

技術開発報告書概要版

助成事業名称：造粒焼成技術を用いた焼却灰再資源化システムの開発

助成事業者名：五洋建設株式会社（共同技術開発者:株式会社アクトリ-）

1．技術開発担当・照会先

開発担当者 緒方一成（土木部門環境事業部） 環境事業部長
江口信也（土木部門環境事業部） 主任
荒井正英（土木部門環境事業部）
中村州一（技術研究所環境研究所）

共同開発者 川津一彦（技術・営業本部） 副本部長

照会先 五洋建設(株) 土木部門環境事業部（連絡先:03-3817-7521）
(株)アクトリ- 技術・営業本部（連絡先:076-277-3380）

2．技術開発の目的と開発内容

2.1 技術開発の目的

本助成事業では焼却灰のリサイクル促進のために、安全かつ良質な建設資材(リサイクル材)を経済的に製造できる焼却灰再資源化システムを開発することを目的としている。

本技術は焼却灰を雑物選別、乾燥、微粉碎し、助剤を添加して自然砂礫と同等粒度に造粒し、1,000～1,100℃で焼成処理してリサイクル材(多孔質セラミック粒子)を製造するものである。リサイクル材は造粒時に粒度分布調整が可能で自然砂礫と同様の外観及び力学特性を有しており、砂礫代替材として多様な用途に利用が可能である。

2.2 本助成事業における開発内容

一般廃棄物焼却施設に隣接して本再資源化システムの実証プラント(焼却灰処理能力 1t/日)を建設し、排出焼却灰を用いた実証試験を実施する。主な開発内容を以下に示す。

連続安定運転が可能で環境負荷が小さい実証プラントの設計・製作・建設

連続運転の実施に基づく運転特性の評価

各種環境基準に適合し、良質で品質が安定したリサイクル材の製造方法の確立

リサイクル材を用いた用途別実規模試験施工による資材特性の評価

前年度の に引き続き、今年度は を実施した。

2.3 設定目標

リサイクル材の品質目標

- ・ 土壌環境基準、土壌汚染対策法に定められる含有量基準、排水基準に適合する。
- ・ 骨材、路床路盤材、地盤改良材等の材料規格に適合する。

実証プラントの性能目標

- ・ 排出ガス及び運転残さが、廃掃法、大気汚染防止法、ダイオキシン類特別措置法に適合する。
- ・ 30日×24時間連続を含む、延べ100日間以上の通常運転が可能である。



写真-1 実証プラント



図-1 実証プラントシステムフロー

3. 廃棄物処理技術開発の成果

3.1 対象焼却灰(一般廃棄物焼却灰)

3 施設から排出される主灰 A,B,C と飛灰 A の計 4 種を個別に処理した。受入含水率は 5~60%と大きく変動し、主灰では Pb,Cr(),F が溶出の、Pb が含有の基準を超過した。飛灰の DXNs 濃度は 4.6ng-TEQ/g である(表-1)。

3.2 リサイクル材の造粒時基本配合

表-2 に造粒時の基本配合を示す。つなぎ材にはペントライトの他、建設発生土(浚渫粘性土等)の有効利用が可能である。

3.3 焼却灰処理能力とリサイクル率

図-2 に焼却灰処理状況を示す。処理能力は 1~10 日間の断続運転で期間平均(昇降温期間含む)0.5~1.02t/日、24h x 30 日間の連続運転では 1.04t/日であった。リサイクル材の品質維持と排ガス適正処理のもと実施した最大能力試験では 2.34t/日を得た。排ガスは煙突出口で DXNs 濃

度が常時 0.1ng-TEQ/m³N 未満であり、重金属類、煤塵濃度、悪臭とともに問題は認められなかった。

表-3 に焼却灰重量収支を示す。誤差 2.5% の収支計測において、焼却灰リサイクル率は 90.9%(含有水分、前処理選別雑物は含まず)であった。

3.4 プラント運転残さの循環処理

運転残さの一部はプラントに再投入して循環処理した。循環処理は実証期間中に 2 回(延べ 81 日間)実施し、リサイクル材へ Pb,Cl,S が濃縮しないことを確認した(図-3)。循環処理による運転残さや施設使用水の濃縮傾向(特に Pb)を把握し、適切な循環サイクルを設けることで、系外排出量の効率的な削減が可能である。

