

# 泥炭の有効利用法について —盛土材料や緑化基盤材として—

土木研究所 寒地土木研究所 寒地地盤チーム ○ 佐藤 厚子  
西本 聡  
北見工業大学 工学部 社会環境工学科 鈴木 輝之

北海道には泥炭が広く分布しているが、泥炭は高有機質、高含水であるためそのままの状態では土木材料として使用できない。そこで、泥炭を土木材料とするために固化材による改良を試みた。その結果、泥炭を固化材により改良することで盛土材料として施工できること、時間の経過とともに強度増加すること、固化した泥炭を切り崩しても盛土材料として活用できることが明らかになった。さらに、高含水の特性を活かして緑化基盤材として利用できることが分かった。

キーワード：泥炭、有効利用、盛土、緑化基盤材

## 1. はじめに

泥炭を強度のある地盤に改良するための技術は、ある程度確立されている<sup>1)</sup>。しかし、掘削工事により地上に引き上げられた泥炭を、盛土材やその他の土木材料として有効利用する技術に関して検討例が少ない。そこで、泥炭を有効利用する方法として盛土材料、または緑化基盤材としての利用を検討することとした。

泥炭を盛土材料とするための方法として、固化材による改良（以降、改良泥炭という）を試みた。改良泥炭による盛土施工の検討として、室内試験により強度特性を求めるとともに試験施工を行い、施工性や施工した盛土の状態を確認した。また、時間経過した後、掘削した改良泥炭について盛土材として再利用できるか確認した。さらに、泥炭は高含水比であることから、緑化基盤材料としての利用方法を検討した。本文はこれらをまとめたものである。

## 2. 試験内容

### (1) 改良泥炭の盛土材料としての検討

泥炭は自然含水比が非常に高いため、盛土材料とするためには多くの固化材を必要とすることが予測される。そこで、一般的な改良方法（固化土）の他に、改良のための固化材量を低減する目的で、改良泥炭を固化破碎土として盛土材への検討を行った。固化破碎土とは、固化材を混合し適当な期間養生した後、固化が完了する前に破碎し、締固め可能な材料としたものである<sup>2)</sup>。それぞれ Atsuko Sato, Satoshi Nishimoto, Terutuki Suzuki

れの改良について、あらかじめ室内で配合試験を行い、その結果により試験施工を行った。

### a) 目標強度

盛土を施工するときの条件として、施工機械の走行性を確保できる、安定した盛土をつくることのできる、の2点とし、両者のいずれも満足する強度を設定した。施工機械の走行性が確保できる強度<sup>3)</sup>は、普通ブルドーザが走行できる強度であるコーン指数 $qc=500\text{kN/m}^2$ 以上とした。安定した盛土の強度として、十分なすべり安全率を確保できる強度である7日養生後の一軸圧縮強さ $qu_7=150\text{kN/m}^2$ 以上とした<sup>4)</sup>。

### b) 室内試験

固化土および固化破碎土の強度特性として、トラフィカビリティ試験によるコーン指数と7日養生後の一軸圧縮強さ $qu_7$ を求めた。固化破碎土の放置時間（固化材を混合してから破碎までの時間）は1、3、7日とした。なお、改良に使用した固化材は、高炉B種セメントである。

### c) 試験盛土の施工

現場の試験として、固化土および固化破碎土による盛土を施工した。固化土の中でトラフィカビリティを確保できず、固化材の混合直後に転圧できなかった場合は、バックホウのバケットで押さえて盛土を成形する方法（以下成形のみの施工と称する）で施工した。1層の施工厚さを30cmとし、盛土の形状は天端幅4m、のり勾配1:1.5、底面幅10m、高さ2m、長さ6mである。試験盛土の種類を表-1に示す。泥炭と固化材の混合は、バケット部分を前後に回転する混合機に付け替えた改良型パワーシヨベルによった。

施工した盛土の強度として、施工直後にコーン指数( $qc$ )と衝撃加速度( $I$ )<sup>5)</sup>を測定した。また、時間経過による盛土の強度変化をスウェーデン試験により測定した。

表-1 現場施工盛土の種類

No	固化材混合量(kg/m <sup>3</sup> )	施工法		備考
		敷均し	転圧	
①	300	湿地ブルドーザ		固化土
②	200	湿地ブルドーザ		
③	400	湿地ブルドーザ	タイヤローラ	
④	300			
⑤	200			
⑥	100	バケットによる成形		固化土
⑦	100	バケットによる成形		固化土

