

中温化（低炭素）アスファルト舗装の CO₂ 削減効果

井原 務

中温化アスファルト舗装は、工事で使用する加熱アスファルト混合物の製造・施工温度を通常よりも約 30℃ 程度低減することができる中温化技術を用いた舗装であり、また、製造温度を低減することにより使用する燃料消費量が削減でき二酸化炭素の排出量抑制にも繋がることから低炭素アスファルト舗装とも呼ばれている。この中温化技術には専用の特殊添加剤が用いられ、中温化の効果が得られるメカニズムの違いによりいくつかの種類がある。本稿では、これまでに開発されている各種中温化技術の概要と、加熱アスファルト混合物製造時の CO₂ 排出量の削減を目的とした適用を中心に早期交通開放や寒冷期の施工性改善などを含めた事例について既報の文献をもとに紹介する。

キーワード：舗装，中温化技術，CO₂ 排出量削減，早期交通開放，施工性改善

1. はじめに

近年、環境問題、とりわけ地球温暖化抑制に対する CO₂ 排出量の削減への取り組みは、各分野においてますます重要になってきている。舗装の分野では、環境負荷軽減に向けた研究開発が精力的に取り組まれてきており、その一つに加熱アスファルト混合物の製造・施工温度を通常よりも約 30℃ 程度低減する中温化技術を用いた中温化アスファルト舗装がある。この技術によって製造した中温化アスファルト混合物は、グリーン購入法にもとづく「環境物品等の調達に関する基本方針」の特定調達品目に 2010 年 2 月より追加されている。

中温化技術は、加熱アスファルト混合物の製造時の CO₂ 排出量を削減する他にも、補修工事における早期交通開放も期待でき、また、通常温度で適用した場合、高い締固め性を発揮することから、寒冷期の橋面舗装等における施工性の改善も図れる。

ここでは、これまでに開発されている各種中温化技術の概要と、加熱アスファルト混合物製造時の CO₂ 排出量の削減効果を中心に早期交通開放や寒冷期の施工性改善を目的とした主な適用事例等について既報の文献をもとに紹介する。

2. 中温化技術の概要

新設のアスファルト舗装工事における CO₂ 排出量

について、「各種加熱アスファルト混合物の製造」と「現場施工関連」および「路盤材の製造」で区分し、それぞれの区分ごとの排出比率について試算した結果の例を図-1¹⁾に示す。各種加熱アスファルト混合物の製造プラントにおける素材を含めた CO₂ 排出量の比率は 67% であり、加熱アスファルト混合物の製造のみをとっても全工事の CO₂ 排出量の約 40% を占める結果となっている。

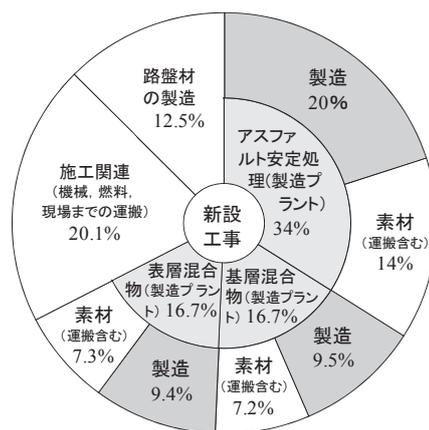


図-1 新設工事における CO₂ 排出量の比率の試算例

これは、各種加熱アスファルト混合物の製造においては 160 ~ 180℃ 程度の加熱混合が必要であり、通常、その加熱には化石燃料の重油を混合物 1 t 当たり約 9 l 程度燃焼させるためである。なお、国内における加熱アスファルト混合物の製造数量は年間約 5000 万 t 程度であり、加熱に用いる重油は概算で 45 万 k l と

なり、CO₂排出量は122万tにもなる。このようなことを踏まえ、加熱アスファルト混合物の製造温度を低減できる中温化技術が開発された。

中温化技術は、専用の特殊添加剤（以下、中温化剤と称す）を用いて加熱アスファルト混合物の製造温度を通常よりも約30℃低下させ、燃料消費量を低減して製造時のCO₂排出量を削減する技術である。この技術にはいくつかの種類があり、中温化の効果が得られるメカニズムの違いから発泡系、粘弾性調整系及び滑剤系に分類され、それぞれ専用の中温化剤が用いられている。また、中温化剤の添加方法には、混合物製造時に添加するプラントミックスタイプと、あらかじめアスファルトと中温化剤が混合してある中温化混合物用アスファルトを用いるプレミックスタイプとがある。

