

12.2 溶融スラグ等の舗装への適用性評価に関する研究（1）

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：材料地盤研究グループ（新材料）

研究担当者：西崎到、新田弘之

【要旨】

近年、資源の有効活用、最終処分場の枯渇などを背景として、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、中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っている。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低減に寄与しているかが不明なのが現状である。

そこで、平成 20 年度は、これまでの研究をもとに、溶融スラグ等の舗装への適用性の評価方法を作成し、舗装での LCA を行う場合に便利な環境負荷量の算定プログラムを作成した。また、LCA を行う際に必要な資材の環境負荷原単位の見直しや舗装資材の環境影響評価する場合に必要な環境条件についての計測を行った。

キーワード：アスファルト、舗装、リサイクル、溶融スラグ、廃タイヤ、廃プラスチック、LCA

1. はじめに

近年、資源の有効活用、最終処分場の枯渇などを背景として、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、中でも他産業の廃棄物発生者による舗装用再生資材の開発事例が多くなっている。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全過程を考慮した場合での環境負荷低減に寄与しているかが不明なのが現状である。これを解明するには、LCA（ライフサイクルアセスメント）分析が有効であるが、舗装用途に使用する資材や、再生資材では原単位が整備されていないものが多く、これを整備して解析する必要がある。また、再生資材を利用する際には環境安全性に配慮する必要があるが、舗装へ利用する場合の環境条件が明らかではなく、どのような環境に対して配慮する必要があるのか明確にする必要もある。

平成 20 年度は、これまでの研究をもとに、溶融スラグ等の舗装への適用性の評価方法を取りまとめ、舗装での LCA を行う場合に便利な環境負荷量の算定プログラムを作成した。また、LCA を行う際に必要な資材の環境負荷原単位の見直しや舗装資材の環境影響評価する場合に必要な環境条件についての計測を行った。

2. 適用性の評価方法

2.1 LCA による舗装への適用性評価方法

2.1.1 概要

図-1 に LCA の概念図を示す。LCA では、製品のライフ

サイクルを通した天然資源やエネルギーなどの INPUT とそれぞれの環境への排出物などの OUTPUT を求め、それをもとに様々な環境影響についてとりまとめ、評価を行うものである。

LCA についてはすでに ISO 化されており、ISO を基にした JIS Q14040 シリーズも公表されている。ただし、これを見ても数値的なものは示されておらず、舗装を対象に LCA を行うためには、様々な条件設定や基礎データの作成などを行う必要がある。

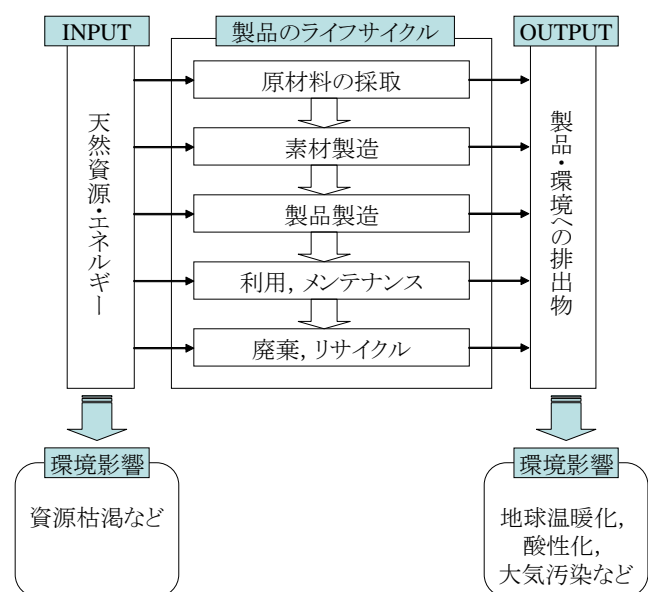


図-1 LCA の概念

2.1.2 LCAの一般的な構成・手順

LCAの構成は、一般的には図-2に示すような、①目的および調査範囲の設定、②インベントリ分析、③環境影響評価、④結果の解釈、からなる。これらの評価結果は、通常、製品の開発や改善、戦略立案などに使用される。

