

微生物を利用した泥炭の固化実験

寒地土木研究所 正会員 ○佐藤 厚子
 北海道大学 正会員 川崎 了
 富山県立大学 正会員 畠 俊郎
 寒地土木研究所 山梨 高裕

1. はじめに

北海道に分布する泥炭は、高有機質で軟弱な土質であるため、そのままでは盛土材料として使用できない。泥炭を土木材料として有効利用するためには、固化材で改良する方法があるが、これには多量の固化材が必要となる。一方、微生物の代謝により発生する二酸化炭素を利用した地盤の固化処理技術の研究開発が国内外で進められており¹⁾²⁾³⁾⁴⁾、著者らも泥炭に生息する微生物を用いた室内試験を行ってきた⁵⁾⁶⁾⁷⁾⁸⁾。今回、ウレアーゼ活性を高めることで、運搬可能な強度に改良できた。

2. 微生物の代謝を利用した固化のメカニズム

微生物の代謝により発生する二酸化炭素と土の間隙中のカルシウム源とが反応することにより、炭酸カルシウムが析出する(炭酸カルシウム法)。この析出した炭酸カルシウムが土粒子同士を結ぶことで、地盤を固化させることができる。その固化反応メカニズムは次の通りである。(1)尿素の加水分解 ウレアーゼ活性を有する微生物が、尿素($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$)を加水分解してアンモニウムイオン(NH_4^+)と炭酸イオン(CO_3^{2-})を生成させる。 $\text{CO}(\text{NH}_2)_2 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{NH}_4^+ + \text{CO}_3^{2-}$ (式-1)、(2)塩化カルシウムの電離 電離度の高い塩化カルシウムが水溶液中で、カルシウムイオンと塩化物イオンに電離する。 $\text{CaCl}_2 \rightarrow \text{Ca}^{2+} + 2\text{Cl}^-$ (式-2)、(3)炭酸カルシウムの析出 炭酸イオン(CO_3^{2-})とカルシウムイオン(Ca^{2+})が結合して、炭酸カルシウム(CaCO_3)が析出される。 $\text{CO}_3^{2-} + \text{Ca}^{2+} \rightarrow \text{CaCO}_3$ (式-3)

3. 試験条件

ウレアーゼ活性が確認された微生物を有する北海道の泥炭について、炭酸カルシウム法による固化実験を行った。試験に用いた泥炭の物性値を表-1に示す。北海道の泥炭の中では比較的分解が進んでいる⁹⁾。泥炭は含水比が高いので十分な固化反応が生じにくいことから、含水比を336%まで低下させた後に、泥炭 1.5kg に対して表-2に示す配合の固化実験を行った。④は、泥炭に尿素、塩化カルシウムを混合したものである。①は泥炭のみ、②は塩化カルシウムの混合量が多くなると酸性となることから中性に調整するために重曹を混合したもの、③は②に尿素分解をより促進させるためナタマメ由来のウレアーゼを混合したものである。供試体を作製してから、1か月後にアンモニア性窒素量を、1か月後と4か月後に一軸圧縮強さと炭酸カルシウムが酸によって溶けたときに発生する二酸化炭素のガス圧¹⁰⁾(以降ガス圧と称する)を測定した。今回のガス圧は、塩酸 10cc と蒸留水 100cc の希塩酸に一軸圧縮試験終了後の供試体 10g を溶かしたときに発生する圧力とした。

表-1 泥炭の基本物性値

試料名(採取地)	江別太
含水比 (%)	545.92
土粒子密度 $\rho_s(\text{g}/\text{cm}^3)$	1.895
強熱減量 $L_i(\%)$	56.653
pH	4~5

表-2 固化実験の配合(g)

	尿素 $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$	塩化カルシウム CaCl_2	重曹 NaHCO_3	ウレアーゼ
④	116	232	-	-
①	-	-	-	-
②	116	232	20	-
③	116	232	20	3.5

4. 試験結果

4. 1 アンモニア性窒素量

各供試体のアンモニア性窒素量を図-1に示す。ウレアーゼを混合していない④、①、②ではアンモニア性窒素はほとんど検出されなかったが、ウレアーゼを混合した③ではアンモニア性窒素濃度が上昇しており、尿

キーワード 泥炭、微生物、固化

連絡先 〒062-8602 札幌市豊平区平岸1条3丁目 土木研究所 寒地土木研究所 寒地地盤チーム TEL 011-841-1709

素の加水分解が進んだと考えられる。

4. 2 一軸圧縮強さ

各供試体の供試体を作製してから、1 か月、4 か月後の一軸圧縮強さを図-2 に示す。ウレアーゼを混合した③では、

一軸圧縮強さが 1 か月後で 25kN/m²、4 か月後で 53kN/m²

となり、ウレアーゼを混合することにより強度が発現し、さらに時間経過によって強度が増加することを確認した。供試体作製時には自立できなかった泥炭が微生物を利用することにより運搬可能な強度(50kN/m²)¹¹⁾まで改良することができた。これより、泥炭中の微生物が活性化して尿素を分解することができれば、泥炭

を固化できる可能性があるといえる。ウレアーゼを混合していない④、①、②では、一軸圧縮強さが非常に小さく、1 か月後と 4 か月後では強度に変化がなかった。各供試体の pH と含水比を表-3 に示す。供試体の pH は 5.0～6.3 で弱酸性であった。なお、各供試体には時間の経過とともに含水比が低下していく傾向が見られたが、強度に影響を与えないことを確認している⁸⁾。

