

ごみスラグの有効利用技術

Reuse Technology of Slag Made from Melting Systems for Municipal Solid Waste

明石 哲夫 AKASHI Tetsuo JFE 環境ソリューションズ 技術本部 環境エンジニアリング統括センター 環境設計部燃焼・
炉設計室 第三グループマネージャー
須藤 雅弘 SUDO Masahiro JFE 環境ソリューションズ 技術本部 環境エンジニアリング統括センター 環境プロジェクト
部アフターサービス室

要旨

JFE 環境ソリューションズは、ごみ直接溶融システムと、焼却炉の焼却残渣の溶融システムとして 2 形式を開発した。スラグの安全品質については、いずれのシステムも新たに制定された溶融スラグに関する JIS（日本工業規格）の有害物質の溶出量と含有量の安全基準を満足することを示した。スラグ有効利用として、電気抵抗式灰溶融炉の空冷スラグを配合した道路用路盤材を用いた試験施工と、約 3 年供用後に路盤材を掘り起こし再利用の施工試験を行った。その結果、スラグを用いない通常施工とほとんど同じ性能であった。また、空冷スラグを配合したインターロッキングブロックやコンクリート製空洞ブロックを試作した結果、コンクリート二次製品の強度は問題なかった。さらに、JFE 高温ガス化溶融炉の水砕スラグを用いて下水道管基礎材としての試験施工を実施した結果、スラグは道路用再骨材の FM2.5 規格を満足し、管基礎材として十分利用できることが分かった。

Abstract:

JFE Environmental Solutions developed a municipal solid waste (MSW) direct-melting system and two kinds of an MSW ash melting system. Every slag generated from the systems showed high quality for safety which was newly regulated in the Japanese Industrial Standards (JIS). To apply to road construction materials, field tests were performed by using the air-cooled slag produced from the JFE electric-resistance ash-melting furnace mixed with other construction materials and with the reuse materials of slag mixtures dug up after about three-year use. As a result, the performance on the construction work showed almost the same as that of using the normal materials without slag. Also, interlocking blocks and concrete hollow blocks were manufactured with the air-cooled slag mixtures. The prototypes had sufficient qualities in strength defined in the standards of concrete products. Moreover, water-cooled slag produced from the JFE high-temperature gasifying and direct melting furnace, which satisfies the FM2.5 standard required for fine aggregate of road construction materials, was used experimentally in the construction work as a ground material around sewer water pipes. It was found that the slag material was fully applicable for the application.

1. はじめに

JFE 環境ソリューションズは廃棄物処理で発生する残渣の減容化とその再利用の社会ニーズに応えるため、各種ごみ溶融システムを開発し、その実用化を果たしてきた。また、溶融システムから生成される溶融スラグの有効利用技術についても長年研究開発を進めてきた。ここでは、代表的なスラグの有効利用の事例を報告する。

2. JFE 環境ソリューションズの 溶融システムとスラグ製造技術

2.1 JFE 環境ソリューションズの溶融システム

JFE 環境ソリューションズでは、旧 NKK と旧川崎製鉄で独自に導入開発し実用化を進めてきた溶融システムを多種保有しており、お客様のニーズに応じてそれぞれ最適なシステムを提案している。

ごみ直接溶融システムでは、シャフト式として JFE 高温ガス化溶融炉を実用化している。

稼働実績の多いストーカ炉などの焼却炉から排出する灰

を溶融する、いわゆる灰溶融システムでは、黒鉛電極を用いたジュール熱加熱方式による電気抵抗式灰溶融炉と金属トーチによるトランスファー型プラズマシステムを採用したプラズマ式灰溶融炉の2方式を実用化している。

また、ストーカ炉にロータリーキルン式灰溶融炉を直結した次世代ストーカ炉も開発している。

自社開発した上記の溶融システムのほか、顧客の要望に応じて、自社のストーカ炉と組み合わせて回転式表面灰溶融炉や、コークスベッド式灰溶融炉、アーク式灰溶融炉などの灰溶融炉を建設納入した実績もある。

