

# 石炭灰造粒物と粘性土を攪拌した築堤材料としての可能性について（第一報）

石狩川開発建設部 岩見沢事務所 計画課 ○今村 仁紀  
諸橋 雅幸  
宮崎 俊行

岩見沢河川事務所管内では、良質な盛土材料が不足する現状から、含水比の低下および粒度調整による土質改良を行い、築堤整備を実施している。

しかし、粒度調整に用いる粗粒材（砂）は資源量が限られていることから、今後の計画的な築堤整備に向けて、砂の代替物として石炭灰造粒物に着目し、その適用性について室内配合土質試験を行い検討した。

キーワード：石炭灰造粒物、築堤盛土材料、粒度調整、混合攪拌

## 1. はじめに

岩見沢河川事務所では、石狩川本川および支川において、洪水時の流下能力確保と築堤拡幅による堤防強化に向けた整備を進めている。

必要とする築堤盛土材料は、河道掘削土を基本としているが、当該流域は高含水の粘性土および泥炭が広く分布しており、そのままでは流用が困難な状況にあることから、含水低下および粒度調整による土質改良を行い対応している。

現在、粒度調整に用いる粗粒材料は本川河道内の砂州を冬期掘削し翌年度に使用しているが、今後も計画的な築堤整備を行って行くには、継続的な砂の確保が課題となっている。

そこで、この対応策として、火力発電所や製紙工場等から排出される石炭灰造粒物に着目し、粒度調整に用いる砂の代替物としての適用性について検討を行った。

## 2. 土質改良方法

一般に、河川堤防に用いる堤体材料は、以下のような条件を満たしているものが望ましいとされている<sup>1)</sup>。

- ① 高い密度が得られる粒度分布で、かつ、せん断強度が大ですべりに対する安定性があること。
- ② できるだけ不透水性であること。（河川水の浸透による浸潤面が裏のり尻まで達しない程度の透水性が望ましい。）
- ③ 堤体の安定に支障を及ぼすような圧縮変形や膨張性がないものであること。
- ④ 施工性がよく、特に締固めが容易であること。

- ⑤ 浸水、乾燥などの環境変化に対して、のりすべりや亀裂などが生じにくく、安定していること。
- ⑥ 有害な成分を含まないこと。

この内、主として①、③、④を改善する土質改良の代表的な手法を以下に示す。

### (1) 含水比の低下

粘性土分布箇所では、工事開始前にトレンチ排水を採用している（写真-1参照）。

施工時期や土層構成、地形条件により異なるが、トレンチ排水や曝気乾燥による実績では、地山含水比を10～15%程度低下させ、施工性を確保した事例がある。

しかし、大部分は施工性の確保を得るまでの含水比低下は困難であり、適用には限界がある。



写真-1 トレンチ排水工

## (2) 粒度調整

堤体材料への単独流用が不可能と判断された粘性土に対して、砂州に堆積した砂を混合攪拌し、築堤盛土材料として利用している。

これまでの施工実績では、砂：粘土=0.5～2.0：1程度の混合割合で、築堤材料としての品質（主に施工性の確保）を満足することが出来る。

しかし、砂州によって確保できる土量は、年間10万<sup>3</sup>程度であるため、今後の継続的な安定供給という面では不確実な要素が多い。

## (3) その他の方法

その他の土質改良工法としては、石灰やセメントを用いて土質を安定処理する方法が考えられる。しかし、地山含水比が高いためその添加量が大きくなることが想定され、大量の築堤材料を確保するためには、コストや環境基準などについての解決課題が挙げられる。

## 3. 石炭灰造粒物の現状

砂に替わる攪拌材料として、火力発電所や製紙工場から排出された石炭灰造粒物について着目し、その適用性について検討を行った。

### (1) 北海道における石炭灰の発生状況と利用状況<sup>2)</sup>

北海道の石炭灰は主に電気事業の石炭火力発電所（北海道電力(株)）および製紙工場の自家用ボイラ（王子製紙(株)・日本製紙(株)）から発生しており、平成14年度には石炭火力発電所から65万t、製紙工場から23万t、合計88万tが発生し、発生する石炭灰のうち、92%（約81万t）が有効利用されていた（図-1参照）。

H14当時の実績では、石炭火力発電所の石炭灰は、主にセメント原料や炭坑充填用として利用され、製紙工場の石炭灰は、主に土壌改良やセメント原料に利用されている。

このように、同じ石炭灰でも火力発電所から発生する石炭灰と製紙工場から発生する石炭灰とで利用状況が異なるのは、石炭を燃焼される時に用いられるボイラ形式の違いによる石炭灰の性質の違いによるものである。

