

12.3 溶融スラグ等の舗装への適用性評価に関する研究（2）

研究予算：一般勘定（道）

研究期間：平 17～平 20

担当チーム：道路技術研究グループ（舗装）

研究担当者：久保和幸、加納孝志

【要旨】

近年、資源の有効活用、最終処分場の逼迫などを背景として、溶融スラグをはじめとした再生資材の開発が盛んとなっており、なかでも舗装用として他産業からの再生資材の開発が製造者側を中心に多くなされている。しかし、これらの他産業再生資材は、リサイクルにはなっているものの、製造時から廃棄に至るまでの全過程での環境負荷やコストの低減に寄与しているかが不明なのが現状である。

平成 20 年度は、アスファルト舗装用に利用されている溶融スラグを収集し環境基準に関する実態を調査したほか、再生資材が混入し耐流動性や疲労抵抗性が低下した場合の維持修繕コストを考慮した LCC について試算した。その結果、一部の溶融スラグに指定物質の含有が確認されたものの環境基準は満足していることがわかった。また、再生資材が混入し耐久性が低下した場合には LCC が増加することがわかった。さらに、他産業再生資材を使用した場合に、低下する可能性のある性能を既存の文献により整理し、舗装への適用性評価指標となる素材の品質評価項目について整理した。

キーワード：リサイクル、LCC、耐久性、品質確認項目

1. はじめに

近年、資源の有効活用、最終処分場の逼迫などを背景として、溶融スラグをはじめとした再生資材の開発が盛んとなっており、なかでも舗装用として他産業からの再生資材の活用の検討が製造者側を中心に多くなされている。しかし、これらの他産業再生資材は、リサイクルにはなっているものの、製造時から廃棄に至るまでの全過程において、一般的な砕石などの骨材に優る舗装材料としての性能を有しているのか不明なのが現状である。排出される再生資材を利用することの便益と、これを使用することが舗装の維持更新サイクルに与えるコストをよく勘案して、長期的な視点で有効性を判断する必要がある。

これらの資材を使用することにより舗装の耐久性や機能性が低下する場合、道路利用者や管理部門におけるその不経済ははかりしれない。再々生の可否によってはアスファルト舗装のリサイクルシステムにも影響を及ぼす。スラグ等の材料単価に左右される舗装工事の初期コストばかりでなく、耐久性や再リサイクル性を含めた LCC の観点から検討を行う必要がある。

アスファルト舗装材料はリサイクルシステムが確立し、繰り返し再生して使用することが前提となっている。したがって、溶融スラグ等の再生資材を継続的に使用した場合、アスファルト舗装材料に蓄積していくこととなる。

この影響を定量的に把握し、舗装の性能への影響を検討しておく必要がある。

本年度は、アスファルト舗装用に利用されている溶融スラグをアスファルト合材工場(以下、合材工場)から収集し、環境基準に関する実態を調査したほか、再生資材が混入し耐流動性や疲労抵抗性が低下した場合の維持修繕コストを考慮した LCC について試算した。また、舗装への適用性評価指標となる素材の品質評価項目について整理した。

2. 溶融スラグの環境安全性に関する実態調査

2. 1 調査概要

表-1 に示す地域の溶融施設から排出された溶融スラグを使用している合材工場から溶融スラグを収集し、表-2 に示す項目について試験を実施した。

1.2. 循環型社会形成のための
ライフサイクル建設技術の開発

表-1 調査した熔融スラグの概要

地域 /工場No	処理施設の 熔融形式	熔融処理対象物					
		一般 廃棄物	焼却灰	下水 汚泥	尿尿 汚泥	産業 廃棄物	その他
東北	1	シャフト	○	○	○	○	○
	2	プラズマ	○				
関東	1	シャフト	○	○	○	○	○
	2	アーク		○			
	3	コークスベット		○			
北陸	1	プラズマ	○				
	2	流動床	○		○		
中部	1	プラズマ	○				
	2	プラズマ	○				
近畿	1	汚泥熔融			○		
	1	ガス化改質	○	○	○	○	○
四国	1	ロータリーキルン	○	○	○	○	○
	2	シャフト	○	○		○	
九州	1	-	○				
合計	14		10	8	6	4	2

