

## 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

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

## 1. はじめに

近年の薬液注入工法では、環境に配慮した材料を用いた工法が注目されている。このような背景から、尿素分解菌の体内に含まれるウレアーゼ酵素による尿素分解から得られる炭酸イオンとカルシウムイオンから炭酸カルシウムを析出させることにより、地盤を改良する手法が提案されている<sup>1)</sup>。しかし、微生物は専門知識を必要とするため取扱いが難しい<sup>2)</sup>。そこで、本報ではウレアーゼ酵素の供給源を微生物ではなくマメ科の植物種子から得る液状化対策手法について検討するため、改良砂の液状化強度の評価を行った。

## 2. 試験の概要

今回用いた薬液の配合を表1に示す。ウレアーゼ酵素供給源としてナタマメ（一部ダイズ）の種子を粉砕して使用し、反応溶液として尿素と塩化カルシウムを用いた。三軸試験では、三河珪砂6号砂の絶乾試料を相対密度20%になるように、高さ100mm、直径50mmの円柱供試体を作製した。写真1のように薬液を上から注入し、1週間常温で養生した。薬液浸透度合いに起因する供試体内の固結度の不均質性によって、モールド脱型時に固結度が低い部分が崩れてしまうため、やむなく凍結させてから脱型した。これを凍結改良供試体と呼ぶ。一方、均質性を高めるために、下部から薬液を注入できる写真2のような装置を作製し、凍結履歴を与えない供試体の作製も試みた。こちらを単に、改良供試体と呼ぶ。CU試験は有効拘束圧50, 100, 150kPaの3種、載荷速度0.1%/min、液状化試験は有効拘束圧100kPa、周波数0.1Hzで実施した。また、試験後の一部供試体にて、炭酸カルシウムの析出量を確認した。

表1 薬液1Lあたりの配合

マメ破砕物 (g)	反応溶液濃度(mol/L)	
	CO(NH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub>	CaCl <sub>2</sub>
30	1.0	1.0



写真1 凍結改良供試体の作製



写真2 改良供試体の作製

## 3. 試験結果

CU試験結果を図1に示す。液状化耐性と関連が深いせん断初期に着目すると、改良供試体は有効応力経路が鉛直に立ち上がる弾性が卓越した挙動を示している。図2に無改良供試体と凍結改良供試体の液状化強度曲線を示す。液状化強度曲線から若干ではあるが凍結改良供試体の強度が高く発現している傾向が見られる。さらに図2には、薬液を下部から注入して凍結融解履歴を与えていない改良供試体の試験結果もあわせて示している。改良供試体の一部は、ナタマメの代わりにダイズを用いたものを含む。総じて、改良供試体の液状化強度は、明らかに無改良供試体よりも高い。ただし、現状においては、試験ケース数が少ない上に、後述するように供試体の不均質性が高く、かつ、写真2の亚克力円筒から供試体を抜き出す時の乱れにも起因するばらつきも大きい。そのため、薬液による定量的な改良効果を考察するには不十分な段階である。本報では、植物由来酵素による炭酸カルシウム改良砂が、明らかに高い液状化耐性を発現することを提示することに止める。なお、凍結改良砂において液状化強度が大きく増加していない理由としては、凍結融解によって土粒

キーワード 地盤改良, 液状化, 炭酸カルシウム

連絡先 〒468-8502 名古屋市天白区塩釜口1-501 名城大学理工学部 TEL: 052-838-2347

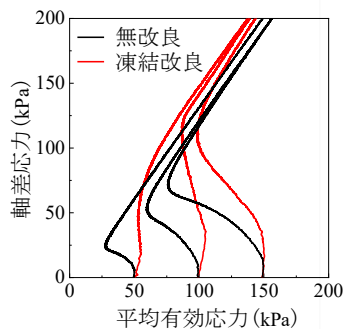


図1 CU試験結果

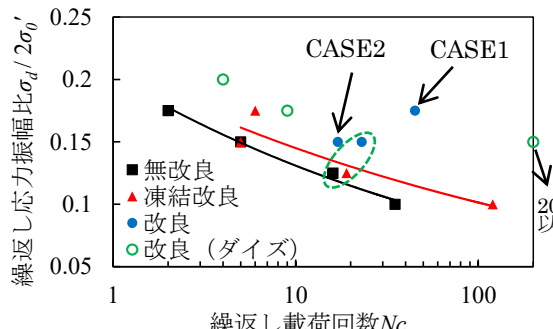
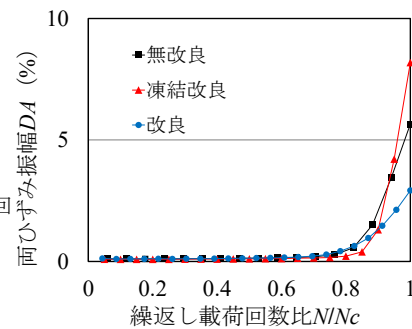
図2 液状化強度曲線 ( $\Delta u/\sigma'_0 = 95\%$ で判定)