(1) 発泡系

発泡系の中温化剤は、アスファルトモルタル内に微細泡を発生・分散させるもので、その中温化剤には組成の違いからいくつかのもの^{2), 3)}がある。添加方法はいずれもプラントミックスタイプとなっている。これらの中温化アスファルト混合物は、発生・分散した細かな泡の働きによって、製造時の混合性が向上するとともに、舗設時にはベアリング効果によって締固め

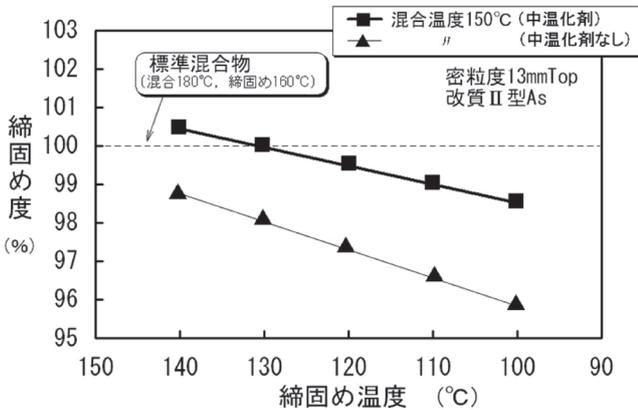


図-2 締固め温度と締固め度との関係 (一部加筆)

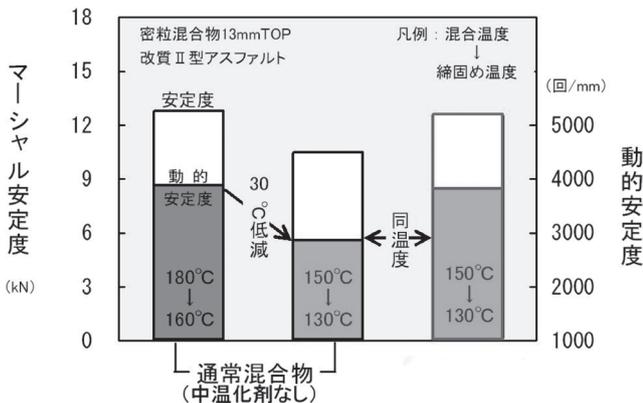


図-3 力学特性の比較結果 (一部加筆)

性を向上させることができる。その混合物の締固め特性と力学特性の一例²⁾を図-2と図-3に示す。図-2より中温化アスファルト混合物は、締固め温度が130℃以上であれば、160℃で締め固めた標準の加熱アスファルト混合物と同等の締固め度が得られている。また、図-3より中温化アスファルト混合物のマーシャル安定度と動的安定度は、温度条件が30℃高い通常のアスファルト混合物（中温化剤なし）の特性値と遜色ない結果になっている。

(2) 粘弾性調整系

粘弾性調整系の中温化剤には、一定の温度以上になると急激に液体状となって骨材を被覆しているアスファルトの表面部分の粘弾性を低下させるもの⁴⁾や、アスファルトの組成と分子量分布を調整して、高温域でのアスファルト混合物のコンシステンシを調整するもの⁵⁾などがある。添加方法はプラントミックスタイプが多く、その中にはプレミックスタイプでも使用できるものがある。これらの中温化アスファルト混合物は、製造時と施工時の高温域での粘弾性あるいはコンシステンシの調整によって、混合性と締固め性を向上させることができる。その混合物の締固め特性と混合物性状の一例⁵⁾を図-4と表-1に示す。図-4より中温化技術を用いたアスファルト混合物（混合物Aと混合物B）は、通常の改質混合物に比べて突固め温度が30℃および50℃程度低減しても、同じ空隙率（締固め度）が得られている。また、表-1より混合物Aは通常の改質混合物と同等の力学特性であるこ

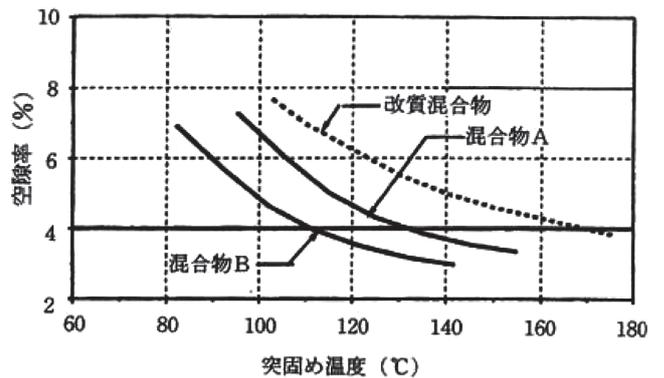


図-4 突固め温度と空隙率との関係

表-1 混合物性状 (一部修正)

