

7.2 低炭素社会を実現する舗装技術の開発および評価技術に関する研究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、およびそれら低炭素舗装の評価方法の開発を行うことを目的とする。

平成 26 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のメカニズム解明に向けて、惰性走行試験による舗装の路面性状とタイヤ／路面転がり抵抗の関係、自動車排ガス計測実験による自動車からのCO₂排出量の削減効果について検討を行った。また、中温化混合物の締固め不足の影響について間接引張試験により評価した。さらに、過年度開発した表面処理工法についてLCCO₂評価の検討を行った。その結果、低燃費舗装は自動車からのCO₂排出量を削減することが出来ること、中温化混合物の締固め度が低下することによって間接引張強度が低減すること、新開発した表面処理工法は従来工法に比べてライフサイクルスパンが 1.26～1.45 倍以上になることでライフサイクルCO₂削減効果があることが分かった。

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、中温化技術、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、現在開発している低燃費舗装の試験施工を新たに行うとともに、普通車の惰性走行試験により転がり抵抗係

数を求めた。また、②中温化混合物の過度な温度低減時等による締固め不足の影響を把握するため、締固め度を変えた供試体を用いた間接引張試験を行い、間接引張強度の変化を把握した。さらに、③低炭素舗装技術のライフサイクルCO₂（LCCO₂）に関する検討として、過年度に開発した表面処理工法のLCCO₂の試算を行い、ライフサイクルスパン（耐久性）の違いがLCCO₂に与える影響の関係について従来工法と比較することにより検討した。

2. タイヤ／路面転がり抵抗に関する研究

2.1 研究方法

2.1.1 新たな低燃費舗装の試験施工と路面性状

試験に用いた舗装路面は、国土技術政策総合研究所試験走路に表-1および写真-1に示す4種類の舗装を各 300m 新たに施工した。ここで、図中の低燃費型排水性舗装とは、民間舗装会社との共同研究にて過年度に開発した低燃費舗装に対して、空隙率を上げ路面排水性能を高めることをコンセプトとして新たに開発したものである。

各工区の路面性状は、表-1に示すとおり、平坦性としてσおよび IRI、路面テクスチャとして MPD および SMTD 等を計測した。

表-1 試験工区の概要

No.	工区	最大粒径 (mm)	平たん性		路面テクスチャ	
			σ (mm)	IRI (mm/m)	MPD (mm)	SMTD (mm)
1	排水性	13	0.87	1.26	1.88	1.55
2	低燃費型排水性	5	0.58	0.97	0.74	0.53
3	密粒度	13	0.75	1.17	0.49	0.37
4	低燃費	5	0.55	0.87	0.66	0.48



(a) 1 工区：排水性舗装（13mm トップ）



(b) 2 工区：低燃費型排水性舗装（5mm トップ）



(c) 3 工区：密粒舗装（13mm トップ）



(d) 4 工区：低燃費舗装（5mm トップ）

写真-1 新規施工工区の概観

2.1.2 情性走行試験

タイヤ／路面転がり抵抗の測定は、情性走行法(写真-2)とし、JIS D 1015 自動車-惰行試験方法³⁾を参考に行った。試験条件を表-2 に示す。普通車を用いて測定工区に指定速度（20, 40, 60km/h）で情性走行を行い、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。試験精度は、JIS1012 自動車-燃料消費率試験⁴⁾の走行抵抗測定方法を参考に、走行試験を車両進行方向に 10 回以上行い、式 1 により試験精度Pが 3%を満足するまで行った。



写真-2 情性走行試験（普通車）

(1)

$$p = \frac{ts}{\sqrt{n}} \cdot \frac{100}{\Delta T_j}$$

ここに、 p = 試験精度 [%]、 n = 測定の繰り返し回数、 ΔT_j = 車速 v_j における平均惰行時間

走行抵抗を算出するためには、減速度（式2）、平均速度（式3）を算出する。そして、走行抵抗は、式4より算出する⁵⁾。

$$\frac{dv}{dt} = \frac{v_1 - v_2}{3.6(t_2 - t_1)} \quad (2)$$

表-2 情性走行試験条件

試験条件	設定内容
測定区間延長	100m
測定点車速	20、40、60km/h
使用タイヤ	ブリヂストン SNEAKER SNK2 225/60R16
タイヤ空気圧	220kPa
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

ここに、 dv/dt = 減速度 [m/s^2]、 v_1, v_2 = 試験速度 [km/h]、 t_1, t_2 = 時間[s]

$$V = \frac{\ell}{t_2 - t_1} \cdot 3.6 \quad (3)$$

ここに、 ℓ = 測定延長 [m]

$$R = \frac{W + \Delta W}{g} \cdot \frac{dv}{dt} \quad (4)$$

ここに、 R = 走行抵抗[N]; W = 自動車の重量 [N]; ΔW = 回転部分相当重量 (エンジンは含まない。乗用車: $0.05W$) [N]; g = 重力加速度 [m/s^2]

