

ゴミ焼却灰溶融スラグの 舗装への利用に関する研究

新田弘之¹・木村 慎²・池田拓哉³

¹正会員 建設省土木研究所 道路部舗装研究室 主任研究員（〒305-0804 茨城県つくば市旭1）

²正会員 建設省土木研究所 道路部舗装研究室 研究員（〒305-0804 茨城県つくば市旭1）

³前 建設省土木研究所 道路部舗装研究室 室長

最終処分場の残余容量不足が深刻化しており、ゴミ焼却灰溶融スラグの再資源化の検討が各方面で進んでいる。本報告は、ゴミ焼却灰溶融スラグの舗装材料としての利用の可能性について検討したものであり、数種の溶融スラグを細骨材、粗骨材、路盤材として利用した場合の基本性能を各種試験で調査したものである。また、細骨材、粗骨材での利用では、添加剤による性状改善効果についても合わせて調査した。

その結果、天然材料との混合割合または添加剤の使用によっては、天然材料だけでの性状を上回るものもあり、また有害物質の溶出も確認されなかったため、アスファルト舗装用の骨材などに利用可能な性状を有することが分かった。

Key Words : ash of domestic wastes, melted slag, recycle, paving material, environmental safety

1. はじめに

近年、廃棄物最終処分場の残余容量不足が深刻化しており、廃棄物の再利用やゴミの減容化がより盛んになっている。都市ゴミの減容化には、通常焼却処理が行われるが、最近では、更なる減容化と再資源化への期待から焼却灰の溶融処理が行われるようになってきている。この溶融処理したものは、ゴミ焼却灰溶融スラグと呼ばれ、溶融後、水で冷却した砂状の水砕スラグが中心である。

これまで溶融スラグを舗装材料としての利用の検討は複数行われてきたが、砂状であるため細骨材¹⁾~⁶⁾、または路盤材⁷⁾としての利用検討がほとんどであった。しかし、溶融スラグの利用を促進するには、利用用途を拡げることが重要である。溶融後、空冷することにより得られる徐冷スラグは石状であり、粗骨材などへの利用が可能と考えられた。

そこで、本研究では、この空冷スラグまたは水砕スラグを用いて細骨材、粗骨材、路盤材としての利用可能性について検討した。

2. 溶融スラグサンプル

ゴミ焼却施設から発生する焼却灰等の溶融固化施設は、全国 20 カ所で稼働中であり、年間およそ 13 万トンが排出されている（平成 10 年 3 月、厚生省調べ）。ゴミ焼却灰溶融スラグの性状は、排出する施設により異なると考えられる。これは、原料となるゴミの影響、さらに燃料燃焼式や電気式などの溶融方式、水砕や徐冷などの冷却方式などに影響を与えるためである。

今回研究に用いたサンプルは、溶融処理を行っている 3 カ所の清掃工場から入手した水砕スラグおよび徐冷スラグである。溶融スラグサンプルの特徴は、表-1 のとおりである。水砕スラグは、細かい砂状のため細骨材の代替として、また徐冷スラグは石状のため粗骨材、路盤材としての適用可能性を検討した。

3. 試験内容

試験に用いた天然材料等は、表-2 に示すとおりであり、スラグ材料は表-3 に示すとおりである。ここでは、代替対象の材料と区別するために、スラグ材料にスラグ細骨材、スラグ粗骨材等の名称をつけて

表-1 熔融スラグサンプルの特徴

スラグ名	熔融方式	外 観
水砕スラグ A	プラズマ式	ガラス質，細かい砂状
水砕スラグ B	アーク式	ガラス質，細かい砂状
徐冷スラグ	電気抵抗式	ガラス質，石状、稜角に富んだ形、ほぼ方形

表-2 使用材料

材 料 名	材 質
6号砕石	硬質砂岩
7号砕石	硬質砂岩
スクリーニングス	硬質砂岩
粗目砂	川砂
細目砂	川砂
石粉	石灰岩
アスファルト	ストレートアスファルト 60/80
はく離防止剤	ホスフェート系界面活性剤

表-3 試験項目

代替対象	名 称	スラグ種類
細骨材	スラグ細骨材 A	水砕スラグ A
	スラグ細骨材 B	水砕スラグ B
粗骨材	スラグ粗骨材	徐冷スラグ
路盤材	スラグ路盤材	徐冷スラグ