2.2 スラグの安全品質

次に示す溶融スラグのJIS（日本工業規格）化により道路用やコンクリート用いずれの場合も共通の安全品質基準が示された。

JIS A 5031：2006（一般廃棄物、下水汚泥又はそれらの焼却灰を溶融固化したコンクリート用溶融スラグ骨材）

JIS A 5032：2006（一般廃棄物、下水汚泥又はそれらの焼却灰を溶融固化した道路用溶融スラグ）

JFE環境ソリューションズの溶融システムで製造されるいずれの溶融スラグも、すでに報文¹⁾に報告しているように、有害物質の溶出量基準と有害物質の含有量基準を満足した安全なスラグである（表1）。

2.3 スラグ製造技術

2.3.1 スラグ冷却技術

スラグの製造には各々の溶融システムに適したスラグ冷

却方式を採用している。連続出滓方式の高温ガス化溶融炉では溶融スラグと溶融メタルを同時に排出冷却できる水砕方式を採用している。

プラズマ式灰溶融炉では出湯の安全性を高めるため、傾動方式の出湯を採用しスラグとメタルを区別して排出できる水砕方式としている。電気抵抗式灰溶融炉では、溶融炉内で比重分離し溶融スラグと溶融メタルを個別に排出する方式を採用し、スラグの利用目的に応じてスラグ冷却方式を水砕式、空冷式、間接冷却式から選択でき、高品質化に対応している。

以下に各方式の概要を記す。

(1) 水砕方式

溶融スラグを水中に投入し砂状に砕く方式である。長年の製鉄における経験とノウハウを活用しており、溶融メタルの有無により適正冷却水量や水砕水槽の形状の設計技術や、冷却部でのスラグ流を分散する技術を適用している。

(2) 空冷方式

炉内から分離排出したスラグを、モールド（型）を連ねた空冷スラグコンベアで冷却する技術である。モールドに厚く鑄込まれたスラグは、空冷過程で収縮割れを起こして握りこぶしサイズのスラグになる。これを破砕機、ふるいを用いて目的の粒度に調整する。水砕スラグに比べて強度が高く、粒度の大きなスラグが得られ、路盤材などに利用できる。

(3) 間接冷却方式

水冷ドラムの表面に溶融スラグを接触させ冷却固化

表1 JFE環境ソリューションズの溶融システムにおける安全品質例
Table 1 The safety quality example of JFE Environmental Solutions melting system

Item		Molten gasification system	Electrical resistance melt system	Plasma melting system	Standard value of
		A Plant	C Plant	D Plant	JIS A 5031 (Concrete for concrete derived) JIS A 5032 (The road for road construction)
Elution amount of hazardous (mg/l)	Cd	< 0.001	< 0.005	< 0.001	≦ 0.01
	Zn	< 0.005	< 0.005	< 0.001	≦ 0.01
	Cr ⁺⁶	< 0.005	< 0.04	< 0.005	≦ 0.05
	As	< 0.005	< 0.005	< 0.001	≦ 0.01
	T-Hg	< 0.000 1	< 0.000 5	< 0.000 5	≦ 0.005
	Se	< 0.005	< 0.005	< 0.001	≦ 0.01
	F	< 0.1	—	< 0.05	≦ 0.5
	B	< 0.1	—	< 0.1	≦ 1.0
Hazardous material content (mg/l)	Cd	< 1	< 1	< 0.05	≦ 150
	Zn	5	< 5	23	≦ 150
	Cr ⁺⁶	< 1	< 5	< 2	≦ 250
	As	< 5	< 5	< 5	≦ 150
	T-Hg	< 1	< 0.05	< 0.01	≦ 15
	Se	<10	< 5	< 1	≦ 150
	F	< 5	120	—	≦4 000
	B	85	140	—	≦4 000

