

積雪寒冷地における中温化アスファルト混合物の適用に関する検討

(独) 土木研究所寒地土木研究所 寒地道路保全チーム ○ 安倍 隆二
(独) 土木研究所寒地土木研究所 寒地道路保全チーム 熊谷 政行
(独) 土木研究所寒地土木研究所 寒地道路保全チーム 三田村 宏二

中温化アスファルト混合物は通常の加熱アスファルト混合物と比較し、製造温度を 30℃低減できることから CO₂ 排出量削減が期待される舗装技術である。しかし、積雪寒冷地である北海道では、中温化舗装技術による舗装工事の CO₂ 排出量および削減量についてはデータ等が少ない状況であり、CO₂ 削減効果は明確ではない。また、品質管理や施工性についても同様である。

積雪寒冷地における中温化舗装技術の CO₂ 削減効果および品質管理等を確認するため、全道各地において試験施工を夏期および冬期に実施した。本報告では、中温化アスファルト混合物の CO₂ 削減効果および品質管理等の検証を行い、その結果を報告するものである。

キーワード：地球温暖化、CO₂ 排出量削減、中温化アスファルト混合物、品質管理

1. はじめに

中温化舗装技術の夏期施工においては、通常の加熱アスファルト混合物よりも製造温度を30℃温度低減することにより、CO₂ 排出量削減および工事による通行規制時間の短縮に寄与することが見込めることが大きな効果であると考えられる。しかしながら、積雪寒冷地である北海道では、中温化舗装技術による舗装工事のCO₂ 排出量および削減量についてはデータ等が少ない状況であり、CO₂ 削減効果は明確ではない。

本報告では、中温化舗装技術のCO₂ 削減効果、品質管理、施工性等の効果を確認するため、試験施工を夏期・冬期に実施し、中温化アスファルト混合物の品質、施工性、およびCO₂ 排出量削減効果の検証を行い、その結果を報告するものである。

2. 中温化舗装技術

中温化舗装技術は、通常の加熱アスファルト混合物（以下、通常混合物）に一定量の中温化剤を混合し、中温化アスファルト混合物（以下、中温化混合物）の製造温度を低減することができる舗装技術である。夏期はアスファルト混合物（以下、As混合物）の混合温度を30℃程度低減させ、CO₂ の削減や交通解放時間の短縮を図る利用法が一般的である。冬期は混合物温度が低下しても転圧可能な温度領域が広い特長を利用し、施工性改善のために用いられている。

なお、中温化混合物は平成22年2月からグリーン購入法の特典調達品目に指定されており、舗装工事における

表-1 中温化剤の種類

発泡系	微細泡の発生で見掛けのアスファルト容積を増加し、ベアリング効果で締固め性を向上させる。
粘弾性調整系	A 常温で個体性状、一定の温度以上で急激に液体性状を示す特殊添加剤を使用し、アスファルトの粘性を調整する。
	B アスファルトと同様の組成を有する特殊添加剤を使用し、製造・施工温度領域のアスファルト混合物の粘弾性（コンシステンシー）のみを低下させる。
滑剤系	アスファルトおよび骨材界面に潤滑を高める特殊添加剤を使用し、混合性と締固め性を調整する。

CO₂ 排出量削減対策として期待されている。

中温化剤の種類を表-1に示す。中温化剤は発泡系、粘弾性調整系、および滑剤系の3つの種類に分類される。発泡系は微細な気泡によるベアリング効果により締固め性を向上させる中温化剤である。粘弾性調整系は2つのタイプがあり、中温化剤Aは一定の温度以上になると固体から液体に変化しアスファルトの粘性を調整する材料である。中温化剤Bはオイル系の材料であり、製造・施工温度領域の粘弾性のみを調整する中温化剤である。滑剤系はアスファルトおよび骨材界面に潤滑を高める材料を使用し、As混合物の混合しやすさと作業性を調整する中温化剤である。また、中温化混合物の製造方法は、中温化剤をプラントにおいてミキサーに人力やポンプにより直接投入するプラントミックスタイプと、事前にアスファルトへ中温化剤を添加するプレミックスタイプがある。

