

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：運営交付金（道路勘定）

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、佐々木巖

【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発生者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 19 年度は、非鉄金属溶融スラグを使用した舗装耐久性について評価を行った。その結果、細骨材として利用する場合においては、従来材料と同程度の路面性状や耐久性を期待できることがわかった。また、アスファルト繰り返し再生利用が確立している舗装材に混入した場合の、資源循環における当該再生資材の蓄積状況を推定した。さらに、舗装への適用性評価指標となる素材の品質評価項目に関する検討を行った。

キーワード：リサイクル、溶融スラグ、銅スラグ、フェロニッケルスラグ、耐久性、LCC

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開発が発生者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、被代替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。この費用便益評価のためには、利用者側のコストを適切に把握しておく必要がある。

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。

平成 19 年度は、非鉄金属溶融スラグを使用した舗装耐久性について評価を行った。また、繰り返し再生利用が確立しているアスファルト舗装材に溶融スラグ等を混入し続けた場合の当該再生資材の蓄積状況を推定した。さらに、舗装への適用性評価指標となる素材の品質評価項目に関する検討を行った。

2. 溶融スラグ等利用による耐久性への影響評価

2.1 検討の概要

溶融スラグ等を利用することより舗装の耐久性や機能性に影響がある場合、道路利用者や管理者に与える影響は大きい。たとえば供用寿命が低下する場合、舗装の修繕費や路上工事により利用者が被る外部コストが生じる。再生資材を最終処分することなく資材として利用することの便益はあるものの、その効果をよく認識して使用する必要がある。

これらの評価の前提となる耐久性への影響評価として、舗装走行実験場において非鉄金属溶融スラグを混入したアスファルト舗装の耐久性試験を行った。

2.2 非鉄金属スラグの促進耐久性試験

舗装への利用が検討されている非鉄金属スラグとして、銅 (Cu) スラグ、フェロニッケル (Fe-Ni) スラグを取り上げ、土木研究所内の舗装走行実験場で耐久性試験を行っている。

試験舗装工区の概要を表 1 に示す。耐久性試験は、

H17 度に比較工区を含めた 3 工区 (No.0531-0533) で開始したが、銅スラグ工区のわだち掘れが早期に進行したため、0533 工区を粒子形状や表面性状を改良した 0621 工区として改修して試験を継続している。

わだち掘れの変化を、図-1 に示す。フェロニッケルスラグ混入舗装は、比較工区よりもやや優れた塑性変形抵抗性を示している。銅スラグ混入舗装は、当初の材料はわだち掘れ抵抗性に劣っていたものの、粒子の形状等を改良することにより、比較工区の密粒度舗装と同程度の塑性変形抵抗性を長期間にわたり確保できることがわかった。

非鉄金属溶融スラグは、プラスト用の粒子に使用されることもあり、耐摩耗性やすべり抵抗の改善に寄与することが期待された。すべり抵抗値の変化を図-2 に示すが、施工時期ごとに比較工区とほぼ同じ値を示しており、比較工区に使用した天然砂と同程度の性能であると言える。

路面の快適性を示す平坦性や、舗装の支持力評価としての FWD たわみ量なども、比較工区と同様な経過を示している。

これらの結果から、非鉄金属溶融スラグを加熱アスファルト混合物の細骨材として利用する場合においては、従来材料と同程度の路面性状や耐久性を期待できることがわかった。

3. 地域内舗装資産への再生資材蓄積量の推定

3.1 検討の概要

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。溶融スラグ等の再生資材を継続的に使用した場合、道路資産としてのアスファルト舗装材料に蓄積していくことから、その影響を定量的に把握するための推定を行った。

溶融スラグは、珪酸等が溶融したガラス質の材料であるため、舗装の耐久性として水浸時のはく離破壊が特に懸念される。昨年度の実験調査において各種溶融スラグ材料を使用したアスファルト混合物の水浸ホイールトラック試験を行ったところ、多くのスラグ材料で、混入率が増えるとはく離率が大きくなる傾向があることが

表-1 非鉄金属スラグの促進耐久性試験工区

工区	表層の仕様	走行試験
0531	再生密粒度 As 舗装 (20) フェロニッケルスラグ 10%混入	H17.6 施工, 120 万輪経過
0532	再生密粒度 As 舗装 (20)	H17.6 施工, 120 万輪経過
0621	再生密粒度 As 舗装 (20) 銅スラグ改良型 10%混入	H18.6 施工, 80 万輪経過
0622	再生密粒度 As 舗装 (20)	H18.6 施工, 80 万輪経過

