

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 CO₂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、CO₂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 CO₂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 25 年度は、①新たな低炭素化舗装材料である水硬化型添加剤を用いた混合物の耐候性についての評価試験、②コンクリート再生骨材を使用した CO₂固定型の舗装材料の CO₂固定性能の評価、③製造温度を低減させた舗装材料の加熱劣化抑制効果の把握、さらに、④製造温度低減のための添加剤や製造温度を通常より低くしたアスファルトバインダの CO₂排出原単位の検討を行った。その結果、水硬化型添加剤を用いた混合物の耐候性では 1 年程度では際だった性状低下は見られず、今後も調査を継続していくこと、CO₂固定型舗装材料では、CO₂固定が確認されたこと、製造温度を低減させた舗装材料の劣化抑制効果は見られたが、より明確にするために中温化剤の影響を排除して今後も検討が必要であることが分かった。一方、低炭素化のための添加剤、あるいは低炭素化が図れるアスファルトの CO₂排出原単位について、現状を調査し、原単位を作成した。

キーワード：低炭素、舗装材料、中温化剤、セメントコンクリート再生骨材、CO₂固定化、CO₂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 CO₂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、CO₂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 CO₂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 25 年度は、①水硬化型添加剤を用いた混合物の耐候性の調査、②コンクリート再生骨材を利用した CO₂固定型舗装材料の性能調査、③製造温度を低減した舗装材料の劣化特性の評価、④低炭素化のための添加剤、低炭素化が図れるアスファルトの CO₂排出原単位の調査などを行った。

2. 新たな低炭素化アスファルト混合物の開発

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 CO₂排出量を削減できる。すでに様々な中温化剤が開発されており、通常 150～180℃程度のものを 30℃程度低減させることは、一般に可能になっている。本研究では、一般に使用されているものよりもさらに低炭素化が図れる材料の開発を行っており、これまで、民間企業との共同研究などにより、50℃程度の低減が可能な添加剤の開発、リサイクル材を利用した添加剤の開発などを行ってきた。

これまで開発された技術の中には、水と反応して硬化する特殊添加剤を用いて製造温度を 50℃以上低減できる技術も開発されているが、本技術は硬化する成分の耐久性が不明であるため、バインダおよび混合物の暴露試験を行い耐候性の調査を行った。

2.2 方法

(1) バインダの暴露試験

水と反応して硬化する特殊添加剤の耐候性を調査するため、バインダのみをステンレス板上に薄膜状とした供試体を作製し、暴露試験を行った。表-1に供試体の形状や暴露の条件を示す。また、暴露の状況を写真-1に示す。

暴露した供試体は、一定期間で回収し、少量のサンプルでも測定できる DSR (ダイナミック・シヤ・レオメータ) を用いて、粘弾性の変化を計測して評価した。

表-1 薄膜供試体の作製および暴露条件

項目		内容
供試体 (円形)	質量	約 1.6g
	直径	約 150mm
	厚さ	約 0.1mm
配合	特殊添加剤添加量	0, 10, 20, 30, 40, 50%
暴露	設置場所	土木研究所つくば暴露場
	暴露期間	2週間, 1ヶ月, 2ヶ月

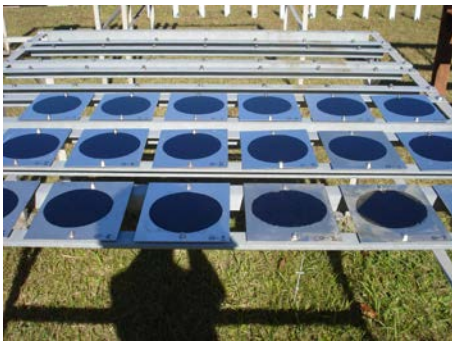


写真-1 屋外暴露状況

(2) アスファルト混合物の暴露試験

舗装用混合物の性状へ影響を把握するため、特殊添加剤を用いたアスファルト混合物の暴露試験も行った。混合物での試験においては、バインダのみの状態とは異なり、紫外線等の影響が供試体内部まで及びにくいいため、紫外線量の多い沖縄暴露場にて行い、暴露期間も長期間とした。暴露の状況を写真-2に示す。

