

## 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

研究担当者：西崎到、新田弘之、川島陽子

### 【要旨】

低炭素社会の早期実現に向け、各方面で CO<sub>2</sub> 排出削減技術・工法の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> 排出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> 排出削減を目的として、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、評価方法などを明らかにするために実施した。

材料資源研究グループでは、①舗装材料の製造に関する CO<sub>2</sub> 排出抑制技術の開発、②中温化技術に対する新しい評価試験方法の提案、そして③舗装材料の CO<sub>2</sub> 排出量原単位等の提案を行うことを目標に、研究を実施した。その結果、リサイクル品を利用した中温化剤や、従来よりも製造温度低減効果の高い中温化剤等を開発し、低炭素化技術を向上させた。また、開発した低炭素舗装技術に有効な新しい評価方法により、低炭素舗装技術の技術開発の効率化や技術の信頼性評価を図れるようになった。さらに、CO<sub>2</sub> 排出量原単位やその算定方法をガイドブックに取りまとめた。

キーワード：低炭素、舗装材料、中温化技術、再生混合物、CO<sub>2</sub> 排出量原単位

### 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> 排出削減技術・工法の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> 排出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> 排出削減を目的として、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、評価方法などを明らかにするために実施した。

材料資源研究グループでは、①舗装材料の製造に関する CO<sub>2</sub> 排出抑制技術の開発、②中温化技術に対する新しい評価試験方法の提案、そして③舗装材料の CO<sub>2</sub> 排出量原単位等の提案を行うことを目標に、研究を実施した。その結果、リサイクル品を利用した中温化剤や、従来よりも製造温度低減効果の高い中温化剤等を開発し、低炭素化技術を向上させた。また、開発した低炭素舗装技術

に有効な新しい評価方法により、低炭素舗装技術の技術開発の効率化や技術の信頼性評価を図れるようになった。さらに、CO<sub>2</sub> 排出量原単位やその算定方法をガイドブックに取りまとめた。

### 2. 舗装材料の製造に関する CO<sub>2</sub> 排出抑制技術の開発

#### 2.1 概要

アスファルト混合物の製造および施工温度を従来よりも 30℃程度低下させる技術として中温化技術があり、アスファルト混合物製造時の燃料消費を抑えることが出来ることから、CO<sub>2</sub> 排出削減が期待される。中温化技術を適用する際に用いられる添加剤は中温化剤と呼ばれ、様々なタイプのものが開発されている。本研究では、CO<sub>2</sub> 排出抑制とリサイクルの増進を図るために、リサイクル品を利用した中温化剤や、従来よりも製造温度低減効果の高い中温化剤等の開発を行った。

#### 2.2 人工ゼオライトを用いた中温化剤の開発

##### (1) 人工ゼオライトの概要

人工ゼオライトとは、石炭火力発電所で発生する石炭

灰を高温、高圧で化学処理することにより製造されるもので、鉱物として産出される天然のゼオライトに比べ、規則正しい化学構造を持ち、より高品質である特長を持つ。電子顕微鏡で撮影した人工ゼオライトを、写真-1に示す。写真にも認められるように粒子には細孔があり、この細孔で水分などを吸着する。また、人工ゼオライトの概要を表-1に示す。熱によりゼオライト内の水分が水蒸気になるため、発泡系中温化剤と同等の中温化剤として利用できるものとして着目された。水蒸気になるには潜熱が必要となるが、水分量がアスファルト混合物の質量に対して1/1000以下であることから、潜熱の影響は十分に無視できる。

(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を使った混合物の混合温度を30°C低減させることを目標に検討を行った。混合物は密粒度アスファルト混合物(13)、アスファルトはストレートアスファルト60/80を使用した。

(3) 検討項目

本研究での検討項目を表-2に示す。まず、①発泡性能の検討のためにアスファルトの膨張率試験を行い、十分な発泡性能を発現させるための中温化剤配合を求めた。続いて、②アスファルト混合物の締固め特性の検討を行い、既存の中温化剤との比較なども行った後、③アスファルト混合物としての基本性状を確認し、④試験施工によって、施工性、締固め度などを確認した。

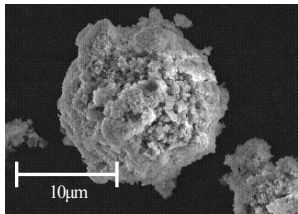


写真-1 人工ゼオライト拡大写真(×2000)

表-1 人工ゼオライト概要

概観	灰色の粉体
平均粒径	10~30µm
溶出 pH	10~12
溶解性	水に対して難溶

表-2 中温化剤性状確認検討項目

検討項目	概要
①発泡性能	アスファルトの膨張率試験 <sup>3)</sup> により、各配合の発泡能力、発泡保持力などを検討
②締固め特性	ジャイレトリー試験機によって締固め特性の把握
③基本性状確認	マーシャル試験、ホイールトラッキング試験等を行い、基本性状を確認
④試験施工	小規模試験施工(1m×1m)を行い、施工性、締固め度などを確認

(4) 発泡性能の検討

発泡性能を確認するため膨張率試験を行った。試験結果の一例を図-1に示す。今回使用したアスファルトの場合、通常の混合温度は150°Cであり、開発目標は30°C低減としたため、試験温度を120°Cとして膨張率を測定した。人工ゼオライトに水だけを加えたものは、発泡はしたが泡が大きく持続性がなかった。そこで、発泡系中温化剤にも使用されている泡保持剤を加え試験を行ったところ、アスファルト内で発生した泡が持続することが確認された。これより本検討で使用する中温化剤は、主剤を人工ゼオライトとし、助剤には水と泡保持剤を添加することにした。

(5) 締固め特性の検討

締固め特性の検討には、ジャイレトリー試験(舗装調査・試験法便覧B007)を用いた。ジャイレトリー試験は、回転しながら締固めを行い、旋回数ごとに供試体の高さを記録するもので、連続的に締固め状況が把握できる試験である。図-2にジャイレトリー試験機による締固め試験結果を示す。なお、この試験は一般に流通している中温化剤Aでも試験を行い、比較を行った。図のとおり、人工ゼオライトを使用した中温化剤は、無添加・通常温度と同様な密度曲線を描いており、中温化剤Aを使用し

