

VII-1

石炭灰を利用した建設汚泥の再生利用

北海道電力㈱ ○正会員 白戸伸明
北電興業㈱ 正会員 高橋昌之

1.はじめに

建設工事、特に掘削工事においては多量の掘削物が発生するが、これらの掘削物が汚泥に該当する場合は産業廃棄物の扱いとなり、従来は、専門業者に委託処分していた。

「廃棄物の処理および清掃に関する法律」の一部改正に伴い、生活環境保全上の支障がないことを前提に、一定の条件を満たしている“建設工事から発生する無機性汚泥”については、発生場所の区域内において排出者自らが、建設資材または埋戻し材として再生利用することが認められた。

今回、北海道電力(株)苫東厚真火力発電所4号機増設工事に伴う取水路の土留工から発生する建設汚泥に当発電所既設号機から発生する石炭灰を攪拌混合し、構内の敷地造成材料に再生利用した。

混合する石炭灰についても産業廃棄物の「ばいじん」に属するが、セメントを含んだ建設汚泥と混合することにより固化し、アルカリ成分の溶出を抑制できることから、2種類の産業廃棄物を同時に有効利用することが可能となった。

本利用は、廃棄物処分行為に該当せずに行える「廃棄物の再生利用」の指定を受けるため、北海道と協議し所要条件を満足する配合設定と環境保全面について検討した結果、再生材としての使用を認められたものである。以下に、石炭灰を利用した建設汚泥の再生利用についての述べる。

2.建設汚泥

建設汚泥は、苫東厚真発電所4号機増設工事のうちGL-5~32 mに構築する取水路の土留工法に採用した柱列式地中連続壁工法(ソイルセメント壁)および高圧噴射攪拌工法において発生するものである。

汚泥は原位置の土砂とセメント固化材等の無機性の混合物で、発生時は泥状の流動性を有するものであるが、時間が経過するとセメントの水和反応により固化するものである。建設汚泥の混合物を表-1に示す。

当地点の地質は、最上位が埋立てられた砂質土、それ以深は勇払原野を流れる厚真川の氾濫堆積物と太平洋の海進、海退に伴う過程で堆積した海成堆積物からなる。その土層構成は礫、砂および粘土が錯綜した状態にある。

表-1 建設汚泥の混合物

建設汚泥の発生する工法	セメント (普通ポルトランド)	ベントナイト (クニゲルV2)	混和剤	水 (淡水)	土砂 (砂質土、シルト)
柱列式地中連続壁工法	○	○	(A)	○	○
高圧噴射攪拌工法	○	-	(B)	○	○

混和剤(A):増粘剤、混和剤(B):コンクリート用混和剤

3.再生材の配合試験

(1)所要条件

- ① 強度…コーン指数 $qc \geq 0.2N/mm^2$ または一軸圧縮強度 $qu \geq 0.05N/mm^2$
- ② 重金属の溶出…土壌の汚染に係る環境基準値を満足すること
- ③ 水素イオン濃度… $5.0 \leq pH \leq 9.0$ 、但し、条件に適合しない場合については、その状況が一過性のもので生活環境保全上の支障がないと判断される場合

Recycling of construction sludge by fly-ash
by Nobuaki Shirato, Masayuki Takahashi

(2) 配合試験のケース

汚泥は、地中で攪拌される原位置の土砂と注入したセメントミルクが同じ混合割合で地上に排出されるものとし、表-2に示す割合で調整した。なお、土砂量は含水比 $w=48.3\%$ の“湿潤重量”、石炭灰添加率は、“石炭灰の乾燥重量/汚泥の湿潤重量 $\times 100$ ”である。

表-2 配合試験のケース

ケース	工法	汚泥含水比 (%)	汚泥の内訳 (kg/m ³)				石炭灰添加率 (%)
			土砂	C	BN	W	
1	地中連壁	60	1258	188	6	215	30~60
2	高圧噴射	60	867	472	0	352	30~50
3	〃	80	716	390	0	465	60~80
4	〃	100	609	332	0	544	60~90

