

## 7.2 低炭素社会を実現する舗装技術の開発および評価手法に関する研究（2）

研究予算：運営費交付金

研究期間：平 23～平 27

担当チーム：材料資源研究グループ（新材料）

研究担当者：西崎到、新田弘之

### 【要旨】

低炭素社会の早期実現に向け、各方面で CO<sub>2</sub> 削減技術・工法が開発が進められている。舗装分野においても、低炭素化に有効と考えられる技術が多数あり、材料の低炭素化、工事における低炭素化、資源有効利用による低炭素化など多様である。これら個々の舗装技術は、元々は施工効率の向上やリサイクル性能の向上などを主な目的として開発されてきており、CO<sub>2</sub> 削減の観点からの取り組みは十分とは言えない。そこで、本研究では舗装分野における CO<sub>2</sub> 削減を目的として、舗装材料のさらなる低炭素化技術の開発を進めるとともに、より有効な利用や、確実な効果を得るために、適用範囲、評価方法などをあきらかにしていく。

平成 24 年度は、舗装材料の低炭素化の検討、開発された舗装材料の CO<sub>2</sub> 削減効果以外の環境改善効果の検討、既存材料の CO<sub>2</sub> 排出原単位の再検討などを行った。その結果、これまで以上に低炭素化が図れる添加材料の開発が行え、再生材料への適用性も確認された。また、既存舗装材料の CO<sub>2</sub> 排出原単位について、「積み上げ法」で作成していたものを「産業連関表補完型積み上げ法」によって再検討し、原単位を作成した。

キーワード：低炭素、舗装材料、中温化剤、VOC、CO<sub>2</sub> 排出原単位

### 1. はじめに

低炭素社会の早期実現に向け、各方面で CO<sub>2</sub> 削減技術・工法が開発が進められている。舗装分野においても、低炭素化に有効と考えられる技術が多数あり、材料の低炭素化、工事における低炭素化、資源有効利用による低炭素化など多様である。これら個々の舗装技術は、元々は施工効率の向上やリサイクル性能の向上などを主な目的として開発されてきており、CO<sub>2</sub> 削減の観点からの取り組みは十分とは言えない。

そこで、本研究では舗装分野における CO<sub>2</sub> 削減を目的として、舗装材料のさらなる低炭素化技術の開発を進めるとともに、より有効な利用や、確実な効果を得るために、適用範囲、評価方法などをあきらかにしていく。

平成 24 年度は、舗装材料の低炭素化の検討、開発された舗装材料の CO<sub>2</sub> 削減効果以外の環境改善効果の検討、既存材料の CO<sub>2</sub> 排出原単位の再検討などを行った。

### 2. 低炭素性能を向上させた中温化剤の開発

#### 2.1 概要

アスファルト混合物の製造時に添加剤などを加え高温時の粘度を低下させ、あるいは見かけ粘度を低下させ、通常より低い温度で製造したり施工したりする技術は、中温化技術と呼ばれ、この添加剤は中温化剤と呼ばれる。アスファルト混合物製造時の温度を下げた場合、燃料消

費が抑制され、これにより CO<sub>2</sub> 排出量を削減できる。表-1 に示すように、すでに様々なタイプの中温化剤が開発されており、30℃程度の低減であれば、一般的に製造できるまでになっている。

ここでは、さらに低炭素化を進めるために、50℃程度の低減が可能な中温化剤の開発、また流通量の多い再生混合物へ適用可能な中温化剤の開発を行った。

なお、本検討は、民間企業との共同研究により実施した。

表-1 中温化剤の種類

中温化剤の種類	概要
発泡系	アスファルトモルタル内に微細泡を発生させるもの。見掛けの粘度が低下することで、中温化が可能となる。縮固め後、気泡は消失して通常モルタルと同じになる。
粘弾性調整系	高温で粘度が急激に低下する物質を添加するものや、アスファルトの成分を調整して高温での粘度を意図的に低下させたもの。供用温度では、通常のアスファルト性状と同程度になる。
滑剤系	高温で液化する界面活性剤系の添加剤を用い、アスファルトおよび骨材界面の潤滑性を高めるもの。供用温度では通常のアスファルト性状と同程度になる。

