

下水汚泥および都市ごみ焼却残渣の溶融処理による骨材化

MELTING TREATMENT AND SLAG APPLICATION OF SEWAGE SLUDGE AND INCINERATION RESIDUE OF MUNICIPAL SOLID WASTE

清水 治*・古北 克**・永山貴志***・長谷川俊和****
 By Koh SHIMIZU, Masaru FURUKITA, Takashi NAGAYAMA
 and Toshikazu HASEGAWA

1. はじめに

我国においては昭和40年以降の急速な経済拡大と生活水準の向上に伴い各種廃棄物の排出量が増大している。

廃棄物処理の基本原則は無害化、安定化、減容化処理を行い生活環境に支障のない形で自然に還元することであるが今日の社会情勢においては、この基本原則がより完全な形で具現化されることが望まれている。

このような社会の要求に合致する廃棄物の処理処分方法として(株)クボタは溶融処理システムを採用し、昭和50年から研究開発に着手した。以来今日まで6基のテストプラントを建設運転し、5ヶ所に実プラントを納めた。この間に廃棄物に対する溶融処理の適合性について種々の知見を得、このシステムが現在および将来の社会的要求に十分応えられるという自信を深めた。

今回は下水汚泥ならびに都市ごみ焼却残渣の溶融スラグの骨材としての適用性と有効利用の実例について報告する。

2. 溶融処理の概要

表面溶融炉の構造図を図-1に示す。表面溶融炉は縦型2重円筒構造で主燃焼室①、二次燃焼室②から構成されている。主燃焼室は、助燃装置を組み込んだ天井部と、

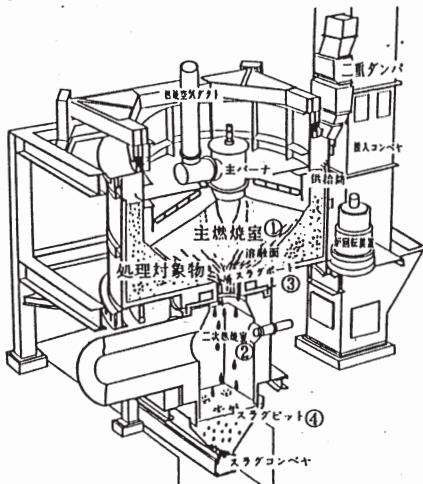


図-1 表面溶融炉構造図

* (株)クボタ GOS-PT主査(〒556-91 大阪市浪速区数津東1-2-47), ** (株)クボタ GOS-PT, *** (株)クボタ 環境研究部, **** (株)クボタ GOS-PT

被溶融物(下水汚泥あるいは都市ごみ焼却残渣)によって形成される逆円錐形である。主燃焼室への被溶融物の供給は、外筒の回転によって全周均一におこなわれる。溶融スラグは、炉中央のスラグポート③から水を張ったスラグピット④に自然流下し、急冷のスラグ(水砕スラグ)として排出される。

主燃焼室の燃焼状態を図-2に示す。主燃焼室では、補助燃料や被溶融物表面からのガス燃焼熱によって1300-1400℃の高温に保たれ、被溶融物は主燃焼室の溶融面上において、水分蒸発、有機物のガス化、燃焼、溶融の一連の反応が進む。

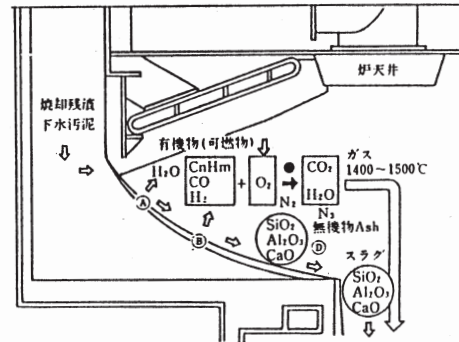


図-2 主燃焼室溶融反応

3. 水砕スラグの骨材試験結果

スラグの性状と成分の化学分析結果の一例を表-1に示し、スラグの重金属溶出試験結果を表-2に示す。

スラグは重金属成分を含有しているにもかかわらず、重金属の溶出試験の結果はすべて検出限界以下であり、下水汚泥や焼却残渣に比べて、はるかに安定した物質になっている。

表-1 スラグ組成分析結果

熱灼減量(%)	ND	S (%)	0.06
見掛比重	2.86	Cl (%)	< 0.02
真比重	2.88	T-Cr(mg/kg)	300
SiO ₂ (%)	48	Cr ⁶⁺ (mg/kg)	< 1
Al ₂ O ₃ (%)	18.5	Cd (mg/kg)	< 0.4
CaO (%)	2.5	Pb (mg/kg)	500
Fe (%)	10.0	As (mg/kg)	1.0
K (%)	1.2	T-Hg(mg/kg)	0.03
Na (%)	0.8	Zn (mg/kg)	3000
Mg (%)	1.3		

