

積雪寒冷地における溶融スラグのアスファルト混合物用骨材利用の検討

A Study on Asphalt 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 Tako)
正 員 安倍隆二 (Ryuji Abe)
北海道立工業試験場 環境エネルギー部 分析応用科 高橋 徹 (Touru Takahashi)

1. はじめに

近年、廃棄物の最終処分場の延命化や、ダイオキシン類の排出抑制を目的として、一般廃棄物の溶融固化施設の建設が盛んに行われている。北海道内においては、平成20年3月現在、10地区で一般廃棄物溶融固化施設が稼働しており、これらの施設から生産される一般廃棄物溶融スラグ（以下、溶融スラグ）は、図-1 に示すように、平成18年には年間約2.7万トンとなっている¹⁾。

本州等の温暖な地域では、以前から溶融スラグを建設資材として利用する方法が検討されており、利用指針（案）などを作成し、積極的な利用を行っている地方自治体も数多く見られる²⁻⁴⁾。しかし、積雪寒冷地では溶融スラグの利用促進に関する検討は進んでおらず、北海道内では現在、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実状である。

そこで、積雪寒冷地における溶融スラグの道路用資材としての有効利用に関する検討を行った。

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に対し、室内においてアスファルト混合物用骨材としての品質、および安全性の検討を行った結果と、これに基づいて溶融スラグを舗装用骨材として用い試験施工を行った結果について報告する。

2. 舗装用骨材としての品質評価

室内試験より、溶融スラグの骨材性状、アスファルト混合物としての性状、および安全性を評価した。評価結果を以下に示す。

2.1 骨材性状

溶融スラグの舗装用骨材としての評価試験を実施した。溶融スラグの写真を写真-1 に、骨材のふるい分け試験の結果を図-2 に、その他の諸性状を表-1 に示す。また、比較のためアスファルト混合物の検討に用いた天然骨材の性状値を併せて記載する。

溶融スラグの粒度は、2.36～4.75mm を中心としており、表乾比重は天然骨材と同程度の値を示している。

一方、溶融スラグは写真-1 に示すように表面がガラス状となっているため、天然の骨材と比較して吸水率が0.35%と極めて小さい値となっている。このためアスファルトとの付着性が弱く、骨材の剥離抵抗性試験では剥離量が49%と高い値を示しており、溶融スラグを高い混

