

# 溶融固化物の舗装用骨材への利用の検討

新田弘之\* 木村 慎\*\* 吉田 武\*\*\*

## 1. はじめに

一般廃棄物の減容化には、通常焼却処理が行われるが、最近では更なる減容化や、性状の安定化、再資源化への期待などにより溶融処理が盛んとなっている。溶融処理によって、廃棄物もしくはその焼却灰は石状の固化物となり、土木用途としては骨材への利用が多く考えられている。

舗装用としては、アスファルト舗装用骨材や路盤材としての利用が多く検討されている<sup>1)</sup>が、天然骨材とは異なる性状がいくつかあるため、混入量の最適化や性状向上対策などの検討が必要である。今回は、溶融固化物のアスファルト舗装用骨材としての利用を中心に基本的性状の調査および性状向上対策について検討した。

## 2. 一般廃棄物溶融固化物について

一般廃棄物溶融固化物は、黒曜石のような外観のものが多く、成分はSiO<sub>2</sub>、CaO、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>が約80%を占めるガラスのような物質である。溶融固化物の形状には、冷却方式が関係し、大別して水中で一気に冷却する水砕スラグと空気中などで徐々に冷却する徐冷(空冷)スラグがある。

水砕スラグは、写真-1のように細かい粒径しか造ることができず、徐冷スラグは大きな塊になり写真-2のように粉碎により大きさのある程度コントロールすることができる。

現在、溶融固化処理方法にはいくつかあり、分類すると図-1のようになる。大きく分けて焼却灰を溶融する焼却灰残渣溶融方式と、直接溶融する

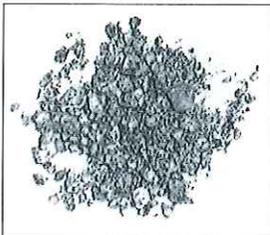


写真-1 水砕スラグ



写真-2 徐冷スラグ

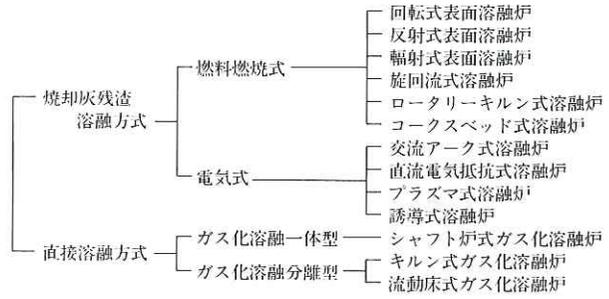


図-1 溶融固化処理方法の分類

直接溶融方式がある<sup>2)</sup>。

再利用に当たって最も重要と考えられるスラグの性状は、原料である一般廃棄物(焼却灰)、溶融方式、冷却方式などに影響を受けると考えられる。再利用の検討には、これらを考慮することも必要である。

## 3. 再生材利用について

アスファルト舗装に用いる材料は、製造時の加熱や長期の供用に耐え、さらにほぼ完全にリサイクル可能でなくてはならない。

そこで、一般的な事項も含めて利用経験の少ない再生材利用については、大きく分けて以下のよう項目の確認が必要と考えられる。

- ① 環境安全性
- ② 材料性状
- ③ 作業安全性
- ④ 施工性
- ⑤ 供用性
- ⑥ 舗装材料としてのリサイクル性

今回の検討は全て室内試験において行い、主に①、②、⑤に関する検討を行った。

## 4. 試験概要

### 4.1 サンプル

溶融固化物サンプルは表-1のものを用いた。いずれも黒色でガラス質の物質である。溶融方式の影響を極力避けるため、いずれも電気式の溶融炉で製造されたものを用いた。

水砕スラグは砂状のもので、アスファルト混合

物の細骨材としての利用を検討した。徐冷スラグは石状のもので、粒径は色々なものが選択できたため、6号砕石相当の大きさのものをい用いアスファルト混合物の粗骨材としての検討を行った。