させる方式である。薄板状の空冷スラグが得られ、軽破碎を行うことで水砕スラグよりも強度のある砕砂状のスラグが製造可能である。空冷コンベア設備により炉前の設備がコンパクトにできるほか、水砕方式のような水の処理が不要となるメリットがある。

2.3.2 物理性状の適合化

溶融スラグのJIS化にともない、道路用やコンクリート用など用途別にスラグの品質が示された。JFE環境ソリューションズの溶融スラグは主要な基本特性（密度、吸水率など）については品質規格に適合しており、用途別に定められた特性（金属鉄、粒度など）について個別に適合させるよう調製する。

たとえば、スラグに金属が混在する場合には磁力選別による磁着物の除去を行い、金属アルミニウムが混在する場合にはアルミニウム選別機による除去（表面溶融炉などの場合）を行う。

スラグの粒度調整では、粗大スラグを除去し、スラグ破碎機とふるいにより用途に合った粒度に調整する。また、スラグ磨砕機によりスラグの鋭利な角を除去する丸み付け（角取り）処理を行う場合もある。

3. 溶融スラグの有効利用技術

3.1 道路用路盤材としての利用²⁻⁴⁾

3.1.1 材料試験

処理能力 24 t/d の電気抵抗式灰溶融炉の実証設備で製造

した空冷スラグを用いて、破碎・粒度調整、丸み付け処理を行い、C-40規格のスラグを調製した。

この空冷スラグC-40を上層路盤用として通常の再生路盤材RM-40に、また下層路盤用としてRC-40に、それぞれ50%配合した。

上層路盤用および下層路盤用材料について実施した室内試験結果を表2に示す。これよりスラグを配合することによって最適含水比は低く、最大乾燥密度と修正CBR（CBR: california bearing ratioは路床や路盤の支持力を表す指数。修正CBRは最大乾燥密度の95%に締め固めたものに対するCBRで、舗装の路盤材の適否判断に用いる指標。）は高くなった。塑性指数はスラグの混入の有無によらずすべてNP（NPは、計測不能で規格値を満足することを示す）となり規格を満足した。

スラグを配合したアスファルト混合物の最適アスファルト量は、通常の配合より僅かに少なくなるが、マーシャル安定度は十分に基準を満たした。

3.1.2 試験施工

C-40スラグをふるい分けし、5~13mmの単粒度スラグを調製し、これを15%配合した再生密粒度アスファルトコンクリートを製造した。

1995年12月（以下、工区I）と1996年12月（以下、工区II）に、公道において上記アスファルトコンクリートと前述した空冷スラグを配合した試験舗装を実施した。

工区Iは、L交通量の公道で、幅員2.5m、延長40mの総面積100m²を4分割し、3区画（B、C、D区画）につ

表2 路盤用材料の室内試験結果
Table 2 Indoor test results of Roadbed material

Item	Upper roadbed material		
	Recycling roadbed material, RM-40	50% slag Mixture, C-40	Standard value
Optimum water content (%)	11.0	7.1	—
Maximum dry density (g/cm ³)	1.982	2.193	—
CBR values (%)	17 times	45	—
	42 times	102	—
	92 times	157	—
Corrected CBR** values (%)	95	108	≧80
Plasticity index (%)	NP*	NP	≦ 4
Item	Underlying roadbed material		
	Recycling roadbed material, RC-40	50% slag Mixture, C-40	Standard value
Optimum water content (%)	10.5	5.6	—
Maximum dry density (g/cm ³)	1.967	2.163	—
CBR values (%)	17 times	27	—
	42 times	75	—
	92 times	136	—
Corrected CBR values (%)	66	84	≧30
Plasticity index (%)	NP	NP	≦ 6

