

# 固化処理した泥炭の盛土試験について(第1報)

## —河川工事で発生する泥炭の有効利用—

札幌開発建設部 江別河川事務所 調査課

○石井 克己  
高嶋 守仁  
林 隆幸

江別河川事務所では治水安全度向上のため、夕張川KP2.5～KP7.5の区間での河道掘削及び千歳川江別太地区での遊水地整備を計画している。

既往の調査結果から二つの事業で発生する掘削土約370万 $m^3$ の内270万 $m^3$ 程度は泥炭であることがわかっているが、泥炭はそのままでは盛土材として使用できない材料である。

本報告は、大量に発生する泥炭を固化材で改良し盛土材料として有効利用する可能性の検討のため、夕張川で実施している試験施工について報告するものである。

キーワード：泥炭、盛土材料、固化破碎土、有効利用

### 1. はじめに

江別河川事務所では治水安全度向上のため、夕張川KP2.5～KP7.5の区間での河道掘削及び千歳川江別太地区での遊水地整備を計画している。夕張川の河道掘削概要および千歳川江別太地区での遊水地整備により発生する掘削土は既往の調査結果から発生する掘削土約370万 $m^3$ のうち270万 $m^3$ 程度は泥炭であることが分かっている。



図-1 事業概要

泥炭は高有機質で含水比が高いことからそのままでは盛土材として利用できない材料であるが、これまでの検討<sup>1)2)3)</sup>により固化材を混合することにより盛土材料として有効利用できることがわかり、平成16年4月発生土有効利用マニュアル<sup>4)</sup>に掲載された。

本報は、泥炭を盛土材として有効利用する可能性の検討のため、夕張川の泥炭を用いて実施している試験施工について報告する。さらに現在までに得られた課題及び継続実施している調査検討内容について報告するものである。

### 2. 泥炭の固化材による改良

試験施工では、泥炭と固化材を混合し、そのまま転圧せずに盛土を作成する固化土、固化土の状態から一定期間放置後に破碎、転圧し盛土を作成する固化破碎土という2つの方法<sup>1)2)3)</sup>を取り上げた(図-2)。混合機械は高含水比の不良土に砂質土を混合して改良する際に一般的に用いられているロータリー式スタビライザとした。また、破碎までの養生期間は7日とした。

#### \* 固化破碎土

不良土と固化材を混合し、ある期間放置、固結が完了する前に破碎し、これを材料土として転圧して盛土をつくる。転圧後も固化作用が継続する場合、強度が増加する。今回は、固化材混合後、比較的放置期間を長くして、工程上の制約を少なくする場合を想定する。そのため転圧後の固化作用の継続を期待しない。



#### \* 固化土

不良土に固化材を混合し、直ちに転圧せずにバックホウのバケットで押さえて盛土を成形する。次の層の盛土をする場合、施工機械が走行できる強度になってから次の段階の盛土に移る。