4.2 標準材料および標準混合比

アスファルト混合物は、骨材の最大粒径が13mmの密粒度アスファルト混合物とし、天然材料としては、表-2に示すものを用いた。この天然材料で配合設計を行った場合の標準配合比は表-3の通りである。

また、溶融固化物がガラス質のため、アスファルトとの結合性が天然材料より劣ると考えられたため、結合性向上のためにはく離防止剤の効果も比較検討した。

4.3 試験項目

表-4に本調査で行った試験項目を示す。融固化物は、骨材の単純な代替として利用することを前提としていたため、まず骨材としての評価を行った。また、アスファルト混合物としての供用性に関する性状を評価するために、わだち掘れ、ひび割れ、はく離などに関する混合物試験を行い評価した。なお、各試験結果は3個の平均値である。また、混合物試験については、はく離防止剤(添加量：アスファルトに対し0.3%、全体に対し0.02%以下)を添加したものも実施した。

混合物試験においては、溶融固化物の混入率  
表-1 溶融固化物サンプルの特徴

固化物名	溶融方式	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C	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 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-4 試験項目

代替対象	試験項目	
	骨材試験	混合物試験
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, ホイールトラッキング試験, ラベリング試験
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, ホイールトラッキング試験, ラベリング試験

表-5 溶融固化物の混入率

細骨材利用	細骨材に対する混入率(%)	10	20	30	40	50
	骨材全体に対する混入率(%)	3.5	7.0	10.5	14.0	17.5
粗骨材利用	粗骨材に対する混入率(%)	10	20	30	40	50
	骨材全体に対する混入率(%)	6.0	12.0	18.0	24.0	30.0

を変えて試験を行った。表-5に示すように、混入率は代替対象となる骨材に対して10~50%とした。この場合、細骨材、粗骨材の配合比から、混合物全体に対する混入率としては、それぞれ3.5~17.5%、6.0~30.0%となった。

5. 結果

5.1 骨材試験の結果

1) 細骨材

材料性状試験の結果を表-6に示す。天然材料と比べ、比重が若干大きく、吸水率がかかなり小さいことが分かる。また、粒度分布は図-2のようである。今回用いた水砕スラグは比較的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った。

2) 粗骨材

材料性状試験の結果を表-7に示す。天然材料と比べると、吸水率が小さく、すり減り減量が大きい。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。これは、写真-2からも分かる通り、今回用いた徐冷スラグが稜角に富んでいたことも大きな原因と考えられる。

粒度分布は図-3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。天然材料の硬

質砂岩 6号碎石と比べると若干はく離率が大きい  
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。

5.2 混合物試験の結果

1) 細骨材としての利用

①マーシャル安定度試験

配合試験によって得られた配合比におけるマー  
シャル安定度試験の結果を図-4 (1) に示す。水碎  
表-6 材料性状試験の結果

		水碎スラグ		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

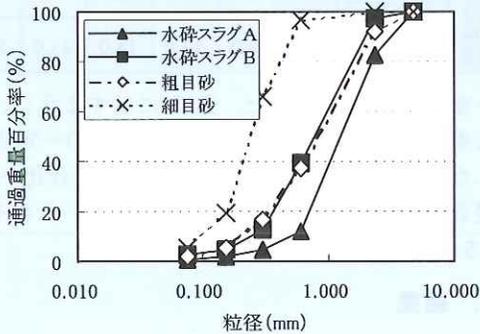


図-2 細骨材の粒度分布  
表-7 材料性状試験の結果

		徐冷スラグC	6号碎石
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
はく離率 (%)	はく離防止剤無	12.0	4.0
	はく離防止剤入	1.8	-