#### 2.2 方法

##### (1) 中温化剤

表-1 に示した発泡系、粘弾性調整系、滑剤系が実用化

## 7.2 低炭素社会を実現する舗装技術の開発および評価手法に関する研究(2)

されており、これらを用いてアスファルト混合物製造時の温度を30℃低減することができる。ここでは、基本的にこれまでの中温化剤と同種のを改良あるいは、組み合わせるなどして、50℃低減できるもの、および再生アスファルト混合物に適用できるものを開発することにした。

### (2) アスファルト混合物

本研究では、ストレートアスファルトや改質アスファルト、再生骨材を使ったアスファルト混合物の混合温度を30~50℃低減させることを目標に検討を行った。混合物種類や開発目標を表-2に示す。

表-2 検討した中温化アスファルト混合物の種類

	改質中温化	再生中温化	再生改質中温化
使用アスファルト	ポリマー改質アスファルトII型	ストレートアスファルト	ポリマー改質アスファルトII型
中温化剤	発泡系、粘弾性調整系、滑剤系を単独あるいは組み合わせて、目標温度で性能発揮できるように調整したもの		
再生骨材	0	30%配合	30%配合
目標低減混合温度	-50℃ (175→125℃)	-30℃ (160→130℃)	-50℃ (180→130℃)

### (3) 検討項目

本研究では、目標の温度で使用できる中温化剤の調査を行い、①締固め特性を把握し、温度低減させた場合でも混合物作製できることを確認し、その上で、②アスファルト混合物としての基本性状を確認した。

## 2.3 検討結果

### (1) 締固め特性の把握

締固め特性は、温度を変えて締固めを行い、締固め度により評価した。ここでは、一例としてストレートアスファルトおよび改質アスファルトを用いた再生アスファルト混合物に発泡系中温化剤を適用した場合についての検討結果について説明する。

図-1にストレートアスファルトの場合、図-2に改質アスファルトII型の場合を示す。ストレートアスファルトを用いた再生アスファルト混合物では、通常160℃程度で混合し、150℃程度で締め固める。図のように締固め温度が低下すると締固め度は下がっていき、締固め温度の低下は舗装の品質の低下につながる事が分かる。開発品の中温化剤を用いた場合は、締固め温度が120℃でも締固め度99.5%程度が得られており、締固め温度を30℃低下させても混合物の作製が可能であることが確認された。また、改質アスファルトを用いた再生アスファルト

混合物では、通常180℃程度で混合し、165℃程度で締め固める。開発品の中温化剤を用いた場合、115℃でも締め固め度99.5%程度得られており、締固め温度を50℃低下させても混合物の作製が可能であることが確認された。

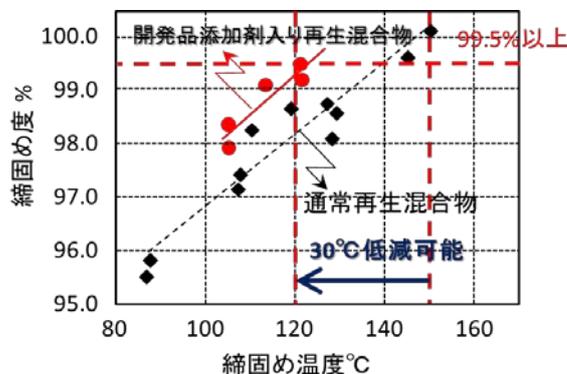


図-1 再生中温化混合物の締固め特性  
(ストレートアスファルト、R材30%)