3.5 リサイクル材の土壤安全性

表-4 にリサイクル材の重金属類含有・溶出、DXNs 値を示す。リサイクル材は灰種配合によらず、全項目土壤に関する基準値を満足する。リサイクル材は焼成直後弱アルカリ性(pH10 程度)を示す。pH は気中で漸減するが、簡便な水漬槽で pH8.6(排水基準:海域外)程度まで効果的に低減可能である(図-4)。長期水漬後も重金属類の含有・溶出に有意な変化は認められなかった。

植生土壤に使用した場合、根

表-1 焼却灰汚染度(基準超過項目のみ)

重金属類/DXNs	灰種	項目	試験値	基準値	基準(試験法)	
重金属類	溶出 (mg/l)	主灰A	Pb	0.01~1.18	0.01以下	土壤環境基準 (環告46号)
		主灰B	Cr()	0.12~0.27	0.06以下	
		主灰C	Cr()	0.01~0.13	0.05以下	
		主灰C	Cr()	0.01~0.14	0.05以下	
		主灰C	F	0.40~1.50	0.8以下	
		主灰C	F	0.01~0.13	0.01以下	
	飛灰A	Pb	0.01~0.13	0.01以下	土壤汚染対策法 (環告19号)	
	飛灰A	F	0.86~2.00	0.8以下		
DXNs	含有 (ng-TEQ/g)	主灰A	Pb	53~214	150以下	土壤環境基準
		主灰B	Pb	100~170	150以下	
		主灰C	Pb	65~300	150以下	
		飛灰A	PCDDs, PCDFs, Co-PCB	4.6	1.0以下	
					3.0以下	排出基準

表-2 造粒時基本配合

灰種	添加率(乾燥灰100に対する重量%)		選別剤
	つなぎ材		
主灰 A,B,C	ペントライト	10	5~10
	建設発生土	10,40,80	
飛灰A	ペントライト	5	

表-3 焼却灰の全体重量収支

項目	kg	備考
受入焼却灰	潤溜 86135	投入量実測
受入焼却灰	乾燥 49597	実測値(投入量・雑物(含水率)から計算)
造粒時添加剤	13593	添加量実測
造粒物乾燥減量	6278	実測値と実測投入量から計算
苛性ソーダ	1125	投入量実測
ハグフィル材捕集塵	1890	搬出量実測
焼成炉ノド 飛灰	99	(循環リサイクル終了期間)
減温塔残さ	85	()
煙突ばいじん	10	ガス測定値と稼働時間より計算
リサイクル材	57439	搬出量実測
受入総量(乾燥)	58037kg	(+ + +)
排出総量(乾燥)	59523kg	(+ + + +)
収支計測誤差	2.5%	((-) / ×100)
焼却灰リサイクル率	90.9%	((/ +) ×100)

