

舗装再生工法の環境負荷評価について

川上篤史¹・新田弘之²・加納孝志³・久保和幸⁴

¹正会員 独立行政法人土木研究所道路技術研究グループ（〒305-8516 茨城県つくば市南原 1-6）

E-mail : kawakami@pwri.go.jp

²正会員 工修 独立行政法人土木研究所材料地盤研究グループ（〒305-8516 茨城県つくば市南原 1-6）

³正会員 工修 独立行政法人土木研究所道路技術研究グループ（〒305-8516 茨城県つくば市南原 1-6）

⁴正会員 工修 独立行政法人土木研究所道路技術研究グループ（〒305-8516 茨城県つくば市南原 1-6）

舗装の再生工法は、これまで広く行われてきており、物質のリサイクルとしての役割は十分に果たしてきているが、CO₂排出をはじめとした環境負荷については不明な点もあり、特に資材の調達から輸送、施工、廃棄のサイクルを通じた環境負荷量は明らかになっていないのが現状である。そこで、一般的な舗装補修工事（新材・再生骨材を用いた場合）と、路上再生工法について環境負荷量を試算した。その結果、新材を用いた舗装補修工事よりも再生骨材を用いた方が環境負荷は小さく、路上再生工法ではさらに環境負荷が小さくなることが分かった。しかし、路上再生工法に使用する施工機械の輸送距離が長くなると、環境負荷が大きくなる場合もあるので、環境負荷を十分考慮して工法を選定する必要があることが分かった。

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

1. はじめに

地球温暖化をはじめ様々な環境問題が顕在化する中、多方面で環境負荷低減へ向けた活動が非常に活発になっている。環境負荷低減への活動の中の一つとしてリサイクルがあるが、舗装分野においては古くからリサイクルに取り組み、現在では非常に高いリサイクル率を達成するに至っている¹⁾。

舗装の再生工法としては、プラント再生や路上再生がある。これらの再生工法は、物質のリサイクルとしての役割は十分に果たしてきているが、CO₂排出をはじめとした環境負荷については不明な点もある。これまで舗装再生工法についてCO₂排出量が検討された事例²⁾³⁾はあるが、再生工法の種類、試算条件について限定的であったり、資材の調達から輸送、施工、廃棄のサイクルを通じた環境負荷量は明らかになっていないのが現状である。また、これまで土木研究所においては、CO₂排出、エネルギー消費の検討⁴⁾を行ってきたが、その他の環境負荷まで含めた検討は行っていなかった。

そこで、本稿では、一般的な舗装補修工事と、環境負荷が小さいと言われる路上再生工法について環境負荷量を試算するとともに、環境負荷を考慮した再生工法の選定について検討した結果について報告する。

2. 試算概要および試算条件

今回、環境負荷量の試算を行う舗装工事の設定にあた

っては、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種機械を各地へ輸送し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。

(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-1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。

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

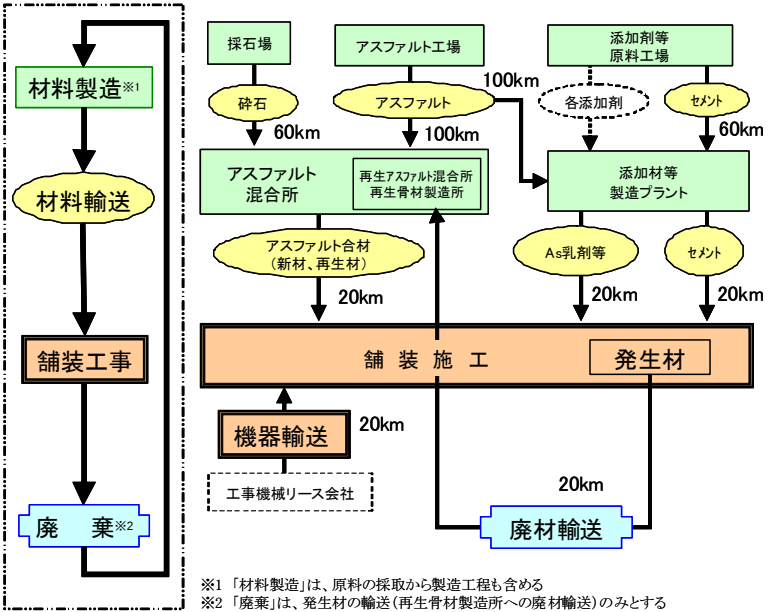
工事に使用する資材の物質量および機器等の使用数量については、工事規模や材料輸送量、および土木工事標準積算基準書⁵⁾等に従い材料条件(表-2)、対象工種(切削オーバーレイ工、路上表層再生工、道路打換え工、路上再生路盤工)の使用機器(表-3)およびその使用数量、日当り施工量等により算出した。