これを速度と走行抵抗の関係式 (式 5) から、最小二乗法により空気抵抗及び転がり抵抗に分け、空気抵抗係数は式 6 により、転がり抵抗係数は式 7 より求めた。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。

$$R = \mu_r \cdot W + \mu_a \cdot A \cdot V^2 \quad (5)$$

ここに、 μ_r = 転がり抵抗係数、 μ_a = 空気抵抗係数 [$(km/h)^2/Pa$]、 A = 全面投影面積 [m^2]

$$\mu_a = \frac{\frac{\sum RV^2}{\sum V^2} - \frac{\sum R}{n}}{\frac{\sum V^4}{\sum V^2} - \frac{\sum V^2}{n}} \cdot \frac{1}{A} \quad (6)$$

$$\mu_r = \frac{R_r}{W} \quad (7)$$

2.1.2 自動車のCO₂排出量測定

試験は、試験路面上において写真-3 に示す試験車両を定速走行させ、表-3 に示す国土技術政策総合研



写真-3 排ガス測定実験車両外観

究所所有の排ガス計測システム (写真-2) 等を用いて排ガスおよび燃料消費量等を計測した。試験車両は、総排気量 3500CC のガソリン車で、燃料消費率は 10・15 モードで 8.20 [km/L] である。走行速度は、20, 40, 60, 80 km/h の 4 条件とした。排ガスは、CO、CO₂、THC、NO_x 等の排ガス濃度を連続測定した。記録周期は 10Hz である。CO₂ 排出量は、排ガス中の CO₂ 濃度や排ガス流量等により式-7 によって算出される。

$$CO2_{MASS}(t) = C_{EXCO2}(t + DT_{CO2}) \times M_{CO2} \times Q_{EX}(t) \times \frac{1}{60} \times \frac{1}{100} \times \frac{1}{22.415} \times \frac{273.15}{293.15} \quad (7)$$

ここに、CO₂_{MASS}(t) : 時間 t における CO₂ 瞬時排出量 [g/s]、DT_{CO2} : 流量計を基準とした CO₂ 分析計の遅れ時間[s]、C_{EXCO2}(t+DT_{CO2}) : 時間(t+DT_{CO2})における排ガス中の CO₂ 濃度[vol%]、M_{CO2} : CO₂ の分子量、Q_{EX}(t) : 時間 t における標準状態(293.15K、101.3kPa)の排ガス流量[L/min]

2.2 研究結果

2.2.1 惰性走行試験

普通車の惰性走行試験による転がり抵抗係数算出結果を図-1 に示す。転がり抵抗は、密粒度舗装が最も小さく、低燃費舗装、低燃費型排水性舗装、排水性舗装の順番になった。これは、路面テクスチャがネガティブテクスチャになるほど転がり抵抗係数が

表-3 排ガス測定に係る装置

計測項目	計測装置	型式
排 ガ ス	車載型排出ガス計測システム	OBS-2200
燃料消費量	燃料消費計	FC-9521
タイヤ温度	設置型非接触温度計	CS-30TAC
試験速度	GPS速度計	LC-8100
風向風速	風向風速計	WMT52



写真-4 排出ガス計測装置

低いことに関連しており、低燃費舗装より密粒舗装が低いのは、密粒舗装がまだ舗設直後であること、平たん性がよいことが挙げられる。

転がり抵抗係数と路面テクスチャ MPD の関係を図-2 に、平たん性 σ との関係を図-3 に示す。4 工区分のデータで、転がり抵抗係数と路面テクスチャ MPD の相関係数は 0.95、平たん性 σ との相関係数は 0.45 であり平たん性との相関は低かったものの、路面テクスチャおよび平たん性とも値が低くなる（ネガティブテクスチャになる）ほど、転がり抵抗が小さくなることが確認できた。

