

微生物による泥炭固化に影響を与える要因

Factors influencing the solidification of peat by microorganisms

土木研究所寒地土木研究所 ○正 員 佐藤厚子(Atsuko Sato)
北海道大学 正 員 川崎 了(Satoru Kawasaki)
富山県立大学 正 員 畠 俊郎(Toshiro Hata)
土木研究所寒地土木研究所 山梨高裕(Takahiro Yamanashi)

1. はじめに

北海道に分布する泥炭の改良方法の一つとして、筆者らはこれまで泥炭中に生息する微生物の代謝活動を利用した固化改良技術に取り組んできた。その結果、ウレアーゼ活性を有する微生物が泥炭中に生息すれば、炭酸カルシウム法により、泥炭を固化できる可能性を見いだした¹⁾。さらに、泥炭中の微生物のウレアーゼ活性を電気伝導度の増加量により推定できることを示した²⁾。そこで、さらに微生物による泥炭固化を効率的に実施することを目的として、含水比、微生物数、養生期間など固化に影響すると考えられるいくつかの要因と発現強度の関係について調べた。

2. 炭酸カルシウム法

炭酸カルシウム法では、微生物の代謝活動で発生する二酸化炭素とカルシウム源により炭酸カルシウムを析出させて土を固化する方法である。この代謝活動で発生す

る二酸化炭素に加えて、対象土に尿素とカルシウム源を混合すると、ウレアーゼ活性を有する微生物の加水分解作用により、二酸化炭素が発生する。二酸化炭素の発生量が多くなることにより、析出する炭酸カルシウム量が多くなり、対象土を固化できる。本実験では、これまでの実験と同様に尿素とカルシウム源として塩化カルシウムを用いた。なお、一般土を対象とした炭酸カルシウム法では、栄養源を混合するが、泥炭は高有機質土であることから栄養源は混合していない。

3. 試験方法

北海道内4箇所より採取したウレアーゼ活性を有する泥炭について、泥炭の固化実験を行った。実験に用いた泥炭の基本物性値を表-1に示す。一般土と比較して、自然含水比、強熱減量が高く、土粒子密度、pHが低い。これらの泥炭について、自然含水比およびこれよりも低い任意の2種類の含水比に自然乾燥により調整し、尿素と塩化カルシウムを混合し、時間経過による強度、ウレアーゼ活性の程度、微生物数、炭酸カルシウム量などを調べた。また、泥炭は一般土よりも微生物数が少ない³⁾ことから、ウレアーゼ活性を高めるため、試薬として販売されているウレアーゼ（なた豆由来）を混合したケースも実施した。

固化実験の配合は、既往の研究¹⁾と同じとし、尿素は水分量の10%、塩化カルシウムは20%とした（表-2）。微生物固化では、栄養塩を溶かした水溶液を通水する方

表-1 泥炭の基本物性値

No.	試料名 (採取地)	含水比 w(%)	土粒子密度 ρs(g/cm ³)	強熱減量 Li(%)	pH
1	富川	140	2.206	39.0	2.5
2	江別	347	1.943	49.2	5.6
3	江別太	442	1.970	52.9	5.1
4	稚内	875	1.542	93.8	3.9

表-2 泥炭 1kg に対する固化実験の配合 (g)

	含水比(%)	水分量(g)	尿素(g)	塩化カルシウム(g)	重曹(g)	ウレアーゼ(g)
富川	140	582.8	58.3	116.6	13.3	0、2.3
富川-1	116	537.3	53.7	107.5	13.3	0、2.3
富川-2	97	491.9	49.2	98.4	13.3	0、2.3
江別	347	776.1	77.6	155.2	13.3	0、2.3
江別-1	270	721.7	72.2	144.3	13.3	0、2.3
江別-2	200	668.1	66.8	133.6	13.3	0、2.3
江別太	442	815.6	81.6	163.1	13.3	0、2.3
江別太-1	372	788.2	78.8	157.6	13.3	0、2.3
江別太-2	313	757.6	75.8	151.5	13.3	0、2.3
稚内	875	897.5	89.7	179.5	13.3	0、2.3
稚内-1	600	856.7	85.7	171.3	13.3	0、2.3
稚内-2	300	737.0	73.7	147.4	13.3	0、2.3

