

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①

研究予算：運営費交付金

研究期間：平 23～平 27

担当チーム：舗装チーム

研究担当者：久保和幸、寺田剛、川上篤史、
平川一成

【要旨】

低炭素社会の早期実現に向け、舗装分野においても CO₂削減技術・工法の開発が進められている。本研究は、舗装の低炭素化技術の開発、およびそれらの低炭素化技術の評価方法の開発を行うことを目的とする。

平成 25 年度は、新たな低炭素舗装技術として期待される低燃費舗装技術のメカニズムの解明に向けて、舗装の路面性状と大型車のタイヤ／路面転がり抵抗の関係について検討を行った。また、低炭素舗装技術について中温化舗装技術の CO₂とライフサイクル CO₂ (LCCO₂) 削減効果及びコンクリート舗装の LCCO₂評価並びに大幅な CO₂削減効果が期待できる表面処理工法の高性能化について検討を行った。その結果、大型車の燃費に影響を及ぼすタイヤ／路面転がり抵抗は、普通車と同様に路面テクスチャ及び開粒系の最大粒径と相関関係があること、中温化舗装技術は CO₂及び LCCO₂削減効果があること、コンクリート舗装の LCCO₂は 30 年以上の打ち換えサイクルであれば、アスファルト舗装より LCCO₂ともに低減効果があること、表面処理工法の工法を変えることにより耐久性が向上することが分かった。

キーワード：低炭素舗装、低燃費舗装、タイヤ／路面転がり抵抗、路面性状、LCCO₂

1. はじめに

地球温暖化対策の一環として、近年様々な舗装技術が低炭素社会を実現する舗装技術（以下、低炭素舗装技術）として見直されてきている。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」¹⁾では、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、長寿命化技術が挙げられている。本ガイドブックは平成 21 年に発刊されているが、発刊後も新たな低炭素舗装技術の研究・開発が進められている。これら低炭素舗装技術は、低炭素社会の実現に向けて、更なる CO₂排出量低減を目指した技術開発等を行うとともに、今後の普及促進のために低炭素性能を評価する手法を明らかにすることが必要である。

本研究は、低炭素社会を実現する舗装材料、舗装工法の開発、舗装材料・舗装工法等の LCCO₂評価技術の提案を目的としている。

本年度は、①新たな低炭素舗装技術として期待される低燃費舗装²⁾のメカニズムの解明に向けて、自動車の燃費に影響を及ぼすタイヤ／路面転がり抵抗と舗装の路面性状の関係を明らかにするため、

各種舗装上で大型車の惰性走行試験を行うことによって転がり抵抗係数を求め、各種舗装の路面性状測定値との関係について昨年度行った普通乗用車の結果と対比して検討した。また、②低炭素舗装技術について中温化舗装技術の CO₂削減効果及び③打ち換えサイクルを変えた場合の中温化舗装技術とコンクリート舗装の LCCO₂の評価並びに④大幅な CO₂削減効果が期待できる表面処理工法の耐久性を向上させる工法にについて検討した。

2. 舗装路面性状とタイヤ／路面転がり抵抗の関係

2.1 研究方法

表-1 試験工区の概要

No	工区名称	舗装種別	最大粒径 (mm)	測定延長 (m)	場所
1	CON	連続鉄筋コンクリート舗装	20	80	西直線路
2	密粒度①13	密粒度アスファルト舗装	13	80	東直線路
3	密粒度②13	密粒度アスファルト舗装	13	80	西直線路
4	密粒度④13	密粒度アスファルト舗装	13	80	東直線路
5	排水性①13	排水性舗装	13	80	西直線路
6	排水性③5	排水性舗装	5	80	西直線路
7	排水性④20-13	排水性舗装	20-13	50	西直線路
8	粗面SMA①13	粗面SMA舗装	13	80	西直線路

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①

2.1.1 試験対象とした舗装路面

試験に用いた舗装路面は、国土技術政策総合研究所構内の表-1および図-1に示す8工区を対象とした。昨年度は15工区で普通乗車での転がり抵抗を測定したが、本年度はそのうち差が顕著であった舗装の

