

積雪寒冷地における冬期の低炭素アスファルト舗装の効果検証（第2報）

札幌開発建設部岩見沢道路事務所 ○紺野 喬義
札幌開発建設部岩見沢道路事務所 坂田 晋一
(独)土木研究所寒地土木研究所 安倍 隆二

「地球温暖化対策の推進に関する法律」により、温室効果ガス排出量の削減については国全体を対象とした総合的な取組みが進められている。

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 排出量及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。

本報告では、中温化舗装技術を今後普及させる目的で実施した試験施工の CO₂ 排出量削減効果、及び混合物の品質・施工性の検証結果を報告するものである。

キーワード：中温化アスファルト混合物、低炭素アスファルト舗装、地球温暖化、CO₂排出量削減

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30℃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排出量及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、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）を製造する技術である。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。

中温化剤の種類を表-1に示す。中温化剤は3つの種類に分けられ、発泡系、粘弾性調整系、および滑剤系に分

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アスファルトに事前に中温化剤を添加したプレミックスタイプがある。

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。	

3. 試験施工

試験施工は、中温化混合物の混合温度を通常混合物より30℃低減することにより、CO₂削減の排出効果および品質・施工性の検証を行った。なお、試験施工の実施時期は夏期（H23.8.4）と冬期（H23.11.30）の2回行った。

(1) 施工条件および使用材料

試験施工は一般国道452号夕張市において実施した。試験施工の施工条件を表-2に示す。夏期施工は平均外気温29℃、風速1~3m/sec、冬期施工は平均外気温-2℃、風速は1~4m/secの気象条件で実施した。使用したAs混合物は密粒度アスコン(13F)を使用し、再生加熱アスファルト混合物(再生混合率30%)を用いている。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。

表-3に使用した中温化混合物と通常混合物のマーシャル試験結果を示す。マーシャル試験の性状値は通常混合物と比較し、同程度の値を示した。中温化剤は発泡系を使用し、アスファルト量の2.5%を添加している。

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同じ車線で施工し、各工区L=200mの施工延長とした。As混合物は各工区約80tを使用した。

表-4に混合物の温度管理の目標値を示す。中温化混合物の混合温度は通常混合物より30℃低減させ、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。また、夏期施工・冬期施工ともに敷均し温度や初期転圧温度も10~30℃低減した温度管理の目標値を設けた。

表-2 試験施工の施工条件 (夏期・冬期)

項目	夏期施工
施工箇所	一般国道452号 夕張市
施工日	平成23年8月4日
気象条件	外気温: 24~33℃ (平均外気温29℃) 風速: 1~3m/sec 天候: 晴れ
混合物の種類	密粒度アスコン(13F)・再生30%
舗装厚	t=4cm
転圧回数	マカダムローラーによる転圧回数: 4回 タイヤローラーによる転圧回数: 8回
運搬時の保温方法	シート1枚を使用
項目	冬期施工
施工箇所	一般国道452号 夕張市
施工日	平成23年11月30日
気象条件	外気温: -4~+1℃ (平均外気温-2℃) 風速: 1~4m/sec 天候: 曇り一時雪
混合物の種類	密粒度アスコン(13F)・再生30%
舗装厚	t=4cm
転圧回数	マカダムローラーによる転圧回数: 4回 タイヤローラーによる転圧回数: 8回
運搬時の保温方法	排気熱利用車 二重シートを使用

表-3 マーシャル試験結果

	実際密度 (g/cm ³)	理論密度 (g/cm ³)	空隙率 (%)	飽和度 (%)	安定度 (KN)	フロー値 (1/100cm)
基準値	-	-	3~5	75~85	4.90以上	20~40
密粒度アスコン(13F) 通常混合物	2.386	2.473	3.5	79.5	11.32	37
密粒度アスコン(13F) 中温化混合物	2.384	2.473	3.6	79.1	11.18	36

※中温化剤は発泡系の材料を使用。添加量はアスファルト量の2.5%(外割)

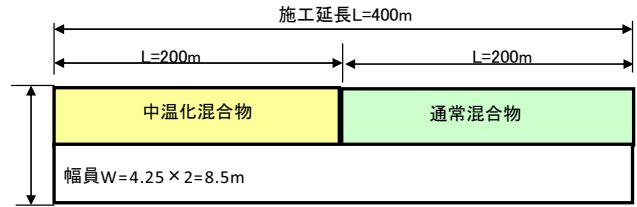


図-1 試験施工の工区割

表-4 混合物の温度管理の目標値 (夏期・冬期)

中温化混合物(夏期施工)		通常混合物(夏期施工)	
項目	目標値	項目	目標値
混合物出荷温度 (°C)	130°C~140°C	混合物出荷温度 (°C)	160°C~170°C
混合物敷均温度 (°C)	120°C~130°C	混合物敷均温度 (°C)	150°C~160°C
初期転圧温度 (°C)	115°C~125°C	初期転圧温度 (°C)	145°C~155°C
二次転圧温度 (°C)	70°C~110°C	二次転圧温度 (°C)	80°C~120°C
中温化混合物(冬期施工)		通常混合物(冬期施工)	
項目	目標値	項目	目標値
混合物出荷温度 (°C)	140°C~150°C	混合物出荷温度 (°C)	170°C~180°C
混合物敷均温度 (°C)	115°C~135°C	混合物敷均温度 (°C)	145°C~165°C
初期転圧温度 (°C)	110°C~130°C	初期転圧温度 (°C)	140°C~160°C
二次転圧温度 (°C)	70°C~110°C	二次転圧温度 (°C)	80°C~120°C

(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の変動幅の把握、②運搬時における混合物の温度低下の把握、③敷均し温度の変動幅の把握、④混合物の締固め度の把握、⑤CO₂削減量の把握に着目し現地調査を実施した。

