

戦-16 微生物機能による自己修復性地盤改良技術の開発 (2)

研究予算：運営費交付金

研究期間：平 21～平 22

担当チーム：寒地地盤チーム

研究担当者：西本聡、佐藤厚子、林宏親

【要旨】

地盤改良には、固化材による固化が多く採用されている。しかし、固化材による固化は、温室効果ガスを多く排出するセメントやセメント系固化材などの建設資材を使用するため、多くのコストと環境負荷がともなう。そこで、微生物の代謝にともない発生する二酸化炭素とカルシウムイオンを利用してカルシウム系鉱物を得る結晶化促進技術の開発を目的としてバイオグラウトによる固化処理に関する研究を行った。

本研究では、北海道に広く分布し、固化材による固化処理に多量のコストのかかる泥炭をバイオグラウトにより改良することを目標とした。そこで、バイオグラウトによる改良として、炭酸カルシウム法およびシリカゲル法を用いた結晶化促進技術を対象に、様々な土質・環境条件への微生物機能による地盤改良技術の適用性の検討を行った。

その結果、泥炭中に固化可能な微生物が生息していることがわかった。さらに、この微生物により、炭酸カルシウム法およびシリカゲル法にのいづれによっても、自立できない強度の低い泥炭を自立可能な状態まで固化することができた。これにより、低コストで環境に優しい泥炭の改良が期待できる。

キーワード：微生物、固化、寒冷地、泥炭、バイオグラウト

1. はじめに

下水管などの埋め戻しや堤防の浸透対策・汚染土壌の封じ込め対策としての遮水壁など地下に埋設される場合が多い地盤構造物は、その維持管理・更新が困難であることから、省メンテナンス技術が求められている。また、二酸化炭素の排出削減を進めていく中で、セメントのように製造時に温室効果ガスを多く排出する建設資材の使用を減少させ、より環境負荷の少ない新技術も適材適所で使用することが求められている。本技術の実用化により、前述の埋め戻しや遮水壁だけでなく、堤防や道路盛土の被覆土などの新たな用途に利用でき、土構造物の安定性の向上にも寄与できる。

この方法により、強度発現のために多量の固化材を必要とする泥炭の改良が可能となれば、改良に必要な固化材量を低減でき改良工事のコスト縮減が可能となる。

2. 研究内容

2. 1 研究目的

本研究は、セメントを使用した泥炭の固化処理に代わる新しい固化処理の方法として、環境に優しいシリカまたは炭酸カルシウムのバイオグラウトによる泥炭固化処

理の適用性について基礎的な検討を行うことを目的とする。

2. 2 実験内容

北海道の泥炭について微生物機能による固化改良を行うにあたり、泥炭の基本物性値、泥炭に含まれる微生物の種類、量を求める。さらに、微生物機能を活用して炭酸カルシウム法¹⁾およびシリカゲル法³⁾により、泥炭を改良し強度の増加の程度を確認する。

2. 2. 1 泥炭中に生息する微生物を用いた炭酸カルシウム法による固化

泥炭に含まれている微生物を培養して豊浦砂を固化する実験を行う。実験は、シリンジの中に豊浦砂 13 g を空中落下法により投入し、泥炭から抽出した微生物の培養液を 5mL 注入し、シリンド内を飽和する。その後、シリンドの上部より固化培養液 4mL を添加し、1、3、5、7、10、14 日後、1 日炉乾燥させ、重量を測定する。あわせて、固化培養液サンプルについて、原子吸光度計によりカルシウムイオン濃度の測定、ウレアーゼの機能遺伝子である UreC 遺伝子数の測定を行う。各試験は 2 本同じ条件で作成する。

また、同様にこの微生物を泥炭に混合して一軸圧縮強

さを測定する。

2. 2. 2 イースト菌を用いたシリカゲル法による固化

泥炭の量を一定に設定し、スチロールねじ瓶に泥炭、イースト菌、コロイダルシリカ溶液を様々な配合で加えて30秒間上下に撹拌する。25℃に設定した部屋で24時間静置させる。その後、スチロールねじ瓶を上下逆さにし、中の試料が落ちてこないことにより固化有無の判定を行う。固化することが確認できた場合、固化処理の最適な配合を決める。この配合について、φ5cm、高さ10cmのモールドに詰めたあと、25℃の温度で1、7、28、56日養生後、フォールコーン試験、一軸圧縮試験を行う。