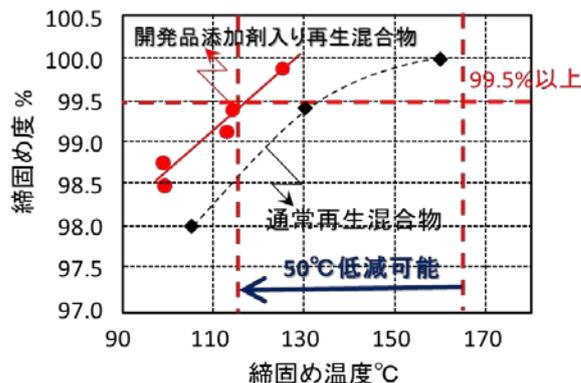


図-2 再生中温化混合物の締固め特性  
(改質アスファルトII型、R材30%)

### (2) アスファルト混合物の基本性状の確認

目標の温度でアスファルト混合物が作製できることを確認した中温化剤について、アスファルト混合物としての基本性状の確認を行った。基本性状としては、マーシャル安定度、フロー値、動的安定度、曲げ試験などを行った。ここでは、一例として改質アスファルトを用いたアスファルト混合物に粘弾性調整系中温化剤を適用した場合についての検討結果について説明する。

図-3に、開発した中温化剤を用いて50℃低減した場合と、従来品で30℃低減した場合の締固め度および動的安定度(Dynamic Stability)の結果を示す。締固め度については、温度に応じて若干下がっているものの、50℃下げた場合でも99.5%以上の締固め度が得られ締固めに問題ないことが分かる。動的安定度については30℃下げた従来品では通常のものと同差がなく、50℃下げた開発品ではやや小さくなっている。しかし、一般的に動的安定度は6000以上であれば十分に大きな値であり、いずれも

## 7.2 低炭素社会を実現する舗装技術の開発および評価手法に関する研究(2)

10000 を超えているため、50°C低減した場合でも十分な動的安定度が得られたことが確認された。

図4に曲げ試験の結果を示す。ここでは、温度を変えて曲げ試験を行い、脆化点を把握した。曲げ応力でも曲げひずみでも、通常のもので50°C低減したもので変曲点に違いは見られなかった。従って、開発した中温化剤を用いても低温性状が低下する可能性はないものと考えられた。

その他の性状についても、開発した中温化剤を用いた場合に性状低下が見られることはなく、十分な混合物性状が得られた。今後は、実プラントでのアスファルト混合物の製造の確認や実施工による施工性の確認、供用性状の確認などが必要である。

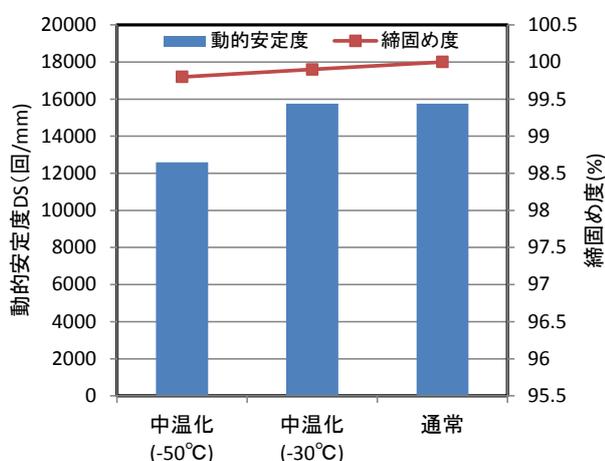


図-3 中温化混合物の締固め度と動的安定度 (改質アスファルトII型)

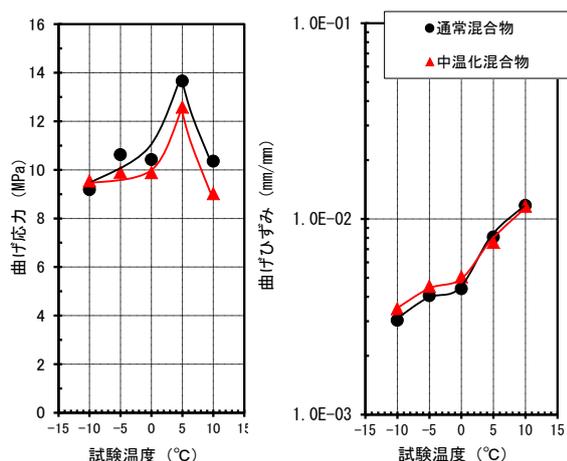


図-4 中温化混合物の曲げ応力と曲げひずみ (改質アスファルトII型)

