

環境負荷軽減に寄与する舗装技術の評価方法に関する研究

研究予算：運営費交付金（道路勘定）

研究期間：平18～平20

担当チーム：舗装チーム

研究担当者：久保 和幸、加納 孝志、
川上 篤史

【要旨】

本課題では、環境負荷軽減に寄与する技術として開発されている様々な舗装技術について、各技術の種類および各技術が目標とする環境要素、その性能指標等の体系的整理を行った。また、環境負荷軽減に効果があるとされる技術について、環境負荷物質量の試算方法および各物質の統合的な評価方法を検討するとともに、各環境負荷物質量の定量的試算を行い、ライフサイクルの観点から評価を行った。

舗装工事において新材を用いた場合と再生工法としてプラント再生、路上再生工法を対象に、ライフサイクルを通じた環境負荷量（エネルギー消費量、CO₂、NO_x、SO_x、SPM）を試算した結果、材料製造等部分的な工程において再生工法の環境負荷量が大きくなる傾向はみられたものの、総量として環境負荷量が少なくなることがわかった。

キーワード：環境負荷、ライフサイクルアセスメント、CO₂排出量、路上再生、プラント再生

1. はじめに

近年、国民の環境への関心の高まりを背景に、舗装技術でも環境負荷軽減に寄与する技術のニーズが高まってきている。そこで、地球温暖化対策から沿道環境対策まで、多様な環境要素に対する舗装技術が開発されている。しかし、これら環境負荷軽減に寄与する個々の舗装技術は、目標とする一つの環境要因に対しては効果があっても、他の環境要因に対して環境負荷要因の増加が懸念される場合があり、その実態も不明なのが現状である。

よって、本課題では環境負荷軽減に寄与する技術として開発されている様々な舗装技術について、各技術の種類および各技術が目標とする環境要素、その性能指標等の体系的整理を行った。また、環境負荷軽減に効果があるとされる技術（本研究では、舗装再生工法に着目した）について、環境負荷物質量の試算方法および各物質の統合的な評価方法を検討するとともに、各環境負荷物質量（エネルギー消費量、CO₂、NO_x、SO_x、SPM）の定量的試算を行い、ライフサイクルの観点から評価を行った。

2. 研究方法

2.1 環境負荷軽減に寄与する舗装技術の体系的整理

環境負荷軽減に寄与する舗装技術を体系化するに

あたり、対象とする環境要因を空間スケール毎に整理し、それぞれの環境要因毎に対策技術として開発されている（もしくは開発中である）舗装技術およびその性能指標について、既存の文献等により整理した。

2.2 環境負荷軽減に効果があるとされる舗装技術の評価手法の検討

環境負荷物質量の試算方法および各物質の統合的な評価方法を検討するにあたっては、舗装再生工法を対象に、ライフサイクルを通じた環境負荷量の試算を行った¹⁾。対象とする環境負荷物質は、エネルギー消費量、CO₂、NO_x、SO_x、SPMとした。

具体的には、環境負荷量の試算を行う舗装工事の設定にあたって、試算Ⅰ：表層の再生工法に関する検討、試算Ⅱ：路盤の再生工法に関する検討を行い、骨材に新材を用いた場合と再生骨材を用いた場合、再生骨材の配合率を変えた場合、および路上表層再生工法の特殊機械を各地へ輸送した場合や中温化技術を用いた場合などの影響を検討した。

環境負荷量の試算にあたっては、舗装工事の検討範囲（資材調達から廃棄まで）を設定し、消費する資材や使用する機器等の数量について算出した。これに、資材等の環境負荷原単位を乗ずることによって、環境負荷量を算出する。なお、環境負荷原単位については、既存の文献等より原料調達から製品ま

環境の広がり 考慮すべき環境	環境要素	対応方針	舗装として求める機能	舗装技術	性能指標
地球・社会環境	地球温暖化	温室効果ガス(CO2等)排出量の低減	合材製造時における加熱エネルギーの減少	常温型舗装、セミホット型舗装、中温化技術	CO2排出低減量
	資源の枯渇	循環型社会の形成・資源の有効利用	舗装発生材のリサイクル	プラント再生、路上表層再生 プラント再生、路上路盤再生	リサイクル率
都市環境	都市型洪水	路面雨水の河川・下水道への集中流出の低減	雨水の路面下への浸透・一時貯留	透水性舗装	浸透水量
	ヒートアイランド	地表面からの顕熱減少	水の散水作用による路面温度の上昇抑制 光の吸収抑制による温度の上昇抑制 自然系材料の利用	保水性舗装 遮熱性舗装 土系・木質系・緑化系舗装	路面温度低減量
	景観	景観性の向上	自然系材料の利用	土系・木質系・緑化系舗装	感応評価
沿道・道路環境	沿道大気汚染	自動車排ガス(NOx等)の削減	NOxの吸収・分解	NOx除去舗装	Nox除去量
	道路交通騒音	道路交通騒音の低減	タイヤ発生音の抑制	排水性舗装(小粒径化、多孔質化等) 弾性舗装	タイヤ・路面騒音低減量
	交通振動	交通振動の低減	振動発生、伝搬の抑制	路面平坦性確保、段差解消 振動低減型舗装	交通振動低減量
	沿道水はね 塩害	路面雨水の排除 凍結防止剤散布量の削減	雨水の路面下への浸透 路面凍結の抑制	排水性舗装、透水性舗装 凍結抑制舗装	浸透水量 凍結防止剤散布減少量