べり抵抗（動的摩擦係数）、路面プロファイル、路面テクスチャで測定した値を用いた。

2.1.2 タイヤ／路面転がり抵抗測定

舗装路面の転がり抵抗の測定は、昨年度の研究結果³⁾を基に大型車の惰性走行法（図-2）とし、JIS D



(a) 1 工区：コンクリート舗装

(b) 6 工区：排水性舗装（5mm トップ）

(c) 5 工区：排水性舗装（13mm トップ）

(d) 8 工区：粗面 SMA（5mm トップ）

図-1 試験工区の概観（抜粋）

表-2 路面性状の調査方法

調査項目		試験機	舗装調査・試験法便覧
すべり抵抗性	RSN	DFテスト	S021-3
路面プロファイル	平坦性 σ	3mプロファイルメータ	S028
	IRI	3mプロファイルメータ(MRP-2000)	S032T
路面テクスチャ	MPD	CTメータ	S022-3T
	SMTD	ミニテクスチャメータ(MTM)	S022-2T
	MPD	3mプロファイルメータ(MRP-2000)	—
	SMTD		—



図-2 惰性走行試験

種類が異なる8工区で測定した。

各工区の路面性状は、昨年測定した表-2に示す

表-3 惰性走行試験条件

試験条件	設定内容
試験車両	10tダンプ(日野自動車BDG-FA1AKXA)
工区延長	80m(一部工区50m)
指定点車速	20、40、60km/h
使用タイヤ	ダンロップ SP430 11R22.514PR
タイヤ空気圧	700kPa
車両重量	23,000kg(最大負荷能力の85%)
測定回数	測定点車速1点につき10回程度
速度のサンプリング	精度:0.01km/h. 0.2秒間隔

1015 自動車-惰性試験方法を参考に行った。試験条件を表-3に示す。大型車を用いて測定工区に指定速度で惰性走行を行い、経過時間および走行速度の変化を速度計により記録した。測定点での車速を変えた場合の時間を基に、減速度、試験速度および走行

抵抗を算出した。最小二乗法により空気抵抗及び転がり抵抗に分け、式(1)により転がり抵抗を試験時車両重量で除算して転がり抵抗係数を求めた^{4)、5)、6)}。なお、この惰性走行試験による転がり抵抗係数の算出は速度に依存しない方法となる。

$$\mu_r = (R - \mu_a AV^2) / W \quad (1)$$

ここで、

μ_r ：転がり抵抗係数

R：走行抵抗[N]、

μ_a ：空気抵抗係数[(km/h)²/Pa]

A：車両前面投影面積[m²]、

V：試験速度[km/h]

W：試験時車両重量[N]

2.2 研究結果

2.2.1 各工区の路面性状

各工区のすべり抵抗(動的摩擦係数)、路面プロファイル、路面テクスチャの測定結果を表-4に示す。

2.2.2 舗装の路面性状とタイヤ/路面転がり抵抗

各工区の転がり抵抗係数の平均を100として小さい順に並び替えた結果を図-3に示す。

図-3の結果から、平坦性が良好なNo.3 密粒度②13で転がり抵抗係数の比率が最も小さくなった。

性、粗面 SMA)を対象とした最大粒径と相関が極めて高く、すべり抵抗との相関は見られなかった。

大型車と普通車の転がり抵抗係数の比率を相対比較した結果を図-4に示す。

図-4の結果から、両者に一定の相関がみられ、緻密な路面テクスチャとすることで開粒系舗装の転がり抵抗係数を小さくできることが確認された。

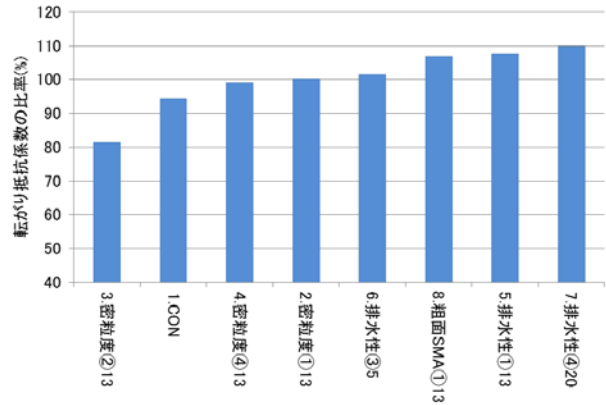


図-3 各工区の転がり抵抗係数の比率(大型車)

