特集>>> 舗装

# 低炭素社会に寄与する舗装技術

川上篤史・新田弘之・久保和幸

近年，低炭素社会に向けた取り組みが一層求められており，舗装分野においても低炭素社会に寄与する技術の開発が重要となっている。「環境に配慮した舗装技術に関するガイドブック（日本道路協会，平成21年6月）」では，現在開発されている$CO_2$排出抑制機能を有する舗装技術が紹介されており，加熱アスファルト混合物の製造温度低下技術やリサイクル技術，施工の効率化技術等が挙げられている。

本稿では，これら低炭素舗装技術の概要と，その$CO_2$排出量を定量的に評価した研究事例として，加熱アスファルト混合物の製造に係る$CO_2$排出量および，リサイクル技術である舗装再生工法についてライフサイクルを通じた$CO_2$排出量の試算結果について紹介する。

**キーワード**：低炭素舗装技術，$CO_2$，中温化，舗装再生工法，加熱アスファルト混合物

## 1. はじめに

道路舗装は，道路利用者が道路を安全かつ快適に利用するために設置される重要かつ必要不可欠な社会資本施設の一つである。道路舗装は新設後，供用と共にわだち掘れやひび割れ等の発生により機能が低下することから，一定期間毎に維持修繕等を行う必要がある。そこで，舗装新設時や維持修繕時には，様々な環境に配慮された舗装技術・工法が開発・採用されているのが現状である。

一方，わが国の$CO_2$排出量は，2008年時点で12億8,000万トン（二酸化炭素換算）であり，京都議定書の基準年である1990年の12億6,100万トンに比べ，実際には1.6%増加している[1)]。したがって，わが国においては低炭素社会に向けた様々な取り組みが一層求められており，舗装分野においても同様に低炭素社会に向けた取り組みや技術開発がますます重要となってくる。

「環境に配慮した舗装技術に関するガイドブック（日本道路協会，平成21年6月）」[2)]では，$CO_2$排出抑制機能を有する舗装技術として，加熱アスファルト混合物の製造温度低下技術，常温製造技術，リサイクル技術，施工の効率化技術等が挙げられている（**表—1**）。なお，本稿ではこれらを低炭素社会に寄与する舗装技術として，以下，低炭素舗装技術と呼ぶことにする。

今後，これら低炭素舗装技術の新開発や更なる高度化，既存技術に低炭素舗装技術としての可能性を見いだすためには，$CO_2$排出削減効果の定量的評価が重要になってくると考えられる。

本稿では，これら低炭素舗装技術の概要を紹介するとともに，低炭素舗装技術の$CO_2$排出量を定量的に評価した研究事例として，加熱アスファルト混合物製造に係る$CO_2$排出量，リサイクル技術である舗装再生工法のライフサイクルを通じた$CO_2$排出量の試算結果について紹介する。

表—1 低炭素舗装技術（一部抜粋）[2)]

| 技術の種類 | | 具体の技術 |
|---|---|---|
| 舗装技術 | 加熱アスファルト混合物の製造温度低下技術 | 中温化技術 |
| | | 弱加熱技術 |
| | 常温製造技術 | チップシール |
| | | マイクロサーフェシング |
| | リサイクル技術 | プラント再生舗装工法 |
| | | 路上表層再生工法 |
| | | 路上路盤再生工法 |
| | 長寿命化技術 | コンポジット舗装 |
| | | 改質アスファルトの適用 |
| 製造技術 | アスファルト混合物の製造効率の向上技術 | バーナの燃費向上 |
| | | ドライヤ内の羽根の改良等 |
| 施工技術 | 施工の効率化技術 | 3Dマシンコントロール |