(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。

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⁶⁾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



※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-1 舗装工事における検討範囲

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
打換え厚	3cm切削 5cmオーバーレイ		(リミックス) 3cm切削 5cmオーバーレイ
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) 表層5cm切削→瀝青安定処理路盤に打換え 表層5cmオーバーレイ		10cm混合→再生路盤構築 表層5cmオーバーレイ
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)、 砕石単位体積重量: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%、砕石単位体積重量: 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、日当たり施工量、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

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⁹⁾が、我が国で開発された LIME (Life-cycle Impact assessment Method based on Endpoint modeling) 係数^{9),10)}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. 環境負荷量の試算結果

(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-2)。これによると、SO_x, 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

表-4 環境負荷原単位の設定

項目 (単位)	エネルギー量 (MJ)	CO ₂ 排出量 (kg)	SO _x 排出量 (kg)	NO _x 排出量 (kg)	SPM排出量 (kg)	出典
電力	9.09E+00	4.00E-01	5.15E-05	1.62E-04	1.72E-06	JEMAI-LCA
ガソリン	3.51E+01	2.47E+00	7.57E-05	7.61E-04	8.62E-05	
軽油	3.82E+01	2.69E+00	8.24E-05	8.29E-04	9.39E-05	
アスファルト	4.33E+00	2.48E-01	1.64E-03	1.14E-03	—	
砕石(新材)	1.78E+01	9.05E-01	8.23E-05	3.33E-04	1.46E-05	
再生骨材	7.85E+01	4.28E+00	3.35E-04	1.52E-03	8.56E-05	文献6
As混合物	3.85E+02	2.62E+01	1.18E-02	7.83E-03	8.51E-04	
再生As混合物	4.23E+02	2.89E+01	1.29E-02	8.62E-03	9.36E-04	
セメント	—	7.72E-01	7.20E-05	1.43E-03	2.80E-05	文献7
As乳剤	2.43E+00	1.60E-01	8.30E-04	5.89E-04	1.35E-06	積み上げ法
工業用水	5.69E+00	1.00E-01	1.31E-05	3.95E-05	5.56E-07	JEMAI-LCA
塩酸	—	1.08E+00	7.19E-04	4.70E-04	1.07E-04	JEMAI-LCA
界面活性剤	—	1.03E+00	—	7.20E-04	2.35E-05	文献8 ^{※1}

※1 界面活性剤については、成分的、製造工学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。

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質量

排出段階	ケース	物質質量			算出根拠
		①	②	③	
材料製造	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	輸送距離×燃料消費率
	施工	軽油	300.9L	300.9L	施工面積×燃料消費率
		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

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 MJ	CO ₂ kg	SO _x kg	NO _x kg	SPM 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	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 MJ	CO ₂ kg	SO _x kg	NO _x kg	SPM 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	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 MJ	CO ₂ kg	SO _x kg	NO _x kg	SPM 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	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