表-4 標準混合物の材料配合比

6号砕石	7号砕石	スクリーニングス	粗目砂	細目砂	石粉
36.0%	24.0%	18.5%	6.0%	10.5%	5.0%

表-5 試験項目

代替対象	名称試験項目	
	骨材試験	実用性評価試験
細骨材	比重，吸水量，粒度分布	マーシャル試験，水浸マーシャル試験，ホイールトラックング試験，ラベリング試験 混入率：10～50%※ ¹ はく離防止剤：有無
粗骨材	比重，吸水量，粒度分布，すり減り減量，安定性，はく離抵抗試験	マーシャル試験，水浸マーシャル試験，ホイールトラックング試験，ラベリング試験 混入率：10～50%※ ² はく離防止剤：有無
路盤材	ふるい分け試験，突固め試験，修正 CBR 試験，液性限界試験，塑性限界試験 混入率：10～50%	

※¹ 細骨材に対して 10, 20, 30, 40, 50%であり，混合物全体に対しては 3.5, 7.0, 10.5, 14.0, 17.5%である。

※² 粗骨材に対して 10, 20, 30, 40, 50%であり，混合物全体に対しては 6.0, 12.0, 18.0, 24.0, 30.0%である。

いる。

また試験には表-4 に示すような材料配合比のものを標準として試験に用い，表-5 に示すような試験を行った。スラグ材料の混入率は，代替対象の天然材料（細骨材または粗骨材）に対して，10, 20, 30,

表-6 材料性状試験の結果

		スラグ細骨材		天然材料	
		A	B	粗目砂	細目砂
比 重	見かけ	2.729	2.636	2.699	2.691
	表乾	2.705	2.620	2.570	2.539
	かさ	2.691	2.609	2.495	2.450
吸水率 (%)		0.51	0.38	3.02	3.66

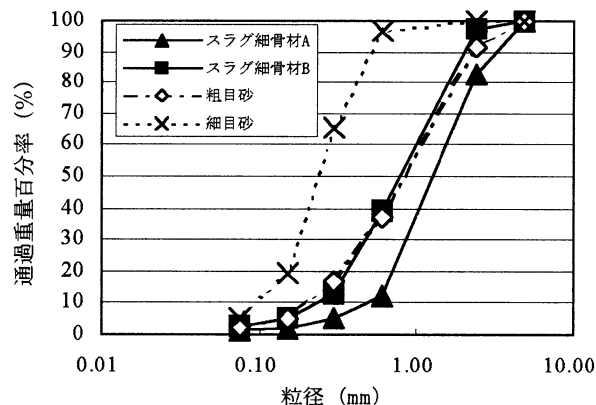


図-1 細骨材の粒度分布

表-7 配合設計の結果

		As 最適量 (%)	密度 (g/cm ³)	空隙率 (%)	飽和度 (%)	安定度 (kN)	フロー値 (1/10mm)
標準混合物		5.2	2.384	3.8	76.2	13.4	29
スラグ細骨材 A	はく離防止剤なし	10%	5.1	2.385	3.8	75.7	32
		20%	5.1	2.390	3.8	75.9	30
		30%	5.0	2.393	3.8	75.4	30
		40%	5.1	2.387	3.8	75.8	29
		50%	5.1	2.395	3.8	75.5	29
	はく離防止剤あり	10%	5.1	2.375	4.2	73.5	31
		20%	5.1	2.390	3.6	76.8	30
		30%	5.2	2.392	3.7	76.4	31
		40%	5.1	2.402	3.6	76.7	29
		50%	5.1	2.400	3.9	75.2	28
スラグ細骨材 B	はく離防止剤なし	10%	5.2	2.365	4.1	75.0	28
		20%	5.2	2.372	3.6	76.0	27
		30%	5.2	2.370	4.0	76.0	26
		40%	5.2	2.378	3.6	76.5	26
		50%	5.2	2.370	3.7	75.5	25
	はく離防止剤あり	10%	5.2	2.372	3.8	76.5	28
		20%	5.1	2.380	3.7	76.0	28
		30%	5.2	2.365	3.9	76.5	28
		40%	5.2	2.377	3.6	77.0	25
		50%	5.2	2.375	3.7	76.5	25