C:セメント、BN:ベントナイト、W:水

(3) 試験項目および方法

試験に使用した土砂および石炭灰の物性値を表-3に示すが、石炭灰は苫東厚真発電所1号機産のJIS規格外である。試験項目および方法を表-4に示すが、再生材のpH試験は、固化体の粉砕試料を試験に用いる通常の方法(以下、粉砕試料)と溶出状態をモデル化した方法(以下、溶出モデル化)の2通りで実施した。pH試験(溶出モデル化)は、再生材の透水係数が $k=10^{-8}$ cm/sオーダーと極めて低く事実上不透水性であることから、雨水の大半は蒸発または地表面を流下することにより、盛土体の成分が溶出することをモデル化した試験である。pH試験(溶出モデル化)の試験容器を図-1に示す。

表-3 土砂および石炭灰の物性値

項目	土砂	石炭灰
土粒子の密度	2.693	2.151
自然含水比 (%)	48.3	-
強熱減量 (%)	4.1	14.1
粒度	礫分 2~75mm (%)	0
	砂分 75 μ m ~ 2mm (%)	8
	シルト分 5~75 μ m (%)	41
	粘土分 ~5 μ m (%)	51
液性限界 (%)	61.8	-
塑性限界 (%)	29.4	-

(4) 試験結果

石炭灰の添加率とコーン指数の関係を図-2に示すが、汚泥に石炭灰を添加することにより q_c が増加、すなわちトラフィカビリティーが向上する。

表-4 試験項目および方法

試験項目	試験方法
含水比	JGS T121
コーン指数	JGS T716に準拠
一軸圧縮強度	JGS T511、材令7日
重金属溶出	土壤の汚染に係る環境基準 カドミウム、鉛、六価クロム、ヒ素、総水銀
pH(粉砕試料)	試料 50g(2mm以下に粉砕)に蒸留水 125mlを入れてかき混ぜ、30分放置後、上澄液を測定する。
pH(溶出モデル化)	所定の密度に締固め7日間養生後、供試体表面にろ紙を載せ浸せき水を注ぐ。浸せき水は毎日交換しpHを測定する。
透水係数	JGS T311(変水位法)、材令7日

再生材の含水比とコーン指数の関係を図-3に示すが $q_c \geq 0.2N/mm^2$ を満足する再生材の含水比は、約38%以下となる。本試験に用いた石炭灰は、一般の土質材料に比べ最適含水比が高く、他の材料に比べて高含水比での利用、すなわち低い添加量で再生利用ができる。また、石炭灰は含水比ゼロの乾燥状態の使用が可能であることから、更に含水比の低減効果が高い材料である。石炭灰の添加率は、図-4に示す汚泥含水比の違

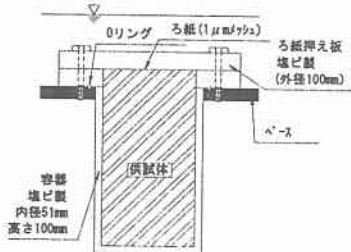


図-1 pH試験(溶出モデル化)の試験容器

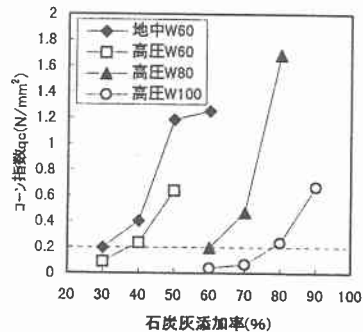


図-2 石炭灰の添加率とコーン指数の関係

いによる石炭灰添加率と再生材の含水比（計算値）の関係から、再生材の目標含水比を38%以下になるように設定することとした。

pHおよび重金属溶出試験の結果を表-5に、溶出モデル化による浸せき日数とpHの関係を図-5に、浸せき日数と電気伝導率の関係を図-6に示す。粉碎試料のpHは、いずれのケースにおいても12.6以上の強アルカリ性を示し、基準値の $5.0 \leq \text{pH} \leq 9.0$ を満足しない。溶出モデル化のpHは、浸せき直後は9.6~9.9を示すが、浸せき後15日にいずれのケースにおいても基準値を満足し、その後もpHは大きな変動を示さず、安定した値となっている。また、石炭灰添加率の増加によるpHに大きな違いは見られない。pH 9.0以下を示す電気伝導率は、 $15 \mu\text{m/cm}$ 以下であった。