3. 試験施工

平成22年度および平成23年度における中温化混合物

表-2 平成22年度 試験施工箇所一覧（冬期）

番号	建設部	延長(m)	幅員(m)	面積(m ²) 混合物重量	混合物名	厚さ(cm)	施工時期	再生・新材の区分	中温化剤の種類
①	札幌	179	4.25~4.75	768 (72.9)	密粒度アスコン(表層)	4.0	H22.11	新材	発泡系 プラントミックス
②	釧路	100	6.25	625 (58.8)	再生密粒度アスコン(表層)	4.0	H22.12	再生20%	発泡系 プラントミックス
③	帯広	500	4.00	2,000 (141.6)	密粒度アスコン(表層)	3.0	H23.1	新材	粘弾性調整系 プラントミックス
④	室蘭	500	4.00	2,000 (230.0)	アスファルト安定処理	5.0	H23.1	新材	滑剤系 プレミックス
		96	10.00	960 (112.8)	細密粒度ギャップアスコン(表層)	5.0	H23.2	新材	滑剤系 プレミックス
		92	10.00	920 (129.7)	ポリマー改質アスファルトII型	6.0	H23.2	新材	滑剤系 プレミックス
		88	8.25	726 (102.4)	再生粗粒度アスコン(基層)	6.0	H23.2	新材	滑剤系 プレミックス
⑤	面館	84	8.40	706 (146.1)	再生アスファルト安定処理(1層目)	9.0	H23.2	新材	滑剤系 プレミックス
		80	8.55	684 (141.6)	再生アスファルト安定処理(2層目)	9.0	H23.2	新材	滑剤系 プレミックス
		100.00	4.50	450 (51.8)	粗粒度アスコン(表層)	4.0	H23.2	新材	発泡系 プラントミックス
⑥	種内	100	5.00	500 (55.3)	密粒度アスコン(表層)	3.0	H23.3	新材	滑剤系 プレミックス
		100	4.50	450 (51.8)	アスファルト安定処理	5.0	H23.3	新材	滑剤系 プレミックス
合計		2,018.90		10,808 (1,264.1)					

表-3 平成23年 試験施工箇所一覧（冬期）

番号	建設部	延長(m)	幅員(m)	面積(m ²) 混合物重量	混合物名	厚さ(cm)	施工時期	再生・新材の区分	中温化剤の種類
①	札幌	200	4.25	850 (79.9)	再生密粒度アスコン(表層)	4.0	H23.11	再生30%	発泡系 プラントミックス
②	旭川	200	4.25	850 (79.9)	密粒度ギャップアスコン(表層)	4.0	H23.12	新材	滑剤系 プレミックス
③	室蘭	100	5.90	590 (48.4)	排水性舗装(表層)	4.0	H23.12	新材	発泡系 プラントミックス
④	釧路	140	6.25	875 (82.3)	ポリマー改質アスファルトH型	4.0	H24.1	再生20%	発泡系 プラントミックス
⑤	網走	169	4.60	777 (91.3)	粗粒度アスコン	5.0	H24.2	新材	発泡系 プラントミックス
		170	3.85	653 (90.3)	アスファルト安定処理	6.0	H23.12	新材	滑剤系 プラントミックス
⑥	網走	220.00	5.00	1,100 (103.4)	密粒度ギャップアスコン(表層)	4.0	H23.11	新材	滑剤系 プレミックス
⑦	留萌	600	6.50	3,900 (458.3)	粗粒度アスコン(基層)	5.0	H23.12	新材	発泡系 プラントミックス
合計		1,799.00		9,597 (1,033.7)					

表-4 平成23年度 試験施工箇所一覧（夏期）

番号	建設部	延長(m)	幅員(m)	面積(m ²) 混合物重量	混合物名	厚さ(cm)	施工時期	備考	中温化剤の種類
①	札幌	200.00	4.25	850 (79.9)	再生密粒度アスコン(表層)	4.0	H23.8	再生30%	発泡系 プラントミックス
②	面館	210.00	9.05 ~9.65	1,987 (162.0)	排水性舗装(表層)	4.0	H23.9	新材	滑剤系 プレミックス
③	旭川	94.00	3.50	329 (23.2)	密粒度ギャップアスコン(表層)	3.0	H23.9	新材	滑剤系 プレミックス
				2,568 (142.7)	再生粗粒度アスコン(基層)(中間層)	5.0	H23.9	再生20%	発泡系 プラントミックス
④	釧路	142.74	9.25	1,230 (158.0)	再生密粒度アスコン(中間層)	5.0	H23.9	再生20%	発泡系 プラントミックス
				425 (30.9)	密粒度ギャップアスコン(表層)	3.0	H23.7	新材	発泡系 プラントミックス
⑤	帯広	100.00	4.25	425 (30.9)	密粒度ギャップアスコン(表層)	3.0	H23.7	新材	発泡系 プラントミックス
⑥	網走	590.00	9.45	5,576 (576.5)	細密粒度ギャップアスコン(表層)	4.4	H23.8	新材	滑剤系 プレミックス
⑦	留萌	157.00	6.50	1,021 (119.0)	ポリマー改質アスファルトII型	5.0	H23.10	新材	発泡系 プラントミックス
合計		1,636.48		14,003 (1,475.4)					