項目	混合温度	最適締固め温度	マーシャル安定度	フロー値	DS
単位	℃	℃	kN	1/100 cm	回/mm
混合物A	150	130	9.5	36	4,200
混合物B	130	110	8.4	38	2,000
改質混合物	180	165	11.0	36	4,800

※空隙率4.0%での値

とから大型車交通量が著しく多い道路，混合物 B は大型車交通量の多い道路に適用可能としている。

(3) 滑剤系

滑剤系の中温化剤には，アスファルトのコンシステンシへの影響が少なく，中温化剤の融点以上になるとアスファルトに溶解してアスファルトと骨材の界面における潤滑を高めるもの⁶⁾や，アスファルト混合物中の骨材間の摩擦抵抗を低減するもの⁷⁾などがある。添加方法は，プレミックスタイプが多く，その中にはプラントミックスタイプで使用できるものもある。これらの中温化アスファルト混合物は，製造時と施工時の高温域での滑性効果あるいはベアリング効果によって混合性と締固め性を向上させることができる。その混合物の締固め特性と力学特性の一例を図-5⁸⁾に示す。図-5より中温化アスファルト混合物（締固め温度 130℃）は，添加量を 2.5%（アスファルト量に対する添加率）にすることで，中温化剤が無添加（添加量 0%）のもの（締固め温度 160℃）と同等の締固め性（旋回数）が得られ，また，動的安定度も同等となっている。

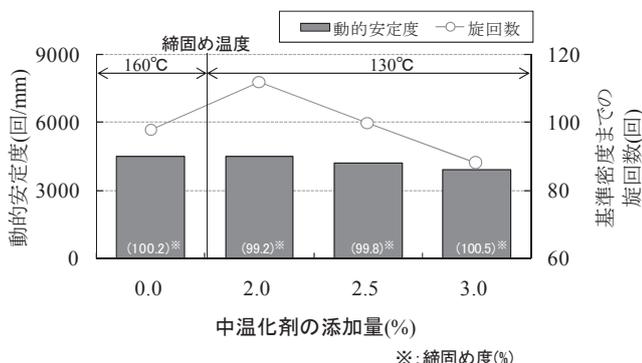


図-5 中温化剤の添加量と混合物特性の関係（一部修正）

3. CO₂ 排出量の削減効果

加熱アスファルト混合物の製造における CO₂ の発生は，骨材を加熱するための重油などの燃焼によるものが大部分であり，その CO₂ 排出量は加熱温度が高いほど増加する。加熱アスファルト混合物の製造プラントにおける CO₂ 排出量について，製造温度毎に試算した結果の例を表-2⁹⁾に示す。この例は，加熱のための燃料消費量のみに着目したものであるが，加熱アスファルト混合物の製造温度を通常温度よりも 30℃低下させることで，CO₂ 排出量を約 14～15%程度削減できることがわかる。

CO₂ 排出量の削減効果について実際の工事で検討し

表-2 製造温度低減による CO₂ 排出量の削減効果の試算例

加熱アスファルト混合物の製造温度	CO ₂ 排出量 (kg/t)	使用バインダー			
		ストレートアスファルト		改質アスファルト	
		製造温度の低減	CO ₂ 削減率 (%)	製造温度の低減	CO ₂ 削減率 (%)
180℃	20.3	—	—	通常温度	0
170℃	19.4	—	—	—	4.4
160℃	18.5	通常温度	0	—	8.8
150℃	17.6	—	4.9	30℃低減	13.7
140℃	16.7	—	9.7	—	17.7
130℃	15.8	30℃低減	14.6	50℃低減	22.1
120℃	15.0	—	19.4	—	—
110℃	14.1	50℃低減	24.2	—	—

注) CO₂排出量:加熱アスファルト混合物製造1ton当たりの排出量
骨材の含水比は3%，外気温は30℃とした

た事例を紹介する。

はじめの事例は，切削オーバーレイ工事（t = 表層 4 cm + 基層 6 cm）において，通常温度で製造した加熱アスファルト混合物（通常混合物）と，その通常温度より 30℃低下させた中温化アスファルト混合物（中温化混合物）を使用し，製造プラントにおける燃料使用量から CO₂ 排出量を算出して削減効果を検討したものである。この事例では，表-3に示すように基層の中温化混合物で製造時の CO₂ 排出量が 15.3%削減でき，表層の中温化混合物では 14.1%削減できたことが確認されている。