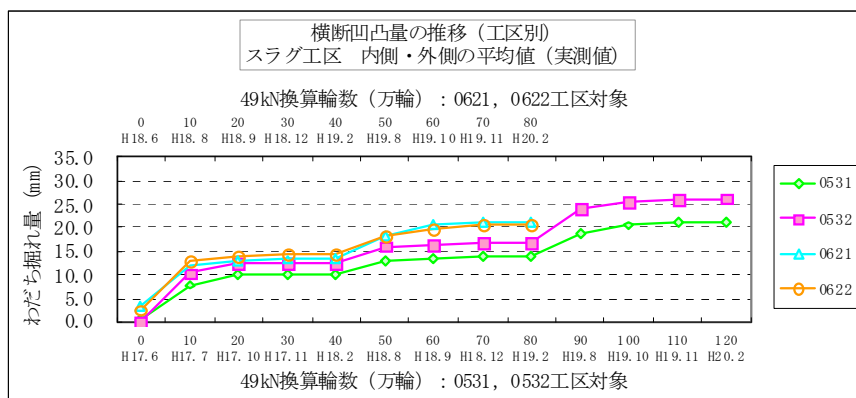


図-1 わだち掘れ量の変化

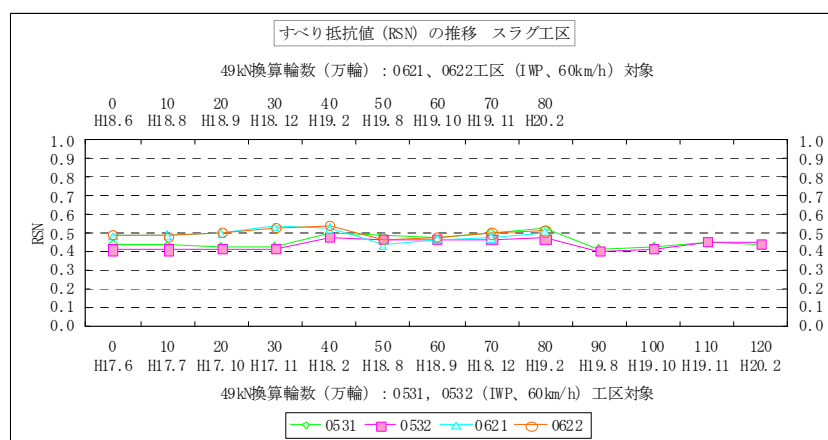


図-2 動的摩擦係数の変化 (IWP)

確認されている。溶融スラグ混入量の増加に伴い、アスファルト舗装材料全体としての水浸耐久性は低下するものと推察される。

アスファルト舗装資産に、どの程度の再生資材が長期的に蓄積され舗装寿命にどのような影響を及ぼすのか、できるだけ定量的に把握することを目的として、マテリアルフローを考慮した再生アスファルト等の資材の移動と蓄積の分析を試みた。アスファルト舗装資産のストック量に対して出入りする材料のフローをモデル化し、特定地域内のアスファルト舗装材の更新挙動を定量化する

ために、図-3に示すモデルを設定した。

3.2 推計モデル

はじめに、注目する地域内の各年の舗装資産量（ストック）を算定してこのモデルの基本データとし、さらに各種統計資料から得た資材移動量を入力することにより、地域内の舗装総量に占める各年の再生材の蓄積量や発生量を算定することとした。この分析から、舗装アスファルト混合物資産への特定再生資材の蓄積量、すなわち地域内のアスファルト舗装材に占める混入比率を推定した。

舗装資産量の算定は、主に道路統計年報から得た道路面積や事業量（新設/修繕）に、交通量ごとの舗装構造から対象地域内の舗装資産量を算出した。具体的には、交通量区分ごとに代表的な舗装構造厚さを仮定し、区分ごとの舗装面積からアスファルト舗装材の総量を求めた。