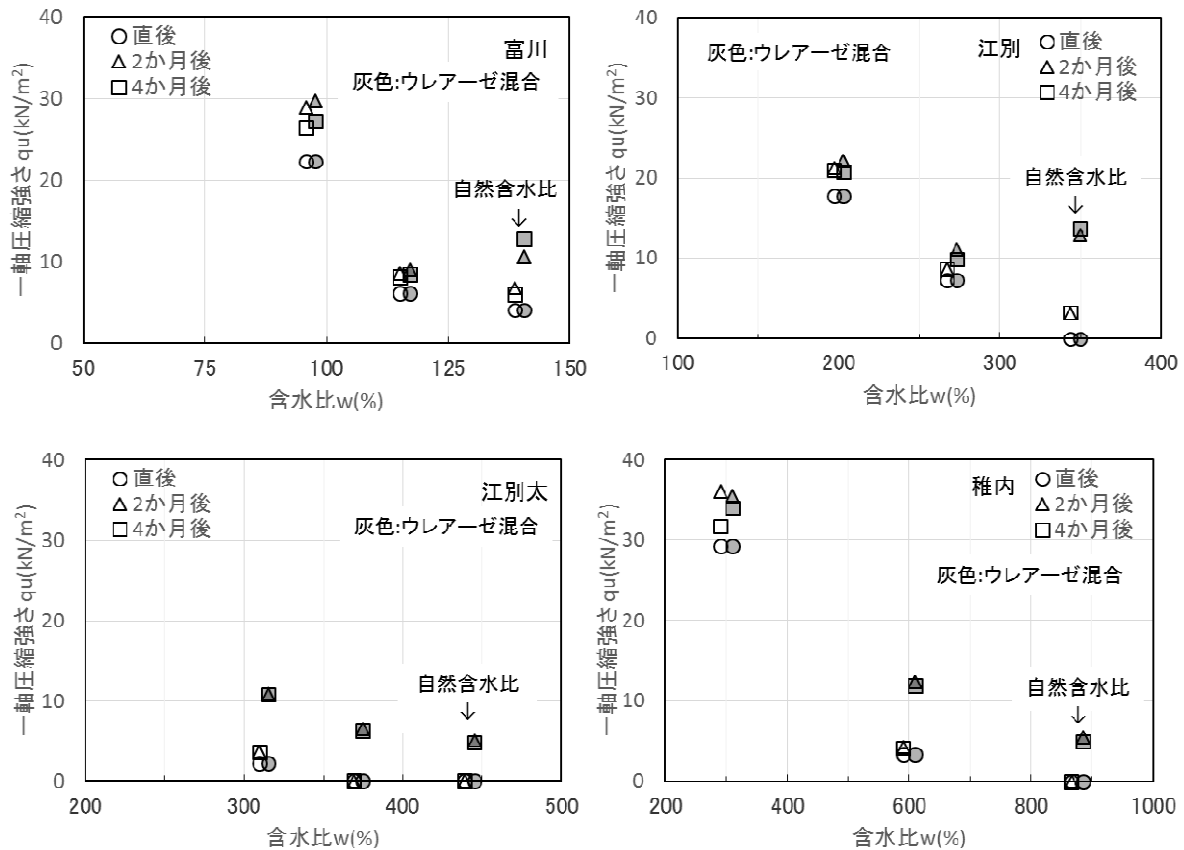


図-1 養生日数と一時圧縮強さ

法があるが、現場での固化を考慮して、栄養塩を直接試料に混合する方法とした。さらに、泥炭は高含水比であることから泥炭中に含まれる水分量に対して栄養塩を混合した。重曹およびウレアーゼ混合量は過去の実験と同じとした。各配合において、地盤工学会基準「安定処理土の締固めをしない供試体作製方法」⁴⁾により、直径 5cm、高さ 10cm の供試体を作製し、20℃で養生した。作製直後、作製から 2 か月後、4 か月後に一軸圧縮強さを求めた。一軸圧縮強さは、1 試験あたり 3 供試体とした。一軸圧縮試験終了後の供試体試料について、ウレアーゼ活性の程度、微生物数、炭酸カルシウム含有量を測定した。

ウレアーゼ活性の程度は、畠らの研究による電気伝導度を利用した方法⁵⁾を泥炭向けの方法²⁾にして、泥炭 10g と 1.5mol/L 濃度の尿素溶液 40ml とを混合し懸濁状態にして電気伝導度を測定した。

