

積雪寒冷地における溶融スラグの道路用骨材としての一検討

A Study on Road Materials of Melt-solidified Slag in Cold Snowy Region

独立行政法人 土木研究所 寒地土木研究所 寒地道路保全チーム 正員 ○上野千草 (Chigusa Ueno)

正員 田高 淳 (Jun Takou)

正員 安倍隆二 (Ryuji Abe)

北海道立工業試験場 技術支援センター 長野伸泰 (Nobuyasu Nagano)

1. はじめに

近年、我が国では廃棄物最終処分場の延命化や、ダイオキシン類の排出規制の観点から、一般廃棄物の溶融スラグ化が盛んに行われている。

北海道内においても、年間 2.5 万トン(2004 年度)の一般溶融廃棄物溶融スラグ(以下、溶融スラグ)が生産されており¹⁾、今後発生量の増大が予測されている。しかし、現在は埋め立て処理、あるいは保管されるなど、有効利用されていないのが現状である。

そこで、溶融スラグの有効利用を目的として、道路用アスファルト混合物用骨材および路盤材として利用する検討を行っている。本文では、北海道内の一般廃棄物溶融固化施設より生産された溶融スラグを用いて行った室内試験結果について報告する。

2. 溶融スラグについて

溶融スラグとは、家庭などから排出される一般廃棄物を焼却炉で燃焼した際に発生する焼却灰もしくは直接一般廃棄物を加熱・溶融し、冷却・固化したもので、写真-1 に示すようなガラス状の物質である。

今回の検討で使用したスラグは、冷却・固化の際に水を用いる水砕スラグである。

3. アスファルト混合物用骨材としての性状

溶融スラグの骨材としての適用性を確認するため、表-1 に示す項目について性状試験²⁾を行った。骨材のふるい分け試験の結果を、後に示すアスファルト混合物試験に使用した骨材の値とともに図-1 に示す。また、その他の試験の結果を表-2 に示す。

溶融スラグの粒度は、2.36～4.75mm を中心とし、砕石 7 号の粒度と類似しているが、砕石 7 号と比較して細かい粒度の割合が大きい材料となっている。また、表乾比重においても、7 号砕石と同程度の値を示している。

吸水率は、表層用骨材の規格を満足しているが、極めて小さい値であり、アスファルトとの付着性が低いと考えられる。

すりへり減量については、表層用骨材、下層路盤骨材の規格を下回り、すり減りに対して弱い骨材であると考えられる。

アスファルトとの付着性を評価する骨材の剥離抵抗性試験による剥離面積率は、吸水率の値から懸念されたように大きな値を示し、アスファルト混合物の品質への影響が懸念される結果となった。

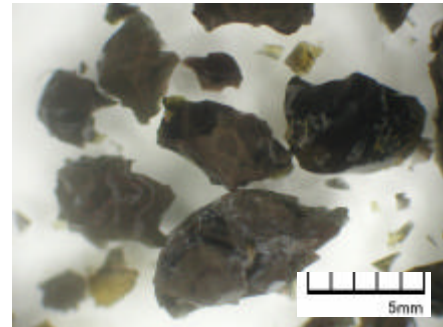


写真-1 溶融スラグ

表-1 骨材としての性状試験項目

評価項目	試験名	備考
粒度	骨材のふるい分け試験	JIS A 1102 準拠
比重	粗骨材の比重および吸水率試験	JIS A 1110 準拠
吸水率		
すりへり減量	粗骨材のすり減り試験	JIS A 1121 準拠
微粒分量	骨材の微粒分量試験	JIS A 1103 準拠
剥離量	骨材の剥離抵抗性試験	JPI 5S 27 準拠