①目的および調査範囲の設定により、まず目的と対象とする範囲を明確にする。LCAは、目的や調査範囲の設定により様々な表現が出来るため、設定は適切に行う。②インベントリ分析(インベントリ:目録、鉄鉱石や原油などの投入量やCO₂等の排出量といった入出力情報のリストを指す)では、製品のライフサイクルを構成する全ての単位プロセスについて、資源・エネルギーの投入量、環境への排出物の量の目録を作成する。信頼性のために、用いたデータの根拠や出典などは明示する。③環境影響評価では、インベントリ分析で得られた各データを特定の環境影響と関連づけて、それらの影響を理解する。場合によっては、インベントリデータをそれぞれの影響領域に分類化して、特性化係数を用いて共通単位にして集計したり、さらに複数の影響領域で特性化したものを統合化したりする。なお、特性化係数や統合化係数は、国内外で開発が行われ、わが国においてはLIME係数というものが提案されている。④結果の解釈では、インベントリ分析、影響評価の結果について、目的を踏まえた解釈を行う。

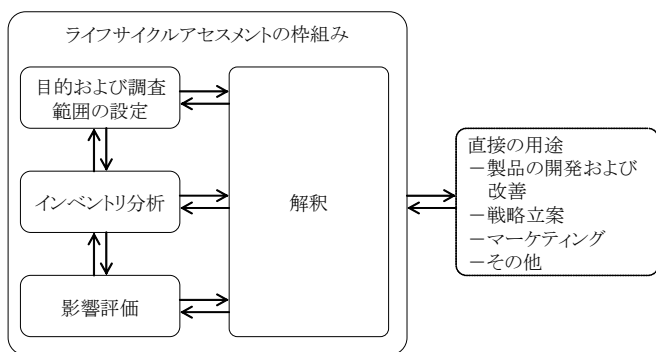


図-2 LCAの構成段階 (JIS Q14040)

2.1.3 本研究における舗装LCAの手順

(1) 目的および調査範囲の設定

本研究の目的は、溶融スラグ等のリサイクル材を舗装へ利用した場合の環境的なメリットを把握することにある。調査範囲としては、国内で一般的に使用された場合を想定し、国内の都市の平均値を求め、この数値を持つモデル空間を設定するとともに、資材等の発生源のうちどこまでを評価対象とするかを設定した。また、舗装面積と舗装寿命を設定し、これより基本的な舗装資材の需

要も設定した。

(2) インベントリ分析

インベントリ分析では、標準的な舗装での資材消費の算定、リサイクル材利用舗装での資源消費の算定を行い、これをもとに環境負荷の算定を行った。

資源消費は、標準的な舗装におけるものを基本とし、リサイクル材を利用する場合は、添加量など文献やヒアリング調査によって求めた。

環境負荷の算定に当たっては、環境負荷原単位が必要となる。舗装関係では、算定に必要な公表された原単位はほとんどない。また本研究で対象としている溶融スラグ等のリサイクル材については原単位もまたその元となる生産のための情報もほとんどない。したがって、LCAの実施に当たってまず原単位作成から実施する。原単位の作成方法には、一般的に積み上げ法と産業連関法があり、さらにこれらを組み合わせたハイブリッド法もある。本研究においては、リサイクル材には必ずしも価格があるわけではなく産業連関法の適用が難しいこと、舗装分野では、他分野と比べて比較的材料の種類が少ないことなどを考慮して、できるだけ積み上げ法で原単位を作成することにした。原単位作成に当たっては、国内での平均的な値を作成することにし、国内統計データをできるだけ活用し、これが利用できない場合は、ヒアリング調査を行って、製造時に使用される資材量を調べ、これに基づき算出した。