表-3 各種混合物における重油使用量の測定結果と CO₂ 排出量の計算結果

混合物種	項目	製造温度	混合物製造量	重油使用量		中温化剤によるCO ₂ 増加分	混合物1t当りのCO ₂ 排出量	CO ₂ 削減率
		℃	t	ℓ	ℓ/t			
基層 (ストアス)	通常混合物	160	56	449	8.0	—	21.7	—
	中温化混合物	130	56	374	6.7	0.3	18.4	15.3
表層 (改質Ⅱ型)	通常混合物	180	40	359	9.0	—	24.3	—
	中温化混合物	150	40	304	7.6	0.3	20.9	14.1

注) 骨材の含水比:3%，重油のCO₂排出原単位:2.71 kg-CO₂/ℓ

次の事例は，切削オーバーレイ工事（t = 5 cm，一部 5 cm × 4 層）において，通常温度の加熱アスファルト混合物とそれよりも 30℃と 50℃低減させた中温化アスファルト混合物で検討しており，表-4⁴⁾に

表-4 重油使用量および CO₂ 排出量の削減率（一部加筆）

条件	混合温度 (℃)	製造数量 (t)	重油使用量 (ℓ/t)	CO ₂ 排出量 (kg-C/t)	CO ₂ 削減率 (%)	備考
1	160	443	7.5	5.52	0.0	通常加熱混合物
2	130	243	6.0	4.41	20.1	中温化混合物
3	110	63	5.1	3.75	32.0	

注) 骨材含水比:4.4%，重油CO₂排出原単位:0.7357(kg-C/ℓ)

示すように、CO₂ 排出量は 30℃ 低減の場合で 20.1%、50℃ 低減の場合で 32.0% の削減効果があったとしている。

さらに、もう一つの事例は、切削オーバーレイ (t = 表層 5 cm) 工事において試験工区を設けて、表層に製造温度を 30℃ 低減した再生骨材配合率 30% の中温化アスファルト混合物を舗設し、通常の加熱アスファルト混合物とのアスファルトプラントにおける燃料使用量と使用材料の原単位を比較することにより、CO₂ 排出量の削減効果を検討した事例である。表 5⁶⁾ に示すように、通常の加熱アスファルト混合物を用いた比較工区に比べて混合物 1 t 当たり 3.7 kg-CO₂/t 低減し、約 18% 削減できたとしている。

この他にも、製造温度低減による燃料使用量から中温化アスファルト混合物の CO₂ 排出量の削減効果を検討した事例が報告^{10), 11)} されており、いずれの報告も CO₂ 排出量は、通常の加熱アスファルト混合物の製造時に比べて 15% 程度以上の削減効果であったとしている。

表 5 骨材加熱に伴う CO₂ 発生量の計算結果

項目	比較工区		試験工区	
	中温化剤なし	中温化剤あり	中温化剤なし	中温化剤あり
出荷温度(製造温度)	168℃		143℃	
A重油使用量	ℓ/t		7.7	6.3
A重油の原単位	kg-CO ₂ /ℓ		2.71	
中温化剤の原単位 ^{※1}	kg-CO ₂ /t		538	
中温化剤の使用量	kg/t		0	1.3
中温化剤によるCO ₂ 増加分 ^{※2}	kg/t		-	0.085
CO ₂ 排出量	kg/t		20.9	17.2

注) ※1 改質Ⅱ型の原単位は472.62 kg-CO₂/t とした
 ※2 改質Ⅱ型との原単位の差分より算出した。

4. その他の適用効果

(1) 早期交通開放による規制時間短縮

交通規制を伴う補修工事では、中温化アスファルト混合物を用いることで、通常よりも混合物温度が低いことから交通開放までの規制時間の短縮が可能になる。また、仮に規制時間を同じにすれば日施工量を増やせるので、工期の短縮も図れることもある。これらの規制時間や工期の短縮は、補修工事における交通渋滞の緩和にもつながり、交通車両の排気ガスや騒音等の沿道環境の改善も期待できる。ここでは、試験舗装において中温化アスファルト混合物を適用した早期交通開放の検討事例について紹介する。