3. 実験結果

3. 1 泥炭の基本物性値

北海道道央地方の空知管内岩見沢市、後志管内岩内町の泥炭について基本物性値を求め表-1に示した。採取地を試料名とした。岩見沢は、土粒子密度 2.176t/m³、含水比 292.89%、強熱減量 31.961%、pH は 4.98 であり、泥炭の中では比較的分解が進んでいる（写真-1(a)）。岩内は、土粒子密度 1.579 t/m³、含水比 882.55%、強熱減量 86.791%、pH は 5.59 であり、あまり分解が進んでい



(a) 岩見沢



(b) 岩内

写真-1 泥炭

表-1 泥炭の基本物性値

	岩見沢	岩内
含水比 (%)	292.89	882.55
土粒子密度(t/m ³)	2.176	1.579
強熱減量(%)	31.961	86.791
pH	4.98	5.59

ない（写真-1(b)）。いずれも一般的な土質とは性状が大きく異なり、高含水比、低強度であることから、固化材による改良では多量の固化材が必要となる。

3. 2 泥炭に含まれる菌類

採取した岩見沢、岩内の泥炭に細菌と放線菌が含まれていることがわかった。細菌の含有状況の例を写真-2に示す。岩見沢には、5種類の細菌と1種類の放線菌が、

表-2 泥炭に含まれる菌の種類

	菌の種類
岩見沢	<i>Pseudomonas.sp.</i> <i>Acinetobacter sp.</i>
岩内	<i>Rhodococcus qungshengii</i> , <i>R.Jialingiae</i> および <i>R.baikonuresis</i> または <i>Rhodococcus sp.</i> <i>Arthrobacter sp.</i>

岩内には3種類の細菌が発見された。その結果を表-2に示す。

3. 3 微生物代謝を利用した地盤改良

3. 3. 1 泥炭中に生息する微生物を用いた泥炭の固化

泥炭に細菌が含まれることを確認できたので、選択培地によるスクリーニング（尿素の加水分解活性を持つ微生物の単離）を行い、単離した微生物を用いて炭酸カルシウム（CaCO₃）を析出させる試験を行った⁴⁾⁵⁾。

その結果、アンモニア由来の pH が高い条件では、単離した微生物が尿素を分解して二酸化炭素（CO₂）を発生させる加水分解が進み、炭酸カルシウム（CaCO₃）の析出を確認した。

この微生物を培養して豊浦砂に混合したときの培養日数とpHの関係を図-1に示す。試験期間を通じてpH は8程度であった。初期の固化培養液のpH が7.5であったことから、実験開始直後からpH が上昇した。添加した微生物由来のウレアーゼによる尿素の加水分解によるアンモニアの生成が原因と考えられる。