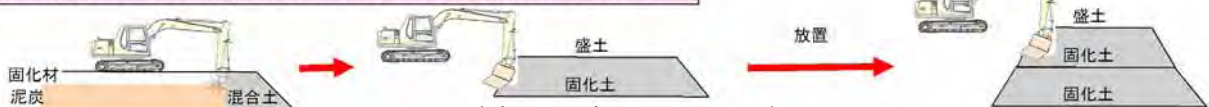


図-2 固化破碎土および固化土のイメージ図



写真-1 ロータリー式スタバイライザによる攪拌混合

### 3. 事前室内試験

試験施工での固化材の添加量は事前室内試験を実施し決定した。以下に試験に用いた泥炭の性状、固化材の種類、改良目標および試験結果について述べる。

#### (1) 泥炭の性状

本試験に用いた泥炭の基本物性値を表-1 に示す。自然含水比や強熱減量が高く、このままの状態では建設機械のトラフィカビリティを確保出来ない材料である。

#### (2) 固化材の選定

固化材はこれまでの実績および経済性の観点から高炉セメントB種および泥炭用の特殊セメント（アースタイト201：日鐵セメント株）の2種類とした。

#### (3) 改良目標

要求性能は以下のとおりとした。

##### a. 固化破砕土

施工時の目標コーン指数  $q_c$  値は、築堤盛土の通常の施工性を確保できる  $400\text{kN/m}^2$  以上とする（建設発生土4種相当）。

室内試験における目標コーン指数  $q_c$  値は、施工時の均質性が室内試験時より低下することが予測されるため、施工時の2倍の  $800\text{kN/m}^2$  として最適添加量を求める。

##### b. 固化土

室内試験と施工時における目標一軸圧縮強さ  $q_u$  値は、安定した盛土の目標強度である  $150\text{kN/m}^2$  とする<sup>5)</sup>。

#### (4) 室内試験結果

##### a. 固化破砕土

図-3 および図-4 に高炉セメントB種および泥炭用特殊セメントにおける固化材添加量とコーン指数の関係を示す。目標コーン指数  $q_c$  値が得られる添加量は、高炉セメントB種で23% ( $230\text{kg/m}^3$ ) に対して泥炭用特殊セメントで13% ( $130\text{kg/m}^3$ ) と泥炭用特殊セメント

表-1 泥炭の性状

物理試験			化学試験	締固めた土のコーン指数試験			pH試験	六価クロム溶出試験
土粒子の密度 $\rho_s$ ( $\text{g/cm}^3$ )	自然含水比 $w_n$ (%)	単位容積質量 ( $\text{kg/L}$ )	強熱減量 $L_i$ (%)	コーン指数 $q_c$ ( $\text{kN/m}^2$ )	湿潤密度 $\rho_t$ ( $\text{g/cm}^3$ )	乾燥密度 $\rho_d$ ( $\text{g/cm}^3$ )		
1.771	578	0.843	62.1	47	1.012	0.160	5.0	0.01未満