(2) 掘削した改良泥炭の再利用の検討

盛土施工から6年後、盛土の一部を切り崩して（以降切り崩した改良泥炭とする）、基本物性値、トラフィックビリティ、透水係数などを求め、盛土材としての適否を検討した。

(3) 緑化基盤材としての検討

a) 泥炭の緑化基盤材としての性質

泥炭を緑化基盤材として利用するために4種類の泥炭について土壌としての性状を調べた。

b) 現場試験

苫小牧、天塩、美原の3箇所において泥炭を緑化基盤材として施工した。緑化基盤材は、そのままの状態の泥炭をのり面にはり付けた。この他に泥炭の上に種子を吹き付けたり、工事にもない発生したすき取り物と泥炭を体積比1:1で混合してのり面にはり付けた箇所もある。その仕様を表-2に示す。なお、泥炭の緑化基盤材としての適否は、施工性と植物の生育状況により判断することとした。このときの生育状況は、単位面積当たり植物の葉が占める割合を示す植被率<sup>9)</sup>とした。

表-2 泥炭の緑化基盤材施工の種類

施工箇所	地盤の土質	施工箇所	のり勾配	施工厚さ	備考
苫小牧	改良土	盛土	1:1.5	30cm	*
天塩	砂	切・盛土	1:2	20cm	*, **
美原	砂	盛土	1:1.5	20cm	**

\*種子吹き付け \*\*すき取り物と泥炭混合

3. 試験結果

(1) 改良泥炭の盛土材料としての検討<sup>7)8)</sup>

a) 改良泥炭の強度特性

表-3に示す泥炭を固化材により改良したときの混合率と強度の関係を求め図-1に示す。固化土は、固化材混合

表-3 試料の基本物性値

試料名	鶴川
土粒子密度ps(t/m <sup>3</sup> )	1.582~1.910
自然含水比wn(%)	582.3~746.9
強熱減量Li(%)	82.2~86.5

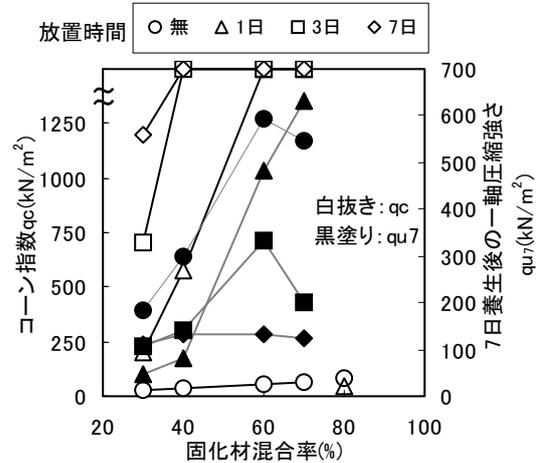


図-1 改良泥炭の固化材混合率と強度

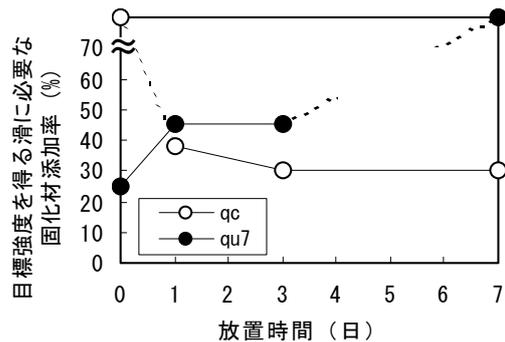


図-2 固化破砕土の放置時間と目標強度を得るために必要な固化材混合率

率が大きくなるとqu<sub>7</sub>は大きくなるが、qcは非常に小さく施工ができない強度である。固化破砕土は放置時間にかかわらず、固化材混合率が大きくなると供試体作製直後のコーン指数qc、7日養生後の一軸圧縮強さqu<sub>7</sub>のいずれも大きくなる傾向にある。

固化破砕土の放置時間と目標強度を得ることのできる固化材混合率を求め、図-2に示す。放置時間0は固化土である。目標qcを得るために必要な固化材混合率は、放置時間が長くなる程少なくなっているが、放置時間が1日を過ぎると固化材混合率はそれほど少なくなはならない。これに対し、目標qu<sub>7</sub>を得るためには、放置時間が長くなる程固化材混合率は大きくなる傾向にある。この改良では、固化材混合直後には、70%を超える固化材が必要であるが、放置時間を1日、3日とすることにより、固化材混合率45%で目標のqc、qu<sub>7</sub>のいずれも満足できる。放