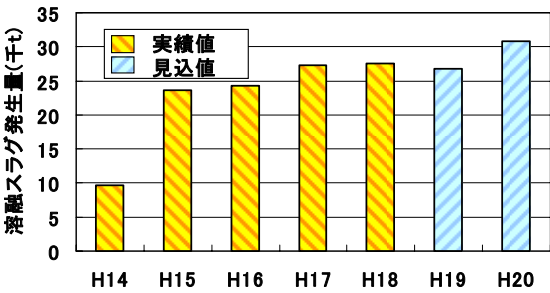


図-1 北海道内の溶融スラグ発生量の推移

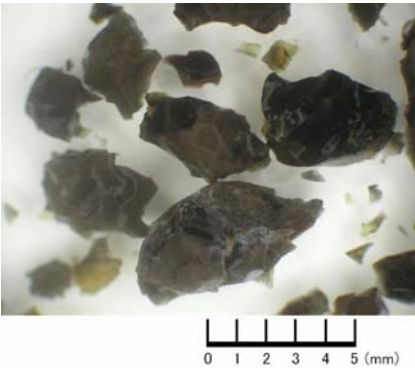


写真-1 溶融スラグ

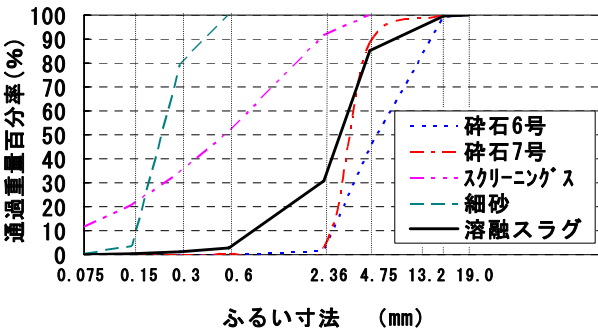


図-2 粒度曲線

表-1 骨材性状

	溶融スラグ	砕石6号	砕石7号	スクリーングス	細砂
表乾比重	2.660	2.671	2.646	2.656	2.846
吸水率(%)	0.35	2.00	2.37	1.78	1.03
すりへり減量(%)	66.1	19.4	19.7	-	-
微粒分量(%)	0.17	0.38	0.38	-	-
剥離量(%)	49	-	-	-	-

合率でアスファルト混合物に用いた場合、アスファルト混合物の品質低下を招くことが考えられる。

2.2 アスファルト混合物としての性状

熔融スラグの表層用骨材としての適用性を確認するためアスファルト混合物を作製し、表-2 に示す項目について評価を行った。

なお、アスファルト混合物作製に使用した骨材は、今回使用した熔融スラグの発生地区で使用されているものとした。骨材性状は図-2、表-1 に示した通りである。

(1) 配合設計

マーシャル安定度試験を行い、最適アスファルト量を求め、配合設計を行った。なお、配合は北海道内の表層に最も多く用いられている密粒度アスコン 13F とした。

各熔融スラグ混合率における最適アスファルト量、およびマーシャル安定度を図-3 に示す。

熔融スラグの混合率が増加するに従い最適アスファルト量が低下している。これは、熔融スラグの吸水率が極めて小さいことが起因したものと考えられる。

また、マーシャル安定度は、熔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が、これは前述した最適アスファルト量の低下による影響と推察される。

なお、全ての混合率で密粒度アスコン 13F の安定度の規格値 4.90kN⁶⁾ を満足する値を示した。

(2) 剥離抵抗性

水浸マーシャル安定度試験を行い、剥離抵抗性を確認した。各熔融スラグ混合率における水浸マーシャル安定度および残留安定度を図-4 に示す。

水浸マーシャル安定度は、マーシャル安定度と同様に熔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た。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⁶⁾ を満足した。

(3) 塑性変形抵抗性

ホイールトラッキング試験を行い、塑性変形抵抗性を確認した。各熔融スラグ混合率における動的安定度を図-5 に示す。

動的安定度は、熔融スラグの混合率によらず同程度の値を示し、熔融スラグの混入による塑性変形抵抗性の低下は見られなかった。

(4) 摩耗抵抗性

チェーンラベリング試験を行い、タイヤチェーン等に対する摩耗抵抗性を確認した。各熔融スラグ混合率におけるすりへり量を図-6 に示す。

熔融スラグの混合率が増加するほど、すりへり量が大きくなる傾向が見られ、熔融スラグの混合率が 20% 以上の条件では、北海道開発局が表層混合物に設ける規格値 1.3cm² 以下⁷⁾ を満足できない結果となった。

2.3 安全性

今回使用した熔融スラグの有害物質の溶出量、および含有量について試験を行った。試験結果、および JIS 規格値⁸⁾ を表-3 に示す。

溶出量は全成分で基準値を満足しているが、含有量の基準値については、熔融スラグ単体での鉛含有量が基準

表-2 アスファルト混合物としての評価項目

評価項目	試験名	備考
配合設計	マーシャル安定度試験	舗装調査・試験法便覧 ⁵⁾
剥離抵抗性	水浸マーシャル安定度試験	
塑性変形抵抗性	ホイールトラッキング試験	
摩耗抵抗性	チェーンラベリング試験	