表-2 スラッグの重金属溶出試験結果

試験項目	規制値	試験結果		
		PH ₃	PH ₇	PH ₁₁
Cd	0.3	<0.01	<0.01	<0.01
Pb	3.0	<0.1	<0.1	<0.1
T-Hg	0.005	<0.0005	<0.0005	<0.0005
R-Hg	不検出	N・D	N・D	N・D
PCB	0.003	<0.0003	<0.0003	<0.0003
CN	1.0	<0.1	<0.1	<0.1
As	1.5	<0.005	<0.005	<0.005
Cr ⁶⁺	1.5	<0.05	<0.05	<0.05
Org-P	1.0	<0.1	<0.1	<0.1

表-3に水砕スラッグの骨材試験結果を示し、図-3にモルタルおよびコンクリート試験に使用した、水砕スラッグおよび山砂の粒度分布を示す。試験にあたり水砕スラッグは簡易破砕機により破砕し、規定ふるいで分粒したものを使用し、山砂は既に粒度調整されたものを使用した。

表-3 水砕スラッグの骨材試験結果

項目	水砕スラッグ	硬質砂岩 M-25 (測定例)	JIS A 5001 目標値			アスファルト 舗装要綱目標値			JIS A 5011 高炉スラッグ 粗骨材の規定値	
			2種	1種	下層	上層	表面層	2.2以上 (分類A)	2.4以上 (分類B)	
比 重	絶対比重	2.876								
	表乾比重	2.85	2.54~2.67	2.45以上						
	見掛比重	2.86	2.66~2.72							
吸水率 (%)	1.2	1.00~2.85	3.0以下				6以下 (分類A)	4以下 (分類B)		
単位容積重量 (t/m ³)	1.92						1.25以上 (分類A)	1.35以上 (分類B)		
洗い試験損失量 (%)	1.6									
突 固 め	最適含水比 (%)	5.0	6.6~9.4							
	最大乾燥密度 (g/cm ³)	2.167	2.062~2.245							
修正CBR (%)	39	91~128		20以上	80以上					
一軸圧縮強度 (kg/cm ²)	-									
すりへり減量 (%)	22.1	11.8~15.6	40以下	35以下	50以下	50以下	30以下			
安定性 (%)	2.3			20以下	20以下	12以下				
軟石量 (%)	0									

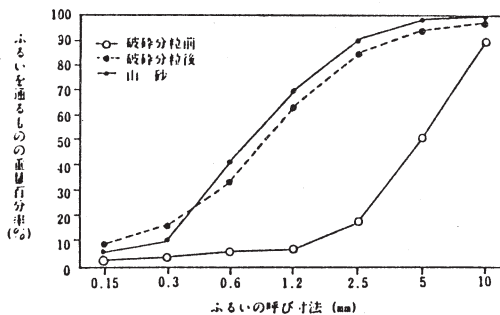


図-3 排出時のスラッグ粒度分布曲線

4. 水砕スラッグのモルタル、コンクリート試験結果

表-3に示した水砕スラッグを用いてのモルタルおよびコンクリート試験結果を以下に示す。

4-1 モルタル試験

細骨材として水砕スラッグ、山砂の2種を使用して、モルタル供試体による一軸圧縮強度を測定した。供試体のモルタル示方配合を表-4に示す。供試体型枠はφ5cm×10cmのものを用い、供試体は脱型後、20±3℃の恒温水槽で標準水中養生を行った。養生期間は7日、14日、28日とした。圧縮強度試験結果を図-4に示す。水セメント比を大きくし、またセメント骨材比の小さい、即ちセメント割合を小さくした時、強度が低下する。図-5に山砂使用を基準としたモルタル強度対比を示す。

これから水セメント比の増大、セメント骨材比の低下は、水砕スラッグを使用したモルタルにより大きな影響を与えることがわかる。そのため、水砕スラッグを使用する場合は、水量、骨材量をあまり大きくできないとおもわれる。

表-4 モルタル示方配合

項目	水セメント比	セメント骨材比	単位量 kg/m ³		
			水	セメント	細骨材 (スラッグまたは山砂)
A	65	50	378	581	1162
B	65	40	332	511	1277
C	50	50	305	610	1220
D	50	40	267	534	1334