重金属の溶出は全て環境基準値以下で、7日養生後の透水係数は 10^{-8} cm/s オーダーで事実上不透水性である。

以上のことから、本再生材は、適度の石炭灰を混合することにより所要強度を満足し、また、雨水と接触した場合、表層部から一時的にアルカリ水の溶出が予想されるが、その影響は一過性のもので、かつ、重金属の溶出量は基準値以下であることから、生活環境保全上の影響がないと判断された。

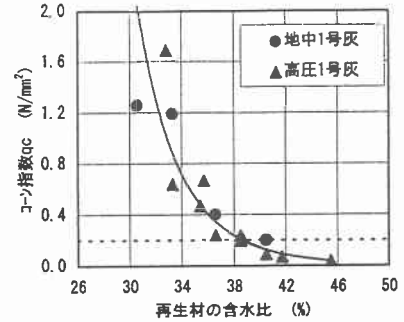


図-3 再生材の含水比とコーン指数の関係

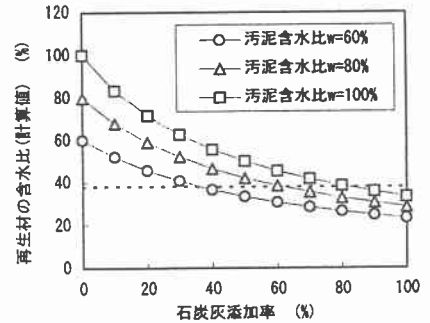


図-4 石炭灰添加率と再生材の含水比の関係

表-5 pHおよび重金属溶出試験の結果

項目	基準値	地中連続壁		高圧噴射			検出限界 (mg/%)		
		W 60%	汚泥	W 80%	W 100%	汚泥			
石炭灰混合率		F 30%	汚泥	F 60%	F 70%	F 80%	汚泥	—	
コーン指数 (N/mm ²)	≥0.2	0.20	—	0.20	0.07	0.24	—	—	
pH (粉碎試料)	$5.0 \leq \text{pH}$	12.7	12.6	12.8	12.9	12.9	12.6	—	
pH (溶出モデル化、15日後)	≤9.0	9.0	—	7.2	6.6	6.5	—	—	
重金属溶出 (mg/%)	カドミウム	≤0.01	ND	ND	ND	ND	ND	0.001	
	鉛	≤0.01	ND	0.002	0.005	0.008	0.007	0.004	0.001
	六価クロム	≤0.05	ND	ND	0.008	0.006	ND	0.020	0.005
	ヒ素	≤0.01	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.005
総水銀	≤0.0005	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.0005	
透水係数 ($\times 10^{-8} \text{ cm/s}$)		1.29	—	3.04	3.02	1.85	—	—	
一軸圧縮強度 (N/mm ²)	≥0.05	1.48	1.00	3.26	2.97	2.92	1.12	—	