図-1 環境負荷軽減に寄与する舗装技術の体系図

で含め積み上げ法によって求められたものを調査して使用するとともに、原単位が見あたらないものについてはヒアリング調査などを行い適宜作成した。

3. 研究結果

3.1 環境負荷軽減に寄与する舗装技術の体系的整理

整理にあたっては既存文献²⁾を参考に、対象とする環境要因を整理する空間スケールとして、「地球・社会環境」、「都市環境」、「沿道・道路環境」とした。また、環境要因と発生起因との関係、期待される機能、性能指標、および考えられる舗装技術を取りまとめた(図-1)。

3.2 環境負荷軽減に効果があるとされる舗装技術の評価手法

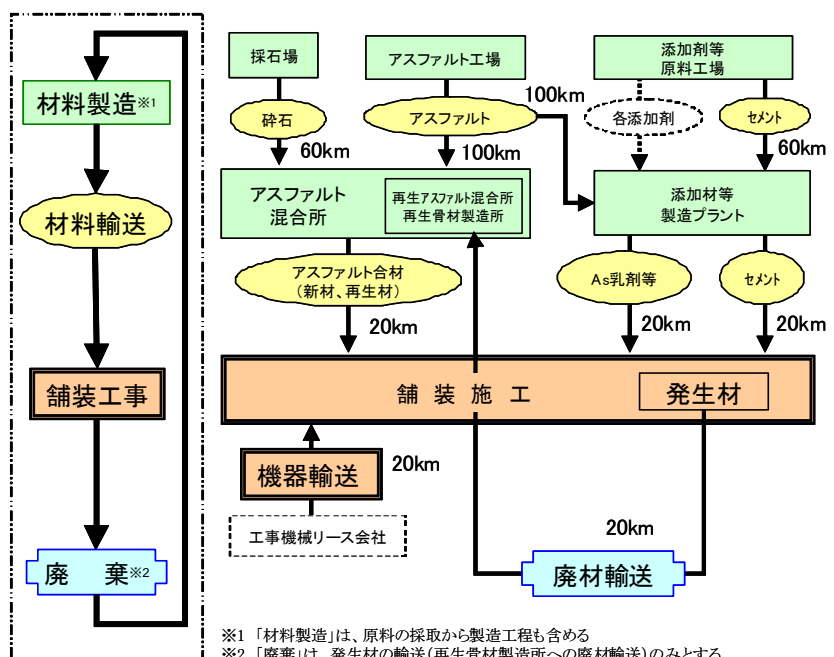
3.2.1 試算条件の検討結果

(1) 舗装工事の範囲の設定

舗装工事における検討範囲は図-2に示すとおり設定し、CO₂等の環境負荷物質の排出段階として材料製造、材料輸送、舗装工事、廃棄に整理することとした。

試算ケースについては、表-1に示すように、試算Iでは切削オーバーレイ工法と路上表層再生工法

を対象とし、ケース①：新材を用いた切削オーバーレイ工法、ケース②：再生骨材製造所において再資源化された再生骨材を用いた同工法、ケース③：路上表層再生工法(リミックス工法)とした。また、試算IIについては、路盤および表層の打換えと路上路盤再生工法を対象とし、ケース④：路盤を瀝青安定処理(加熱混合)に打換え、ケース⑤：路盤に再生骨材を用いた瀝青安定処理(加熱混合)に打換え、ケース⑥：既設舗装の路上路盤再生工法とした。



※1 「材料製造」は、原料の採取から製造工程も含める
 ※2 「廃棄」は、発生材の輸送(再生骨材製造所への廃材輸送)のみとする

図-2 舗装工事における検討範囲

なお、廃棄においては、既設のアスファルト舗装の発生材が現状においてほぼ全て再利用されることから、廃材輸送（再生骨材製造所に輸送）のみを対象とすることとした。

(2) 工事規模

工事規模は、道路の幅員 3.25m、2車線、延長 200m(施工面積 1,300m²)とした。

表層の再生工法に関する検討では、既存の舗装面を 3cm 切削、5cm オーバーレイすることとした。

路盤の再生工法に関する検討では、舗装を N3 交通断面から N4 交通断面へ変更するものとした。

(3) 使用資材および機器等の数量

工事に使用する資材の物質量および機器等の使用数量については、工事規模や材料輸送量、および土木工事標準積算基準書³⁾等に従い材料条件(表-2)、対象工種(切削オーバーレイ工、路上表層再生工、道路打換え工、路上再生路盤工)の使用機器(表-3)およびその使用数量、日当り施工量等により算出した。

(4) 環境負荷原単位

舗装工事において使用する資材等の環境負荷原単位を表-4に示す。原単位は基本的に積み上げ法により求めたものとし、これまでに公表されているものや既存のデータベースなどの値を用いた。

なお、アスファルト乳剤(以下、As 乳剤)については、メーカーへのヒアリング等により、構成する材料をアスファルト、水、塩酸、界面活性剤とし、構成比をそれぞれ 50:48:1:1、乳化機により混合する電力を 0.03(kWh/kg)として算出した。また、As 乳剤製造に係る各種添加剤の輸送については、使用量が微量であるため省略した。

表-1 検討ケース

試算 I	表層の再生工法に関する検討		
	ケース①	ケース②	ケース③
再生工法	新材(比較用)	プラント再生工法	路上表層再生工法(リミックス)
打換え厚	(切削オーバーレイ)		(リミックス)
再生骨材配合率	0%	60%	(60%)

試算 II	路盤の再生工法に関する検討		
	ケース④	ケース⑤	ケース⑥
再生工法	新材(比較用)	プラント再生工法	路上路盤再生工法
打換え厚	(打換え)		路上路盤再生工法
再生骨材配合率	0%	50%	(100%)