微生物数(生菌数)は、細菌、放線菌、カビ菌について、任意の湿潤状態の試料 100g から 1g を採取して 9mL の生理食塩水で懸濁状にし、適切な倍率で希釈した後、標準寒天にシクロヘキシミド(400mg/L)を加えた培地を 30℃で 7 日間培養して、希釈平板法(0.1mL 表面塗抹 CFU 法)により測定した。なお、微生物数は同一希釈の検体を 3 回測定した。

炭酸カルシウム量の測定は、炭酸カルシウムが酸によって溶解した場合に、二酸化炭素ガスが発生することを利用する方法⁶⁾によった。

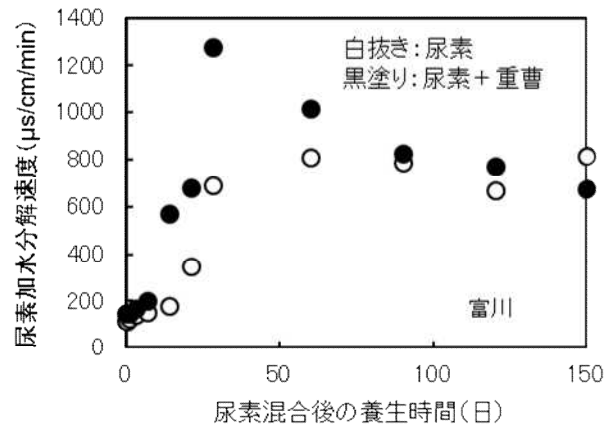


図-2 尿素混合後の養生時間と尿素加水分解速度

4. 試験結果

4.1 一軸圧縮強さ

各試料の一軸圧縮強さを図-1 に示す。一軸圧縮試験時の pH は、養生時間、試料の種類にかかわらず、ウレアーゼを混合しない場合で 6 程度、ウレアーゼを混合した場合で 8 であった。富川以外の試料は、供試体作製直後では軟弱で自立できなかった。どの試料も含水比が低くなると、わずかではあるが一軸圧縮強さは大きくなる傾向にある。また、供試体作製から 2 か月までは強度の増加が確認できたが、2 か月から 4 か月にかけてはほと

んど強度の増加は認められなかった。富川について尿素混合後の養生時間とウレアーゼ活性の関係を図-2 に示す。尿素加水分解速度は1 か月から2 か月で最も大きくなり、これよりも養生期間が大きくなると小さくなった。富川、江別、稚内では、それぞれの試料で最も含水比を低く調整した場合では、ウレアーゼを混合した場合としない場合で一軸圧縮強さはほとんど変わらなかった。しかし、この含水比と自然含水比との間に含水比を調整した場合では、ウレアーゼを混合した場合で一軸圧縮強さは大きくなった。また、すべての試料で自然含水比ではウレアーゼを混合すると一軸圧縮強さは大きくなり、ウレアーゼ混合の効果があることをさらに確認した。特に、自立できないような試料では、ウレアーゼ混合により運搬可能なまでの改良はできなかったものの、自立可能な程度まで改良できた。4 つの試料では、含水比が 300% を下回るとウレアーゼ混合による強度増加が少なかった。

4.2 ウレアーゼ活性の程度

各試料について自然含水比における尿素混合後の時間と電気伝導度の増加量および pH の関係を図-3 に示す。時間の経過とともに pH は低くなり、これらの試料では、試験開始から 5 分程度で pH は 2.5~4.5 程度となり、その後一定値となった。尿素混合後は時間が経過すると電気伝導度の増分が大きくなっていく傾向にある。尿素混合後の時間に対する電気伝導度の増分は、富川が最も大きく、次いで江別太、江別、稚内の順であった。図-2

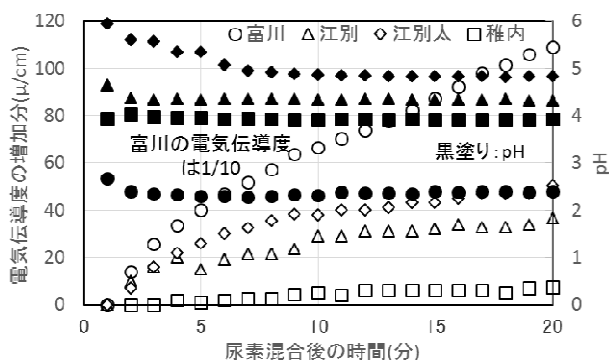


図-3 尿素溶液混合後の電気伝導度の増加分と pH

の一軸圧縮強さの変化と比較すると、測定した中で他の試料よりもウレアーゼ活性が非常に大きい富川でもウレアーゼを混合しない場合では強度の増加は他の試料とほぼ同じであった。