*NP: No measurements and its satisfy the standards

**CBR: California Bearing Ratio

いては、上層路盤、下層路盤、表層アスファルトコンクリートの内1つの材料にスラグを配合した材料を用いた。他の1区画（A区画）は通常の再生材料で施工した（図1）。

工区IIは、B交通量の公道で、幅員4.0m、延長120mの総面積480m²の内4.0m×90m（B区画）について上層

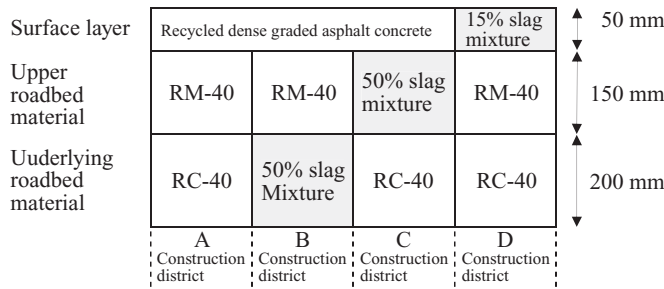


図1 工区Iにおける試験施工要領

Fig.1 Test construction pointless figure of Construction district I

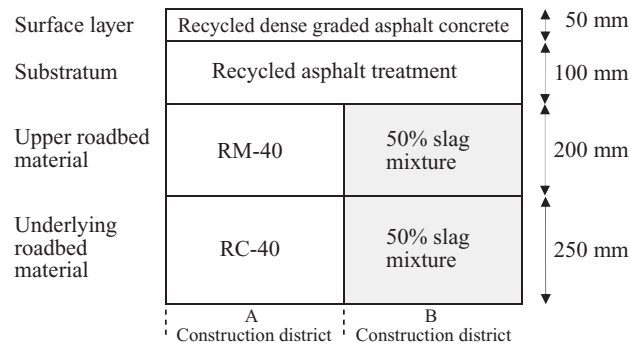


図2 工区IIにおける試験施工要領

Fig.2 Test construction pointless Figure of construction district II

路盤と下層路盤に空冷スラグを配合した材料による試験施工を行った。他の1区画（A区画）は通常の再生材料を用いた（図2）。

3.1.3 試験施工結果

試験施工後の3年間にわたり各種追跡調査を実施した。工区Iにおける路面の横断形状測定値の推移を表3に示す。路面の横断形状測定値は道路維持補修要綱による維持修理要否判定の指標となる。通常材料を用いたA区画と、スラグを配合したB、C、D区画で差異は認められなかった。施工直後からの変化量は1~3mm程度と小さく、維持修理要否判定の目標値の30~40mmを大きく下回る結果となった。

すべり抵抗値BPN値（british pendulum number：一般に平坦な場所では、BPNで40以上が望ましい）は、施工直後に68~72であるが、徐々に低下し、15ヶ月後以降では、約60の値となった。通常再生密粒アスファルトコンクリートと、空冷スラグを15%配合した施工区画で差が認められなかった。

37ヶ月経過後、全区画においてひび割れの発生はなく、微少クラックも発生していなかった。

工区IIについても、38ヶ月後までの追跡調査を行い、横断形状やすべり抵抗、ひび割れの状況など、スラグ混入による影響は見られなかった。

3.1.4 再利用試験

試験施工区画の一部から施工路盤材を掘り起こし、再利用路盤材としての性状を調査した。工区Iは12ヶ月後に、工区IIは13ヶ月後に施工材を掘り起こした。

この掘削路盤材について、再利用を想定して粒度調整せ

表3 路面の横断形状測定値の推移（工区I）

Table 3 Measured values shift of road surface cross section shape (Construction district I)