表-4 各工区の路面性状

No.	工区	すべり抵抗 (DFT)			路面プロファイル		路面テクスチャ(mm)			
		20 km/h	40 km/h	60 km/h	平坦性 σ (mm)	IRI (mm/m)	MPD ※1	SMTD ※2	MPD ※3	SMTD ※3
1	CON	0.68	0.66	0.64	0.99	1.67	0.40	0.23	0.90	0.92
2	密粒①13	0.69	0.65	0.61	2.69	3.41	1.16	0.59	1.45	2.18
3	密粒②13	0.77	0.73	0.68	0.70	1.41	0.58	0.28	0.85	0.78
4	密粒④13	0.83	0.79	0.74	1.04	1.59	0.33	0.23	0.59	0.88
5	排水①13	0.50	0.47	0.45	1.03	2.45	1.59	0.83	1.96	1.69
6	排水③5	0.57	0.54	0.53	1.08	2.32	0.88	0.44	1.21	1.27
7	排水④20-13	0.59	0.58	0.58	1.65	2.34	2.41	1.14	2.91	2.42
8	粗SMA①13	0.60	0.52	0.46	1.33	1.79	1.05	0.66	1.61	1.80

※1：測定器 CTM, ※2：測定器 MTM, ※3：測定器 MRP2000

各工区の転がり抵抗係数と路面性状調査項目との相関を表-5に示す。大型車による転がり抵抗係数は、普通車と同様に路面テクスチャ(MPDおよびSMTD)と相関が高い(それぞれR=0.68、R=0.71)ことが確認された。併せて、平坦性やIRIとの相関から普通車より路面プロファイルの影響を受けやすいことが確認された。開粒系(排水

表-5 路面性状調査項目との相関

路面性状の項目		相関係数	
		大型車	普通車
最大粒径(排水性・粗面SMAを対象)		0.97	0.92
すべり抵抗(DFT) (排水性・粗面SMAを対象)	20km/h	0.00	0.49
	40km/h	0.09	0.46
	60km/h	0.07	0.28
路面プロファイル	平坦性 σ (mm)	0.37	0.25
	IRI(mm/m)	0.46	0.20
路面テクスチャ(mm)	MPD※3	0.68	0.84
	SMTD※3	0.71	0.90

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①

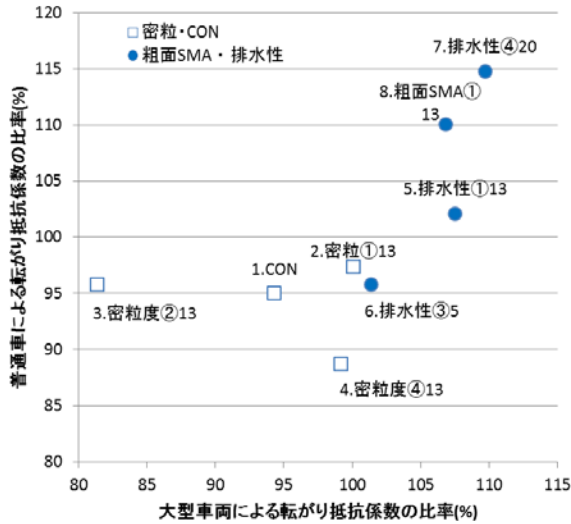


図-4 車両の違いによる転がり抵抗係数の比較

3. 低炭素舗装技術のCO₂排出量の検討

3.1 研究方法

低炭素舗装技術である中温化舗装技術について、通常の舗装技術（比較技術）とのCO₂及びLCCO₂排出量の比較を行った。また、アスファルト舗装とコンクリート舗装のライフサイクルスパン（舗装した後、舗装を供用し、再施工する期間。耐久性や寿命）に着目し、ライフサイクルスパンの変化がLCCO₂に与える影響を試算した。