石炭灰は大きく2種類に分類され、石炭ストーブで石炭を燃やした時、煙突に付着する灰と燃え殻が残る。この灰をフライアッシュ、燃え殻をクリンカアッシュと呼ばれ、工場等により石炭灰の発生比率は異なってくる（図-2参照）。

フライアッシュは粒径が細かく、粒度がそろった球形粒子のため、単体としては砂に替わる攪拌材料として適さない。また、クリンカアッシュは粒径が粗く、やや品質にばらつきがあることから、同様に単体としては砂に替わる攪拌材料としては適さない。この他にも、フライアッシュにセメントを混ぜた物も再利用されている。

本報告に用いた石炭灰造粒物は、日本製紙(株)勇払工場のものを用いた。このタイプの石炭灰造粒物は石炭を燃焼させる前にあらかじめ石灰を混ぜ、残ったフライアッシュに適度に加水することによって、粒径の不均質な造粒物が精製されるボイラー形式(流動床タイプ)によるものである。

このタイプの造粒物の製品は、道路の盛土材、凍上抑制層、路盤材など道路分野では利用されているが（写真-2）、河川分野においての実績はない。そこで、この石炭灰造粒物が砂に替わる攪拌材料として室内配合試験を実施し、築堤盛土材料としての適否について検討した。

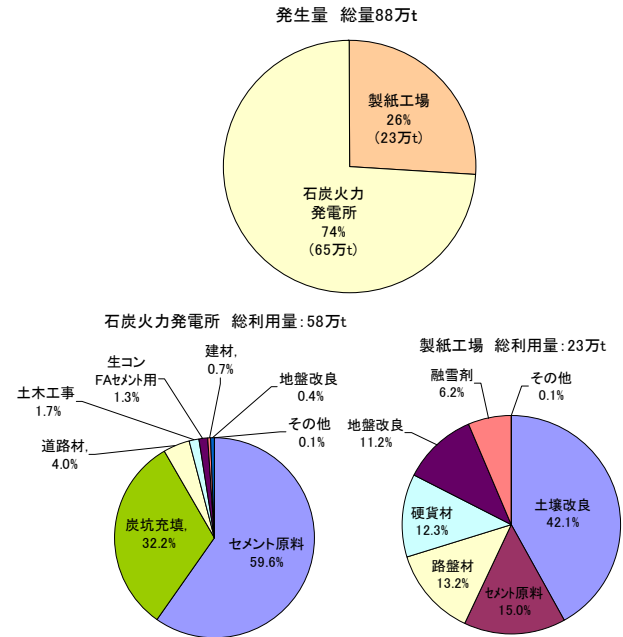


図-1 石炭灰発生量と利用内訳 (H14 道内実績)

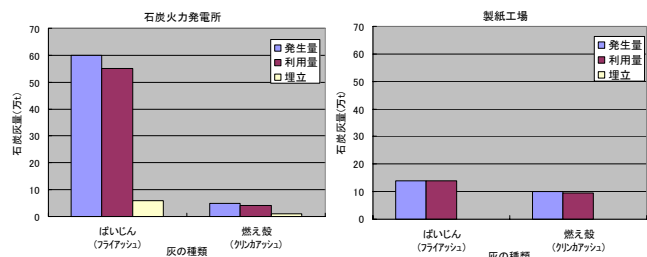


図-2 石炭灰の発生比率 (H14 道内実績)



写真-2 路盤材への利用例 (石炭灰造粒物)

#### 4. 配合検討

ここでは、石炭灰造粒物の適用性を比較評価するために、粒度調整材料として砂を使用した場合と石炭灰造粒物を使用した場合の試験検討結果について示す。

##### (1) 砂質土を用いた配合試験結果

砂質土による粒度調整の一例として、平成20年度工事における土質試験結果を示す。

表-1の土質試験結果一覧表に示されるように、粒度調整に用いた粗粒材料である砂は、冬期に砂州から採取し置土保管しておいたもので、地盤工学材料としては粒径幅の広い礫質砂に分類される。

粘性土は、土工材料としては比較的扱いづらい低液性限界の砂質粘土で、コーン指数が $q_c=237 \text{ kN/m}^2$ と通常の施工性 ( $q_c \geq 400 \text{ kN/m}^2$ ) の確保<sup>3)</sup>が困難と判断された材料である。既往の調査結果からは、今後、岩見沢河川事務所管内の石狩川河道掘削で発生する粘性土は、主にこのタイプの土質特性を有するものが多いと想定される。

