

広島大学大学院工学研究科 学生会員 ○原 弘

広島大学大学院工学研究科 国際会員 加納 誠二

広島大学大学院工学研究科 国際会員 土田 孝

1.はじめに

軟弱な地盤に対するさまざまな地盤改良工法が提案され、実際に数多く施工されている。しかし、それらは人工的に改良を加えるため、自然地盤環境を変化させ、環境に対して悪影響を及ぼすかもしれない。そこで新たな地盤改良工法の1つとして、自然由来の微生物による地盤改良工法が2007年に Jason. De Jong らにより提案されている。この工法は、微生物の作用によって土の間隙中に炭酸カルシウムを生成させることで、土粒子同士を結びつけ地盤の強度増加を図るものである。図-1は微生物を用いて改良した土試料内の土粒子のSEM画像とそれをX線組成分析したものである。この工法を実用化するためには未だ検討すべき課題も多く、さまざまな面からこの工法の適用性を検討する必要がある。本研究では、菌種の違い

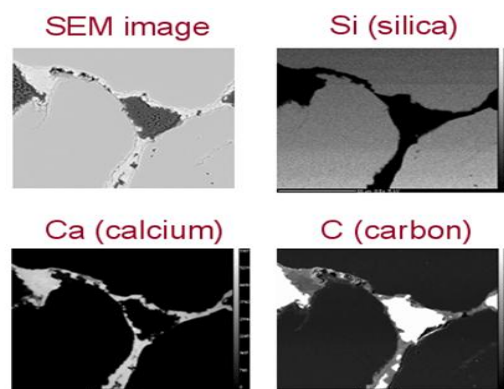


図-1 X線組成分析¹⁾

によって改良効果に違いが表れるのかを検討するために2種類の異なる菌を使ってビーカー試験を行った。また、土試料による改良効果への影響を検討するために、相対密度を変えた豊浦砂を用いた繰り返し三軸試験を行った。

2.ビーカー試験

ビーカー試験では、土試料を改良する際に注入する溶液（以下、Injection溶液）に菌を混ぜ、その後の経過時間とpHの変動を調べ菌による反応速度の違いについて検討することを目的としている。これは、pHの値が炭酸カルシウムの沈殿に大きく関係しているからであり、炭酸カルシウムはpHが8.5～9.3の間にある時沈殿するとされている²⁾。Injection溶液は尿素、塩化アンモニウム、炭酸水素ナトリウム、Difco Nutrient Brothから構成されている。

図-2に実験結果を示す。何も混入していない

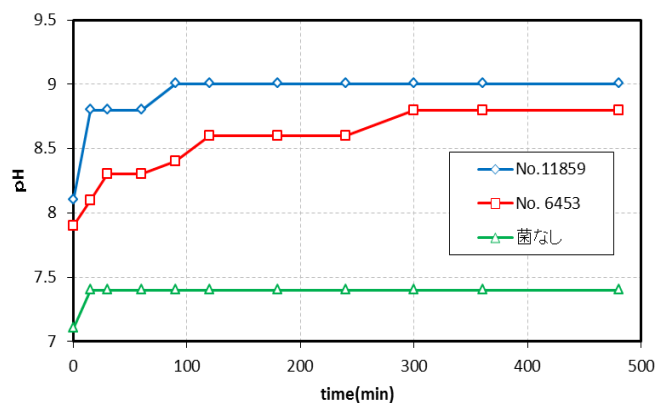


図-2 pHの経時変化

Injection溶液のpHは約7.1である。そこに菌を混入すると、図-3を見てわかるようNo.11859もNo.6453もpH8付近を示している。これは、菌を混入すると即反応が始まりpHの上昇が起こっているためである。今回の結果において、菌を入れていない場合ではほとんどpHの上昇は起こっていない。菌を混入した場合には最終的にはNo.11859もNo.6453もpH9付近の値になっている。pHが9付近になるのにNo.11859は約90分、No.6453は約300分かかっており、No.11859が約3倍の反応速度となっている。このことから、No.11859の方が尿素を分解する速度が早いことがわかったので、以下に示す三軸試験の供試体改良の際にはより反応の早いNo.11859の菌を