試算の対象とした中温化舗装技術および比較技術を表-6、舗装断面の一例を表-7および表-8に示す。Case 1および2ではN6断面に新設後、5～10年毎の表層(5cm)の切削オーバーレイ（以後、切削OL）し、新設20年後に路盤打替えを行う条件で中温化舗装技術を適用した場合について試算した。Case 3では、アスファルト舗装は、新設後10年毎に路盤打換え、コンクリート舗装では路盤打換のサイクルを20年～40年と変化させ、新設20年後に全層打換えを行う条件でライフサイクルスパンがライフサイクルCO₂に与える影響について試算した。計算期間は120年間とした。

ライフサイクルCO₂の試算に用いた主な材料のCO₂排出量原単位を表-9に示す。その他、舗装工事に用いる材料等のCO₂排出量原単位およびライフサイクルCO₂の試算は、日本道路協会「舗装の環境負荷低減に関する算定ガイドブック」⁷⁾に準じて行った。また、舗装工事に用いる燃料等の数量や日施工量等については、国土交通省土木工事積算基準(平成24年版)⁸⁾に準拠して算出した。

表-6 ライフサイクルCO₂試算ケース

ケース	工 法
Case 1	①比較:再生密粒度舗装(通常温度) ②中温化技術:再生密粒度舗装(30℃低減)
Case 2	①比較:排水性舗装(通常温度) ②中温化技術:排水性舗装(50℃低減)
Case 3	①アスファルト舗装 ②コンクリート舗装

表-7 Case 2 の舗装断面

種類	舗装断面図(重交通)
①排水性舗装	舗装構成: 表層(5cm) 再生密粒度75% (13) (50℃低減) 5.0 基層(5cm) 再生密粒度75% (20) 5.0 上層路盤(10cm) アスファルト安定処理 10.0 下層路盤(10cm) 粒度調整砕石 10.0 路床(10cm) フラスチャレン 10.0 舗装材料: h(cm) 5.0 5.0 10.0 10.0 10.0 切削: 5.0 5.0 10.0 10.0 10.0 既設舗装: 5.0 5.0 10.0 10.0 10.0
②中温化排水性舗装(50℃低減)	舗装構成: 表層(5cm) 再生密粒度75% (13) (50℃低減) 5.0 基層(5cm) 再生密粒度75% (20) 5.0 上層路盤(10cm) アスファルト安定処理 10.0 下層路盤(10cm) 粒度調整砕石 10.0 路床(10cm) フラスチャレン 10.0 舗装材料: h(cm) 5.0 5.0 10.0 10.0 10.0 切削: 5.0 5.0 10.0 10.0 10.0 既設舗装: 5.0 5.0 10.0 10.0 10.0

表-8 Case 3 の舗装断面

種類	舗装断面図(重交通)
①アスファルト舗装	舗装構成: 表層(5cm) 再生密粒度75% (13) 5.0 基層(5cm) 再生密粒度75% (20) 5.0 上層路盤(10cm) アスファルト安定処理 10.0 下層路盤(10cm) 粒度調整砕石 10.0 路床(10cm) フラスチャレン 10.0 舗装材料: h(cm) 5.0 5.0 10.0 10.0 10.0 打替: 5.0 5.0 10.0 10.0 10.0 既設舗装: 5.0 5.0 10.0 10.0 10.0
②コンクリート舗装	舗装構成: 表層(5cm) 普通コンクリート 25.0 基層(5cm) 再生密粒度75% (13) 5.0 上層路盤(10cm) 粒度調整砕石 10.0 下層路盤(10cm) フラスチャレン 10.0 路床(10cm) 67.0 舗装材料: h(cm) 25.0 5.0 10.0 10.0 67.0 打替: 25.0 5.0 10.0 10.0 67.0 既設舗装: 25.0 5.0 10.0 10.0 67.0