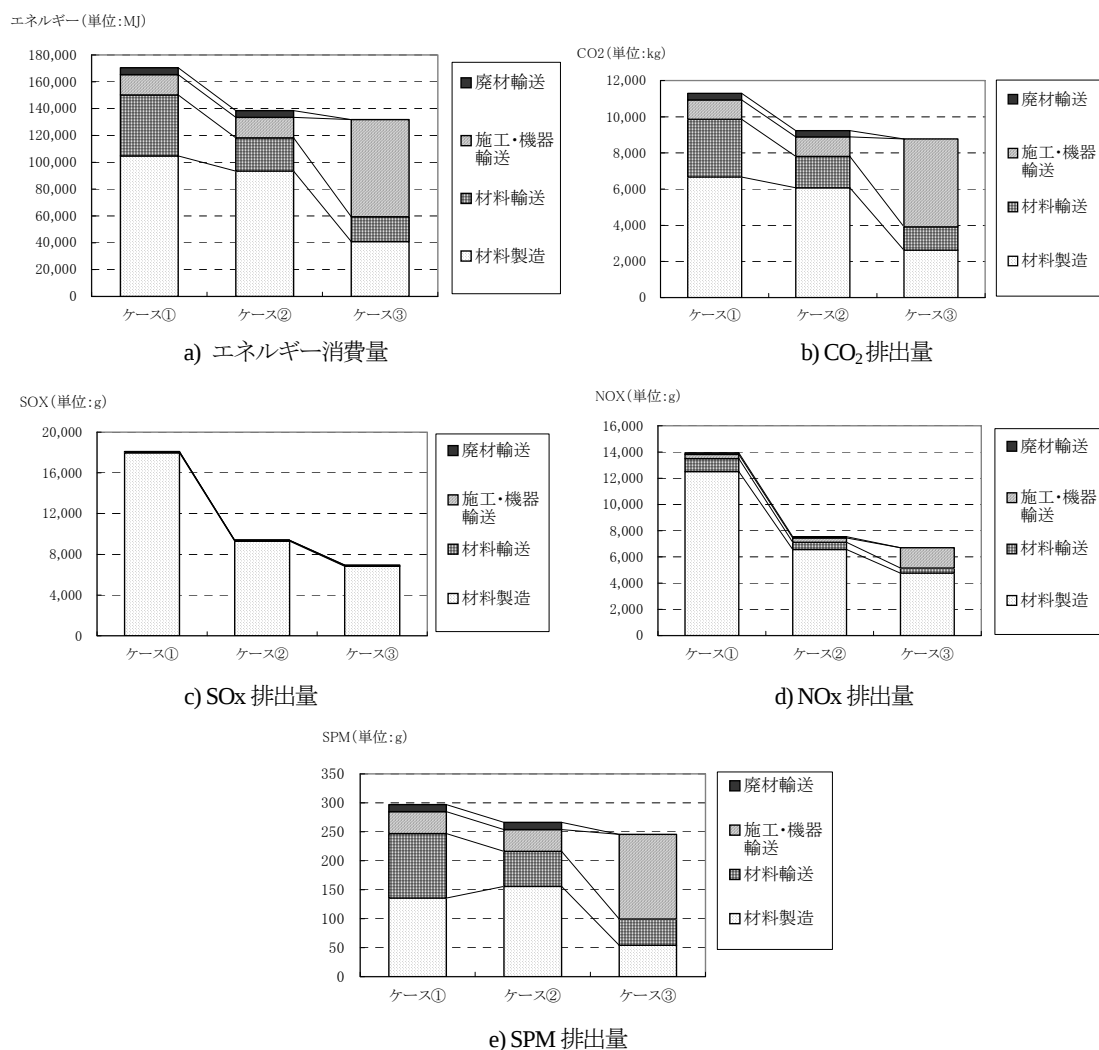


図-2 各環境負荷量

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-3 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-4 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た。