(3) 環境影響評価

環境影響評価は、LIME係数を用いて各指標を統合化して評価した。

(4) 結果の解釈

算定結果、統合化評価を踏まえ、適用性について検討した。

2.1.4 舗装用環境負荷算定プログラム

これまでの研究をもとに、舗装用の環境負荷算定プログラムを作成した。図-3に建設時の入力画面の一部を示す。舗装で使用される資材、機械、燃料等についてはプルダウンメニューで選択できるようにしており、混合物であればその素材の構成比や、それぞれの原単位も選択と同時に入力される仕組みとなっている。新たな資材等も追加で入力できるようにしており、計算ボタンを押せば計算が実行されるようにしてある。

ライフサイクルの各段階毎(建設時、供用時、維持修繕時、解体撤去時)にシートを作成してあり、それぞれ入力を行う。

なお、リサイクル材については、製造方法が一様では



図-3 舗装LCA計算プログラムのイメージ

なく、共通の型式が見いだせないことから、原単位の作成を別途行うようにした。

3. 環境負荷原単位の見直し

3.1 概要

骨材やアスファルト混合物の環境負荷原単位についてはすでに公表してきた¹⁾²⁾が、これらは限られたデータからの推定となっていた。このため、データ収集範囲を広げ、精度の向上がさらに必要である。そこで、平成20年度は、全国統計値をできるだけ利用し、統計値だけでは推測できない部分を詳細調査し、骨材やアスファルト混合物についてより精度の高い環境負荷原単位を作成した。

3.2 骨材の環境負荷原単位の見直し

骨材の環境負荷原単位は、これまで1つの砕石工場のデータより作成していた。骨材生産に関わる燃料等の消費量は、砕石等統計年報³⁾が経済産業省より公表されているので、これを元に算出することにした。ただし、この統計は、骨材を砕石工場から需要先に輸送する燃料も計上されている可能性があったため、これを分離するために、8工場に詳細調査を行った。

詳細調査と統計データの比較の一部を図-4に示す。生産規模と製造tあたりの軽油消費量をプロットしたものであるが、統計データと詳細調査のデータの分布はほぼ一致しており、統計データには輸送に関わる燃料消費はほとんど計上されていないと判断した。

そこで、統計データから、全国の平均を求めた結果、軽油消費量 1.08L/t、電力消費量 3.61kWh/t、重油消費量 0.26L/t、灯油消費 0.04L/t となった。