表-2 材料条件

名称	材料条件
As混合物	基準密度:2.35t/m ³ , ロス率:0.07, As量:5.5%(旧As混合物も同じ), 砕石単体体積重量:2.7t/m ³
As乳剤	プライムコート散布量:1.26L/m ² , 路上表層添加剤:(対旧アスファルト)14%
瀝青安定処理路盤材(加熱混合)	基準密度:2.35t/m ³ , ロス率:0.07, As量:4.0%, 砕石単体体積重量:2.7t/m ³
セメント・瀝青安定処理剤	セメント添加量:2.5%, セメント比重:3.15t/m ³ , アスファルト乳剤量:4.7%

表-3 使用機器および燃費

使用機器	使用燃料	燃料消費率 ^{※1}
路面切削機	軽油	0.132 L/m ²
路面清掃車	軽油	0.039 L/m ²
アスファルトフィニッシャー	軽油	0.019-0.053 L/m ²
ロードローラー	軽油	0.015-0.030 L/m ²
タイヤローラー	軽油	0.018-0.036 L/m ²
振動ローラー	軽油	0.031 L/m ²
路面ヒータ	軽油	0.053 L/m ²
路面ヒータ(加熱用) ^{※2}	灯油	0.8-0.16 L/m ²
	LPG	1.000 kg/m ²
路面表層再生機	軽油	0.065 L/m ²
コンクリートカッター	ガソリン	0.055-0.186 L/m
スタビライザー	軽油	0.166 L/m ²
モータグレーダ	軽油	0.056 L/m ²
バックホウ	軽油	0.210 L/m ²
ダンプトラック(2t-25t)	軽油	4.90-19.72 L/h
散水車	軽油	4.720 L/h

※1:燃料消費率は、日当り施工量、運転日あたり燃料消費量により算出
 ※2:路面ヒータ(加熱用)の燃料消費量はヒアリングにより設定

表-4 環境負荷原単位の設定

項目	エネルギー量 (単位)	CO ₂ 排出量 (kg)	SOx排出量 (kg)	NOx排出量 (kg)	SPM排出量 (kg)	出典	
電力	kWh	9.09E+00	4.00E-01	5.15E-05	1.62E-04	1.72E-06	JEMAI-LCA
ガソリン	L	3.51E+01	2.47E+00	7.57E-05	7.61E-04	8.62E-05	
軽油	L	3.82E+01	2.69E+00	8.24E-05	8.29E-04	9.39E-05	
アスファルト	kg	4.33E+00	2.48E-01	1.64E-03	1.14E-03	—	文献4
砕石(新材)	t	1.78E+01	9.05E-01	8.23E-05	3.33E-04	1.46E-05	
再生骨材	t	7.85E+01	4.28E+00	3.35E-04	1.52E-03	8.56E-05	
As混合物	t	3.85E+02	2.62E+01	1.18E-02	7.83E-03	8.51E-04	
再生As混合物	t	4.23E+02	2.89E+01	1.29E-02	8.62E-03	9.36E-04	文献5
セメント	kg	—	7.72E-01	7.20E-05	1.43E-03	2.80E-05	
As乳剤	kg	2.43E+00	1.60E-01	8.30E-04	5.89E-04	1.35E-06	積み上げ法
工業用水	m ³	5.69E+00	1.00E-01	1.31E-05	3.95E-05	5.56E-07	JEMAI-LCA
塩酸	kg	—	1.08E+00	7.19E-04	4.70E-04	1.07E-04	JEMAI-LCA
界面活性剤	kg	—	1.03E+00	—	7.20E-04	2.35E-05	文献6 ^{※1}

※1 界面活性剤については、成分的、製造工程的に近いものが見あたらなかったため、文献8の原単位を代用した。

この表-4 以外の資材として再生用添加剤の使用が考えられるが、アスファルトの環境負荷原単位の作成⁴⁾において、石油精製による製品は全て同等として計算されているため、再生用添加剤の環境負荷原単位は別途求めず、再生用添加剤の使用量はアスファルト使用量に含めることとした。

(5) 環境負荷の統合化係数の設定

環境負荷の統合化に当たっては諸外国によっていくつかの指標が提案されている⁷⁾が、我が国で開発された LIME (Life-cycle Impact assessment Method based on Endpoint modeling) 係数^{7),8)}を用いることとした。この LIME 係数は、様々な環境負荷項目を全てコストに換算して同じ指標にすることにより、様々な異なる項目を一つの指標にできるものであり、日本の現状に一番即したものと考えて用いることとした。なお、LIME 係数は、現在も検討が続いており、様々な数値が公表されているが、本稿では、その中の ver.1 を用いた(表-5)。

3. 2. 1 環境負荷量の試算

(1) 表層の再生工法の違いによる環境負荷量の比較

2. (2) で示した工事規模および同(3)使用資材および機器等の数量により算出した各ケースの消費物質量を表-6 に示す。この消費物質量に環境負荷原単位(表-4)を乗じることによって、各環境負荷量(エネルギー量、CO₂ 排出量、SO_x 排出量、NO_x 排出量、SPM 排出量)を算出した(表-7 および図-3)。これによると、SO_x、

表-5 LIME 係数

	エネルギー (円/MJ)	CO ₂ (円/kg)	SO _x (円/g)	NO _x (円/g)	SPM (円/g)
LIME係数	0.0666	2.18	1.0773	0.1891	0.00245

表-6 各ケースの消費物質量

排出段階	ケース	物質量			算出根拠	
		①	②	③		
材料製造	As混合物	As混合物	163.4t	163.4t	61.1t	施工量×基準密度等
		アスファルト	8.9t	3.6t	3.4t	アスファルト量(5.5%)
		砕石(新材)	154.5t	61.8t	57.7t	As混合物-アスファルト量
		再生骨材	-	98.0t	-	再生骨材配合率
	As乳剤	1,638.0L	1,638.0L	705.7L	プライムコート散布量 路上表層添加剤量	
材料輸送	軽油	1,187.2L	646.0L	482.0L	輸送距離×燃料消費率	
舗装工事	機器輸送	軽油	99L	99L	100.0L	輸送距離×燃料消費率
		軽油	300.9L	300.9L	295.2L	施工面積×燃料消費率
	施工	灯油※	-	-	1,560.0L	施工面積×燃料消費率
		LPG※	-	-	1.3t	
廃棄	廃材輸送	軽油	131.2L	131.2L	-	輸送距離×燃料消費率