これらの材料を配合割合を変化させた室内土質試験を3配合 (砂:粘性土=0.3:1、0.6:1、1.0:1) で行い、混合土の品質確認を実施した。

粒度調整に用いた材料と上記の配合割合で粒度調整した混合土の粒径加積曲線を図-3に示す。

図-3の粒径加積曲線によると、混合土は、粘性土と砂が単独では不足する粒度を互いに補うように粒度が改善されていることが示される。

このことは、堤体材料として求められる高い密度が得られる粒度に改善されたことを意味する。

表-2は、砂:粘性土=0.3:1と0.6:1の混合土の自然含水比における室内コーン指数試験結果を示したものである。同表に示されるように砂:粘性土=0.3:1配合では、 $q_c=263 \text{ kN/m}^2$ と通常の施工性 ( $q_c \geq 400 \text{ kN/m}^2$ ) を確保することが困難である。このため、改善効果を期待することが可能な配合割合は、砂:粘性土=0.6:1以上の砂の配合とする必要がある。

砂:粘性土=0.6:1の土質試験結果一覧表を表-3に示す。

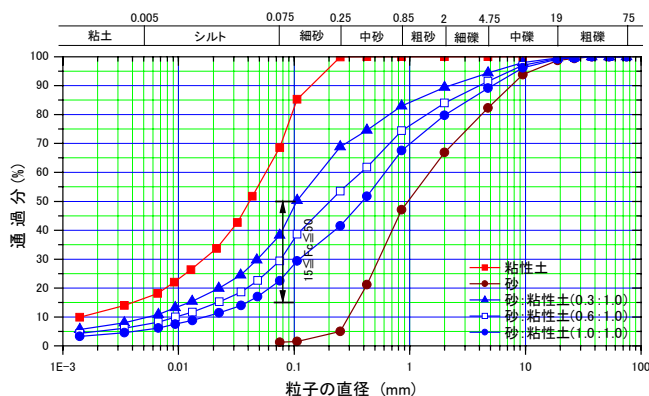


図-3 粒度分布図 (粒度調整後: 砂+粘性土)

表-1 室内土質試験結果 (配合前: 砂+粘性土)

		砂(砂州)	粘性土	
一般	土粒子の密度	$\rho_s \text{ g/cm}^3$	2.692	2.685
	自然含水比	wn %	4.8	33.0
粒度	石分	75mm以上 %	0.0	0.0
	礫分	2~75mm %	33.1	0.0
	砂分	75 $\mu\text{m}$ ~2mm%	65.6	31.4
	シルト分	5~75 $\mu\text{m}$ %	1.3	52.2
	粘土分	5 $\mu\text{m}$ 未満 %	-	16.4
	最大粒径	(mm)	37.5	0.425
コンシステンシー	液性限界	wL %	NP	40.1
	塑性限界	wp %	NP	22.1
	塑性指数	Ip	-	18.0
分類	分類名	粒径幅の広い礫質砂	砂質粘土 (低液性限界)	
	分類記号	(SPG)	(CLS)	
締固め	試験方法	-	-	
	最大乾燥密度	$\rho_{dmax} \text{ g/cm}^3$	-	-
	最適含水比	wopt %	-	-
コーン指数	コーン指数	$q_c \text{ kN/m}^2$	-	237
透水	透水係数	k cm/sec	-	-

表-2 配合割合とコーン指数の関係

配合割合 (砂:粘土)	含水比 (%)	コーン指数 $q_c(\text{kN/m}^2)$
0.3:1.0	24.1	263
0.6:1.0	19.5	455

表-3 室内土質試験結果 (配合後: 砂+粘土)

		砂:粘土 =0.6:1.0	
一般	土粒子の密度	$\rho_s \text{ g/cm}^3$	2.665
	自然含水比	wn %	17.0
粒度	石分	75mm以上 %	0.0
	礫分	2~75mm %	16.6
	砂分	75 $\mu\text{m}$ ~2mm%	52.3
	シルト分	5~75 $\mu\text{m}$ %	22.9
	粘土分	5 $\mu\text{m}$ 未満 %	8.2
	最大粒径	(mm)	37.5
コンシステンシー	液性限界	wL %	39.3
	塑性限界	wp %	21.2
	塑性指数	Ip	18.1
分類	分類名	粘性土質礫質砂	
	分類記号	(SCsG)	
締固め	試験方法	A-c	
	最大乾燥密度	$\rho_{dmax} \text{ g/cm}^3$	1.794
	最適含水比	wopt %	16.2
コーン指数	コーン指数	$q_c \text{ kN/m}^2$	455
透水	透水係数	k cm/sec	4.34E-04