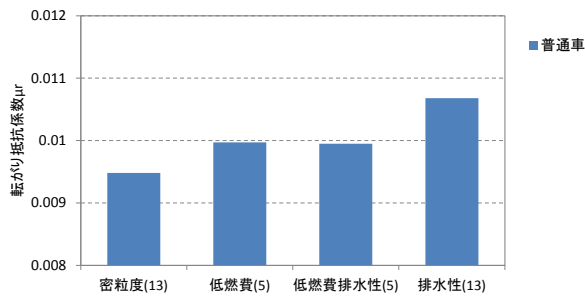


図-1 各工区の転がり抵抗係数

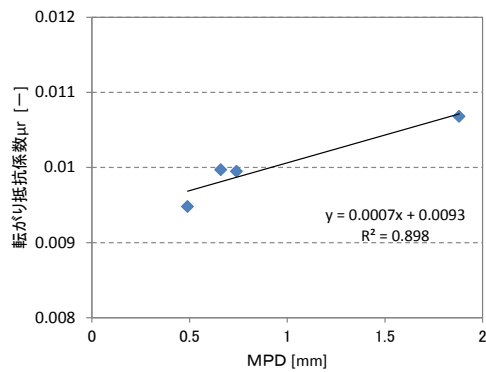


図-2 MPD と転がり抵抗係数

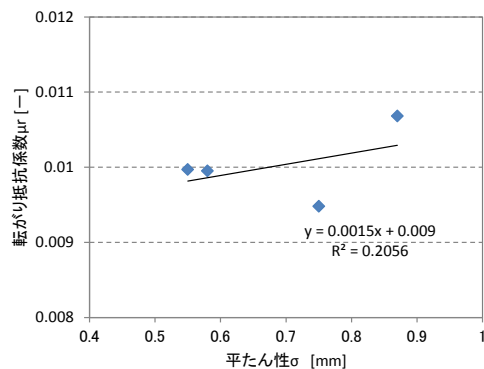


図-3 平たん性 σ と転がり抵抗係数

2.2.2 自動車のCO₂排出量測定

自動車CO₂排出量の測定結果を図-4 に示す。いずれの路面も車速が上昇するにつれて排出量が減少し、60km/hを超えると再び増加した。これは、エンジン回転数およびギヤ比に関連していると考えられる。また、排水性舗装からの低減率を図-5 に示す。速度によって差があるものの、転がり抵抗係数が大きな路面（排水性舗装(13)）に比べて低燃費舗装で 1.3～5.3%、低燃費型排水性舗装で 1.8～6.6%の削減効果があることが分かった。

次に、燃料消費量の計測結果を図-6 に示す。CO₂排出量同様、60km/hで最も減少している。ここで、CO₂排出量との関係を図-7 に示す。走行燃費はCO₂排出量と相関があり、同様な傾向があると言える。また、排水性舗装(13)に対する改善率を図-8 に示す。CO₂排出量同様、速度によって差があるものの、低

