

植物由来酵素による炭酸カルシウム改良砂の力学特性

名城大学 学生会員 ○江本菜々美, 谷藤 春奈
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
名城大学 正会員 小高 猛司

1. はじめに

従来の薬液注入工法では、使用される材料に環境問題の懸念があるとされており、環境に配慮した材料を用いる工法が注目されている¹⁾。こうした背景から、微生物が持つウレアーゼ酵素を用いた尿素分解により得られる、炭酸イオンとカルシウムイオンによって炭酸カルシウムを地盤内に析出させる地盤改良法が提案されている。しかし、微生物は専門知識を必要とするため取り扱いが難しい²⁾。そこで本報では、ウレアーゼ酵素の供給源をマメ科の植物種子から得る手法を用いて、実務での薬液注入を想定した方法により作製した供試体を用いた $\overline{\text{CU}}$ 三軸試験により、炭酸カルシウム改良砂の力学特性を検討した。

2. 試験の概要

今回用いた薬液の 1L あたりの配合を表 1 に示す。ウレアーゼ酵素はナタマメを粉砕したものから供給し、反応溶液として尿素と塩化カルシウムを用いた。三軸試験を行う供試体は、三河珪砂 6 号砂の乾燥試料を相対密度 20%, 40%, 60% の 3 種になるように、高さ 150mm, 直径 50mm の円柱供試体を作製した。その後、ピストンを設置し、地盤内の拘束圧を表現するため 20kPa の圧力をかける。二酸化炭素を下から注入し、脱気水を下から注水することで供試体を飽和させる。そうすることで、拘束圧のある飽和地盤に薬液を注入することを模擬している。その後、薬液を下から注入し室温 20℃ の恒温室内で 1 週間養生した。写真 1 に作製した供試体の様子、写真 2 に注入前の薬液の様子を示す。1 週間の養生後にアクリル円筒から脱型し、上下端を成形した後、有効拘束圧 50, 100, 150kPa の 3 種、載荷速度 0.1%/min, で $\overline{\text{CU}}$ 試験を実施した。

また、試験後の供試体を用いて、供試体内に析出していた炭酸カルシウムの析出量の計測を実施した。さらに、炭酸カルシウムを溶解した後に回収した砂試料の質量を厳密に計測することにより、試験前の供試体の相対密度を再計算した。

3. 試験結果

再計算した相対密度によって 50%~60%, 40%~50%, 30%~40% の 3 種類に区分し、無改良供試体と改良供試体の試験結果を比較した。改良による力学挙動の変化が最も見られた、相対密度 30%~40% の $\overline{\text{CU}}$ 試験に用いた改良供試体の諸元を表 2 に、 $\overline{\text{CU}}$ 試験結果を図 1, 図 2 に示す。図 1, 図 2 の有効応力経路より、液

表-1 薬液の配合

マメ破砕物 (g/L)	反応溶液濃度(mol/L)	
	$\text{CO}(\text{NH}_2)_2$	$\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
30	1.0	1.0



写真 1 供試体の作製



写真 2 作製した薬液

状化耐性と関連が深いせん断初期の剛性に着目すると、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。また、軸差応力～軸ひずみ関係より、変相後の挙動に着目すると、改良供試体の方が剛性が高い傾向を示している。相対密度 50%～60%, 40%～50%の結果についても、無改良供試体と同様もしくはそれ以上の剛性が得られた。

試験後の改良供試体を用いて、炭酸カルシウムの析出量を分析した。析出量の確認は供試体を上・中・下の3つに分けて行った。供試体の高さ別に比較した結果を表3に示す。表3より、供試体のどの位置においても炭酸カルシウムが析出されていることが確認された。しかし、供試体の下部から上部にかけて析出比が小さくなっており、下部から薬液を注入しているため上部と下部に炭酸カルシウム析出量の差があり、試験結果に影響を与えている可能性があると考えられる。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必要である。

4. まとめ

CU三軸試験の結果より、ナタマメから得られたウレアーゼ酵素が地盤改良に有効である可能性が示された。改良供試体については、供試体内部がより均質な供試体の作製方法の開発を進める必要がある。供試体の相対密度、供試体を使用する試料の違いによる効果についても検討すべき項目が多く残されている。炭酸カルシウムの析出が力学挙動に与える影響が明らかであることから、弾塑性モデルの要素シミュレーションなどによって炭酸カルシウムによる効果のモデル化について今後検討を進める。

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.

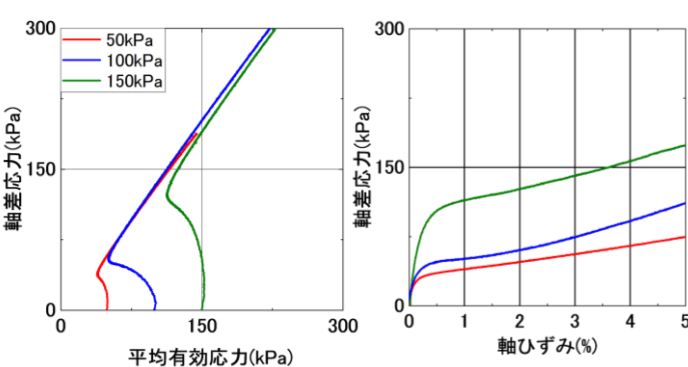


図1 無改良供試体の試験結果

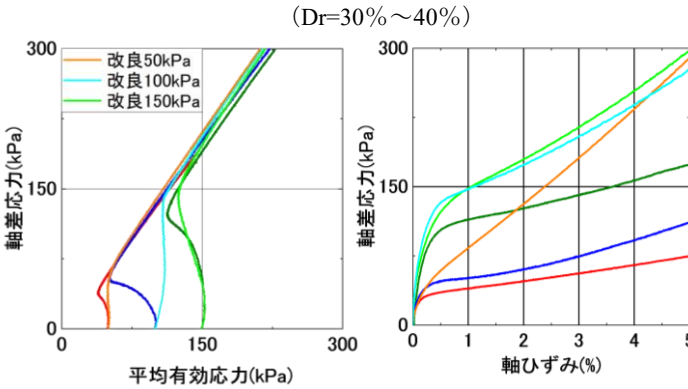


図2 試験結果の比較

(Dr=30%～40%)

表2 CU試験で用いた改良供試体の諸元

相対密度 (%)	拘束圧 (kPa)	含水比 (%)	初期相対密度 (%)	圧密後相対密度 (%)
30～40	50	29.6	40.9	43.6
	100	25.4	37.0	41.1
	150	27.5	33.4	42.6

表3 高さ別の炭酸カルシウム析出結果

相対密度(%)		50~60	40~50	30~40	
位置	拘束圧 (kPa)	析出比			平均
上	50	2.06	2.89	2.51	3.02
	100	2.89	2.55	2.98	
	150	2.5	3.3	3.56	
中	50	5.28	4	3.66	4.13
	100	4.01	2.96	3.79	
	150	3.12	5.05	4.94	
下	50	4.04	5.82	5.47	5.75
	100	6.68	3.16	6.14	
	150	3.64	6.38	5.64	