暴露した供試体は、定めた期間ごとに回収し、20×20×120mmの小型供試体の曲げ試験を行うこととした。

表-2 混合物供試体の作製および暴露条件

項目		内容
供試体	ホイールトラッキング供試体	300×300×50mm 密粒度混合物(13)
配合	特殊添加剤添加量	0, 50%
暴露	設置場所	土木研究所沖縄暴露場
	暴露期間	1~5年



写真-2 屋外暴露状況

2.3 検討結果

(1) バインダ暴露試験

暴露試験後に回収したバインダの DSR 測定結果を図-1, 2に示す。ここでは、特殊添加剤を入れていないアスファルトのみ(0%)と30%入れたものの結果を示す。複素弾性率 G^* は、アスファルトのみでは、1ヶ月後には低温側が増大しているが、特殊添加剤を入れた場合も変化の程度は同様であり、特に劣化しやすくなる傾向は見られなかった。一方、損失正接 $\tan \delta$ はアスファルトのみでは変化がわずかなのに対し、特殊添加剤を入れたものは若干小さく変化している。温度が高い場合、損失正接が小さいほど永久変形しにくくなるので、高温では特に望ましくない変化とは言えないが、低温では、ひび割れへの抵抗性が失われていくことになる。

暴露期間がまだ短く、性状の差はまださほど大きくないので、今後も暴露を継続していくとともに、DSR 以外の検討も行い、ひび割れ抵抗性の評価を行う必要がある。

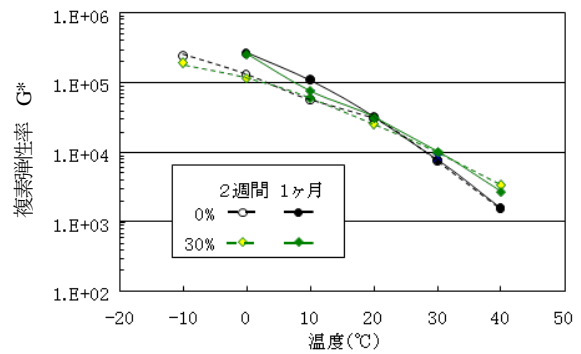


図-1 暴露試験後の複素弾性率 G^*

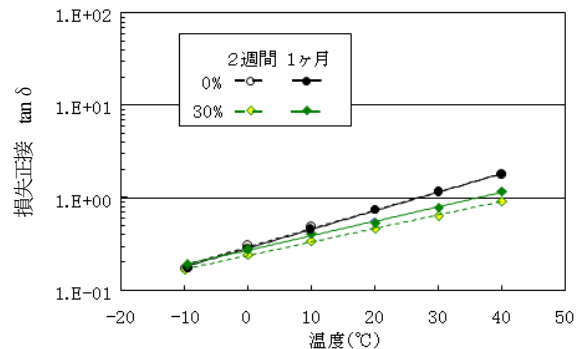


図-2 暴露試験後の損失正接 $\tan \delta$

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

(2) アスファルト混合物の暴露試験

図-3, 4 に暴露前と暴露1年目の供試体の曲げ試験の結果を示す。図-3 には比較用のアスファルトのみ、図-4 には特殊添加剤50%を入れたものの結果を示す。ここで、曲げ試験は、小型供試体によるものであり、温度を変えて試験を行い、脆化点を把握した。

アスファルトのみの場合、暴露前には脆化点が 8°C 付近であるのに対し、暴露1年後 11°C 付近になり、劣化により脆化点が上昇する傾向が認められた。しかし、特殊添加剤の場合、暴露による変化は見られるものの、設定した試験温度範囲では脆化点が把握できなかった。特殊添加剤を入れた場合、脆化点はかなり高くなるものと見られ、今後、適切な試験温度範囲を検討し、脆化点を求めていく必要があることが分かった。