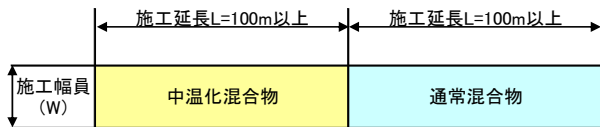


図-1 試験施工の工区割

の試験施工箇所を表-2、表-3、表-4に示す。平成22年度の試験施工は冬期6箇所、平成23年度の試験施工では夏期7箇所、冬期7箇所で行った。As混合物の種類は密粒度アスコン、密粒度ギャップアスコン(改質I型)、細密粒度ギャップアスコン(改質II型)、排水性舗装(改質H型)、粗粒度アスコン、アスファルト安定処理の6種類のAs混合物を施工した。なお、本報告では外気温5℃以上を夏期施工、5℃以下を冬期施工と定義した。

試験施工ではグリーン購入法の対象となっていない再生アスファルト混合物や改質アスファルト混合物についても、中温化混合物の活用拡大の観点から実施した。

(1) 試験施工の施工条件

試験施工は夏期施工と冬期施工に分けて調査を実施し、

Ryuji Abe, Masayuki Kumagai, Koji Mitamura

表-5 試験施工の調査項目（夏期・冬期）

調査項目	調査目的	調査時期	調査方法
① プラント出荷時の温度	プラント出荷時の温度の変動幅の把握	プラント出荷時	・ダンブラックの荷台上で温度計測を行う。表面から2cm、15cmの位置において、棒状温度計を用い、5点計測を行う。 ・出荷時の温度の変動幅や運搬時の温度低下の程度を把握する。
② 現場到着温度の計測	運搬時の温度低下の把握	現場到着時	・敷均し温度の変動幅を把握する。中温化混合物工区および通常混合物工区の各18箇所を測定する。 ・サーモグラフィにより、温度の均一性を計測する。
③ 敷均し温度の計測	敷き均し温度の変動幅の把握	敷き均し時	・サーモグラフィにより確認された温度低下箇所からコアを採取し密度を測定する。 ・舗装の端部から各工区10本のコアを採取し、密度を測定する。
④ 締固め度の計測	締固め度の把握	施工完了後	・流量計により、重油使用量を計測する。 ・骨材の温度、含水比、骨材加熱温度、およびバグフィルターへの排気温度等の計測を行う。
⑤ 重油使用量の計測	CO ₂ 削減量の把握	混合物の製造時	・施工完了後、横断断面および平坦性調査等の供用性状を把握する。
⑥ 供用性調査	供用性状の把握	施工完了後	

夏期施工は外気温5℃以上の気象条件で行い、冬期施工は5℃以下の気象条件で実施した。中温化混合物の出荷温度は夏期・冬期施工ともに通常混合物と比較し30℃程度温度低減することを目標に出荷し、アスファルトプラントで使用するA重油の使用量を削減することとした。

中温化混合物と通常混合物の転圧回数や運搬時の保温対策は同じ方法で行い、施工方法は同一条件とした。

図-1に試験施工の工区割を示す。通常混合物と中温化混合物は基本的に同じ車線で施工し、各工区L=100m以上の施工延長を目標とし、CO₂排出量の精度を向上させるため、As混合物重量を多く出荷することを考慮した。

表-2~4に試験施工で用いた中温化剤の種類を示す。

試験施工では発泡系、粘弾性調整系、滑剤系の中温化剤を使用した。中温化剤の添加方法はプラントミックスタイプとプレミックスタイプがあり、中温化剤の製造メーカーによって異なる。また、添加量についても中温化剤の種類によって異なるため、配合設計時に確認する必要がある。

(2) 試験施工の調査項目

試験施工の調査項目を表-5に示す。調査項目は、①プラント出荷時における混合温度、②運搬時におけるAs混合物の温度低下、③敷均し温度、④As混合物の締固め度、⑤CO₂削減量、⑥供用性状の把握に着目し現地調査を実施した。

本報告では、主に④As混合物の締固め度、⑤CO₂削減量の2項目に着目し報告する。

締固め度の調査については、中温化混合物工区および通常混合物工区の路肩部から均等間隔で各10個のコアを採取し(以下、定点箇所)、締固め度を比較した。また、サーモグラフィによる敷均し温度測定を行い、周辺部と比較し温度が低下した箇所(以下、温度低下箇所)を見つけ、その箇所からコアを採取し、締固め度を比較した。