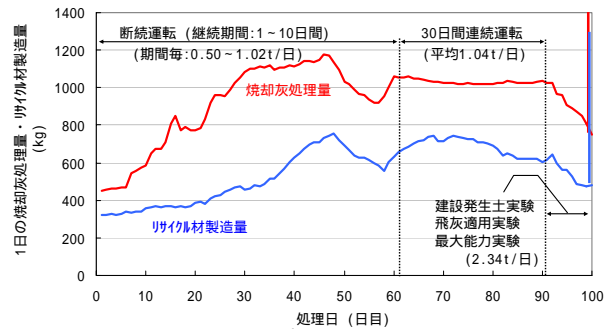


図-2 実証プラントの焼却灰処理状況

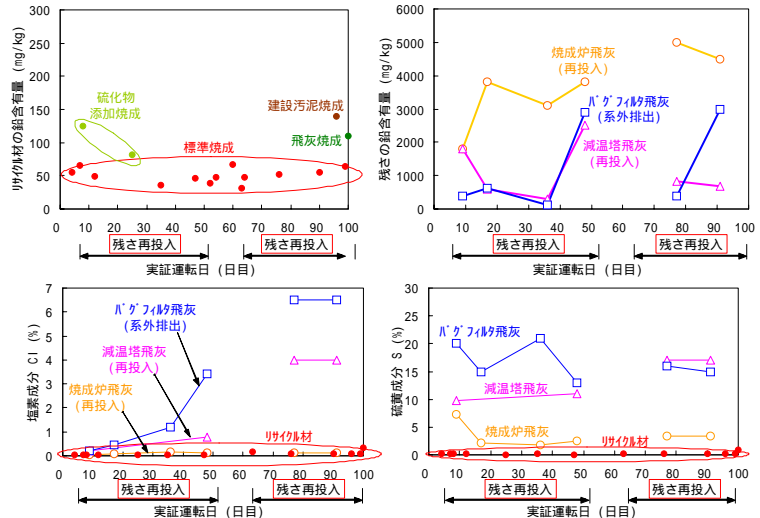


図-3 運転残さの循環処理と Pb,Cl,S の濃縮傾向(Pb は底質法)

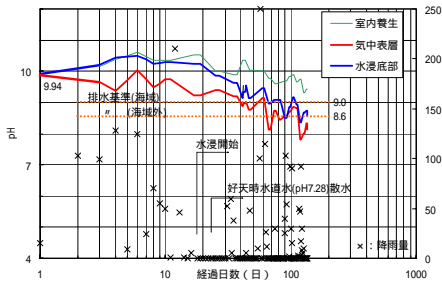


図-4 雨水浸漬槽中のサイル材

張は良好で上草部にも普通土との差異は認められない(事例:高麗芝,写真-2)。栽培果実の重金属類含有量も検出限界値未満である(事例:パッションフルーツ,表-6)。表-5 にサイル材のpHバリエーション試験結果を示す。試験値はほぼ検出限界値未満で全項目土壌環境基準を満足しており、植物への影響の可能性は低いと言える。

3.6 サイル材の土質特性と建設資材規格適合性

表-7 にサイル材の土質特性、図-5 に粒度分布を示す。粒度は建設工事で使用される自然砂礫の範囲にあり、造粒ミキサの運転条件により左右にシフトが可能である。サイル材は粒子内部に微細空隙を有するため、良好な透水性と高い吸水性を両立しかつ自然砂礫より若干軽量である。粒子圧壊強度は粒径によらず平均 250N/cm² 程度と自然砂礫領域にあり、長期暴露(pH 低減)後や湿乾あるいは凍結融解を繰返しても強度低下は認められなかった。表-8 にサイル材が規格適合する主たる砂礫系建設資材を示す。材料としての明確な規格は無いが、内部摩擦角が大きく軽量で透水性に優れるため、土圧低減を期待する擁壁背面の裏込材等にも適している。

3.7 サイル材の建設資材適用事例

製造したサイル材を実工事及び試験施工に材料適用し、建設資材特性を確認した。以下に試験材料として用いたサイル材(写真-4)と適用事例(写真-5~7)を示す。いずれも良好な施工結果を得ており、建設資材としての有用性が確認できた。

4. まとめ

4.1 自己評価結果

100 日間の実証運転によりプラント運転特性を把握

表-4 サイル材の重金属類とDXNs (検出限界値超過項目のみ)

項目	試験値	基準値	基準(試験法)
溶出量 mg/l	Cd	ND-0.001	0.01 以下
	Cr()	ND-0.017	0.05 以下
	As	ND-0.008	0.01 以下
	F	ND-0.60	0.8 以下
	B	0.02-0.41	1 以下
含有量 mg/kg	Cu	57-98	125 以下
	Cd化合物	ND-0.41	150 以下
	Cr()化合物	ND-1.8	250 以下
	Pb化合物	ND-140	150 以下
	As化合物	ND-4.4	150 以下
	F化合物	ND-48	4000 以下
	B化合物	80-230	4000 以下
	イオン交換容量	試験値	単位
	0.00000-0.00620	ng-TEQ/g	