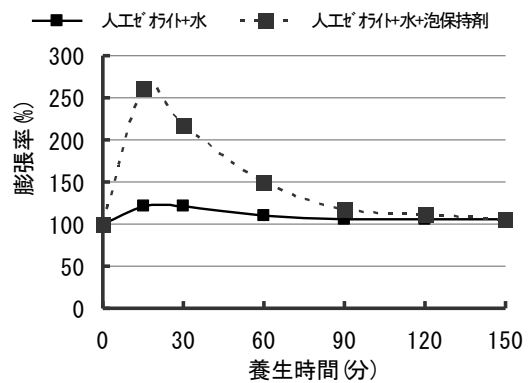


図-1 膨張率試験結果の一例

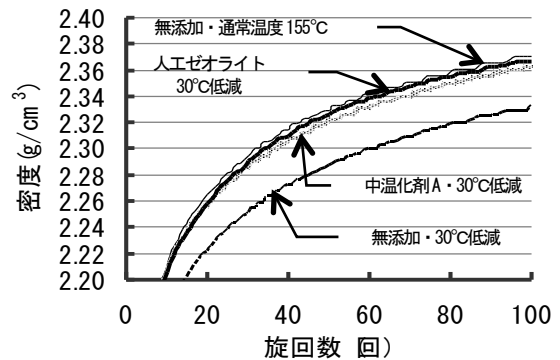


図-2 ジャイレトリー試験機による締固め試験結果

て作製した混合物ともほぼ同等であった。これにより、人工ゼオライトは中温化剤として利用できるものと判断された。

(6) 基本性状の確認

表-3 にアスファルト混合物の基本性状としてマーシャル試験、ホイールトラッキング試験の結果を示す。人工ゼオライトを主剤とする中温化剤を用いて 30°C低減した混合物は、マーシャル安定度、残留安定度において基準値を満足し、またホイールトラッキング試験でも通常の密粒度アスファルト混合物(13)と比較して特に性状が劣っていないことを確認した。

(7) 試験施工

以上の結果を踏まえ、土木研究所構内において小規模の試験施工を実施した。施工後の様子及び表面の様子を写真-2 に示す。人工ゼオライトを主剤とした中温化剤は、無添加・通常温度の混合物と全く同様に施工することができた。また、施工後の締固め度を確認したところ、通常(無添加・通常温度)のものと同等の締固め度であり、本検討では施工上の問題は特に見当たらなかった。

2.3 製造温度低減効果を高めた中温化剤の開発

(1) 概要

現在、30°C程度の製造温度低減効果をもつ中温化剤については、すでに様々なタイプのもが開発されており、一般的に製造できるまでになっている。ここでは、さら

表-3 人工ゼオライト中温化剤混合物の基本性状

	試験値	基準値 <sup>※1</sup> 等
マーシャル安定度 (kN)	7.37	4.9 以上
残留安定度 (%)	81.6	75 以上
動的安定度 (回/mm)	540	570 <sup>※2</sup>

※1 舗装設計施工指針(平成 18 年版)における基準値

※2 無添加・通常温度で作製した供試体の試験値

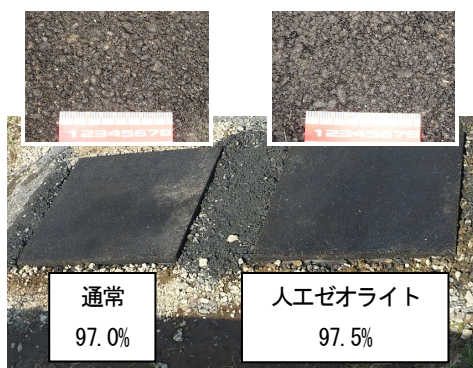


写真-2 試験施工後写真

に低炭素化を進めるために、50°C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。

(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°C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-4 に示す。

表-4 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°C (175→125°C)	-30°C (160→130°C)	-50°C (180→130°C)

(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。

(4) 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。

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°C程度で混合し、150°C程度で締め固める。開発品の中温化剤を用いた場合は、締固め温度が 120°Cでも締固め度 99.5%程度が得られ、締固め温度を 30°C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°C程度で混合し、165°C程度で締め固める。開発品の中温化剤を用いた場合、115°Cでも締固め度 99.5%程度得られており、締固め温度を 50°C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。

(5) 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10000を超えているため、50℃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、通常のものと同差がなく、50℃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。

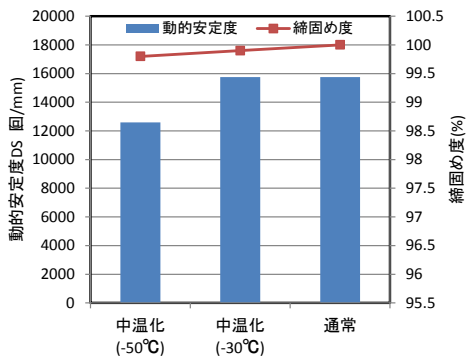


図-3 中温化混合物の締固め度と動的安定度 (改質アスファルトII型)

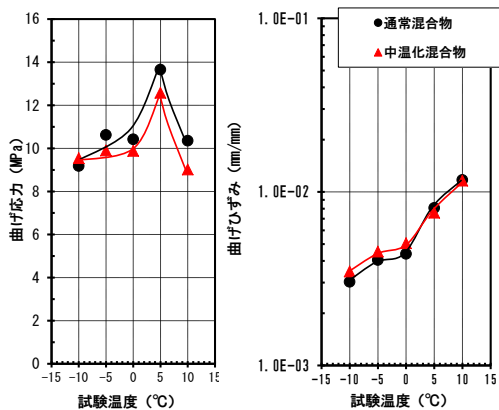


図-4 中温化混合物の曲げ応力と曲げひずみ (改質アスファルトII型)

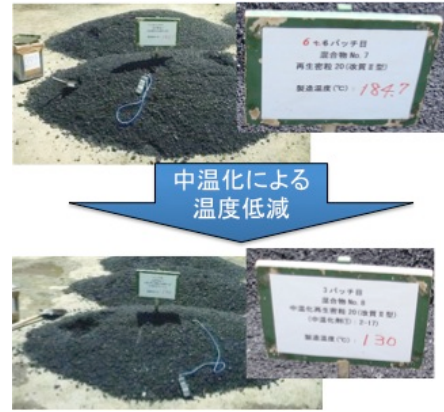


写真-3 実プラントでの製造温度低減効果の検証

### (6) 実プラントでの製造確認

実プラントにて、再生中温化アスファルト混合物(改質アスファルト使用)の製造を試みた。アスファルト混合物を写真-3に示す。実プラントにおいても、製造温度を低減させても通常と同等のアスファルト混合物が製造可能であることを確認した。

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。

## 3. 中温化技術に対する新しい評価方法

### 3.1. 概要

中温化剤の有効性を評価する方法として、締固め度を測定することが一般的である。しかし、締固め度では、施工時の作業性やアスファルト性状の評価をすることができない。そのため、製造温度低減効果と材料の性状を、少量サンプルかつ簡易に評価できる試験方法が求められている。本研究ではアスファルト混合物あるいはアスファルトバインダによる中温化技術の評価手法を検討した。

本研究にて開発した新たな評価手法を表-5に整理した。試験方法の詳細について下記に記す。

表-5 低炭素舗装技術に有効な新しい評価方法

対象	評価性能/効果	試験法/指標
中温化アスファルト混合物	混合温度の評価	混合性評価試験/トルク
	作業性の評価	レーキ試験/レーキ負荷
	製造時ガス発生抑制効果	VOC濃度測定/VOC発生量
中温化アスファルトバインダ	耐ひび割れ性	小型曲げ試験/脆化点
	熱劣化抑制効果	赤外分光分析/カルボニルインデックス
	締固め温度の低減効果	熱分析/融点、締固め温度
	耐打ち掃り量	繰り返しクリープ試験/クリープコンプライアンス



