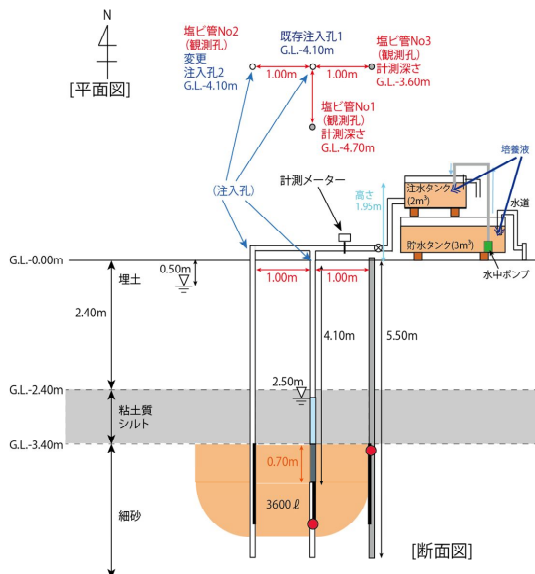


図 11 原位置地盤における注入試験の模式図

(6) 前記の原位置地盤で、前培養した土壤微生物と、本地盤において最適と考えられる改良液を地中に注入し、固化確認試験を実施した。原位置地盤中において、炭酸カルシウムの析出や pH の増加を確認した。しかし、地中の温度では固化に時間がかかるため、サンプリングは実施せず、次の研究で液状化強度を確認する予定である。

(7) まとめ

既存建物直下地盤の液状化対策として、地中に「カルシウム源と餌」を注入し、地下水の流れを利用して既存建物直下に拡散させ、国内の土壤に実在する微生物の代謝を利用して炭酸カルシウムを析出し、地盤を固化させる地盤改良工法を開発する。

北海道から九州までの国内 10 箇所以上の砂地盤から採取した土壤微生物による改良試料の三軸液状化試験や、走査型電子顕微鏡 (SEM) による画像解析および元素分析を行い、様々な条件下でも液状化強度が増加することを明らかにした。

注水と排水を組み合わせた手法により、基礎直下地盤に改良液が拡散するかどうかを確認するための室内土槽実験を実施し、注入により色水はほとんど拡散せずに元の地下水を押し上げて残ることを、注排水により色水が綺麗に移動することを確認した。

原位置地盤において、前培養した土壤微生物と本地盤において最適と考えられる改良液を地中に注入し、固化確認試験を実施した。今後、サンプリングを実施して液状化強度を確認する予定である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 1 件)

鈴木 康嗣, 古山田 耕司, 安達 直人, 秀川 貴彦, 上野 嘉之: 微生物代謝を利用した固化砂地盤の液状化強度評価,

鹿島技術研究所年報, 査読無, 第 67 号, 2015.11, pp.25-30

〔学会発表〕(計 2 件)

安達 直人, 秀川 貴彦, 鈴木 康嗣, 古山田 耕司: 微生物代謝により固化した砂試料の液状化強度, 日本建築学会学術講演梗概集, 構造, 査読無, 2016.8, pp.511-512

古山田 耕司, 鈴木 康嗣, 安達 直人, 秀川 貴彦, 上野 嘉之: 微生物代謝を利用した固化地盤の液状化強度, 第 50 回地盤工学研究発表会, 査読無, 2015.9, pp.1883-1884

〔産業財産権〕

出願状況 (計 1 件)

名称: 地盤改良工法及びプレキャスト地盤の製造方法

発明者: 秀川 貴彦, 安達 直人, 鈴木 康嗣, 櫻井 祐一, 堀井 隆, 浅野 利三郎

権利者: 同上

種類: 特許

番号: 特許願 2016-137485 号

出願年月日: 平成 28 年 7 月 12 日

国内外の別: 国内

6. 研究組織

(1) 研究代表者

鈴木 康嗣 (SUZUKI Yasutsugu)

鹿島建設株式会社技術研究所都市防災環境グループ・グループ長

研究者番号: 70416767

(2) 研究分担者

山木 克則 (YAMAKI Katsunori)

鹿島建設株式会社技術研究所地球環境・バイオグループ・主任研究員

研究者番号: 40399697

(3) 連携研究者

上野 嘉之 (UENO Yoshiyuki)

鹿島建設株式会社技術研究所地球環境・バイオグループ・上席研究員

研究者番号: 60416724

(4) 連携研究者

安達 直人 (ADACHI Naohito)

鹿島建設株式会社技術研究所都市防災環境グループ・上席研究員

研究者番号: 60443701

(5) 連携研究者

古山田 耕司 (KOYAMADA Kohji)

元鹿島建設株式会社技術研究所都市防災環境グループ・上席研究員

研究者番号: 90728312

(6)連携研究者

秀川 貴彦 (HIDEKAWA Takahiko)
鹿島建設株式会社技術研究所都市防災風
環境グループ・研究員
研究者番号：70728310