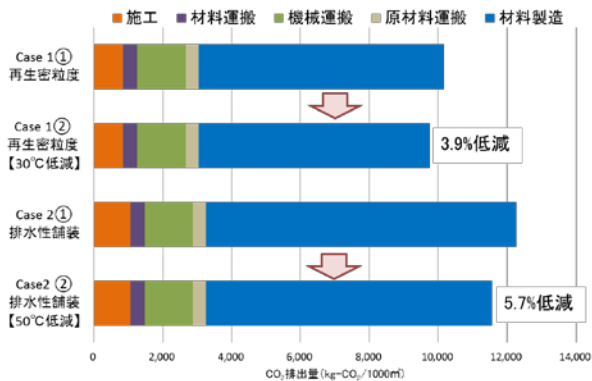
表-9 材料のCO₂排出量原単位等

分類	素材名	投入単位	原単位 (kg-CO ₂ /単位)	CO ₂ 原単位根拠
素材	ストレータアスファルト	t	107.56	【国総研原単位2005c】
	ポリマー改質アスファルトH型	t	670.40	舗装の環境負荷低減に関する算定ガイドブック
	中温化剤	t	287.64	【国総研原単位2005c】
	普通ポルトランドセメント	t	888.25	【国総研原単位2005c】
	乳剤(PK-3.4,PKR-T)	L	126.51	舗装の環境負荷低減に関する算定ガイドブック
	砕石	t	7.98	【国総研原単位2005c】
	砂	t	11.54	【国総研原単位2005c】
	スクリーニングス	t	7.98	舗装の環境負荷低減に関する算定ガイドブック
	フィルター	t	5.41	【国総研原単位2005c】
	再生骨材	t	2.23	舗装の環境負荷低減に関する算定ガイドブック
燃料電気	水	t	0.095	【国総研原単位2005c】
	軽油	L	2.95	【国総研原単位2005c】
	A重油	L	2.91	【国総研原単位2005c】
	電気	kWh	0.464	【国総研原単位2005c】

3.2 低炭素舗装技術のCO₂排出量の試算結果

各低炭素技術のCO₂排出量を図-5に示す。

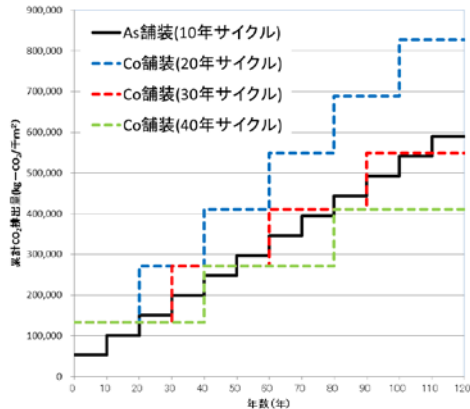
Case 1において、再生密粒度舗装では、中温化技術を適用し、製造温度を30℃低減することで通常技術に比較して、CO₂排出量が3.9%低減となった。Case 2においては、排水性舗装に中温化技術を適用し、製造温度を50℃低減することで通常技術に比較して、CO₂排出量が5.7%低減される試算結果となった。

図-5 CO₂の算出結果

ライフサイクルスパンを10年とした場合、中温化舗装技術を用いることで再生密粒度舗装では通常技術と比較してライフサイクル CO₂が 2.6%の低減となった。同様に排水性舗装では2.2%の低減となった。

次にアスファルト舗装とコンクリート舗装のライフサイクルスパンによる LCCO₂排出量を図-6 に示す。

コンクリート舗装では打替えサイクルを 30 年とした場合、アスファルト舗装と同程度、40 年とした場合にはアスファルト舗装より LCCO₂が低減する結果となった。

図-6 ライフサイクルスパンによる LCCO₂ (Case 3)

4. 表面処理工法の耐久性向上に関する検討

4.1 表面処理工法の概要

表面処理工法は、図-7 に示すように老化した路面や軽微なひび割れ、摩耗などを改善する維持工法で、アスファルト乳剤と骨材を単層または複層に仕上げる散布式表面処理である。舗装の表面を再生し耐水性のある表面を得る効果もある。切削を必要としないため、廃材の搬出が無く、加熱せずに施工が可能であるため大幅な CO₂削減が期待できる。