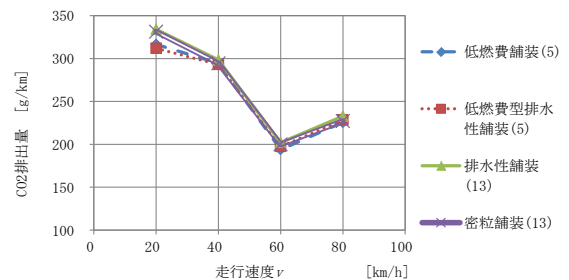


図-4 各舗装路面による CO₂ 排出量

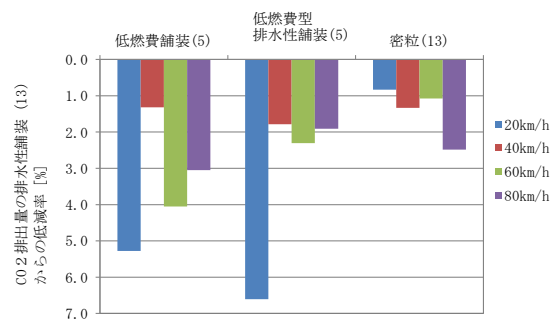


図-5 CO₂ 削減効果

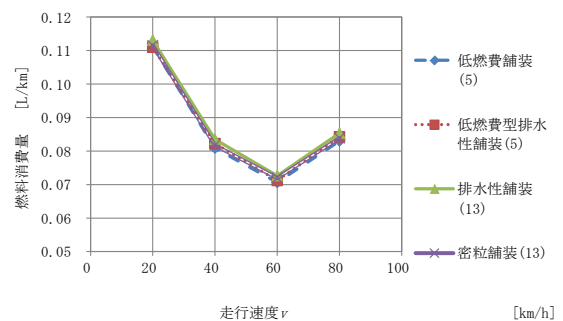


図-6 走行燃費測定結果

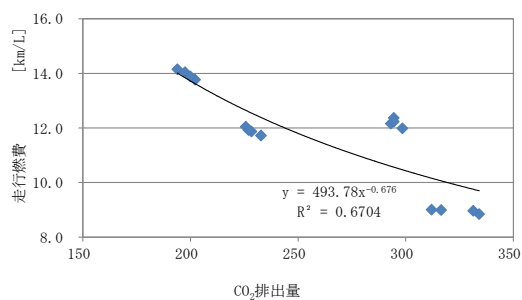


図-7 CO₂ 排出量と走行燃費の関係

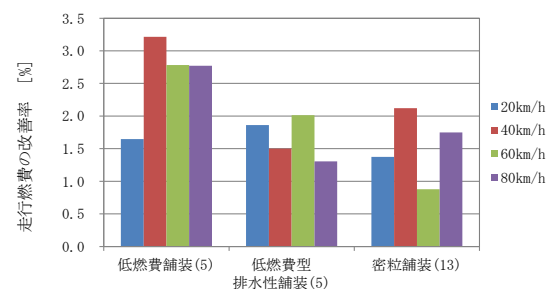


図-8 走行燃費の改善効果

燃費舗装で 1.7～3.2%、低燃費型排水性舗装で 1.3～2.0%であり、自動車走行燃費向上性があることが確認された。

3. 中温化混合物の評価手法に関する検討

3.1 研究方法

3.1.1 目的

中温化技術は、加熱アスファルト混合物製造時の加熱温度の低減により、バーナの燃料消費量を削減することによってCO₂削減に寄与する低炭素舗装技術の一つある。本技術はグリーン購入法の特定期間品目にも指定されており、環境に優しい舗装技術として広く認識されているところである。しかし、気象条件や遠距離輸送などによって施工温度が低下しすぎると締固め不足になり、早期破損につながることであれば舗装のライフサイクルも短くなって、CO₂削減という目的が失われてしまう。既存研究¹⁾においても、積雪寒冷地の低温環境下（寒冷期）で敷き均し温度や転圧温度が低下することによって、締固め不足になる事例が報告されている。

そこで本稿では、中温化混合物の締固め度の違いが混合物性状に与える影響を把握することを目的として、水浸・低温養生条件下で行う修正ロットマン試験²⁾に着目し、その混合物性状を比較した。

3.1.2 概要

表-4 ストアスを用いた混合物の材料および配合

材料名	材質	配合割合
6号砕石	硬質砂岩	36.0%
7号砕石	硬質砂岩	18.5%
スクリーニングス	硬質砂岩	13.5%
砕砂	硬質砂岩	13.5%
細目砂	山砂	13.5%
石粉	石灰岩	5.0%
アスファルト	ストアス60/80	5.0%

表-5 ストアスを用いた混合物の作製条件

作製条件	供試体種別	標準密粒	中温1	中温2
混合温度 (°C)		150	120	120
締固め温度 (°C)		140	110	110
締固め養生時間 (h)		1	1	1
中温化剤 (%)		—	1.5※	1.5※
締固め度 (%)		100%・98%・96%の3水準		

※アスファルト量に対して外割で1.5%添加

実験は、中温化剤を用いたアスファルト混合物供試体（マーシャル供試体）を、締固め度が3水準になるように作製し、修正ロットマン試験に準拠して水浸・低温条件下で促進させた後、間接引張試験により引張強度の比較を行った。供試体に用いた混合物は、密粒度アスファルト混合物（最大粒径 13mm）とし、アスファルトはストレートアスファルト（針入度 60/80）（以下、ストアス）およびポリマー改質アスファルトⅡ型（以下、改質アス）を用いた。中温化剤は、開発中のものを含めて、発泡系、滑剤系、粘弾性調整系に分類される5試料である。

3.1.3 供試体の作成方法

（1）ストアスを用いた場合

1）混合物の材料、配合および中温化剤

密粒度アスファルト混合物の材料および配合は表-1の通りとし、比較用の中温化剤を用いない密粒度アスファルト混合物（以下、標準密粒）と中温化混合物2種（以下、中温1、中温2）を対象とした。中温化剤は発泡系と滑剤系のものを用いた。

2）締固め度を変えた供試体の作製

供試体の作製条件を表-5に示す。中温化混合物の混合温度および締固め温度は、30℃低減して作製した。また、締固め養生時間として、実工事の際の混合物の長距離輸送による条件も加味し、締固める前に恒温槽で所定の締固め温度により1時間養生した。

供試体の目標とする締固め度は、100%、98%、96%の3水準とした。供試体の作製方法は、既存報告⁷⁾を

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

参考に、突き固め温度を一定にして両面で各 40 回、30 回、20 回、10 回にて供試体を作製した。その結果を図-9 に示す。

各種混合物とも同様の傾向を示し、この近似曲線（キャリブレーションカーブ）より、締固め度 98% は突き固め回数 28 回、締固め度 96% は 15 回で供試体を作製した。作製した供試体の性状を表-6 に示す。

（2）改質アスを用いた場合

1）混合物の材料、配合および中温化剤

密粒度アスファルト混合物の材料および配合は表-7 の通りとした。ストアスを用いた混合物とは、使用骨材、配合、アスファルト量、中温化剤は異なる。用いた中温化剤材は発泡系、滑剤系、粘弾性調整系の 3 種類とし、供試体の作製条件を表-8 に示す。