表-2 試験項目

項目		計量方法	基準値
溶出試験	鉛 (Pb)	JIS K 0102-54.2	0.01mg/l以下
	ヒ素 (As)	JIS K 0102-61.2	
	セレン (Se)	JIS K 0102-67.2	
	フッ素 (F)	JIS K 0102-34.1	0.8mg/l以下
	ホウ素 (B)	JIS K 0102-47.3	1mg/l以下
含有試験	鉛 (Pb)	JIS K 0102-54.2	150mg/kg以下
	ヒ素 (As)	JIS K 0102-61.2	
	セレン (Se)	JIS K 0102-67.2	
	フッ素 (F)	JIS K 0102-34.1	4000mg/kg以下
	ホウ素 (B)	JIS K 0102-47.3	

2.2 試験結果

試験結果一覧を表-3に示す。表から、各熔融スラグとも基準値を超える物質は検出されなかったが、特に鉛、フッ素については、測定機器の検出限界以上の値を示すものが多く見られた。

表-3 試験結果一覧

地域 /工場No	溶出試験結果(mg/l)					含有量試験結果(mg/kg)					
	Se	Pb	As	F	B	Se	Pb	As	F	B	
東北	1	<0.001	<0.005	<0.001	<0.4	<0.1	<1	<20	<1	330	<400
	2	<0.001	<0.005	<0.001	0.4	<0.1	<1	<20	<1	340	<400
関東	1	<0.001	0.006	<0.001	<0.4	<0.1	<1	<20	<1	320	<400
	2	<0.001	<0.005	<0.001	0.4	<0.1	<1	<20	<1	300	<400
	3	<0.001	<0.005	<0.001	<0.4	<0.1	<1	<20	<1	300	<400
北陸	1	<0.001	<0.005	<0.001	<0.4	<0.1	<1	<20	<1	<200	<400
	2	<0.001	<0.005	0.004	<0.4	<0.1	<1	93	2	<200	<400
中部	1	<0.001	<0.005	<0.001	<0.4	<0.1	<1	<20	<1	<200	<400
	2	0.002	<0.005	<0.001	<0.4	<0.1	<1	<20	<1	330	<400
近畿	1	<0.001	<0.005	<0.001	<0.4	<0.1	<1	<20	<1	270	<400
中国	1	<0.001	<0.005	<0.001	<0.4	<0.1	<1	<20	<1	330	<400
四国	1	<0.001	<0.005	<0.001	0.57	<0.1	<1	70	<1	220	450
	2	<0.001	<0.005	<0.001	0.49	<0.1	<1	25	<1	300	<400
九州	1	<0.001	<0.005	<0.001	<0.4	<0.1	<1	<20	<1	660	<400
基準値	0.01以下		0.8以下	1以下	150以下		4000以下				

※網掛けは、検出限界以上の値を示したものを示す

3. 他産業再生資材の利用によるコストへの影響評価

3.1 検討の概要

過去の研究結果から、熔融スラグを使用した場合には、耐流動性や耐水性が低下する傾向が確認されている。このことから、他産業再生資材を使用した場合に、耐流動

性や疲労抵抗性が低下するものと仮定し、図-1に示すライフサイクルで維持修繕を行った場合のLCCを試算した。試算条件を表-4に示す。

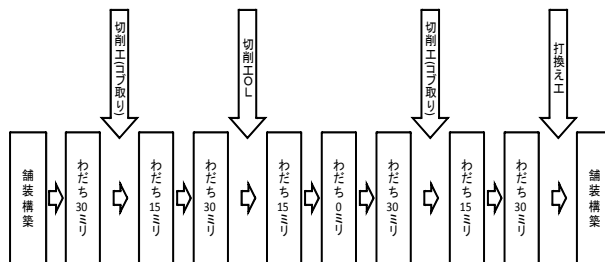


図-1 設定した舗装のライフサイクル

表-4 LCCの試算条件

項目	設定値	備考	
動的安定度(DS)	1500, 1350, 1200	DS:-10%, -20%	
わだち推定式	変数 ・供用機関 ・大型車交通量 ・動的安定度 等	舗装設計便覧式 4.4.1 を変形	
切削工実施目安	わだち掘れ 30mm		
切削OL工実施目安	わだち掘れ 30mm	切削工後 30mm に達した時点で実施	
補修費用	切削工	800 円/m ²	コブ取り
	切削OL工	1500 円/m ²	表層のみ
	打換え工	5000 円/m ²	路盤から打換え