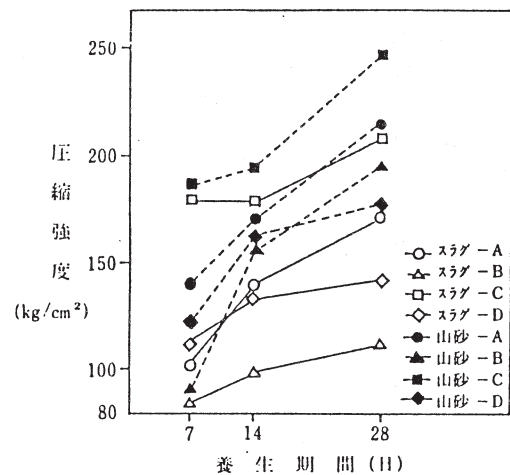


図-4 モルタル圧縮強度試験結果

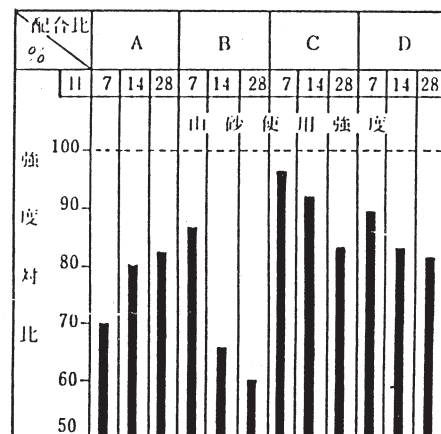


図-5 モルタル強度対比

4-2 コンクリート試験

モルタル試験と同様に、水砕スラグを細骨材として使用したコンクリート供試体による圧縮強度試験を実施した。設計基準強度を350kg/cm²に設定し、水セメント比W/C=50%とした。粗骨材は砕石2005を使用し、供試体型枠はφ10cm×20cmのものを使用した。コンクリートの示方配合を表-5に、圧縮強度試験結果を図-6に示す。水砕スラグをコンクリート用細骨材として利用したコンクリート強度は、山砂使用コンクリートよりも低かった。しかし、モルタル強度の場合に比べ、強度的には山砂使用コンクリートの強度に近い数値となった。これはコンクリートには粗骨材が含まれており、水砕スラグの強度に対する影響が低減したためと考えられる。また図-6に示すようにスラグ使用のコンクリートは養生日数が経過しても強度がでにくい。今回のコンクリート試験では設計基準強度を350kg/cm²と設定して配合を行ったが、山砂の場合に比べて劣るものの、基準強度は満足しており利用は可能である。

表-5 コンクリート示方配合

粗骨材 最大寸法 mm	水セメント比 %	細骨材比 %	単 位 量 kg/m ³			
			水	セメント	細骨材	粗骨材
20	50	42	174	348	745	1093

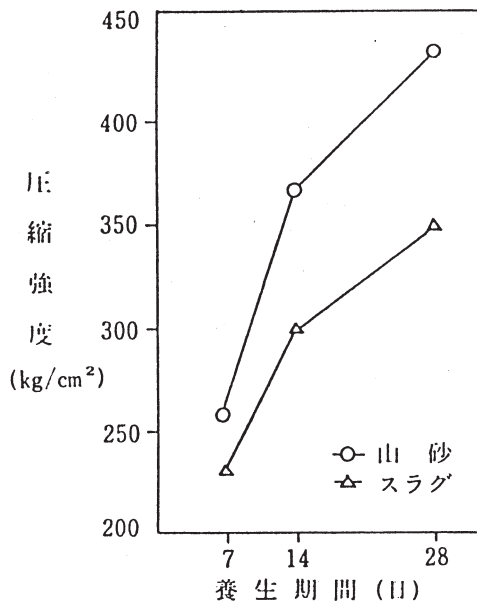


図-6 コンクリート圧縮強度試験結果

5. 水砕スラグのコンクリート製品への利用

表-3に示した水砕スラグを用いて各種のコンクリート製品への利用を検討した結果を以下に示す。

5-1 化粧コンクリートブロック

水砕スラグは、黒色で光沢があるため、化粧ブロック用化粧材として利用できる。そこで、市販されているブロックの製造ラインを使用して、溶融スラグを用いた化

粧コンクリートブロックの試作を行った。コンクリートブロックの試験では、スラグを使用したものと、一般的な市販品との比較を行った。骨材中のスラグの使用量を表-6のように5, 10, 15%と変化させた。それらの試験結果を表-7に、また参考として化粧ブロックのJIS 5407の規格値を表-8に示す。水砕スラグを化粧ブロックの化粧材として利用した場合、水砕スラグの骨材比を15%以上としても圧縮強度は一般市販品の強度とほとんど差異がなく、強度面では問題がなかった。