40, 50%の割合とし，それぞれについてははく離防止剤を入れた場合も試験を行った。

環境安全性の評価のために，土壤環境基準（環境庁告示 46 号）に示される方法で溶出試験を行った。

4. 結果

(1) 細骨材の代替としての利用

1) 骨材試験

材料性状試験の結果を表-6 に示す。天然材料と比

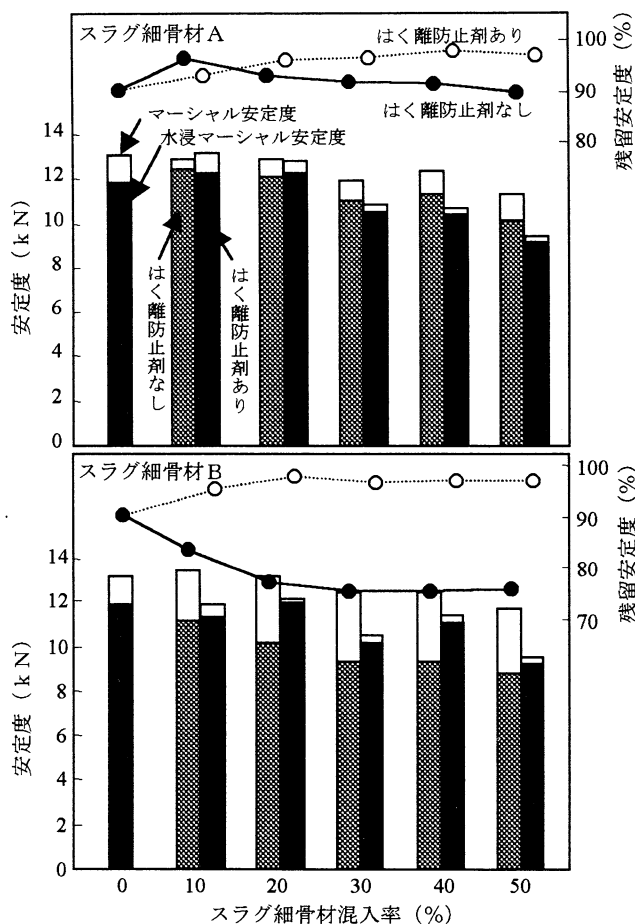


図-2 マーシャル安定度試験の結果

べ、比重が若干大きく、吸水率がかなり小さいことが分かる。また、粒度分布は図-1 のようである。スラグ細骨材は粗目砂に近い粒度分布であり、特にBはほぼ同じ粒度分布である。

2) 配合設計

配合設計の結果を表-7 に示す。安定度、フロー値等に若干の違いが見られたが、配合に関しては、標準的なアスファルト混合物と比べて大きな違いがないのが分かる。

3) 実用性試験の結果

①マーシャル安定度試験

マーシャル安定度試験の結果を図-2 に示す。スラグ細骨材Aの場合、混入率が高くなると安定度が若干低下するが、問題となるような性状は示していない。またはく離防止剤を添加した場合は、残留安定度は高くなっているものの、水浸後の安定度が高くならず、添加による大きな性状改善は見られなかった。

スラグ細骨材Bの場合も、混入率が高くなるほど安定度が低下し、残留安定度も低下した。しかし、はく離防止剤を添加すると、水浸安定度、残留安定度ともに大きくなり、性状改善が見られた。