### 3. 中温化アスファルト混合物の新しい評価方法に関する検討

#### 3.1 概要

アスファルト混合物の中温化技術は、これまで主に冬

季の施工性改善、あるいは混合物製造時の二酸化炭素排出低減に着目され使用されてきた。しかし、これらの有用性以外にも、製造温度を低下させることによる他の有用性が考えられる。

そこで、ここでは二酸化炭素排出抑制以外の性状改善効果について、確認することにした。改善が期待できる性状としては、これまで報告<sup>1)</sup>しているように、アスファルトの劣化抑制効果がある。これについては劣化の混合温度依存性について検討した。また、アスファルト混合物製造時に発生する揮発性有機化合物 (Volatile Organic Compound : VOC) の抑制効果が指摘されており<sup>2)</sup>、施工時にも同様に VOC 発生抑制が期待できるため、この効果についても検討した。

検討は、13mmtop 密粒度アスファルト混合物を用いて行った。概要を表-1に示す。劣化特性の分析や VOC の測定時に、中温化用添加剤の種類の影響が考えられたため、添加剤は用いずに製造温度だけを低下させた。

### 3.2 方法

#### (1) アスファルト混合物

検討は、13mmtop 密粒度アスファルト混合物を用いて行った。概要を表-3に示す。劣化特性の分析や VOC の測定時に、中温化用添加剤の種類の影響が考えられたため、添加剤は用いずに製造温度だけを低下させた。

表-3 混合物種類と混合温度

サンプル	アスファルト (アス量)	混合温度
通常1	ストアス 60/80 (5.6%)	155°C
比較 (ストアス)	ストアス 60/80 (5.6%)	110~180°C
通常2	改質アスII型 (5.5%)	172°C
比較 (改質アス)	改質アスII型 (5.5%)	110~180°C

#### (2) 試験方法

##### 1) アスファルト劣化抑制効果の確認

アスファルト混合物は、通常のストレートアスファルトの混合温度 155°Cを基準に、130°C、120°Cと温度を下げた混合を行った。混合時間が長くなるとアスファルトが劣化するため、混合時間を全て一定にして作製した。混合後、ローラーコンパクターで締固め、常温まで放冷した。

作製した試験体よりアスファルトを回収 (舗装調査・試験法便覧 G029) し、針入度測定を行うと共に、アスファルトの劣化を把握するために FT-IR (フーリエ変換赤外分光分析) による分析を行った。

##### 2) VOC 発生抑制効果の確認

アスファルト混合物から発生する VOC の測定に当たっては、通常のストレートアスファルトに加えて、混合温度が高い改質アスファルトを用いて測定を行った。アスファルト混合物から発生する VOC は図-1 に示すような方法で採取した。測定の手順は次のように行った。

- ①目的の混合温度で、アスファルト混合物を混合した後、締固めは行わずに、金属容器に投入
- ②金属容器に蓋をした後、直ちに混合温度に設定した恒温槽の中に入れ、30分間養生
- ③恒温槽からチューブを通して気体サンプル採取袋へ発生気体を採取
- ④サンプル採取袋の気体の炭素換算の VOC 濃度 (ppmC) を測定 (気体中の有機炭素を全て燃焼させ CO<sub>2</sub> 濃度を測定し、炭素量に換算)

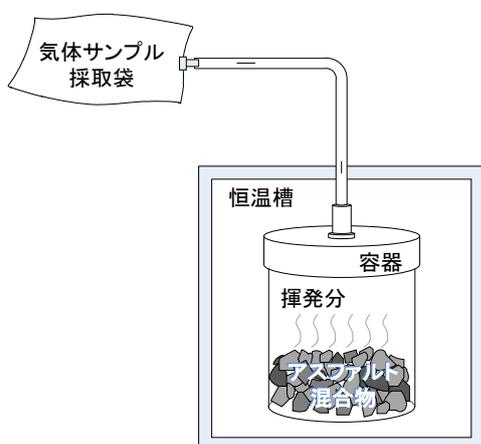


図-1 VOC 採取方法

### 3.3 検討結果

#### (1) アスファルト劣化抑制効果の確認

混合温度を低下させた場合の針入度の変化の様子を図-2 に示す。今回用いたアスファルトの通常の混合温度は 155℃であったため、これを基準に考えると、混合温度が低下するほど回収アスファルトの針入度が上昇した。これは混合時の熱劣化が抑えられたためと考えられた。