使用することにした。

3. 繰り返し三軸試験

供試体の改良法について説明する。まず、土試料をアクリル製のモールドに所定の相対密度になるように空中落下法で詰める。つぎに、Injection 溶液に菌（ここでは反応速度の速い No.11859）を加える（菌は Injection 溶液 100ml に対して 15ml で濃度は $1.7 \times 10^7 \text{cell/ml}$ ）。できた溶液を土試料を詰めたモールドの上から流し込み土試料内を自然流下させる（図-3）。6 時間後、次は Injection 溶液に塩化カルシウムを加えた液を試料に流す。これも同様に間隙の体積の 2 倍程度流し、これを 3(～12)時間おきに 15 回繰り返す。改良中は常に試料は飽和状態にしておく。改良後、試料と凍結させモールドから取り出す。その後、供試体の端面を整え三軸試験機にセットし JGS 0542-2009 に従い変形特性を求めるための繰り返し三軸試験を行う。今回は、応力制御の下で有効拘束圧 196kN/m^2 の非排水条件で実験を行った。

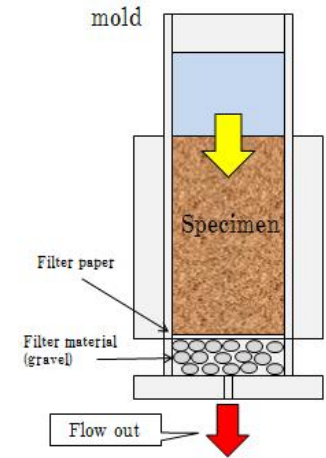


図-3 土試料改良概要

結果を図-4、図-5 に示す。

図-4 は過剰間隙水圧比の経時変化を表しており非改良の豊浦砂 ($Dr=40\%$) のものと改良したものを比べると、改良したものは過剰間隙水圧比の上昇が抑えられており、液状化対策としても効果的な可能性があると考えられる。

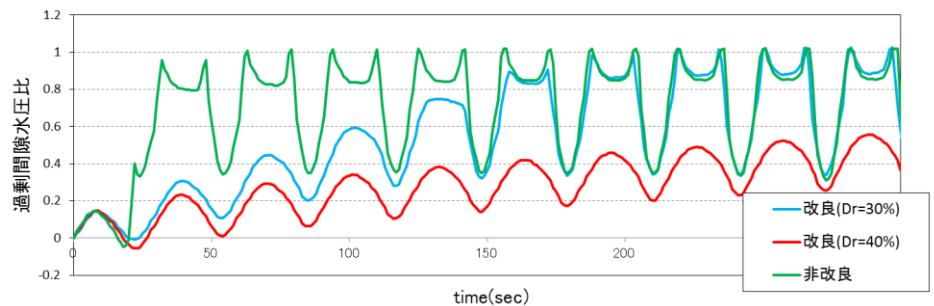


図-4 過剰間隙水圧比の経時変化

図-5 は軸ひずみと等価ヤング率の関係を表している例として黒線が非改良、赤線が改良したものを結んでいる。改良の方が初期強度は低く出ているものの、改良したものと改良していないものとでは異なる挙動を示していることがわかる。改良した試料の方がひずみが大いときに高いヤング率を示しており、大きなひずみにおいて変形抑制効果があると考えられる。相対密度の違いによる改良効果の違いはあまりみられなかった。

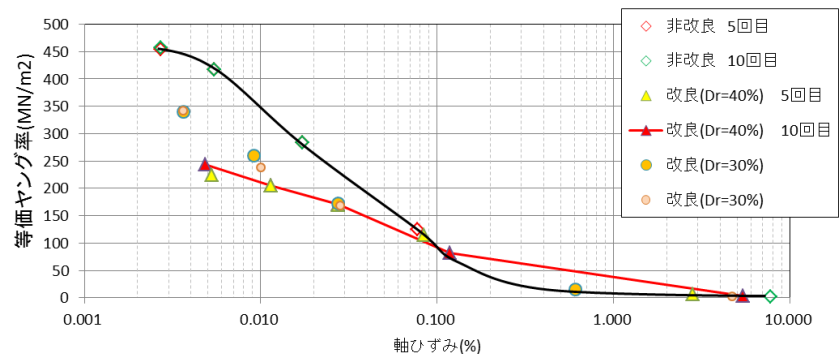


図-5 軸ひずみと等価ヤング率の関係

参考文献：

- 1) Jason T.DeJong ,Brina M.Mortensen , Brian C.Martinez , Douglas C.Nelson : Bio-mediated soil improvement, Ecological Engineering(2009)
- 2) Stocks-Fisher S., Galinat J.K., and Bang S.S. : “Microbiological precipitation of CaCO_3 ”, Soil Biology and Biochemistry,31(11),1563-1571