※灯油、LPGは路面ヒータ(加熱用)の燃料であり、環境負荷量は平均値を用いる

NO_x の材料製造時での排出割合(図-2 c)、d) が、エネルギー、CO₂、SPM におけるそれに比べ大きくなる傾向が見られた。これは、アスファルトの SO_x と NO_x の原単位がガソリンや軽油等の消費燃料の原単位に比べ大きいためであると考えられる。

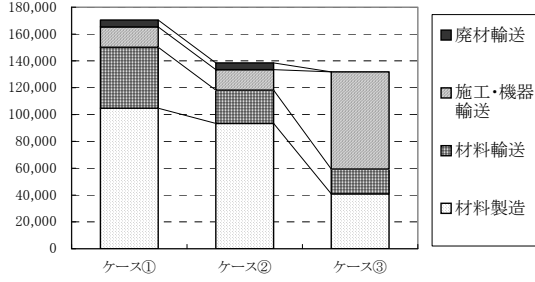
a) 統合化による評価

統合化評価により、全体的な環境負荷量の比較と特に影響の強い負荷物質の把握を行った。各ケース

表-7 各工法による環境負荷量の算出結果

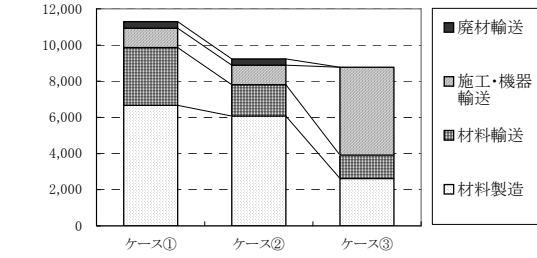
ケース①						
排出段階	エネルギー	CO ₂	SO _x	NO _x	SPM	
	MJ	kg	kg	kg	kg	
材料製造	1.05E+05	6.67E+03	1.80E+01	1.25E+01	1.36E-01	
材料輸送	4.54E+04	3.19E+03	9.78E-02	9.85E-01	1.11E-01	
舗装工事	機器輸送	3.78E+03	2.66E+02	8.16E-03	8.21E-02	9.30E-03
	施工	1.15E+04	8.08E+02	2.48E-02	2.49E-01	2.83E-02
廃棄	5.01E+03	3.52E+02	1.08E-02	1.09E-01	1.23E-02	
合計	1.70E+05	1.13E+04	1.81E+01	1.39E+01	2.97E-01	
ケース②						
排出段階	エネルギー	CO ₂	SO _x	NO _x	SPM	
	MJ	kg	kg	kg	kg	
材料製造	9.35E+04	6.08E+03	9.30E+00	6.58E+00	1.56E-01	
材料輸送	2.47E+04	1.73E+03	5.32E-02	5.36E-01	6.07E-02	
舗装工事	機器輸送	3.78E+03	2.66E+02	8.16E-03	8.21E-02	9.30E-03
	施工	1.15E+04	8.08E+02	2.48E-02	2.49E-01	2.83E-02
廃棄	5.01E+03	3.52E+02	1.08E-02	1.09E-01	1.23E-02	
合計	1.38E+05	9.24E+03	9.40E+00	7.55E+00	2.66E-01	
ケース③						
排出段階	エネルギー	CO ₂	SO _x	NO _x	SPM	
	MJ	kg	kg	kg	kg	
材料製造	4.09E+04	2.62E+03	6.84E+00	4.76E+00	5.42E-02	
材料輸送	1.84E+04	1.29E+03	3.97E-02	4.00E-01	4.53E-02	
舗装工事	機器輸送	3.82E+03	2.68E+02	8.24E-03	8.29E-02	9.39E-03
	施工	6.86E+04	4.59E+03	5.73E-02	1.45E+00	1.37E-01
廃棄	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	
合計	1.32E+05	8.77E+03	6.94E+00	6.70E+00	2.45E-01	

エネルギー(単位:MJ)



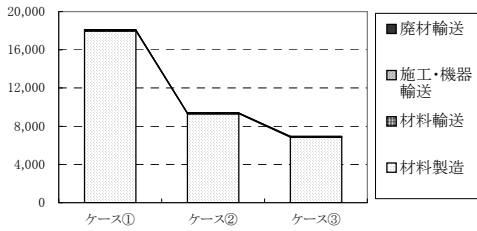
a) エネルギー消費量

CO₂(単位:kg)



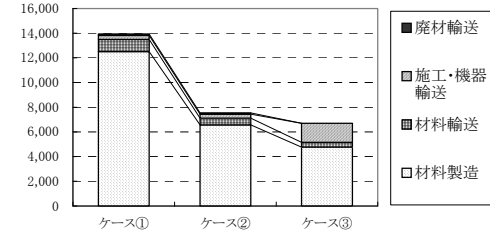
b) CO₂ 排出量

SO_x(単位:g)