化粧ブロックは、その割面に化粧材を露出させ、その外観を美的なものにするものである。今回用いた水砕スラグは粒度が小さかったため、黒色の火山灰系化粧骨材を使用した市販品に比べて、黒色が目立たなかった。しかし、スラグ使用の化粧ブロックでは日光によりスラグ粒子が光り、市販品とはまた異なった品物に仕上がった。

表-6 化粧コンクリートブロックの骨材比 (%)

骨材名	粗砂 (九州砂利)	粗砂 (砕石7号)	0~5mm (砕石0号)	山砂	水砕スラグ
No. 1	15	20	20	30	15
No. 2	20	15	20	40	5
No. 3	25	10	20	35	10

表-7 化粧コンクリートブロック試験結果 (No. 1 化粧ブロック)

試験名 使用骨材	正味断面積に対する 圧縮強さ kg/cm ²	吸水率 %	透水性 mm
水砕スラグ	272	4	7
市販品	270~280	5	6

表-8 化粧コンクリートブロック規格値 (JIS 5407)

圧縮強度による区分	正味断面積に対する 圧縮強さ kg/cm ²	吸水率 %	透水性 mm
80	80以上	20以下	10以下
120	120以上		
150	150以上	10以下	
250	250以上		

5-2 インターロッキングブロック

最近、アスファルト舗装に代って歩道や車道にインターロッキングブロックが用いられだした。表-9に市販インターロッキングブロックの基本配合表を示す。水砕スラグは基層コンクリート細骨材の代替品として使用する。細骨材全体に対する水砕スラグの割合を10, 20, 30, 40, 50, 100%とした。

図-7に成型後自然養生で28日経過した試作ブロックの、水砕スラグ混合比に対する圧縮強度を示す。通常のインターロッキングブロックの物理的特性値 600kg/cm²

を下回ったのは混合率10%と100%のものであった。

水砕スラグはガラス質で表面が平滑なためセメントとの付着性が悪く、混合比率が高くなれば圧縮強度が低下する。しかし、インターロッキングブロックの場合、強度を持たすための粗骨材が多いため水砕スラグの影響は少ない。

表-9 市販インターロッキングブロック基本配合表

	単 位 量 (kg/m ³)							G	顔 料
	W	(水)	(セメント)	(砂)	(砂)	(砂)	(砂利 10mm)		
	C	W	C	S1	S2	S3	G1	2	
基 層 コンクリート(B)	30	120	400	878	-	-	1078	-	-
表 層 コンクリート(F)	28	154	550	-	1740	-	-	-	22.0

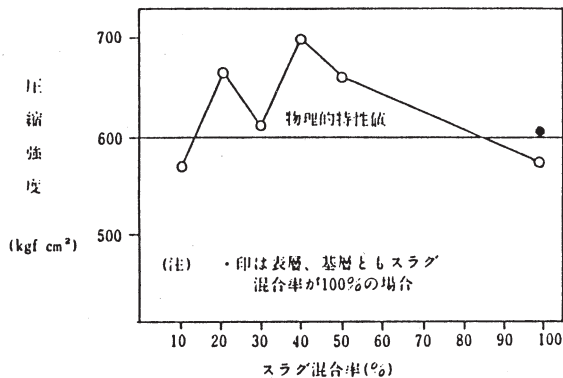


図-7 スラグ混合率と圧縮強度

5-3 その他コンクリート二次製品への利用

スラグの特徴である黒色光沢を利用し、着色セメントと混合してフラワーポットを試作したり、下水汚泥から得られたスラグを下水道工事の一環として利用するため、下水関係の製品のひとつとして雨水ますへ利用した。

このように、水砕スラグはセメント製品の細骨材や化粧材として利用でき、しかも粒度調整によりさらに広範囲の製品に利用できるものと考えられる。

6. スラグの利用用途と現状

当社の実プラントであるT県の下水汚泥溶融プラントで生成されたスラグは、資源化が積極的に試みられており、その平成元年度の利用状況を表-10に示す。

また、現在公共事業体で進められているスラグの利用用途と現状を表-11に示す。

表-10 スラグ利用状況

用 途	数 量	利 用 率
アスファルト混合物	36.2 t	18.7%
インターロッキングブロック	65.9 t	34.0%
下 層 路 盤 材	90.0 t	46.4%
そ の 他 (用途試験材)	2.0 t	0.9%
計	194.1 t	100%