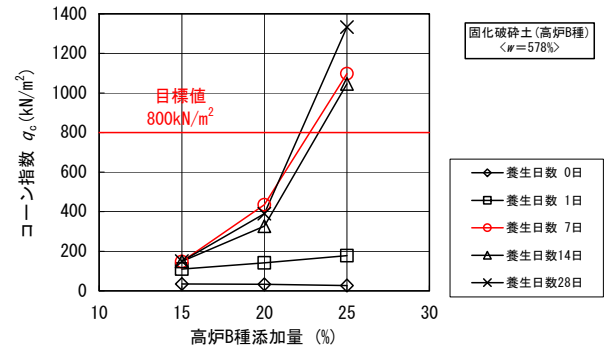


図-3 固化材添加量とコーン指数（固化破砕土, 高炉B種）

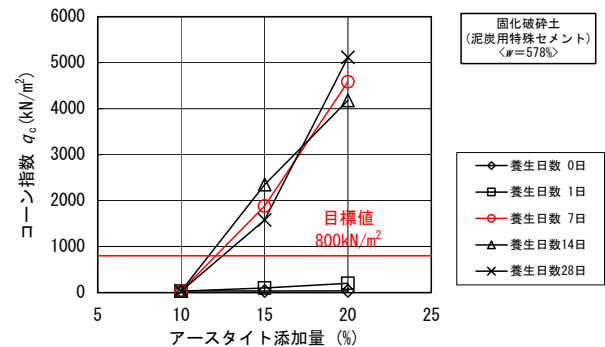


図-4 固化材添加量とコーン指数（固化破砕土, 泥炭用特殊セメント）

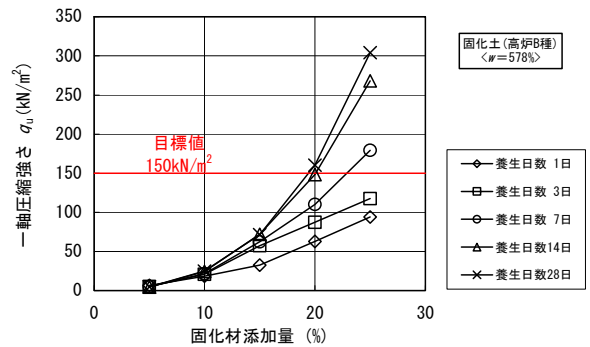


図-5 固化材添加量と一軸圧縮強度（固化土, 高炉B種）

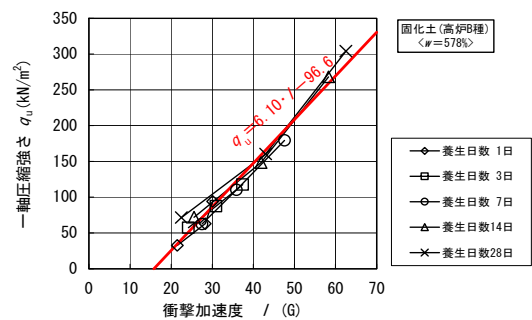


図-6 一軸圧縮強度と衝撃加速度（固化土, 高炉B種）



は高炉セメント B 種の約 6 割の添加量でよい結果となった。

#### b. 固化土

図-5 に固化材添加量と一軸圧縮強さの関係を示す。固化材は高炉セメント B 種を使用し、目標一軸圧縮強さ  $q_u$  値  $150 \text{ kN/m}^2$  を得るための添加量は養生日数 28 日で 20% ( $200\text{kg/m}^3$ ) であった。なお、一軸圧縮強さを現場管理基準として用いることは困難であることから、現場でも簡易に測定可能な衝撃加速度を併せて測定した。その結果、図-6 に示すとおり一軸圧縮強さと衝撃加速度試験には相関が見られた。この図から現場試料の衝撃加速度が 40G 以上であれば目標一軸圧縮強さ以上であると判断することとした。

### 4. 試験施工

#### (1) 試験施工概要

試験施工は、実際に掘削が予定されている夕張川下流の高水敷にヤードを造成し実施した。試験施工ヤードのイメージ図を図-7 に示す。

なお、試験施工に用いる泥炭は、試験ヤード内の泥炭であり、事前に層厚等を確認した（層厚 2m~3m）。試料に用いる泥炭は表土を取り除いた後、混合攪拌するヤードに仮置き整形した。

混合攪拌は、仮置きした泥炭の上にフレコンパック詰めの固化材をバックホウにより敷設し後、ロータリー式スタビライザにより実施した。攪拌回数は管内の工事で砂と不良土を混合したときの実績から 4 往復を目安とし、混合試料の色が変わらない状態となるまで実施した。結果としては平均 4 往復程度で色が変わらない状態となった。

固化土は、混合攪拌後直ちにバックホウで盛土を形成した。

固化破碎土は、混合・攪拌した試料を 7 日養生後、バックホウにより破碎し、隣のヤードに移し転圧した。転圧はロードローラによることを基本とし、転圧不能な場合はバックホウ（ $0.7\text{m}^3$  級）により実施した（30cm/層、3 回転圧）。