(2) 石炭灰造粒物を用いた配合試験結果

次に、石炭灰造粒物と粘性土の配合試験に用いた材料の土質試験結果一覧表を表-4に示す。

対象とした石炭灰造粒物（写真-3参照）は、日本製紙（株）勇払工場から排出された石炭灰造粒物で、石炭の燃焼過程で石灰を混ぜたものに加水造粒したものである。

このため、含水比が28%程度と比較的高いのが特徴である。

地盤材料としては、粒径幅の広い礫質砂に分類される。

粘性土は、先に示した平成20年度工事の土取場から採取したものであるが、砂との配合試験に用いたものと比べて、含水比 $w_n$ が8%程度高くコーン指数 $q_c$ が著しく低い材料である。

これらの材料を3配合（石炭灰造粒物：粘性土=0.6：1、1.0：1、2.0：1）を実施し、室内試験にて確認を行った。

その結果、図-4に示すように、石炭灰造粒物：粘性土=1.0：1、2.0：1が概ね細粒分含有率 $F_c=15\sim50\%$ 程度の範囲内にあり、粒度分布は先の砂との粒度調整により得られた粒度分布と同程度の良好な結果が得られた。

また、室内土質試験からは、3配合ともコーン指数 $q_c$ 値が1,600 kN/m<sup>2</sup>以上を得ており、施工性の確保を十分満足していることを確認している。石炭灰造粒物との粒度調整に使用した粘性土は、砂との粒度調整に用いた粘性土と比べて含水比が高く、コーン指数が $q_c=31.2$  kN/m<sup>2</sup>と不利な条件であったが、砂を用いた配合試験で得られたコーン指数を上回る結果であった（表-5）。これは、砂との粒度調整より強度が上回ることを意味する。

また、透水試験の結果は、3配合とも築堤盛土材料としての基準値（ $k=1\times 10^{-3}$ cm/sec）を満足する結果となった。

以上のことから石炭灰造粒物は、従来から使用している砂州の砂と比較して、粒度調整材として同程度の性能を示している。

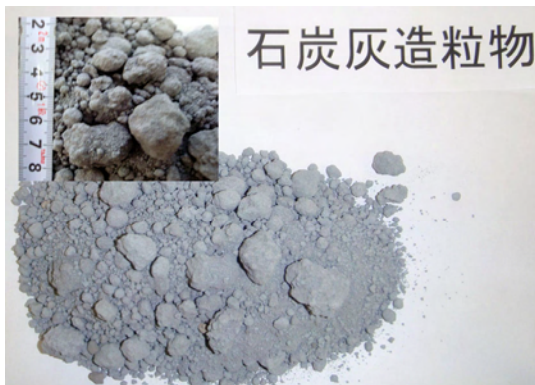


写真-3 石炭灰造粒物

表-4 室内土質試験結果  
(配合前：石炭灰造粒物+粘性土)

		石炭灰造粒物	粘性土	
一般	土粒子の密度	$\rho_s$ g/cm <sup>3</sup>	2.597	2.689
	自然含水比	$w_n$ %	27.9	40.9
粒度	石分	75mm以上 %	0.0	0.0
	礫分	2~75mm %	45.2	0.0
	砂分	75 $\mu$ m~2mm%	51.3	14.7
	シルト分	5~75 $\mu$ m %	3.2	65.0
	粘土分	5 $\mu$ m未満 %	0.3	20.3
	最大粒径 (mm)	37.5	0.425	
コンシステンシー	液性限界	wL %	NP	44.0
	塑性限界	wp %	NP	22.1
	塑性指数	Ip	-	21.9
分類	分類名	粒径幅の広い礫質砂	砂まじり粘土 (低液性限界)	
	分類記号	人工材料	(CL-S)	
締め	試験方法		-	-
	最大乾燥密度	$\rho_{dmax}$ g/cm <sup>3</sup>	-	-
	最適含水比	wopt %	-	-
コーン指数	コーン指数	$q_c$ kN/m <sup>2</sup>	-	31.2
透水	透水係数	k cm/sec	-	-

