

特集：地球環境問題に立ち向かう

舗装工事におけるCO₂排出量削減技術の取り組み

寺田 剛* 川上篤史** 久保和幸***

1. はじめに

1997年12月に開催された地球温暖化防止京都会議（COP3）で、日本の温室効果ガス排出量削減目標は2008年から2012年までの期間において1990年比で6%（削減量6000万t）削減するように定められた。2001年に世界のCO₂排出量の44%を占めるアメリカが離脱したため発効に至っていなかったが、2004年にロシアが批准したことから2005年2月に京都議定書が正式に発効された。これにより「地球温暖化対策推進大綱」が「京都議定書目標達成計画」に名称が変更され、国全体を対象とした総合的な取り組みが進められている。しかし、2004年度の温室効果ガスの総排出量¹⁾は13億5,500万トン（CO₂換算）であり、京都議定書の規定による基準年（1990年、ただし、代替フロン等3ガスについては1995年）の総排出量12億5,500万トンを8%上回っており、CO₂排出量を削減することが急務となっている。

全国レベルでCO₂排出量削減が取り組まれているが、舗装分野においてもCO₂排出量の算定手法やCO₂排出量削減のための技術開発が進められている。

土木研究所では各素材の原単位から維持修繕までのライフサイクルで検討できるように算定手法を提案し、道路協会より刊行された「舗装性能評価法別冊」²⁾に反映しており、本報では、その概要を示すとともに、CO₂削減工法の代表例としてアスファルトプラントでの材料の加熱温度を低くすることで、製造時のCO₂排出量を10%以上低減させる中温化技術やCO₂排出量削減に効果があるといわれている舗装再生工法についてその技術の概要とCO₂排出量試算結果を紹介する。

2. 土木事業及び道路におけるCO₂排出量

2.1 土木事業及び事業別におけるCO₂排出量

平成3年度～7年度に土木研究所で行われた総

合技術開発プロジェクト「省資源・省エネルギー型国土建設技術の開発」において産業連関表を用いて土木事業全体及び事業別におけるCO₂排出量の算定³⁾を実施している。図-1に日本の全産業に対する建設関連分野のCO₂排出量の比率を示す。これによると土木、建築を合わせた建設業全体で全産業に対する割合は23.2%、土木事業の割合は9.7%となっており、全産業のうちの1割が土木事業から排出していることが分かる。また、土木事業における事業ごとの内訳を図-2に示す。これによると道路部門が25.7%と最も大きな比率となっていることが分かる。