Types of mixture Upper/Surface layer Mid/Upper lying roadbed Lower/Underlying roadbed	Measurement position		Measured values (mm)				Variation from shortly after construction to 37 months after (mm)
			Shortly after construction	3 months after	15 months after	37 months after	
Recycled dense graded asphalt concrete RM-40 RC-40	A Construction district	1	1.5	1.5	1.5	1.0	-0.5
		2	4.0	4.0	5.0	4.5	0.5
		3	4.0	4.0	7.0	7.0	3.0
Recycled dense graded asphalt concrete Slag mixture RM-40 RC-40	B Construction district	1	4.5	4.5	5.5	5.5	1.0
		2	6.0	6.0	7.0	6.5	0.5
		3	4.0	4.0	4.0	5.0	1.0
Recycled dense graded asphalt concrete RM-40 Slag mixture RC-40	C Construction district	1	6.0	6.0	7.5	7.0	1.0
		2	2.5	3.0	4.0	3.0	0.5
		3	6.0	6.0	8.0	9.0	3.0
Slag mixture Recycled dense graded asphalt concrete RM-40 RC-40	D Construction district	1	5.0	5.5	6.0	6.0	1.0
		2	1.5	1.0	3.0	2.5	1.0
		3	4.0	4.0	6.5	5.0	1.0

表4 スラグ入り路盤材再利用の配合試験結果 (工区II)

Table 4 Compounding test results of Slag mixtures for Reuse roadbed material(Construction district II)

Item	Underlying roadbed material		Upper roadbed material	
	50% slag Mixture RC-40	Standard value	50% slag Mixture RM-40	Standard value
Optimum water content (%)	7.0 (6.5)	—	7.8 (7.5)	—
Maximum dry density (g/cm ³)	3.034 (2.028)	—	3.043 (2.033)	—
CBR values (%)	17 times	35 (32)	63 (65)	—
	42 times	70 (66)	98(96)	—
	92 times	110 (106)	120 (124)	—
Corrected CBR values (%)	65 (58)	≧30	82 (80)	≧80
Plasticity index (%)	NP	≦ 6	NP	≦ 4

In parentheses after the initial construction time

ずに、そのままの単体で配合試験を実施した。

表4に工区IIの掘り起こし材のスラグを50%混合したRM40とスラグを50%混合したRC40の配合試験結果を示す。

初期施工時の配合試験結果とほとんど変わらず、修正CBR、塑性指数ともに基準値を満足しており、再利用は可能と判断された。工区Iの再利用試験結果も同様であった。

以上のように、空冷スラグ路盤材は、路盤材やアスファルト混合物として通常材料と遜色ない利用が可能であることが確認できた。

3.1.5 横浜市における路盤材の実用事例⁴⁾

横浜市では、「一般廃棄物処理計画」に基づき、市民・事業者・行政が一体となって、ごみの減量化・資源化施策に取り組み、省資源・循環型の都市づくりを進めている。2001年4月から本格稼働を開始した横浜市環境事業局(現資源循環局)金沢工場は「資源循環型ごみ処理施設」として灰溶融炉を設置し、溶融スラグを道路用路盤材として有

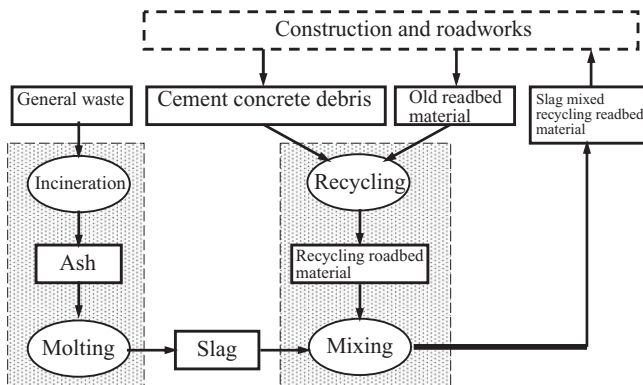
表5 スラグ物理特性例

Table 5 Slag physical characteristics examples

Item	Measured values	Standard value	Remark
Percentage Passing Sieve (Sieve Size, mm)	53	100.0%	100
	37.5	98.1%	95-100
	19	67.8%	50- 80
	4.75	18.5%	15- 40
	2.36	11.5%	5- 25
Abrasion loss	23.8%	≦50	①, ④ Upper roadbed material
Absorption	0.64%	≦ 3.0	Surface layer · Substratum
Density in saturated surface-dry condition	2.628	≧ 2.45	②, ④ Surface layer · Substratum
Stability	4.1%	≦20	③, ④ Upper roadbed material
Corrected CBR values	83.0%	≧30	④ Underlying roadbed material

Remark number of ①-④ is following next standers.