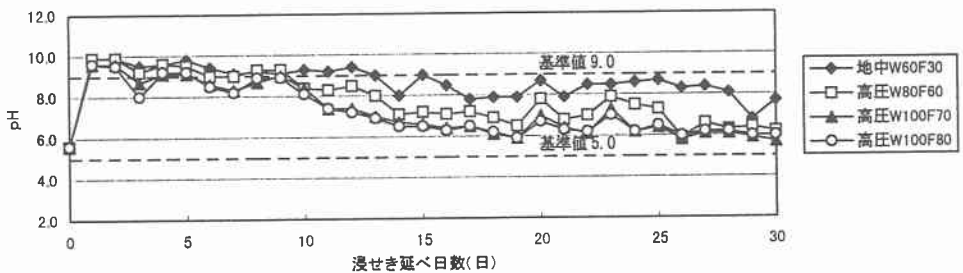


図-5 溶出モデル化による浸せき日数とpHの関係

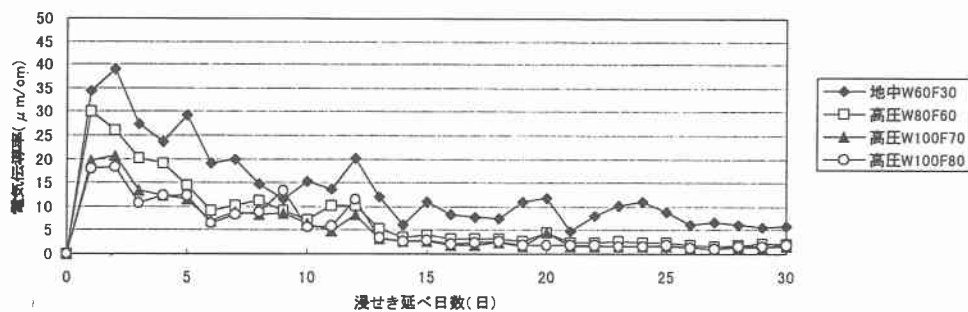


図-6 溶出モデル化による浸せき日数と電気伝導率の関係

4. 施工

(1) 施工機械

攪拌混合施設の概要図を図-7に示す。

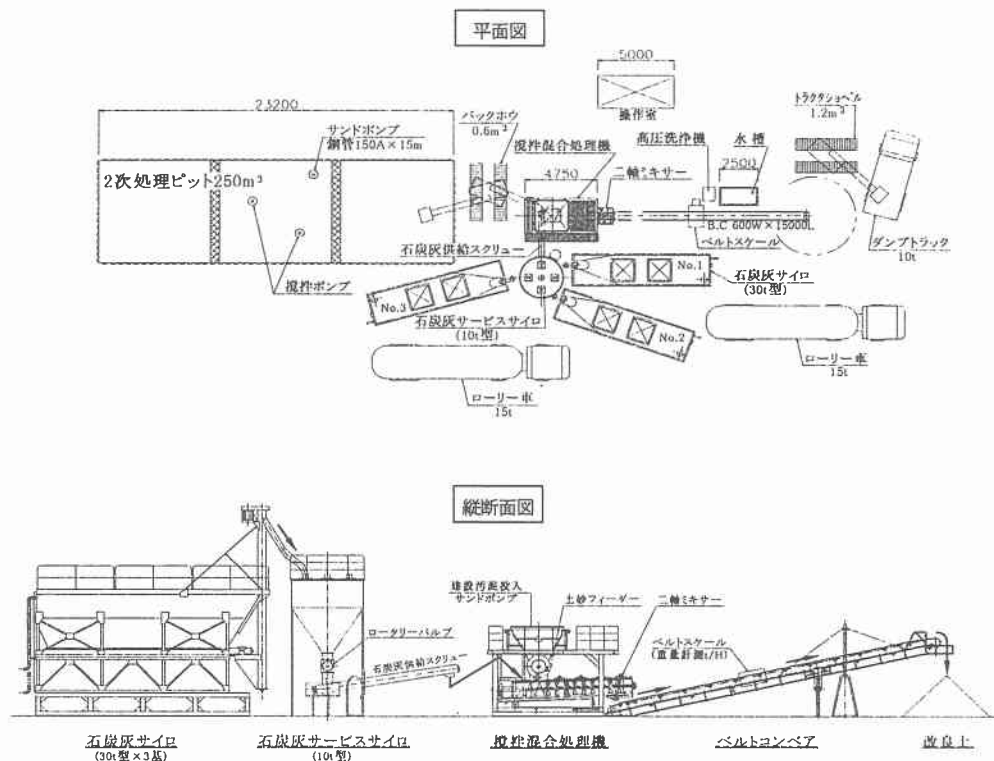


図-7 攪拌混合施設の概要図

(2) 施工概要

再生材の施工概要を表-7に、再生材の処理フローを図-8に示す。

表-7 再生材の施工概要

項目	施工概要
汚泥の輸送	土留工事施工箇所が発生した建設汚泥を1次ピットを経由し2次ピットまでポンプ圧送する。
土砂ホッパーへ投入	サンドポンプにより汚泥を土砂ホッパーに投入する。サンドポンプは、ホッパー内の水位電極センサーにより運転する。
二軸ミキサーへ供給	土砂ホッパーに投入した汚泥をロータリーバルブにより一定量を二軸ミキサーに供給する。 同時に、汚泥の含水比に相当する石炭灰を石炭灰サービスサイロのロータリーバルブにより一定量を二軸ミキサーに供給する。 石炭灰の添加率は、再生材のダンプトラックによる運搬及びブルドーザによる締め固めが可能で所定の強度を確保できる含水比を設定する。
攪拌混合	汚泥と石炭灰は二軸ミキサーで攪拌混合後、仮置き場所までベルトコンベアで搬送する。処理量はコンベア上のベルトスケールで重量を計測する。
運搬、敷均しおよび転圧	再生材をトラクタショベルにてダンプトラックに積み込み、当発電所構内の敷地造成ヤードまでダンプトラックで運搬し、ブルドーザ等により一層の仕上り厚30cm以下で締め固め、敷地造成材として有効利用する。