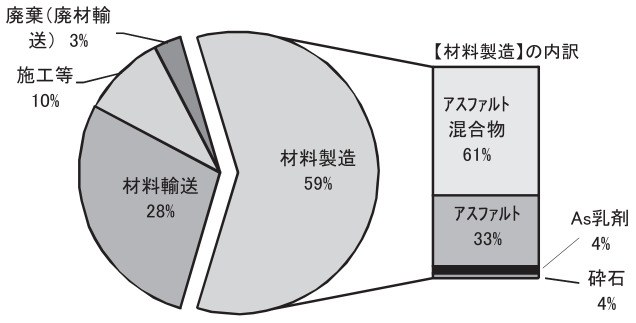
## 2. 舗装工事と $CO_2$ 排出の関係

舗装工事における $CO_2$ は，舗装材料の製造から，材料の輸送，現地での施工，廃棄（既設舗装の撤去）の全ての工程において排出されている。舗装工事の $CO_2$ 排出量を定量的に把握するには，使用した資材や機器等の燃料消費量を算出し，$CO_2$ 排出量原単位を乗ずることによって求めることができ，「舗装性能評価法別冊－必要に応じて定める性能指標の評価法編－」[3] においても，**図―1** に示すとおりライフサイクルを考慮することが求められている。

一般的な舗装補修工事（表層切削オーバーレイ工事）における $CO_2$ 排出量の試算例[4] を**図―2** に示す。この図によれば，材料製造，材料輸送，施工，廃棄の各サイクル（ここでは１サイクル）において排出される $CO_2$ は，材料製造段階が全体の約６割，材料輸送段階が３割，施工段階が１割を占めていた。また，材料製造段階のうち，加熱アスファルト混合物の製造に係る $CO_2$ 排出量が最も多く材料製造の約６割，次いでアスファルト製造分が約３割であった。

舗装工事の $CO_2$ 排出量を削減するには，まず排出割合の多い材料製造段階での対策を行う必要があるが，輸送段階や施工段階，廃棄段階においても $CO_2$ 削減の取り組みを行うことが，舗装工事全体の $CO_2$ 排出量を削減する上で重要である。

その際，先に挙げた低炭素舗装技術等を採用することによって，どの程度の $CO_2$ 排出量が削減されるか定量的に把握することで $CO_2$ 排出量削減効果の評価が可能となる。

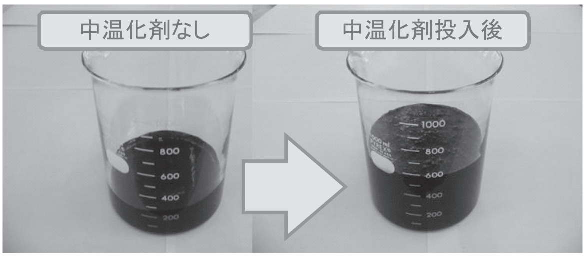



図―２　表層切削オーバーレイ工事における $CO_2$ 排出割合[4]

