

植物由来酵素による炭酸カルシウム改良砂の均質な供試体作製と液状化強度の評価

名城大学 学生会員 ○下里 咲瑛
 名城大学大学院 学生会員 山下 隼史
 名城大学 正会員 小高 猛司
 矢作建設工業株式会社 正会員 桐山 和也, 武藤 裕久

1. はじめに

薬液注入工法の一つとして、地盤内に炭酸カルシウムを析出させることで、液状化強度を向上させる手法が提案されている¹⁾。本研究グループでは、マメ科植物から直接抽出した酵素を用いて炭酸カルシウムを析出させて改良砂を作製する手法を提案している^{2),3)}。既報^{2),3)}では、供試体に析出する炭酸カルシウムの不均一な分布が液状化強度の適正な評価を阻害していたと考えられることから、本報では、薬液の浸透性を改善して供試体に析出する炭酸カルシウムの均一化を図ることで、より均質な供試体を作製し、繰返し載荷試験と単調載荷試験を実施した結果を示す。

2. 試験の概要

試験試料には三河珪砂 6 号を用いた。湿潤締め法により相対密度 60% に締め固める。供試体の脱気を行った後、脱気水を下部から注入し供試体を飽和した。その後、地盤内の拘束圧を保持するためにピストンに 20 kPa の圧力をかけ、薬液を供試体下部から注入した。薬液の配合を表 1 に示す。ナタマメ水溶液は、不織布に入れたナタマメの粉砕物 30 g を蒸留水 330 g に浸し、2 時間静置することによりウレアーゼ酵素を抽出させる。その後、不織布を 60 g まで搾り取りナタマメ水溶液 300 mL を作製する。さらに、吸引ろ過装置により粒径 1 μ m 以上のナタマメの粉砕物を取り除き、薬液の浸透性を改善した。そして、20 kPa 以下の注入圧を作用させて供試体下部より薬液を注入した後、一週間の養生を行った。供試体の概要を図 1 に示す。養生後、1 L の蒸留水を通水させ、改良供試体を高さ 100 mm、直径 50 mm に成形した。試験は三軸試験であり、液状化強度を評価するための繰返し載荷試験と単調載荷試験を行った。試験の有効拘束圧は 100 kPa とした。試験終了後、供試体を図 2 に示す区間に分け、炭酸カルシウム析出率を計測した。

表 1 薬液 1L あたりの配合

ナタマメ水溶液(L)	反応溶液濃度(mol/L)	
	CO(NH ₂) ₂	CaCl ₂
0.3	1.0	1.0

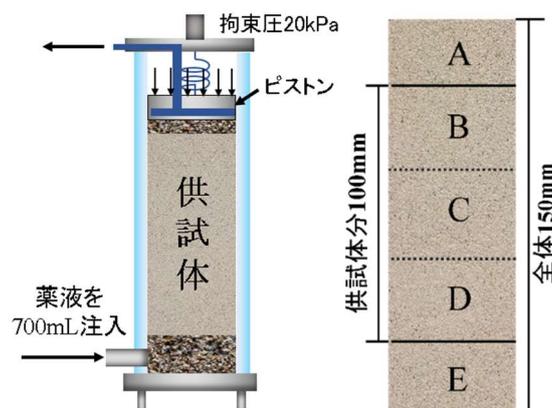


図 1 供試体の概要

図 2 供試体の区間分割

3. 試験結果

表 1 に改良供試体の析出率を示す。改良 1~6 は繰返し載荷試験、改良 7 は単調載荷試験を行った供試体である。また、改良 8,9,10 は三軸試験を実施せず、析出率の計測を行った結果である。改良 8,9 は養生後の通水を実施せず、改良 10 は通水を行った。析出した炭酸カルシウムは、供試体の上下方向の炭酸カルシウムのばらつきが小さい。これは、薬液の浸透性が向上したことにより、

表 1 炭酸カルシウム析出率

供試体番号	析出率(%)				
	区間 A	区間 B	区間 C	区間 D	区間 E
改良 1	4.53	3.40	3.52	3.47	3.97
改良 2	3.59	3.82	4.41	3.61	3.87
改良 3	4.06	3.78	3.25	3.34	3.46
改良 4	3.89	3.51	3.43	3.30	3.96
改良 5	—	3.00	4.41	3.53	—
改良 6	7.35	3.12	4.47	4.96	4.52
改良 7	3.17	4.45	3.67	3.82	4.11
改良 8	5.84	5.39	7.54	7.71	5.89
改良 9	5.13	4.19	6.17	6.88	6.17
改良 10	4.08	3.98	3.75	4.30	3.86

薬液が供試体の上部まで浸透したと考えられる。また、通水した各供試体は、改良 6 を除き析出率が 3~4%程度に収まり均質性が高い。改良 6 は、薬液の浸透に時間をかけてしまったためか析出率が大きくなった。