- ①JIS A 5001 (Crushed stone for road aggregate)
- ②JIS A 5015 (Iron and steel slag for road construction)
- ⇒JIS A 5032 (Melt-solidified slag material for road construction derived from municipal solid waste and sewage sludge)
- ③JIS A 5005 (Crushed stone and manufactured sand for concrete)
- ⇒JIS A 5031 (Melt-solidified aggregate for concrete derived from municipal solid waste and sewage sludge)
- ④Summary of asphalt concrete pavement (Crushed stone)



Kanazawa plant Private paving materials recycling plant

図3 溶融スラグ有効利用フロー

Fig.3 Flow diagrams of effective use molten slag

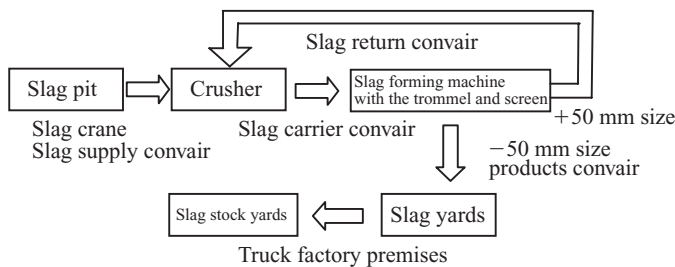


図4 スラグ加工装置設備フロー

Fig.4 Facility flow diagram of slag processing equipment

表6 試作インターロッキングブロックの配合表
Table 6 Mix proportions of the prototype Interlocking

Using material		Permeability A	Permeability B
Water		88	88
Cement	Portland blast-furnace slag cement, B species	400	—
	Ordinary portland cement	—	340
Silica fume		—	20
Blast-furnace slag		—	40
Fine aggregate	Slag	220	220
Coarse aggregate	Slag	1 896	1 900
Chemical admixture		4	4
Slag weight ratio (%)		81	81

効利用している。

金沢工場で生産されたスラグは、図3に示すように、民間の舗装材再生プラントに供給されている。下層路盤材(RC-40)に混合して有効利用できるよう、路盤材の規格(溶出試験、物理特性(粒度、強度))に適合したスラグを生産し出荷している。

スラグ加工設備のフローを図4に示す。スラグは破砕機(ハンマクラッシャ)で破砕した後、成形機(回転式)で、丸み付けし製品とする。

このように加工したスラグの特性は、表5に示すように破砕・成形・粒度調整することによりクラッシュラン40~0mm(C-40)相当のJIS規格を満足した。

空冷スラグのため粒径が大きく、また修正CBR値も高く比較的強度が高い。

3.2 コンクリート二次製品の骨材としての利用⁵⁾

3.2.1 インターロッキングブロックの骨材

景観材として幅広く利用される歩道用透水性インターロッキングブロックの材料として、破砕・粒度調整した空冷スラグを、表6の配合条件で細骨材、粗骨材に全量置換し、通常の製造ラインで試作した。

表7にスラグ配合透水性インターロッキングブロックの曲げ強度試験と透水試験の結果を示す。

スラグを細骨材、粗骨材に全量置換し、全体重量比率で81%まで使用しても、製品の品質に問題がなかった。透水係数は規格値である0.01cm/s以上を満足した。その後、透水性インターロッキングブロックで50%以上スラグ入り製品でのエコマークが取得されている。

表7 試作インターロッキングブロックの曲げ強度
Table 7 Bending strength of the prototype Interlocking

Type of interlocking	Age	Bending strength (N/mm ²)	Hydraulic conductivity (cm/s)	
Permeability A (81% slag mixture)	7 days	4.38	0.06	JASS7 Standard value ≥ 3.0
	6 months	4.18		
Permeability B (81% slag mixture)	7 days	3.72	0.013	JASS7 Standard value ≥ 0.01
	6 months	3.85		