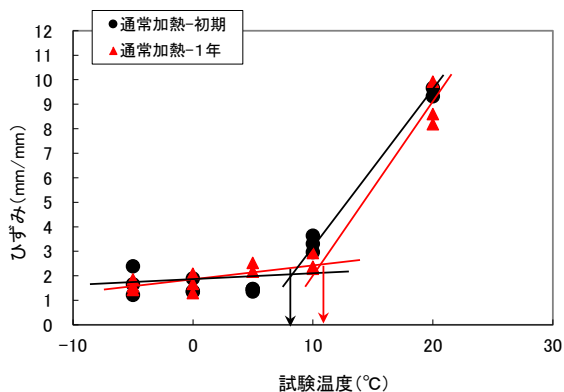


図-3 暴露による混合物脆化点の変化 (添加剤なし)

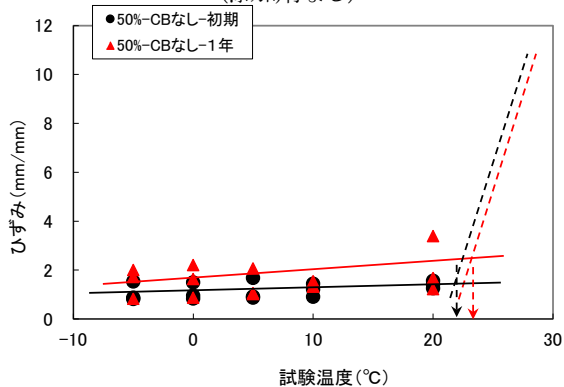


図-4 暴露による混合物脆化点の変化 (特殊添加剤 50%)

3. コンクリート再生骨材を利用した CO₂固定舗装材料の開発

3.1 概要

再生材料を活用することで、低炭素化が期待できる場合があるが、セメントコンクリート再生骨材の場合、再生材料である上に、セメントコンクリートの CO₂固定作用も期待できるため、より一層の低炭素化が期待できる。そこで、セメントコンクリート再生骨材を使用し、

表層に用いることのできる舗装材料の開発を民間企業と共同で行っているところである。

ここでは開発中の舗装材料の CO₂固定効果の計測を行ったので報告する。

3.2 方法

(1) 舗装材料

計測に用いた舗装材料は、実道において試験舗装中のもと同じ配合のものであり、表-3 に示すものを用いた。

表-3 混合物種類と混合温度

名称	骨材		結合材		水
	セメントコンクリート再生骨材	スラグ水砕砂	セメント	スラグ微粉末	
①(50:50)	50	50	4%	12%	12.5%
②(100:0)	100	0	4%	12%	12.5%

(2) 試験方法

写真-3 に示すように、デシケータ内に供試体と CO₂濃度計を密封し、時間当たりの CO₂濃度を測定した。図-5 に CO₂固定量の算出イメージを示す。時間当たりの CO₂濃度変化から時間当たりの CO₂固定量を計算し、日々の濃度変化から CO₂固定総量を算出した。



写真-3 デシケータ試験の状況 (左) と CO₂濃度計 (右)

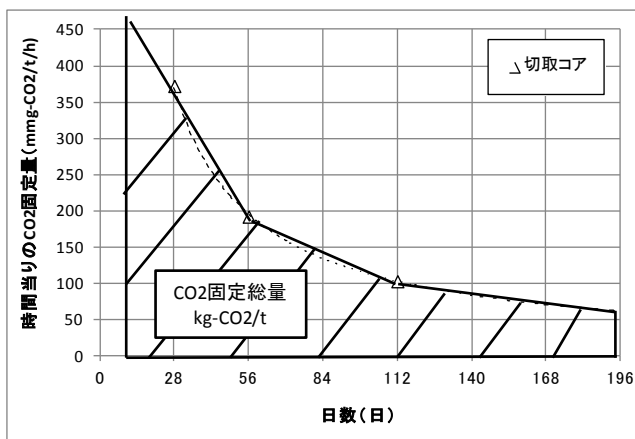


図-5 CO₂固定量の算出イメージ

3.3 結果

デシケータ内に置いた供試体のCO₂固定量を図-6に示す。計測は、初期、1ヶ月、6ヶ月、12ヶ月に行うこととし、現在1ヶ月までの計測が終了している。50:50、100:0どちらの供試体においては、最初の1ヶ月で0.5kg-CO₂/t程度の固定ができていたものと見られた。なお、100:0の方が再生骨材量が多いので、CO₂固定量が多いものと予想されたが、初期の測定では大きな差が見られなかった。