図3 両ひずみ振幅～繰返し荷回数比関係

子と析出した炭酸カルシウムとの付着が剥がれ、析出した炭酸カルシウムは土粒子間隙を埋める程度の効果しか発揮しなかったためと考えている。そのため、今後は薬液注入後に供試体に凍結融解履歴を与えず、かつ、均質性の高い供試体の作製が必須である。

図3は図2の液状化強度曲線において、緑の破線で囲った繰返し荷回数が20回に近いケースの両ひずみ振幅～繰返し荷回数比のグラフである。繰返し荷回数比は有効応力が95%減少した回数を1としたときの割合である。繰返し荷回数が20回に近いケースで比較すると、凍結改良供試体や無改良供試体よりも改良供試体は軸ひずみが段階的に増加している。これは炭酸カルシウムによる土粒子の固着作用により、完全液状化に至るまでのひずみの発生が抑制され、粘り強さを発揮していることを示している。

図2に示した改良供試体を2つ選びCASE1とCASE2として、それぞれの試験後の供試体を用いて炭酸カルシウム析出量を分析した。その結果を表2に示す。析出量の確認は図4のように供試体上部からA、B、C、D、Eの5つの領域に分けて行った。改良供試体の作製は薬液を下部から注入したが、供試体下部に敷設したフィルターが目詰まりしたことによって注入に過大な時間を要した。そのため、領域Eに大量の炭酸カルシウムが析出したと考えている。ただし、三軸試験には領域B～Dのみを用いている。また、同じ改良供試体でも、CASE1と2で炭酸カルシウムの析出量は大きく異なっており、析出量の多いCASE1の方が、明確に液状化強度が高いことが確認できた。しかし、改良効果の定量的な評価を行うためには、一連の試験を同じ品質の供試体を用いて実施することが必須である。供試体毎にはもちろん、供試体内部においても均質な供試体を作製することが急務である。

#### 4. まとめ

三軸CU試験や液状化試験の結果から、ナタマメから得られたウレアーゼ酵素が液状化対策として有効である可能性が示された。均質な供試体の作製方法の開発を進めるとともに、溶液の配合についても検討すべき項目が多く残されている。ナタマメよりも安価なダイズをウレアーゼ酵素供給源とした薬液を用いても同様の効果が期待できることから、ダイズを用いた薬液でも今後検討を進める。

#### 参考文献

- 1)川崎了：微生物機能を利用した地盤改良技術，公益社団法人地盤工学会中国支部論文報告集，地盤と建設，Vol. 29, No. 1, 2011.
- 2)高畑陽：地盤工学と微生物，地盤工学会誌，Vol. 61, No. 11/12, pp. 14-17, 2013

表2 炭酸カルシウムの析出結果

	析出後乾燥砂質量 $m_1$ (g)	析出前乾燥砂質量 $m_2$ (g)	析出量 $m_1 - m_2$ (g)	析出比 $(m_1 - m_2)/m_2 * 100$
CASE1-A	78.30	77.64	0.66	0.85
CASE1-B	106.46	102.07	4.39	4.30
CASE1-C	81.80	77.20	4.60	5.96
CASE1-D	70.04	67.36	2.68	3.98
CASE1-E	28.75	24.57	4.18	17.01
CASE2-A	39.41	37.94	1.47	3.87
CASE2-B	68.47	68.35	0.12	0.18
CASE2-C	76.76	76.32	0.44	0.58
CASE2-D	72.95	71.54	1.41	1.97
CASE2-E	38.50	33.50	5.00	14.93

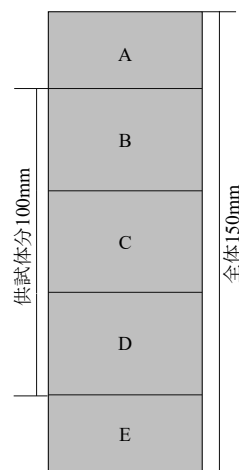


図4 供試体の分割