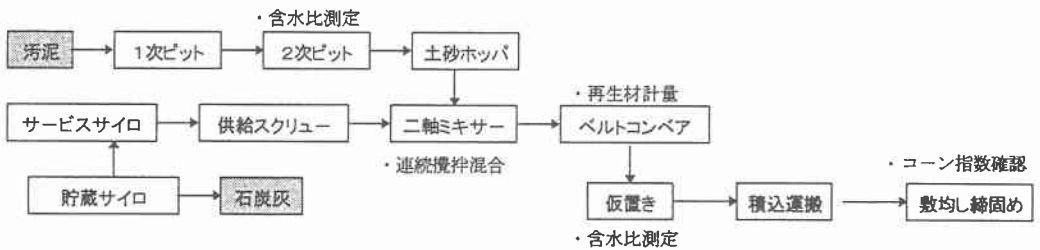


図-8 再生材の処理フロー

(3) 敷地造成ヤード

敷地造成は、事前に設置した築堤内の施工で、盛土高3.9m、造成面積は約9,000m²である。

(4) 施工管理

再生利用の品質管理、生活環境保全の確認のための試験項目および方法を表-8に示す。

表-8 試験項目および方法

サンプリング箇所	試料	試験項目	試験方法	試験頻度	備考
攪拌混合施設	汚泥	含水比	赤外線水分計	1回/日	
			〃	1回/〃	
	再生材	重金属の溶出	土壌の汚染に係る環境基準	1回/5000m ³	
		pH	粉碎試料および溶出モデル化試験	1回/5000m ³	
敷地造成ヤード	再生材	コーン指数	締め固めた土のコーン指数試験	1回/日	転圧直後
		一軸圧縮強度	コアサンプリング強度試験	1回/5000m ³	材令7日
		透水係数	コアサンプリング強度試験	1回/5000m ³	材令7日
	地下水	重金属の溶出	水質汚濁に係る環境基準	1回/5000m ³	観測孔
		pH	〃	1回/月	〃

(5) 施工

施工開始直後は、汚泥の輸送（配管内）および貯蔵（ピット内）においての材料分離、石炭灰の定量供給障害等のトラブルが発生したため、表-9に示す攪拌混合施設の改造を実施した。

汚泥含水比と石炭灰添加率の関係を図-9に示すが、汚泥含水比は洗浄水等の影響により当初予想の含水比に比べ高めになっているが、石炭灰添加率は

表-9 攪拌混合施設の改造

対策	改造項目	変更概要
石炭灰サービスサイロ安定供給対策	ロータ容積	容積拡大
	締め切りゲート	スライド式に変更
	エアレーション	鉛直方式の追加
汚泥の材料分離対策	配管内の分離	中継ポンプの追加
	ピット内の分離	攪拌ポンプの追加
	ホッパー供給ポンプ	横型に変更

