

ナタマメ抽出ウレアーゼによる炭酸カルシウム改良砂の単調ならびに繰返しせん断強度

地盤改良 液状化対策 炭酸カルシウム ウレアーゼ

矢作建設工業 中島 真唯
 矢作建設工業 正会員 武藤 裕久
 矢作建設工業 正会員 桐山 和也
 名城大学 正会員 小高 猛司

1. はじめに

本研究グループでは、植物由来のウレアーゼを利用して炭酸カルシウムを析出させる地盤改良工法の研究を行っている¹⁾²⁾。対象を既設構造物直下の基礎地盤の液状化対策を想定していることから、地下水中の砂質地盤への薬液注入となるため、強度評価に用いる試験供試体も実地盤を模擬した作製方法が必要になるが、飽和砂柱中に薬液を注入し、均質な改良砂供試体を作製するのは容易ではない。

本報では、試行錯誤を重ねてたどり着いた実地盤を想定した改良砂供試体作製方法を示すとともに、相対密度を40%と60%に調整した均一砂供試体に薬液を注入して改良供試体を作製し、その品質を評価した。さらに、三軸試験を実施し、改良砂の単調ならびに繰返しせん断強度を示し、液状化抵抗に対する改良効果の検討を行った。

2. 試験方法

図1、図2に供試体の詳細を示す。供試体の作製には、目開き75 μ mのふるいで水洗した三河珪砂6号を用いた。相対密度40%と60%に調整して湿潤締め法により作製した砂供試体に、薬液を注入して7日間養生することにより改良を行った。薬液(1L)は、濃度1mol/Lの塩化カルシウム水溶液(450mL)と尿素水溶液(250mL)を混合し、ナタマメ粉末からウレアーゼを抽出した溶液(300mL)を加えて作製する。抽出液は、330gの蒸留水に30gのナタマメ粉末を加え2時間静置した後、目開き75 μ mのふるいと保持粒子径1 μ mのガラスろ紙でろ過を行い作製する。なお、ウレアーゼの活性を測定した結果、抽出時点で約9万~10万U/Lであった。薬液は供試体下部から注入し、養生後蒸留水を注入して薬液を洗い流し、脱型して高さ90mm、直径50mmに成形して繰返し三軸試験を行った。試験後には供試体を3分割し、炭酸カルシウムの析出率を調べた。

3. 試験結果

表1に改良供試体の区間ごとの炭酸カルシウム析出率を示す。上段は相対密度40%、下段は60%の供試体である。相対密度40%でも60%でも供試体(区間B、区間C、区間D)の析出率が3~4%の範囲に納まっており、均質であることが確認できた。区間Aの値に5.00を越える値が散見されるのは、脱型前の供試体では最上部を削ることが難しく、少量しか試料を採取できなかったため、誤差が大きく出た結果だと考えている。

図3に液状化強度の結果を示す。濃い緑色と濃い青色の点はそれぞれ相対密度40%、60%の改良供試体を表し、青色および緑色の領域はそれぞれの点群から推定した液状化強度発現域である。薄い緑色と薄い青色の点はそれぞれ相対密度