### 3.2. 混合性評価試験

#### (1) 概要

中温化技術の適用により、アスファルト混合物は通常よりも低温で製造・混合が可能であり、施工時の作業性が改善されることも指摘されている。これは、低温でのアスファルト混合物を混合しやすくなったためであると考えられる。そこで、中温化技術による混合温度の低減効果を、混合強度の観点から評価する手法を検討した。

#### (2) 試験方法

混合強度を測定するための混合性評価試験機の外観を写真-4に示す。対象の温度で混合したアスファルト混合物を混合性評価試験機で養生し、温度が一定になってから15分後に試験を開始した。ペーンと呼ばれる4枚羽(30mm×60mm)の攪拌羽をアスファルト混合物内に挿入して回しながら、発生するトルクを測定した。試験条件として、攪拌スピードは2rpmとした。

試験には、表-6に示す配合のアスファルト混合物を用いた。試験機内での骨材詰まりの防止や、試験の安定性を確保するために、2.36mm以下の粒径のみで構成されるように配合した。アスファルトバインダとして、ストレートアスファルト60/80およびプレミックスタイプの中温化アスファルトを使用した。

#### (3) アスファルト混合物のトルク評価

混合性評価試験機にて測定した中温化アスファルト混合物のトルク値を図-5に示す。ペーンが動き出す瞬間のトルクが最大値を示し、徐々に一定の値に収束した。トルクが収束してくる100秒以降を安定領域として、安定領域内のトルク平均値を算出した。温度に対するトルク



写真-4 混合性評価試験機

表-6 配合

骨材配合	碎石 (2.36mm以下)	粗砂 (2.36mm以下)	石粉	As	合計 (骨材)
割合 (%)	35	50	15	9.1	100

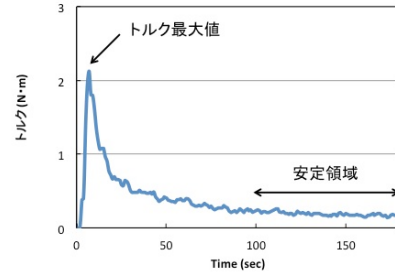


図-5 中温化アスファルト混合物のトルク(120°C)

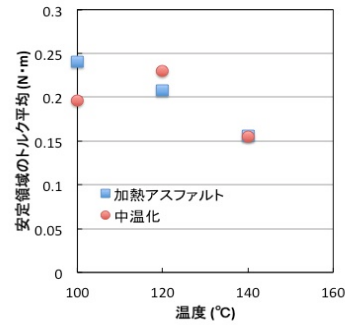


図-6 トルク平均値

平均値を図-6に示す。100°C近くの低温側において、中温化混合物のトルクが低くなり、混合しやすくなったことを確認した。

### 3.3. VOC 濃度測定

#### (1) 概要

アスファルト混合物の中温化技術は、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以外にも、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いる。ここではVOC濃度の測定方法とVOC発生抑制効果について検討した。

#### (2) 試験方法

試験は、密粒度アスファルト混合物(13)を用いて行った。概要を表-7に示す。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。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と温度を下げて混合を行った。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。

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-7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。

表-7 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

- ①目的の混合温度で、アスファルト混合物を混合した後、締めめは行わずに、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)

(3) VOC 発生抑制効果の確認

混合温度の低減による VOC 発生量の測定を行ったところ、図-8 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°C、改質アスでは 180°C の VOC 発生量を基準にして比で表している。

ストレートアスファルト(図中、ストアス)および改質アスファルト(図中、改質アス)ともに 180°C 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°C 付近で混合されることが多いが、混合温度が 30~40°C 低下することで、発生量は半減した。また、改質アスでは 170°C 付近で混合されることが多いが、混合温度が 30°C 程度低下すると VOC 発生量が 1/3 程度に減少し、50°C 程度低下すると 1/6 程度まで減少した。したがって、混合温度を 30°C 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。

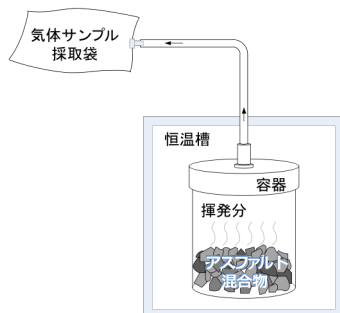


図-7 VOC 採取方法

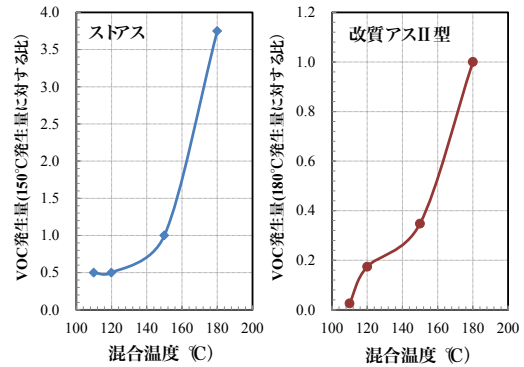


図-8 混合温度による発生 VOC 量の変化

3.4. 小型曲げ試験<sup>1)</sup>

(1) 概要

中温化技術の適用例が増加しており、供用性の評価が求められている。供用中の中温化アスファルト混合物の調査だけでは、長期供用性の評価は十分ではないため、室内試験による評価が必要である。

長期供用後の性状として、耐ひび割れ抵抗性を評価するためには、低温でのひずみ量の把握や脆化点の把握が有効である。従来の試験法は多くの供試体を必要とするため、本研究では、より試験労力を軽減し、現場の切り取り供試体などにも適用できる小型供試体による曲げ試験を提案した。本試験法の有効性、および中温化混合物の耐ひび割れ抵抗性を検討した。

(2) 試験方法

試験には、表-8 に示す 5 種類の密粒度アスファルト混合物 (13) を用いた。中温化剤を用いた混合物は、再生も含め通常の混合温度より 30°C 低い温度で混合した。

小型供試体による曲げ試験用の供試体は、ホイールトラッキング試験用供試体 (300×300×50mm) から 20×20×120mm となるようにダイヤモンドカッターにより切り出した。ホイールトラッキング供試体 1 枚から多くの曲げ供試体が得られるように、締めめ度のバラツキを考慮して、中央部分から 18 本切り出すこととした。

表-8 小型供試体の種類

No.	混合物名	アスファルト (アスファルト量)	中温化剤	混合温度
1	通常1	ストアス 60/80 (5.5%)	なし	150°C
2	通常2	改質アスII型 (5.5%)	なし	172°C
3	中温発泡	ストアス 60/80 (5.5%)	発泡系中温化剤	120°C
4	中温滑剤	ストアス 60/80 (5.5%)	滑剤系中温化剤	120°C
5	中温再生	ストアス 60/80 + 再生用添加剤 (5.6%)	滑剤系中温化剤	135°C

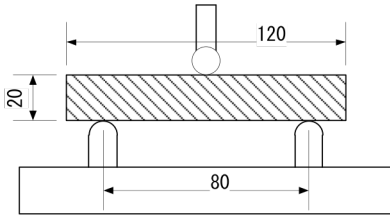


図-9 曲げ試験の概要

試験は図-9 に示すように「舗装調査・試験法便覧 A063T ポリマー改質アスファルトの曲げ試験方法」と同じ治具を用い、載荷速度、試験温度を変化させて試験を行った。