さらにアスファルトの劣化抑制効果を確認するために、FT-IR による分析を行った。酸化劣化によって増加するカルボニル基に着目して、1600cm<sup>-1</sup> 付近の内部参照吸光度に対する 1700cm<sup>-1</sup> 付近に現れるカルボニル伸縮振動に起因する吸光度の比を Carbonyl Index (CI)<sup>3)</sup> として評価を行った。混合温度による CI の変化を図-3 に示す。CI が小さいほど酸化劣化が少ないと見ることができ、混合温度の低下と共にほぼ直線的に CI が低下した。以上より中温化により熱劣化が抑制されることが確認された。

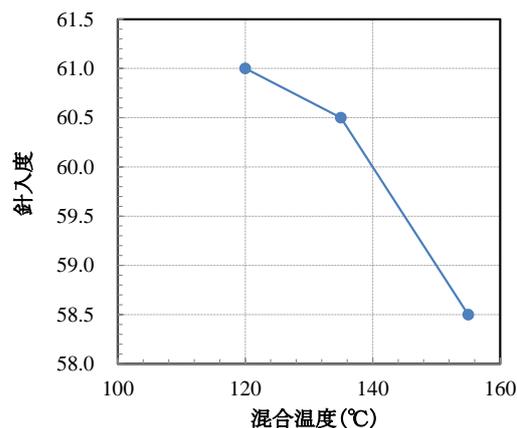


図-2 混合温度による針入度の変化

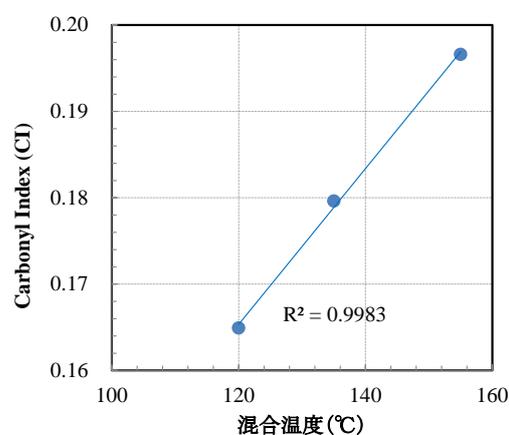


図-3 混合温度による CI の変化

#### (2) VOC 発生抑制効果の確認

混合温度の低減による VOC 発生抑制について測定を行ったところ、図-4 のようになった。図では、各温度の発生量をストアスでは 150℃、改質アスでは 180℃の VOC 発生量を基準にして比で表している。

ストアス、改質アスともに 180℃では VOC 発生量が多いが、混合温度が下がると発生量も急速に減少した。ストアスの場合、150℃付近で混合されることが多いが、混合温度が 30~40℃低下することで、発生量は半減した。また、改質アスでは 170℃付近で混合されることが多いが、混合温度が 30℃程度低下すると VOC 発生量が 1/3 程度に減少し、50℃程度低下すると 1/6 程度まで減少した。

以上より、混合温度を 30℃以上低下させることにより、VOC 発生量が大幅に減少し、混合物製造時や施工時の臭気など、揮発成分による問題を改善させる効果が期待できることが確認された。

## 7.2 低炭素社会を実現する舗装技術の開発および評価手法に関する研究（2）

資材の生産者などが詳細な積み上げができるように、積み上げ事例を作成した。

### (2) 作成方法

国総研の原単位は、生産計、出荷計、循環資源投入による控除、吸着、使用燃料が示されている。ここでは、出荷については、工事毎に積み上げることを想定し、資材の原単位には含めないようにした。吸着と燃料は対象となるもののみ計上した。