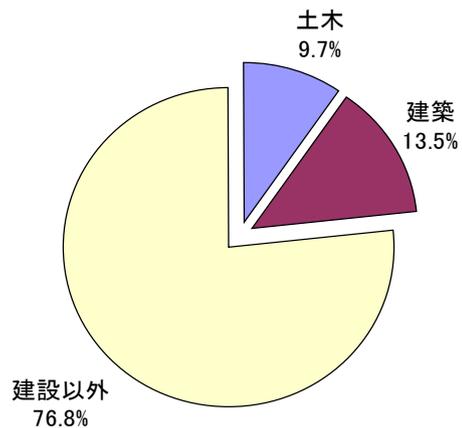


図-1 全産業に対する建設関連分野のCO₂排出量の比率

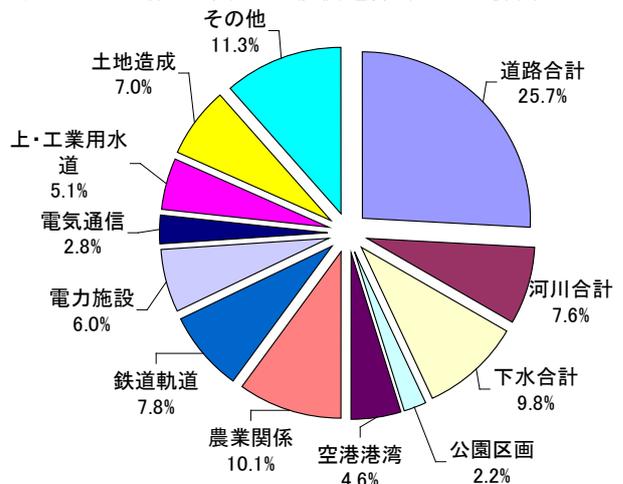


図-2 土木事業におけるCO₂排出量の内訳³⁾

2.2 資材・燃料別のCO₂排出量

土木事業においてどの資材・燃料が多くCO₂を排出しているか調べた結果⁴⁾では図-3に示すよ

Approach of CO₂ exhaust amount reduction technology in paving work

うに、セメントが一番多く、アスファルト系材料が5.3%と量的には少ないが、セメント、鉄鋼に次いで3番目に多い結果となっている。

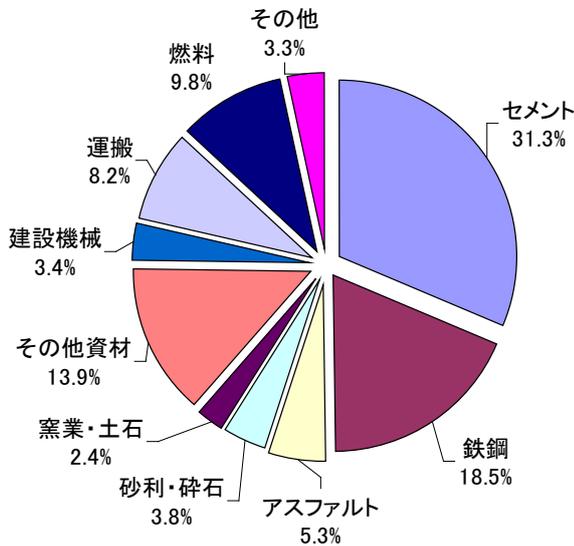


図-3 CO₂排出量の資材・燃料別内訳

2.3 土木工事別のCO₂排出量

産業連関分析では道路舗装や橋梁など工事ごとのCO₂の排出量が分からないため実際の工事積算より資材、燃料および建設機械の数量を積み上げ、代表的な10工事について算定⁴⁾している。各工事の請負工事費1円あたりのCO₂排出量の結果を図-4に示す。道路舗装、PC橋および下水道のシールド工事がCO₂を多く排出していることが分かる。

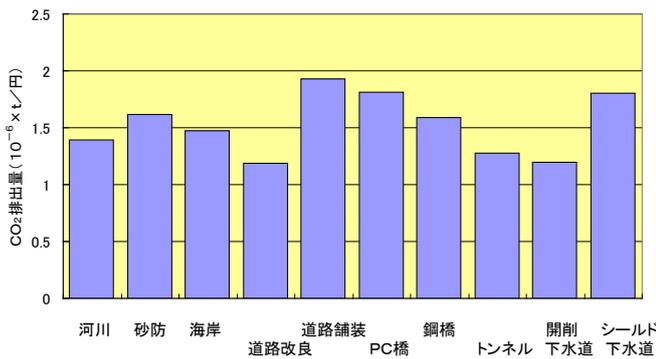


図-4 各工事の請負工事費1円あたりのCO₂排出量

3. CO₂排出量算定手法の提案

上記のような状況であることから、排出している。舗装工事においても計画的に削減を行い少しでも地球環境の改善に寄与する必要があるため、土木研究所ではCO₂排出量算定手法を提案し、

「舗装性能評価法別冊」²⁾に反映した。以下にその評価法の概要を示す。

3.1 性能指標と定義

評価法の作成に当たっては、「CO₂排出量削減値」を一般的な舗装工事に比べ、建設段階、あるいは建設段階から解体処分段階までの合計のCO₂排出量を削減する技術の評価できる性能指標として定義し、本指標により評価を行うこととした。CO₂排出量低減値が高いほどCO₂排出量の抑制効果が高いことを示している。

3.2 測定方法

CO₂排出量低減値の評価に用いる測定方法として、CO₂原単位を用いた測定方法を適用した。

CO₂排出量は、現地あるいは室内で直接計測することは困難である。したがって、舗装工事で消費する各材料の数量、施工機械の運搬に伴う数量、施工機械稼働時間、燃料使用量等からそれぞれのCO₂原単位を乗じてCO₂排出量を算定する方法を採用した。CO₂原単位とは、環境負荷量を推計する上で必要となる各々の使用単位当たりまたは金額(円)当りの環境負荷量である。特にCO₂排出量の場合、CO₂排出係数またはCO₂排出強度と呼ぶこともある。CO₂排出量を表す単位としてはCO₂換算質量(kg-CO₂)を用いる。