(3) 小型供試体による曲げ試験の特性

小型供試体による曲げ試験では、まず載荷速度の影響を把握するために載荷速度0.2~20mm/minで変化させて、また試験温度は-20~15°Cで変化させて脆化点を求めた。

曲げ試験の結果の例を図-10 に示す。B005 と同様に、温度-最大応力関係図では上に凸のグラフ、温度-ひずみ関係図ではS字のグラフが多くの場合に見られた。B005 では図-10 上図の最大応力のピークを曲げ脆化点（以下、応力脆化点）としているが、本検討では図-10 下図のようなひずみ量が急に大きくなる点も脆化点（以下、ひずみ脆化点）として求めた。

図-11 に曲げ速度と応力脆化点およびひずみ脆化点の結果を示す。改質アスファルトの供試体（表-7 の No.2）を用いて、4速度で載荷した結果、応力脆化点、ひずみ脆化点ともに、速度が速くなると、脆化点が高くなった。特に、ひずみ脆化点は載荷速度の対数に対して非常に良い直線関係が見られた。今回 5°C間隔で温度を変えて試験を行ったが、応力脆化点は 5°C間隔でしか求めることができず、試験温度以外の脆化点を見いだすことが困難であるが、ひずみ脆化点では、試験温度の中間点にあると思われる脆化点も求めることができ、より分解能の高い脆化点が得られると考えられた。

ストレートアスファルトの供試体（表-7 の No.1）についても、同様の傾向が見られ、2速度で試験を行えば、任意の速度の脆化点を求められると考えられた。

(4) 中温化混合物の曲げ性状把握

(3)の検討を元に、中温化混合物の曲げ性状を把握した。載荷速度は10mm/minとし、No.1, No.3, No.4, No.5 の供試体についてひずみ脆化点を求めた。結果を図-12 に示す。脆化点は、No.1（通常密粒）が一番高く、中温化混合物（No.3~5）は全て脆化点が低かった。したがって、中温化混合物は低温性状が優れている傾向を示した。

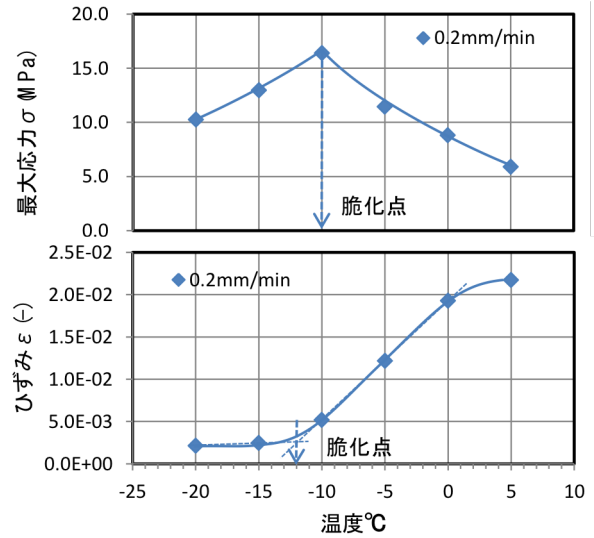


図-10 曲げ脆化点の求め方

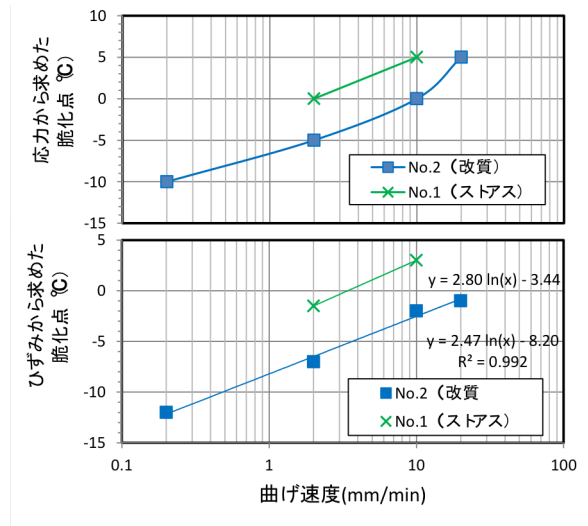


図-11 曲げ速度と脆化点の関係

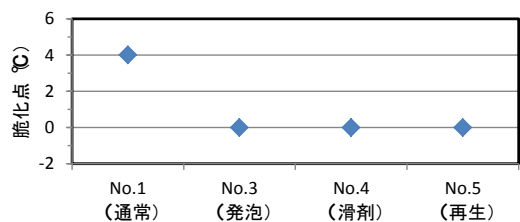


図-12 中温化混合物の脆化点

3.5. 赤外分光分析

(1) 概要

中温化によりアスファルト混合物の製造温度が下がることで、製造時の熱劣化が抑制されることが期待される。アスファルトの劣化度を評価するには、針入度を測定することが多いが、針入度だけでは劣化に伴う化学性状の

変化を把握することはできない。そこで、酸化劣化を定性的に評価できる赤外分光分析を用いて、中温化による劣化抑制効果を検証した。

### (2) 試験方法

実験には、ポリマー改質アスファルト II 型(以下、改IIA)およびプレミックスタイプの中温化改質アスファルト(以下、中温 A)を用いた。それぞれのバインダ試料は薄膜加熱試験(TFOT)によって促進劣化させた。また、それぞれのアスファルトバインダを用いてアスファルト混合物を作製した。混合温度は改IIAで170℃、中温Aでは140℃とした。作製後のアスファルト混合物からアスファルトバインダを抽出回収し、劣化させたバインダ試料と同様に赤外分光分析を行った。

促進劣化試験後の試料に対して、フーリエ変換赤外分光分析(以下、FTIR)にて吸光度測定により、酸化劣化の指標となる酸素含有官能基の挙動を調べ、劣化評価を行った。全反射測定法(ATR法)にて吸光度を測定した。劣化指標として、劣化に影響しない1600 $\text{cm}^{-1}$ (C=C結合)付近のピーク高さに対する、劣化により増加する1700 $\text{cm}^{-1}$ (C=O結合)付近のピーク高さの比(カルボニルインデックス)を算出した。

### (3) 中温化による熱劣化抑制効果

酸化劣化の指標として、カルボニルインデックスを図-13に示す。TFOTにて促進劣化させた場合、劣化後のアスファルトバインダのカルボニルインデックスは両資料において同程度であった。一方、アスファルト混合物から抽出回収したアスファルトバインダのカルボニルインデックスは、促進劣化後の試料よりも高く、劣化が進行していることを確認した。これは、改質アスファルトの場合、TFOTの試験条件よりも製造時の熱劣化が顕著であると考えられる。また、両試料を比較したところ、中温化アスファルト混合物のほうが、カルボニルインデックスが低いことを確認した。したがって、製造温度の低減により、熱劣化が抑制されたことを確認した。