3.2 試算結果

試算した結果を図-2に示す。図のように、舗装のライフサイクルは、標準(DS=1,500回/mm)の場合が、32年であるのに対し、動的安定度が10%低下した場合(DS=1,350回/mm)には26年、20%低下した場合(DS=1,200回/mm)には21年となり、解析期間50年の累積費用は、標準を1とした場合に、動的安定度が10%低下した場合は約1.2、20%低下した場合は約1.6となった(なお、ここでの累積費用は、ライフサイクルの最小公倍数が8736年となり現実的ではないことから、便宜上、図中の一次回帰式により算出した)。また、疲労抵抗性が低下した場合のシミュレーションでも同様な傾向が得られた。このことから、耐久性を考慮した上で他産業再生資材を利用することが非常に重要であることがわかった。

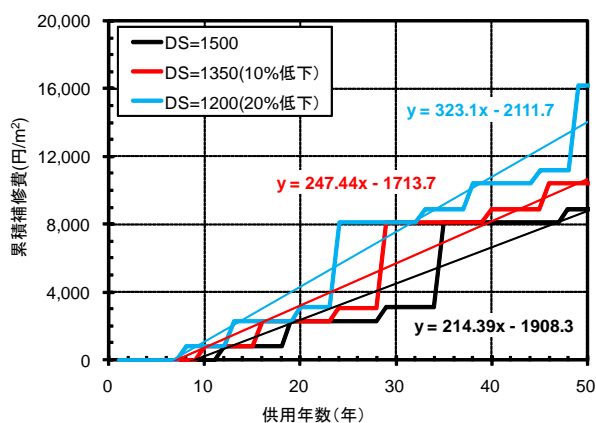


図-2 ライフサイクルコスト試算結果

4. 溶融スラグ等の舗装用素材としての品質評価項目

4.1 検討概要

溶融スラグ等の他産業再生資材は試行的に使用が拡大しているが、その使用可否の判断において、天然骨材等を前提とする既存規格で定められた材料試験項目のみを見て、舗装素材としての適性を判断する傾向がある。

しかしながら、これらの既存規格の指標は、従来材料を想定した最低限必要な基準項目に過ぎず、今後活用したい新材料を想定して設定されたものではない。たとえば水浸膨張や花咲現象など、従来の材料では必要のない性状項目は多い。つまり、現行規格を満足すれば舗装用素材として全て問題ないという十分条件ではなく、新しい材料の採用に当たり、その材料の化学的、物理的な特徴に応じた基準項目を必要条件として設定しなければならない。

以上のことを踏まえ、他産業再生資材を使用した舗装に関する既往の文献調査を行い、他産業再生資材の種類ごとに一般的な材料を使用した場合と異なる性状を示す項目について抽出した。また、その結果から、溶融スラグ等の他産業資材に関する品質確認項目について整理した。

4.2 文献調査結果

他産業再生資材の種類ごとに一般的な材料を使用した場合に比べ低下する性状を確認した結果を表-5に示す。表から、性能が低下する項目は、他産業再生資材をアスファルトの改質材として用いた場合には針入度と伸度、アスファルト混合物用の骨材およびフィラーとして用いた場合には耐流動性、耐水性、疲労抵抗性、可撓性、路盤材として使用した場合には支持力が低下する場合があることが確認できた。

表-5 再生資材の使用により性能が低下する項目

資材の分類	資材単体	性状が低下する項目			主な用途	
		再生先の材料				
		アスファルト	アスファルト混合物	路盤材		
スラグ類	・吸水率 ・すり減り減量	—	・動的安定度 ・耐水性 ・疲労抵抗性	—	・粗骨材 ・細骨材 ・路盤材	
石炭灰 ・焼却灰	・吸水率 ・フロー ・すり減り減量	—	・耐水性 ・耐流動性	修正CBR	フィラー	
ゴム類	—	—	・耐流動性 ・耐水性 ・骨材飛散抵抗性	—	・特殊表層材 ・粗骨材 ・細骨材 ・フィラー ・As改質剤	
プラスチック類	・硬度	・針入度 ・伸度	・摩耗抵抗性 ・可撓性	—	・粗骨材 ・細骨材 ・As改質剤 ・路盤材	
その他	貝殻	・水分量 ・フロー	—	・耐摩耗性 ・疲労抵抗性	—	・特殊表層材 ・粗骨材 ・細骨材 ・フィラー ・路盤材 ・路床材
	ガラス	・吸水率 ・すり減り減量	—	・耐水性 ・耐流動性 ・耐摩耗性 ・可撓性	修正CBR	・粗骨材 ・細骨材 ・路盤材