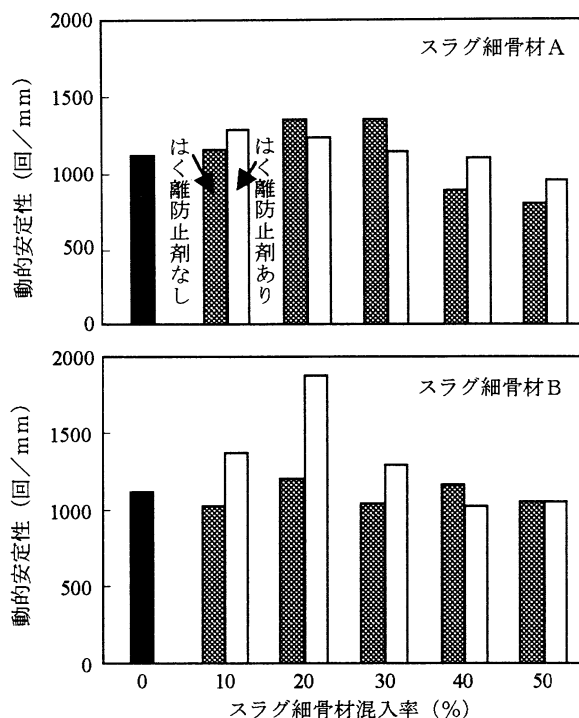


図-3 ホイールトラッキング試験の結果

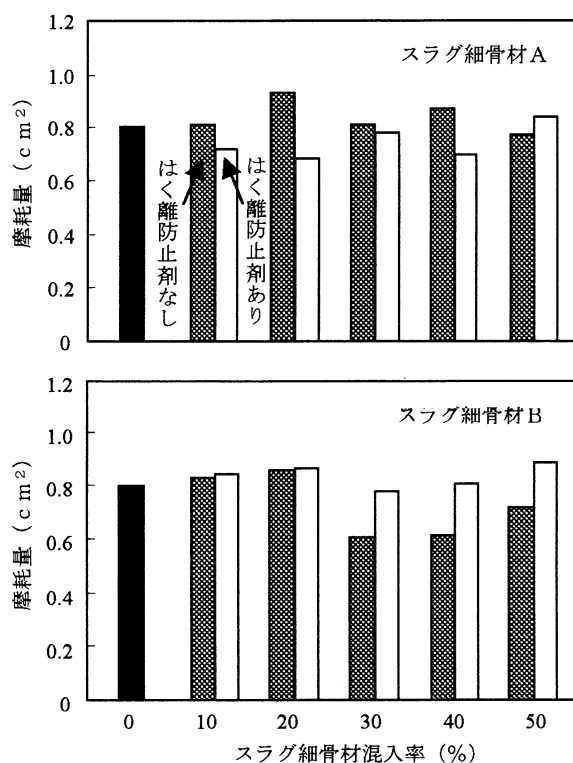


図-4 ラベリング試験の結果

②ホイールトラッキング試験

ホイールトラッキング試験の結果を図-3 に示す。スラグ細骨材Aでは、混入率 10～30%程度で動的安定度 (DS) が若干上昇したが、40%以上では低下し、はく離防止剤を添加しても性状は改善されなかった。

スラグ細骨材Bでは、はく離防止剤を添加しない状態で混入率の影響は小さくあまりDSは変化しな

表-8 材料性状試験の結果

		スラグ粗骨材	天然材料(6号)
比重	見かけ	2.662	2.682
	表乾	2.656	2.617
	かさ	2.653	2.579
吸水率 (%)		0.13	1.48
すり減り減量 (%)		36.4	13.8
安定性 (%)		1.9	2.3

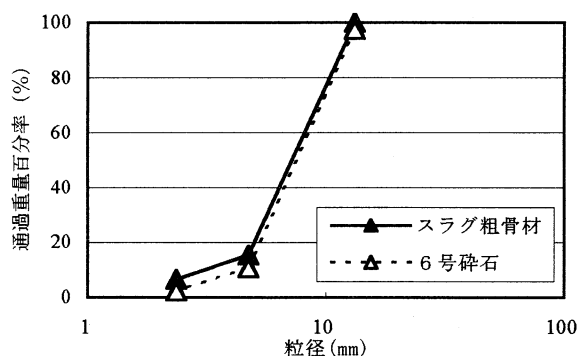


図-5 骨材の粒度分布

かった。しかし、はく離防止剤を添加した場合、マーシャル安定度同様に性状改善が見られ、特に混入率が20%ではく離防止剤が入った状態ではDSが約1900回/mmと大きくなった。

③ラベリング試験

ラベリング試験の結果を図-4に示す。スラグ細骨材AとBでは、傾向が異なり、Aでは摩耗量が若干増えるが、はく離防止剤を添加すると摩耗を抑えることができた。逆にBでは摩耗量が減るものもあるが、はく離防止剤を添加すると、摩耗量が増える傾向が見られた。

(2) 粗骨材の代替としての利用

1) 骨材試験

材料性状試験の結果を表-8に示す。天然材料と比べると、吸水率が小さく、すり減り減量が多い。特にすり減り減量は、表層・基層に用いる場合の目標値(30%以下)よりも大きいことがわかる。

粒度分布は図-5に示すとおりであり、6号砕石とほぼ同じになっている。

また、粗骨材としての利用では、アスファルトとの付着性が問題となると考えられたため、はく離抵抗試験(JPI-5S-27)を行った。表-9に結果を示す。硬質砂岩と比べると若干はく離率が大きいですが、はく離防止剤の使用により、はく離率が改善されているのが分かる。