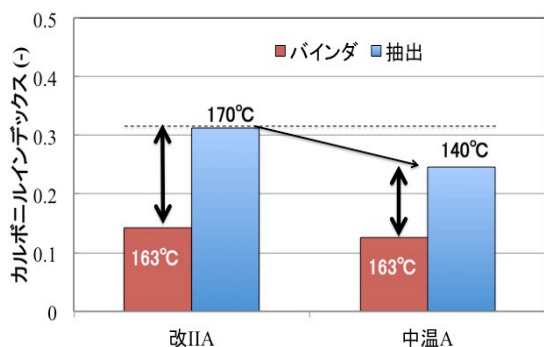


図-13 各試料のカルボニルインデックス

### 3.6. 熱分析<sup>2)</sup>

#### (1) 概要

中温化するためには、何らかの添加剤を使用するため、添加剤の効果発現温度の確認が必要であり、比較的簡便に広範囲の温度域での性状変化が把握できる熱分析が有効であると考えられた。そこで、示差走査熱量測定により、中温化アスファルトバインダの熱分析を実施し、同様の温度域で粘弾性状との相関を検証した。

#### (2) 試験方法

本研究で使用した材料や基本性状を表-9に示す。中温化アスファルトに対して、融点やガラス転移点等の性状変化を調べるために、示差走査熱量測定(DSC)を行った。アスファルト試料およびレファレンスとしてアルミナをそれぞれ10mg程度採り、測定に供した。測定の温度範囲はストレートアスファルト(以下、StAs)の場合は-60℃から180℃、ポリマー改質アスファルトII型(以下、II型)では-60℃から200℃に設定した。測定の際、アスファルトがサンプルケースに広がるよう、一旦高温にしたのち、温度を下げ、上述の温度範囲で測定を実行した。

#### (3) 検討結果

熱分析の結果として、2種類のベースアスファルトと中温化剤を加えた試料のDSCを図-14、15に示す。どちらのベースアスファルトでも-50℃から30℃の間でDSCが階段状に変化しており、これはガラス転移によるものと考えられる。この領域ではII型のほうがわずかに高温側にシフトした。またStAsでは60℃を超えた辺りで変曲が見られ、II型では80℃付近で見られたため改質剤の影響の可能性が考えられたが、かなり小さな変化であるため、結論するためにはさらに多くの測定による確認が必要と考えられた。中温化アスファルトのDSCが105℃付近で吸熱によるピーク値を示しており、この温度は中温化剤由来の融点に相当するものと考えられた。また、中温化剤の添加量が多いほどDSCの絶対値が大きくなった。これは、中温化剤の融解に要する熱量が多いことを意味しており、妥当な結果だと言える。

表-9 試料の概要

試料名 (文中の表記)	グレード等	針入度 (1/10mm)	軟化点 (°C)
StAs	ストレートアスファルト 60/80	中温化剤 無) 67	中温化剤 無) 47
		有) 39	有) 80.5
II型	ポリマー改質アスファルト II型	無) 47	無) 60.5
		有) 30	有) 89.0
中温化剤	粘弾性調整系 (Wax タイプ)		-



## 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

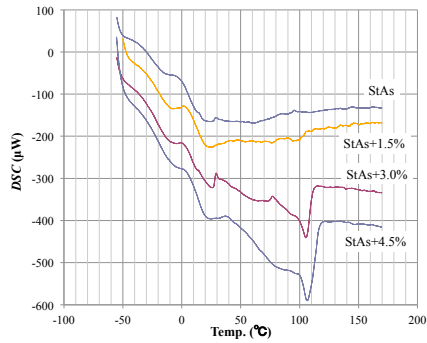


図-14 StAs ベースのバインダの DSC

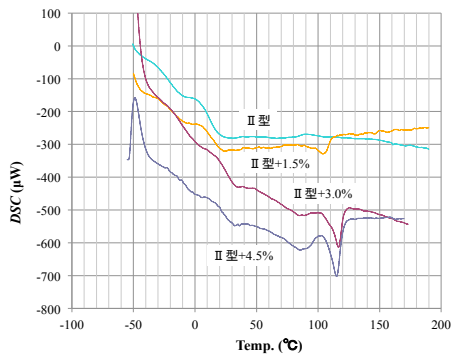


図-15 II型ベースのバインダの DSC

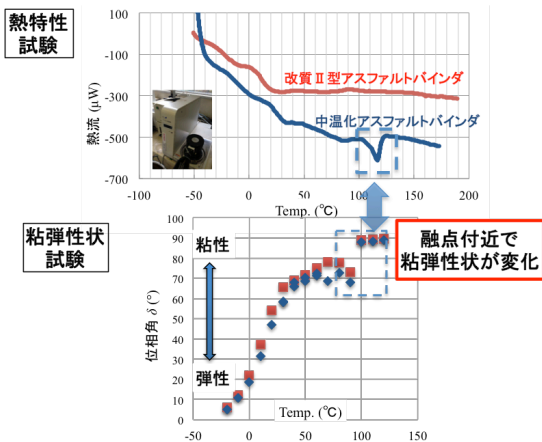


図-16 DSC と粘弾性状(位相角)の関係

また、図-16 に DSC と粘弾性状として位相角の結果を示す。融点付近において粘弾性状が変化しており、両者の相関を得た。

### 3.7. 繰り返しクリープ試験<sup>3)</sup>

#### (1) 概要

アスファルト混合物の耐わだち掘れ量(耐流動性)をアスファルトバインダの粘弾性状の観点から評価することは、試験の省力化の面においても重要である。しかし、ポリマー改質アスファルトバインダの場合、改質剤の弾

性性状の影響により、通常の動的粘弾性状試験では十分に評価できない可能性が高い。そこで、非線形領域の粘弾性状を調べる手法である繰り返しクリープ試験に着目し、中温化改質アスファルトバインダの粘弾性状の評価に対する繰り返しクリープ試験の有効性を検討した。

#### (2) 試験方法

実験には、ポリマー改質アスファルト II 型(以下、改質 II 型)およびプレミックスタイプの 5 種類の中温化改質アスファルト(II 型グレード)を用いた。これらのアスファルトバインダは、薄膜加熱試験(TFOT)を行い、促進劣化させた。また、ホイールトラッキング試験用の中温改質アスファルト混合物を作製した。アスファルト混合物は密粒度アスファルト混合物(13)であり、最適アスファルト量(OAC)は改質 II 型の最適量に合わせて全て 5.3 % に統一した。混合温度は、改質 II 型は 170 °C、中温アスファルトは種類によらず 140 °C に設定した。

繰り返しクリープ試験は、動的粘弾性試験と同じ試験機を使用して行った。繰り返しクリープ試験の測定方法は AASHTO (T-350) に従い、載荷時間 1 秒、除荷時間 9 秒を 1 サイクルとして、繰り返し載荷回数を 10 サイクルとした。試験によって得られるひずみ応答の模式図を図-17 に示す。実験条件のような短時間の除荷では、一定値には収束しきれないため、除荷 9 秒後のひずみに基づき残存ひずみを決定した。繰り返しクリープ試験から得られるパラメータである非回復クリープコンプライアンス  $J_{nr}$  は、式(1)で定義される。

$$J_{nr} = \epsilon_u / \sigma \quad (1)$$

ここで、 $\epsilon_u$  および  $\sigma$  はそれぞれ除荷後に残存したひずみ量とせん断応力を表す。本来のせん断応力の条件は 0.1 および 3.2 kPa であるが、既往研究で 10 kPa 程度の高いせん断応力にてわだち掘れ量と  $J_{nr}$  の相関が良いことが報告されている。本研究でもせん断応力の影響を検証するため、せん断応力の条件を 0.1~10 kPa の範囲で変化させた。また、試験温度は 60°C に設定した。

