

## 7.3 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> 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 23 年度は、初年度にあたりリサイクル材料や植物系素材を用いた舗装材料の低炭素化の検討、低炭素化した舗装材料の評価方法の検討などを行った。その結果、石炭灰を主原料とした素材が低炭素化用の添加剤として利用可能であることを明らかにした。また、低炭素化用の添加剤として利用可能と思われる植物系樹脂の性状を明らかにした。さらに、低炭素化舗装材料の評価試験として小型曲げ試験の有効性を確認した。

キーワード：低炭素、舗装材料、中温化剤、曲げ試験、はく離試験

### 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> 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 23 年度は、初年度にあたりリサイクル材料や植物系素材を用いた舗装材料の低炭素化の検討、低炭素化した舗装材料の評価方法の検討などを行った。

## 2. リサイクル材を用いた中温化剤の開発

### 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一時的に見かけの粘度を低下させ、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。すでに様々なタイプの中温化剤が開発されているが、ここでは、中温化剤にリサイクル材を利用することにより、CO<sub>2</sub> 排出抑制と同時にリサイクルの増進を図ることとした。

日本では石炭灰などを原料とした人工ゼオライトが開発され、リサイクル品であるとともに高性能であることでも注目されている<sup>1)</sup>。ゼオライトは、加熱すると水蒸気を発生するため、海外ではこの性質を利用した中温化技術が開発されている<sup>2)</sup>。そこで、本研究では、石炭灰を原料とした人工ゼオライトを用いて中温化剤を開発することにした。

なお、本検討は、世紀東急工業（株）との共同研究により実施した。

### 2.2 方法

#### (1) 石炭灰を原料とする人工ゼオライト

使用した人工ゼオライトの概要を表-1 に示す。この人工ゼオライトは、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っている。人工ゼオライトを電子顕微鏡で撮影したものを写真-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。

### 7.3 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、本技術は、熱によりゼオライト内の水分が水蒸気になることを利用して中温化するもので、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。

表-1 人工ゼオライト概要

概観	灰色の粉体
平均粒径	10~30 $\mu\text{m}$
溶出 pH	10~12
溶解性	水に対して難溶

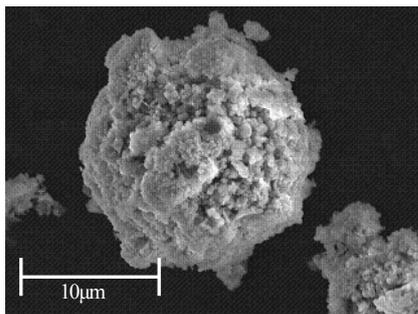


写真-1 人工ゼオライト拡大写真(×2000)

#### (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における混合温度を 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。その後、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。

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

### 2.3 検討結果

#### (1) 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。

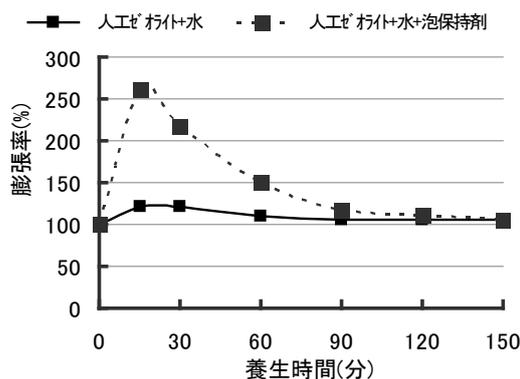


図-1 膨張率試験結果の一例

#### (2) 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、回転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。

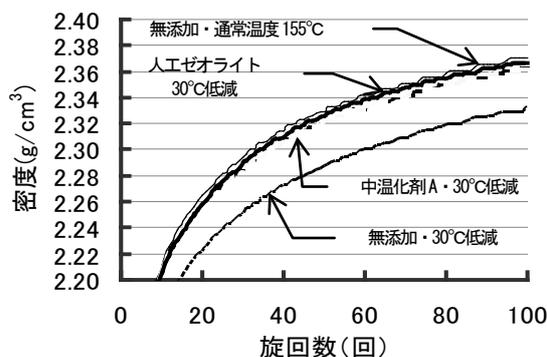


図-2 ジャイレトリー試験機による締固め試験結果

## 7.3 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

### (3) 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℃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はいないことを確認した。