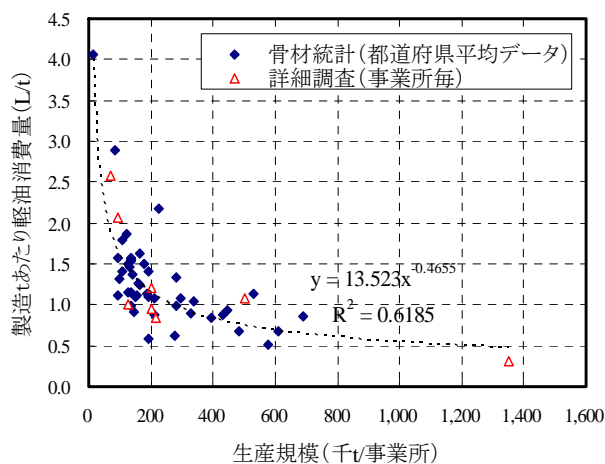


図-4 生産規模と製造当たりの軽油消費量の関係

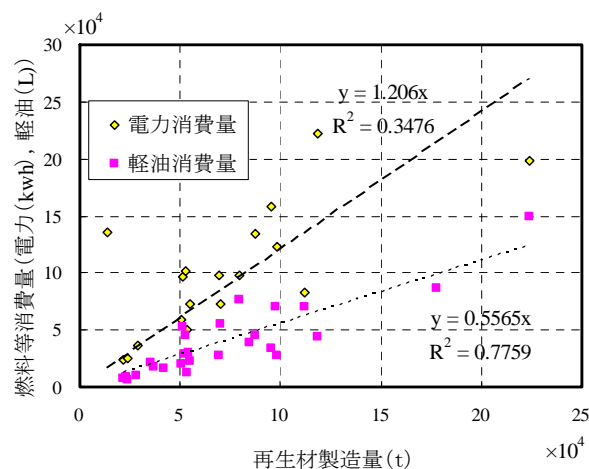


図-5 再生骨材製造量と燃料等消費の関係

3.3 再生骨材およびアスファルト混合物製造時の環境負荷原単位の見直し

3.3.1 再生骨材

再生骨材生産に関わる燃料等の消費量に関しては、(社)日本アスファルト合材協会の統計⁴⁾に、これに関するデータがあるが、これだけでは再生骨材生産に関わる部分だけを分離して計算することが出来ない。したがって、30工場への詳細調査によって原単位を作成することにした。

詳細調査の結果の一部を図-5に示す。いずれも製造量が多くなれば消費量が多くなっており、特に軽油消費量は相関性が高い。詳細調査の結果、電力消費量は平均で 1.31kWh/t、軽油消費量は平均で 0.55L/t となった。

アスファルト混合物製造時の燃料等の消費量についても 30 工場の詳細調査により検討を行った。結果を図-6に示す。電力および軽油は、混合物製造用として計上されたものである。いずれも製造量と相関性が見られ電力と重油では線形近似で高い相関が見られた。軽油については、場内の面積や配置などの影響もあり相関性が若干低く、また

生産規模の大きい工場ほど生産効率が上がる傾向があり、累乗近似となった。

3.3.1 アスファルト混合物

新規混合物と再生混合物の重油消費量を算出した。これらは、別々には計上されていないため、新規骨材用ドライヤ、再生骨材用ドライヤの重油消費量から推測することにした。結果を図-7に示す。今回の詳細調査からは、重油消費量は全体で9.4L/t、新規混合物で8.4L/t、再生混合物で9.7L/tとなった。なお、電力消費量については、それぞれを分離することはできないため、今回は新規と再生と同じ値を用いることにした。

詳細調査の結果は、30工場のデータから作成したものであり、全国的な平均値とはなっていない可能性がある。このため、これまで行った調査結果をもとに、日本アスファルト合材協会の統計を使用した全国的な平均値を推測した。統計値では、再生骨材生産に関する電力消費および軽油消費が分離できないため、3.3.1の調査を元に、統計値から再生骨材生産分を削除した。その結果、混合物生産に関わる電力消費量10.0kWh/t、重油消費量9.4L/tとなり、詳細調査により得

表-1 骨材等生産に関する環境負荷原単位

		エネルギー (MJ)	CO ₂ (kg)	SOx (kg)	NOx (kg)	SPM (kg)		
基本原単位	電力(kWhあたり)	9.58E+00	4.46E-01	8.36E-05	2.39E-04	3.50E-06		
	重油(Lあたり)	4.04E+01	2.83E+00	1.40E-03	8.32E-04	1.03E-04		
	軽油(Lあたり)	3.92E+01	2.72E+00	1.53E-04	8.49E-04	1.01E-04		
	灯油(Lあたり)	3.78E+01	2.60E+00	9.18E-05	6.98E-04	9.67E-05		
作成原単位	骨材生産	t当たり消費量	エネルギー(MJ)	CO ₂ (kg)	SOx(kg)	NOx(kg)	SPM(kg)	
		電力	3.61 kWh	3.46E+01	1.61E+00	3.02E-04	8.63E-04	1.26E-05
		重油	0.26 L	1.05E+01	7.36E-01	3.64E-04	2.16E-04	2.68E-05
		軽油	1.08 L	4.23E+01	2.94E+00	1.65E-04	9.17E-04	1.09E-04
		灯油	0.04 L	1.51E+00	1.04E-01	3.67E-06	2.79E-05	3.87E-06
		合計(=原単位:単位/t)	8.89E+01	5.39E+00	8.35E-04	2.02E-03	1.52E-04	
	再生骨材製造	電力	1.31 kWh	1.25E+01	5.84E-01	1.10E-04	3.13E-04	4.59E-06
		軽油	0.55 L	2.16E+01	1.50E+00	8.42E-05	4.67E-04	5.56E-05
		合計(=原単位:単位/t)	3.41E+01	2.08E+00	1.94E-04	7.80E-04	6.01E-05	
	新規混合物製造	電力	10 kWh	9.58E+01	4.46E+00	8.36E-04	2.39E-03	3.50E-05
		重油	8.4 L	3.39E+02	2.38E+01	1.18E-02	6.99E-03	8.65E-04
		軽油	0.32 L	1.25E+01	8.70E-01	4.90E-05	2.72E-04	3.23E-05
		合計(=原単位:単位/t)	4.48E+02	2.91E+01	1.26E-02	9.65E-03	9.33E-04	
	再生混合物製造	電力	10 kWh	9.58E+01	4.46E+00	8.36E-04	2.39E-03	3.50E-05
		重油	9.7 L	3.92E+02	2.75E+01	1.36E-02	8.07E-03	9.99E-04
		軽油	0.32 L	1.25E+01	8.70E-01	4.90E-05	2.72E-04	3.23E-05
合計(=原単位:単位/t)		5.00E+02	3.28E+01	1.45E-02	1.07E-02	1.07E-03		