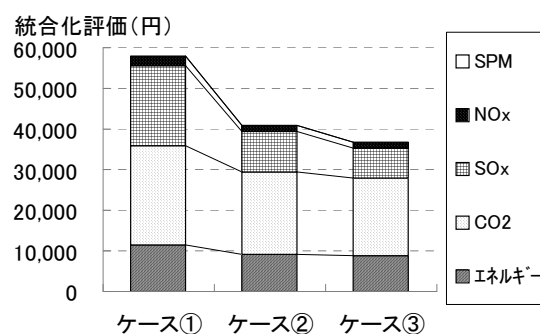


図-3 各環境負荷物質量の統合化

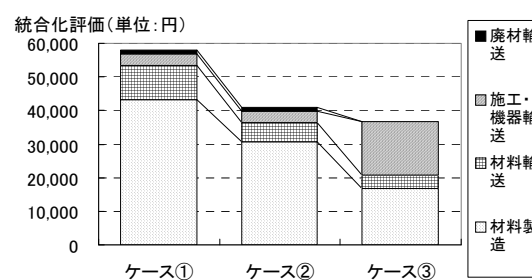


図-4 統合化による環境負荷量の排出段階毎の比較

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 CO_2 排出量の影響が大きかったことから, CO_2 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-5)。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-5 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 CO_2 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 CO_2 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 CO_2 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-6 に示すとおり, 骨材の製造段階での CO_2 排出量が少しずつ増加している反面, アスファルトの製造, 材料輸送の減少量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, CO_2 排出量が若干増加したものとなった。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 CO_2 排

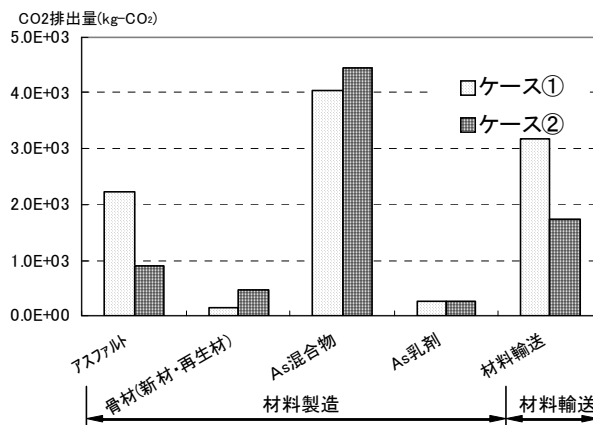


図-5 ケース①および②の CO_2 排出量の比較
(「材料製造」・「材料輸送」段階を抽出)

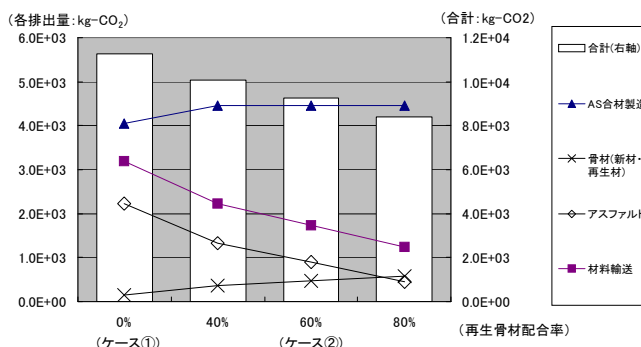


図-6 再生骨材混合率による環境負荷量の比較

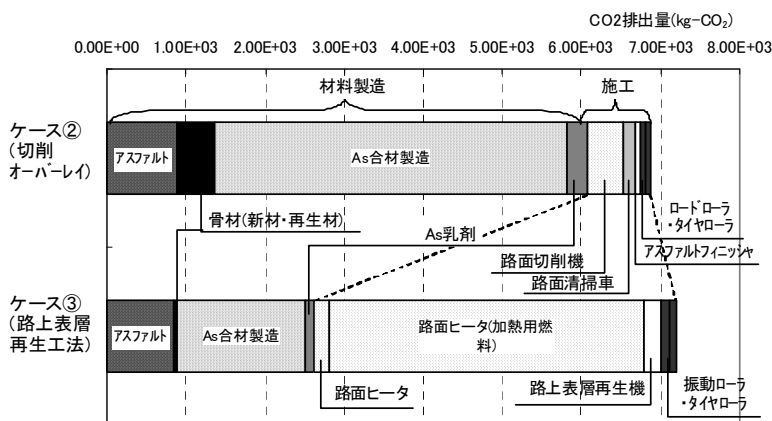


図-7 ケース②および③の CO_2 排出量の比較
(「材料製造」, 「施工」を抽出)