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

### (4) 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。

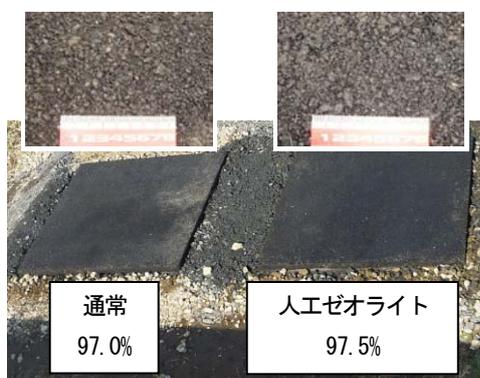


写真-2 試験施工後写真

## 3. 植物系素材を利用した中温化剤に関する検討

### 3.1 概要

CO<sub>2</sub> 排出抑制には、排出そのものを抑える方法と、繰り返し利用が可能な炭素を利用する方法、つまり植物を利用する方法がある。アスファルト混合物製造温度を低下させる添加剤として、植物系素材を利用したものができれば、添加剤の製造に関わる CO<sub>2</sub> 排出抑制もできるため、通常の添加剤よりも CO<sub>2</sub> 排出抑制がさらに期待できる。

そこで、ここでは植物系素材による中温化剤の可能性について検討を行った。

### 3.2 方法

#### (1) 植物系素材

植物系素材としては、ひまわり油を原料とする舗装材料が海外事例としてある。ここでは、食料との競合がない素材として、表4 に示すロジン(松から採取)、およびヒマシ油(トウゴマの実から採取)について検討を行った。

表-4 検討した植物系素材

	概要	一般性状
ロジン	松脂。松から得られる天然樹脂。3つの環構造を持つ樹脂酸を主成分とする。様々な工業原料に利用される。	密度 1.07 軟化点 76℃ 平均分子量 350 程度
ヒマシ油	トウゴマ(ヒマ)の実から採取した油。脂肪酸とグリセリンとのエステルを主成分とする。印刷インキ、コーキング材、潤滑剤などに利用される。	密度 0.96 粘度(25℃) 680mPa·s

#### (2) バインダ試験

植物系素材をアスファルトに添加し、針入度、軟化点、粘度などを計測し、バインダとしての一般性状を把握すると共に、アスファルト混合物製造温度低減効果について検討した。

### 3.3 検討結果

ロジンは常温で固体であり、脆い性質を持っている。これにヒマシ油を加えることで、適度に柔軟性を持たせることができる。まず、ロジンにヒマシ油を添加して針入度を測り、針入度 50 および 70 になる配合比を予め求めておいた。これらを針入度等級 40/60 および 60/80 のストレートアスファルトにそれぞれ添加したときの一般性状およびアスファルト混合物製造温度の低減について検討した。

表-5 に針入度 70 相当に調整した植物系素材をアスファルトに添加したときの諸性状を示す。軟化点は規格の範囲内ではあったが、規格の最低値付近となった。針入度指数には規格はないが、舗装用アスファルトでは概ね -1.5~-0.5 の値を示し、マイナスになるほど温度変化に敏感になる。したがって、通常のアスファルトより温度変化に敏感になるものと考えられた。混合温度は、粘度測定結果より求めたものであるが、概ね 20~30℃低減させることができた。

表-6 に針入度 50 相当となるように添加したとき、概ね規格に適合する値が得られた。しかし、針入度指数は

針入度 70 相当と同様にマイナス側であり、温度変化に敏感なものとなった。混合温度は 20～30℃低減させることができた。

表-5 植物系素材の添加結果（針入度 70 相当）

	植物系素材：アスファルト			規格
	30:70	50:50	70:30	
針入度	71	71	71	60-80
軟化点℃	44.0	44.0	45.5	44.0-52.0
伸度 cm	100 以上	100 以上	100 以上	100 以上
針入度指数	-2.09	-1.96	-1.56	—
混合温度℃	130～135	124～129	111～112	150-155*

\*アスファルト 100%のときの値

表-6 植物系素材の添加結果（針入度 50 相当）

	植物系素材：アスファルト			規格
	30:70	50:50	70:30	
針入度	52.0	49.0	48.0	40-60
軟化点℃	48.0	48.0	48.5	47.0-55.0
伸度 cm	100 以上	100 以上	100 以上	100 以上
針入度指数	-1.60	-1.80	-1.63	—
混合温度℃	135～140	126～130	120～123	156-162*

