

原位置微生物を用いた液状化抑制技術の実用化に向けた研究

富山県立大学 学生会員 ○松林 達也
 同上 学生会員 伊藤 留寿都
 同上 正会員 畠 俊郎

1. はじめに

1964年の新潟地震により、日本において液状化現象が広く認知されるようになった。東日本大震災や熊本地震においても液状化現象が確認されるとともに、甚大な被害を受けた。日本では今後もこのような巨大地震が発生する可能性が高く、新たな液状化対策技術が必要とされている。本研究では従来技術より安価であるとともに、温室効果ガス排出量が少なく環境負荷低減が期待される微生物の代謝機能を利用した固化工法による地盤改良技術に着目した。本文では、ウレアーゼ活性を有する原位置微生物を用いた固化工法に着目し、室内試験の結果をもとにその有効性について考察した結果を報告する。

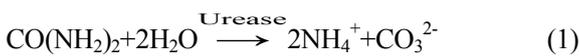
2. 目的

微生物の代謝機能を利用した地盤改良技術の実用化においては、環境影響などの観点から外部から微生物を持ち込むことは困難と考えられる。そこで、本研究では国内の土壤中にすでに生息しているウレアーゼ活性を持つ微生物に着目し、国内で採取した土壌由来の原位置由来により固化した供試体を用いた土の繰返し非排水三軸試験を行い、液状化対策技術としての有効性を明らかにすることとした。あわせて、微生物の生息環境の違いが液状化強度増進効果与える影響の検証を目的とし、日本の北端として北海道網走市、南端として沖縄県のマングローブ林、日本海側として富山県射水市新湊で採取した土壌由来の微生物を対象とすることにした。

3. 方法

ウレアーゼとは尿素を加水分解して二酸化炭素とアンモニアを生成する酵素である。微生物のウレアーゼ活性を利用し、人為的に添加した固化溶液から炭酸カルシウムを析出させることで砂粒子同士の結合を強めることができる。この際の化学反応式を式(1)および(2)に示す。

(尿素の加水分解)



(炭酸カルシウム析出)



本試験の手順を図-1に示す。各地点より採取した土壌中からウレアーゼ活性を持つ微生物を単離し、ウレアーゼ活性値を測定した。結果を表-1に示す。その後、供試体を作成し土の繰返し非排水三軸試験を行った。供試体の作成条件を表-2に示す。プラスチックモー

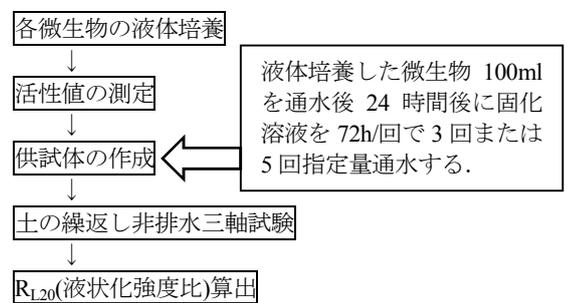


図-1 本試験の手順

表-1 微生物と活性値

採取地名	ウレアーゼ活性値
網走	28U/L
新湊	74U/L
マングローブ	15U/L

表-2 供試体作成条件

砂種	豊浦砂
砂量	300g
固化溶液通水回数	3回または5回
D _r (相対密度)	50%程度
固化溶液通水量	100ml/回
通水間隔	3日間

表-3 固化溶液組成

試薬名	容量
Nutrient Broth	3.00g
NH ₄ Cl	10.0g
NaHCO ₃	2.12g
CO(NH ₂) ₂	18.02g
CaCl ₂	33.29g
純水	1000ml

ルドを用い豊浦砂 300g を $D_f=50\%$ 程度を目標に作成した。試験時に供試体を整形し、供試体のサイズを $d=50\text{mm}$, $h=90\text{mm}$ 前後とした。固化溶液は表-3 に示す通り、尿素と塩化カルシウムの濃度を 0.3mol/L とした。土の繰返し非排水三軸試験後、繰返し応力振幅比と両振幅軸ひずみが 5%における繰返し载荷回数を求め、各供試体の液状化強度曲線を作成した。各微生物において3回通水及び5回通水した供試体を作成し、液状化強度を比較した。試験終了後に 0.5mol/L の塩酸を用いて酸分解を行い、各供試体に析出した炭酸カルシウムの量を算出した。