4. 3 炭酸カルシウムの析出量

微生物の反応で発生したガス圧と一軸圧縮強さの関係を図-3 に示す。供試体作製時にはガスを発生していないことを確認しており 1 か月および 4 か月経過後の供試体ではガス圧が生じていることから、各供試体で炭酸カルシウムが析出したと考えられる。1 か月後、4 か月後に強度発現した③では、ガス圧

が大きかった。ガス圧と炭酸カルシウム量の関係⁸⁾より、10g の供試体の中に 1 か月後で 0.9g、4 か月後で 1.1g の炭酸カルシウムが析出されたと推察される。計算上では、投入したカルシウムの量がすべて炭酸カルシウムとなっていないので、今後は経時変化を確認したい。

5. まとめ

今回の実験で、ウレアーゼの混入により泥炭の強度発現を確認した。このことにより、泥炭中の微生物を活性化することができれば、泥炭を固化できると考えられる。

参考文献

- 1) Victoria S. Wiffen, Leon A. van Paassen and Marien P. Harkes : Microbial Carbonate Precipitation as a Soil Improvement Technique, Geomicrobiology Journal, 24, pp.417-423, 2007.
- 2) 川崎了、村尾彰了、広吉直樹、恒川昌美、金子勝比古：微生物の代謝活動により固化する新しいグラウトに関する基礎的研究、応用地質、Vol.47、No.1、pp.2-12、2006.
- 3) 畠俊郎、桑野玲子、阿部廣史：微生物機能を用いた原位置透水性制御手法に関する基礎的研究、土木学会論文集G、Vol.64、No.1、pp.168-176、2008.
- 4) 稲垣由紀子、塚本将康、森 啓年、中島 進、佐々木哲也、川崎 了：微生物代謝による液状化対策に関する動的遠心模型実験、地盤工学ジャーナル、Vol.6、No.2、157-167、2011.7.
- 5) 有山萌奈、川崎 了、佐藤厚子、畠 俊郎：泥炭のバイオ固化処理に関する基礎的研究、資源・素材学会北海道支部平成23年度春季講演会、2011.6.
- 6) 野本侑里、畠 俊郎、川崎 了、佐藤厚子：泥炭由来の土壌微生物を用いた炭酸カルシウム析出に関する検討、平成23 年度土木学会中部支部研究発表会講演概要集 CD-ROM、文番号VII-26、pp.623-624、2011.
- 7) 畠 俊郎、佐藤 厚子、川崎 了、阿部 廣史：高有機質土（泥炭）由来の土壌微生物による炭酸カルシウム析出技術に関する実験的研究、土木学会論文集C、Vol. 68、No. 1、2012.
- 8) 佐藤厚子、川崎 了、畠 俊郎、山梨高裕、鈴木輝之：微生物による泥炭固化の試み、土木学会北海道支部平成25年度論文報告集第70号、2014.2.
- 9) 土木研究所寒地土木研究所：泥炭性軟弱地盤対策工マニュアル、p.4、2011.3.
- 10) 福江正治、加藤義久、中村隆昭、森山 登：土の炭酸塩含有量の測定方法と結果の解釈、土と基礎、Vol.49-2、2001.2.
- 11) 北海道開発局事業振興部技術管理課：北海道開発局における建設副産物適正処理の手引き、2018.6

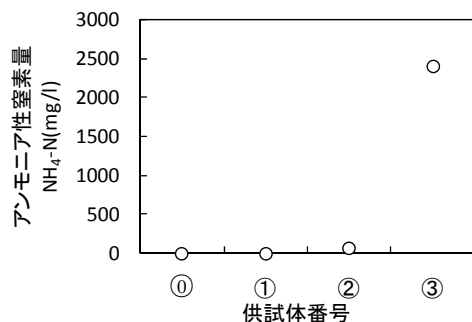


図-1 供試体のアンモニア性窒素量

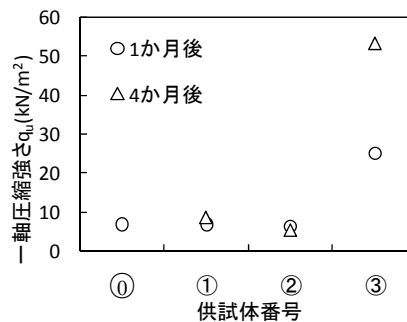


図-2 供試体の一軸圧縮強さ

表-3 供試体のpHと含水比

	作製時		1か月後		4か月後	
	pH	w(%)	pH	w(%)	pH	w(%)
④	-	-	5.5	156.78	-	-
①	4.9	332.33	5.0	312.44	5.1	315.85
②	5.0	175.08	5.4	162.03	5.4	134.23
③	-	186.75	6.1	168.92	6.3	128.70

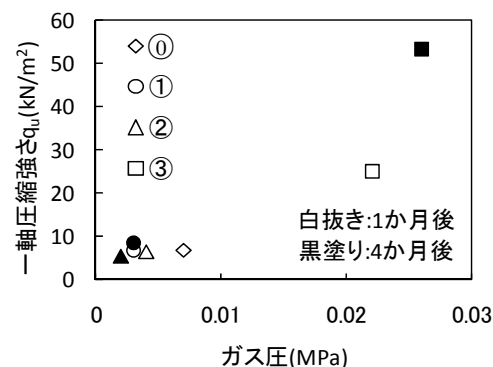


図-3 ガス圧と一軸圧縮強さ