室内試験に比べ低めの傾向である。当初、再生材の含水比を38%に設定し、石炭灰の添加率を決定することにしてはいたが、実施工において、これよりも高めの含水比(40~50%)で施工可能なことが判り、石炭灰添加率を低下させた。図中の1号灰はJIS規格外、2号灰はJIS規格Ⅱ種相当、3号灰はPFBC灰であり、1号灰は他の石炭灰に比べて同一含水比において処理効果が高いことが判る。

再生材の含水比とコーン指数の関係を図-10に示すが、再生材の含水比は、当初の目標値(38%)より高めに推移し、また、qcにも差違が見られる。これは、利用した石炭灰に締固め特性等の性状の違いが見られることや室内試験におけるqcが、攪拌混合・締固め直後のものであるのに対して、実施工の場合は、攪拌混合後の仮置き、運搬、締固め等にある程度の時間を要したことから、その間に蒸発やセメントの水和反応により、再生材の塑性化が促進したものと推察される。

これらの時間経過に伴う再生材の含水比の変化や強度特性との関係については今後の課題と考えている。

建設汚泥の再生利用の施工実績を図-11に示すが、平成11年4月から再生利用を開始し、11月現在まで建設汚泥量16,200トン进行再生利用している。また、石炭灰の有効利用は11,600トンである。

5.おわりに

建設工事に伴い発生する廃棄物は廃棄処分することなく再生利用することは、事業者にとって大きな課題で、責務でもある。また、石炭火力発電所から発生する石炭灰についても、排出の抑制(減量化)および資源化(有効利用の拡大)が事業者の責務となっている。

石炭灰の有効利用に関する研究は、電力会社のみならず諸研究機関で行われており、その成果もあって有効利用は年々増加する傾向にあるものの、大量利用に結び付かないのが現状である。

本報告の建設汚泥に石炭灰を攪拌混合処理した再生材は、敷地造成材として有効利用できることが確認された。

また、石炭灰の利用において、品質の制限がなく(JIS規格外でも利用が可能)、他の土質材料に比べて建設汚泥の含水比の低減効果が大きく、石炭灰の特性を生かした有効な利用方法の一つとして考えられる。

最後に、本利用にあたって、ご指導、ご協力を頂いた関係各位に深く感謝の意を申し上げる次第である。

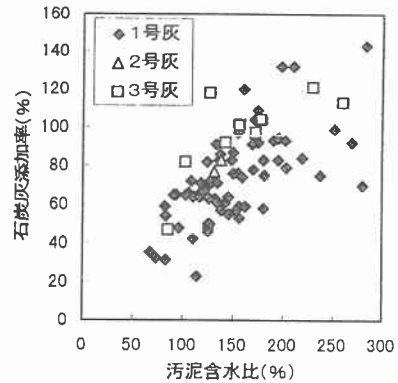


図-9 汚泥含水比と石炭灰添加率の関係

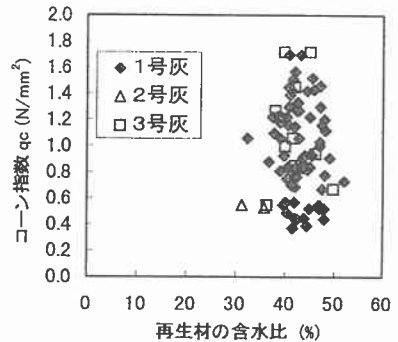


図-10 再生材の含水比とコーン指数の関係

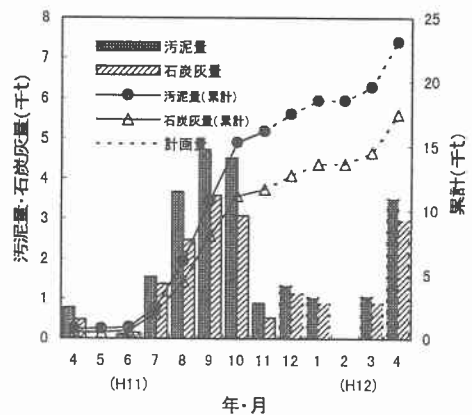


図-11 建設汚泥の再生利用の施工実績