今後、継続して測定を行いCO₂固定量の差を見ると共に、TG-DTA(示差熱分析)を用いて、炭酸カルシウムの脱炭素分解による質量減少を測定することにより、CO₂固定量を分析していく。

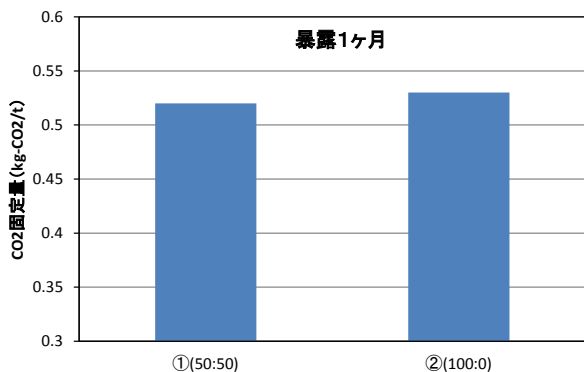


図-6 暴露によるCO₂固定量の計測

4. 中温化舗装材料の製造時劣化に関する検討

4.1 概要

アスファルト混合物を中温化することにより、燃料消費が抑えられるだけでなく、アスファルトの劣化を抑えられる利点を有することはこれまでの研究により分かっている。一方、アスファルトだけで行う劣化試験には、薄膜加熱試験 (TFOT) があるが、この試験法は試験温度が163℃と定められている。中温化剤を使用する場合、試験温度が高すぎる可能性があったため、中温化した場合の適切な試験温度について検討を行った。

4.2 方法

本検討では、TFOT 試験温度を変化させてアスファルトバインダのみの劣化試験を行うと共に、作製温度を変えて中温化アスファルト混合物を作製し、抽出回収したアスファルトの性状と比較することで、適切な試験温度を定めることにした。表4に使用した材料および検討条件を示す。

表-4 材料および試験条件

項目	内容	
材料	中温化剤	粘度調整系、発泡系 各1
	アスファルト	ストレートアスファルト 60-80
混合物	作製温度	150 (標準), 130, 120, 110℃
	締固め	混合温度12℃で、1時間養生後締固める
	性状測定	アスファルト抽出回収後に針入度、軟化点
TFOT	試験温度	163 (標準), 140, 130, 120℃
	作製方法	150℃で中温化剤と混合後、TFOT
	性状測定	針入度、軟化点

4.3 結果

(1) 針入度

混合物から回収したアスファルトの針入度を図-7に示す。回収アスファルトの針入度変化は全体的にあまり大きくなかった。中温化剤なしのものが普通のものであるが通常温度 (150℃) から40℃下げた場合でも針入度は7だけの変化であった。発泡系では、途中の温度での差はあるが、40℃下げた場合で針入度変化は8程度であった。しかし、これらに対し、粘度調整系では温度を変えた場合でもほとんど針入度に影響が出なかった。これは、発泡系では発泡成分が反応し終われば針入度に影響する成分が消滅していくのに対し、粘度調整系は残留するため、残留した成分の影響が残ったためと考えられた。

図-8にTFOT後のアスファルトの針入度を示す。TFOT後のアスファルトでも、中温化剤無のものと発泡系がかなり似た挙動を示した。しかし、中温化剤無は針入度変化が10であったのに対し、発泡系は4と小さかった。