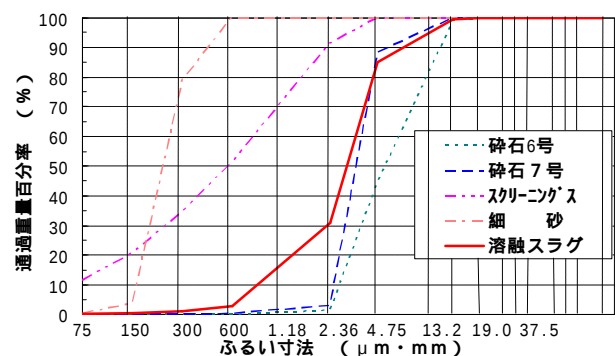


図-1 粒度分布

表-2 骨材としての性状

項目	砕石6号	砕石7号	溶融スラグ	規格	
				表層	下層路盤
表乾比重	2.671	2.646	2.660	2.55以上	-
吸水率	2.00%	2.37%	0.35%	2.5%以下	-
すりへり減量	19.4	19.7	66.1%	30%以下	45%以下
微粒分量	0.38%	0.38%	0.17%	-	-
剥離面積率	-	-	49%	-	-

4. 路盤材としての評価

ここでは、溶融スラグの路盤材としての適用性を確認した。評価項目を表-3 に示す。

(1) 修正 CBR

溶融スラグと、溶融スラグの生産地近郊で使用されている40mm級切込砕石を用い、表-3に示すように混合率を変えて試料を作製し、修正CBRの確認を行った。

試験は、JIS A 1210に示されている突き固め試験の後、舗装試験法便覧²⁾に示されている修正CBR試験を行う方法を用いた。試験結果を図-2に示す。

修正 CBR は路盤材料の品質基準を示す強度の指標を示しており、北海道開発局では、下層路盤材として用いる場合の規格値を 30%以上と設定している。

試験の結果、溶融スラグ単体では、この規格を満足することができず、溶融スラグ混合率を 50%以下で使用する必要があると考えられる。

(2) 凍上試験・凍結融解後の CBR 試験

積雪寒冷地において路盤材として用いる場合、凍上を起こす材料であるかを確認する必要があるため、溶融スラグ単体に対して、JHS 112 に示されている凍上試験を行い、性状を確認した。また、その後、凍結融解後の CBR 試験を併せて確認した。試験結果を表-4 に、凍上試験の試験状況を写真-2 に示す。

凍上試験の結果、凍上率 0.06%、凍上の様式がコンクリート状凍結であり、非凍上性の材料であることが確認された。また、凍結融解後の CBR 保存率も問題のない値となった。

(3) すりへり減量

修正 CBR 試験と同様に比率を変えて混合した試料のすりへり減量を確認するため、舗装試験法便覧²⁾に示されているロサンゼルス試験機による粗骨材のすりへり試験法 (JIS A 1211 準拠) を用いて試験を行った。使用した溶融スラグの粒度範囲は 4.75 ~ 2.36mm (粒度区分 D) である。試験結果を図-3 に示す。

本試験は、道路用骨材としての使用の可否を判定するため行われるものであり、北海道開発局では下層路盤材として用いる場合の規格値を45%以上としている。

試験の結果、溶融スラグ混合率の増加に伴い、すりへり減量が増加する傾向が見られ、下層路盤材の規格を満たすためには、溶融スラグ混合率を30%程度以下で使用する必要があると考えられる。

以上の修正 CBR 試験、すりへり試験の結果から、溶融スラグを下層路盤材として用いるには、混合率 30%程度以下での使用が望ましいと考えられる。

5. アスファルト混合物の配合設計と物性評価

ここでは、溶融スラグの表層用骨材としての適用性を確認した。評価項目を表-5 に示す。配合を溶融スラグの混合率 0、10、20、30%の 4 条件とし性状の比較を行った。

溶融スラグ以外の骨材は溶融スラグの生産地近郊で使用されている代表的な材料を使用した。

表-3 路盤材としての評価試験項目

項目	配合 (溶融スラグの混合率)				
	100%	50%	30%	10%	0%
修正 CBR	○	○	○	○	○
凍上試験	凍上率 (%)	○	-	-	-
	凍上様式	○	-	-	-
	凍上後の修正 CBR (%)	○	-	-	-
すりへり減量 (%)	○	○	○	○	○