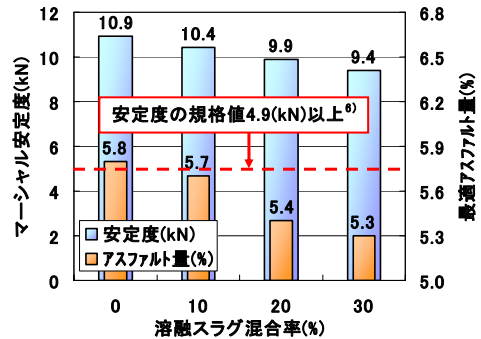


図-3 最適アスファルト量・マーシャル安定度

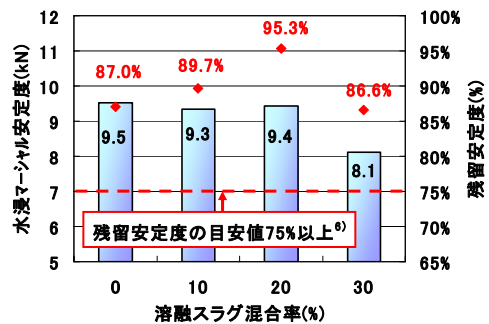


図-4 水浸マーシャル安定度・残留安定度

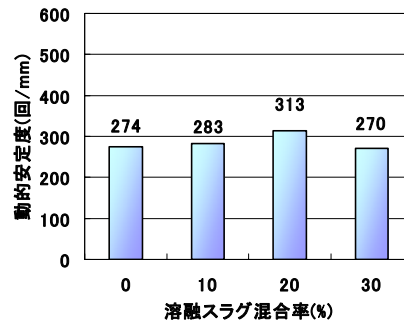


図-5 動的安定度

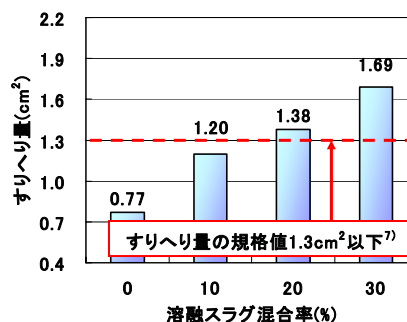


図-6 すりへり量

を超える値を示した。ただし、JIS 規格には「溶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証できる場合には、この規格の適用を妨げるものではない。」としている。これを満足する溶融スラグ混合率の上限は、(1)式で求められる。

$$A \geq B \cdot x \quad (1)$$

ここに、A:含有量基準値、B:含有量、x:混合率である。(1)式よりPdの含有基準値を満たす混合率の上限は39%程度となる。後述するアスファルト混合物用骨材としての試験施工における溶融スラグの混合率は10%であり、この規格を満足している。

2.4 舗装用骨材としての評価

室内試験における評価から、表層用アスファルト混合物としての摩耗抵抗性を考慮すると、溶融スラグの混合率は10%程度の使用が望ましいと考えられる。

また、別に行った路盤材としての試験施工より粒径5mm以上の溶融スラグは、特に転圧等により細粒化しやすいことが確認されたため⁹⁾、実際の施工にあたっては粒径5mm以上の溶融スラグをふるいにかけ取り除く必要があると考えられる。

3. アスファルト混合物用骨材としての試験施工

室内試験を基に、溶融スラグをアスファルト混合物用骨材として用いた舗装の試験施工を、交通量の少ない生活道路において行った。溶融スラグの混合率は室内試験結果より10%とし、写真-2に示すように5mm以下の粒径のものをふるい分け使用した。

3.1 試験施工概要

試験施工箇所の概要を図-7に示す。溶融スラグ混合率10%のアスファルト混合物を使用した工区（以下、スラグ工区）と、比較のために天然骨材のみを使用した工区（以下、比較工区）を設けた。

施工時の気象条件および転圧条件を表-4に示す。施工は両工区とも同日に行われ、転圧は各工区とも同一の条件で行われた。

3.2 施工時の評価

(1) 聞き取り調査

施工時に聞き取り調査を行い、各工区の施工性を確認した結果、溶融スラグが10%混入することによる施工性への影響はなく、スラグ工区は比較工区と同程度の施工性を有しているとの評価を得た。