CO₂排出量はアスファルトプラントにおいて骨材を加熱するドライヤーのA重油使用量を流量計により計測し、算出した。

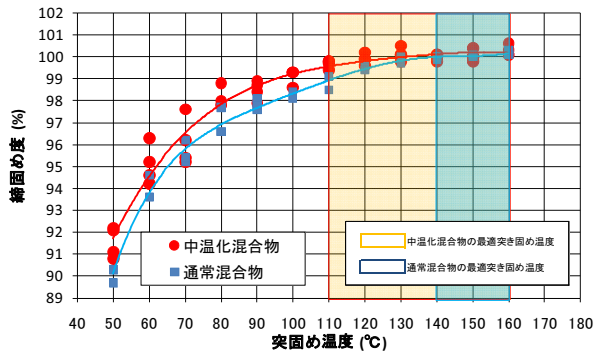


図-2 中温化混合物のマーシャル試験
(ストアス・発泡系)

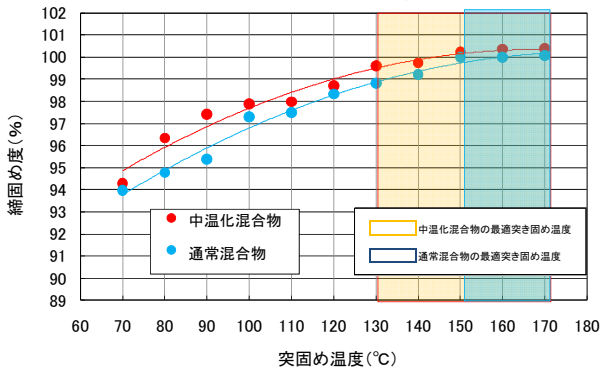


図-3 中温化混合物のマーシャル試験
(改質Ⅱ型・滑剤系)

(3) 調査結果

a) 中温化混合物の最適締め固め温度の検討

中温化混合物の混合温度は通常混合物と比較し、30°C温度低減可能とされているが、転圧温度の設定方法は定められていない。そのため、室内試験により突固め温度を変化させたマーシャル試験用供試体を作製し、締固め度と突固め温度の関係を調査した。図-2にストレートアスファルトを用いた密粒度アスコンにより、発泡系の中温化剤を用いた試験結果を示す。中温化混合物は110°C程度以上の突固め温度を確保することができれば、100%程度の締固め度を得られることを確認した。

粘弾性調整系や滑剤系の中温化剤についても同じ室内試験を実施したが、同様な結果を得ることができた。

一方、通常混合物は140°C程度以上で100%程度の締固め度が得られ、高温動粘度試験によるアスファルトの温度と粘度の関係から得られる最適締め固め温度と同程度であることが確認された。

図-3にポリマー改質アスファルトⅡ型を用いた細密粒度ギャップアスコン、図-4にポリマー改質アスファルトH型を用いた排水性舗装について同様な試験を実施した結果を示す。改質アスファルトを用いた中温化混合物は130°C程度以上の突固め温度を確保する必要があり、通常混合物は150°C程度以上の突固め温度が必要であることが確認された。

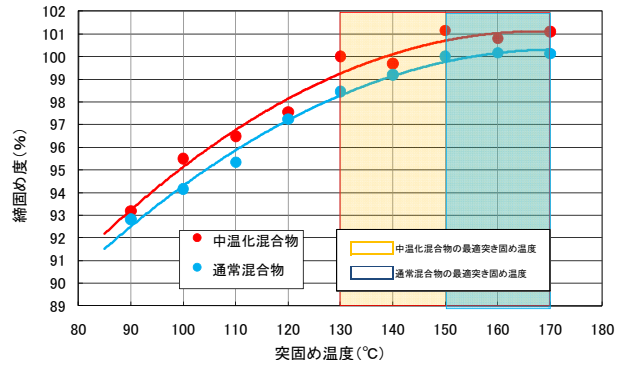


図-4 中温化混合物のマーシャル試験
(改質H型・滑剤系)

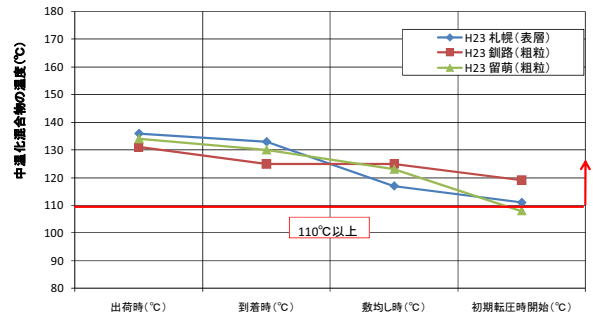


図-5 中温化混合物の製造・運搬・施工時の温度
(夏期・ストアス)