2) 配合設計

配合設計の結果を表-10に示す。細骨材としての利用と比べると、最適アスファルト量が幾分高く

表-9 はく離抵抗試験の結果

材 料	はく離率 (%)
硬質砂岩	4.0
スラグ粗骨材	12.0
スラグ粗骨材+はく離防止剤	1.8

表-10 配合設計の結果

		最適As量 (%)	密度 (g/cm ³)	空隙率 (%)	飽和度 (%)	安定度 (kN)	フロー値 (1/10mm)
標準混合物		5.2	2.384	3.8	76.2	13.4	29
スラグ粗骨材	はく離防止剤なし	10%	5.5	2.370	3.8	76.7	11.8
		20%	5.5	2.372	3.7	77.2	11.6
		30%	5.5	2.371	3.7	77.2	10.65
		40%	5.3	2.376	3.7	77.5	10.5
		50%	5.3	2.375	3.6	76.5	10.4
	はく離防止剤あり	10%	5.3	2.376	3.9	76.0	11.6
		20%	5.3	2.378	3.8	76.5	11.2
		30%	5.3	2.378	3.7	77.0	10.2
		40%	5.2	2.380	3.8	77.0	9.8
		50%	5.1	2.385	3.6	77.0	9.6

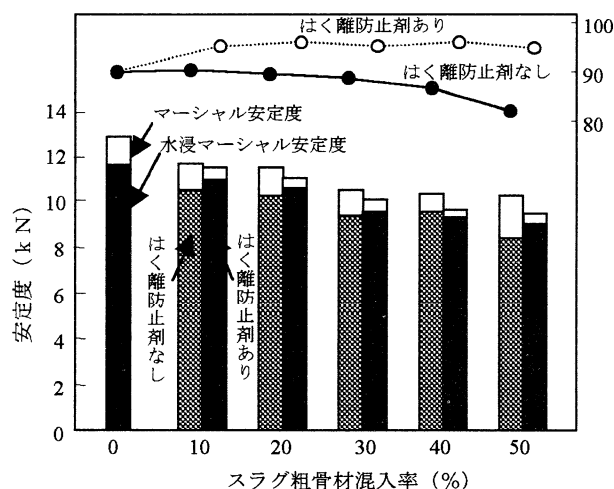


図-6 マーシャル安定度試験

なり、フロー値などで多少の違いが見られるが、特に配合上問題は生じなかった。

3) 実用性試験の結果

①マーシャル安定度試験

マーシャル安定度試験の結果を図-6に示す。スラグ粗骨材の混入率が高くなるほど、安定度は低下してきている。また、はく離防止剤の添加により、残留安定度の改善が見られたが、水浸安定度は添加しない場合と比べて大きな違いはなく、はく離防止剤の添加による大きな性状改善は見られなかった。

②ホイールトラッキング試験の結果

ホイールトラッキング試験の結果を図-7に示す。スラグ粗骨材の混入率が高くなるにつれて動的安定度は若干低下した。はく離防止剤を添加したところ、混入率が10、20%の時に動的安定度が高くなり、