JASS: Japanese Architectural Standard Specification

3.2.2 コンクリート製空洞ブロック用骨材

破砕粒度調整した空冷スラグを表8の配合で骨材に利用しコンクリート製空洞ブロックを試作した。このうち砂スラグ(7号砕石(5-2.5)相当)13.6%と粉スラグ(砕砂(2.5-0)相当)10.2%の合計23.8%を占め、セメントを除く骨材の内26.9%相当量を置換した。

試作した空洞ブロックは、表9に示すように圧縮強度が規格値を満足した。

3.3 下水道管基礎材としての利用⁶⁾

3.3.1 熔融スラグの管基礎材特性

福山リサイクル発電(株)は、広島県内の9市町から搬入された年間約73000tのRDF(廃棄物から得られる燃料)を熔融処理し、ボイラで発生した蒸気を利用して発電を行っている。熔融スラグの生産量は約10000t/年であり、福山市の下水道管基礎材として全量有効利用されている。図5と表10にスラグの粒度分布と物理性状結果例を示す。熔融スラグは山砂に比べると粗い粒度のものが多く、下水道管基礎材の基準値である20mm以下を満足し、

表8 試作コンクリート製空洞ブロックの配合

Table 8 Mix proportion of the prototype Concrete hollow blocks

Using material	Compounding amount (kg)	Blending ratio (%)
Cement	330	11.2
Sand slag	400	13.6
Powder slag	300	10.2
Crushed sand	1 000	34.1
River sand	250	8.5
Pumice	650	22.2
Total	2 930	100

表9 コンクリート製空洞ブロックの圧縮強度(スラグ23.8%)

Table 9 Bending strength of the prototype concrete hollow blocks (23.8% slag mixture)

	Test results	Standard value
Maximum strength (kN)	39.2	—
Compressive strength (N/mm ²)	9.9	≥ 6

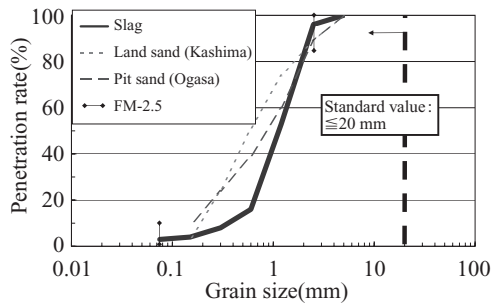


図5 福山リサイクル発電溶融スラグの粒径測定結果例
Fig.5 Grain size frequency curve of slag

表10 福山リサイクル発電の溶融スラグの物理性状結果例
Table 10 Results of aggregate test

	Test results	JIS A 5032 Standard value
Absolutely oven-dry density (g/cm ³)	2.63	≧2.5
Water absorption (%)	0.56	≦3.0
Corrected CBR values (%)	34	—

JIS A 5032 の FM2.5 規格にも適合している。物理性状において、JIS A 5032 では粒度分布と表乾密度、吸水率の基準が設けられており、溶融スラグは道路用細骨材としての基準を満たす。



写真1 試験施工状況（一層目の施工）
Photo 1 Experiment work (Work of first layer)



写真2 試験施工状況（二層目の水締め）
Photo 2 Experiment work (Hydraulic filling at second layer)