4. 研究結果

各供試体の液状化強度曲線を図-2 に示す。固化前の豊浦砂を純水のみで飽和させた供試体に比べ、すべての供試体で液状化強度の改善が見られた。なお、本試験では繰返し载荷回数 20 回で繰返し振幅応力比が 0.3 以上であれば十分な液状化抑制効果を得られたと判断している。この場合、図-2 より3回通水の供試体では0.3に近い値となったが十分な効果が得られたとは言えない結果となった。5回通水で作成した供試体については、目標を超える液状化強度が得られたが、新湊よりウレアーゼ活性値が低いマングローブと網走の液状化強度が高くなる傾向が認められた。表-4 より炭酸カルシウムの析出量に大きな差は認められないため、微生物の種類によって炭酸カルシウムの析出の形状等に違いがあることや、マングローブや網走と比較し、新港について供試体内部の環境が原位置由来の微生物生育に適していなかったこと等が考えられる。表-4 より固化溶液を通水した供試体は、豊浦砂のみで作成した供試体と比較して炭酸カルシウムの析出率が高くなることで乾燥密度も上昇する傾向が認められた。以上の結果から、供試体内の間隙中において、豊浦砂表面に炭酸カルシウムの結晶が析出することで結果的に土粒子の密度が増加したと推察される。今回行った全ての試験ケースについて乾燥密度と繰返し応力振幅比の関係を図-3 に示す。繰返し载荷回数20回における繰返し振幅応力比と乾燥密度の関係を示しており、繰返し振幅応力比が 0.3 以上を満たすためには乾燥密度として 1.51g/cm^2 以上の値が必要であることが分かった。この条件を満たすためには、炭酸カルシウム析出率が 2%以上必要であることが計算結果からも明らかとなった。

5. 今後の展望

本試験では微生物固化処理が液状化強度に与える影響を明らかにすることを目的として固化溶液の数水回数 3 回及び 5 回とした室内試験を実施した。図-2 に示し結果より、通水回数 4 回の供試体で目標とする液状化強度改善効果が得られると予想される。固化溶液の通水回数を抑えることができれば施工にかかる費用の削減効果も期待されるため、通水回数 4 回で炭酸カルシウム析出率が 3 回及び 5 回通水の間となる 3%以上を目標値とした同様の試験を行い、新しい液状化対策技術としての有効性を検証していく計画である。

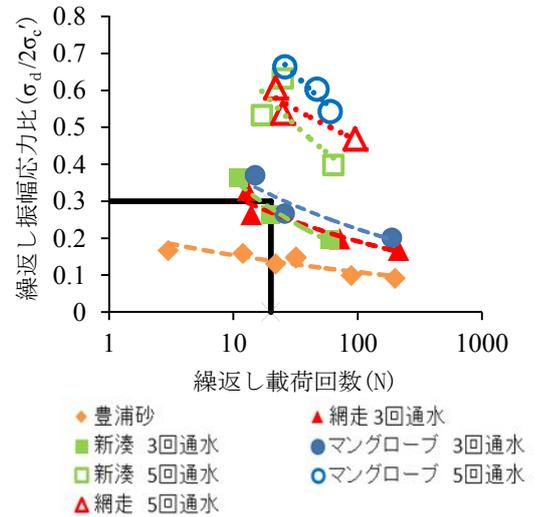


図-2 液状化強度の比較

表-4 炭酸カルシウム析出率と乾燥密度

供試体種類	析出率 (%)	乾燥密度 (g/cm ³)
豊浦砂のみ	0	1.44
網走 3回通水	2.00	1.53
新湊 3回通水	2.33	1.52
マングローブ 3回通水	2.38	1.53
網走 5回通水	4.00	1.54
新湊 5回通水	4.04	1.54
マングローブ 5回通水	3.98	1.57

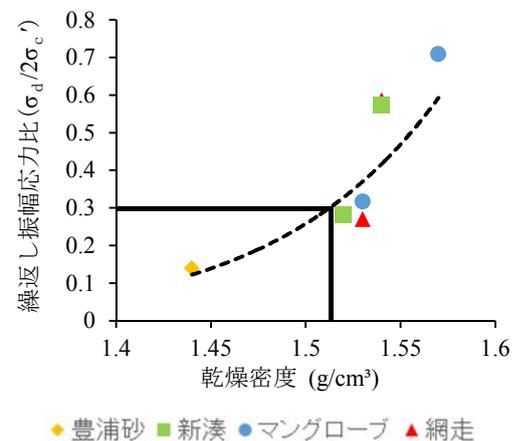


図-3 乾燥密度と RL20 の関係