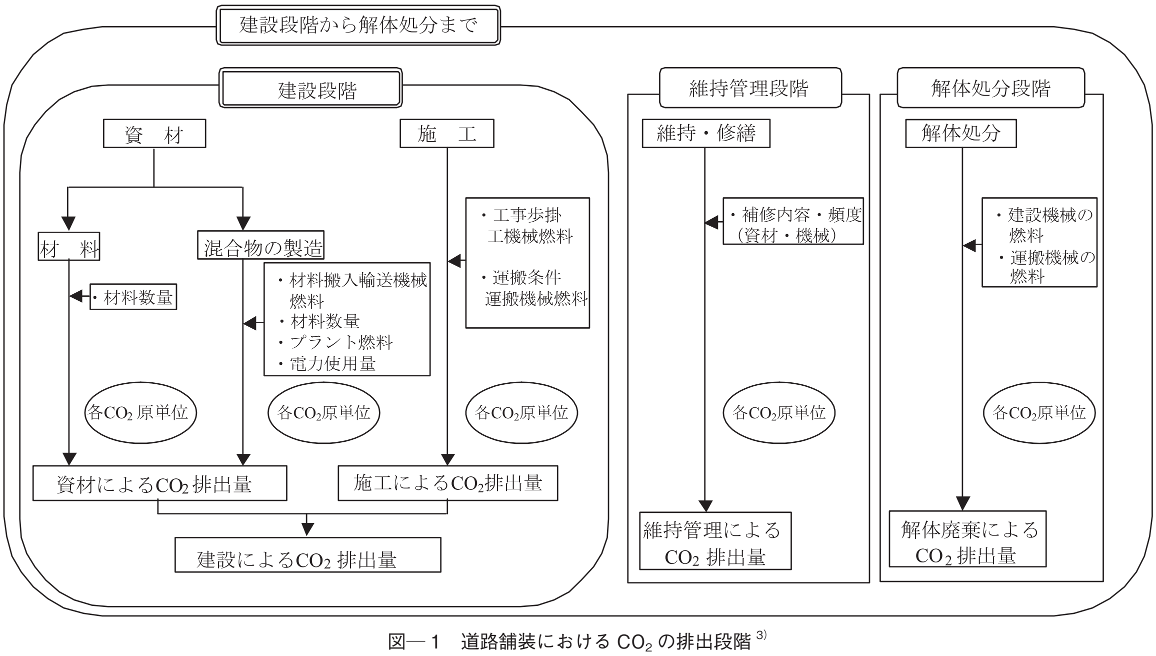
## 3. 低炭素舗装技術の概要

### （1）加熱アスファルト混合物の製造温度低下技術

加熱アスファルト混合物の製造温度低下技術は，中温化技術と弱加熱技術が開発されている。中温化技術は，中温化剤（**写真―1**）等を用い通常よりも加熱アスファルト混合物の製造温度を 30℃程度低くすることで，骨材の加熱・乾燥に要する燃料などの消費を低減させることができる技術である。弱加熱技術は，混合物製造時に水を添加し，これを潤滑剤とすることで混合物の製造温度を 100℃以下としたものである。




写真―１　中温化剤（発泡系の例）




図―１　道路舗装における $CO_2$ の排出段階[3]

これらの技術は，骨材の加熱温度が低いことから，通常の加熱アスファルト混合物に比べ混合物製造時の $CO_2$ 排出量が削減できる。また，施工性にも優れ，十分な締固めが得られやすいことから，施工時の $CO_2$ 排出量も削減できる。

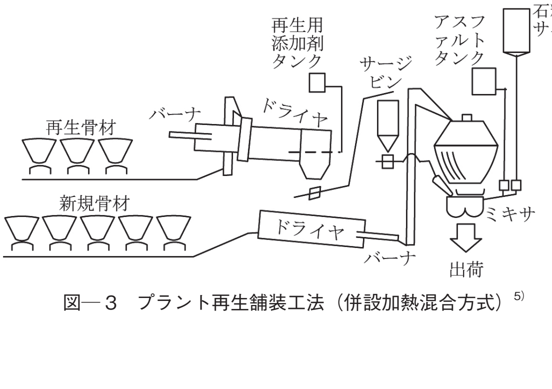
### (2) 常温製造技術

常温製造技術は，チップシールとマイクロサーフェシング等がある。チップシールはアスファルト乳剤により骨材を単層あるいは複層に仕上げる表面処理工法であり，マイクロサーフェシング（**写真—2**）は骨材と急硬化性改質アスファルト乳剤，水およびセメントなどの使用材料をスラリー状混合物として既設路面上に薄く敷きならす工法である。これらは，舗装の延命に寄与する予防的維持補修工法として，$CO_2$ 削減効果が期待される。