\*アスファルト 100%のときの値

#### 4. 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

##### 4.1 概要

アスファルト混合物製造時の CO<sub>2</sub> 排出低減を目的として、中温化技術の適用事例が最近増えてきており、供用性についての調査も行われつつある<sup>4)</sup>。しかし、事例がまだ少なく長期供用性の確認は今後も引き続き必要と考えられる。

比較的供用初期に現れる破損については、これまで施工されたものの中からも確認が進められつつあるが、ひび割れのような破損はある程度長期の供用を待たないと把握できない。このため、室内試験での評価が欠かせない。低温ひび割れなどに関する室内試験には「舗装調査・試験法便覧 B005 曲げ試験」(以下、B005)があり、低温でのひずみ量の把握や脆化点の評価ができる。本試験は、これまで一定温度でのひずみ量の評価するのに利用されることが多く、多くの供試体を必要とする脆化点の評価にはあまり利用されていない。混合物の低温時の性状評価に脆化点など情報は有用と考えられ、より試験労力を軽減した方法が必要と考えられた。

そこで、試験の労力の軽減や、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検討しその特性を把握するとともに、これによる中温化混合物の評価を行った。

#### 4.2 方法

##### (1) アスファルト混合物

試験には、表-7 に示す 5 種類の密粒度アスファルト混合物(最大粒径 13mm)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℃低い温度で混合した。

表-7 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℃
2	通常 2	改質アス II 型 (5.5%)	なし	172℃
3	中温発泡	ストアス 60/80 (5.5%)	発泡系中温化剤	120℃
4	中温滑剤	ストアス 60/80 (5.5%)	滑剤系中温化剤	120℃
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℃

##### (2) 試験方法

###### 1) 小型供試体による曲げ試験

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、締固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。試験は図-3 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、载荷速度、試験温度を変化させて試験を行った。

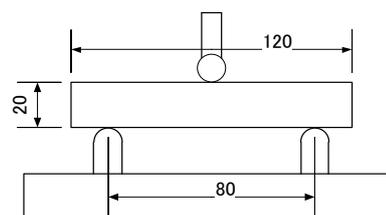


図-3 曲げ試験の概要

###### 2) 化学分析

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。

##### (3) 検討内容

検討は、以下の項目について行った。

- ① 小型供試体による曲げ試験の特性の把握
- ② 中温化混合物の曲げ性状把握

①では、脆化点の求め方の検討や载荷速度と脆化点の

関係把握などを行い、②では対象とした中温化混合物の性状と、その原因について考察した。

### 4.3 検討結果

#### (1) 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、まず荷重速度の影響を把握するために荷重速度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4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4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4下図のようなひずみ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5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Ⅱ型の供試体（表-1のNo.2）を用いて、4速度で荷重した結果、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、ひずみ脆化点は荷重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。

ストアスの供試体（表-1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。

#### (2) 中温化混合物の曲げ性状把握

3.3の検討を元に、中温化混合物の曲げ性状を把握した。荷重速度は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6下図に示す。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。

この原因の一つとして、混合温度が低いことによりアスファルトの劣化が抑えられたことが予想された。そこで、アスファルトの劣化について、FT-IRによる分析を試みた。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>9)</sup>として評価を行った。結果を図6上図に示す。No.1（通常密粒）とNo.3（中温発泡）、4（中温滑剤）はアスファルトが同じで、混合温度が異なる