3.3 評価の手順

CO₂排出量低減値の評価は以下に示す手順で行う。

- ①建設段階、維持管理段階、取壊し処分段階から、あるいは建設段階までといった評価する範囲を確認する。
- ②算定方法に従い、工事に必要な施工機械、資材、資機材運搬車、燃料使用量を計上し、その数量にそれぞれの原単位を掛けCO₂排出量を算出する。(原単位は「舗装性能評価法別冊」²⁾を参照)
- ③評価対象舗装について①の範囲におけるCO₂排出量を算定する。
- ④(式-1)によりCO₂排出量低減値を求め、基準値と比較して評価する。

$$A = \frac{B - C_p}{B} \times 100 \quad \dots \dots (式-1)$$

ここで、 A : CO₂排出量低減値 (%)
 B : 一般的な舗装工事のCO₂排出量
 C_p : 評価対象技術のCO₂排出量

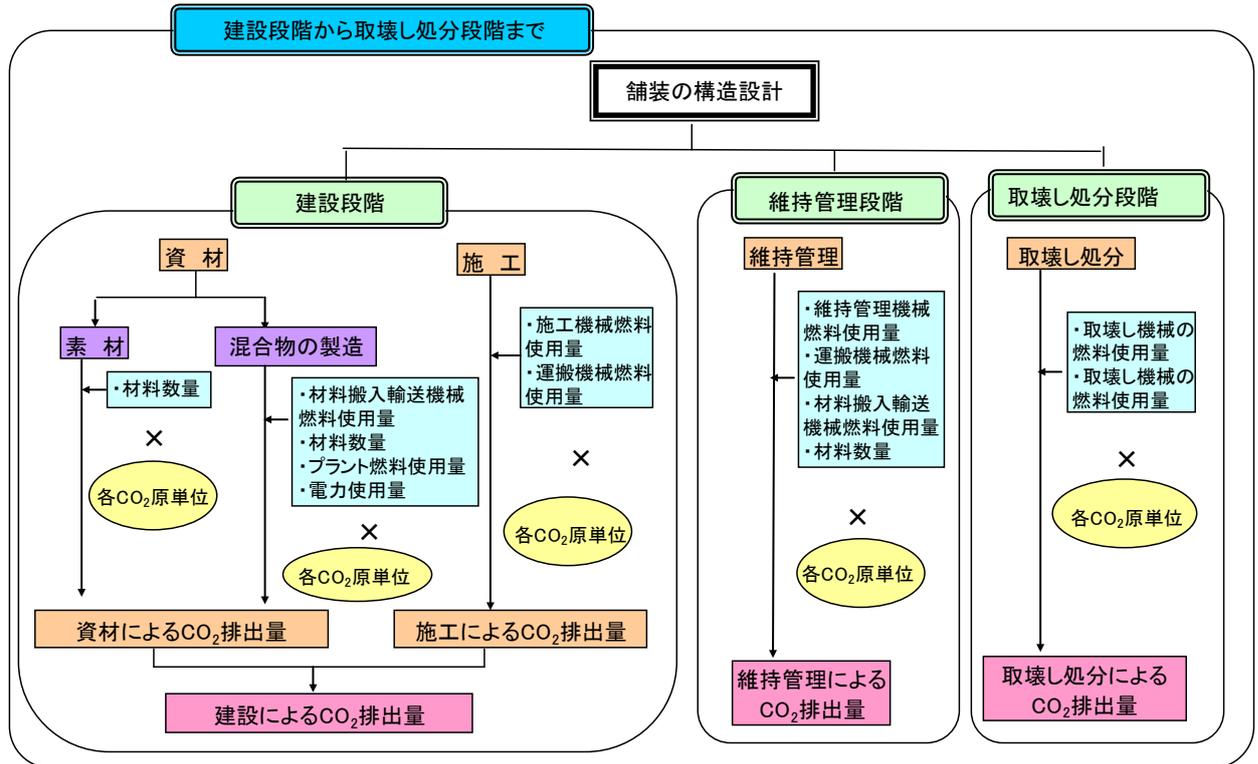


図-5 CO₂原単位を用いたCO₂排出量算定評価範囲

- (1) CO₂排出量低減値を評価する範囲は、道路管理者が決定する。通常の舗装工事は、図-5に示すように建設段階（新設工事、打換工事、オーバーレイ工事等）、維持管理段階（シール工法、パッチング工法等）および取壊し処分段階がある。CO₂排出量低減値を評価するには、これらの段階から新設工事での評価や新設工事および維持修繕を含めた工事とするか、新設から取壊しまでとするかを考慮して評価範囲を設定する。
- (2) 一般的な舗装に比べ、建設段階にCO₂排出量が低減できる工法であっても維持管理段階や解体処分段階にCO₂排出量が増加する場合、あるいはライフサイクルが短く結果的にCO₂排出量が増加する場合が考えられ、これを評価に反映することが必要となる。