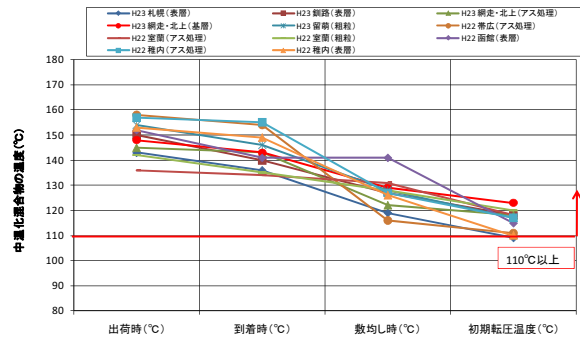


図-6 中温化混合物の製造・運搬・施工時の温度
(冬期・ストアス)

b) 中温化混合物の製造・運搬・施工時の温度

図-5、図-6に夏期施工および冬期施工におけるストレートアスファルトを用いた中温化混合物の製造、運搬、施工時の温度変化を示す。夏期施工および冬期施工における通常混合物と比較し30°C程度低い温度で出荷した中温化混合物は、室内試験において確認した最適締め固め温度110°C以上を概ね確保されていることが確認された。

図-7、8に夏期施工および冬期施工における改質アスファルトを用いた中温化混合物の製造、運搬、施工時の温度変化を示す。夏期施工および冬期施工における通常混合物と比較し30°C程度低い温度で出荷した中温化混合物は、室内試験において確認した最適締め固め温度130°C以上を満足していない結果となった。

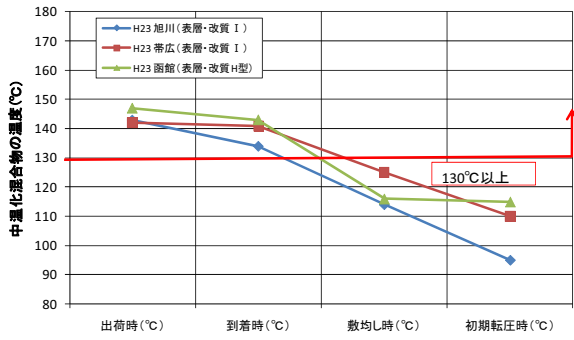


図-7 通常混合物の製造・運搬・施工時の温度 (夏期・改質アス)

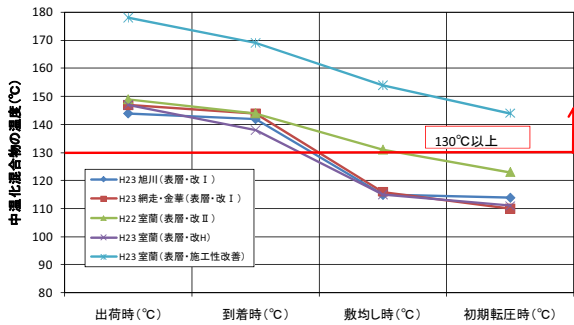


図-8 中温化混合物の製造・運搬・施工時の温度 (冬期・改質アス)

c) 中温化混合物の締固め度

夏期施工および冬期施工箇所から採取したコアを用い、中温化混合物と通常混合物の締固め度を比較した。図-9に夏期施工におけるストレートアスファルトを用いた中温化混合物と通常混合物の比較を示す。最適締固め温度110°C以上(図-5参照)を確保し施工した中温化混合物の締固め度は、平均値100%の締固め度を示し、通常混合物と同程度の締固め度を確保することができた。

図-10、11にポリマー改質アスファルト I 型を用いた密粒度ギャップアスコンおよびポリマー改質アスファルト H 型を用いた排水性舗装の締固め度の比較を示す。中温化混合物は通常混合物と比較し、同程度の締固め度を示した。転圧温度が130°C以下(図-7参照)でも締固め度が得られた理由としては、中温化混合物の転圧温度が低くても、夏期施工の影響からAs混合物の温度低下が遅く、十分な転圧効果が得られたと考えられる。また、夏期施工においては、サーモグラフィーにより確認された敷均し温度のムラは少なく、温度低下の影響が少ないと推察される。

図-12に冬期施工におけるストレートアスファルトを用いた中温化混合物と通常混合物の締固め度の比較を示す。中温化混合物の初期転圧温度の平均値は110°C以上(図-6参照)を概ね確保し、通常混合物と同程度の締固め度を有している。ただし、冬期間はサーモグラフィーにより確認された敷均し温度のムラが夏期施工と比較し

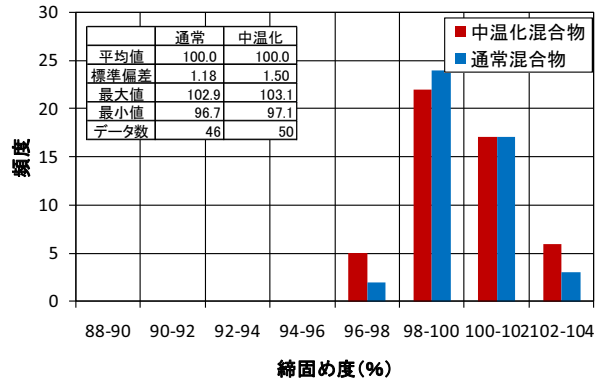


図-9 締固め度 (ストアス・定点箇所・夏期)