ものである。中温化混合物の方がカルボニル基が少なく、劣化が抑えられているものと考えられ、その結果、低温性状が良くなったものと考えられた。

なお、No.5の再生中温化混合物については、再生材を

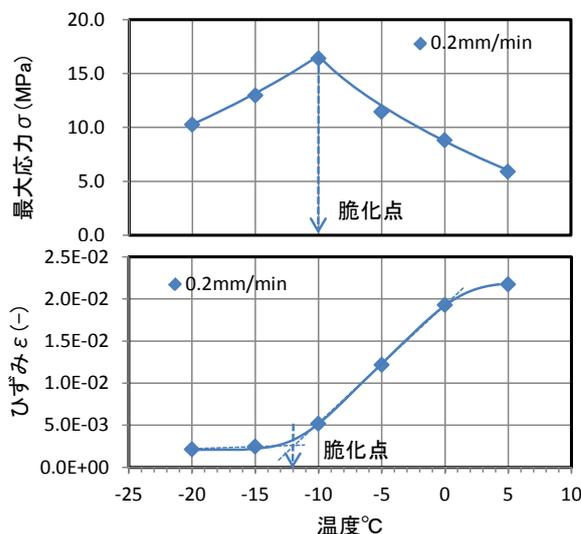


図-4 曲げ脆化点の求め方

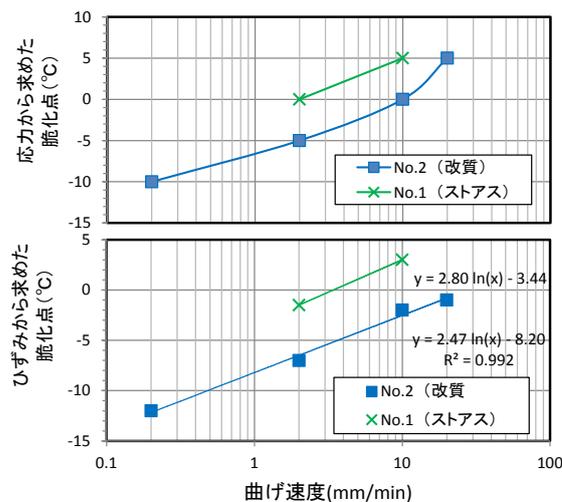


図-5 曲げ速度と脆化点の関係

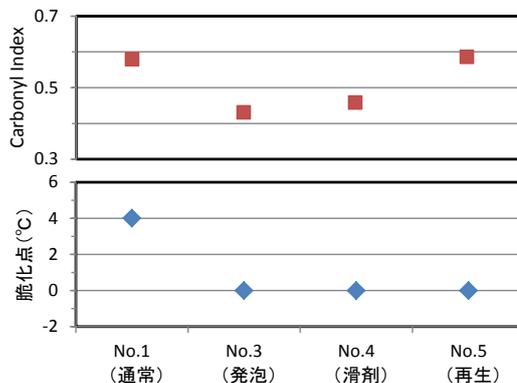


図-6 中温化混合物の脆化点と Carbonyl Index

用いているため、他の混合物とはアスファルトが異なっている。図-6で脆化点と Carbonyl Index の関係が異なっているのは、再生材に付着していたアスファルトの Carbonyl Index が高かったことが影響したと考えられる。

## 5. まとめ

平成 23 年度に得られた結果は、次のとおりであった。

- ・ リサイクル材を利用した中温化剤の開発研究を行った結果、石炭灰を原料とする人工ゼオライトは、中温化剤として利用でき、アスファルト混合物の製造温度を 30℃低下させることができることが確認された。
- ・ 植物系素材を用いたアスファルト混合物製造温度低減技術を検討した結果、ロジンの主成分とする素材を添加して 20～30℃低減させることができることが分かった。
- ・ 中温化アスファルト混合物を評価する新しい方法を検討した結果、ひび割れ抵抗性の評価に用いられる曲げ試験は、供試体を小型化することが可能であり、これにより大幅に作業負荷が軽減され、また現場切り取り供試体などにも利用できることが分かった。この方法によって脆化点を求めることができ、中温

## 7.3 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

化混合物を評価した結果、中温化混合物は一様に脆化点が低く、低温ひび割れに強い傾向を示した。これはアスファルト混合物製造温度が中温化により低下したため、アスファルトの劣化が抑えられた結果である可能性が見いだされた。

## 参考文献

- 1) 新井他；石炭灰から製造した人工ゼオライトの特徴とコンクリートへの活用, セメント・コンクリート, No.715, pp.58～63, 2006.9
- 2) Graham C.Hurley et al ; EVALUATION OF ASPHA-MIN ZEOLITE FOR USE IN WARM MIX ASPHALT, NCAT Report05-04, 2005.6
- 3) 清水他；アスファルト混合物の施工性改善に寄与する舗装用添加剤の開発, 道路建設, No.650, pp.28～33, 2002.3
- 4) 齊藤他；中温化アスファルト舗装の耐久性等の特性に関する調査, 第 29 回日本道路会議, 一般論文, 論文 No.3005, 2011.11
- 5) 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

## 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 2011 fiscal year is the first year of this research. The use of recycling material or a material of vegetable origin was investigated as the low carbon technology for a pavement material, and the evaluation method of the materials was examined. As a result, artificial zeolite made from coal ash showed clearly that it can be used as an additive agent for carbon reduction, the quality as an additive agent of the resin made from a plant was clarified, and the bending test by a small specimen was developed and the applicability to a low-carbon paving materials was confirmed.

**Key words** : low-carbon society, paving materials, warm mix asphalt, bending test for asphalt mixture, anti-stripping evaluation test