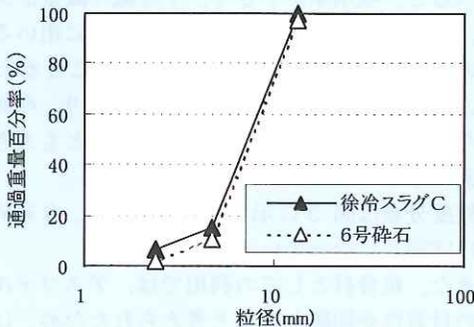


図-3 粗骨材の粒度分布

スラグ A、B いずれも混入率が大きくなるに従い  
安定度は同様に低下した。

また水への抵抗性を評価するために、水浸マー  
シャル安定度試験も実施し、水浸前後の安定度の  
変化(残留安定度)を見たところ、図-5 (1) のよう  
になった。水碎スラグ A はあまり変化がないが、  
B は混入率が大きくなると残留安定度は小さくな  
り、水への抵抗性が低下する傾向を示した。

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-6 (1) に  
示す。この試験は、耐わだち掘れ性の評価に用い  
る試験であり、動的安定度 DS が大きいほど抵抗  
性が大きいと評価される。水碎スラグ A は、混入  
率が小さいうちは良い性状を示してはいるが、全  
骨材に対して 15% 近く混入したところから急激に  
性状が低下している。一方、水碎スラグ B は混入  
率との相関性はあまり見られず、天然骨材のみの  
場合とも大きな違いが見られなかった。

③ラベリング試験

ラベリング試験の結果を図-7 (1) に示す。水碎  
スラグ A では、摩耗量が若干大きくなったもの  
の、B では、摩耗量が若干小さくなった。スラグ  
は天然骨材と比べて脆い性質をもつことが多く、  
混入により摩耗へ悪影響をもたらすと予想してい  
たが、今回の試験はそのような傾向を明示するも  
のではなかった。その原因としては、スラグの材  
料性状のバラツキ等が考えられる。

2) 粗骨材としての利用

①マーシャル安定度試験

配合試験によって得られた配合比におけるマー  
シャル安定度試験の結果を図-4 (2) に示す。徐冷  
スラグでも混入率が大きくなるほど安定度は小  
さくなり、水碎スラグよりも若干影響が大き  
くなった。

水浸マーシャル安定度試験の結果、残留安定度  
は図-5 (2) のようになった。変化はさほど大き  
くないが、混入率が大きくなるほど残留安定度  
は小さくなり、水への抵抗性が低下する傾向を  
示した。

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-6 (2) に  
示す。混入率が少ないときに若干大きめの値を  
示しているが、その後混入率が大きくなるほど  
DS は小さくなっている。

③ラベリング試験

ラベリング試験の結果を図-7 (2) に示す。

これも他の試験同様に添加率が大きくなるほど

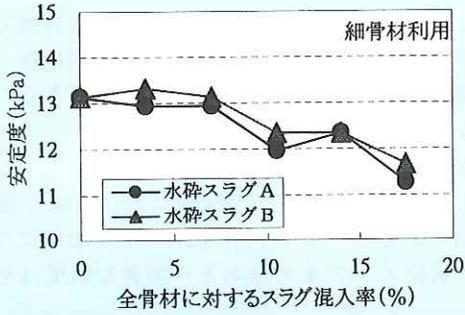


図-4 (1) マーシャル試験の結果 (細骨材利用)

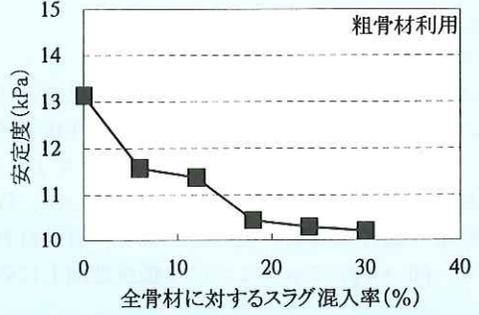


図-4 (2) マーシャル試験の結果 (粗骨材利用)

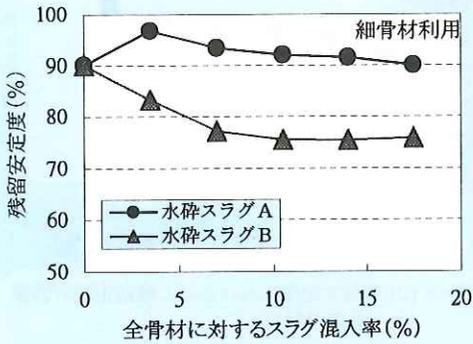


図-5 (1) 残留安定度 (細骨材利用)