生産計は、直接環境負荷と間接環境負荷からなる。直接環境負荷は、生産にあたっての燃料を燃焼に伴う負荷などを計上したものである。間接環境負荷は、原料などの生産時の負荷や発電時の負荷だけでなく、事務所の運営、工場の建設など、あらゆる間接的な負荷が計上される。これら直接環境負荷、間接環境負荷ともに、全てを積み上げられないので、産業連関法により補完し、未集計見込み値として計上するようになっている。

生産計において、統計値などを用いて積み上げ計上が行われているものに対しては、[生産計] + [循環資源投入による控除] を原単位とし、積み上げ計上が行われていないものに対しては、これまで積み上げ法による原単位作成時に得た情報をもとに積み上げを行い、これに未集計見込み値を加えることで原単位とした。

### 4.3 作成結果

#### (1) 素材の CO<sub>2</sub> 排出原単位

国総研の方法をもとに作成した CO<sub>2</sub> 排出原単位と、積み上げ法のみにより作成した原単位を表4に示す。間接環境負荷の中でも原料や電力といったものはこれまでも計上されていたので、大きく異なるものは少なかった。

表-4 舗装資材の CO<sub>2</sub> 排出原単位

素材名	規格	投入単位 (※)	以前のCO <sub>2</sub> 排出原単位 (kg-CO <sub>2</sub> /※)	新しいCO <sub>2</sub> 排出原単位 (kg-CO <sub>2</sub> /※)
ストレートア スファルト		t	248	107
ポリマー改質 アスファルト	II型	t	474	444
	H型	t	612	598
アスファルト 乳剤	PK-3, PK-4	L	0.164	0.127
単粒度碎石	4~7号	t	5.39	7.96
スクリーニン グス		t	5.39	7.96
砂	粗砂, 細砂	t	0.55	11.49
フィラー	石灰石粉	t	1.21	5.4
再生骨材	アスファル ト混合物用	t	2.08	2.23
セメント	ポルトラン ドセメント	t	798.1	888.1
	高炉B種	t	480.1	517.9

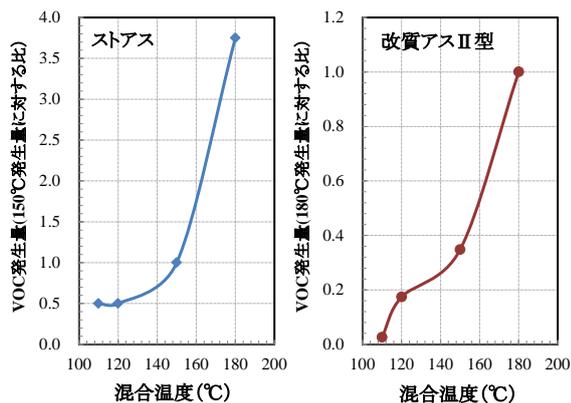


図-4 混合温度による発生 VOC 量の変化

## 4. 既存材料の CO<sub>2</sub> 排出原単位に関する検討

### 4.1 概要

CO<sub>2</sub> 排出量の削減効果を評価するためには、舗装に使用される資材の CO<sub>2</sub> 排出原単位が必要になる。これまでの検討により、原料の採掘、輸送、材料への加工などで排出する CO<sub>2</sub> を全て積み上げていく手法（積み上げ法）による原単位を作成している。一方、産業連関表を利用して、産業ごとの生産・販売等の取引額をもとに原単位を求める方法（産業連関法）もあり、これを利用した原単位も公表されるなどしている。国土政策技術総合研究所（以下、国総研）では、産業連関法と部分的に積み上げ法を利用した方法による新たな原単位を作成しており、積み上げ法では考慮しにくい工場の建設時の CO<sub>2</sub> 排出量や事務に関わる間接的な CO<sub>2</sub> 排出量などを含めたものを公表している。