置時間が3日を越えると目標 $qu_7$ を得るために必要な固化材量が大きくなることから、この泥炭の固化破碎土による現場施工では、放置時間を1日～3日、固化材混合率を45%とすることが適当である。

### b) 改良泥炭の透水性

固化した泥炭を築堤材料とする場合には、透水性が問題となる。そこで、固化した泥炭の透水係数を求めた。図-3に、固化した泥炭の一軸圧縮強さと透水係数の関係を示す。一軸圧縮強さが大きくなると透水係数は小さくなる傾向にあり、改良土では土粒子間がセメントの水和物で充填され透水係数が低下するという報告<sup>9)</sup>と一致している。ごくわずかな改良により、固化土の透水係数は $10^{-5} \sim 10^{-7} \text{cm/sec}$ となり、築堤の漏水対策として良好とされている材料の透水係数<sup>10)</sup>である $10^{-4} \text{cm/sec}$ よりも低くなった。なお、本実験の配合では推進した改良泥炭は水に溶けることはなかった。

以上より、築堤材料として用いることのできる材料である。

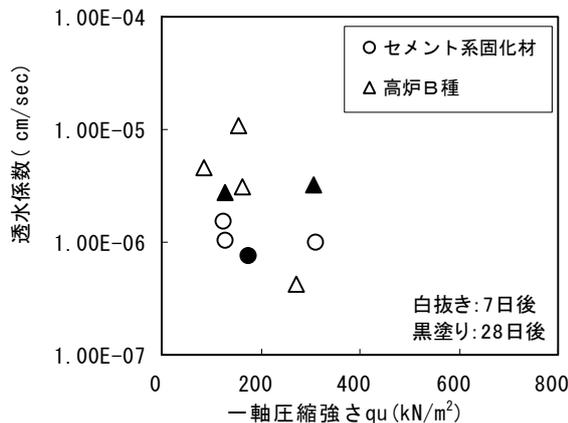


図-3 固化土の一軸圧縮強さと透水係数

### c) 改良泥炭の施工性

試験施工において、泥炭と固化材の混合は、バケット部分を前後に回転する混合機による混合後、フェノールフタレイン反応を確認したところ、改良土全体に反応が見られ十分に混合されたと判断できた。

固化材混合率の高い固化土や固化破碎土ではタイヤローラによる転圧が可能であったが、固化材混合率が少ない場合では施工直後に建設機械の走行ができなかった。このため、3日以降に建設機械の走行性を確保してから、成形のみの施工を行った。なお、固化途中の泥炭はバックホウのバケットで容易に破碎できた。

