

微生物代謝によって改良された砂の繰返し三軸強度比と炭酸カルシウム析出量の関係

元土木研究所交流研究員（現川崎地質（株）） 正会員 ○塚本 将康
 （国研）土木研究所 正会員 稲垣由紀子
 （国研）土木研究所 正会員 佐々木哲也
 大阪大学大学院 正会員 小田 和広

1. はじめに

近年、微生物代謝を利用した新しい地盤改良技術が提案され、実用化に向けた研究開発が行われている。この技術によって改良された土の力学特性は、微生物・栄養塩等の添加条件、土の種類・密度の影響を顕著に受けることが知られている。本研究では、液状化対策としての効果を確認する目的で繰返し非排水三軸試験を実施し、繰返し三軸強度比 R_L と炭酸カルシウム析出量の関係について明らかにした。

2. 試験方法

本研究では、試験試料として豊浦砂を用いた。本研究では、まず、筆者らが開発したモールドを使用した試験供試体作成方法に基づき、繰返し三軸試験用供試体を作製した¹⁾。次に、供試体を繰返し三軸試験機に設置後、二重負圧法により脱気蒸留水を通水し飽和させた。その後、有効圧密応力 $\sigma_0'=100\text{kPa}$ で等方圧密した。等方圧密終了後、いずれの供試体も B 値が 0.95 以上であることを確認した。 B 値の確認後、供試体ごとに繰返し応力振幅を変えて、非排水条件で繰返し载荷を行った。なお、軸力をセル内部のロードセル、軸ひずみをセル外部の変位計、セル圧・背圧を水圧計により測定した。繰返し三軸試験の終了後、供試体を炉乾燥させ乾燥質量を測定したのち、供試体に含まれる炭酸カルシウム析出量を、塩酸での炭酸カルシウム分解による質量減少量により求めた。

表-1 は試験ケースを示している。すべてのケースで砂の初期相対密度 Dr は 60%程度に設定した。栄養塩の通水回数を 0, 1, 2, 3 回の 4 パターン設定し固化の程度を変化させた。その結果、計 20 ケースの試験を実施した。なお、表中、炭酸カルシウム析出比とは、豊浦砂のみの質量に対する炭酸カルシウム析出量の割合（以下、 CaCO_3 析出比と記す）である。

3. 試験結果

図-1~4 は各通水回数における両振幅ひずみ $DA=1, 2, 5, 10\%$ に達した時の繰返し载荷回数 N_c と繰返し応力振幅比 $\sigma_d/2\sigma_0'$ の関係を示している。全体として通水回数の増加すなわち固化の進行に伴って、特に N_c の少ない領域において繰返し応力振幅比の増加が顕著に表れているのが分かる。通水 0 回の CaCO_3 無析出のケースと比較して、通水 1 回のケースでは N_c が 20 回未満では繰返し応力振幅比が顕著に増加したが N_c が 20 回以上ではその増加は余り顕著ではなかった。一方、通水 2 回、通水 3 回のケースでは N_c が 20 回を超える範囲においても繰返し応力振幅比が顕著に増加した。なお、通水 3 回のケースでは $DA=5\sim10\%$ に達する前にネッキ

表-1 試験ケース

CASE	砂の初期相対密度 $Dr(\%)$	栄養塩通水回数	炭酸カルシウム析出比(%)	繰返し応力振幅比 $\sigma_d/2\sigma_0'$
N-1	59.6	0	-	0.30
N-2	59.9	0	-	0.24
N-3	59.9	0	-	0.19
N-4	60.1	0	-	0.16
N-5	60.0	0	-	0.16
N-6	59.6	0	-	0.15
P1-1	59.9	1	0.98	0.45
P1-2	59.9	1	1.12	0.34
P1-3	59.7	1	1.12	0.25
P1-4	59.9	1	1.06	0.20
P1-5	59.9	1	1.15	0.18
P1-6	59.8	1	1.00	0.18
P2-1	59.9	2	2.30	0.55
P2-2	60.2	2	2.27	0.45
P2-3	59.7	2	2.41	0.35
P2-4	59.9	2	2.23	0.30
P3-1	60.1	3	3.15	0.71
P3-2	59.9	3	3.24	0.57
P3-3	60.2	3	3.36	0.52
P3-4	59.9	3	3.17	0.50

キーワード 微生物, 地盤改良, 繰返し三軸試験, 液状化

連絡先 〒108-8337 東京都港区三田 2-11-15 川崎地質株式会社 TEL 03-5445-2082

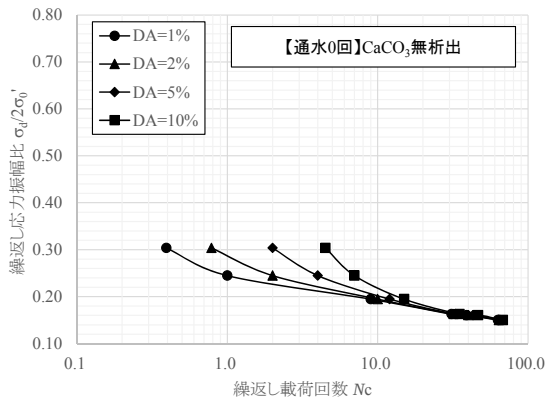


図-1 液状化強度特性 (通水 0 回)