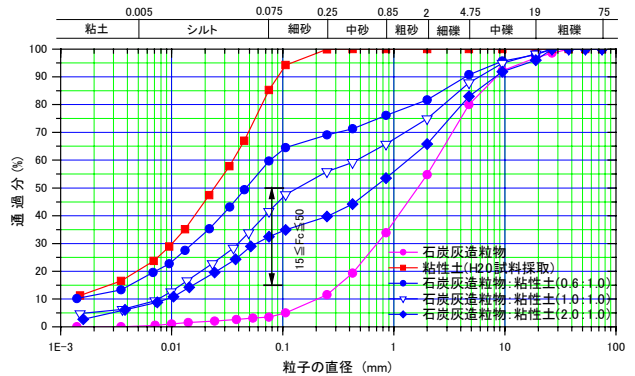


図-4 粒度分布図（粒度調整後）

表-5 室内土質試験結果  
(配合後：石炭灰造粒物+粘性土)

		石炭灰造粒物：粘土			
		=0.6:1.0	=1.0:1.0	=2.0:1.0	
一般	土粒子の密度	$\rho_s$ g/cm <sup>3</sup>	2.662	2.637	2.633
	自然含水比	$w_n$ %	33.9	32.7	31.9
粒度	石分	75mm以上 %	0.0	0.0	0.0
	礫分	2~75mm %	18.3	25.1	34.2
	砂分	75 $\mu$ m~2mm%	22.0	33.3	33.4
	シルト分	5~75 $\mu$ m %	43.0	33.8	25.2
	粘土分	5 $\mu$ m未満 %	16.7	7.8	7.2
	最大粒径 (mm)	26.5	37.5	37.5	
コンシステンシー	液性限界	wL %	52.0	49.5	49.3
	塑性限界	wp %	28.1	30.3	31.3
	塑性指数	Ip	23.9	19.2	18.0
分類	分類名	砂礫質粘土 (高液性限界)	粘性土質礫質砂	粘性土質礫質砂	
	分類記号	(CHSG)	(SCs-G)	(GCsS)	
締め	試験方法	A-c	A-c	A-c	
	最大乾燥密度	$\rho_{dmax}$ g/cm <sup>3</sup>	1.353	1.267	1.202
	最適含水比	wopt %	32.3	37.6	42.2
コーン指数	コーン指数	$q_c$ kN/m <sup>2</sup>	1687以上	1752以上	1752以上
透水	透水係数	k cm/sec	8.63E-05	3.86E-04	5.59E-04

## 5. まとめ

今回は、河川堤防において、粒度調整材として利用されている砂の代替案として、固結材料の主成分を石灰とする石炭灰造粒物について着目し、3配合（石炭灰造粒物：粘性土＝0.6：1.0、1.0：1.0、2.0：1.0）にて検討を行った。

その結果、粘性土と混合した場合、物性値や粒度分布では問題なく、従来の砂と混合したものよりも強度が得られる結果となった。しかし、配合割合を石炭灰造粒物：粘性土＝0.6：1.0とした場合は細粒分が多く、Fc値＝15～50%の範囲には入らなかった。

以上の結果を踏まえて、今後、石炭灰造粒物を築堤盛土材料として適用するための検討項目と課題を以下に示す。

- ・ 土壌汚染等の環境基準を満足するか検証を行う必要がある。
- ・ 今回対象としたのは石灰を基本とした造粒物であることから、タイプの違うボイラから生成される造粒物での適否について検討を行う。
- ・ 石炭灰造粒物の製造及び運搬に関わるコストと他の代替案との比較検討を行う。
- ・ 今後の河川整備スケジュールと併せて、石炭灰造粒物の供給可能量についても検討を行う。

以上の点を満足する材料を用いて、現地にて試験攪拌および試験盛土を実施し、その効果を実証する必要がある。

**謝辞：**今回の石炭灰造粒物の検討に際して、日本製紙(株)勇払工場の関係者の皆様から試験試料の提供や助言を頂いた。ここに記して心より感謝の意を表します。

### 参考文献

- 1) 財団法人国土開発技術研究センター：河川土工マニュアル，1993年6月．p.29～「堤体材料調査」，p.68～「堤体材料の選定」．
- 2) 北海道循環資源利用促進協議会建設資材部会 石炭灰利用技術マニュアル作成ワーキンググループ：地盤材料としての石炭灰利用マニュアル，2005年5月．
- 3) 独立行政法人土木研究所編著：建設発生土利用技術マニュアル(第3版)，土木研究センター発行，2004年9月．p.27～「土質区分基準および土質区分判定のための調査」．