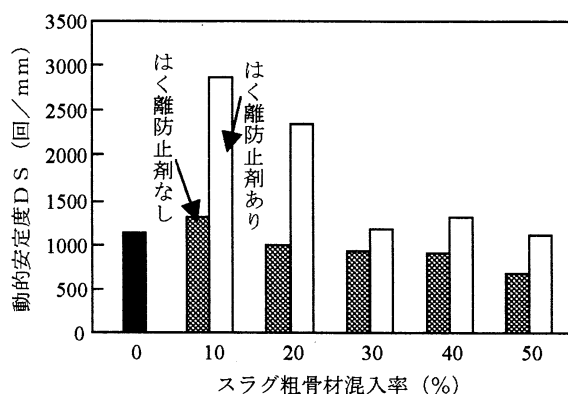


図-7 ホイールトラッキング試験

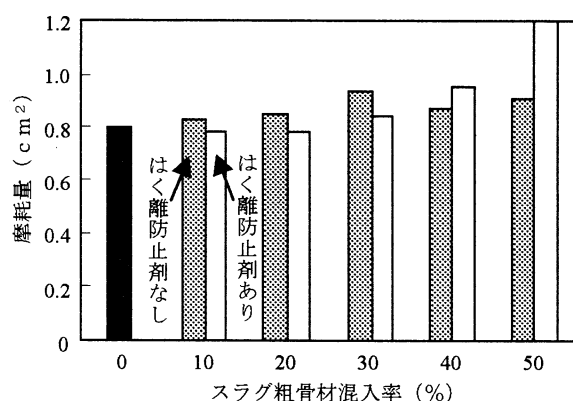


図-8 ラベリング試験の結果

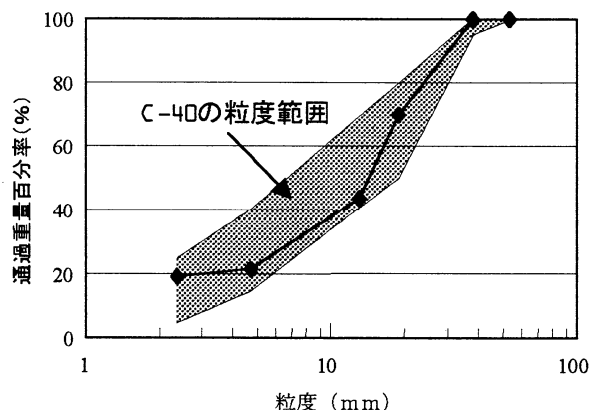


図-9 粒度分布

天然材料だけの混合物より、2 から 3 倍の DS となった。

③ラベリング試験

ラベリング試験の結果を図-8 に示す。スラグ粗骨材混入率が増加するとともに、摩耗量は増加する傾向が見られ、はく離防止剤を添加しても、摩耗の抑制効果は見られなかった。

(3)路盤材としての利用

徐冷スラグの路盤材としての利用可能性について検討した。粒度は、スラグ自身を調整してクラッシュラン C-40 程度にしたもので、粒度分布は図-9 に示すようになった。

表-11 に路盤材用に調整した徐冷スラグの試験の

表-11 徐冷スラグの試験結果

項 目	結 果	規 格
すり減り減量 (%)	36.4	—
安定性 (%)	1.9	—
吸水率 (%)	0.13	—
突き固め試験	最適含水比(%)	3.2
	湿潤密度 (g/cm³)	2.159
	乾燥密度 (g/cm³)	2.092
修正 CBR (%)	64.0	20%以上
塑性指数 (P I)	NP	6 以下
液性限界 (%)	NP	—
塑性限界 (%)	NP	—

表-12 溶出試験の結果 (徐冷スラグ)

項 目	単 位	試験結果	土壤環境基準
カドミウム※	mg/l	0.001 未満	0.01 以下
全シアン	mg/l	不検出	検出されないこと
有機磷	mg/l	不検出	検出されないこと
鉛※	mg/l	0.005 未満	0.01 以下
六価クロム※	mg/l	0.05 未満	0.05 以下
砒素※	mg/l	0.005 未満	0.01 以下
総水銀※	mg/l	0.0005 未満	0.0005 以下
アルキル水銀	mg/l	不検出	検出されないこと
P C B	mg/l	不検出	検出されないこと
ジクロロメタン	mg/l	0.002 未満	0.02 以下
四塩化炭素	mg/l	0.0002 未満	0.002 以下
1,2-ジクロロエチン	mg/l	0.0004 未満	0.004 以下
1,1-ジクロロエチン	mg/l	0.002 未満	0.02 以下
ジス-1,2-ジクロロエチン	mg/l	0.004 未満	0.04 以下
1,1,1-トリクロロエタン	mg/l	0.1 未満	1 以下
1,1,2-トリクロロエタン	mg/l	0.0006 未満	0.006 以下
トリクロロエチン	mg/l	0.003 未満	0.03 以下
テトラクロロエチン	mg/l	0.001 未満	0.01 以下
1,3-クロロプロペン	mg/l	0.0002 未満	0.002 以下
チウラム	mg/l	0.0006 未満	0.006 以下
シマジン	mg/l	0.0003 未満	0.003 以下
チオベンカルブ	mg/l	0.002 未満	0.02 以下
ベンゼン	mg/l	0.001 未満	0.01 以下
セレン※	mg/l	0.001 未満	0.01 以下