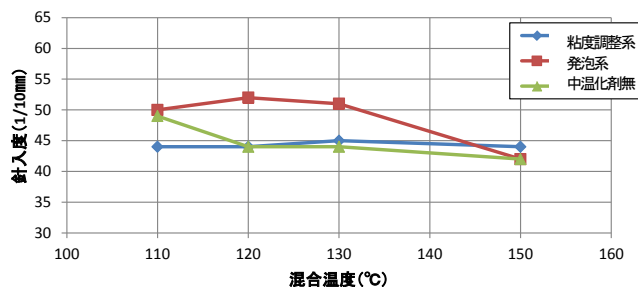


図-7 回収アスファルトの針入度

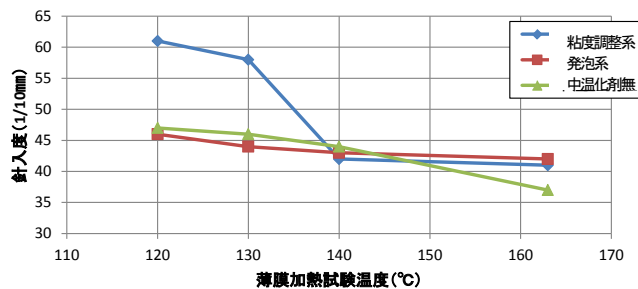


図-8 TFOT アスファルトの針入度

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

粘度調整系はここでも明らかに異なる挙動を示した。TFOT 後の試料は溶剤に溶かすなどの操作が無い場合、中温化剤の残留成分の影響が大きく出たものと考えられた。しかし、温度により影響度が異なっているため、中温化剤自体も熱により変化している可能性があることが分かった。

(2) 軟化点

回収アスファルトの軟化点と TFOT アスファルトの軟化点を図-9, 10 に示す。回収アスファルトでは全体にあまり大きな変化はなかった。TFOT アスファルトでは、やはり粘度調整系が針入度と同様特異な挙動を示した。

粘度調整系で TFOT アスファルトの挙動が特異であったのは、やはり中温化剤の残留成分の影響だと考えられ、残留成分の影響の出ない操作方法などが場合には必要になると考えられた。

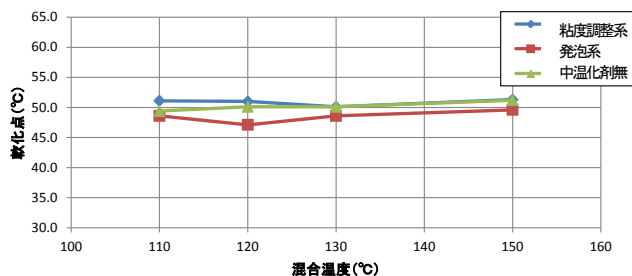


図-9 回収アスファルトの軟化点

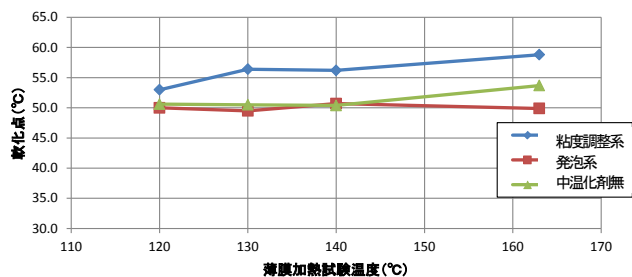


図-10 TFOT アスファルトの軟化点

(3) 中温化を考慮したアスファルト劣化温度の検討

針入度、軟化点の測定より、針入度の方が劣化の感度が高かったため、また粘度調整系では中温化剤の残留の影響が見られたため、粘度調整系以外の針入度の性状を比較して、TFOT 劣化温度を検討した。図-11, 12 にそれぞれを比較したものを示す。中温化剤無の場合、混合物回収アスファルト、TFOT アスファルトそれぞれの針入度の変化が同じような変化を示したため、低温化した分だけ TFOT 劣化温度を下げるのが妥当と予想された。しかし、発泡系では混合物回収アスファルトの変化と比べて TFOT アスファルトの変化が小さく、同じような挙動を示さなかった。このため、中温化剤無で予想したように、低温化した分だけ単純に TFOT 劣化温度を下げればよいとは結論できなかった。