られた軽油消費量0.32L/tと合わせて、これらが混合物製造に係わる燃料等の消費量となった。なお、重油消費量は、詳細調査と統計からの推測値が同じ値になったので、新規混合物と再生混合物の生産に関する重油消費量は詳細調査から求めた値を用いても概ね差し支えない。

以上の燃料等の消費量をもとに環境負荷量を算定した。結果を表-1に示す。上段の基本原単位に資材生産に関わる燃料等の消費量を掛け合わせることで各資材の原単位を求めた。

4. 適用性評価にあたり考慮すべき環境条件の検討

安全性を検討する場合に、舗装資材のライフサイクルにおける晒される環境を把握しておく必要があり、昨年度までに文献等による調査を行い、概ね整理している。しかし、舗装内での水分移動については、事例がなく知見を得ることができなかったため、土木研究所内でこれを観測した。観測方法としては、表層(密粒)5cm、路盤(粒状)15cm、幅員3mの舗装の中央地点で、深さ方向0.1、0.2、0.5、1.0mに土中水分計を設置して観測した。

結果を図-4に示す。降雨とともに表層付近は水分量が変動しているが、これはセンサーの構造上、舗装表面に穴をあけて取り付けられているため、センサー周りの止水が十分でなかったこと、センサーは誘電率の変化により水分量を計測する方法をとっており、このため、表面を流れる水の影響を受けたことが原因と考えられた。その他の層は、降雨によって水分量が鋭敏に変動することはない、舗装内の水の出入りはほとんどないものと考えられた。これは、舗装内水分の測定例の一つに過ぎないが、