#### (2) 泥炭と固化材の攪拌混合

混合後の試料は、直径 50cm 程度の塊が存在し泥炭の繊維が解れていないものが多い状態であった。

#### (3) 固化破碎土の破碎試料

7 日養生後破碎した試料は、泥炭の土塊および固化材の密集した塊（最大径 10cm 程度）が混在し、均一に攪拌混合されていなかった（写真-2）。

#### (4) 転圧状況（固化破碎土におけるトラフィカビリティーの確保）

高炉セメント B 種、泥炭用特殊セメントにより改良

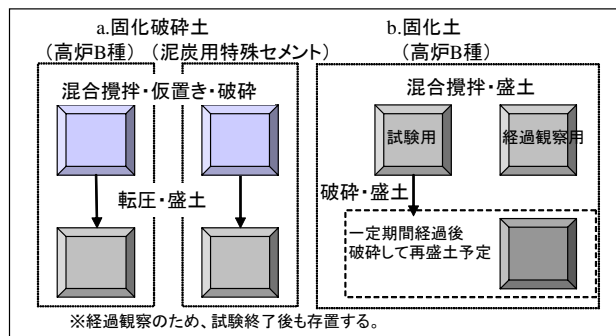
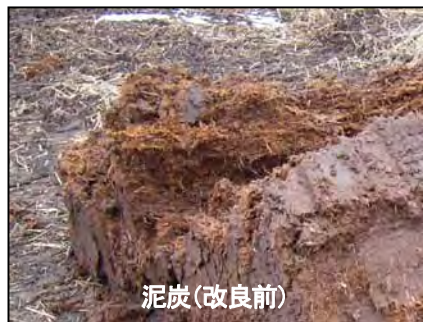
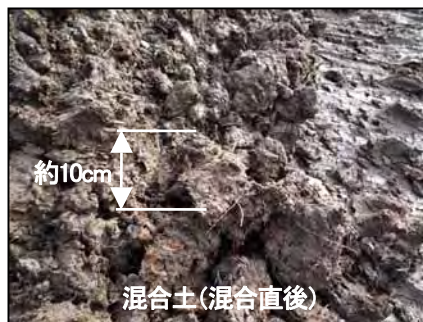


図-7 試験施工ヤードイメージ図



泥炭(改良前)



約10cm

混合土(混合直後)



約50cm

固化破碎土

写真-2 試料の変化



(ロードローラー)

(バックホウ0.7m³級)

写真-3 転圧状況

された破碎土はいずれもロードローラーによる転圧は不可能であった(写真-3)。これは、泥炭と固化材が均一に混合されていないため、ところどころに軟らかい部分があることと、繊維質部分からの水分の分離による泥濘化が原因と考えられた。ただし、バックホウ 0.7m<sup>3</sup> 級により転圧が可能であり、ブルドーザー15t 級程度のトラフィカビリティは確保できていると考えられる。

(5) 盛土強度

a. 固化破碎土

図-8 に示すとおり、原位置 qc 値は 1000kN/m<sup>2</sup> 以上得られているが、全体的に深度方向でバラついており、均一に混合攪拌されていないことが考えられる。

また、原位置試験の qc 値が室内試験の qc 値より大きくなった。これは、室内試験では試料を細かく破碎した後に供試体を作製するため土砂で言うと礫~砂程度の大きさとなるのに対して、原位置ではバックホーによる破碎であることから、破碎後の改良体の寸法が大きく、試験時にその破碎しきれていない固化材の密集した塊にあたり貫入抵抗性が大きくなったことが考えられる。

b. 固化土

現場で混合攪拌した試料を現場および室内養生し、一軸圧縮試験を実施した。また、作成した盛土の表面において衝撃加速度を計測し、ポータブルコーン貫入抵抗も計測した。

現場養生試料の一軸圧縮強度は養生日数が経過するに従い増加する傾向にあるが、35 日養生においても 120kN/m<sup>2</sup> と目標である 150kN/m<sup>2</sup> は得られていない。また、衝撃加速度は 7, 14, 35 日養生共に 30G 程度であり、図-6 に示す関係式を用いると一軸圧縮強さ  $q_u$  は 85kN/m<sup>2</sup> 程度であると推測され、実際の一軸圧縮試験と比較しても低い傾向となっている。

原位置 qc 値については、表層で一部 400kN/m<sup>2</sup> を下まわっているが、それ以外は 400kN/m<sup>2</sup> 以上の値となっている。