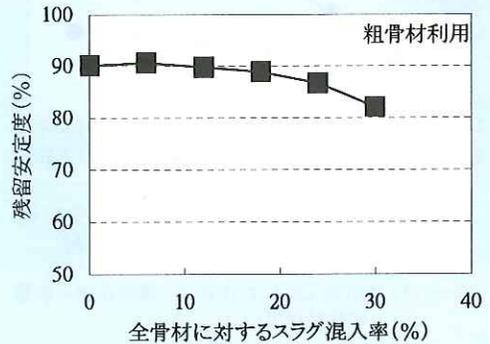


図-5 (2) 残留安定度 (粗骨材利用)

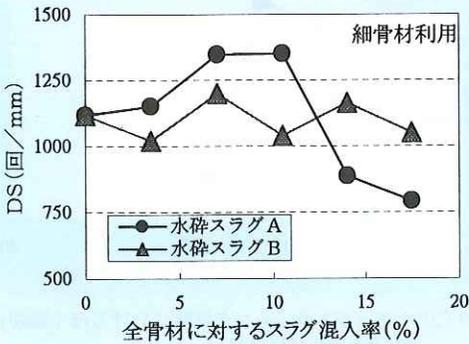


図-6 (1) ホイールトラッキング試験 (細骨材利用)

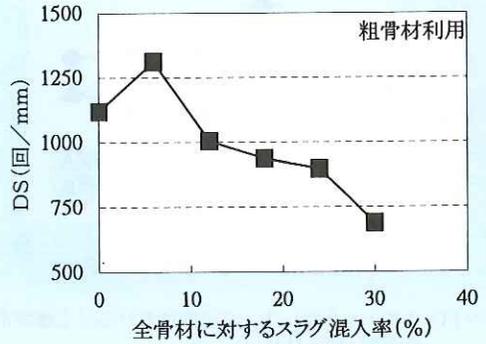


図-6 (2) ホイールトラッキング試験 (粗骨材利用)

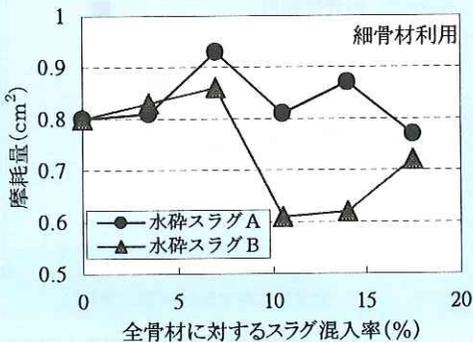


図-7 (1) ラベリング試験の結果 (細骨材利用)

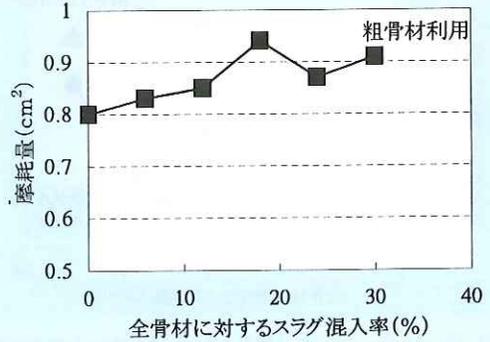


図-7 (2) ラベリング試験の結果 (粗骨材利用)

性状が低下する傾向を示した。

3) はく離防止剤の影響

①マーシャル安定度試験

はく離防止剤添加による性状向上効果を見るために、無添加の場合と添加した場合の性状の比をとった。細骨材利用では、図-8 (1) に示すように、どちらも添加により水抵抗性が向上したが、Bの方がより顕著に効果が現れた。また、粗骨材利用でも、図-8 (2) に示すように水抵抗性向上に効果

があった。

したがって、溶融固化物が混入した混合物でもはく離抵抗性は一樣に期待でき、溶融固化物の種類によっては大きな改善効果が期待できることが分かった。

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におけるはく離防止剤の影響は、図-9 (1)、(2) に示すようになった。水砕スラグ A ではあまり顕著な効果は見ら