4. 舗装工事におけるCO₂排出量削減技術

近年の研究においてCO₂排出量削減に効果があるといわれている舗装工法や技術についてCO₂排出量試算結果とその技術を紹介する。

4.1 中温化技術

近年、加熱アスファルト混合物の製造時及び舗装の施工時における温度を低減することができる中温化技術が開発され注目をあびている。通常使用されている加熱アスファルト混合物は製造時に

多量のエネルギーが消費されCO₂が排出される。これに対して、中温化技術を用いた加熱アスファルト混合物はプラントでの混合温度を30℃程度低減することで、CO₂排出量を削減しようという技術である。

中温化技術は現在公表されているものとして5社5種類^{5)~9)}あり、混合温度を30℃程度低減させても、品質や施工性を確保できるとしており、混合性や施工性を向上させる手法にそれぞれ特徴がある。これらの手法を大別すると①アスファルトに発泡剤を添加し微細泡による効果を利用したもの2種類（中温化技術A、B）、②粘度調整剤を添加しアスファルトの粘度を調整したもの2種類（中温化技術C、D）、③アスファルトと水を混合し発泡させたフォームド技術を利用したもの1種類（中温化技術E）に分類できる。以下にそれぞれの中温化技術についての概要を説明する。

4.1.1 中温化技術の概要

(1) 中温化技術 A⁵⁾

アスファルトに発泡剤および発泡強化剤など数種の特種添加剤を添加し、アスファルトモルタル内に微細泡を発生・分散させ、アスファルト混合物を製造し、微細泡の働きによって混合性及び締固め性を向上させたものである。図-6に締固め効果の概念図⁵⁾を示す。

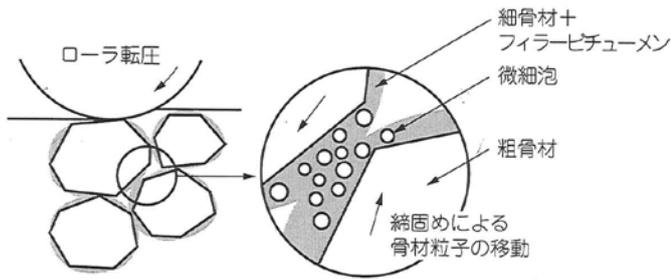


図-6 締固め効果の概念図⁵⁾

(2) 中温化技術 B⁶⁾

アスファルトに特殊発泡剤+助剤を添加させたケミカルフォームドアスファルト (ChF) を利用しChF中の泡がバインダの粘度を低下させ、温度を低減させても良好な施工性を確保させたものである。図-5にChFの機構概念図⁶⁾を示す。

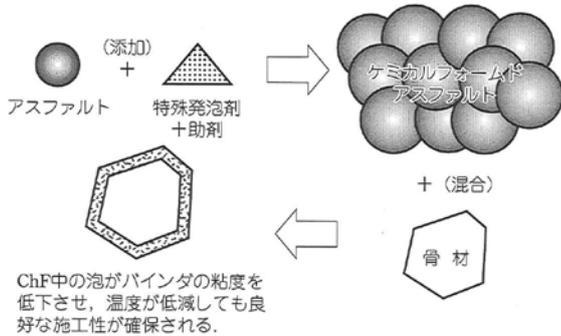


図-5 ChFの機構概念図⁹⁾

(3) 中温化技術 C⁷⁾

アスファルトの組成と分子量分布を調整する添加剤をアスファルト混合物製造時に添加・混合することで、製造・施工領域のコンシステンシが低下され、製造・施工温度を低下させたものである。

(4) 中温化技術 D⁸⁾

アスファルトの粘弾性を改善する特殊添加剤を添加することにより、骨材を被覆しているアスファルトの表面部分の粘度を低下させ混合性と締固め特性の向上を図ったものである。粘弾性改善アスファルト混合物の概念⁸⁾を図-6に示す。