2）締固め度を変えた供試体の作製

ストアスを用いた混合物と同様に、マーシャルコンパクタの突き固め回数を変えたキャリブレーションカーブを作製し、その供試体の性状を表-9 に示す。

3.1.4 水浸・低温養生条件下での間接引張強度試験方法

水浸・低温養生条件下の影響を評価する方法として、修正ロットマン試験（AASHTO-T283）⁸⁾ に準拠して試験を行った。

供試体の養生は、標準条件と強制水浸凍結条件の 2 条件である。標準の養生条件は、25℃の水槽に 2 時間水浸した。強制水浸・凍結の養生条件は、①25℃で水浸 2 時間、②減圧デシケータ（13～67kPa）5～10 分、③60℃で水浸 24 時間、④-18℃で凍結 16 時間、⑤25℃水浸 2 時間とした。養生後、25℃で間接引張試験を行った。

3.2 実験結果

3.2.1 ストアスを用いた場合

標準養生条件での標準密粒および中温化混合物の間接引張強度の変化を図-10 に示す。

いずれの供試体も、締固め度が低くなるにつれて間接引張強度は低い値となった。また、標準密粒に対して中温 1 および 2 の間接引張強度は低かったが、中温混合物 2 の締固め度 96%では標準混合物と差はなかった。

次に、水浸・凍結養生条件下での間接引張強度の変化を図-11 に示す。

標準養生条件下と同様に、いずれの供試体も締固め度が低くなるにつれて間接引張強度は低くなった。中温 1 は、標準養生時と同様、間接引張強度は標準密粒より低くなったが、中温 2 は標準密粒と同程度となった。

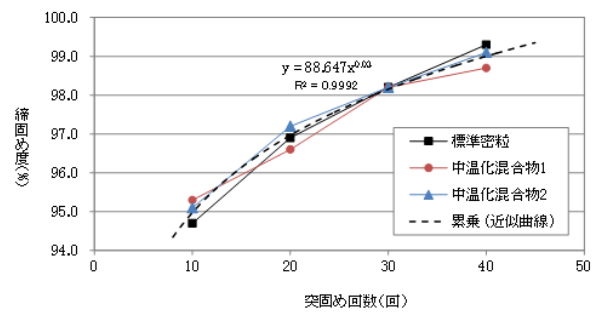


図-9 締固め度と突き固め回数の関係

表-6 改質アスを用いた混合物の密度および空隙率

締固め度	100%		98%		96%	
	密度	空隙率	密度	空隙率	密度	空隙率
密度および空隙率	(g/cm ³)	(%)	(g/cm ³)	(%)	(g/cm ³)	(%)
標準密粒	2.388	4.1	2.342	5.9	2.296	7.8
中温1	2.381	4.4	2.335	6.2	2.293	7.9
中温2	2.382	4.3	2.338	6.1	2.297	7.8

表-7 改質アスを用いた混合物の材料および配合

材料名	材質	配合割合
6号碎石	硬質砂岩	34.0%
7号碎石	硬質砂岩	23.0%
スクリーニングス	硬質砂岩	11.0%
粗砂	天然砂	19.0%
細砂	天然砂	8.0%
石粉	石灰岩	5.0%
アスファルト	改質Ⅱ型	5.5%

表-8 改質アスを用いた混合物の作製条件

供試体種別 作製条件	標準A～C	中温A	中温B	中温C
混合温度 (℃)	170-175	140-145	130	120-125
締固め温度 (℃)	160-170	130-140	120	110-120
温度低減量 (℃)	—	-30	-42	-50
締固め養生時間 (h)	1	1	1	1
中温化剤 (%)	—	1.5～7%添加 ^{※1}		
締固め度 (%)	100・98・96の3水準			

※1アスファルト量に対する添加割合であるが、添加剤が特定できないような範囲を示す。

表-9 改質アスを用いた混合物の密度および空隙率

締固め度	100%		98%		96%	
	密度	空隙率	密度	空隙率	密度	空隙率
密度および空隙率	(g/cm ³)	(%)	(g/cm ³)	(%)	(g/cm ³)	(%)
標準A	2.384	3.5	2.336	5.5	2.292	7.3
中温A	2.373	4.0	2.327	5.8	2.276	7.9
標準B	2.386	3.5	2.337	5.4	2.297	7.0
中温B	2.377	3.8	2.337	5.4	2.295	7.1
標準C	2.391	3.3	2.348	5.0	2.300	6.9
中温C	2.379	3.7	2.332	5.5	2.296	7.0

3.2.2 改質アスを用いた場合

標準養生条件での間接引張強度の変化を図-12 に示す。ストアス同様、いずれの供試体も、締固め度が低くなるにつれて間接引張強度は低い値となった。また、標準密粒に対して中温化混合物の間接引張強度は低くなる傾向となったが、中温Bの締固め度96%では標準密粒と同程度となった。