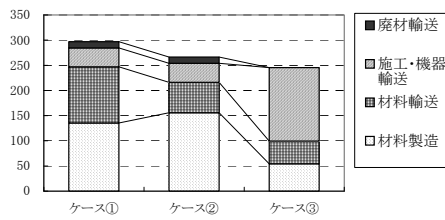
c) SO_x 排出量

NO_x(単位:g)



d) NO_x 排出量

SPM(単位:g)



e) SPM 排出量

図-3 各環境負荷量

における環境負荷量(表-7)にLIME係数(表-5)を乗じた結果を図-4に示す。その結果、ケース②(再生骨材(60%)を用いた切削オーバーレイ工法)の統合化した環境負荷量は、ケース①(新材を用いた場合)の7割となり、ケース③(路上表層再生工法)の環境負荷量はケース①の約6割という試算となった。各環境負荷物質を見てみると、各ケースともCO₂、SO_x、エネルギーの順で全体に占める割合が高いのがわかる。従って、舗装工事の環境負荷量を検討する場合、これら3つの項目を特に注目すると良いことが分かった。

次に、統合化した環境負荷量を舗装工事の排出段階毎(材料製造から廃棄段階まで)に整理した結果を図-5に示す。その結果、いずれのケースにおいても材料製造段階の環境負荷量が多く、特にケース①、②においては全体の7割程度を占めている。材料輸送については、ケース②ではケース①の6割となっており、新材より再生骨材を用いることにより、負

統合化評価(円)

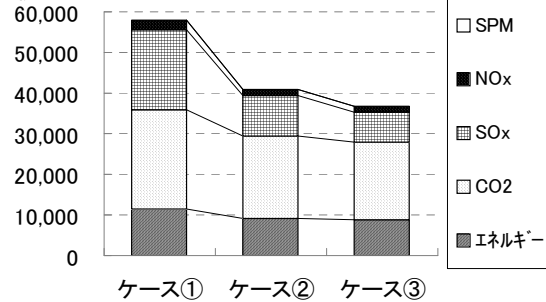


図-4 各環境負荷物質の統合化

統合化評価(単位:円)

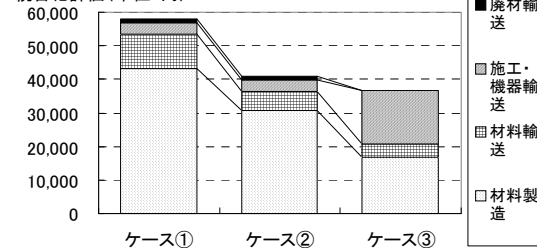


図-5 統合化による環境負荷量の排出段階毎の比較

荷が減少している。なお、ケース③では、廃材輸送がなく、ケース①、②に比べ材料輸送も少なくなるが、施工時の環境負荷量は大きくなっている。

b) 新材と再生骨材を用いた切削オーバーレイ工法の比較

切削オーバーレイ工法において骨材に新材を用いた場合(ケース①)、および再生骨材を用いた場合(ケース②)の環境負荷量を比較した。なお、ここでは、統合化評価でCO₂排出量の影響が大きかったことから、CO₂排出量に焦点を絞り検討を行った。

ケース①と②では、舗装工事段階(施工および機器輸送)、廃材輸送段階での工程は同じとなることから環境負荷量は同量となる。そこで、これらを除いた材料製造段階(アスファルト製造、骨材製造、アスファルト混合物(以下、As混合物)製造)、As乳剤・添加剤等製造、および材料輸送段階の環境負荷量を抽出して整理した(図-6)。その結果、材料製造段階ではアスファルト製造とAs混合物製造がほぼ全てを占めている。

また、表-4に示した環境負荷原単位を見て分かるように、再生骨材の製造の原単位が新材(砕石)の製造より大きくなっていること、再生As混合物の製造が新材を用いたAs混合物より大きくなっていることから、当初、環境負荷量の増加が予想された。実際に、図-6に示されているように、ケース②の骨材製造や、As混合物製造のCO₂排出量はケース①を上回っている。しかし、As混合物に用いるアスファルト使用量の減少分が大きいことから、材料製造段階全体としてCO₂排出量の減少が大きくなっていることが分かった。さらに、材料輸送が少なくなることもあり、総合的にもケース②の環境負荷量の方が少なくなったものと考えられる。

c) プラント再生工法における再生骨材配合率の違いが環境負荷量に与える影響

ケース②において再生骨材配合率がCO₂排出量に与える影響について試算した。ケース②では、再生骨材の混入率を都市部での平均値である60%としているが、地方部も含めた全国平均である40%と今後リサイクル率が高くなった際を想定して80%についても試算した。

その結果、図-7に示すとおり、骨材の製造段階でのCO₂排出量が少しずつ増加している反面、アスフ

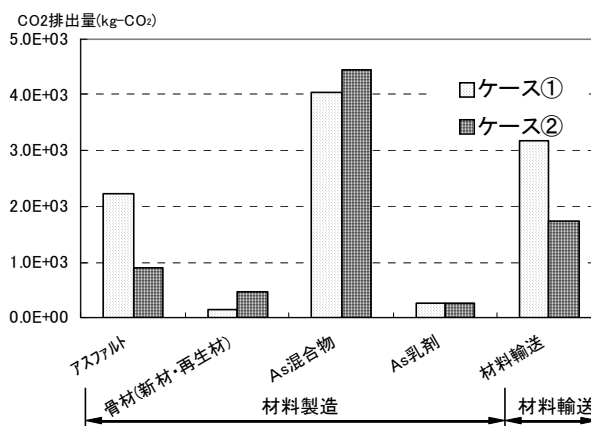


図-6 ケース①および②のCO₂排出量の比較
(「材料製造」・「材料輸送」段階を抽出)