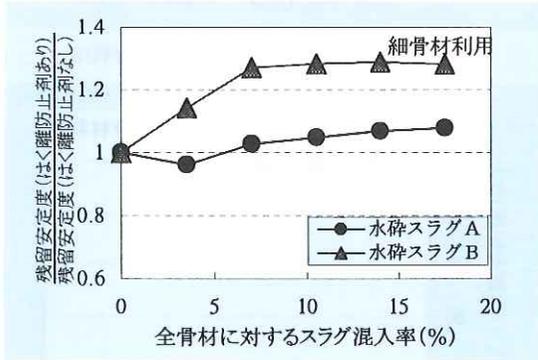


図-8 (1) 残留安定度におけるはく離防止剤の影響 (細骨材利用)

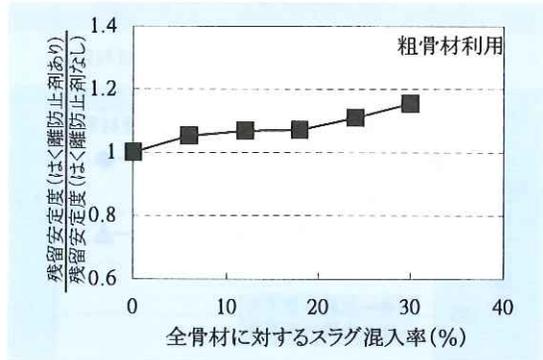


図-8 (2) 残留安定度におけるはく離防止剤の影響 (粗骨材利用)

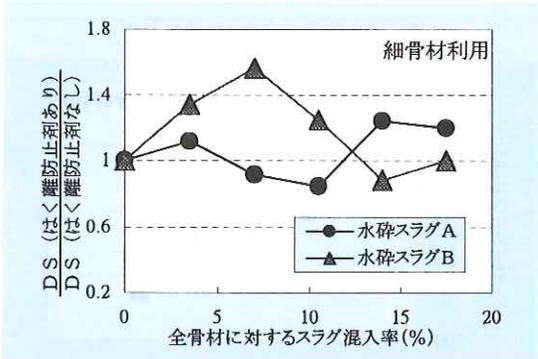


図-9 (1) ホイールトラッキング試験におけるはく離防止剤の影響 (細骨材利用)

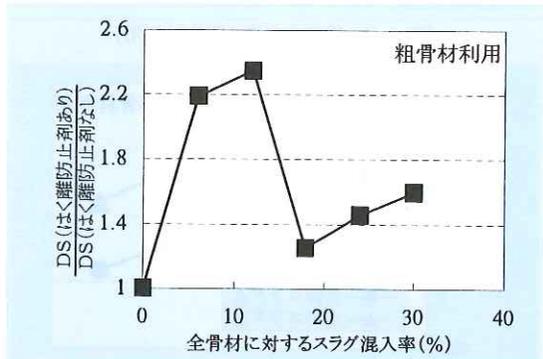


図-9 (2) ホイールトラッキング試験におけるはく離防止剤の影響 (粗骨材利用)

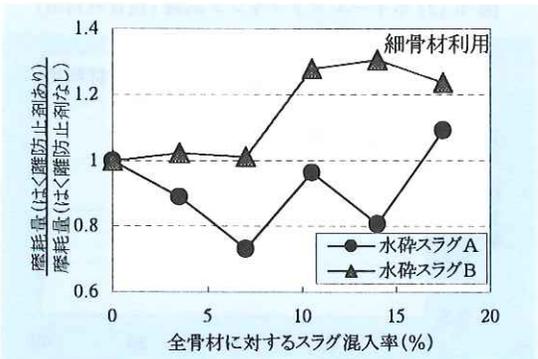


図-10 (1) ラベリング試験におけるはく離防止剤の影響 (細骨材利用)