はじめの事例は、図 6⁴⁾ の舗装断面に示す基層 3 層と表層 1 層を同日施工し、舗装体の内部温度を熱電

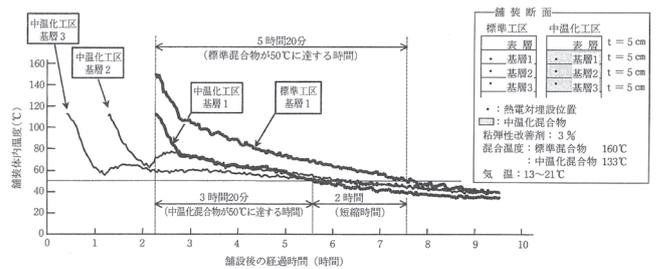


図 6 各工区の舗設後の舗装体内部温度の経時変化

対で測定して、その経時変化から交通開放時期を検討したものである。通常の加熱アスファルト混合物を用いた標準工区の温度低下に比べ、それより 30℃ 低減して製造した中温化アスファルト混合物の工区は内部温度の降下が多く、交通開放温度 (舗装表面温度が 50℃ 以下) になるまでの時間が 2 時間程度短縮されている。

次の事例の表層厚 5cm のオーバーレイの試験舗装においても、図 7³⁾ に示すように、通常の温度で製造した標準混合物よりも 30℃ 低減して製造した中温化アスファルト混合物の工区は、交通開放温度までの時間がおおむね 90 分程度短縮されている。

この他にも、早期交通開放への適用効果を検討した事例^{2), 12), 13)} が報告されている。その中には、中温化アスファルト混合物と通常の加熱アスファルト混合物との温度差が 20℃ 程度の場合では、時間差が約 30 分であったとの報告¹²⁾ もある。

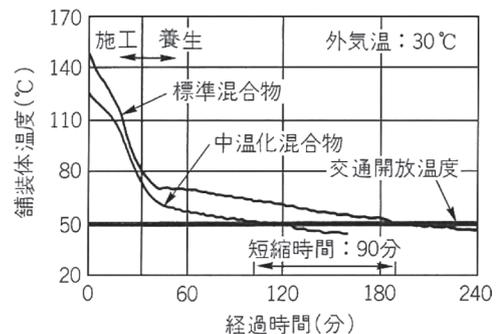


図 7 試験舗装の各混合物の舗装体内部温度の経時変化

以上のように交通開放までの規制時間の短縮効果にはかなりの幅がある。これは、混合物の温度低下が舗設時の気象や表・基層施工厚の条件、あるいは製造時の設定温度の違いなどの要因に影響されることが考えられる。しかし、同一の気象条件と施工条件下においては、少なくとも 30 分程度の時間短縮効果のあることが、これまでの調査からいえる。

(2) 通常加熱アスファルト混合物の施工性改善

温度低減せずに通常温度で製造する加熱アスファルト

ト混合物に中温化技術を適用すれば、締固め性能が大きく向上することから、寒冷期の施工や混合物の急激な温度低下が懸念される橋面舗装などの施工性改善のために用いられることがある。ここでは、その中から、寒冷期施工における締固め性向上を目的とした適用事例について紹介する。

この事例は、橋面舗装の防水層を兼ねたレベリング層用の碎石マッシュアップアスファルト混合物（SMA）へ中温化技術を適用したものである。寒冷期の施工で、かつ施工厚が35mmという条件の下で、所要の締固め度確保と舗設許容時間の拡大を目的としている。図-8¹⁴⁾に示す室内試験では中温化技術を用いた特殊SMAは、通常のSMAの場合よりも締固め温度を20℃程度低減しても同等の締固め度が得られ、また、外気温が2℃程度の厳寒期における実際の試験施工でも、全ての切取り供試体で98%以上の締固め度（目標値：97.5%以上）が得られている¹⁵⁾。

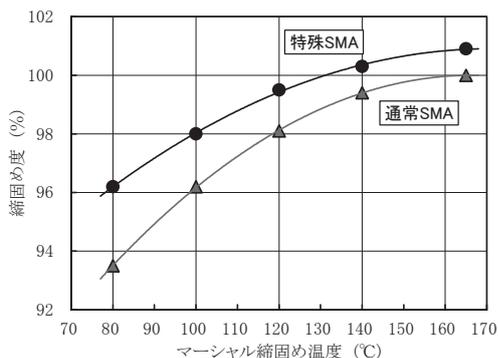


図-8 各SMAの締固め温度と締固め度の関係

この他にも、薄層舗装の施工性改善の効果を検討した事例¹⁶⁾や、寒冷期のポーラスアスファルト舗装への適用事例^{17), 18)}が報告されており、中温化技術の適用は、混合物の締固め性を向上させる効果がある結果となっている。