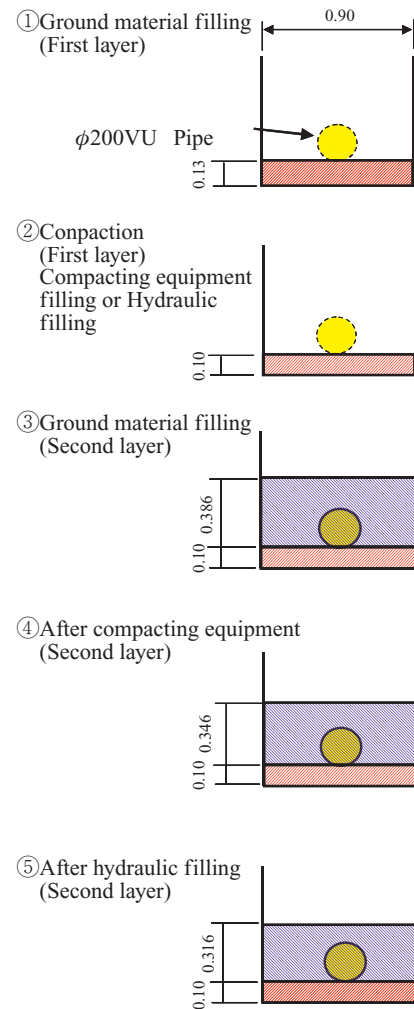


図6 締め固め試験施工結果 (m)
Fig.6 Results of Compacting experiment work

3.3.2 試験施工

福山リサイクル発電(株)の溶融スラグが管基礎材として適正であるか調査を行うため、高炉スラグと特性を比較するとともに、施工における留意点の把握を行った。

試験施工状況を写真1, 2に、また締め固め試験施工結果を図6に示す。

これより、試験施工の結果、以下の結論を得た。

- (1) 材料特性
 - (a) 溶融スラグの物理性状・粒径は、高炉水砕スラグとほぼ同等である。
 - (b) 高炉水砕スラグに比べ、透水性が高い。
- (2) 施工結果
 - (c) 砂と同様に水締めによる施工が可能であった。
 - (d) 締め固め機械による転圧で、十分な締め固めが確認できた。
 - (e) 管基礎材料として十分使用できることを確認した。
 - (f) 高炉水砕スラグに比べて比重が小さいため、敷きならす作業が容易であった。

(3) 留意点

(g) 管下部への材料の廻りが、高炉水砕スラグに比べ劣るため、十分に突固めを行う必要がある。

以上から廃棄物エコスラグは管基礎材として十分利用できることが確認された。

4. おわりに

本報で紹介したように、JFE 環境ソリューションズが開発した各種溶融システムは、スラグの安全性において JIS の求める安全基準を満足し、物理特性においても誌面に紹介した事例のように利用用途に応じた規格を満足している。そのため、スラグを 100% 有効利用することが可能である。

溶融処理は、溶融メタルの資源化や溶融飛灰の非鉄精錬減量化（山元還元）の技術とともに、溶融スラグを完全利用することにより、廃棄物処理にともない発生する最終処分量を最小化できることから、循環型社会形成に非常に大きな貢献ができる技術である。スラグ利用が確実に実現できる当社の溶融システムが、今後とも広く普及することが期待される。

なお、スラグ有効利用技術の開発においては、自治体関係者を始め、スラグを利用される関係者の御協力のもと実

現したものである。誌面を借りて深く感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 粕谷幸司ほか. “各溶融システムにおけるスラグ品質”. 第 28 回全国都市清掃研究発表会講演論文集. 2007, p. 165-167.
- 2) 中村祐子ほか. “灰溶融スラグの道路用路盤材適正評価”. 第 9 回廃棄物学会研究報告会論文集. 1998, p. 433-435.
- 3) 増田俊男ほか. “溶融スラグの道路用路盤材長期利用試験”. 第 12 回廃棄物学会研究報告会論文集. 2001, p. 530-532.
- 4) 富岡淳, 山中信幸ほか. “横浜市環境事業局金沢工場における電気抵抗式灰溶融炉稼動状況”. 第 23 回全国都市清掃研究発表会講演論文集. 2002, p. 189-191.
- 5) 明石哲夫ほか. “都市ごみ焼却灰溶融スラグの有効利用技術”. 第 21 回全国都市清掃研究発表会講演論文集. 2000, p. 151-153.
- 6) 須藤雅弘. “ガス化溶融スラグの下水道事業への利用”. 日本産業機械工業会エコスラグ 2005 コンフェレンス. 2005, p. 25-42.



明石 哲夫



須藤 雅弘