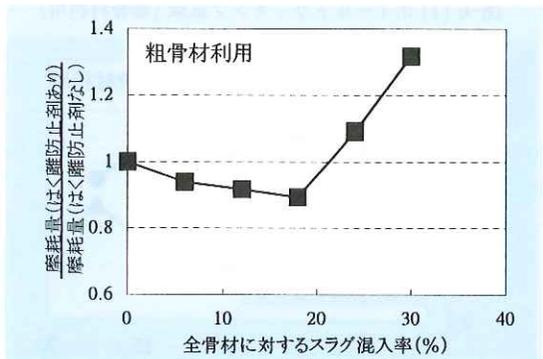


図-10 (2) ラベリング試験におけるはく離防止剤の影響 (粗骨材利用)

れないが、水砕スラグ B および徐冷スラグ C では混入率が小さいときに大きな効果がみられた。いずれの場合でも混入率が大きい場合には大きな効果が見られなかった。

したがって、溶融固化物の種類によっては、動的安定性 (DS) の向上に、はく離防止剤の添加は効果があり、特に混入率が小さいときに大きな効果が得られることが分かった。

③ラベリング試験

ラベリング試験におけるはく離防止剤の影響は、図-10 (1)、(2) のようになった。水砕スラグ A で若干の改善効果がみられたものの、水砕スラグ B、徐冷スラグ C では、大きな混入率のときに、はく離防止剤を添加しないときよりも摩耗量が大きくなっている。

したがって、溶融固化物を混入した混合物の摩耗を抑制するためには、はく離防止剤はあまり効果がないものと考えられた。

5.3 環境安全性

溶融固化物をアスファルト混合物の骨材として利用する場合、供用中には混合物の表面以外水と接触することは少ないと考えられるが、摩耗や飛散などもあるため、溶融固化物のみの溶出試験により環境安全性を確認した。試験は、厚生省の「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) にしたがって行った。今回は混入率を比較的大きくできることが予想された徐冷スラグ C について試験を行った。

表-8 溶出試験の結果 (徐冷スラグ C)

項目	単位	試験結果	基準値
カドミウム	mg/l	0.001 未満	0.01 以下
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
セレン	mg/l	0.001 未満	0.01 以下

表-8 に示すように、すべての項目で検出限界以下となり、環境基準を満足するものであった。

6. まとめ

結果をまとめると、以下のものである。

- 1) 骨材としての性状
  - ・水砕スラグ・徐冷スラグは、天然材料と比べ、比重が若干大きく、吸水率が小さいことがわかった。
  - ・徐冷スラグは稜角に富んでおり、すり減り減量が大きかった。
- 2) アスファルト混合物の性状
  - ・細骨材としての利用では、スラグの骨材全体に対する混入率がおよそ 10% を越えると一様に諸性状に影響が出た。
  - ・粗骨材としての利用では、スラグの混入率が大きくなるほど、諸性状が低下した。
- 3) 性状向上対策
  - ・はく離防止剤の使用によって、はく離抵抗性は一様に向上した。
  - ・はく離防止剤の使用によって、非常に大きな性状向上が見られることもあり、水抵抗性向上以外の性状向上に期待がもてた。

7. おわりに

今回は室内試験の結果のみであったが、実用化には 3. で説明した項目の中で残されたものの確認が必要である。そこで今後は更に試験データを収集するとともに室内試験的に再りサイクル性の確認を進め、試験施工により施工性の確認や供用性の確認を行う予定である。

参考文献

- 1) 新田弘之、木村慎、池田拓哉：ゴミ焼却灰溶融スラグの舗装への利用に関する研究、第 4 回舗装工学講演会講演集、1999.12
- 2) 猪熊明：公共事業における試験施工のための他産業再生資材試験評価マニュアル案、土木研究所資料第 3667 号、1999.9

新田弘之\*



建設省土木研究所道路部  
舗装研究室主任研究員  
Hiroyuki NITTA

木村 慎\*\*



同 道路部舗装研究室研究員  
Makoto KIMURA

吉田 武\*\*\*



同 道路部舗装研究室長  
Takeshi YOSHIDA