写真—2　マイクロサーフェシング工法

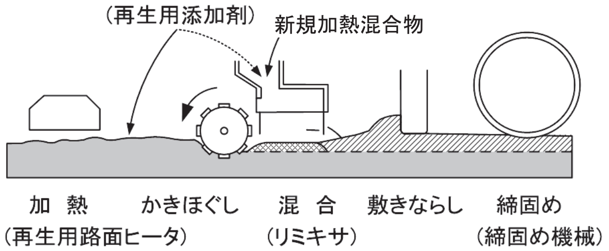
### (3) リサイクル技術

リサイクル技術は，プラント再生舗装工法，現位置での舗装再生工法がある[5)]。プラント再生舗装工法（**図—3**）は，常設の再生混合所において，舗装発生材等を加熱アスファルト混合物として再生する技術である。現位置での舗装再生工法は，道路上において既設の舗装用材料を再生利用し新たな舗装を築造させる技術であり，路上表層再生工法（**写真—3**，**図—4**），




図—3　プラント再生舗装工法（併設加熱混合方式）[5)]

写真—3　路上表層再生工法




図—4　路上表層再生工法（リミックス方式）の概念[5)]

路上路盤再生工法がある。舗装材を道路上で破砕し再生骨材として使用することで，新規加熱アスファルト混合物の使用量や輸送距離を低減することができる。

### (4) 長寿命化技術

長寿命化技術は，コンポジット舗装や改質アスファルトの適用により，維持修繕の頻度の減少や解体処分までの期間の延長などが期待でき，維持修繕段階および解体処分段階での $CO_2$ 排出量が抑制される技術である。

### (5) 加熱混合物の製造効率の向上技術

加熱アスファルト混合物を製造するアスファルト混合所では，骨材の加熱時に多くの燃料が消費される。骨材加熱時の対策としては，低燃費バーナやドライヤ内の羽根の形状を工夫して熱交換率を高めるなどの措置により，燃料消費量を削減し $CO_2$ 排出量の削減がなされている。

### (6) 施工技術

3D マシンコントロール（以下，3D-MC）は，施工箇所の三次元設計データと GPS や自動追尾トータルステーションを用いることで，ブルドーザやモータグレーダなどの建設機械のブレードや排土板等を自動制御するシステムである。**写真—4** に自動追尾トータルステーション方式の概念を示す。3D-MC を用いる

写真―４　自動追尾トータルステーション方式

ことによって，施工時の作業効率を向上させ，施工時に施工機械から排出される $CO_2$ を削減することができる。

## 4. 舗装工事における $CO_2$ 排出量の定量評価に関する研究

ここでは，加熱アスファルト混合物製造に係る $CO_2$ 排出量，リサイクル技術である舗装再生工法（プラント再生および路上再生）のライフサイクルを通じた $CO_2$ 排出量の試算結果について紹介する。

舗装工事の $CO_2$ 排出量の試算にあたっては，舗装工事のライフサイクル（材料製造，材料輸送，施工，廃棄）における使用資材や機器等の燃料消費量について算出する必要がある。これに，資材等の $CO_2$ 排出量原単位を乗ずることによって，ライフサイクルを通じた $CO_2$ 排出量を算出することができる。

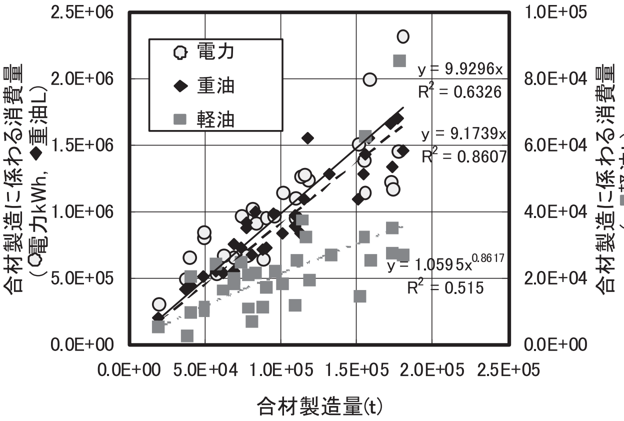
$CO_2$ 排出量原単位については，既存の文献等[例えば3)]より原料調達から製品まで含め，積み上げ法によって求められたものを調査して使用するとともに，原単位が見あたらないものについてはヒアリング調査などを行い適宜作成した。なお，$CO_2$ 排出量試算の前提となる，詳細の試算条件（検討範囲や $CO_2$ 排出量原単位等）については，文献４および６を参考されたい。