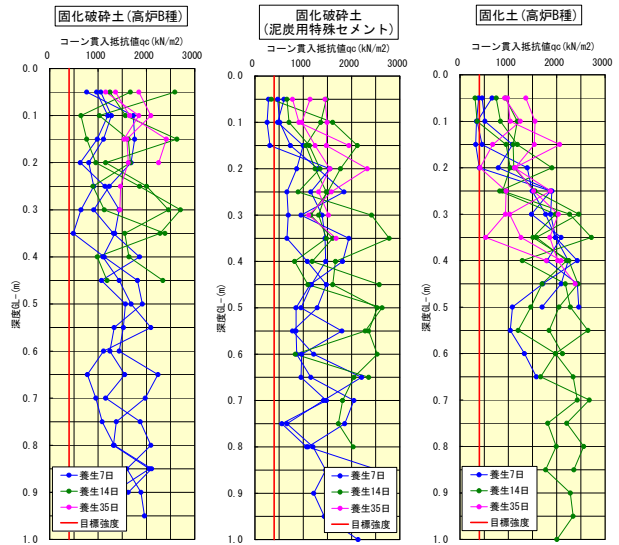


図-8 原位置qc値

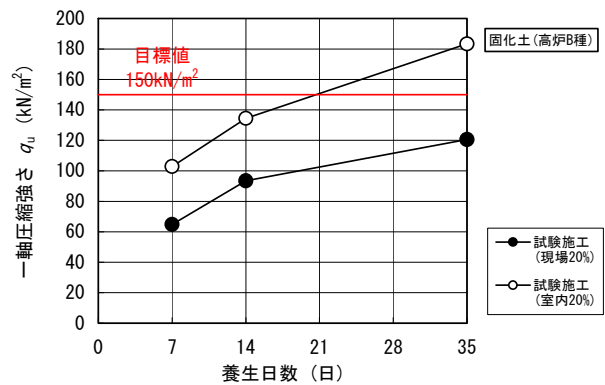


図-9 固化土の一軸圧縮試験

表-2 試験施工調査結果一覧

改良体 作製方法	固化材 種類	固化材添加量		養生 日数	養生 条件	室内試験				養生 日数	盛土 作製後 経過 日数	原位置試験						
		目標 (%)	実質 (%)			縮固めた土 のコーン指 数試験 コーン指数 $q_c$ (kN/m <sup>2</sup> )	土の一軸圧 縮強度試験 一軸圧縮 強さ $q_u$ (kN/m <sup>2</sup> )	透水試験 透水係数 $k$ (m/s)	六価クロム 溶出試験 (mg/L)			ポータブル コーン貫入 試験 $q_c$ (kN/m <sup>2</sup> )	衝撃加速度試験 衝撃加速度 $I$ (G)	縮固めた地盤 の透水試験 透水係数 $k$ (m/s)				
															養生 日数	養生 条件	養生 日数	養生 条件
固化破碎土	高炉B種	23	20.7	0	現場	70	—	—	—	0	—	—	—	—				
				7	室内	536	—	2.02E-08	—	7	0	—	30.2	1.42E-05				
				現場	491	—	—	—	14	7	—	41.9	—					
	35	現場	—	—	—	—	0.02	35	28	—	37.5	—						
	アース タイト	13	12.2	0	現場	73	—	—	—	0	—	—	—	—				
				7	室内	2829	—	6.47E-09	—	7	0	—	16.8	2.71E-07				
現場				392	—	—	—	14	7	—	39.5	—						
35	現場	—	—	—	—	0.01未満	35	28	—	34.2	—							
固化土	高炉B種	20	18.3	7	室内	—	102.8	2.48E-08	—	—	—	—	—	—				
				14	室内	—	134.5	—	—	—	—	—	—	—				
				35	室内	—	183.4	—	—	0.02	—	—	—	—				
				0	現場	—	—	—	—	—	0	0	—	—				
				7	現場	—	64.9	—	—	—	7	7	—	33.1	1.16E-06			
				14	現場	—	93.5	—	—	—	14	14	—	29.4	—			
35	現場	—	120.6	—	—	—	35	35	—	30.5	—							