以上より、改良泥炭は汎用性のある建設機械で施工できる。

### d) 土量変化率

改良泥炭により盛土を施工する際、土量変化率を求めた。今回の試験施工では、 $300 \text{kg/m}^3$ までの固化材量で

Atsuko Sato, Satoshi Nishimoto, Terutuki Suzuki

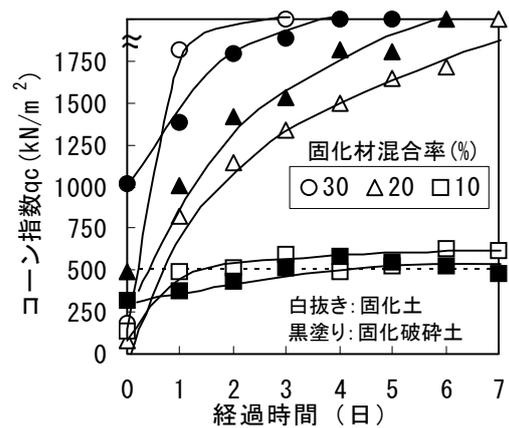


図-4 盛土作製からの時間経過とコーン指数

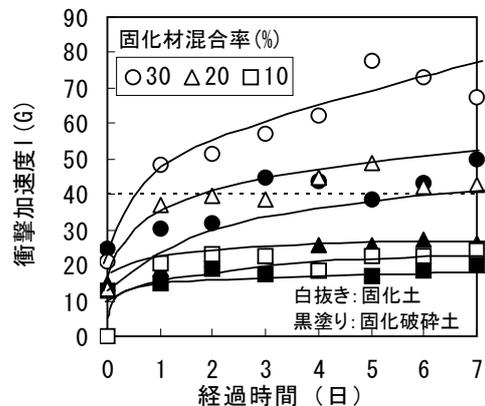


図-5 盛土作製からの時間経過と衝撃加速度

は、混合する固化材の量にかかわらず、体積が約70%に小さく変化した。

### e) 改良泥炭による盛土の短期強度

各盛土を施工してからの時間経過ともなうコーン指数の変化を図-4に示す。固化破碎土および固化土の盛土はともに経過時間が長くなると、コーン指数 $qc$ は大きくなっている。固化材混合率10%の固化土の盛土を除いて1日後には、すべて $qc=500 \text{kN/m}^2$ となり、普通ブルドーザが走行できる状態となった。これらの盛土の時間経過ともなう衝撃加速度の変化を図-5に示す。あらかじめ室内試験で7日養生後の一軸圧縮強さ $qu_7=150 \text{kN/m}^2$ を満足する7日後の衝撃加速度を求めたところ40Gであった。この目標値Gを確保できたのは、固化破碎土による盛土では混合率30%、固化土による盛土では20%であった。

### f) 改良泥炭による盛土の長期強度

時間経過による盛土の強度をスウェーデン試験により求めた。図-6に盛土の強度の変化の例として固化材を $200 \text{kg/m}^3$ 混合した固化土による盛土の深さ方向の貫入量1mあたりの半回転数( $N_{sw}$ )を示す。盛土施工直後は、盛土底部まで測定可能であり $N_{sw}=100$ 回程度であったが、施工後半年が経過すると $N_{sw}$ は大きくなり、深さ1m以上で $N_{sw}$ は急激に増大している。この $N_{sw}$ は一軸圧縮強

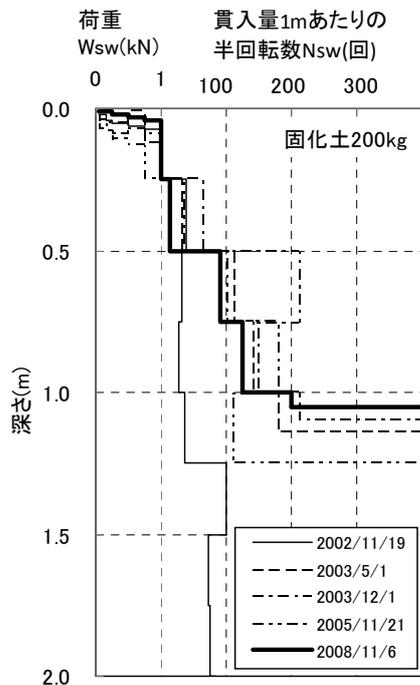


図-6 時間経過と盛土の強度

さに換算すると  $150\text{kN/m}^2$  以上あり<sup>11)</sup>、盛土として十分な強度を有しているといえる。また、時間が経過しても盛土の強度は低下せず安定した状況にある。

次に盛土表面の強度を衝撃加速度で測定した。図-7に施工7日後の衝撃加速度と施工6年後の衝撃加速度の関係を示す。すべての盛土で施工時よりも大きな衝撃加速度を示している。施工7日後では目標値を満足していなかった場合もあるが、6年後では、固化材混合量  $200\text{kg/m}^3$  以上で目標値を満足していた。固化材混合量  $100$ 、 $200$ 、 $300\text{kg/m}^3$  のいずれも固化破砕土より固化土の方が大きな強度であった。

### g) 改良泥炭の土壌状態

盛土の天端部分は施工時から特別な緑化を行わなかったが、周辺からの飛来種子により植物が生育していた。盛土施工から6年後にこの天端部分の状態を確認した。天端部分には植物の根が進入し、泥炭は分解して表土化していた。図-8に盛土の植物の生育状態として、各盛土の表土の厚さと植被率を示す。ここで表土とは、植物の根が入り込んだ箇所の平均的な厚さを示す。

固化材混合量  $400\text{kg/m}^3$  で植被率は  $50\%$  であるが、 $300\text{kg/m}^3$  以下の場合、固化土、固化破砕土のいずれも植被率が  $90\%$  以上あり、改良した泥炭盛土の天端部は6年後には植物で覆われていた。表土の厚さは、固化土、固化破砕土ともに固化材混合量が大きくなると小さくなる傾向にあった。植被率、表土の厚さのいずれも固化破砕土が固化土よりも大きな値を示しており、植物が生育する環境としては、若干ではあるが固化破砕土の方が適しているといえる。