今回、中温化剤の影響のため、TFOT 劣化温度の適切な設定ができなかった。今後、中温化剤の影響の検討、針入度以外の指標での検討などが必要と考えられた。

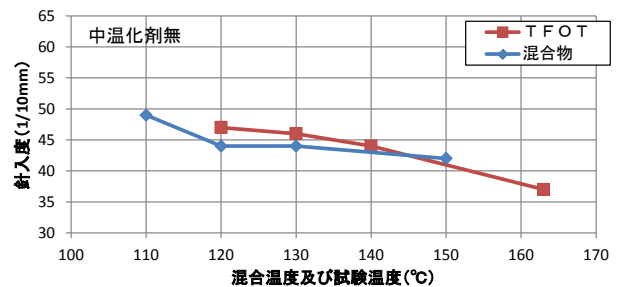


図-11 アスファルトの性状比較 (中温化剤無)

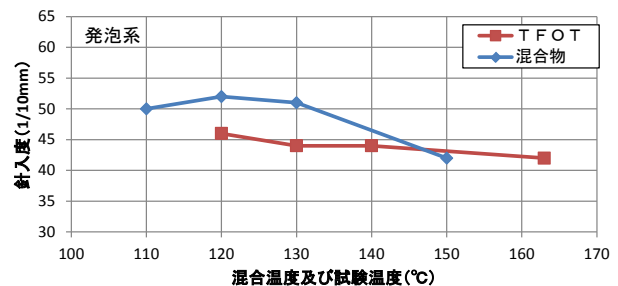


図-12 アスファルトの性状比較 (発泡系)

5. 中温化のための舗装材料の CO₂排出原単位に関する検討

5.1 概要

アスファルト混合物製造時の CO₂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したり、製造温度を低く抑えるために予め添加剤を混ぜたアスファルト (以降、中温化アスファルト) が使用されたりする。これらの材料の使用により製造温度が下げられ、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 CO₂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 CO₂排出量が大きいものであったりすると、CO₂排出抑制効果が期待より小さくなる可能性もある。

ここでは、中温化による CO₂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 CO₂排出原単位を求めることにした。求めるに当たっては、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平均的な原単位を求めることにした。

5.2 方法

(1) 公表資料の調査

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

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。

表-5 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、北陸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

(2) 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CO₂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」³⁾にある調査用シートを参考に調査を行った。

5.3 結果

(1) 公表資料の調査

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ー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。

(2) ヒアリング調査

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くなった。

原単位の調査結果を表-6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答も多かったため、ここでは、合計値の平均値で示す。なお、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、この原単位のみで排出量が多いか少ないかは比較できない。

表-6 中温化剤あるいは中温化アスファルトのCO₂排出原単位の平均値

中温化剤等種類	原単位平均値 (kg-CO ₂ /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

6. まとめ

平成25年度に得られた結果は、次のとおりであった。

- ・ 水硬化型添加剤を利用した混合物の耐候性を屋外暴露供試体により評価した。DSRにより初期では通常と大きな差がないことが分かった。
- ・ コンクリート再生骨材を使用したCO₂固定型舗装材料のCO₂固定量を評価した。簡便な方法で、最初の1ヶ月で0.5kg-CO₂/t程度のCO₂固定が見られた。
- ・ 製造温度の低減による混合物の劣化抑制を考慮した試験条件を検討した。検討の結果、劣化抑制効果は見られものの、中温化剤の影響のために試験条件が定まらず、今後、影響を排除して検討をする必要があると考えられた。
- ・ 中温化剤、中温化アスファルトのCO₂排出原単位の調査を行い、平均的な原単位をまとめた。

参考文献

- 1) 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
- 2) 黒田他：解体コンクリートによる二酸化炭素の固定，コンクリート工学論文集，vol.20，No.1，2009
- 3) 日本道路協会：舗装性能評価法別冊，2008.3

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 CO₂ 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 2013 fiscal year is the third year of this research. Studies contents is as follows: (1) weatherability evaluation of the asphalt mixture technology for curing reaction by water, (2) evaluation of CO₂ fixation ability of paving material using recycled aggregate concrete, (3) verification of thermal degradation inhibitory effect by WHA, and (4) making the list of CO₂ emission unit of the pavement materials for WMA.

Key words : low-carbon society, paving materials, warm mix asphalt (WMA), cement concrete waste, CO₂ fixation, CO₂ emission unit