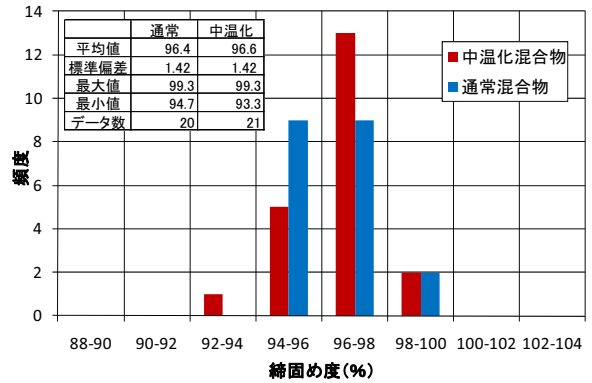


図-10 締固め度 (改質 I 型・定点箇所・夏期)

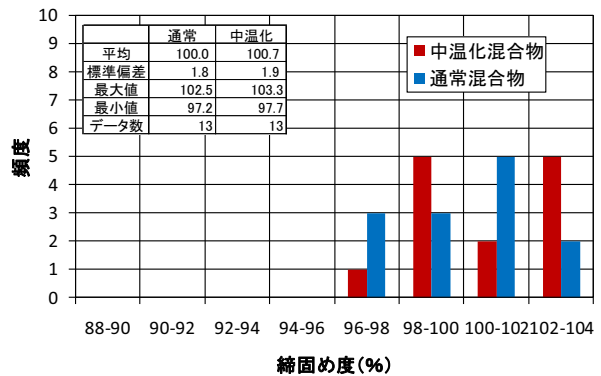


図-11 締固め度 (排水性・定点箇所・夏期)

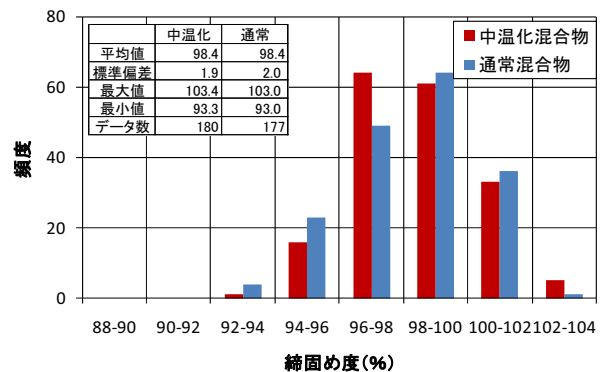


図-12 締固め度 (ストアス・定点箇所・冬期)

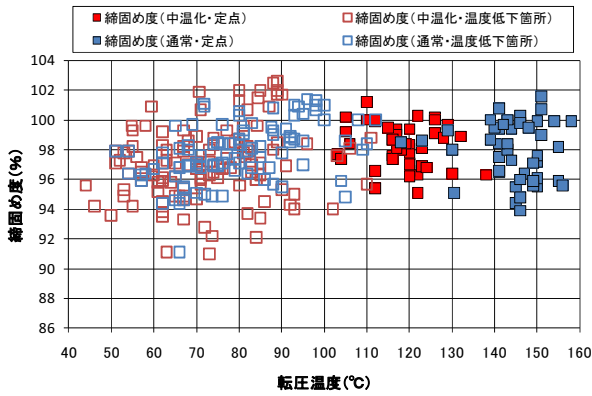


図-13 締固め度

(ストアス・定点箇所+温度低下箇所・冬期)

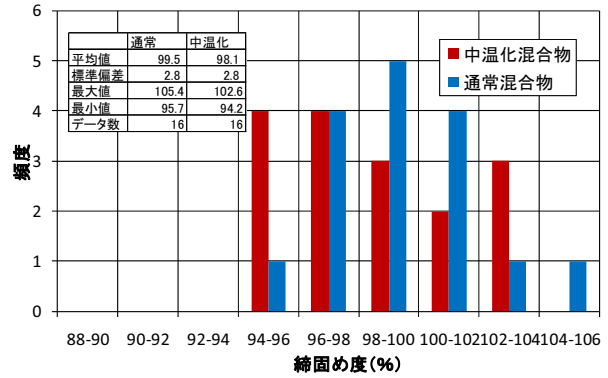


図-16 締固め度

(排水性・定点箇所・冬期)