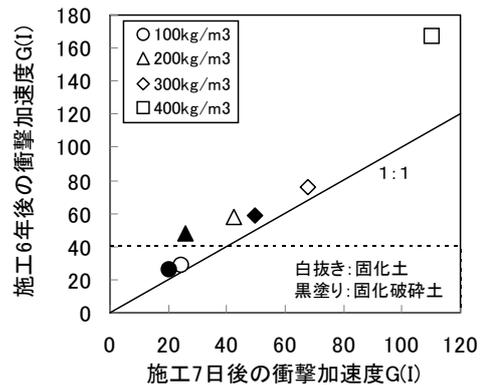


図-7 施工時と施工6年後の盛土の強度

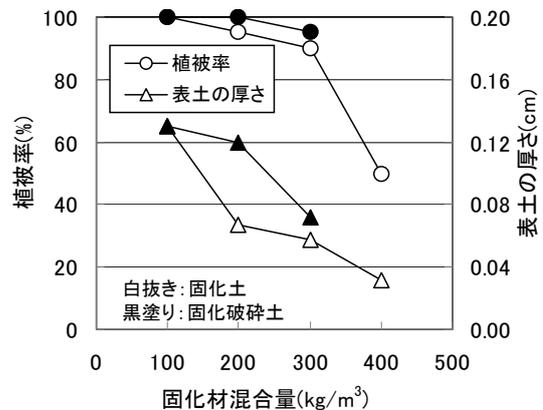


図-8 盛土の植物生育状態

## (2) 掘削した改良泥炭の再利用の検討

切り崩した改良泥炭の土粒子密度を求めたところ、固化材混合量を大きくすると土粒子密度は大きくなり、同じ固化材混合量では固化破砕土の方が固化土よりも土粒子密度は大きい傾向にあった。しかし、土粒子密度は  $2.5$  よりも小さく、一般的な土砂の土粒子密度<sup>12)</sup> よりも低い。したがって降雨を受けると浸食することが考えられるので、施工後のり面はできるだけ早期に緑化が必要である。

泥炭は繊維質で粒度試験ができない材料であるが、固化したのち切り崩すと、粒度試験ができる土へ変化した。切り崩した改良土のうち一部を除いて、固化材混合量が大きくなると粒度は大きくなる傾向にある。同じ固化材混合量では、固化破砕土よりも固化土の方が大きな粒度であった。いずれも  $2\text{mm}$  以上の礫分が土全体に占める割合が  $60\%$  以上あった。

切り崩した改良泥炭の締固め曲線を図-9に示す。一般的な土砂<sup>12)</sup> と比較して全体的に締固め密度が低い。固化破砕土の固化材混合量  $200\text{kg/m}^3$  を除いて、固化材混合量が大きいくほど最大乾燥密度は大きく、固化破砕土の方が固化土よりも大きな密度を示した。

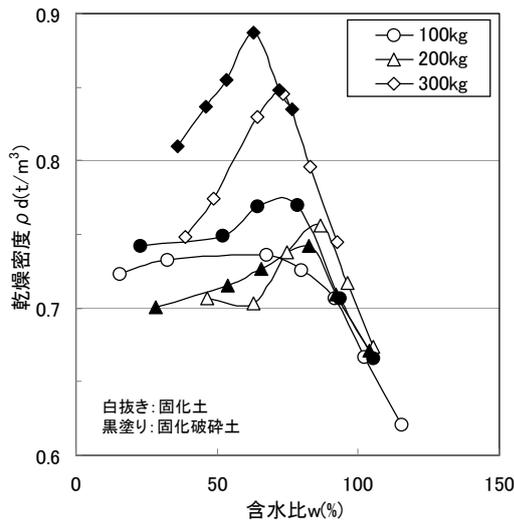


図-9 切り崩した泥炭改良土の締め固め曲線

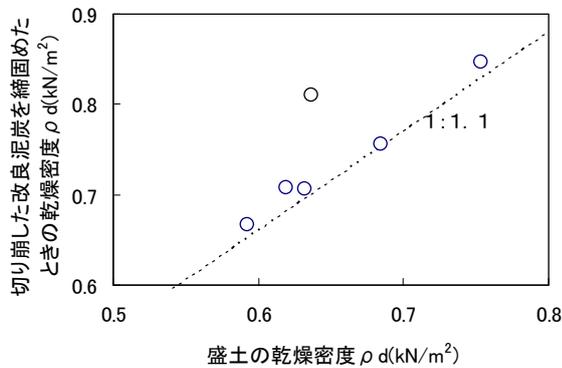


図-10 切り崩した改良泥炭の密度

施工から6年が経過した改良泥炭による盛土の密度とこの盛土を切り崩して締め固めた時の密度を図-10に示す。このときの締め固め密度は、2.5kgランマーで締め固めたときの密度である。切り崩して締め固めると切り崩す前の10%程度以上大きな密度となり、いったん固化した材料は、切り崩すと締め固まりやすい材料となるといえる。