4.3 微生物数

一軸圧縮試験終了時の微生物数を表-3 に示す。いずれの泥炭にも細菌は生息し、放線菌やカビよりも数が多い。富川、江別では細菌の他に放線菌やカビも生息している。江別太ではカビが生息せず、稚内では土壤中に多く生息する放線菌が生息していない。

この実験の範囲では、細菌、放線菌、カビの数と一軸圧縮強さ、ウレアーゼ活性の程度などとの間には相関性が見られないことから、これらの中のどのような微生物が固化に影響するかについて今後調べたい。ウレアーゼを混合した試料では、pH が 8 程度で弱アルカリ性となり、微生物が生息しやすい環境となった。これは、カルサイト（主に炭酸カルシウム）の析出に適した環境である。

どの配合においても、炭酸カルシウム法による固化では微生物が相当数減少した。

4.4 炭酸カルシウム量

一軸圧縮試験終了後の供試体について、微生物の代謝で発生したガス圧を測定した。このガス圧より、あらかじめガス圧と炭酸カルシウム量の関係を求めた関係図より、析出された炭酸カルシウム量を推定した。泥炭試料 10g で、0.025MPa のガス圧の発生があると約 1g の炭酸カルシウムが析出されることとなる。ガス圧から推定した炭酸カルシウム量と一軸圧縮強さの関係を図-4 に示す。

含水比を調整した富川試料を除いて、ウレアーゼを混合した試料で炭酸カルシウム量が大きくなっている。このことから、ウレアーゼ混合は、炭酸カルシウムの析出に効果的といえる。また、ウレアーゼを併用した場合のほうが全体的に析出している炭酸カルシウムが多いことから、泥炭の改良にはウレアーゼが必須であると考えられる。

表-3 試験時の微生物数(cfu/g)

	ウレアーゼの混合	直後(ウレアーゼの混合なし)			2 か月			4 か月		
		細菌	放線菌	カビ	細菌	放線菌	カビ	細菌	放線菌	カビ
富川	あり	1,700,000	67	600,000	250,000	0	11,000	880,000	0	100
富川-2	なし							830	0	0
	あり							1,600	170	61,000
江別太	あり	1,000,000	100	0	20,000	0	0	4,900	0	0
江別	あり	3,500,000	7,700	11,000	110,000	0	0			
江別-1	なし							52,000	67	170
	あり							50,000	0	700
稚内	あり	5,200,000	0	2,200	47,000	0	0			
稚内-2	なし							88,000	0	2,100
	あり							83,000	0	2,400