## (6) 透水性

固化破碎土（および固化土）の透水係数は、高炉B種、泥炭用特殊セメントによるものいずれも室内試験では $10^{-8} \sim 10^{-9} \text{m/s}$  オーダー、原位置試験では $10^{-5} \sim 10^{-7} \text{m/s}$  オーダーであった。一般に築堤の漏水対策として良好とされている透水係数は、「河川堤防の漏水対策技術」<sup>9)</sup>によると、 $k=1 \times 10^{-5} \text{m/s}$  以下を確保することと記載されており、本結果はほぼこれを満足するものとなった。

## (7) 六価クロムの溶出について

試験施工中調査における六価クロムの溶出量は、基準値の $0.05 \text{mg/L}$  以下を満足するものであったが、事前配合試験においては、基準値を上回る場合があった。

## 5. 試験施工後の検討事項

### (1) 泥炭の含水比の影響

室内試験において含水比を低下させた泥炭（含水比約300%）の最適添加量の試験を実施した結果、固化材の添加率は約20%となり、泥炭の含水比の低下により固化材の添加率を低減できる可能性が示唆された。

試験施工時の泥炭の含水比は、事前室内試験時578%に対して662%であった。試験施工では、固化破碎土の目標qc値はクリアできているが、転圧に困難があった。また、試験施工と同一試料における室内試験結果においてはqc値は $292 \text{kN/m}^2$ と目標には達していない。このことから、室内と現場の攪拌効率の違い以外に固化材の量が不足していたことが考えられ、泥炭の含水比のばらつきへの把握も重要であることが考えられる。

### (2) 経済性

安定処理工法のうちロータリー式スタビライザによる施工は、施工が単純であるため自走式土質改良機による改良や中層混合処理等の他の工法と比較して施工費が安価である。しかし、特に今回対象とした繊維質な泥炭では品質に大きなバラつきが生じた。このため、攪拌効率の向上を行うことにより、固化材の添加量の低減が期待できると考えられる。

アースタイトは、高炉セメントB種の約6割程度の添加率で同程度のqc値が得られているが材料単価は高炉B種の3倍である。ただし、泥炭の含水比の低下や攪拌方法の改良によっては、アースタイトが採用できる可能性がある。

固化土は7日養生以降も強度が増進していることが確認されていることから、長期間の養生を経て固化破碎土を作成することで、固化材の低減が図れる可能性がある。

### (3) 施工時期

試験施工は12月での実施であった。施工後の気温は $0^\circ\text{C}$ を下回っていたが、盛土体内部の温度は施工後3日

まで上昇した後35日目で $5^\circ\text{C}$ まで低下した状態であった。これは、固化材の反応に伴う水和熱により盛土体の温度が上昇したことで外気温の影響が小さくなったものと考えられる。本業務の結果から、積雪前の寒冷期までは改良土作製、盛土転圧が可能であることが示唆された。

また、今回の気温条件で現場qc値が $1000 \text{kN/m}^2$ 以上得られていることから、夏期の温暖な時期に施工した場合は、固化材添加量の低減が期待できる。

## 6. 今後の課題および継続中の調査

今回の試験により明らかとなった課題を整理すると以下のとおりである。

- ①ロータリー式スタビライザにより泥炭と固化材を攪拌したが均一な混合とはならなかった。目標qc値 $400 \text{kN/m}^2$ はクリアしているが、より均一に混合攪拌することが出来れば、固化材添加量を低減、更には盛土品質を向上することが出来ることが考えられる。
- ②今回の調査では盛土作成後28日までのデータしか得られていない。泥炭と固化材を配合した試料による盛土の長期耐久性を明らかにする必要がある。
- ③固化土の強度が盛土作成後28日まで増加していることがわかった。このことから、長期間養生した固化土を固化破碎土の材料とする場合、固化材の添加量を低減できる可能性がある。
- ④泥炭の含水比を低下させた場合、固化材添加量を少なくできる可能性がある。