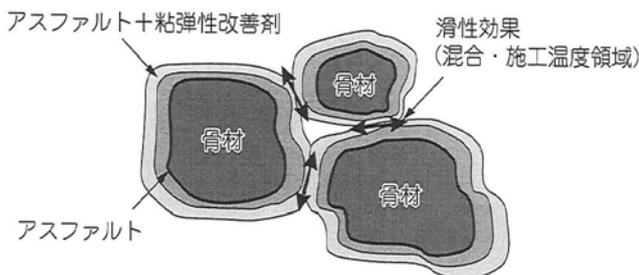


図-6 粘弾性改善アスファルト混合物の概念図⁸⁾

(5) 中温化技術 E⁹⁾

加熱アスファルト混合物製造時にフォームドアスファルトをバインダとして使用し、微細な泡を形成することによってアスファルトの見かけの粘性を低下させ、混合性を向上させたものである。フォームドアスファルトとは、アスファルトと常温の水をミックスチャンバ内で混合し発泡させ、噴射ノズルからフォームドアスファルトを噴射するものである。図-7にフォームドアスファルト製造装置の概略⁹⁾を示す。

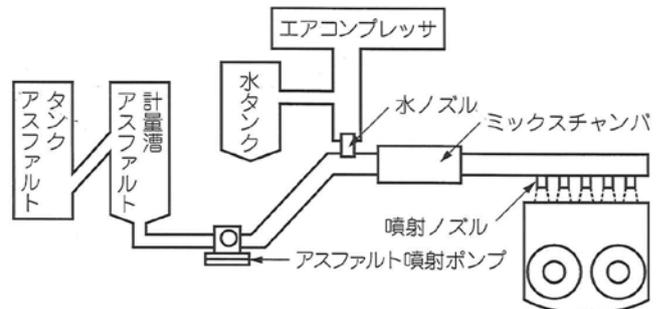


図-7 フォームドアスファルト製造装置の概略図⁹⁾

4.1.2 CO₂削減量

表-1に各中温化技術の特徴とCO₂削減量をまとめた結果を示す。CO₂排出量の算定は、アスファルトプラントで通常一般的に混合している標準混合温度 (改質アスファルトは180℃、ストレートアスファルトは160℃) で混合物を製造した時に排出したCO₂排出量を100%とした時に30℃低減させた時のCO₂削減量を求めている。CO₂排出量の算定は、図-5に示す混合物の製造のみで資材、材料及び施工におけるCO₂排出量は含んでいない。

表-1 各中温化技術の特徴とCO₂削減量

中温化技術	特徴		CO ₂ 削減量 [※] (%)	
	技術的要件	改善点	改質アスファルトII	ストレートアスファルト
A	特殊添加剤混入	・粘性の低下 ・混合性の向上 ・締固め性の向上	13	14
B			-	-
C	減粘剤混合		13.2	14.4
D			-	20
E			-	19.5

注)※混合温度30℃低下させた時のCO₂削減量(%).文献からの引用値

この結果から、すべての中温化技術とも10%以上の削減が可能で、中温化技術Dのストレートアスファルトを使用した混合物では最大で20%の削減が可能である。

4.2 舗装再生工法

資源を有効利用するために舗装分野ではリサイクルが進んでおり、既に再資源化率98%以上の実績がある。現在、リサイクルするための舗装再生工法として実績の多い工法には、既設舗装材を表

層へ再利用するプラント再生舗装工法や路上表層再生工法がある。これらの工法は、CO₂を削減する舗装技術としても有効である。どの位有効であるか、一般的な舗装補修工事で行われる切削オーバーレイ工法とCO₂排出量を試算し比較を行った。CO₂排出量試算結果とその技術を紹介する。

4.2.1 舗装再生工法の概要

(1) プラント再生舗装工法

舗装の補修工事で発生する材料（舗装発生材）等を適切に処理することができる定置式の混合所（プラント）を使用し、必要に応じて新材を足すことにより基層、表層用アスファルト混合物あるいは路盤材として再生利用する工法である。「舗装設計施工指針」の再生材の品質を満足すれば新しい材料のみを用いた場合と同等に扱われる。