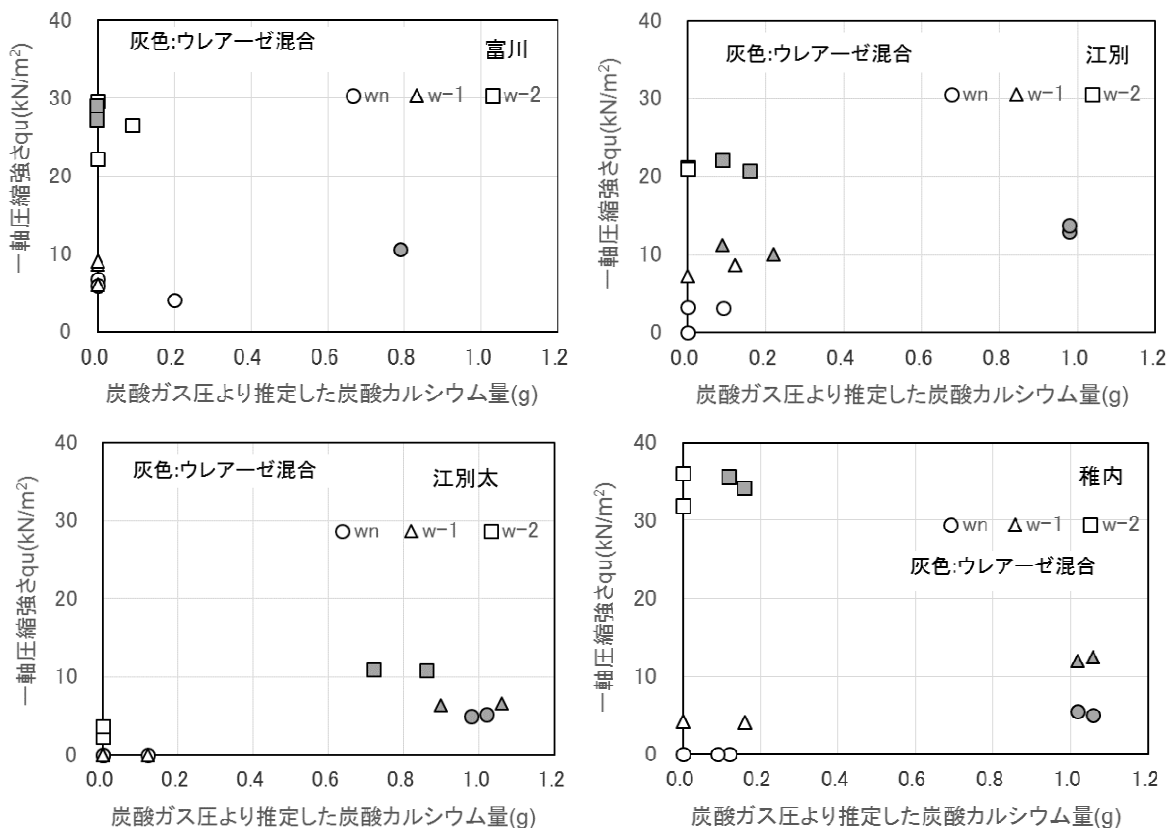


図-4 各供試体のガス圧より推定した炭酸カルシウム量

泥炭をセメントで改良する場合、含水比や物性にもよるが、含水比が 300%程度の泥炭を一軸圧縮強さで 50kN/m²に改良する場合、湿润重量に対して 20%程度のセメント量が必要である⁷⁾。高炉 B 種セメントの場合、カルシウム含有量は 54.8%⁸⁾であることから、高炉 B 種セメント 20%混合ではカルシウム量は 10%である。今回の実験では、析出した炭酸カルシウムの量は試料 10g に対し 1g であることから 10%程度であり、高炉セメント B 種とほぼ同じカルシウム量が混合されていたこととなる。炭酸カルシウム析出量が同じであっても、セメントによる改良と炭酸カルシウム法で発現強度が異なっていたが、セメントと固化機構が異なっているためと考えられる。

5. まとめ

本報告では、微生物を利用した泥炭の固化に影響を及ぼすと考えられる含水比、ウレアーゼ活性の程度、微生物数、炭酸カルシウム析出量などについて、強度との関係を調べた。その結果、養生期間が 2 か月を超えると強度増加が大きくないこと、含水比が高い領域でウレアーゼ混合による強度増加が大きいこと、細菌、放線菌、かびなどの微生物は、固化に影響を与える種類や量が限定的であること、炭酸カルシウム法で含水比 300%程度の泥炭を改良する場合では、析出する炭酸カルシウム量を試料の量に対して 10%以上大きくする必要があることなどがわかった。今後は泥炭の実用化に向けて、効率的な尿素、塩化カルシウム、ウレアーゼの配合、改良期間などについてさらなる検討をしたい。

参考文献

- 1) 佐藤厚子、川崎 了、畠 俊郎、山梨 高裕、西本 聡：現場の微生物活用による泥炭の固化技術に関する基礎的研究、土木学会論文集 C(地圏工学)、71(4)、pp.427-439、2015.12.
- 2) 佐藤厚子、川崎了、畠俊郎、山梨高裕：泥炭を対象とした電気伝導度によるウレアーゼ活性の推定について、土木学会第 70 回年次学術講演会、pp.3-4、2015.9.
- 3) T. Y. スエタニ、E. A. エーデルバーグ、J. L. イングラム、M. L. ウィーリス著、高橋甫、斎藤日向、手塚泰彦、水島昭二、山口英世訳：微生物学入門編、pp. 67-74、培風館、1980.9.
- 4) 地盤工学会：地盤材料試験の方法と解説、JGS 0812-2009 安定処理土の静的締固めによる供試体作製方法、pp.418-425、2009.11.
- 5) 畠 俊郎、横山珠美、阿部廣史：尿素加水分解速度に基づく微生物固化技術の沿岸域への適用性評価、地盤工学ジャーナル Vol.8、No.4、pp.505-515、2013.10.
- 6) 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、No. 2、pp. 9-12、2001.2.
- 7) 佐藤厚子、西川純一、山澤文雄：泥炭の盛土材利用に関する検討、第 34 回地盤工学研究発表会、pp.895-896、1999.7.
- 8) コンクリート工学協会：コンクリート技術の要点'99、p.9、1999.9.