次に、強制水浸・凍結養生条件での間接引張強度の推移を図-13 に示す。

ストアス同様、いずれの供試体も、締固め度が低くなるにつれて間接引張強度は低くなった。また、中温化混合物は、標準密粒に比較して間接引張強度は低くなった。

3.2.3 間接引張試験結果のまとめと考察

通常および水浸・養生条件下での間接引張試験により得られた結果を以下に示す。

- ・中温化技術の適用の有無に関わらず、締固め度が低くなるにつれて間接引張強度は低くなり、強制水浸・凍結養生条件ではさらに低下した。このことから、締固め度の管理は、中温化剤適用の有無にかかわらず十分注意する必要がある。

- ・中温化混合物の間接引張強度は、通常密粒に比べ低い傾向になった。これは中温化混合物の初期値(締固め度 100%)の間接強度の低下がそのまま移行しているものであるが、中温化混合物が通常混合物より間接引張強度が低くなるかどうかは今後も実験データの蓄積が必要である。また、本結果の要因の一つとして、締固め養生時間を1時間としたこと等が原因とも考えられるが、長距離輸送(締固めまでの時間が長くなる場合)もあることを想定すると、所定の締固め度が確保できなかった際には同様な現象が起こることが考えられる。

3.2.4 締固め度の低下による間接引張強度の推定手順に関する検討

本実験結果により、中温化剤の有無によらず、締固め度が低くなるにつれて間接引張強度は低下した。また、各混合物の回帰曲線は厳密には平行とはならないものの、ほぼ同様に減少する傾向となることが分かった。このことから、今後、新たな中温化混合物(中温化剤、配合)や現場での締固め度の低下による影響の推定にも用いることが出来るよう、改質アスの水浸・凍結養生条件下での試験結果を例として、その手順(案)を検討した。