(2) 路上表層再生工法

路上において既設表層混合物を加熱、かきほぐし、必要に応じて新しいアスファルト混合物や再生添加材を加え、これを混合、敷きならし、締め固めて新たに表層を作る工法をいう。リミックス方式とリペーブ方式がある。図-10に機械編成を、図-11に各方式の作業の流れの模式図を示す。

1) リミックス方式

かきほぐした既設表層混合物に新規アスファルト混合物や再生添加剤を品質改善のために混合し、敷きならし後締め固める工法である。

2) リペーブ方式

再生用添加剤を添加しながらかきほぐした既設表層混合物を攪拌後、その上に別途新規アスファルト混合物を敷きならし、同時に締め固める工法である。

4.2.2 CO₂排出量試算結果

(1) 試算の条件

CO₂排出量の試算は、①新材を用いた切削オーバーレイ工法 ②プラント再生材（再生材率60%）を用いた同工法 ③路上表層再生工法（リミックス工法）の3ケースで実際の舗装工事に適用した場合を想定して以下の条件で行った。

- ① 工事規模：道路の幅員3.25m、2車線、延長200m（施工面積1,300m²）
- ② 路上再生工法はリミックス工法として、既設舗装を厚さ3cmかきほぐし、その上に2cmの新規アスファルト混合物を敷きならす。
- ③ プラント再生工法は、舗装発生材：新規ア

スファルト混合物の配合割合を6：4（再生材率60%）とした。

- ④ 比較のための切削オーバーレイは、既存の舗装面の切削厚さを3cmとし、オーバーレイ厚を5cmとした。
- ⑤ 資材、使用機器等の数量は土木工事標準積算基準書¹⁰の舗装工事に示されている値とし、資材、機械等の運搬距離は図-12に示す値とした。