表-6 パッションフルーツの重金属類含有量

項目	Cd	Pb	Cr()	As	T-Hg	Se	F	B	CN	T-Cr
果実分(皮,果肉,種子)の含有量 ¹	0.01未	0.1未	0.1未	0.5未	0.02未	0.5未	6未	13 ²	1未	0.3未
基準値 ¹	果実0.05 精米0.2 食用塩0.5	果実0.1 穀類0.2 食用塩2.0	-	食用塩0.5	食用塩0.1 魚類0.5-0.1	-	-	-	-	-

¹ 試験法、基準値は国際食品規格Codex Alimentarius(案)による。単位: mg/kg
² 植物に元来含まれる微量元素(例:茶葉20-30)

表-5 サイル材のpHバリエーション試験

項目	試験値(試験法:JEN7341)	土壌環境基準
鉛	ND	0.01以下
金	ND	未検出
銅	ND	0.01以下
六価クロム	ND	0.05以下
亜鉛	0.002	0.01以下
銀	ND	0.0005以下
ヒ素	ND	0.01以下
ふっ素	ND	0.8以下
ほう素	ND	1以下

ND:検出限界値以下、単位:mg/l

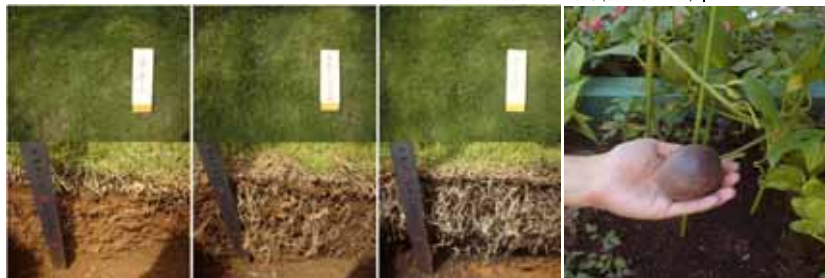


写真-2 高麗芝の根張状況 (左)普通土 (中)サイル材混合土 (右)サイル材

写真-3 パッションフルーツ

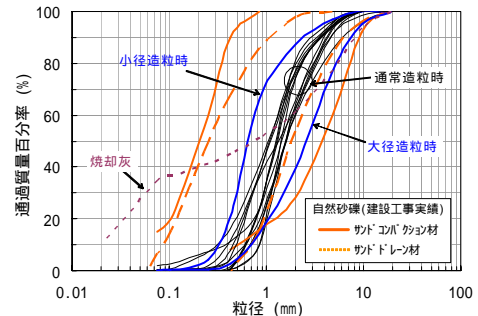


図-5 サイル材粒度分布

表-7 サイル材土質特性

項目	単位	サイル材	自然砂	参考	
				溶融スラグ材	石炭灰焼却物固形物
土粒子材料密度	g/cm ³	2.9-3.1	2.5-2.7	-	1.81
土粒子表乾密度	g/cm ³	2.0-2.4	-	2.77	-
土粒子飽乾密度	g/cm ³	1.5-2.0	-	2.74-2.89	-
単位容積質量	g/cm ³	1.0-1.4	1.4-1.8	1.66	1.70
実積率	%	60-68	65程度	59.9	-
最大乾燥密度	g/cm ³	1.11-1.84	-	1.48-1.87	-
最適含水比	%	0.0-2.2	-	2.8-20.0	-
内部摩擦角	deg	40-45	30-40	-	45-48
修正CBR値	%	20-30	8-40	6.4-39.4	-
すりへり抵抗	%	25程度	-	-	-
孔-シフト率	%	0.1程度	-	-	0.4
透水係数	cm/s	10 ⁻¹ -10 ⁻²	10 ⁻¹ -10 ⁻⁴	-	1.3×10 ⁻³
吸水率	%	20程度	2.5程度	1.8-4.4	16.4
吸水膨張率	%	0.01程度	-	-	-