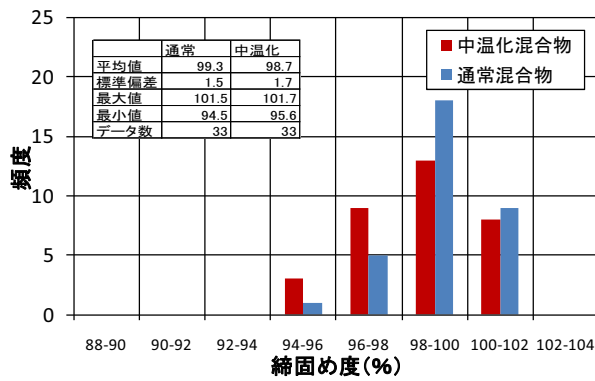


図-14 締固め度 (改質 I 型・定点箇所・冬期)

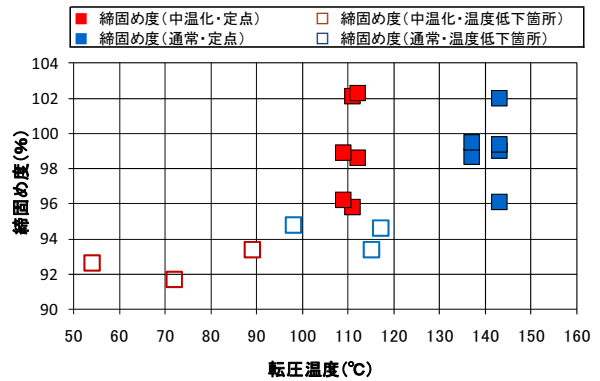


図-17 締固め度

(排水性・定点箇所+温度低下箇所・冬期)

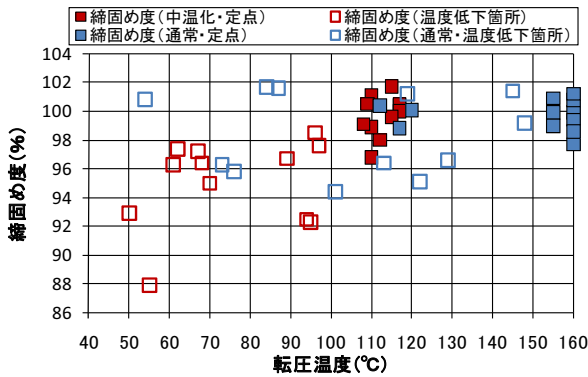


図-15 締固め度

(改質 I 型・定点箇所+温度低下箇所・冬期)

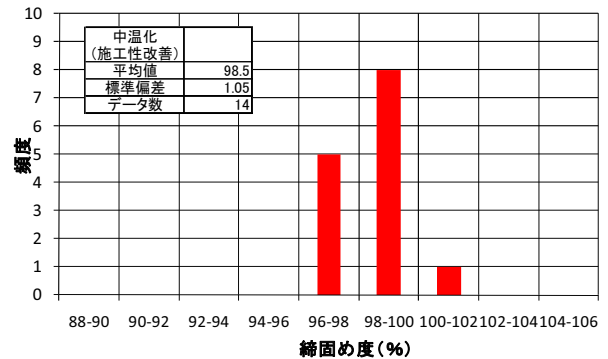


図-18 締固め度

(排水性・施工性改善・冬期)

多く見られた。中温化混合物工区と通常混合物工区の定点箇所と温度低下箇所からコアを採取し、締固め度を測定した試験結果を図-13に示す。冬期間は外気温の影響による運搬時や施工時のAs混合物の温度低下が早いいため、中温化混合物を使用しても110°C以下の転圧温度箇所においては仕様書の下限規格値94%以下のコアも見受けられる。

図-14に密粒度ギャップアスコン (改質 I 型) に中温化舗装技術を適用した締固め度の試験結果を示す。中温化混合物の敷均し温度は目標温度130°C以上を確保することができず (図-8参照)、中温化混合物の締固め度は

通常混合物と比較し、やや低い結果となった。また、図-15に定点箇所および温度低下箇所から採取したコアの締固め度を示す。温度低下箇所から採取したコアには下限規格値94%以下のコアも見受けられた。

図-16に排水性舗装に中温化技術を適用した締固め度の試験結果を示す。敷均し温度は目標温度130°C以上を確保することができず (図-8参照)、中温化混合物の締固め度は通常混合物と比較し低い結果となった。施工時には温度低下により固まって廃棄するAs混合物が通常混合物と比較し多く発生した。図-17に定点箇所と温度低下箇所の締固め度を示す。中温化混合物の温度低下し

た箇所から採取したコアは下限規格値94%を下回る試験結果となった。

図-18に排水性舗装の混合温度を30℃低減しない施工性改善を目的に実施した中温化混合物の締固め度を示す。出荷温度が高いため敷均し温度は130℃以上を確保し(図-8参照)、締固め度のバラツキも少なく良好な品質が得られた。

d) 中温化混合物のCO₂削減効果

中温化混合物のCO₂削減効果については、骨材加熱時に使用するドライヤーのA重油使用量を流量計で計測し、A重油のCO₂原単位を乗じてCO₂排出量を算出し比較した。図-19に夏期施工におけるCO₂削減効果を示す。夏期施工では、中温化混合物の温度低減幅24～30℃程度の条件において、16～19%程度のCO₂削減効果が確認された。日本道路建設業界協会で示している15%の削減効果と比較し、同程度以上のCO₂削減効果が確認された。