5. おわりに

中温化技術は1990年代から研究開発され、試験施工等を経て既に実用化されている。施工実績は、過去10年間で概ね300万m²程度（道路建設業協会調査、平成22年4月）であり、その中で製造温度を通常よりも30℃程度低減した中温化アスファルト舗装の施工面積は50%程度である。混合物製造量に換算すると約45万t程度と試算され、これは過去10年間の総製造量の0.1%以下で、本格的な適用はこれからの状況にある。そして、これまでは新規のアスファルト混

合物への適用が主体であったが、全出荷量の約70%を占める再生アスファルト混合物への活用も今後進めて行く必要がある。

ここで紹介した中温化アスファルト舗装は、舗装分野から排出されるCO₂のうち、その多くを占めるアスファルト混合物製造時での削減が図れるものであり、今後更に汎用的な技術となるように努めていきたいと考えている。

最後に、本報を取りまとめるに当たり、多くの文献を引用させて頂いたことに謝意を表するとともに、今後の中温化アスファルト舗装の普及に多少なりとも寄与できれば幸甚である。

JICMA

《参考文献》

- 1) 社日本道路協会：舗装性能評価法 別冊一必要に応じて定める性能指標の評価法編一、2008.3
- 2) 吉中保、根本信行：環境保全を指向したアスファルト舗装技術に関する研究、土木学会第2回舗装工学講演会講演論文集、1997.12
- 3) 海老澤秀治、坂本康文、佐々木雅之、五傳木一：ケミカルフォームドアスファルトを用いた中温化技術、舗装 Vol.35, No.10, 2000.10
- 4) 市岡孝夫、森嶋洋幸、小林良太：粘弾性状を改善したアスファルト混合物の開発と中温化技術への応用、道路建設 No.643, 2001.8
- 5) 加納孝志、高橋光彦、鈴木秀輔、野村健一郎：アスファルトの成分に着目した中温化技術、道路建設 No.618, 1999.7
- 6) 加藤正浩、村山雅人：界面活性剤系中温化剤の開発とその性能評価、第28回日本道路会議論文集、舗装部門、2009.10
- 7) 小野寺陵太郎、村山陽：中温化改質アスファルトの作業性および交通開放温度に関する一検討、土木学会第65回年次学術講演会論文集、2010.9
- 8) T.Hirato, M.Kato, M.Murayama: Development and Evaluation of a Warm Mix Asphalt Additive of Surfactant for Pre-mixing Asphalt, The 11th International Conference on Asphalt Pavements, NAGOYA 2010.8
- 9) 吉中保、根本信行、市原利昭：中温化技術の適用温度の低減化に関する検討、土木学会舗装工学論文集、第4巻、1999.12
- 10) 志賀勝宏、秋田文生：CO₂削減等を目的とした中温化材材による試験施工の調査結果、第23回日本道路会議一般論文集(C)、1999.10
- 11) 村井宏美、藤田浩成、吉野敏弘：中温化舗装技術の検討、第29回日本道路会議論文集、舗装部門、2011.11、投稿中
- 12) 鈴木秀輔、加納孝志、西沢典夫：中温化混合物の性状と適用例、舗装 Vol.34 No.5, 1999.5
- 13) 寺田剛：中温化技術の現状、舗装 Vol.36 No.11, 2001.11
- 14) 荒川和正、小野聖久、菅原紀明：中温化技術を応用したSMAの橋面防水層への適用について、第24回日本道路会議論文集 舗装部門、2001.10
- 15) 松下俊司、若松隆、植松祥示：中温化技術を応用したSMAの橋面防水層への適用評価、第25回日本道路会議論文集 舗装部門、2003.10
- 16) 谷井敬春、竹内康二、森嶋洋幸：中温化技術を応用した薄層SMAの施工事例、第24回日本道路会議論文集 舗装部門、2001.10
- 17) 草西巧、草野滋伸、口分田渉：寒冷期における高機能舗装の施工対策について、第25回日本道路会議論文集 舗装部門、2003.10
- 18) 田高淳：(財)土木研究所寒地土木研究所における積雪寒冷地の舗装技術に関する研究、アスファルト Vol.50 No.221, 2007.4

【筆者紹介】

井原 務 (いはら つとむ)
 (社)日本道路建設業協会
 技術及び施工管理部
 委員