※は、「一般廃棄物の溶融固化物の再生利用の実施について」(H10.3, 厚生省) で基準が設けられている物質。

結果を示す。参考までに下層路盤を砕石および粒状路盤工法で行うときの規格を示す。

(4)環境安全性

スラグが都市ゴミから造られたものであることから、様々な有害物質を含む可能性があったため、環境安全性を調査した。環境安全性としては、雨水、地下水等と直接接触する可能性のある路盤材からの水への溶出試験を評価することとした。安全性評価法は、厚生省の「一般廃棄物の溶融固化物の再利用の実施について」(H10.3) を参考にしたが、分析項目は、念のため土壤環境基準に挙げられている項目全てとした。

表-12 に示すように、すべての項目で、検出されず、土壤環境基準を満足するものであった。

5. まとめ

①細骨材

- ・骨材試験および配合設計からは、特に問題は見られなかった。
- ・アスファルト混合物試験では、混入率によっては性状が良くなることもあったが、混入率が 40～50%程度になると、一様に元の性状より悪くなっており、混入率に上限を設ける必要があると考えられた。
- ・はく離防止剤を入れた場合、スラグ細骨材 A では大きな影響が見られなかったが、B では性状改善が見られ、スラグ種類によっては、はく離防止剤の効果が期待できるものと考えられる。

②粗骨材

- ・材料性状値では、粒度分布は特に問題がなかったものの、アスファルトのはく離性は若干高く、またすり減り減量は大きく、碎石の品質目標値からはずれた。
- ・配合設計では、特に問題は見られなかった。
- ・アスファルト混合物での試験では、各種規定値は満足するものの、ほとんどの項目で混入により性状が悪くなる傾向を示し、混入率に上限を設ける必要があると考えられた。
- ・はく離防止剤を入れた場合、動的安定度が大きく改善された。

③路盤材

- ・修正 CBR は比較的高い性状を示したが、扁平でなく稜角に富んだ材料であり、すり減り減量が約 36%と多かった。
- ・天然材料とは若干異なるが、下層路盤材として利用可能と考えられた。

④安全性

- ・土壤環境基準を満たしており、環境中で使用しても大きな問題はないと考えられる。

6. おわりに

今回、ゴミ焼却灰溶融スラグの舗装への利用検討を行い、概ね利用可能という知見が得られた。

今後、このスラグ利用の発展には、生産者側、利用者側両方から、以下のようなことを開発、調査する必要があると考えられる。

- ① より舗装材料に適した性状のスラグ製造方法（溶融時添加剤、冷却方法、整粒方法など）の開発
- ② 性状改善効果の高い添加剤の検討
- ③ 耐久性の確認
- ④ 再リサイクル性の確認 など

参考文献

- 1) 福満雅之，鈴木哲雄：ごみ焼却灰溶融スラグのアスファルト混合物への利用，道路建設，No.578，pp.33-43，1996
- 2) 黒田智，下田哲也：溶融スラグのアスファルト混合物細骨材への再利用に関する検討，第 22 回日本道路会議，pp.656-657，1997
- 3) 佐沢昌樹，佐武健士：都市ゴミ溶融スラグ入りアスファルト混合物の実路への適用，第 22 回日本道路会議，pp.658-659，1997
- 4) 田村稔，福満雅之，鈴木哲雄：ごみ焼却灰溶融スラグのアスコンへの利用，第 21 回日本道路会議，pp.634-635，1995
- 5) 片石俊幸，中沢昌作，荻原稔：溶融スラグ砂の舗装材料への利用について，第 21 回日本道路会議，pp.636-637，1995
- 6) 泉秀俊，黒田智，荒木田靖：産業副産物の道路分野への利用化提案，第 21 回日本道路会議，pp.638-639，1995
- 7) 泊瀬川孚，山田鉄雄，浅野耕司：都市ゴミ焼却灰溶融スラグの路盤材への適用，第 22 回日本道路会議，pp.660-661，1997

THE USE OF MOLTEN SLAG FOR PAVING MATERIALS

Hiroyuki NITTA, Makoto KIMURA and Takuya IKEDA

Recently, the capacity of landfills for waste becomes considerably inadequate. Therefore, the ash of domestic wastes is to be melted in order to reduce its volume and this molten slag is to be recycled. In this paper, the use of molten slag is mentioned, especially for paving materials such as fine and coarse aggregates and granular materials. The improvement of slag properties is also studied by using antistripping agent.

As the results of using three types molten slag, these molten slag are found to be able to use as a paving materials without any toxic substance liquefied out.