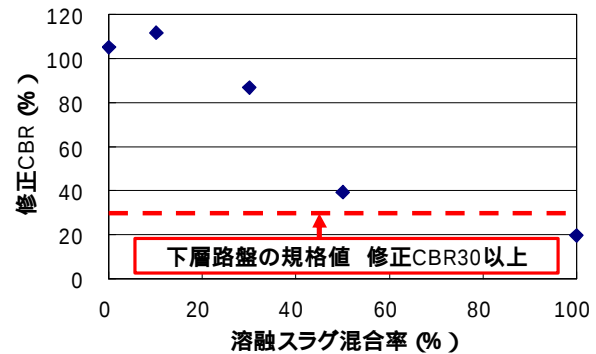


図-2 修正 CBR

表-4 凍上試験・凍結融解後の修正 CBR

凍上率 (%)	0.06
凍上様式	1
判定	合格
CBR 保存率 (%)	92.6
修正 CBR (%)	18.1



写真-2 凍上試験の試験状況

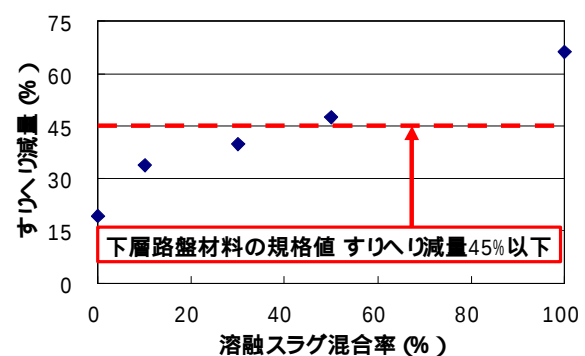


図-3 すりへり減量

(1) 配合設計

舗装試験法便覧²⁾に示されるマーシャル安定度試験を行い、配合設計を行った。作製した混合物は密粒度アスコン 13F である。配合条件を表-6 に示す。すべての配合において粒度の規格を満足した。

マーシャル安定度試験より得られたマーシャル安定度および最適アスファルト量を図-4 に示す。溶融スラグの吸水率がきわめて小さいため、混合率が増加するに伴い、最適アスファルト量が低下したものと考えられる。

また、マーシャル安定度も、溶融スラグ混合率が増加するに従い低下する傾向が見られるが、これは前述した最適アスファルト量が低下したことによる影響であると推察される。

(2) 剥離抵抗性

舗装試験法便覧²⁾に示される水浸マーシャル安定度試験を行い、混合物の剥離抵抗性を確認した。各配合における水浸マーシャル安定度、および残留安定度を図-5 に示す。

図に示すように水浸マーシャル安定度は、マーシャル安定度と同様に溶融スラグの混合率が増加するに従い低下する傾向が見られる。また、残留安定度は、ばらつきはあるが、全ての混合率において目安値 75%以上を満足する結果となった。

(3) 塑性変形抵抗性

舗装試験法便覧²⁾に示されるホイールトラッキング試験を行い、混合物の塑性変形抵抗性を確認した。各配合における動的安定度を図-6 に示す。

図に示すように動的安定度は、溶融スラグの混合率が増加してもほぼ影響は見られない結果となった。

(4) 摩耗抵抗性

舗装試験法便覧²⁾に示されるチェーンラベリング試験を行い、混合物のタイヤチェーン等に対する摩耗抵抗性を確認した。各溶融スラグ混合率におけるすりへり量を図-7 に示す。

図に示すようにすりへり量は、溶融スラグの混合率が増加するほど、大きくなる傾向が見られる。北海道開発局では、表層に用いる場合の規格値を 1.3cm^2 以下³⁾としているが、溶融スラグの混合率が 10%を越えとこの値を満足できない結果となった。