これらの課題に対して、引き続き以下に示す調査検討を現在実施中である。

### ① 施工機械の比較試験

ロータリー式スタビライザにより作成した固化破碎土と、より均一に攪拌できる可能性のある自走式土質改良機により作成した固化破碎土の比較試験

### ② 長期間経過後の性状の確認

本試験で作成した盛土（固化破碎土および固化土）が約270日経過した時点での性状確認

### ③ 長期養生試料を用いた試験

本試験で作成した固化土（作成後約270日経過）試料を用いた試験施工

### ④ 泥炭の含水比の影響確認試験

泥炭の含水比を強制的に低下させて目標qc値が得られる固化材添加量の変化を確認する試験

### ⑤ 泥炭の含水比低下試験

泥炭の含水比の低下方法について、 $0.3 \text{m}$ と $1.0 \text{m}$ の巻きだし厚で曝気して観察する

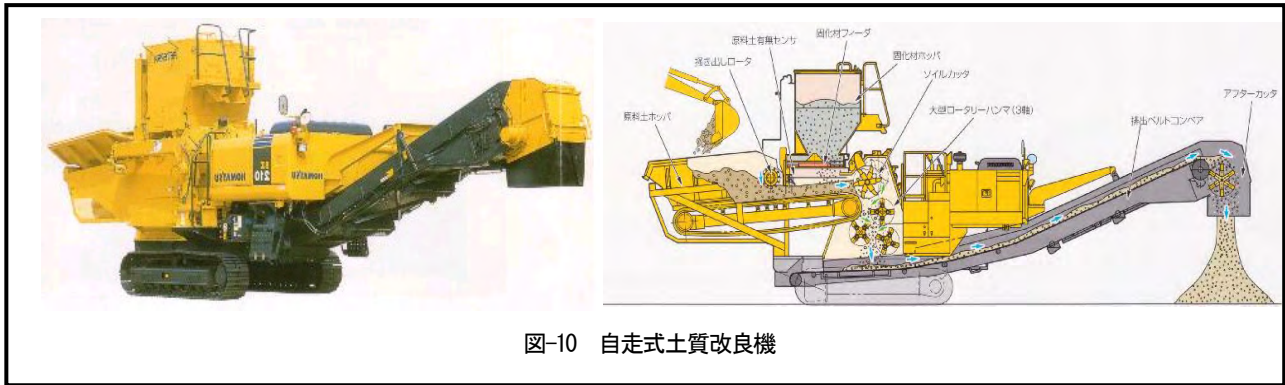


図-10 自走式土質改良機

これらの検討結果については第2報で報告する予定である。

## 7. おわりに

今回の試験施工により、泥炭を固化材で改良し盛土材料として有効利用できる可能性が示唆された。今後は耐久性の把握や施工費の更なる低減の検討が必要である。

また、道路盛土、河川築堤への実用化のためには、上記の課題をクリアすることはもちろんのこと、沈下追従性や浸透、侵食、耐久性、施工性等の観点からの検討も進める必要があると考える。

## 参考文献

- 1) 佐藤厚子、西本聡：泥炭を材料とする固化破碎土の強度、第39回地盤工学研究発表会講演集、2004.7
- 2) 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回環境地盤工学シンポジウム発表論文集2003.7
- 3) 佐藤厚子、西本聡：安定処理した泥炭の土木材料としての特性、第40回地盤工学研究発表会講演集、2005.7
- 4) (独) 土木研究所：建設発生土利用技術マニュアル2004.9
- 5) 北海道開発局土木試験所土質研究室：北海道における不良土対策マニュアル(案)、1985.2
- 6) (財)北海道河川防災研究センター：河川堤防の漏水対策技術、p.106、2003.6