#### (3) 検討結果

繰り返しクリープ試験から得られたパラメータと、ホイールトラッキング試験から得られた動的安定度の関係を図-18 に示す。TFOT 試料にて  $J_{nr}$  と動的安定度との決定係数は 0.78 となり比較的良好な相関が得られた。この決定係数は高い数値であるとは必ずしも言えないが、既往研究で報告されている決定係数はおおよそ 0.75~0.93 程度であり、その範囲内に本実験結果が収まっていることを確認した。比較的大きな応力を連続的に加える繰り

## 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

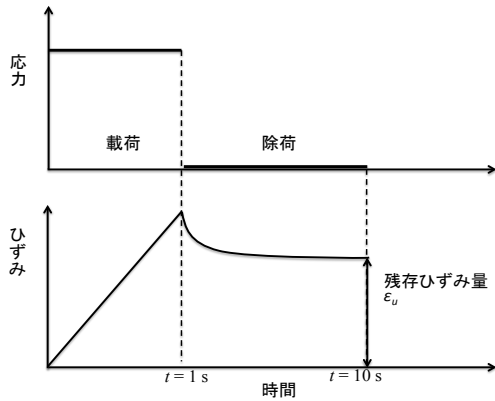


図-17 ひずみ応答性の模式図

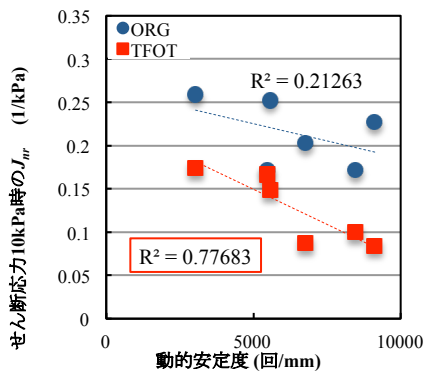


図-18 動的安定度とクリープコンプライアンスの関係

返しクリープ試験の方が、実際のホイールトラッキング試験と状況が近く、改質アスファルトバインダの高動的安定度に対して相関性が高かったと考えられる。

### 3.8. まとめ

本研究で開発した低炭素舗装技術に有効な新しい評価方法を取りまとめた。これらの評価手法によって、低炭素舗装技術の技術開発の効率化や技術の信頼性評価を図れるようになった。

## 4. 舗装材料の CO<sub>2</sub> 排出原単位等の提案

### 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。これまでの舗装用資材の CO<sub>2</sub> 排出原単位は、産業連関法によるもの<sup>4)</sup>や、積み上げ法によって作成されたもの<sup>5)</sup>であった。また、平成 24 年には新しいデータに基づき、国総研より産業連関法と積み上げ方を組み合わせた CO<sub>2</sub> 排出原単位も公表されている。そこで、本研究では国総研の公表した原単位および、これまで積み上げによって作成して

きた原単位を参考に、より細かい積み上げを行い、新たな原単位を作成した。また、中温化による CO<sub>2</sub> 排出抑制効果をより正確に評価するために、様々な製品が開発されつつある中温化剤や中温化アスファルトについて、最新の情報を収集して CO<sub>2</sub> 排出原単位を求め、開発品の中温化技術を中心に、低炭素舗装技術の CO<sub>2</sub> 排出量削減効果を算定した。

## 4.2 既存材料の CO<sub>2</sub> 排出原単位

### (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らえた環境評価技術の開発に関する報告 - 社会資本 LCA の実践方策-<sup>6)</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て、適宜積み上げ方を利用することで、舗装資材の原単位を作成するとともに、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。

### (3) 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-10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計上されていたので、大きく異なるものは少なかった。

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。

### (4) 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-11、12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、輸送および製造中の電力が、間接環境負荷にあたり、製造中の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。

表-10 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
単粒度砕石	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

## 4.3 中温化剤のCO<sub>2</sub>排出量原単位

### (1) 概要

アスファルト混合物製造時のCO<sub>2</sub>排出量の削減のために、製造温度を低減させるための中温化剤を使用することで、燃料消費量が抑制されることにより、アスファルト合材プラントからのCO<sub>2</sub>排出量が削減されることはこれまで明らかになっている。しかし、添加剤などの製造に係わるCO<sub>2</sub>排出量が大きいものであると、CO<sub>2</sub>排出抑制効果が期待より小さくなってしまう可能性がある。

表-11 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	未集計見込み値(アスコン)	t	800	—	—	7.69	6152
計					38955.4		44932.6
Itあたり					48.69		56.17

表-12 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	未集計見込み値(アスコン)	t	800	—	—	7.69	6152
計					37088.5		43725.5
Itあたり					46.36		54.66

## 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

ここでは、中温化によるCO<sub>2</sub>排出抑制効果をより正確に評価するために、様々な製品が開発されつつある中温化剤や中温化アスファルトについて、最新の情報を収集してCO<sub>2</sub>排出原単位を算出することにした。算出するに当たり、中温化剤や中温化アスファルトの市場調査を行い、これらの材料の製造や販売している民間会社に一定のフォーマットで原単位に係わる資材等の数量を調査することによりタイプ毎の平均的な原単位を求めた。

### (2) 公表資料の調査

中温化剤あるいは中温化アスファルトは、すでに市販されており、雑誌、パンフレット、HP、NETIS等から情報を入手できるものもある。従って、これらの情報を収集し、市場にあるこれらの材料の種類、原単位の情報などを収集した。調査した公開情報を表-13に示す。

### (3) 聞き取り調査

中温化剤、中温化アスファルトについては、最新のCO<sub>2</sub>排出原単位がほとんど公開されていないため、取り扱っている民間会社に直接聞き取り調査を行った。調査に当たっては、「舗装性能評価法別冊」にある調査用シートを参考に調査を行った。

### (4) 公表資料の調査の結果

文献調査においては、2009～2013年を対象に検索したところ中温化技術に関する文献が55編あった。この他2001～2008年の文献から3編追加し、58編の文献の情報を収集した。その結果、原単位に記述がある文献は3編、素材に関する記述があるのは2編だけであった。情報は、新しいもの少なく、また一般化した原単位を算出するには不十分であった。

市販中温化剤を取り扱っている企業を調査したところ、舗装会社21社および製造メーカ4社で、中温化添加剤あるいは中温化アスファルトが製品化されていることが分かった。これらのうちNETISに登録していたのは5社のみであり、いずれも原単位に関する記述はなかった。

このように、公開されている資料からだけでは、原単位の情報も原単位作成に参考になるデータも得ることは困難であった。このため、中温化添加剤あるいは中温化アスファルトを扱っている25社に対し、直接ヒアリング調査を行い、原単位の作成を試みた。