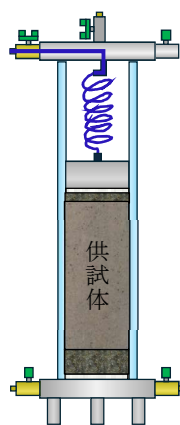


図1 改良供試体の模式図

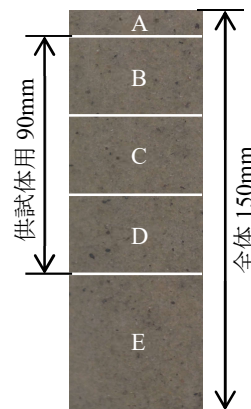


図2 供試体の各区間名

表1 炭酸カルシウムの析出率

供試体番号	炭酸カルシウムの析出率(%)				
	区間A	区間B	区間C	区間D	区間E
改良1	4.94	4.10	4.11	3.95	3.86
改良2	4.62	3.55	3.68	3.92	3.79
改良3	5.74	3.81	3.76	3.69	3.77
改良4	4.89	3.71	3.62	3.86	4.03
改良5	5.89	4.12	3.69	3.88	4.02
改良6	—	—	—	—	—
改良7	7.35	4.34	3.90	4.07	3.65
改良15	4.05	3.69	3.81	3.69	4.08
改良16	3.76	3.92	3.69	3.86	3.98
改良17	5.23	3.47	3.59	3.71	3.69
平均	5.16	3.86	3.76	3.85	3.87
改良8	4.16	3.82	3.27	3.35	3.40
改良9	5.97	3.60	3.63	3.43	3.68
改良10	5.13	3.79	3.71	3.96	4.00
改良11	4.19	3.87	3.97	4.08	4.22
改良12	4.55	3.52	3.40	3.60	3.82
改良13	4.68	3.66	3.45	3.31	3.86
改良14	4.62	3.73	3.46	3.90	3.99
改良18	4.05	3.69	3.81	3.69	4.08
改良19	7.00	3.84	3.70	3.88	3.80
改良20	4.24	3.62	3.60	3.54	3.84
改良21	—	—	—	—	—
平均	4.86	3.71	3.60	3.67	3.87

Monotonic and cyclic shear strength of calcium carbonate-improved sand using sword bean extract urease:

M. Nakashima, H. Muto, K. Kiriya (Yahagi Construction Co.,Ltd.) and T. Kodaka (Meijo University)

40%、60%の無改良供試体を表し、同色の曲線はそれぞれの点群から求めた液状化強度曲線である。無改良供試体は相対密度の上昇に伴い液状化強度の向上が確認できるが、改良供試体は相対密度40%と60%の点が混在し、液状化強度の明瞭な差は確認できない。ただし、液状化強度発現域では総じて相対密度60%の領域が40%の領域よりもやや載荷回数が多い傾向にある。また、改良供試体の点群は、載荷回数の多い群と少ない群に分かれることが確認された。載荷回数の多い群は、供試体全体に均一に改良の効果が出て、供試体内で部分的に強度の劣る箇所が少ないと考えている。

図4に無改良供試体、図5に改良供試体(改良3)の試験結果をそれぞれ示す。いずれの図も、左から有効応力経路、軸差応力~軸ひずみ関係、過剰間隙水圧比の経時変化、軸ひずみの経時変化である。無改良供試体における脆性的な破壊が、改良によって粘りのついた延性的な破壊に変化し、かつ伸張側にのみ変形が発生していることがわかる。

図6および図7はそれぞれ、相対密度40%および60%の無改良供試体と改良供試体のCUB試験結果の比較である。無改良の場合には、相対密度の違いによらず、 c' はゼロであり、 ϕ' は30度弱と小さい。一方、改良供試体の場合には、 c' 、 ϕ' いずれも大きくなり、相対密度が高くなるほど顕著になる。