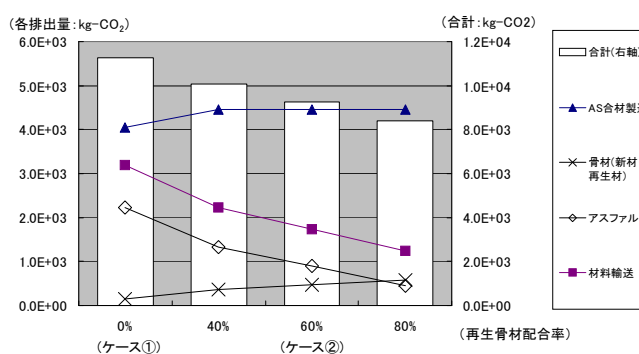


図-7 再生骨材混合率による環境負荷量の比較

ルトの製造、材料輸送の減少量が大きいことが分かる。骨材の製造については、新材が再生骨材に入れ替わることによって、CO₂排出量が若干増加したのものとなった。アスファルト製造の減少については、投入するアスファルト量が減ったことによるもので、材料輸送の減少については、新材やアスファルトの輸送に係るトラックの燃料消費が減少したものである。これらのことより、全体のCO₂排出量も減少した(図-7右軸)要因である。

d) 切削オーバーレイ工法と路上表層再生工法との比較

ケース③の路上表層再生工法(リミックス)については、図-3b)で示したとおり全工程でのCO₂排出量が少ないということが試算された。しかし、施工段階におけるCO₂排出量は、切削オーバーレイ工法(ケース①およびケース②)に比べ非常に大きい値となった。これは、路上表層再生工法が舗装工事現場において既設舗装体の加熱・かきほぐし、新規As混合物との混合、舗設の工程を行うため、切削オー

バーレイ工法で計上している再生骨材製造、As 混合物製造も含まれていることになる。

そこで、施工段階における CO₂ 排出量に、材料製造段階の CO₂ 排出量を加えて比較した (図-8)。その結果、CO₂ 排出量の差は小さくなったものの、路上表層再生工法の方が多量であった。これは、路上表層再生工法が舗装工事現場で用いる路面ヒータの加熱用燃料の消費量が多いこと、再生骨材や再生 As 混合物を再生混合所で一括して製造すると効率がよいことが関係しているものと推察される。ただし、前述したとおり、路上表層再生工法の全体の CO₂ 排出量は、材料輸送量が小さく、廃材輸送量がないこともあって環境負荷が小さい値となる。

次に、路上表層再生機が全国的に見て台数が非常に少なく、施工する際には非常に遠方にまで輸送されるという実態がある。したがって、輸送距離による環境負荷量への影響を検討した。算出には路上表層再生機の輸送を陸送として、輸送には、25t ダンプトラック(燃料：軽油、燃費：19.720L/h)を用いることとし、時速を 25km/h、輸送距離を 500km、1、000km として算出した。具体的には、輸送に係る軽油消費量のみが距離に比例して基本ケース (20km) から 25 倍、50 倍となり、試算結果を図-9 に示す。なお、路面ヒータ(加熱用)の燃料消費量については、近年、効率の良いものが開発されていることから、燃料消費量が最少のケースについても試算した。

その結果、燃料消費平均値(ケース③)において、ケース①と同程度になるのは約 600km であり、ケース②では約 150km となった。このことから、路上表層再生工法でも機械等の輸送によって環境負荷は大きくなることが分かった。ただし、燃料消費最少値のグラフを見ると、ケース①とは約 900km、ケース②とは約 500km で交差しており、このことから、燃料消費の少ないタイプであれば環境負荷はより小さくなり、路面ヒータの燃費の差も環境負荷量に対する影響が大きいことが分かった。

e) 中温化技術の適用に関する検討

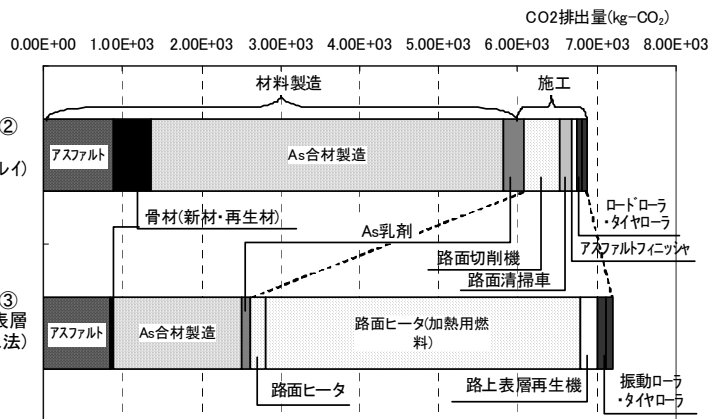


図-8 ケース②および③の CO₂ 排出量の比較
(「材料製造」、「施工」を抽出)

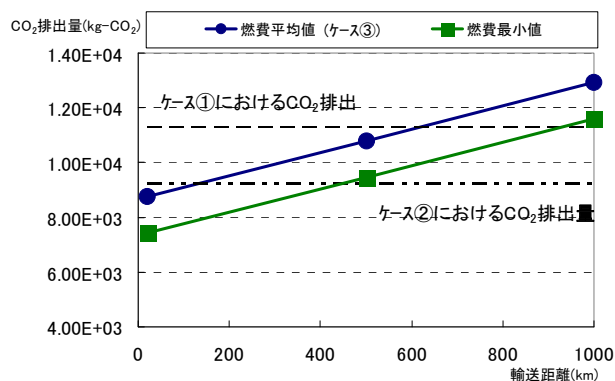


図-9 路上表層再生機の輸送距離による比較

今回の試算では、材料製造時の CO₂ 排出量は図-3b) に示すとおり全体の 60% となり、その多くをアスファルト製造と As 混合物製造が占めていることがわかったことから、これらを減らすことが課題となる。そこで、中温化技術を適用した際の影響について検討した結果、中温化技術は As 混合物の加熱温度を 30℃～50℃低減することが出来ることから、As 混合物製造に係る燃料消費量を 15% 程度、材料製造に係る CO₂ 排出量を 10% 程度減少することが試算された。今後は中温化剤の製造に係る環境負荷量を含めてさらに精査する必要がある。