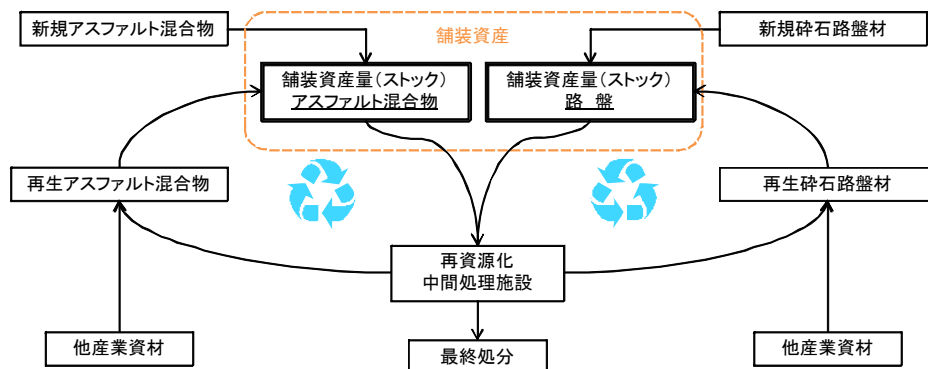


図-3 アスファルト舗装材のマテリアルフロー

表-2 推計を行った再生資材と道路地域

再生資材	Fe-Ni スラグ	石炭灰	エコスラグ	鉄鋼スラグ
道路地域	全京都府 京都府（京都を除く）	全国	千葉県	全千葉県

舗装材の資源循環のフローでは、修繕工事等により発生したアスファルト舗装材は、すべて舗装や路盤等に再利用されるか最終処分されるものとし、中間処理施設等の在庫は便宜上毎年ゼロとなるように収支計算した。

3.1 再生資材蓄積の推計結果

溶融スラグ等の他産業再生資材が骨材の一部として使用される場合、運搬や域外移動の制約から発生地域周辺で用いられることが多い。このため、今回の試算では、資材の利用を推進している典型的な事例から、表-2に示す資材と道路地域の組み合わせとした。

Fe-Ni スラグをその生産地である京都府北部に使用した事例の推計結果が図-4である。各年に使用されるスラグ量は必ずしも多くないものの、舗装が定期的に更新されるとともに、アスファルト舗装材が再生利用されることから、細骨材として舗装に蓄積するスラグ材料の割合は無視できないことがわかる。将来推計については、舗装事業量やスラグの利用量は仮定であるものの、10年後にはアスファルト混合物の約1割がスラグで置き換えられる可能性があることがわかった。

図-5は、ゴミ焼却灰溶融スラグの利用を積極的に進めている千葉市の事例である。舗装ストックへの当該再生資材の蓄積量は無視できない率ではあるものの、現時点ではそれほど大きなものではない。これは、スラグの本格的な使用開始が比較的最近であること、使用対象地域の道路資産量の規模等によるものと思われる。

アスファルト舗装発生材にどのような再生素材が混入しているのかを管理することは事実上不可能である。再生資材の種類によっては、こうした舗装材への累積混入率を考慮しLCC検討を行うことも必要である。

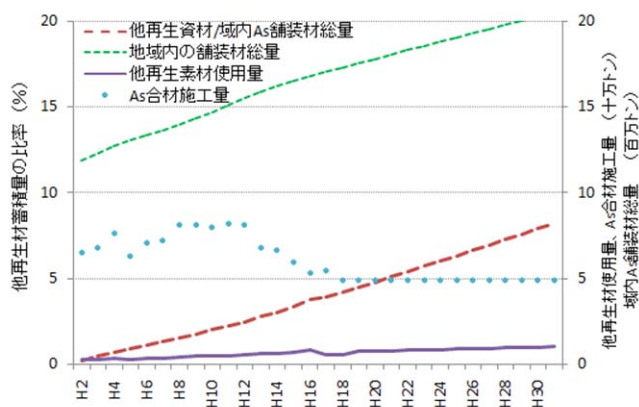


図-4 アスファルト舗装の再生資材の蓄積量推計
Fe-Ni スラグ/京都府(京都を除く)