次に、トラフィカビリティ試験によるコーン指数を求めた。その結果、固化材混合量100kg/m<sup>3</sup>の盛土でコーン指数は300kN/m<sup>2</sup>を超える程度であったが、他の改良泥炭ではコーン指数は800kN/m<sup>2</sup>以上あった。これは、21tブルドーザの走行性を確保できるほどの強度であり、盛土材料として十分使用できる材料である。また、切り崩した改良泥炭はいずれも10<sup>-5</sup>cm/sec程度の透水係数があり、堤防の材料として用いることができる<sup>10)</sup>。

なお、切り崩した改良泥炭の六価クロム溶出量を確認したところ、いずれも、基準値<sup>13)</sup>である0.05mg/t未満であり、環境基準値を満たしている。環境的にも切り崩した改良泥炭を土木材料として利用できる。

Atsuko Sato, Satoshi Nishimoto, Terutuki Suzuki

表-4 泥炭の性状

試料名	豊幌	美原	岩見沢	鶴川	
自然含水比wn(%)	344.8	750.1	648.9	565.2	
pH	6	6	6	6	
強熱減量Li(%)	48.8	96.0	52.7	82.2	
風乾水分(%)	5.3	6.5	7.1	5.2	
分解度*1	H3	H3	H3	H3	
塩基置換容量(meq/100g)	59.6	99.7	87.1	57.5	
養分	有機炭素(%)	25.5	53.4	41.1	30.8
	有効態リン(mg/100g)	8.3	2未満	2未満	2未満
	全窒素(%)	1.2	1.6	1.7	1.3
	全リン(%)	0.1	0.03	0.05	0.16
分	カリウム(%)	0.56	0.08	0.38	0.07
	可給態窒素(mg/100g)	5.6	6.5	10.6	7.3

\*1 POSTのにぎり法(分解の程度はH1~H10までであり、H1ほど未分解)

### (3) 緑化基盤材としての利用

#### a) 泥炭の土壌としての性状

北海道の泥炭について土壌としての性状を調べ、表-4に示す。採取地を試料名とした。各泥炭のpHは6であり、客土品質基準<sup>14)</sup>であるpH5.5~7.0の範囲内にある。また、分解度はH3であり、きわめて軽度分解した泥炭である。養分は、北海道内の粘土や火山灰よりもかなり少ないものの、土壌の養分保持能力を示す指標のひとつである塩基置換容量は2倍以上の値である<sup>15)</sup>。

#### b) のり面の状態

施工を行った泥炭は、苫小牧では表-4の鶴川、天塩では含水比200%程度でほとんど分解していない繊維質である。美原では、含水比300%以上であった。3箇所ともに施工年の秋の降雨、施工翌年の春の融雪期に対して変状がなかった。

泥炭を緑化基盤材としたときの植物の生育状態の例として、天塩での測定日と植率率の関係<sup>16)</sup>を図-11に示す。この箇所での施工は前年の10月であったが、吹き付け植物および植物の種または根が混入しているすき取り物から、雪融け後の5月には植物が発芽した。その後約1か月で、目標植率率である60%<sup>9)</sup>に達し、11月中旬まで枯れることはなかった。泥炭のみの箇所では、周辺

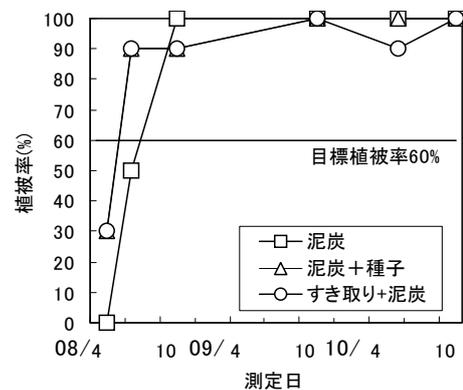


図-11 泥炭を緑化基盤材としたときの植物の植率率

表-5 泥炭の盛土材としての利用

改良法	施工時期	施工方法	ヤード	費用
固化土	混合直後に転圧	転圧	不要	高い
	混合直後に成形	成形による施工	不要	中間
固化破碎土	混合から3日程度後に施工	転圧	必要	中間
切り崩して再利用	混合から1か月以上後に施工	転圧	かなり必要	安い