### (5) ヒアリング調査の結果

25社を対象にヒアリング調査を行ったところ、19社より回答が得られた。このうち、OEM商品もいくつかあるため、製品の種類としてはさらに少なかった。

原単位の調査結果を表-14に示す。なお、ヒアリングでは、素材の輸送、製造等いくつかに分けて調査を行っているが、詳細の情報開示は行わず全体の合計値での回

表-13 調査した公開情報

雑誌・論文集	日本道路会議論文集、土木学会年次学術講演会論文集、雑誌「舗装」、雑誌「アスファルト」、雑誌「改質アスファルト」、雑誌「道路建設」、雑誌「土木施工」、雑誌「建設の施工企画」、雑誌「アスファルト合材」、雑誌「建設機械」、東京都土木技術支援・人材育成センター年報、寒地土木研究所月報、雑誌「道路」、土木学会論文集、北海道道路舗装会議論文集
インターネット	企業HP、NETIS
その他	製品パンフレット

表-14 中温化剤あるいは中温化アスファルトのCO<sub>2</sub>排出原単位の平均値

中温化剤等種類	原単位平均値 (kg-CO <sub>2</sub> /t)	
中温化アスファルト	ストアス	131
	改質アスII型	445
	改質アスH型	648
中温化添加剤	粘度調整系	854
	滑剤系	1466
	発泡系	280

答も多かったため、ここでは、合計値の平均値で示す。中温化添加剤については、製品により添加量が大きく異なるため、この原単位だけを見て排出量が多いか少ないかは比較できなかった。

## 4.4 開発した中温化剤によるCO<sub>2</sub>排出量削減効果

### (1) 概要

本研究を通じて、さらなるCO<sub>2</sub>排出量の削減を目指して、製造温度をさらに50℃程度低減できるものや、再生混合物に適用して製造温度を20～30℃程度低減できるものを開発してきた。これらの開発品を対象に、中温化技術のCO<sub>2</sub>排出量削減効果を試算した。

### (2) 算出方法

CO<sub>2</sub>排出量原単位は、「舗装の環境負荷低減に関する算定ガイドブック」<sup>7)</sup>に準拠して算出した。また、本舗装材料の使用によるCO<sub>2</sub>排出量の低減値を、下記の式に基づいて算出する。

$$A = (B - C) / B \times 100 \quad (2)$$

(A:CO<sub>2</sub>排出量低減率%)  
B:通常混合物のCO<sub>2</sub>排出量  
C:中温化混合物のCO<sub>2</sub>排出量)

### (3) 評価した技術

評価した技術は、よりCO<sub>2</sub>排出量削減効果を向上させ



たものであり、民間企業と共同開発した技術である。評価下技術を以下に示す。

開発品 A ... 改質アスファルト混合物に発泡系中温化剤を添加したもの。添加量はアスファルト量の 1.5%

開発品 B ... 常温施工型の中温化技術

開発品 C ... 再生混合物(再生骨材 40%)に対して中温化剤を添加する。添加量はアスファルト量の 1.5%

開発品 D ... 再生混合物(再生骨材 60%)に対して中温化剤を添加する。添加量はアスファルト量の 1.5%

#### (4) 改質アスファルトベースの開発品に対する CO<sub>2</sub> 排出量削減効果の試算

図-19 に改質アスファルトベースのアスファルト混合物の CO<sub>2</sub> 排出量を示す。ポリマー改質アスファルト II 型を使用した従来品の中温化混合物では、CO<sub>2</sub> 排出量の低減率は 3.8% であった。開発品では、従来よりも製造温度を 50℃ 低減させることに成功しており、CO<sub>2</sub> 排出量の低減率は 5.3%、13.8% に達した。中温化剤を加えることで、中温化剤に係る CO<sub>2</sub> 排出量が増加するが、一方で、中温化混合物の製造温度の低減により、製造に係る重油の量が減ったことで、結果的に CO<sub>2</sub> 排出量削減効果が得られたと考えられる。

#### (5) 再生混合物へ適用可能な開発品の CO<sub>2</sub> 排出量削減効果の試算

図-20 に従来品と比較したときの CO<sub>2</sub> 排出量をまとめた。再生混合物の製造そのものは、低炭素社会の実現に寄与するリサイクル技術のひとつであるため、中温化していない、通常の再生混合物でもある程度の CO<sub>2</sub> 削減が可能である。式(2)に基づき、CO<sub>2</sub> 排出量の低減率を算出したところ、再生骨材の配合率が高いほど、削減効果が顕著であり、再生骨材率が 40% の場合で低減率は 7.8%、骨材率が 60% とした場合では 14.3% であった。この再生混合物に対して開発品の中温化剤をアスファルト量に対して 1.5% 添加すると、それぞれ再生混合物において 7.8%、14.3% の CO<sub>2</sub> 排出量の低減効果があることがわかった。

これらの再生混合物における CO<sub>2</sub> 排出量削減効果をもたらす要因を検討するために、素材、輸送および製造時の CO<sub>2</sub> 排出量の比較を図-21 に示す。図中の“開発品 A'”は、本来、通常加熱混合物や開発品 D と比較するために、開発品 A と同様の中温化剤をストレートアスファルトへ適用した場合を仮定して試算した。通常加熱混合物と開発品 A' を比較すると、中温化剤の分だけ素材に関わる CO<sub>2</sub> 排出原単位が増加しているが、製造に係る排出量が抑えられている。一方、再生混合物は、再生骨材の加熱に係るエネルギーが多いため、通常加熱混合物