出量も減少した(図-6 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-2b) で示したとおり全工程での CO_2 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 CO_2 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-7)。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いまであった。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良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-8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。

(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-9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)。

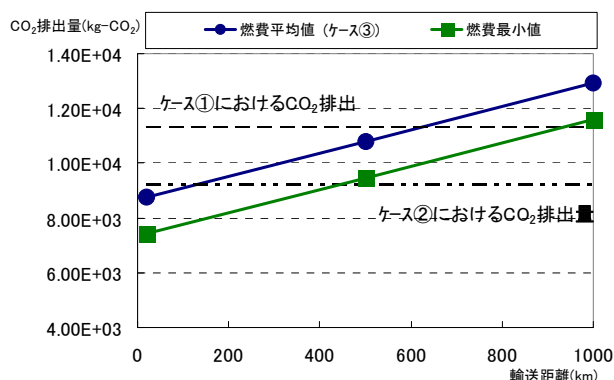


図-8 路上表層再生機の輸送距離による比較

5cm 15cm 20cm	アスコン	撤去	アスコン	5cm
	粒調碎石		瀝青安定処理(加熱混合)	5cm
	クラッシャーラン		粒調碎石	15cm
			クラッシャーラン	20cm

a) ケース④、⑤の工事内容

5cm 15cm 20cm	アスコン	路上再生	アスコン	5cm
	粒調碎石		セメント・瀝青安定処理	10cm
	クラッシャーラン		粒調碎石	10cm
			クラッシャーラン	20cm

b) ケース⑥の工事内容

図-9 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		物質質量			算出根拠
		ケース④	ケース⑤	ケース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	—	—	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
舗装工事	機器輸送	軽油	101.2L	101.2L	輸送距離×燃料消費率
	施工	軽油	546.1L	546.1L	施工面積×燃料消費率
		ガソリン	0.4L	0.4L	施工面積×燃料消費率
廃棄	廃材輸送	軽油	196.8L	196.8L	輸送距離×燃料消費率

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-10)。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-11)。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-12)。

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で、図-10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。

4. まとめ

今回の試算で得られた結果をまとめると以下の通りである。

- 1) 切削オーバーレイ工法および路上表層再生工法の材料製造から廃棄までの各排出段階の環境負荷量は、材料製造が多くを占め、特に切削オーバーレイ工法では全体の7割程度となる。また、材料製造段階の中ではAs混合物製造とアスファルトの製造にかかるCO₂排出量が多い。
- 2) 新材と再生骨材を用いた切削オーバーレイ工法では、後者の方が骨材製造およびAs混合物製造に係るCO₂排出量は多くなるが、用いる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。
- 3) 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CO₂排出量は多くなる。しかし、材料輸

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

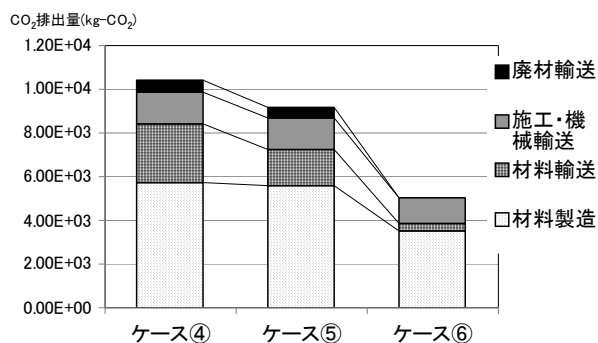


図-10 ケース④、⑤、⑥のCO₂排出量の内訳(表層を除く)