石炭灰の海砂代替材への適用に関する研究、五洋建設技術年報、1999
溶融スラグの有効利用に係わるガイドライン(案)、2003

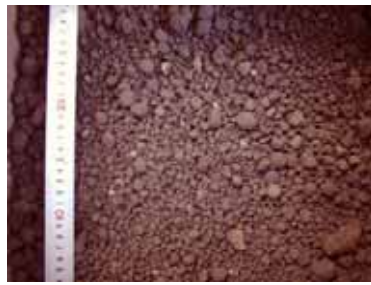
表-8 建設資材規格適合性

資材	試験項目	規格・望ましい値 ¹	サイル材
サッドコアクッション材	最大粒径 (mm)	40-50以下	10-20
	細粉分率 (%)	3-5(10-15以下)	1未満
	粒度分布	図-5	図-5
	透水係数 (cm/s)	10 ⁻² -10 ⁻³	10 ⁻¹ -10 ⁻²
	内部摩擦角 (deg)	30-35以上	40-45
サッドドレーン材	粒子圧壊強度 (N/cm ²)	160以上	250程度
	粒度分布	図-5	図-5
路盤/路床 (アスファルト、簡易舗装)	透水係数 (cm/s)	10 ⁻³ 程度以上	10 ⁻¹ -10 ⁻²
	修正CBR (%)	20以上/10以上	20-30
	最大粒径 (mm)	50以下/50以下	10-20
人工軽量骨材	細粉分率 (%)	-/10以下	1未満
	飽和密度 (g/cm ³)	1.60-1.75	1.5-2.0

¹ 軟弱地盤対策工法、軟弱地盤対策工法編集委員会、1990



主灰 100:ﾊﾞﾝﾄﾞｸﾞﾗｲﾝﾄﾞ 10:還元剤 10



主灰 100:浚渫土 80:還元剤 10



飛灰 100:ﾊﾞﾝﾄﾞｸﾞﾗｲﾝﾄﾞ 5:還元剤 10

写真-4 使用リサイクル材



写真-5 構造物背面の透水性軽量裏込材
(民間発注建築工事)



写真-6 路床・路盤材
(模擬道路試験施工)



写真-7 コンクリート細骨材(ﾌﾟﾚｲｳﾞｪｯﾃｲﾝｸﾞ 使用)
(自治体発注法面保護工事)

し、リサイクル材品質を実証した。

建設発生土が有効利用できることを実証し、飛灰適用性についても検証を行なった。

建設工事及び試験施工で実際にリサイクル材を使用し、その資材有用性を確認した。

既存焼却灰再資源化技術からのコストダウンが期待できるランニングコスト試算を得た。

4.2 生じた課題

焼却灰乾燥工程における焼成廃熱の利用効率向上等、ランニングコストの削減については更なる検討余地がある。

リサイクル材の環境資材能力開発とその検証が今後必要である。

4.3 国内廃棄物処理全般に与える影響

現在、本システムのスケールアップは50t/日程度までを考えている。現時点での概算ランニングコストは受入焼却灰1tあたり、例えば50t/日で20,000～25,000円、20t/日で25,000～30,000円(受入含水率による変動あり。人件費、維持補修費、残さ処理費等含む)であり、既存再資源化技術からのコストダウンが期待できる。50t/日プラントでは良質な砂礫材が1日あたり40m³程度製造される。これは対象となる自治体(500,000人規模)の公共工事等で使用される建設資材(海砂、山砂の代替材)として、十分使用可能な数量である。

今後は実運用を通じてシステム性能の向上を図り、将来的には日当たり数ト～百ト規模の焼却灰排出施設において、使用用途の広い良質な建設資材の製造が可能になると考えている。