表-11 下水汚泥スラグ利用用途と現状

利用用途	団体名	開発及び利用の現状
路盤材	岐阜市	昭和54年度に溶融スラグの物理特性を把握し、骨材試験及び施工試験を行い、利用可能との見通しを得たが量及び21等で検封中。
	日本下水道事業団	昭和54年度から55年度に水砕スラグを用いた調査を行い、各種土質試験の結果から、路盤材として適していることが明らかになっている。
路盤材	千葉県	昭和82年度から、空冷スラグを用いた調査を開始し、スラグの物理的特性を把握後、場内運において試験施工を行い、現在道路調査を行っている。
	東京都	昭和54年度から調査を開始し、昭和58-60年度にパイロット調査で基本的な設計諸元を確認した。
	川崎市	昭和81年度から調査を開始し、処理場内にて道路調査を行っている。
	富山県	水砕スラグを下層路盤材の一部として試験施工を行い現在道路調査を行っている。
	岐阜市	昭和54年度に溶融スラグの物理特性を把握し、骨材試験及び施工試験を行い、利用可能との見通しを得たが量及び21等で検封中。
	大阪府	昭和58年度に空冷スラグを処理場内運路、昭和60年度には現場運において試験施工を行い、現在道路調査を行っている。
	大阪府	平成1-4年度に空冷スラグを用いて室内実験を行い、処理場内運路において試験施工を行い、耐久性調査等を行う予定である。
建設省土木研究所	経プロ「建設事業への廃棄物利用技術の開発」において調査を行った。	
コンクリート骨材	川崎市	水砕スラグを用いた平板ブロックを作成し、昭和63年度から処理場内敷地に利用している。
	富山県	細骨材として水砕スラグを利用し、スラグ選入率と強度の関係を調査し、汚水側の試験施工を行った。隣接歩道境界のブロックの試験施工も予定している。
	滋賀県	昭和60年度に骨材としての粒径、品質、強度等について調査を行った。
コンクリート二次製品	大阪府	昭和58年度から空冷スラグの物理的特性を把握した後コンクリート二次製品の製造試験を行い、現在耐久性調査を行っている。
	建設省土木研究所	経プロ「建設事業への廃棄物利用技術の開発」において調査を行った。
	日本下水道事業団	昭和54、55、58、60年度に調査を行い、空冷スラグは軽量骨材を除くすべての骨材に適していることを確認した。
	富山県	表層及び基層の骨材として水砕スラグを利用し、混入率の上限値、圧縮強度、重量の低下、色彩への影響等を調査し、試験施工を行った。
インターロッキングブロック	日本下水道事業団	処理場内の歩道等へ利用している。
スラグ成形品	大阪府	昭和61年度に、スラグを再加熱し、100%スラグ工芸品を試作した。また、スラグ粉末と強度を適合して高強度材を作成した。
	建設省土木研究所	経プロ「建設事業への廃棄物利用技術の開発」において調査を行った。

7. まとめ

以上、溶融スラグのコンクリート製品の材料としての評価を行い、各種のコンクリート製品の試作を行った結果、スラグの黒色光沢を利用した化粧ブロックやインターロッキングブロックには十分利用できることが明らかとなった。

また、スラグの発生量が増加すれば、その利用方法もコンクリート製品の材料としてだけでなく、直接管渠の埋め戻し材や、道路、運動場などの下層路盤材としての利用も十分可能と考える。

今後、溶融スラグを資材として利用していくためには、溶融スラグが安定して供給されるような体制を整備すると同時に、自治体が積極的にコンクリート製品制作業者と十分な協力体制を確立することにより、スラグの資源化をさらに促進できると考える。

(参考文献)

- 1) 平岡他「下水汚泥水砕スラグの有効利用」 P P M 1989 Vol.20 No. 3
- 2) 藤本他「都市ごみ焼却残渣の溶融処理について」 I N D U S T 1989 Vol. 4 No.11
- 3) 藤本他「表面溶融炉による廃棄物溶融処理・スラグ有効利用」 クリーンジャパン 82 1990. 5
- 4) 清水他「表面溶融炉からの下水汚泥水砕スラグの有効利用」 産業と環境 1990 6月号
- 5) 富山県スラグ有効利用委員会 62年度報告書 1988年3月
- 6) 茨城県鹿島下水道事務所「脱水ケーキ有効利用に関する調査報告書」 昭和61年3月