ここでは、国総研の公表した原単位をもとに、これまで積み上げによって作成してきた原単位も参考に、より細かい積み上げを行い、新たな原単位を作成した。

### 4.2 方法

#### (1) 基本原単位

国総研では、平成24年2月に「社会資本のライフサイクルをととした環境評価技術の開発に関する報告—社会資本 LCA の実線方策-」<sup>4)</sup>を公表しており、この中で「資材（一般品）の環境負荷原単位」がまとめられている。この原単位は、積み上げ法と産業連関法を組み合わせたものであり、報告書では「産業連関表補完型積み上げ法」と呼んでいる。公的統計等を用いて積み上げを行い、その他の項目については産業連関法で補完している。

公的統計等が存在しない場合、積み上げが困難な場合もあるが、舗装資材においては統計や生産工程のデータが公表されていないものが多く、産業連関法による部分が多くなる。

ここでは、基本原単位に国総研の原単位を用いるが、

## 7.2 低炭素社会を実現する舗装技術の開発および評価手法に関する研究(2)

なお、ここで数値が異なっても、以前と比べて生産体制が大幅に変化したということではなく、計算の手法が異なったり、計算範囲の設定が異なったためであったりによるものである。

### (2) アスファルト混合物での計算例

新たに作成した舗装資材の原単位を用いて、アスファルト混合物の原単位を試算した。ここでは、全て新材から製造したアスファルト混合物と、再生骨材を40%使用した再生アスファルト混合物の2種類の試算例を表-5、6に示す。また、比較のために積み上げ法による原単位での計算結果も併記する。

表-5 密粒度アスファルト混合物(13)の計算例

名称	単位	数量	以前の原単位		新しい原単位		
			原単位	排出量	原単位	排出量	
素材	6号砕石	t	287.28	5.39	1548.44	7.96	2286.75
	7号砕石	t	120.96	5.39	651.97	7.96	962.84
	スクリーニングス	t	120.96	5.39	651.97	7.96	962.84
	粗砂	t	120.96	0.55	66.53	11.49	1389.83
	細砂	t	60.48	0.55	33.26	11.49	694.92
	石粉	t	45.36	1.21	54.89	5.4	244.94
	ストレートアスファルト	t	44	248	10912	107.46	4728.24
輸送	軽油 砕石輸送 20km	L	608.58	2.62	1594.48	4.18	2543.86
	軽油 砂輸送20km	L	208.66	2.62	546.69	4.18	872.2
	軽油 石粉輸送 20km	L	52.16	2.62	136.66	4.18	218.03
	軽油 アスファルト輸送240km	L	359.04	2.62	940.68	4.18	1500.79
製造	電力	kWh	8000	0.555	4440	0.46	3680
	A重油	L	6165	2.71	16707.2	2.91	17940.2
	軽油	L	256	2.62	670.72	2.95	755.2
その他	未集計分見込み値 (アスコン)	t	800	-	-	7.69	6152
計					38955.4		44932.6
1tあたり					48.69		56.17

表-6 再生密粒度アスファルト混合物 (13) の計算例

名称	単位	数量	以前の原単位		新しい原単位		
			原単位	排出量	原単位	排出量	
素材	6号砕石	t	172.38	5.39	929.13	7.96	1372.14
	7号砕石	t	72.57	5.39	391.15	7.96	577.66
	スクリーニングス	t	72.57	5.39	391.15	7.96	577.66
	粗砂	t	72.57	0.55	39.91	11.49	833.83
	細砂	t	36.29	0.55	19.96	11.49	416.97
	石粉	t	27.22	1.21	32.94	5.4	146.99
	再生骨材 (アスコン用)	t	320	2.08	665.6	2.23	713.6
	ストレートアスファルト	t	26.4	248	6547.2	107.46	2836.94
輸送	軽油 砕石輸送 20km	L	365.15	2.62	956.69	4.18	1526.33
	軽油 砂輸送 20km	L	125.19	2.62	328	4.18	523.29
	軽油 石粉輸送 20km	L	31.3	2.62	82.01	4.18	130.83
	軽油 アスファルト輸送240km	L	215.42	2.62	564.4	4.18	900.46
製造	電力	kWh	8000	0.555	4440	0.46	3680
	A重油	L	7760	2.71	21029.6	2.91	22581.6
	軽油	L	256	2.62	670.72	2.95	755.2
その他	未集計分見込み値 (アスコン)	t	800	-	-	7.69	6152
計					37088.5		43725.5
1tあたり					46.36		54.66