(2) 現場密度測定

各工区のアスファルト混合物の締固め度を確認するため、切り取りコアを採取し、密度測定を行った。試験結果を表-5に示す。

両工区とも規格値である締固め度96%以上¹⁰⁾を満足しており、スラグ工区と比較工区の現場密度はほぼ同程度の値であることを確認した。

表-3 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
	(μg/L)		(mg/kg)	
Cd	<5	<10	<20	<150
Pb	6	<10	380	<150
Cr(VI)	<40	<50	<2	<250
As	<3	<10	5.0	<150
T-Hg	<0.02	<0.5	<0.001	<15
Se	<4	<10	<4	<150
F	<170	<800	<80	<4000
B	<60	<1000	<150	<4000

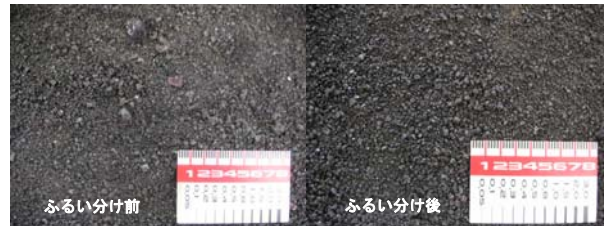


写真-2 ふるい分け前後の溶融スラグの状況

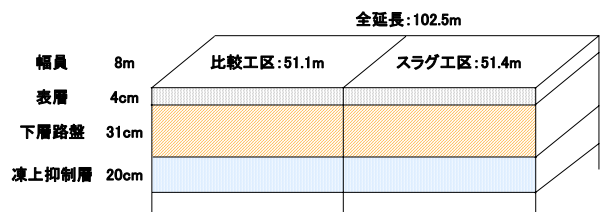


図-7 試験施工工区概要

表-4 試験施工条件

工区名	比較工区	スラグ工区
溶融スラグ混合率(%)	0%	10%
施工日	H19.12.25	
天候	晴れ	
平均気温	3.2℃	2.3℃
1次転圧	3tタンデムローラ 6回	
2次転圧	8~10tタイヤローラ 12回	

表-5 締固め度・現場密度

	比較工区	スラグ工区	規格値
締固め度(%)	98.9	99.3	96以上
現場密度(g/cm³)	2.389	2.403	—

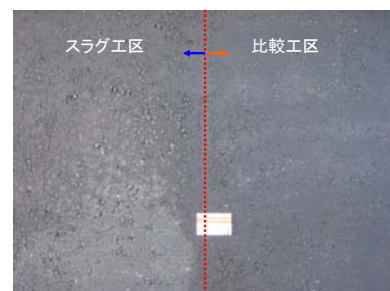


写真-3 スラグ工区の路面

(3) 目視調査

スラグ工区と比較工区の施工直後の状況を写真-3に示す。スラグ工区と比較工区の路面状況に区別がつかない状況である。

3.3 供用後の性状

試験施工工区において施工 10 ヶ月後までの追跡調査を実施している。

(1) わだち掘れ量

わだち掘れ量の推移を工区別に表-6に示す。

供用 10 ヶ月後において各工区とも 10mm 前後の横断凹凸量となっており大きな差はなく、現段階においては溶融スラグをアスファルト混合物用骨材として使用したことによるわだち掘れ量への影響は見られていない。

(2) 平坦性

平坦性の推移を工区別に表-7に示す。

供用 10 ヶ月後までにおいては、スラグ工区の縦断凹凸量のほうが比較工区よりも小さく、良好な値を示している。

(3) すべり抵抗性

ダイナミック・フリクション・テスト (DF テスタ) を用いて、すべり摩擦係数を測定した⁵⁾。結果を図-8に示す。

施工 3 ヶ月後において両工区とも全ての速度条件で 0.4 を下回る値となっているが、これは計測時の路温が 10℃以下と低かったことやアスファルトモルタル分が骨材表面を覆っていたことによる影響と考えられる。