(2) 路盤の修繕工法の違いによる環境負荷量の比較

舗装体を路盤から打換える時の環境負荷量を比較した。ここで舗装断面は図-10 に示すように N3 交通断面から N4 交通断面に変更することとした。具体的には、T_A を 15 から 19 にする (T_A4 増加) こととし、ケース④、⑤では既設アスコン層を撤去後、瀝青安定処理(加熱混合とし、⑤では再生骨材率 50% とす

る)に打換え、As 混合物層(5cm)を舗設する。ケース⑥は、既設 As 混合物層、および既設路盤の一部を路上路盤再生工法(セメント・瀝青安定処理)により路盤を構築し、As 混合物層を舗設するものである(表-1)。

この試算条件に従って、ケース④～⑥の消費物質質量(表-8)と、環境負荷原単位(表-4)により環境負荷量を算出した。なお、セメントの製造にかかるエネルギー量の原単位においては明確なデータが見つからなかったことから、統合化は行わず、ここではCO₂排出量のみを算出することとした(表-9)。

ここで、表層のAs 混合物部分については、各ケースとも共通であることから、省いて整理した(図-11)。その結果、ケース⑤(再生骨材を用いた路盤の打換え工法)のCO₂排出量はケース④(新材を用いた打換え)の約90%となり、ケース⑥(路上路盤再生工法)は約50%となった。

a) 新材と再生骨材による打換え工法の比較

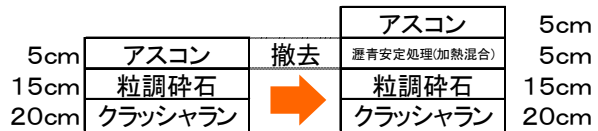
瀝青安定処理路盤材の再生骨材配合率の変化によるCO₂排出量を検討した。具体的にはケース⑤の再生骨材配合率を80%にした場合も加えて試算した(図-12)。その結果、3(1)c)と同様、骨材(新材・再生骨材)の製造に係るCO₂排出量が増えている一方で、アスファルト使用量が減少していることにより、材料製造時のCO₂排出量も減少している。また、材料輸送が小さくなっていることで全体の環境負荷量も減少することが示唆された。

b) 打換えと路上路盤再生工法の比較

路上路盤再生工法は、舗装工事現場において既設のAs 混合物層および路盤のかきほぐし、添加剤混合により再生路盤を構築するため、打換え工法で計上している材料製造分も含まれていることとなる。そこで、舗装工事におけるCO₂排出量に材料製造を加えて比較した(図-13)。

その結果、ケース⑤では瀝青安定処理(加熱混合)の製造、ケース⑥ではセメントの製造に係るCO₂排出量が多くなったが、全体としてケース⑥はケース⑤の6割程度となった。

さらに、ケース⑥は廃材輸送はなく、また、材料輸送に係るCO₂排出量も少なくなることによって、図-11で示した通り総合的にも環境負荷の小さい工法であることが試算された。



a) ケース④、⑤の工事内容



b) ケース⑥の工事内容

図-10 ケース④、⑤、⑥の工事ケース(舗装断面)

表-8 消費物質質量

排出段階	物質	物質質量			算出根拠
		ケース④	⑤	⑥	
材料製造	As混合物(表層)	152.75t	152.75t	152.75t	施工量×基準密度等
	アスファルト	8.40t	8.40t	8.40t	アスファルト量5.5%
	砕石	144.35t	144.35t	144.35t	As混合物-アスファルト量
	瀝青安定処理路盤材(加熱混合)	152.75t	152.8t	-	施工量×基準密度
	アスファルト	6.11t	3.1t	-	アスファルト量4.0%
	砕石	146.64t	73.3t	-	路盤材-アスファルト量
	再生骨材	-	76.4t	-	再生骨材配合率
	セメント・瀝青安定処理剤	-	-	3.3t	添加量:2.5%
	瀝青剤	-	-	6.2t	添加量:4.7%
	水	-	-	1.3t	含水比:3%
材料輸送	軽油	2,115.6L	1,951.6L	1,219.5L	輸送距離×燃料消費率
	機器輸送	101.2L	101.2L	108.6L	輸送距離×燃料消費率
舗装工事	軽油	546.1L	546.1L	410.6L	施工面積×燃料消費率
	ガソリン	0.4L	0.4L	0.4L	施工面積×燃料消費率
廃棄	廃材輸送	196.8L	196.8L	-	輸送距離×燃料消費率

表-9 ケース④、⑤、⑥の各排出段階でのCO₂排出量

排出段階	ケース④	ケース⑤	ケース⑥	
材料製造	1.20E+04	1.19E+04	9.79E+03	
材料輸送	5.68E+03	4.58E+03	3.27E+03	
舗装工事	機械輸送	2.72E+02	2.72E+02	2.92E+02
	施工	1.56E+03	1.56E+03	1.10E+03
廃棄	5.28E+02	5.28E+02	0	

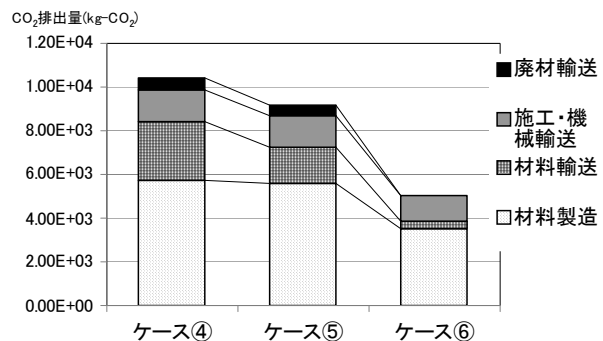


図-11 ケース④、⑤、⑥のCO₂排出量の内訳(表層を除く)