以上の結果から、溶融スラグを表層用骨材として用いる場合、溶融スラグ混合率20%ではすりへり量の規格値を満たすことができないため、混合率10%程度での使用が好ましいと考えられる。

6. 安全性の確認

ここでは、今回使用した溶融スラグの有害物質の溶出量、および含有量について、JIS 規格値に示されている8項目に対し試験を行った。試験結果、および JIS 規格値⁴⁾を表-7 に示す。

溶融スラグは、溶出量の基準値は全て満足しているものの、含有量の基準値については、スラグ単体での鉛含

表-5 アスファルト混合物としての評価試験項目

評価項目	試験名	備考
配合設計	マーシャル安定度試験	舗装試験法便覧
剥離抵抗性	水浸マーシャル安定度試験	舗装試験法便覧
塑性変形抵抗性	ホイールトラッキング試験	舗装試験法便覧
剥離抵抗性	チェーンラベリング試験	舗装試験法便覧

表-6 配合条件

		溶融スラグ混合率				規格
		0%	10%	20%	30%	
骨材配合率 (%)	砕石6号	34.6	34.0	32.1	26.4	-
	砕石7号	9.8	4.1	0.0	0.0	-
	溶融スラグ	0.0	9.1	18.4	27.9	-
	細砂	19.7	16.4	14.9	16.7	-
	スクリーングス	20.2	21.0	20	14.8	-
	石粉	9.9	9.7	9.2	9.0	-
	アスファルト量	5.8	5.7	5.4	5.3	-
通過重量 (%)	19.0mm	100.0	100.0	100.0	100.0	100
	13.2	99.7	99.7	99.6	99.7	95-100
	4.75	62.2	62.3	63.6	68.3	52-72
	2.36	50.0	50.0	49.9	49.9	40-60
	600μm	40.2	37.1	35.0	34.6	25-45
百分率 (%)	300	32.0	29.4	27.5	27.6	16-33
	150	12.1	12.2	12.0	11.3	8-21
	75	8.7	8.8	8.7	8.6	6-11

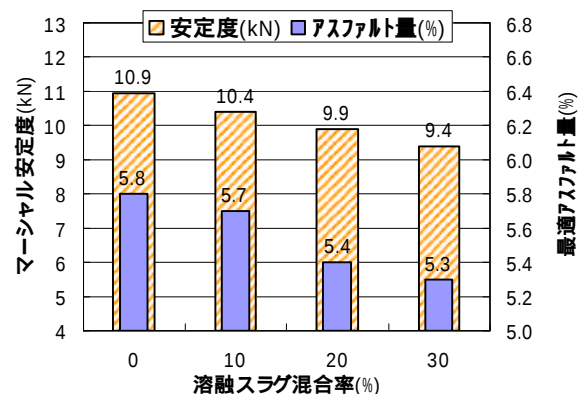


図-4 マーシャル安定度・最適アスファルト量

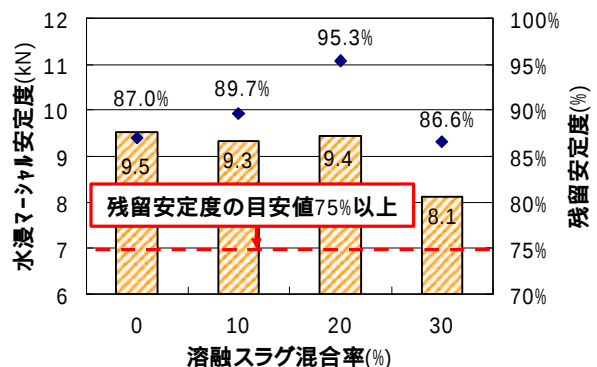


図-5 剥離抵抗性

有が基準を超える値を示した。ただし、JIS規格には「熔融スラグ単体で有害物質の含有量基準を満足しない場合でも、当該基準の3倍以内であれば、他の道路材料と配合したものによって当該基準のみならずこの規格の全ての項目を満足する品質を保證できる場合には、この規格の適用を妨げるものではない。」としている。このため、(1)式の通り、熔融スラグ混合率の上限は39%程度となり、熔融スラグに他の道路材料をこれ以下の混合率で用いることにより、使用可能となる。