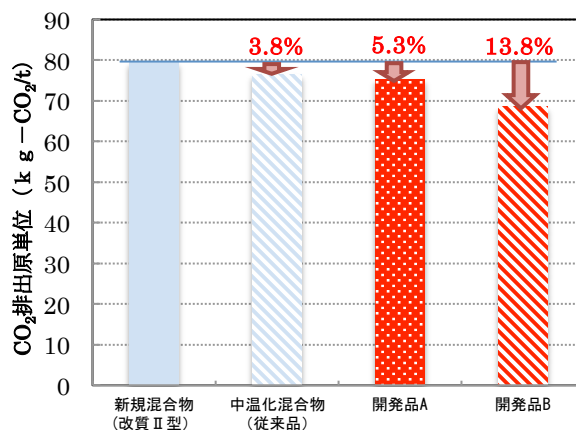


図-19 開発した中温化技術の CO<sub>2</sub> 削減効果の比較

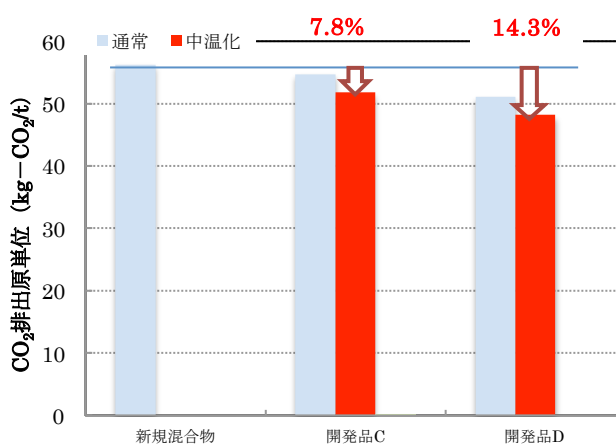


図-20 CO<sub>2</sub> 排出量原単位の比較

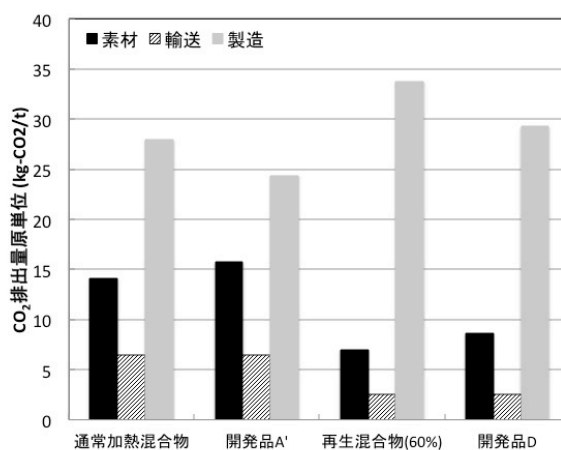


図-21 工程毎の CO<sub>2</sub> 排出量原単位の比較

物に比べて CO<sub>2</sub> 排出量が多くなる。一方、素材や輸送に係る排出量が少ないために、結果として CO<sub>2</sub> 排出量が抑えられたと考えられる。

#### 4.5 低炭素舗装技術のCO<sub>2</sub>排出量削減効果

##### (1) 評価した技術<sup>8)9)</sup>

低炭素舗装技術として、新しい施工工法、舗装材料のCO<sub>2</sub>排出量原単位を算出した。対象とした技術の概要を以下に示す。

- ① 中温化技術...製造温度を 50℃低減可能な中温化剤を添加したアスファルト混合物
- ② 弱加熱技術 ... 水分を潤滑剤として活用して製造温度を低下させる作製したアスファルト混合物
- ③ 常温製造技術 ... 常温施工型のアスファルト混合物
- ④ 再生技術...再生骨材配合率を 30%した場合のアスファルト混合物
- ⑤ 常温路上表層再生工法...路上において、既設アスファルト混合物を書きほぐし、新しいアスファルト乳剤を加え、これを混合し、敷きならしたものを新しい表層として再生する工法

##### (2) 試算結果

図-22 に、低炭素舗装技術のCO<sub>2</sub>排出量原単位の算定結果を示す。なお、常温路上差表層再生工法については、他の技術と条件を合わせるため、材料製造までのCO<sub>2</sub>排出量までしか算定しておらず、施工にかかるCO<sub>2</sub>排出量が献上されていないため、他の技術と比べて非常に低い値を示している。従来の密粒度アスファルト混合物に比べて、各技術を適用したアスファルト混合物のCO<sub>2</sub>排出量は減少している。再生混合物の場合、中温化技術を適用する事でさらに削減効果が向上することが明らかとなった。また、骨材の配合率が高いほど、削減効果が顕著であり、再生骨材率が14.2%のCO<sub>2</sub>排出量の低減効果があることがわかった。

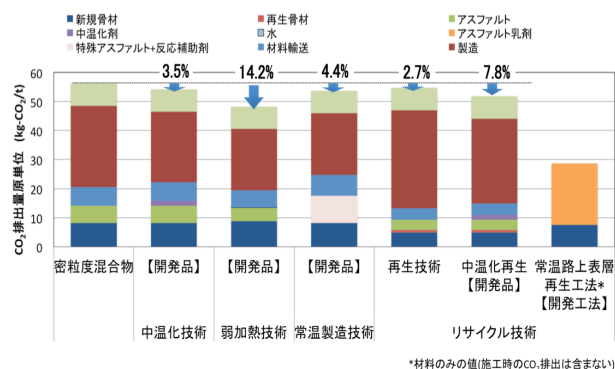


図-22 低炭素舗装技術のCO<sub>2</sub>排出量原単位の一例  
(ストレートアスファルトベース)

#### 5. まとめ

材料資源研究グループの研究成果は、次の通りである。

- ・ 新規アスファルト混合物において、製造温度を 50℃低減できる添加材料を開発した。また、再生アスファルト混合物において製造温度を 30℃低減できる添加材料を開発した。
- ・ 本研究で開発した低炭素舗装技術の評価に有効な新しい評価方法を取りまとめた。これにより、低炭素舗装技術の技術開発の効率化および技術の信頼性評価が図れるようになった。
- ・ 国総研が提案する新しい原単位作成方法に則り、既存舗装材料のCO<sub>2</sub>排出量原単位を作成した。
- ・ 本研究で開発した低炭素舗装材料に対して製造工程・輸送を考慮した原単位を新たに作成し、開発品のCO<sub>2</sub>排出量削減効果を明確化した。
- ・ 中温化技術の適用により、改質アスファルト混合物では 5.3~13.8%、再生混合物では 7.8~14.3%ほど、CO<sub>2</sub>排出量削減効果があることを明らかにした。
- ・ 低炭素舗装技術としての新しい施工工法、舗装材料と各CO<sub>2</sub>排出量原単位をまとめた。

#### 参考文献

- 1) 新田弘之、川上篤史、西崎到：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-362，2012.9
- 2) 辻本陽子、新田弘之、西崎到：中温化アスファルトバインダの熱特性と粘弾性状、舗装工学論文集、vol.19, 2014.
- 3) 辻本陽子、新田弘之、西崎到：中温化ポリマー改質アスファルトの諸性状と繰り返しくりば特性、舗装工学論文集、vol.20, 2015.12
- 4) 片脇清、寺田剛：資源・エネルギー消費、現在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,1994.3.
- 5) 舗装性能評価法別冊,社団法人道路協会 pp.159-190, 2008.3.
- 6) 国土交通省国土技術政策総合研究所,(公社)土木学会：社会資本のライフサイクルを通じた環境評価技術の開発に関する報告書-社会資本 LCA の実践方策-,2012.2,
- 7) 舗装委員会 舗装性能評価小委員会：舗装の環境負荷低減に関する算定ガイドブック，日本道路協会，2014.
- 8) 久保和幸、寺田剛、川上篤史、西崎到、新田弘之、辻本陽子、廣藤典弘、鈴木徹、源藤勉、小柴朋広、

## 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

吉野敏弘、村井宏美、藤田浩成：低炭素舗装技術の高度化に関する研究－中温化技術の高性能化－、共同研究報告書、第470号、独立法人土木研究所 世紀東急工業株式会社、2015.4

9) 久保和幸、寺田剛、川上篤史、西崎到、新田弘之、

辻本陽子、村山雅人、村井伸頼、梅森悟史：低炭素舗装技術の高度化に関する研究－アスファルト乳剤を用いたリサイクル技術の開発－、共同研究報告書、第469号、独立法人土木研究所 東亜道路工業株式会社、2015.4

# 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

KAWASHIMA Yoko

**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 2015 fiscal year is the final year of this research. Studies contents are as follows: (1) development of the new technics for the production of paving materials to reduce of CO<sub>2</sub> emission, (2) submission of new examinations warm mix technics and (3) submission of the CO<sub>2</sub> emission unit of paving materials.

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