①基準混合物(密粒等)を対象として、マーシャルコンパクタの突固め回数を両面で各40回、30回、

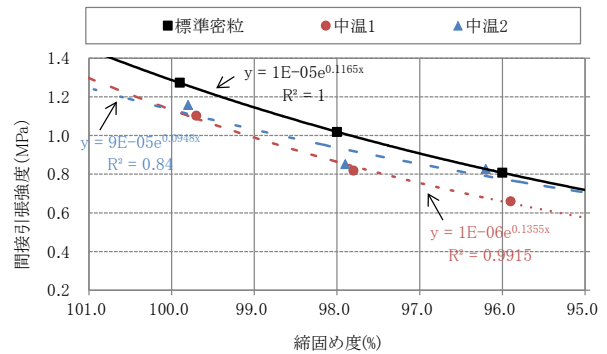


図-10 ストアスを用いた混合物の標準養生条件下での間接引張強度の推移

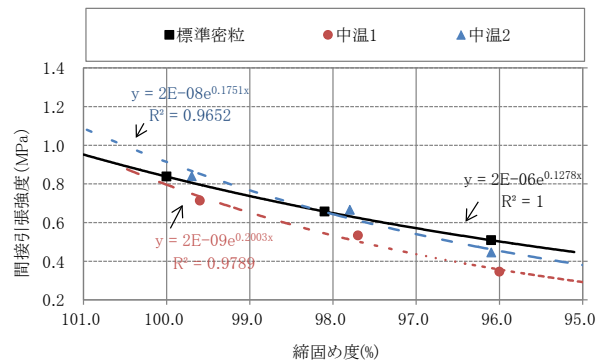


図-11 ストアスを用いた混合物の強制水浸・凍結養生条件下での間接引張強度の推移

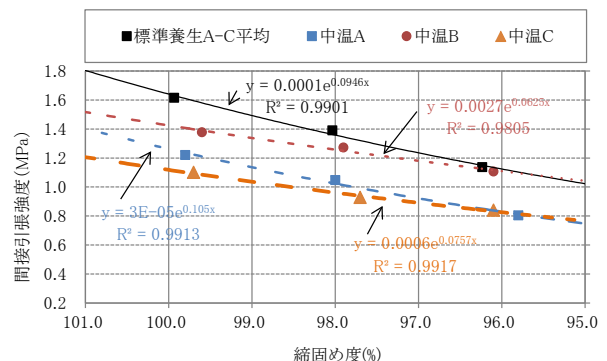


図-12 改質アスを用いた混合物の標準養生条件下での間接引張強度の推移

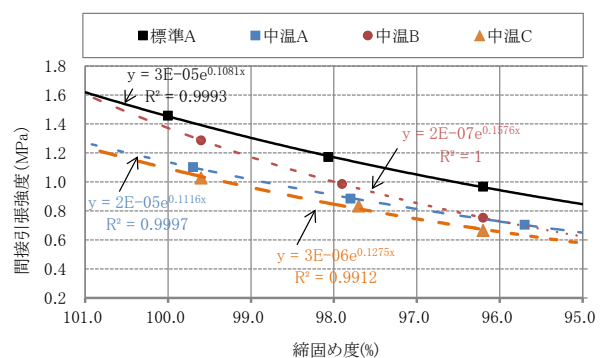


図-13 改質アスを用いた混合物の強制水浸・凍結養生条件下での間接引張強度の推移

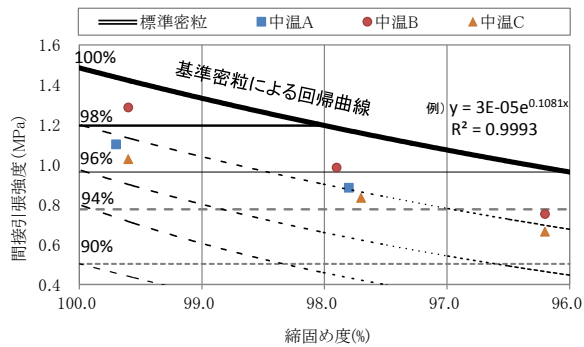


図-14 間接引張強度の低減範囲（改質アスを用いた混合物の例）

20回、10回とし、キャリブレーションカーブを作成する（図-9 参照）

②締固め度 100%、98%、96%になるようキャリブレーションカーブから突き固め回数を読み取り、作製した基準混合物の供試体を修正ロットマン試験に準じて水浸・凍結養生した後、間接引張試験を行う。

図-14 に示すように基準混合物の間接引張強度の回帰曲線（図中二重線）を作成し、基準曲線とする。

③基準曲線の各締固め度の値を X 軸 100%の Y 切片（図-14 中の横線）として、基準曲線と平行の曲線（補助曲線：図-14 中の点線）を引く。

④評価を必要とする中温化混合物供試体（本供試体の締固め度は問わない）を用意する。本供試体を基準混合物と同様に水浸・凍結養生した後、間接引張試験を行い図中にプロットする。これより、供試体の締固め度が低下した際の間接引張強度（推定値）を読み取る。

4. 低炭素舗装技術のCO₂排出量の検討

4.1 研究方法

4.1.1 表面処理工法の概要

表面処理工法は、図-15 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（写真-5）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。しかし、同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、新たな表面処理工法を昨年度までに、耐久性を向上させる工法（以下、耐久性検討工法）を開発している。



図-15 従来工法 写真-5 施工方法

4.1.2 表面処理工法のCO₂排出量の試算

表面処理工法のCO₂排出量について、従来工法および耐久性検討工法（1～3）のCO₂排出量を試算するとともに、ライフサイクルCO₂評価としてライフスパンの関係について検討を行った。

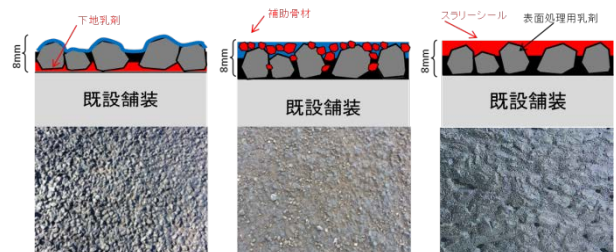
CO₂排出量を試算するケースは以下の通りである。

①従来工法：一層式チップシール（図-15）。以下、従来チップシール（C）とする。

②耐久性検討工法 1：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-16a）。以下、C+下地乳剤とする。

③耐久性検討工法 2：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-16b）。以下、C+補助骨材とする。

④耐久性検討工法 3：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-16c 参照）。以下、C+スラリーとする。



a : C+下地乳剤 b : C+補助骨材 c : C+スラリー

図-16 耐久性検討工法の概要

ライフサイクルCO₂の試算に用いるCO₂排出量原単位および計算方法は、日本道路協会「舗装の環境負荷低減に関するガイドブック」⁹⁾に準じて行った。

4.2 研究結果

各表面処理工法のCO₂排出量試算結果を図-17 に示す。参考までに表層 5cmの切削オーバーレイ工法の試算も行ったが、C+スラリー工法で約半分、その他表面処理工法で約 2～3 割程度の排出量となった。切削オーバーレイ工法と表面処理工法は耐久性が全く異なることからこのように単純比較はできないが、