### (1) 加熱アスファルト混合物の製造に係る $CO_2$ 排出量の算出[6)]

加熱アスファルト混合物の製造に係る消費燃料について，実態を把握するため，プラントにヒアリングを行った。主な調査内容は，加熱アスファルト混合物製造量，再生骨材製造量，燃料消費量等である。なお，プラントでの消費燃料は，電力，軽油，重油である。電力は，主にプラントの稼働，軽油は主に混合所内において骨材の移動に用いる重機，重油は主に骨材を加熱乾燥させるドライヤに用いられる。

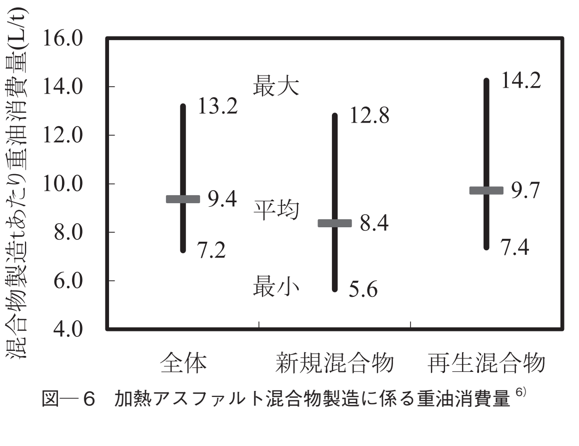
ヒアリングの結果，有効回答を得られたのは全国29施設であった。内訳は，東北4，北信越2，関東8，東海3，近畿1，中国3，四国3，九州5のプラントである。

各プラントにおける，年間の加熱アスファルト混合物製造量と軽油使用量，電気消費量，重油消費量の関係を図―５に示す。いずれも加熱アスファルト混合物製造量と相関が見られ，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施設ほど生産効率が上がる傾向があり，累乗近似となった。




図―５　加熱アスファルト混合物製造量と重油消費量，電気消費量，軽油消費量の関係[6)]

加熱アスファルト混合物製造に係る重油消費量の調査結果を図―６に示す。加熱アスファルト混合物全体では，製造ｔあたりの重油消費量は7.2 ～ 13.2[L]の範囲にあり，平均は9.4[L]であった。また，新規加熱アスファルト混合物および再生加熱アスファルト混合物の重油消費量は，新規加熱アスファルト混合物は5.6 ～ 12.8[L]の範囲で平均は8.4[L]，再生加熱ア




図―６　加熱アスファルト混合物製造に係る重油消費量[6)]

スファルト混合物は7.4～14.2[L]の範囲で平均9.7[L]となった。

これらにより，加熱アスファルト混合物製造1トンあたりの電気消費量，軽油消費量は，10[kWh]，0.23[L]となり，重油消費量は，新規加熱アスファルト混合物で8.4[L]，再生加熱アスファルト混合物で9.7[L]となる。これに，電気，軽油，重油の$CO_2$排出量原単位を乗ずることによって，$CO_2$排出量が計算できる。

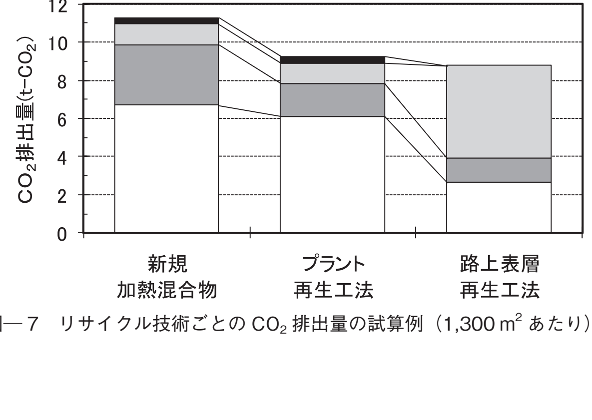
### (2) 舗装再生工法の$CO_2$排出量の試算 [4)]