図-20に冬期施工におけるCO₂削減効果を示す。中温化混合物の温度低減幅25～36℃程度の条件において、11～22%程度のCO₂削減効果が確認された。温度低減幅25～30℃程度の条件であれば、11～16%程度のCO₂削減効果があり、概ね10%以上のCO₂削減効果が期待できる結果となった。

4. まとめ

今回報告した中温化混合物の室内試験や試験施工で明らかになった内容を以下に示す。

(締固め度に関する事項)

- 1) ストレートアスファルトを使用した中温化混合物の最適締固め温度は110℃程度以上と考えられる。
- 2) ポリマー改質アスファルトを使用した中温化混合物の最適締固め温度は130℃程度以上と考えられる。
- 3) 夏期施工において30℃程度温度低減したストレートアスファルトを使用した中温化混合物の締固め度は通常混合物と比較し、同程度の締固め度を得ることが可能である。
- 4) 夏期施工において30℃程度温度低減したポリマー改質アスファルトを使用した中温化混合物の締固め度は通常混合物と比較し、同程度の締固め度を得ることが可能である。
- 5) 冬期施工において30℃程度温度低減したストレートアスファルトを使用した中温化混合物の締固め度は通常混合物と比較し、同程度の締固め度を得ることが可能である。ただし、冬期施工では敷均し時に発生する温度ムラは、夏期施工と比較し多く見られ、温度低下箇所は中温化混合物を使用しても仕様書の下限規格値94%を満足しない箇所が発生した。

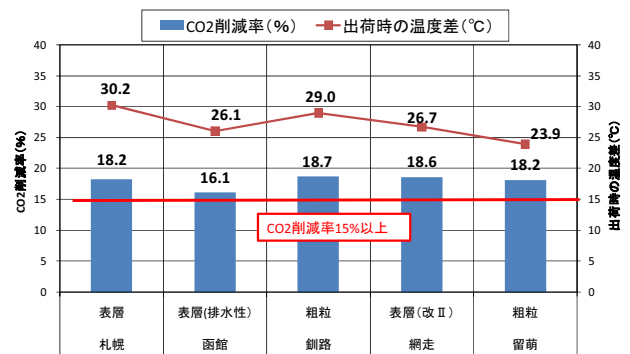


図-19 CO₂削減効果 (夏期)

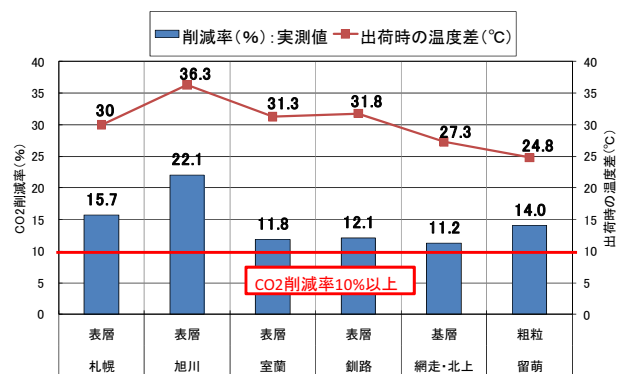


図-20 CO₂削減効果 (冬期)

- 6) 冬期施工において30℃程度温度低減したポリマー改質アスファルトを使用した中温化混合物の締固め度は、通常混合物と比較し低下する傾向が見られる。冬期施工では敷均し時に温度ムラの発生が夏期施工と比較し多く見られ、更に改質アスファルトは温度低下の影響を受けやすいため、温度低下箇所では中温化混合物を使用しても仕様書の下限規格値94%を満足しない箇所が発生した。また、排水性舗装の試験施工箇所では、通常混合物と比較し温度低下の影響より発生した破棄するAs混合物が多く見られた。
- 7) 施工性改善を目的に施工した温度低減しない排水性舗装の中温化混合物の締固め度は、品質のバラツキも少なく良好な結果を得た。

(CO₂削減効果に関する事項)

- 8) 中温化混合物のCO₂削減効果は、夏期施工で15%以上、冬期施工で10%以上の効果が確認された。

5. 今後の課題

今回報告した内容は、北海道開発局道路建設課が事務局を担当している「積雪寒冷地における舗装技術検討委員会」の検討の一部である。今後は、積雪寒冷地における中温化混合物の適用方法に関する技術資料を作成する予定である。