(熔融スラグの混合率の上限)

$$= (\text{鉛含有量の規格値}) \div (\text{鉛含有量}) \quad (1)$$

7. まとめ

今回の試験の結果以下のことが確認された。

(1) アスファルト混合物用骨材としての評価

吸水率が極めて小さく、アスファルトが付着しにくいため、剥離量が大きな値を示しており、アスファルト混合物の品質に与える影響が懸念される。

(2) 路盤材としての評価

下層路盤材として用いる場合には、すりへり量を考慮し、熔融スラグ混合率30%程度で使用することが望ましいと考えられる。

(3) アスファルト混合物の配合設計と物性評価

耐摩耗性を考慮すると、積雪寒冷地の表層には熔融スラグの混合率10%程度で使用することが望ましいと考えられる。

(3) 安全性の確認

溶出量は全ての物質で基準値を満足しているが、鉛含有量が高い値を示しており、JIS規格を満たすためには、混合率39%以下での使用となる。

8. おわりに

今回の室内試験結果を踏まえ、今年度、熔融スラグを下層路盤材として利用し、試験施工を行った。今後、追跡調査を行い長期的な耐久性の評価を行っていく予定である。また、今後アスファルト舗装材料としての試験施工を行い、施工性、長期的な耐久性の評価を行っていく予定である。

参考文献

- 1) 北海道環境生活部環境室循環型社会推進課調べ、2005.11
- 2) 社団法人日本道路協会：舗装試験法便覧，1988.11

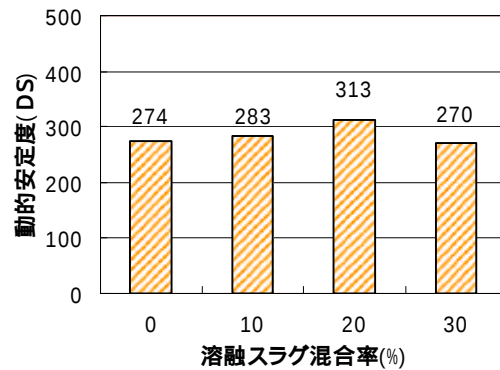


図-6 塑性変形抵抗性

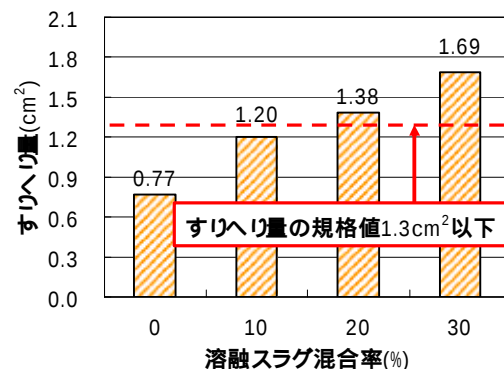


図-7 摩耗抵抗性

表-7 有害物質の溶出量・含有量

項目	溶出試験		含有試験	
	溶出量	基準値	含有量	基準値
	(mg/L)		(mg/kg)	
Cd	<0.005	<0.01	<20	<150
Pb	0.006	<0.01	380	<150
Cr(VI)	<0.04	<0.05	<2	<250
As	<0.003	<0.01	5.0	<150
T-Hg	<0.00002	<0.0005	<0.001	<15
Se	<0.004	<0.01	<4	<150
F	<0.17	<0.8	<80	<4000
B	<0.06	<1	<150	<4000

- 3) 北海道開発局：道路工事設計施工要領，p1-5-10，2005
- 4) 日本規格協会：一般廃棄物、下水汚泥又はそれらの焼却灰を熔融固化した道路用熔融スラグ，2006.7