図-7 従来工法

写真-1 試験施工状況

4.2 検討方法

表面処理工法は、アスファルト乳剤を用いているため、耐久性が弱く適用箇所が軽交通道路となる。そこで耐久性を向上させる工法について試験施工を行い、耐久性の評価としてキメ深さと骨材飛散抵抗性の試験を行った。

4.2.1 試験施工

(1) 施工場所：ニチレキ(株)技術研究所構内道路 (写真-1 参照)

(2) 交通量：普通乗用車 30 台/日程度 (大型交通量 2 台/日程度)

(3) 検討した工法

1) 従来工法：一層式チップシール (図-7 参照)

2) 耐久性検討工法

① 検討A工法：骨材の動きを抑制するため下地乳剤を塗布し骨材を貫入した工法 (図-8 参照)

② 検討B工法：かみ合わせを改善するため補助骨材で空隙を充填した工法 (図-9 参照)

③ 検討C工法：従来工法にスラリーシールを行い、骨材飛散抵抗性を強化した工法 (図-10 参照)

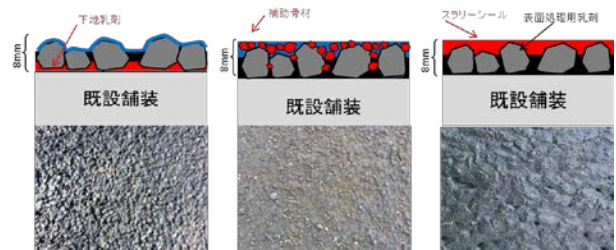


図-8 検討A工法

図-9 検討B工法

図-10 検討C工法

4.2.1 キメ深さの確認

サンドパッチング方法（舗装調査・試験法便覧 S022-1）に準拠しキメ深さを算出した。

4.2.2 骨材飛散抵抗性試験

舗装後の路面の上でステアリングによる骨材はがれ量を測定した。

4.3 調査結果

4.3.1 きめ深さ

きめ深さ測定結果を図-11に示す。この結果、従来工法はキメ深さが2.3mmであるのに対し、今回検討した工法は1.1mm、0.6mmと小さくなっており、従来工法に比べ舗装表面の粗さは改善され、きめ細やかになった。また、下地乳剤や補助骨材によって主骨材の間隙が充填され、骨材が飛びにくい状態であることが分かる。

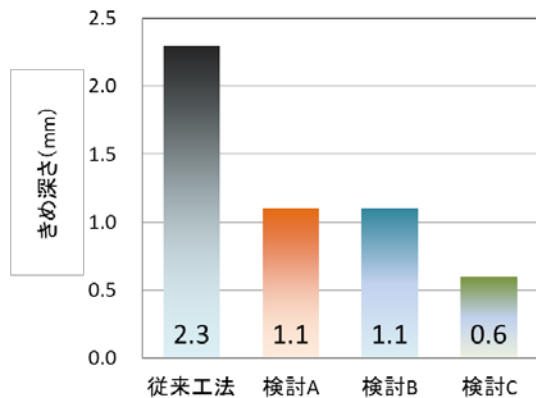


図-11 きめ深さの測定結果

4.3.2 骨材飛散抵抗性試験

従来工法を100としたステアリングによる骨材はがれ量の測定結果を図-12に示す。この結果、今回検討したA及びBともいずれも従来工法に比べ約1/3～半分程度に骨材剥がれ量が小さくなっており、耐久性が向上した結果となった。

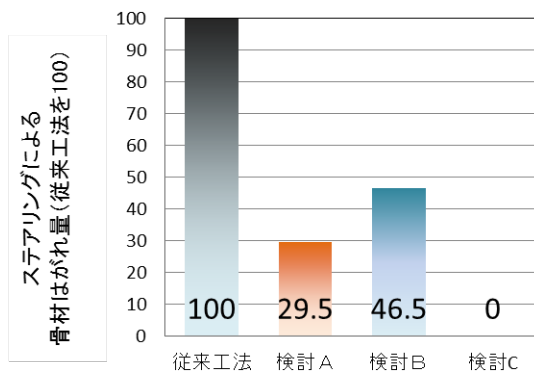


図-12 骨材はがれ量の測定結果

検討Cではきめ深さは小さく、骨材はがれ量はほぼ0であった。これは、表面をシールコートを行うことで滑りやすい路面となってしまったことに起因している。また施工後早期にクラックが発生していることから、維持工法として改善していく必要がある。今後は軽観察と併せて各検討工法のCO₂削減効果について確認する予定である。