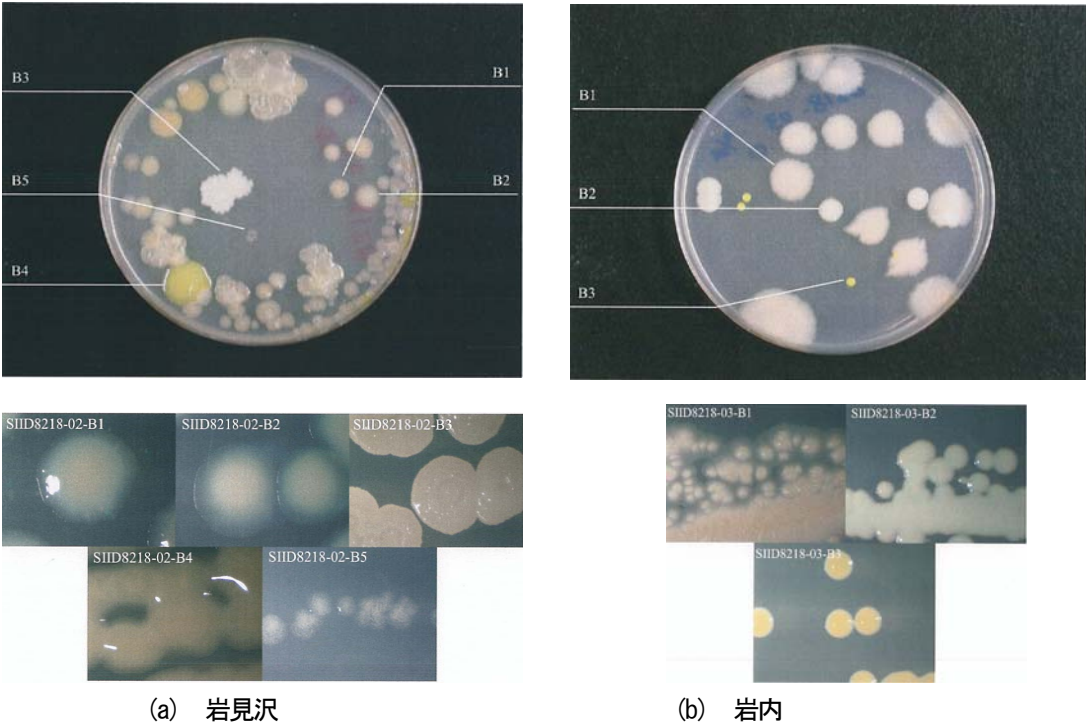


写真-2 泥炭に含まれる細菌

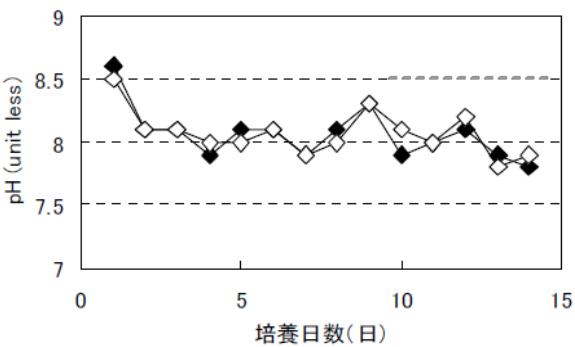


図-1 培養日数と pH (豊浦砂)

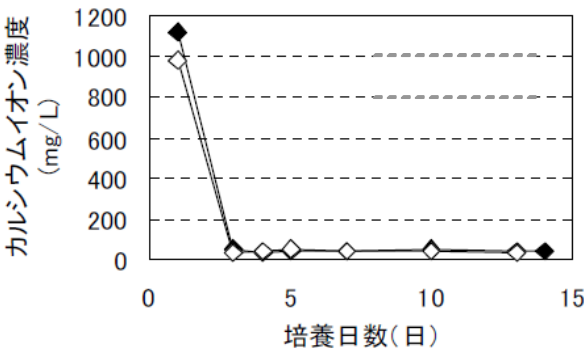


図-2 培養日数とカルシウムイオン濃度 (豊浦砂)

次に、培養日数と原子吸光度計により求めたカルシウムイオン濃度の推移を図-2に示す。1～3 日にかけて大きくカルシウムイオンが減少した。3日目以降14 日間までカルシウムイオン濃度はほぼ一定であった。これは、3日目以降、安定してカルサイトが析出したため、固化培養液に含まれるカルシウム濃度が減少したものと考えられる。

また、この微生物を再び岩見沢の泥炭に混合したところ、自立不可能な状態であった泥炭が自立可能な程度まで固化できたことを確認した。

3. 3. 2 シリカゲル法の適用性の確認

シリカゲル法で微生物にイースト菌を用いる場合について、イースト菌、シリカの配合を変え、岩見沢および岩内の泥炭の固化効果を比較した。泥炭、イースト菌の



写真-3 泥炭、イースト菌の量を一定とし、シリカの量を変化させた例 (岩見沢:養生1日後)