4.(1)では，加熱アスファルト混合物の製造段階のみの$CO_2$排出量に着目すると，再生工法の方が$CO_2$排出量は多くなることが分かった。よって，ここでは舗装工事全体の$CO_2$排出量を試算した。具体的には，舗装再生工法の$CO_2$排出量を比較するにあたって，舗装表層の補修工事を対象とし，切削オーバーレイ工法（新規加熱アスファルト混合物を用いた場合と再生骨材製造所において再資源化された再生加熱アスファルト混合物を用いた場合（プラント再生工法））および路上表層再生工法（リミックス工法）を比較した。なお，工事規模は施工面積1,300 $m^2$とし，既存の舗装面を3 cm切削，5 cmオーバーレイ（または路上再生）とした。

$CO_2$排出量を試算した結果を**図―7**に示す。その結果，以下のことが分かった。

①材料製造から廃棄までの各排出段階の$CO_2$排出量は，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加熱アスファルト混合物製造とアスファルト製造に係る$CO_2$排出量が多い。

②新規加熱アスファルト混合物と再生加熱アスファルト混合物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加熱アスファルト混合物製造に係る$CO_2$排出量は多くなるが，用いるアスファルト量および骨材輸送量が少ないことから，後者の方が全体の$CO_2$排出量は少なくなる。



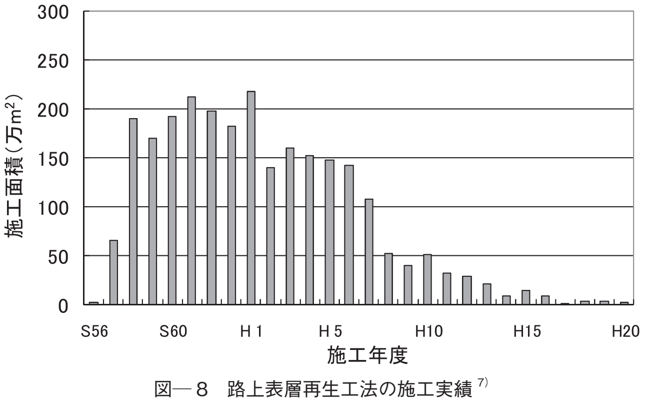

図―7 リサイクル技術ごとの$CO_2$排出量の試算例（1,300 $m^2$あたり）[4)]

③路上表層再生工法は，再生加熱アスファルト混合物を用いた切削オーバーレイ工法と比較して，加熱アスファルト混合物製造と施工時の$CO_2$排出量の総和は多くなる。しかし，材料輸送時の$CO_2$排出量は少なく，廃材輸送量がないこともあって全体の$CO_2$排出量は少なくなる（ただし，$CO_2$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もある）。

## 5. おわりに

以上のように，舗装再生工法を対象として，ライフサイクルを通じた$CO_2$排出量を定量的に試算し，材料の製造だけを比べると$CO_2$排出量は多くなるが，舗装工事全体では$CO_2$排出量は少なくなることを明らかにした。

舗装再生工法は，舗装工事により発生するアスファルトコンクリート塊のリサイクル率を約98%に達成させていることから，今後も高いリサイクル率を維持していくことで，$CO_2$排出量を削減していくことが望まれる。ただし，路上表層再生工法については，施工機械の編成が大きいことから舗装工事規模の小さな現場には適用が困難なことや，排水性舗装等の新たな舗装材料の普及により，施工実績が年々少なくなっているのが現状である（**図―8**）。路上表層再生工法は$CO_2$排出量が少ない工法であると言えることから，低炭素舗装技術として見直す必要があると考える。