5. まとめ

本研究結果をまとめると、以下のとおりである。

大型車のタイヤ／路面転がり抵抗については、①普通車と同様に路面テクスチャと高い相関がある、②開粒系（排水性および粗面 SMA）に限定した場合は最大粒径と高い相関がある、③すべり抵抗性とは関連がない、④普通車と大型車に一定の相関がみられ、緻密な路面テクスチャとすることで開粒系舗装の転がり抵抗係数を小さくできることが分かった。

また、低炭素舗装技術のCO₂排出量の検討結果については、①中温化技術を適用した再生密粒度舗装（30度低減）及び排水性舗装（50℃低減）は、通常技術と比較してCO₂排出量削減効果が期待できる、②中温化技術のLCCO₂排出量は、ライフサイクルパンを10年とした場合、通常技術と比較して再生密粒度舗装（30度低減）は2.6%、排水性舗装（50℃低減）は2.2%の低減効果があること、③コンクリート舗装のLCCO₂は30年以上の打ち換えサイクルであれば、アスファルト舗装より低減効果があることが分かった。

表面処理工法の耐久性向上に関する検討結果では、表面処理工法の工法を変えることによりキメ深さも向上し、骨材飛散抵抗性も従来工法に比べ2～3倍程度になり耐久性が向上することが分かった。

参考文献

- 1) 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
- 2) 川上篤史、新田弘之、寺田剛、久保和幸：低炭素社会に貢献する舗装技術－低燃費舗装のCO₂排出量削減効果の試算等－、土木技術資料、2013.1
- 3) 渡邊一弘、井谷雅司、久保和幸：路面のきめと転がり抵抗に関する一考察、土木学会年次学術講演会、pp. 821-822、2011
- 4) 日本規格協会：JIS D 1015 自動車－惰行試験方法、1993
- 5) 日本規格協会：JIS D 1012 自動車－燃料消費率試験方法、2005
- 6) 山海堂：自動車の走行性能と試験法、2002.3
- 7) 日本道路協会：舗装の環境負荷低減に関する算定ガイドブック-CO₂排出量低減値および最大流出量比の算定-、2014
- 8) 国土交通省：土木工事積算基準（平成24年版）、2012.

7.2 A STUDY ON DEVELOPMENT AND EVALUATION METHOD OF PAVEMENT TECHNOLOGY FOR LOW-CARBON SOCIETY(1)

Grants for operating expenses General account
FY2011-2015

Pavement Research Team

Kazuyuki KUBO, Masaru TERADA,

Atsushi KAWAKAMI, Kazunari HIRAKAWA

【Abstract】

For realization of the low carbon society, some pavement technologies for reducing CO₂ emissions are being developed. The objectives of this study are the development and evaluation of low CO₂ emission pavement technologies for actual application to the pavement works.

In 2013, three tasks were conducted. The first is, to analyze the mechanism of low car fuel consumption pavement that is expected a new technology as the low CO₂ emission pavement technologies, the relationship between the pavement surface properties and tire / road surface rolling resistance for heavy vehicle were considered. The second is, to make clear the life-cycle CO₂ emission of the low CO₂ emission pavement technologies, life-cycle CO₂ analysis of some pavement technologies including cement concrete pavement were conducted. The other is, to improve wearing resistance of chip seal rehabilitation technology could reduce CO₂ emission greatly.

The result is following. There was a correlation between tire / road surface rolling resistance and pavement surface texture. As comparing the ordinary pavement, the cement concrete pavement could reduce life-cycle CO₂ emission in the case of estimated life-cycle span becomes over 30 years. The wearing resistance of chip seal could promote up to 2 or 3 times as conventional surface treatment technology.

【Key words】

Low CO₂ emission pavement, Low car fuel consumption pavement, tire/ road surface rolling resistance, Life-cycle CO₂