4.3 品質確認項目

以上のことを踏まえ、他産業再生資材の品質確認項目(案)を資材の分類ごとに整理した。スラグ類の品質確認項目(案)の整理した結果を表-6に示す。

他産業資材の品質確認項目は、特に舗装の耐久性と環境安全性、および再リサイクル性についての項目を追記している。なお、再リサイクル性の評価方法については、現在までに確立されていないため、今後検討する必要がある。

5. まとめ

研究の結果、以下のことがわかった。

- ・アスファルト混合物用の骨材として使用されている溶融スラグの環境安全性を調査した結果、鉛とフッ素の含有が確認されたものの、環境基準を超える物質はなかった。
- ・LCCの観点から、舗装の耐久性を低下させない資材を利用することが必要である。
- ・舗装で利用実績のある他産業再生資材について、一般的な材料を使用した場合に比べ低下する性状を確認した結果、耐流動性や耐水性、疲労抵抗性などの項目が確認できた。

再生資材の適切な有効利用のためには、資源リサイクルを社会全体の視点から捉え、資源を廃棄しないことや天然資源の使用を抑制できることなどによる環境面での便益(例えば、ライフサイクルアセスメントなど)と再生利用のための費用(再生資材の単価、設備投資費用、耐

表-6 スラグ類の品質確認項目(案)

再生先	表層・基層				路盤				路床		
	混合 物	ア ス フ ア ル ト	セ メ ン ト ク リ ー ト	プ ロ ク ク 類	そ の 他	無 処 理	瀝 青 安 定 処 理	セ メ ン ト ・ 石 灰 系 安 定 処 理	セ メ ン ト ・ 瀝 青 安 定 処 理	無 処 理	セ メ ン ト ・ 石 灰 系 安 定 処 理
粒度	○	○	○	○	○	○	○	○		○	○
密度	○	○	○	○	○	○	○	○		○	○
吸水率	○	○	○	○	○	○	○	○			
安定性	○	○	○	○							
PI						○	○	○		○	○
呈色判定						△				○	○
単位容積質量			○			△	△	△			
すり減り減量	○	○				○	○	○	○		
損失率	○	○									
有害物質含有量	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
水浸膨張比						○	○	○			
水分量	○										
粒径判定実績率		○									
アルカリシカ反応性		○						○	○		○
溶出量 ・ 含有量	カドミウム	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	鉛	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	六価クロム	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	ひ素	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	総水銀	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	セレン	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	ふっ素	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
ほう素	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
CBR										○	○
修正CBR						○					
一輪圧縮強さ						○		○	○		
最適含水比						○				○	
混合 物 評 価	圧縮・引張強度		○								
曲げ強さ			○								
マーシャル安定度	○						○				
動的安定度	○										
カンタプロ	○	○		○							
ラベリング	○			○							
はく離(水浸WT)	○										
再リサイクル性	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

※赤字は追加した項目

久性などを考慮した維持管理費用などを比較評価して総合的に判断することが求められる。

環境面での便益については、ライフサイクルアセスメントの概念が多面で検討されているが、特に舗装を含めた土木分野においては活用に至っていないのが現状である。また、LCC分析では、舗装の耐久性、すなわち供用寿命から決まる更新サイクルの影響が大きいですが、現時点では使用材料の化学的、物理的性状と耐久性の関係について定量的な評価が現状では困難な状況である。

今後は、ライフサイクルアセスメントなどの環境面や舗装の供用性、再リサイクルに関するコスト評価についてのデータを蓄積するとともに、使用材料の化学的、物理的性状と耐久性の関係について定量的な評価を行うための検討を続けていく必要がある。

A STUDY ON THE APPLICABILITY OF MELT-SOLIDIFIED SLAG TO PAVEMENT MATERIALS (1)

Abstract : Recently, recycled materials including melt-solidified slag has been increasing due to exhaustion of final disposal sites. Particularly, waste producing industries other than the road sector have been developing recycled materials as pavement material increasingly. These recycled materials from other industries can contribute to recycle use for waste, but it is not clear that these materials can contribute reducing the effects on the environment throughout a lifecycle in total.

In this year, molten slag used for asphalt pavement was collected. In addition, the actual situation about the environmental standard was investigated. And we estimated the accumulation situation of reproduction materials when the asphalt mixture which other industry reproduction material was mixed in was recycled repeatedly, and we calculated about life cycle cost (LCC) when the durability of the asphalt mixture deteriorated. As a result, a designated material contained it to molten slag, but the environmental standard satisfied it. In addition, the LCC increased when the durability deteriorated. Furthermore, the quality end-point which affected the durability was investigated.

Key words : recycle, LCC, durability, quality end-point