表-3 イースト菌により固化した泥炭の一軸圧縮強さ

岩見沢	日数	一軸圧縮強度(kN/m ²)		
		配合1(25℃)	配合1(5℃)	配合2(25℃)
	28日後	2.23	1.97	2.71
岩内	日数	一軸圧縮強度(kN/m ²)		
		処理後(25℃)	処理後(5℃)	配合2
	28日後	1.7	0	0
	56日後	0	0	0

量を一定とし、シリカの量を変化させた例として、岩見沢の養生1日後の状態を写真-3に示す。この実験により、泥炭が固化する可能性がわかった。

そこで、イースト菌により固化した泥炭の一軸圧縮強さを求めた(表-3)。その結果、25℃の環境では、自立不能であった泥炭が、シリカ溶液とイースト菌により強度は低い自立可能な材料となった。また、経過日数と固化した泥炭のコーン貫入量を図-3に示す。岩見沢泥炭では、固化改良したものは時間の経過とともにコーン貫入量が小さくなった。また、養生温度が高い方が貫入量は小さくなった。これに対し、岩内では、未処理よりも改良した方がコーン貫入量は小さく、養生温度が高い方がコーン貫入量は小さいものの、岩見沢ほどコーン貫入量の低下はなかった。

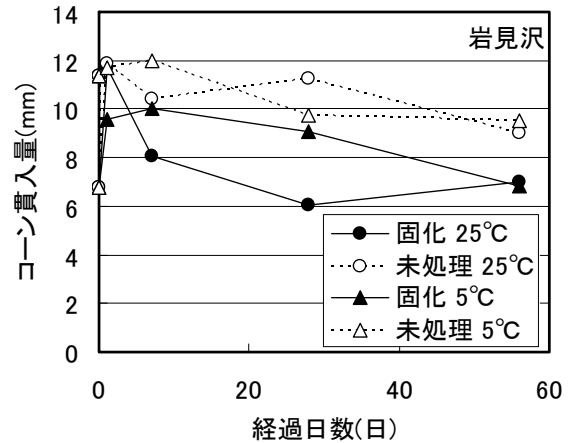
これらの結果より、固化の程度には泥炭の違いが影響するものと考えられる。

4. まとめ

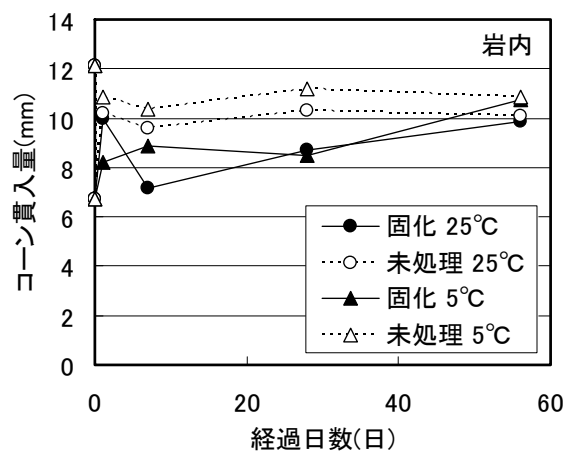
本研究の調査結果で、泥炭に含まれる微生物により固化できる可能性が明らかになった。今後、泥炭中に含まれる微生物による固化実験を行い、泥炭内の菌のみでの固化の可能性を実証したい。

参考文献

- 1) 寺島麗、島田俊介、小山忠雄、川崎了：微生物代謝により固化するシリカ系地盤注入剤バイオグラウトの基礎研究、土木学会論文集C、Vol.65.No.1、120-130、2009.2
- 2) 清田佳奈、村上章、川崎了：農業用ため池底泥のバイオ固化処理に関する基礎的研究、応用地質、第50巻、第2号、70-78、2009.6



(a) 岩見沢



(b) 岩内

図-3 経過日数とコーン貫入量

- 3) 林和幸、只信紗也佳、安原英明、岡村未対：炭酸カルシウム結晶析出による砂の力学特性の改善効果、土木学会論文集C、Vol.66.No.1、31-42、2010.1
- 4) 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22年度土木学会中部支部研究発表会講演概要集、pp.623-624、2011.3
- 5) 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 (投稿中)