表-6 泥炭の緑化基盤材としての利用

緑化方法	施工から緑化達成までの期間	費用	備考
種子吹き付け	短い	高い	
すき取り物の混合	1年程度	中間	周辺にすき取り物がある
そのまま	2年以上	安い	

からの種子が飛来し、施工1年で植被率50%となった。融雪による泥炭の崩壊がなかったことから、早期に緑化しなくても良い場所では、種子を混合しなくても十分な緑化が期待できる。

以上より泥炭は緑化基盤材として十分利用できる材料であるといえる。

#### c) 現場での作業性

泥炭を緑化基盤材とする場合、高含水、繊維質など、一般土砂とは異なる性質であることから、施工性に関して担当者から聞き取り調査を行った。その結果、泥炭によるのり面整形に、若干時間を要するものの作業性には特に問題がなかった。なお、泥炭とすき取り物の混合および混合した材料ののり面への張り付けは一般土砂と同じ作業性であった。

## 4. 泥炭の有効利用方法のまとめ

これまでの検討の結果、現場条件に応じた泥炭の盛土材および緑化基盤材としての利用方法を表-5、表-6にまとめた。

## 5. おわりに

今回の検討により、これまで、利用が困難であった泥炭を盛土材および緑化基盤材として利用できることを明らかにした。北海道では河川周辺に泥炭地盤が広く分布しており、治水対策にともなう河道掘削により多量の泥炭が浚渫されることが予想される。今後、泥炭の有効利用手法が求められると考えられることから、より合理的、経済的な利用法を検討し提案したいと考える。

謝辞：最後になりましたが、今回の検討にあたり、試料をご提供いただきました室蘭開発建設部、現場を提供していただきました札幌開発建設部、留萌開発建設部、施工から6年が経過した盛土の現場密度測定データを提供いただきました旧石狩川開発建設部の関係者の皆様に対し、心から感謝いたします。

#### 参考文献

- 1) (独)北海道開発土木研究所：泥炭性軟弱地盤対策マニュアル、2002.3.
- 2) 佐藤厚子、西川純一、北野初雄、山澤文雄：固化破碎土の強度特性について(その2)、第33回地盤工学会研究発表会論文集、1998.7.
- 3) 日本道路協会：道路土工要綱、p.287、2009.6.
- 4) 北海道開発局開発土木研究所：北海道における不良土対策マニュアル(案)、1985.2.
- 5) 佐藤厚子、西川純一：衝撃加速度による安定処理土の品質管理方法、セメント系安定処理土に関するシンポジウム、1996.2.
- 6) 佐藤厚子、北野初雄、内藤勲：高架下の緑化に関する検討、第40回北海道開発局技術研究発表会、1997.2.
- 7) 佐藤厚子、西川純一、西本 聡：改良した泥炭による盛土施工、地盤工学会第5回環境地盤シンポジウム、pp.271-276、2003.7.
- 8) 佐藤厚子、西本 聡、鈴木輝之：改良した泥炭の土木材料としての検討、地盤工学会第8回環境地盤シンポジウム、2009.7.
- 9) セメント協会：セメント系固化材による地盤改良マニュアル[第二版]、技報堂出版株式会社、p.41、1994.8.
- 10) 北海道開発局：漏水対策工設計施工指針(案)、p.117、1984.1.
- 11) 地盤工学会：地盤調査の方法と解説 p.286、2004.9.
- 12) 土質工学会：土質試験法(第2回改訂版)、p.6、1980.10.
- 13) 環境庁告示第46号、1991.8.
- 14) 北海道開発局建設部道路計画課：北海道の道路緑化指針(案)、北海道開発協会、1987.3.
- 15) 平島利昭：北海道の牧草栽培技術—基礎編—、農業技術普及協会、1982.1.
- 16) 大政 幸輝、古田 雄一、佐藤 厚子：砂地盤における法面植生の試験施工について—経過報告—、第52回北海道開発局技術研究発表会、2009.2.