養生後に蒸留水を通水していない改良 7,8 は、土粒子に固着していない炭酸カルシウムが排出されていないためか、析出率が試験後の供試体や通水を行った改良 10 よりも 1~2%程高く、供試体の下部の析出率が大きい。これは、析出した後に間隙中に浮遊していた炭酸カルシウムが、下部に沈殿したためであると考えている。よって、析出率 3~4%を超えた改良 7,8 の析出率 1~2%分は間隙中に存在していたものであると考えている。

表 2 に繰返し載荷試験の供試体の緒元、図 3 に液状化強度曲線を示す。DA=5%に達した時点点を液状化が発生した繰返し載荷回数とした。赤いプロットで示される改良供試体の液状化曲線の方が、黒いプロットの無改良供試体の結果より上方に位置しており、液状化強度が高く、既報^{2),3)}の結果よりも改良効果が高いことが確認された。したがって、ろ過装置を用いて作製した均質供試体によって、より適正な改良効果の評価が可能となった。なお、改良 5 の繰返し載荷回数が少ない理由は、試験終了後に供試体の回収をした際に明らかに硬い部分があったことから、相対的に軟らかい部分に破壊が集中したためであると考えている。

図 4 には単調載荷試験の試験結果を示す。有効応力経路より、改良供試体はせん断初期に鉛直に立ち上がる弾性挙動がみられ、無改良供試体は塑性圧縮の挙動を示した。軸差応力~軸ひずみ関係からは、改良供試体の方が軸差応力の上昇割合が明らかに大きく、高い剛性を示しており明確に改良の効果が確認できる。

4. まとめ

炭酸カルシウム析出率の結果より、吸引ろ過装置を用いて薬液の浸透性を改善し作製した改良供試体は、供試体の上下方向に析出する炭酸カルシウムのばらつきが抑えられた。各供試体の析出率は 3~4%に収まり再現性の高い、均質な供試体の作製が可能である。繰返し載荷試験および単調載荷試験から、植物由来酵素を用いた薬液が液状化に対する改良効果が高い結果が得られた。

参考文献 1)川崎了：微生物機能を利用した地盤改良技術の現状，Journal of MMIJ, Vol.131, p.155-163, 2015. 2)江本ら：植物由来酵素による炭酸カルシウム改良砂の力学特性，令和 4 年度土木学会中部支部研究発表会，2023. 3)山下ら：マメ科植物種子による炭酸カルシウム改良砂の液状化強度の評価，第 77 回土木学会年次学術講演会，2022.

表 2 供試体の緒元

供試体番号	相対密度 (%)	析出率 (%)	繰返し応力比	繰返し載荷回数 (回)
改良 1	68.7	3.47	0.5	58
改良 2	59.3	3.94	0.45	76
改良 3	69.9	3.45	—	—
改良 4	70.8	3.39	0.4	89
改良 5	72.3	3.68	0.4	8
改良 6	65.2	4.26	0.3	200 回以上
無改良 1	69.8	—	0.4	1
無改良 2	62.5	—	0.3	4
無改良 3	63.7	—	0.25	12
無改良 4	65.7	—	0.2	78

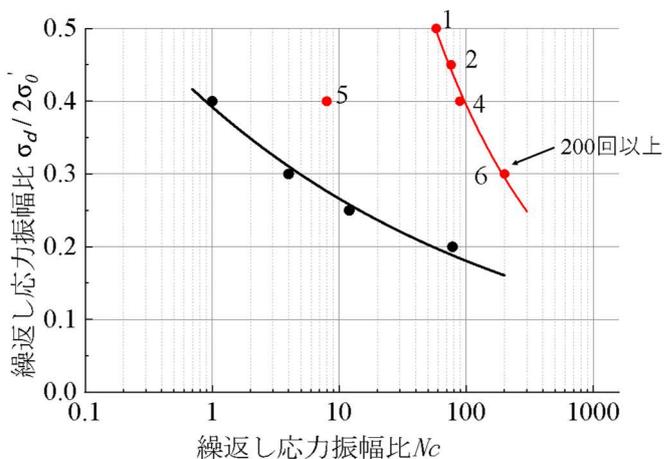


図 3 液状化強度曲線

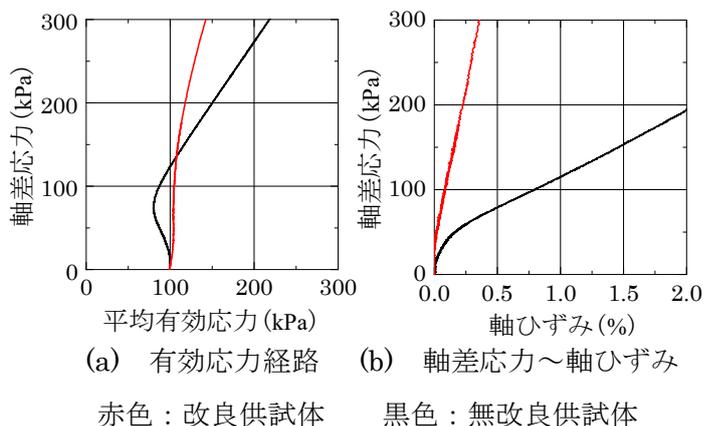


図 4 単調載荷試験の試験結果