表に示すように新しい原単位を用いる場合、アスファルト混合物製造時の未集計見込み値を考慮する必要がある。これらの表の中で、素材、輸送および製造の中の電力が、間接環境負荷にあたり、製造の中のA重油および軽油が直接環境負荷にあたる。未集計見込み値の計上により、アスファルト混合物の原単位は2割程度増大している。また、再生骨材を使用することによって原単位が小さくなっているが、積み上げ法による場合は4.8%程度の削減と試算されるのに対し、新しい原単位および未集計見込み値を計上することにより2.7%程度の削減と試算された。

## 5. まとめ

平成24年度に得られた結果は、次のとおりであった。

- 新しい中温化剤の開発検討を行った結果、改質アスファルト混合物の製造温度を50℃低減させる中温化剤、再生混合物の製造温度を30~50℃低減させる中温化剤が開発できた。
- 中温化による二酸化炭素削減以外の効果を検討したところ、アスファルトの劣化の抑制、およびアスファルト混合物作製時のVOC発生抑制の効果があることを確認した。
- CO2排出原単位の検討を行った結果、産業連関表補完型積み上げ法による原単位が作成できた。

## 参考文献

- 新田他：小型供試体による曲げ試験特性と中温化混合物の評価，土木学会年次学術講演会，V，2012.9
- D'Angelo et al.: Warm-mix Asphalt: European Practice, International Technology Scanning Program, FHWA, 2007.12
- 山口他：アスファルト材料の紫外線劣化とカーボンブラック添加効果，土木学会舗装工学論文集，第8巻，2003.12
- 国土技術政策総合研究所、公益社団法人土木学会：社会資本のライフサイクルをとらした環境評価技術に関する報告、国土技術政策総合研究所、2012.2

## A STUDY ON DEVELOPMENT AND EVALUATION METHODS OF PAVEMENT TECHNOLOGY FOR LOW-CARBON SOCIETY (2)

**Budgeted** : Grants for operating expenses

General account

**Research Period** : FY2011-2015

**Research Team** : Materials and Resources Research Group  
(Advanced Materials)

**Author** : NISHIZAKI Itaru

NITTA Hiroyuki

**Abstract** : For early realization of a low carbon society, low carbon technologies in pavement area are being developed actively. They are, for instance, the materials whose CO<sub>2</sub> emission is reduced during the production, the technique that saves energy consumption for construction works, and the technique that utilizes recycling materials. They are originally developed for the improvement in construction efficiency, recycling performance, etc. however further carbon reduction is possible for such technology. So, in this research, the development of further carbon reduction technology for pavement materials is attempted. Also, the applicability and the evaluation method for these materials will be clarified.

The 2012 fiscal year is the second year of this research. Studies contents is as follows: development of the technology to reduce CO<sub>2</sub> emission in pavement materials, study of environmental improvement effects except CO<sub>2</sub> reduction effect in low-carbon pavement technologies, and reexamination of CO<sub>2</sub> emission unit of existing pavement materials. The results are as follows. The additives for WMA which could save fuel consumption more than ever were developed. Some of the developed additives are applicable also to recycled asphalt mixture. VOC emissions decrease in WMA. Thus, improvement of environmental performance was confirmed except CO<sub>2</sub> emission reduction. In reexamination of the CO<sub>2</sub> emission unit, the new units were re-created by changing into "the method to supplement buildup method in inter-industrial relationship" from old "buildup method".

**Key words** : low-carbon society, paving materials, warm mix asphalt (WMA), CO<sub>2</sub> emission unit, volatile organic carbon (VOC)