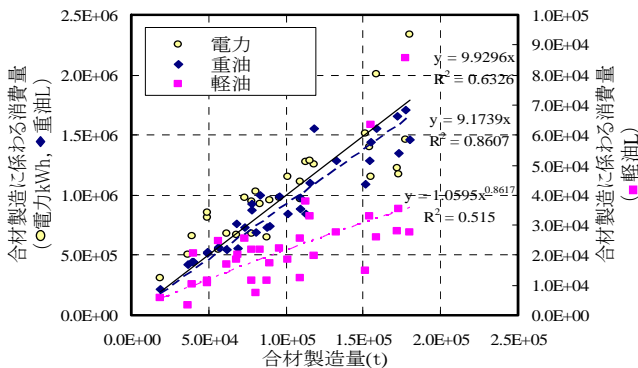


図-6 合材製造量と消費燃料等の関係

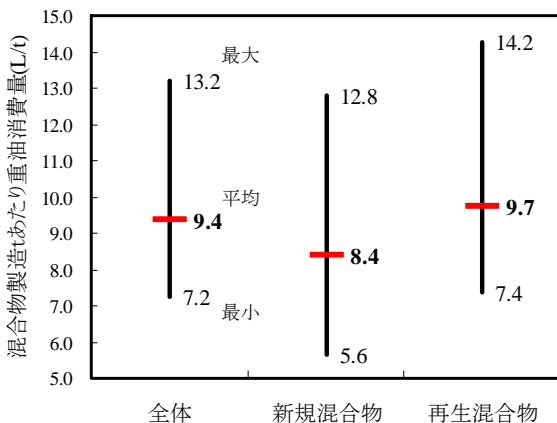


図-7 新規混合物と再生混合物の重油消費量

通常であれば降雨があっても、表面や側方から舗装内に水が浸入することは少ないものと考えられた。したがって、地下水位が十分に低い箇所の舗装では、路盤内への水の浸入はあまりなく、資材からの溶出はあまり考慮しなくてもよいものと考えられた。

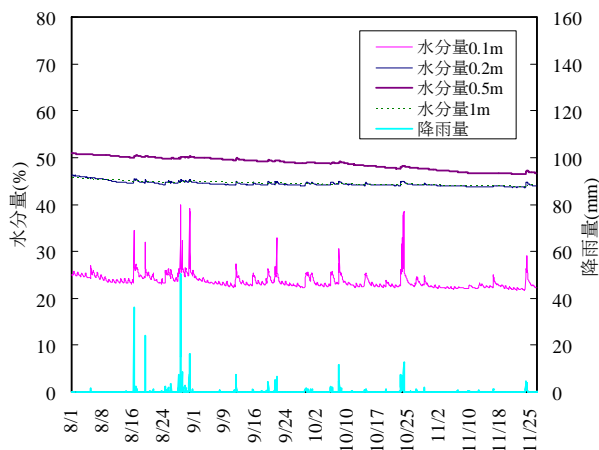


図-4 舗装内水分量の変化

5. まとめ

平成20年度は、研究の最終年度にあたり、これまでの研究をもとにして、評価方法を作成した。また、前年度までに実施した研究に関して、現状に合わせた見直しや

情報の不足していた部分の追加実験などを行った。主な成果は以下の通りである。

- (1) 溶融スラグ等の再生資材を舗装へ適用性する場合の評価方法を作成した。特に LCA 算出については、簡便に算出できるプログラムを作成した。プログラムでは、ライフサイクルの各段階毎（建設時、供用時、維持修繕時、解体撤去時）に計算できるようにした。
- (2) 舗装で基本となる骨材、再生骨材、アスファルト混合物の環境負荷原単位の見直しを行った。前年度まで使用していた原単位と比べより精度が向上した。
- (3) 舗装資材の安全性を検討する上で必要となる舗装内での水との接触について、実測した。限られたデータではあるが、供用中水に接触する機会は少ないものと考えられた。

参考文献

- 1) 日本道路協会：舗装性能評価法別冊，2008.8
- 2) 新田他：土木学会第63回年次講演会，5-064，2008.9
- 3) 経済産業省：砕石等統計年報（平成19年），2008
- 4) 日本アスファルト合材協会：アスファルト合材統計年報（平成19年度），2008

A STUDY ON THE APPLICABILITY OF MOLTEN SLAG TO PAVEMENT MATERIALS

Abstract : Recently, the development of the recycled resource such as molten slag is active in the background of effective use of the resource and the depletion of the final disposal dump, etc. Especially, the development of the technology used for the pavement of those recycled resources is active. Using these recycled resources comes to recycle certainly. However, whether it has contributed to the environmental load decrease in total until abandoning since using these manufactures it is not clarified. Then, the evaluating method of applicability to the pavement of the reproduction material was made based on the research until the previous year, and the calculation program of the amount of environmental impact materials in the pavement was made. Moreover, the environmental impact unit of the pavement material was remade, and use environment condition of the pavement material was measured.

Key words : Asphalt, Pavement, Recycle, Molten slag, Scrap tire, Waste plastics, LCA