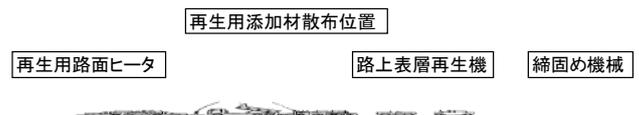


図-10 路上表層再生工法の機械編成

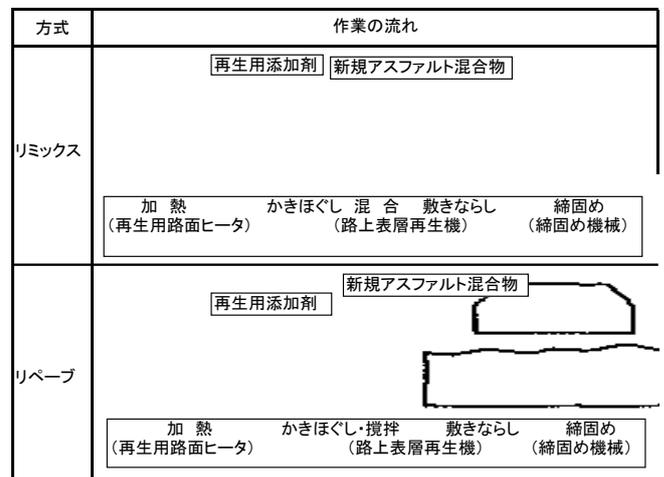


図-11 各方式の作業の流れ

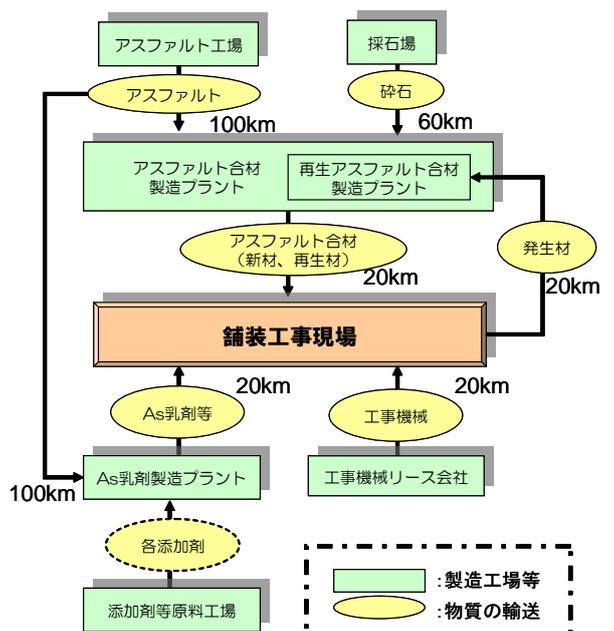


図-12 CO₂排出量試算検討範囲の資材、機械の運搬距離

(2) CO₂排出量試算結果

3ケースのCO₂排出量試算結果を図-13に示す。新材を用いた切削オーバーレイ工法に比べ、舗装再生工法の2工法ともCO₂排出量は削減され、2工法とも約20%減と大幅な削減となっている。これは、両工法とも舗装発生材を再利用する工法であるため、プラント再生はアスファルトの製造および材料の運搬に伴うCO₂排出量が、路上表層再生は施工時（再生用路面ヒータの加熱用燃料の使用量）のCO₂排出量が増えたものの、アスファルトおよび合材の製造並びに材料の運搬に伴うCO₂排出量が大幅に減ったことによるものである。

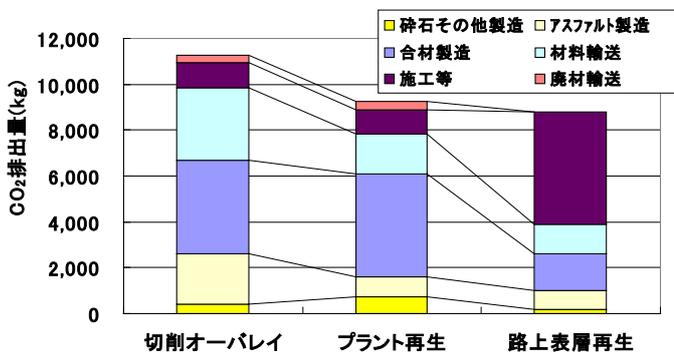


図-13 CO₂排出量試算結果

5. おわりに

過去の総プロの研究では、舗装分野においてCO₂排出量を削減するには、資材、燃料、施工機械の使用量の削減、建設機械の燃費の向上ならびに寿命の延命が図られている資材や工法を採用することにより大幅に寄与できる可能性が示唆されている。このことより、CO₂排出量を削減できる舗装技術としては、CO₂排出量削減効果が明らか

になった中温化技術および舗装再生工法はもとより、それ以外では、寿命を延ばすことが可能な「長寿命化舗装（繊維補強材入り舗装、コンポジット舗装、エポキシアスファルト舗装、プレキャスト舗装）」や「コンクリート舗装」が有効な舗装技術であると考えられる。

舗装ストックを適切に維持管理しつつ、環境の改善にも貢献するためには、こうした多様な舗装技術の普及・推進が必要である。

参考文献

- 1) 中央環境審議会：地球温暖化推進大綱の評価・見直しに関する中間取りまとめ、平成16年8月
- 2) 舗装性能評価法別冊：(社)日本道路協会、平成20年3月
- 3) 建設省土木研究所：資源・エネルギー消費、環境負荷の算定手法の開発と実態調査報告書(その1)、土木研究所資料第3167号、平成5年2月
- 4) 建設省土木研究所：資源・エネルギー消費、環境負荷の算定手法の開発と実態調査報告書(その2)、土木研究所資料第3256号、平成6年3月
- 5) 吉中ほか：環境保全を指向したアスファルト舗装技術に関する研究、土木学会舗装工学論文第2巻、pp.239~248、1997.12
- 6) 海老澤ほか：ケミカルフォームドアスファルトを用いた中温化技術について、第23回日本道路会議一般論文集、pp.274~275、1997.10
- 7) 加納ほか：アスファルト成分に着目した中温化技術、道路建設、pp.42~47、1999.7
- 8) 市岡ほか：粘弾性状を改善したアスファルト混合物の開発と中温化技術への応用、道路建設、pp.30~35、2001.8
- 9) 美馬ほか：フォームドアスファルトを利用した中温化混合物の施工事例、第23回日本道路会議一般論文集、pp.156~157、1997.10
- 10) 国土交通省：平成19年度土木工事標準積算基準所(河川・道路)

寺田 剛*



独立行政法人土木研究所
つくば中央研究所道路技術研究グループ舗装チーム主任研究員
Masaru TERADA

川上篤史**



独立行政法人土木研究所
つくば中央研究所道路技術研究グループ舗装チーム研究員
Atsushi KAWAKAMI

久保和幸***



独立行政法人土木研究所
つくば中央研究所道路技術研究グループ舗装チーム上席研究員
Kazuyuki KUBO