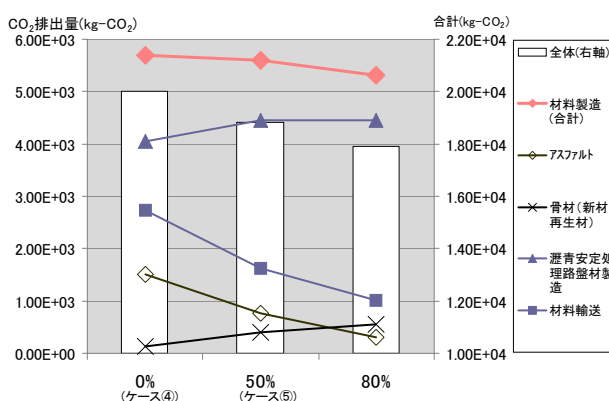


図-11 再生骨材配合率によるCO₂排出量の変化

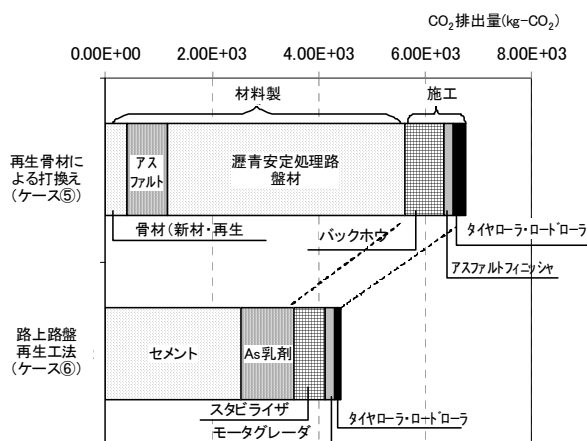


図-12 打換えと路上路盤再生工法のCO₂排出量の比較
(「材料製造」、「施工段階」を抜粋)

送時の CO₂ 排出量は少なく、廃材輸送量がないこともあって全体の CO₂ 排出量は少なくなる。

- 4) CO₂ 排出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。
 - 5) 路盤の打換えにおいて、再生材(再生材率 50%)を用いた瀝青安定処理路盤(加熱混合)は、新材を用いた場合より 1 割程度 CO₂ 排出量は少なくなり、路上路盤再生工法(セメント・瀝青安定処理)では 5 割削減される。
- 今後の課題としては以下のことが考えられる。
- 1) 使用する機械については、切削機や路上表層再生機など製造による環境負荷量が大きいものと推察されるが、今回の試算では反映されていないことから、今後は考慮する必要がある
 - 2) 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も含めた長いスパンでのライフサイクルを通じた環境負荷量の試算も必要と考えられる。
 - 3) 材料製造時の対策技術(中温化等)の組み合わせによりさらなる環境負荷が低減すると考えられる(その際には、中温化材等の製造に係る試算が必要)。

参考文献

- 1) 国土交通省：平成 17 年度建設副産物実態調査結果について、2006.12
- 2) 天野，牧田：舗装発生材のリサイクルによる二酸化炭素排出と建設コストの低減効果について，環境システム研究，vol.26，pp.253-259，1998
- 3) 田井，長谷川：CO₂ 排出量に着目した舗装技術の方向に関する調査研究，アスファルト，vol.43，No.204，pp.43-51，2000
- 4) 寺田，坂本，片脇：エネルギー消費量および CO₂ 排出量から算定した省資源・省エネ舗装，舗装，30-2，1995.2
- 5) 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)
- 6) 新田，西崎：舗装資材の環境負荷原単位に関する検討，土木学会，第 63 回年次学術講演会，2008.9
- 7) (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
- 8) (社)日本石鹸洗剤工業会：ヤシ油脂肪酸の LCI データの概要，2003.1
- 9) 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
- 10) 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

ENVIRONMENT LOAD OF PAVEMENT RECYCLING METHOD

Atsushi KAWAKAMI, Hiroyuki NITTA, Takashi KANOU and Kazuyuki KUBO

In Japan, the Reclaimed Asphalt pavement have been widely used, and it works effectively as recycling materials. However, it does not make clear about the amount of environmental loads (CO₂ emission, etc) through the lifecycle, such as material production, transportation, construction and rejection. Then, we evaluated environmental load through the lifecycle using general method of reclaimed asphalt pavement and in-place recycling method.

The result is that the amount of CO₂ emission of off-site recycling method is obviously fewer than its using new material, besides that in-place recycling method is even smaller than the others. However, it reveals that CO₂ emission is increased, in case of the construction machine for in-place recycling is transported for long distance, In that case, it is necessary to consider selecting this method.