図―8 路上表層再生工法の施工実績 [7)]

そこで，近年では，新たな路上表層再生工法として，従来の路上表層工法より機械編成を簡易にし，市街地や生活用道路のような小規模な箇所への適用を可能とした「路上表層再生機を用いた路面維持工法 [5)]」が地方自治体を中心に多く実施されるようになってきている（**写真―5**）。

写真―5　路上表層再生機を用いた路面維持工法

今後は，既存技術を含めて舗装工事（舗装材料，工法等）のライフサイクルを通じた$CO_2$排出量を評価し，低炭素舗装技術と位置づけられる技術について，今後の活用の機会が増えることに期待している。

土木研究所では，「低炭素舗装技術の高度化に関する研究（平成 22 ～ 24 年度）」と題して民間会社，9 社・グループ（大林道路㈱，常温舗装技術研究会，世紀東急工業㈱，大成ロテック㈱，東亜道路工業㈱，㈱ NIPPO，日本道路㈱，ニチレキ㈱，前田道路㈱）と共同研究を開始している。本共同研究では，中温化技術を始め，路上再生工法や常温舗装技術など低炭素舗装技術について，既存技術の高度化を図るとともに，新たな技術開発を行っていく予定である。

J C M A

《参 考 文 献》

1）環境省ホームページ：2008 年度（平成 20 年度）温室効果ガス排出量，http://www.env.go.jp/earth/ondanka/ghg/index.html
2）㈳日本道路協会：環境に配慮した舗装技術に関するガイドブック，2009.6.
3）㈳日本道路協会：舗装性能評価法　別冊－必要に応じて求める性能指標の評価法編－，2008.3.
4）川上篤史，新田弘之，加納孝志，久保和幸：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.
5）㈳日本道路協会：舗装再生便覧（平成 22 年版），2010.11.
6）新田弘之，川上篤史，西崎到：舗装材料の生産に関する環境負荷原単位について，北陸道路舗装会議，2009.
7）㈳日本道路協会：「舗装」に関する地区講習会「環境とリサイクルの舗装技術」～舗装再生便覧の改訂など～，2010.

[筆者紹介]

川上　篤史（かわかみ　あつし）
㈱土木研究所
道路技術研究グループ　舗装チーム
主任研究員

新田　弘之（にった　ひろゆき）
㈱土木研究所
材料資源研究グループ　新材料チーム
主任研究員

久保　和幸（くぼ　かずゆき）
㈱土木研究所
道路技術研究グループ　舗装チーム
上席研究員

## 橋梁架設工事の積算 ――平成 23 年度版――

■改訂内容
1. 鋼橋編
・セッティングビーム工追加（歩掛設定）
・製作工労務単価，間接労務費率の変更に伴う架設用の製作部材単価改訂
・積算例題の見直し
2. PC橋編
・支保工関連
・トラッククレーン架設の適用範囲拡大と据付条件の追加
・橋台・橋脚回り足場ブラケット歩掛の追加
・枠組足場日当り賃料，基本料の追加　ほか

■ B5 判／本編約 1,100 頁（カラー写真入り）
別冊約　120 頁　　セット
■定価
非会員：8,400 円（本体 8,000 円）
会　員：7,140 円（本体 6,800 円）

※別冊のみの販売はありません。
※学校及び官公庁関係者は会員扱いとさせて頂きます。
※送料は会員・非会員とも
沖縄県以外 600 円
沖縄県　　450 円（但し県内に限る）

■発刊　平成23年5月

社団法人　日本建設機械化協会
〒 105-0011 東京都港区芝公園 3-5-8（機械振興会館）
Tel. 03（3433）1501　Fax. 03（3432）0289　http://www.jcmanet.or.jp