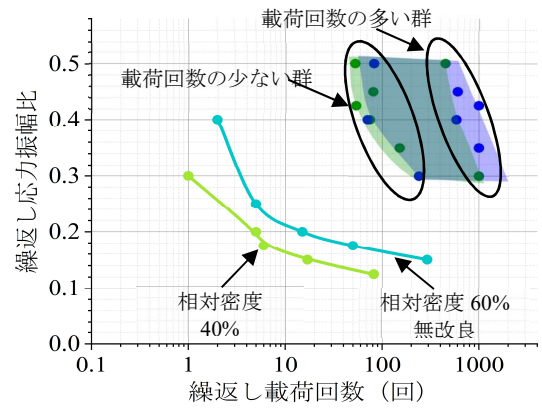


図3 液状化強度曲線

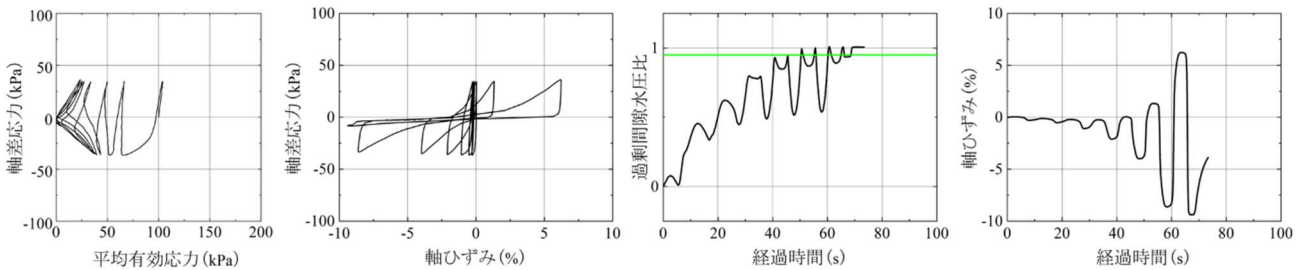


図4 無改良供試体 (相対密度40%, 繰返し応力比0.175)

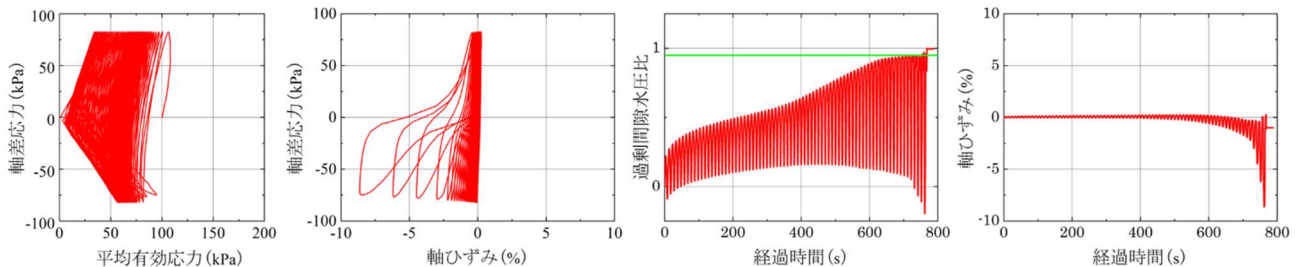


図5 改良供試体 (改良3: 相対密度40%, 繰返し応力比0.400)

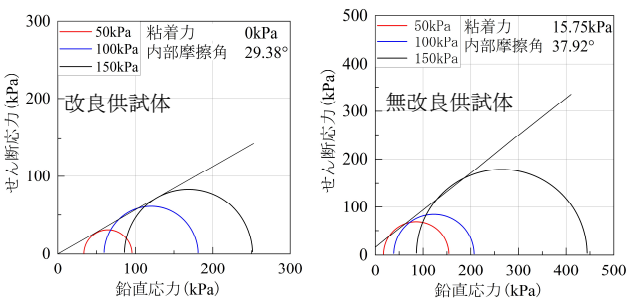


図6 CUB試験結果 (相対密度40%)

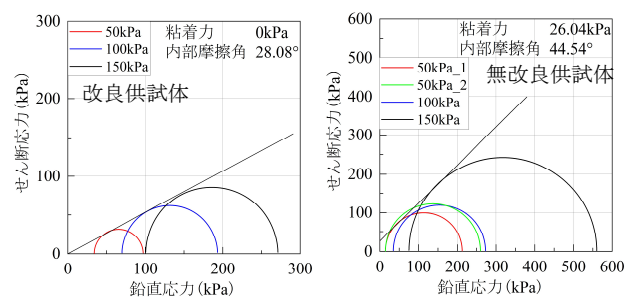


図7 CUB試験結果 (相対密度60%)

4. まとめ

実地盤での薬液注入を想定した改良供試体の高品質な作製方法を確立した。その供試体を用いて実施した繰返し三軸試験の結果、液状化強度に関しては相対密度40%と60%では明確な差を確認できなかったが、明確な改良効果を確認することができた。一方、CUB試験の結果、相対密度が高いほど c' 、 ϕ' いずれも大きく、改良効果が顕著に観察された。参考文献: 1) 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. 2) 山下ら: 植物種子を用いた炭酸カルシウム改良砂の三軸試験とその要素シミュレーション, 第78回土木学会年次学術講演会, 2023.