表面処理工法はCO₂排出量が少ない舗装技術であると言える。

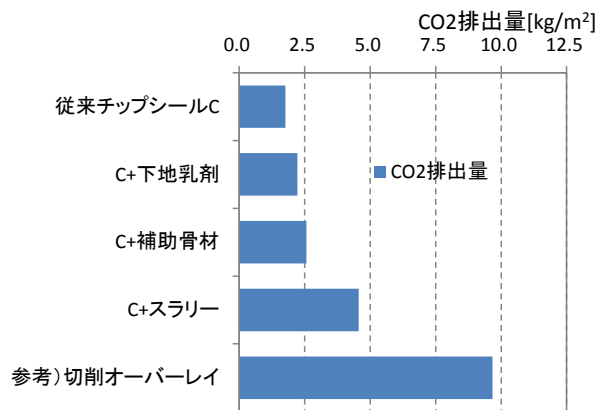


図-17 表面処理工法のCO₂排出量

図より、耐久性検討工法は従来チップシール工法よりCO₂排出量が多いことが分かる。耐久性検討工法は、その寿命（ライフスパン）が従来工法より長くならなければ、CO₂排出量が削減出来ないこととなる。よって、従来工法に対して要求されるライフスパンの比を計算し、その結果を図-18に示す。

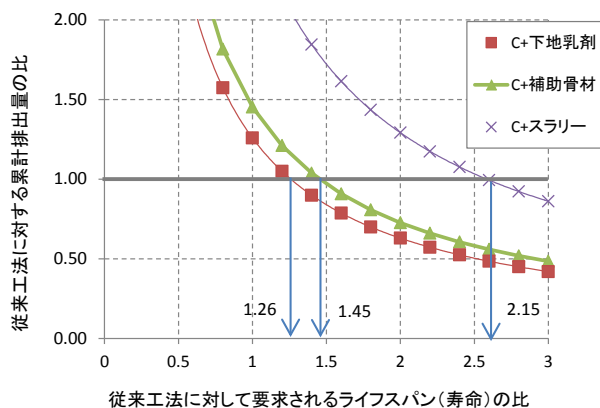


図-18 従来工法および耐久性向上工法のCO₂排出量とライフスパンの関係

この図より、新開発した表面処理工法である耐久性検討工法（1～3）は従来工法に比べてライフサイクルスパンが1.26～1.45倍以上になることでライフサイクルCO₂削減効果があることが分かった。

5. まとめ

本研究結果をまとめると、以下のとおりである。

タイヤ／路面転がり抵抗については、①路面テクスチャおよび平坦性とも値が低くなる（ネガティ

ブテクスチャになる）ほど、転がり抵抗が小さくなること、②低燃費舗装における自動車CO₂排出量は、走行速度によってばらつきがあるものの、転がり抵抗が大きな排水性舗装(13)に比べて低燃費舗装で1.3～5.3%、低燃費型排水性舗装で1.8～6.6%の削減効果があること、③燃料消費量については、低燃費舗装で1.7～3.2%、低燃費型排水性舗装で1.3～2.0%改善され、自動車走行燃費向上性があることが確認された。

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中温化技術の適用の有無に関わらず、締固め度が低くなるにつれて間接引張強度は低くなり、強制水浸・凍結養生条件ではさらに低下したこと、②混合物供試体の引張強度の低下はほぼ一定の傾向を示し、ある程度推定できる可能性があることが分かった。

表面処理工法のCO₂排出量の検討について、表面処理工法である耐久性検討工法（1～3）は従来工法に比べてライフサイクルスパンが1.26～1.45倍以上になることでライフサイクルCO₂削減効果があることが分かった。

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) 日本規格協会：JIS D 1015 自動車－惰行試験方法、1993
- 4) 日本規格協会：JIS D 1012 自動車－燃料消費率試験方法、2005
- 5) 茄子川捷久、宮下義孝、汐川満則：自動車の走行性能と試験法、東京電機大学出版局、2002.3
- 6) 安倍隆二、熊谷政行：積雪寒冷地による中温化舗装技術の適用方法に関する検討、寒地土木研究所月報、No. 731、pp. 2-15、2014.4
- 7) 東滋夫、篠塚政則、坂本健次、金井利浩：アスファルト混合物のはく離抵抗性評価方法に関する研究、道路建設、pp. 32-38、2004.1
- 8) AASHTO T283: Resistance of Compacted Asphalt Mixtures to Moisture-induced Damage
- 9) 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

7.2 A STUDAY ON DEVELOPMENT AND EVALUATION 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 2014, the vehicle coasting tests for analysis of the relationship between the pavement surface properties and the tire / pavement surface rolling resistance, the indirect tensile tests for investigating compaction degree of warm mix asphalt, and the life cycle CO₂ analysis of pavement surface treatment method were conducted.

The results were following. The Low Rolling Resistance Asphalt Pavements could reduce the CO₂ emission of vehicle more than 1.3%. The tensile strength of warm mix asphalt became lower depending on the compaction degree. The new developed pavement surface treatment method needs the lifespan more than 1.26 times to reduce CO₂ emission compared by normal methods.

【Key words】

Low vehicle fuel consumption pavement, Tire / pavement surface rolling resistance, Warm mix asphalt, Indirect tensile test, Life-cycle CO₂ analysis