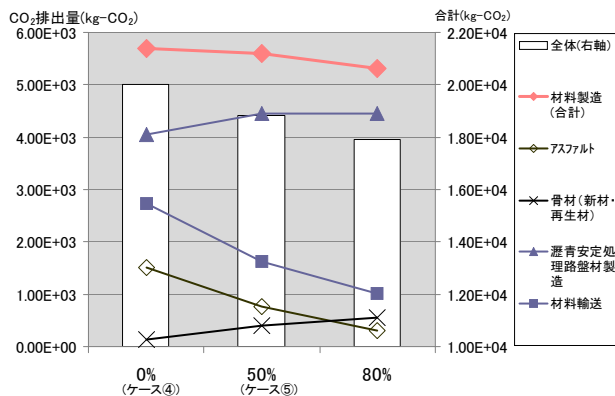


図-12 再生骨材配合率によるCO₂排出量の変化

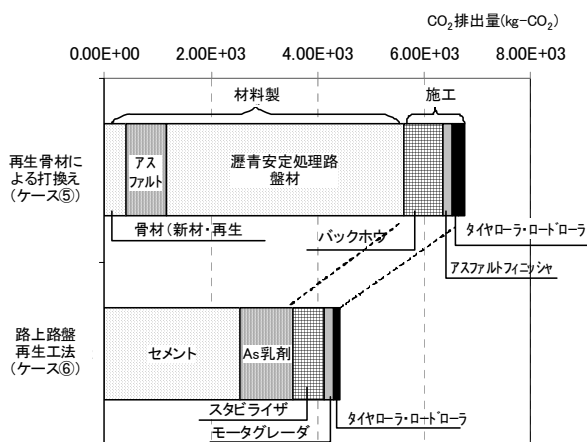


図-13 打換えと路上路盤再生工法のCO₂排出量の比較
 (「材料製造」、「施工段階」を抜粋)

4. まとめ

本課題では環境負荷軽減に寄与する舗装技術について、各技術の種類、目標とする環境要素、その性能指標等の体系的整理を行った。また、環境負荷軽減に効果があるとされる技術（舗装再生工法）について、環境負荷物質量の試算方法および各物質の統合化を検討するとともに、各環境負荷物質量の定量的試算を行い、ライフサイクルの観点から評価を行った。

その結果、以下のことがわかった。

- 1) 舗装工事において、材料製造、材料輸送、舗装工事、廃棄の各段階における使用・消費した物質および物質量を積算基準やヒアリング等により明らかにし、環境負荷原単位を乗ずることによって、ライフサイクルを通じた環境負荷物質の定量的評価を行うことができる。
- 2) 各環境負荷物質（エネルギー、CO₂、SO_x、NO_x、

SPM) を LIME 係数によって統合化した結果、舗装工事ではCO₂、SO_x、エネルギーの割合が高い。

3) 材料製造、特にアスファルトの製造およびAs混合物の製造時の環境負荷量が、他の工程に比べて大きい。

4) 舗装再生工法では、再生骨材および再生As混合物の製造が、新規の場合より環境負荷量は多くなるが、As量および骨材輸送量が少ないことから、全体のCO₂排出量は少なくなる。

5) 路上表層再生工法は、再生骨材を用いた切削オーバーレイ工法よりAs混合物の製造および施工時の環境負荷量は多くなる。しかし、材料輸送時の環境負荷量は少なく、廃材輸送量がないこともあって全体の環境負荷量は少なくなる。

6) 環境負荷量が少ない路上表層再生工法でも、路上表層再生機の輸送距離によって環境負荷が大きくなる場合がある。

今後の課題としては、舗装再生工法において、新材を用いた場合と再生材を用いた場合、プラント再生工法と路上再生工法、いずれも各工法の寿命の差異も含めた環境負荷量の試算も必要と考えられる。

参考文献

- 1) 川上、新田、加納、久保「舗装再生工法の環境負荷評価について」、土木学会、舗装工学論文集第13巻、2008.12
- 2) (社)日本道路協会 舗装委員会環境・再生利用小委員会「環境改善を目指した舗装技術(2004年度版)」、2005.3
- 3) 国土交通省「平成19年度土木工事標準積算基準書(河川・道路編)」
- 4) 新田、西崎「廃タイヤ、廃プラスチック再生資材の舗装利用に関するLCA評価」、土木学会、舗装工学論文集第13巻、2008.12
- 5) (社)セメント協会「セメントのLCIデータの概要(ポルトランドセメント)」、2007.6
- 6) (社)日本石鹼洗剤工業会「ヤシ油脂肪酸のLCIデータの概要」、2003.1
- 7) 伊坪、稲葉「ライフサイクル環境影響評価手法」、産業環境管理協会、付録CD-ROM、2005.9
- 8) 資源エネルギー庁「総合エネルギー統計平成12年度版」、通商産業研究社、2001.5

【英文要旨】

A STUDY ON EVALUATING METHOD OF PAVEMENT TECHNOLOGY THAT MITIGATE ENVIRONMENT LOAD

In this study, we categorized the various pavement technologies which were developed as mitigating environment load. Those are classified into types, environmental incident and index of property of each technology. Also we calculated the amount of environmental load through the lifecycle which is about the Reclaimed Asphalt pavement that works effectively as recycling materials.

As a result, the environmental load of in-place recycling method is smaller than off-site recycling method. However, the amount of environmental load will be increased depends on the transportation distance of construction machine. In that case, it is necessary to consider selecting this method.

Keywords : Environment load, LCA, CO₂ emission, In-place recycling, Reclaimed Asphalt pavement