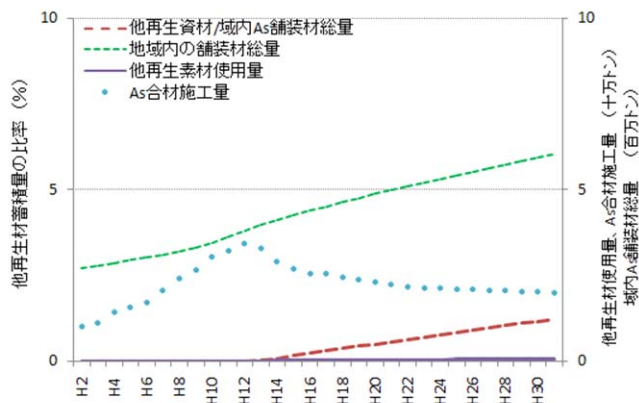


図-5 アスファルト舗装材のマテリアルフロー
ゴミ焼却灰溶融スラグ/千葉県

4. 溶融スラグ等の舗装用素材としての品質評価項目

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。たとえば、「品質規格を満たす」、「既存材料と同等」など、従来材料のための品質規格を根拠に照査する場合がほとんどである。

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、従来材料では求められない（正確には必要ないので省略されている）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。

このような品質評価項目の不整合は、舗装材料の利用者側の品質規格体系が、依然として天然材等の既存材料を前提とした「仕様規定」であることから生じるものと考えられる。舗装を構成する素材の品質指標は、その材料が利用される混合物、構成層、ひいては舗装全体に要求される性能をもとに「性能規定」として設定されるべきであるが、現時点で舗装用素材の品質規定がこれに対応できているわけではない。

表-3は、すでに一般化するなど舗装用材料としての品質規定が整備されている材料である。今後、既往の事例等を参考に材料の系統ごとに品質試験項目を抽出し、類似の素材に対して適用すべき規定項目を体系化していく必要がある。

5. まとめ

平成19年度の調査の結果、以下のことがわかった。

- ・非鉄金属溶融スラグを細骨材として利用する場合には、従来材料と同程度の路面性状や耐久性を期待できることがわかった。
- ・繰り返し再生利用システムが確立している舗装材に溶融スラグ等を混入した場合の舗装資産への蓄積状況を推定したところ、使用量と対象地域の規模によっては、蓄積量は無視できないものになることを指摘した。混入率の増加が舗装の性能に影響を与える素材については累積混入量の検討が必要である。
- ・現行の舗装用素材の品質規格は特定の材料を念頭に置いた仕様規定であることから、新しい材料の採用に適応するための品質規定項目を素材の種類ごとに整理した。

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経費節減、環境負荷を低減できることによる便益を、再生利用のための費用と比較評価して総合的に判断することが求められる。再生利用による便益が大きければ、利用コストが増大することに問題はないと考えられるが、経済評価を適切に実施して全体のコスト構造を明らかにしておく必要がある。

使用におけるコスト分析では、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。現時点では情報不足で定量的な評価は困難である。製造から廃棄までを含めた総合的な検討として、舗装の供用性や再リサイクルに関する検討を進めるとともに、コスト評価についてのデータを蓄積して適用性の総合的な検討を続けていく必要がある。

表-3 舗装用材料として品質規定が整備されている再生資材

項目	他産業廃棄物名		表層・基層等			路盤	路床(安定処理含む)	コンクリート用細骨材	その他
			粗骨材	細骨材	フィラー				
スラグ類	・鉄鋼スラグ	高炉スラグ	高炉徐冷スラグ	○			○		○
			高炉水砕スラグ		□				○
		製鋼スラグ	転炉スラグ	○			○		○
			電気炉スラグ	○		□	○		○
	・非鉄金属スラグ	フェロニッケルスラグ		○				○	
		銅スラグ		○				○	
石炭灰・焼却灰類	・クリンカーアッシュ			□		▲		○	
	・フライアッシュ				○		○	○	
	その他石炭灰・焼却灰			□		▲	▲		
ゴム類	ゴムくず(磨加硫ゴム)								○ ^{*1)}
その他	鋳物ダスト				□				

○:JIS化されている再生資材 ▲:建設技術審査・証明を取得している再生資材あり □:舗装施工便覧(平成18年版)に明記されている再生資材

*1)弾性舗装用材としてJIS化されている

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

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 fiscal year, durability of melt-solidified slag as recycled pavement materials was examined by accelerated loading test in the Pavement test field. According to the results, slag materials from metal industries such as Fe-Ni may be as durable as conventional materials, has been confirmed by full-scale pavement loading testing. Accumulation amount in pavement materials of the road infrastructure stock were estimated by calculation of a material flow analysis focusing on asphalt pavement recycling systems.

Key words : recycle, melt-solidified slag, copper slag, ferronickel slag, durability, LCC