施工 5 ヶ月後においては、両工区とも全ての速度ですべり摩擦係数は 0.6 を超え、さらに 10 ヶ月後において上昇している。

各調査時期における両工区のすべり摩擦係数を比較すると、全ての調査時期においてほぼ同程度の値となっている。但し、今後車輛の走行により、更に骨材表面のアスファルトモルタル分が剥離した場合、溶融スラグの表面が路面に多く露出し、すべり摩擦抵抗に影響を及ぼすことも予測されるため、今後も継続して調査を行う必要がある。

4. まとめ

本検討で得られた知見を以下に示す。

(1) アスファルト混合物用骨材としての評価

溶融スラグは、吸水率が極めて低い材料であるため、アスファルトとの付着性が弱く、アスファルト混合物に用いる場合、混合率を高くすると、安定性、摩耗抵抗性が低下することが確認された。

このため、積雪寒冷地の表層として用いる場合、すりへり量の規格を満たし、通常のアスファルト混合物と同程度の品質を確保するためには、溶融スラグの混合率を 10%程度とする必要がある。

(2) 施工性の評価

溶融スラグ混合率 10%のアスファルト混合物が、通常のアスファルト混合物と、同様の施工性を有し、通常のアスファルト混合物と同じ転圧条件で所定の締固め度が得られることを確認した。

表-6 わだち掘れ量

		比較工区	スラグ工区
横断凹凸量(mm)	3ヶ月後	10.4	11.2
	5ヶ月後	11.2	10.2
	10ヶ月後	9.8	8.6

表-7 平坦性

		比較工区	スラグ工区
縦断凹凸量(σ)	3ヶ月後	1.7	2.1
	5ヶ月後	3.1	2.0
	10ヶ月後	2.8	1.9

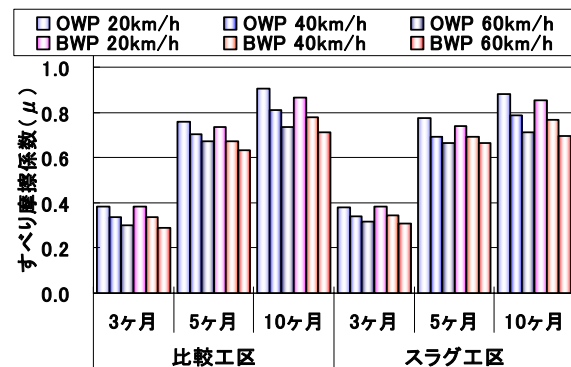


図-8 すべり抵抗性

(3) 供用性の評価

施工後 10 ヶ月において、溶融スラグ混合率 10%のアスファルト混合物を用いた工区は、通常のアスファルト混合物を用いた工区と同等の供用性状を示している。

5. おわりに

今回試験施工を行った粒度 5mm 以下の溶融スラグを混合率 10%で用いる条件において、通常のアスファルト混合物と同程度の品質を得られることを確認した。

但し、今後車輛の走行、除雪作業等により溶融スラグを覆うアスファルトモルタル分が剥離した場合の供用性状、骨材飛散の有無等の検討が必要であるため、今後も引き続き調査を行っていく予定である。

参考文献

- 1) 北海道生活環境部環境室循環型社会推進課調べ, 2008. 2.
- 2) 長崎県: 長崎県溶融スラグ有効利用指針, 2003. 12
- 3) 東京都: 東京都溶融スラグ資源化指針, 2003. 4
- 4) 福井県: 福井県溶融スラグ再資源化指針, 2004. 4
- 5) 社団法人日本道路協会: 舗装調査・試験法便覧, 2007. 6
- 6) 社団法人日本道路協会: 舗装設計施工指針, 2006. 2.
- 7) 北海道開発局: 道路設計施工要領, 2008. 4.
- 8) 日本規格協会: JIS A5032 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, 2006. 7
- 9) 上野千草、田高淳、安倍隆二: 積雪寒冷地における溶融スラグの下層路盤材としての試験施工, 寒地土木研究所月報 第 654 号, 2007. 11.
- 10) 北海道開発局: 道路・河川工事仕様書, 2008. 4.