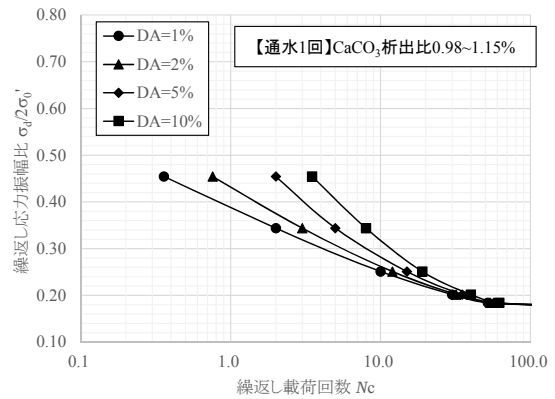


図-2 液状化強度特性 (通水 1 回)

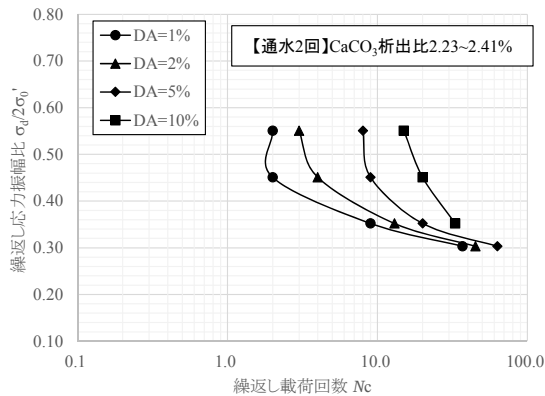


図-3 液状化強度特性 (通水 2 回)

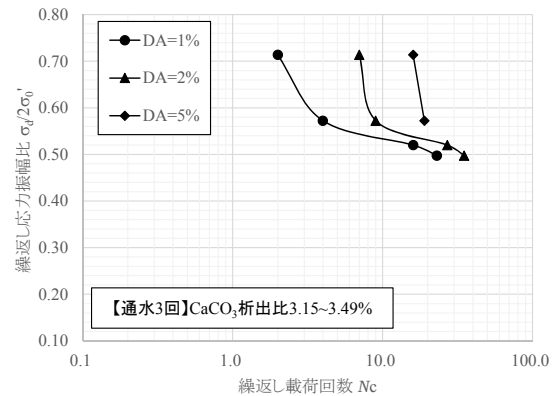


図-4 液状化強度特性 (通水 3 回)

ング破壊を起こしたため、結果を表示していない。

ここで、 N_c が20回で $DA=5\%$ に達した時の繰返し応力振幅比で定義される繰返し三軸強度比 R_L と CaCO_3 析出比の関係を図-5 に示す。なお、通水3回のケースでは $DA=5\%$ の N_c が20回に達していないが、得られた2点の直線をそのまま延長した箇所の値を表示した。図中に示すように CaCO_3 析出比の増加に伴い繰返し三軸強度比 R_L が顕著に増加し、無析出のケースと比較して1回通水では約1.2倍、2回通水では約1.9倍、3回通水では約3倍となった。

なお、通水0回、通水2回のケースの軸ひずみおよび過剰間隙水圧比の時刻歴、有効応力経路の詳細については、稲垣ほか²⁾に示しているので参照されたい。

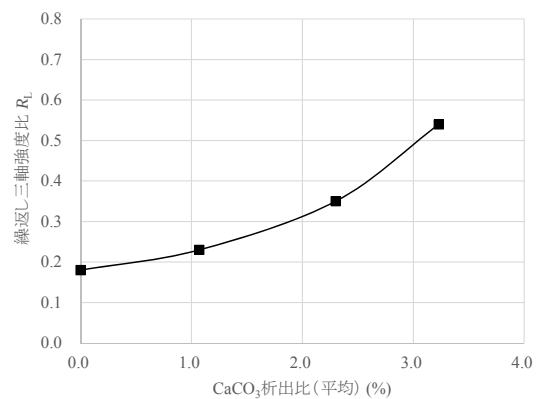
4. まとめ

本研究での主な知見は下記の通りである。

- ①繰返し三軸強度比は CaCO_3 析出比に伴い単調に増加する。
- ②無析出のケースと比較して通水1回 (CaCO_3 析出比約1%) のケースでは繰返し载荷回数 $N_c=20$ 回未満の領域において両振幅ひずみの増加に必要な繰返し応力振幅比が顕著に増加した。
- ③通水2回 (CaCO_3 析出比約2%)、通水3回 (CaCO_3 析出比約3%) のケースでは、 $N_c=20$ 回以上の領域においても両振幅ひずみの増加に必要な繰返し応力振幅比が顕著に増加した。

参考文献

- 1) 塚本将康, 稲垣由紀子, 佐々木哲也, 小田和広: 微生物代謝を利用した砂改良土の三軸試験方法の提案, 地盤工学ジャーナル, Vol. 11, No. 4, pp. 365-375, 2016.
- 2) 稲垣由紀子, 塚本将康, 佐々木哲也, 川崎了: 微生物代謝により固化した砂に関する繰返し非排水三軸試験, 第49回地盤工学研究発表会, pp. 605-606, 2014.

図-5 CaCO_3 析出比と R_L の関係