運搬時の混合物の温度計測については、アスファルトプラントにおいて出荷時の温度をダンプトラックの荷台上で計測し、出荷温度の目標温度に対する変動幅を測定した(写真-1)。中温化混合物の出荷温度測定については、目標温度に対する許容変動範囲を検討するために測定した。また、夏期・冬期施工時の運搬時の温度低下を把握するため、出荷温度および到着温度を混合物の表面部、内部温度に着目し各5箇所測定した。

敷均し温度の調査については、夏期・冬期の敷均し温度の変動幅を把握した。また、中温化混合物の混合温度を通常混合物に対して30℃低下させた温度設定にしたことにより、仕様書の規格値110℃以上を下回ることが予想されたため、仕様書の規格値の検討に使用するデータを測定した。敷均し温度の測定は、中温化混合物工区および通常混合物工区各18点の測定の他、サーモグラフィによる温度測定を行い、敷均し温度の均一性を調査した(写真-2)。

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。

アスファルトプラントにおける重油使用量の計測は、骨材を加熱するドライヤーのA重油使用量を中温化混合物および通常混合物それぞれ流量計により計測した。

なお、骨材の含水比、骨材保管温度もA重油使用量に

表-5 試験施工の調査項目

調査項目	調査目的	調査時期	調査方法
① プラント出荷温度の計測	プラント出荷時の温度の変動幅を把握	プラント出荷時	<ul style="list-style-type: none"> ・ダンプト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	
③ 敷均し温度の計測	敷均し温度の変動幅の把握	敷き均し時	<ul style="list-style-type: none"> ・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。 ・サーモグラフィーにより、温度の均一性を計測する。 ・熱電対を舗装体に埋設し、アスファルト混合物の敷均しから交通解放時間までの温度を計測する。
④ 締固め度の計測	締固め度の把握	施工完了後	<ul style="list-style-type: none"> ・サーモグラフィー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、密度を計測する。
⑤ 重油使用量の計測	CO ₂ の削減量の把握	混合物の製造時	<ul style="list-style-type: none"> ・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の排気熱温度等の計測を行う。
⑥ 供用性調査	供用性状の把握	施工完了後	<ul style="list-style-type: none"> ・施工完了後、横断凹凸量調査および平坦性調査等の供用性状を把握する。



写真-1 現場到着時の混合物温度の計測状況



写真-2 サーモグラフィーによる敷均し温度の計測状況

影響を与えるため、併せて計測した。また、供用後の路面性状を追跡調査するため、横断凹凸量および平坦性の初期値を計測した。

(3) 調査結果

a) プラント出荷時の温度

夏期における中温化混合物と通常混合物の目標出荷温度は130～140℃、160～170℃に設定した。実際の出荷温度は中温化混合物135.6℃、通常混合物165.8℃で出荷し(図-2)、温度差は30.2℃であった(図-3)。また、冬期については、中温化混合物と通常混合物の目標出荷温度は140～150℃、170～180℃に設定し、中温化混合物143.0℃、通常混合物173.0℃で出荷した。その温度差は30.0℃あり、夏期および冬期ともに目標温度内に設定し、温度差も目標の30℃程度となった。

図-4に出荷温度の標準偏差を示す。標準偏差はプラント出荷時の温度の変動幅を確認するために算出した。中温化混合物は3℃程度、通常混合物は4℃程度の温度変動幅である。中温化混合物は通常混合物と同程度の温度管理が可能であることが分かる。

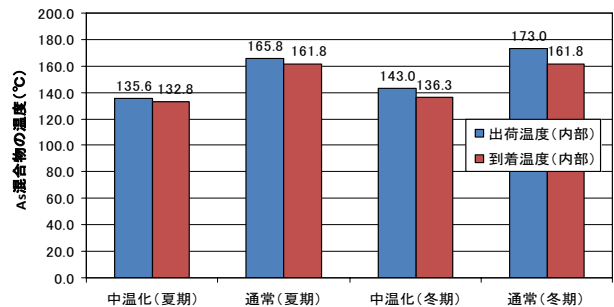


図-2 出荷温度・到着温度 (内部)

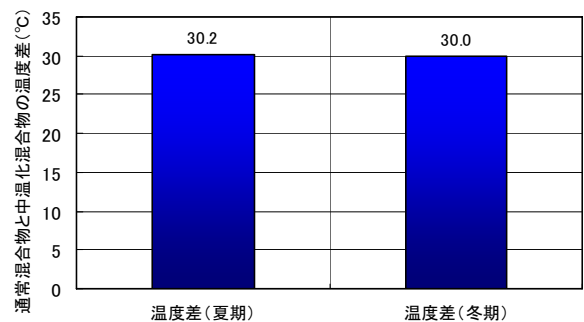


図-3 中温化混合物と通常混合物の温度差

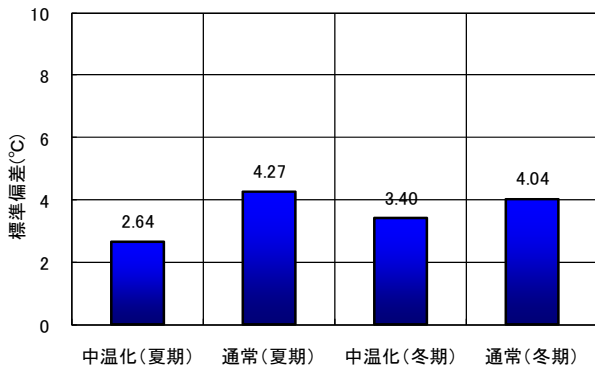


図-4 中温化混合物と通常混合物の標準偏差

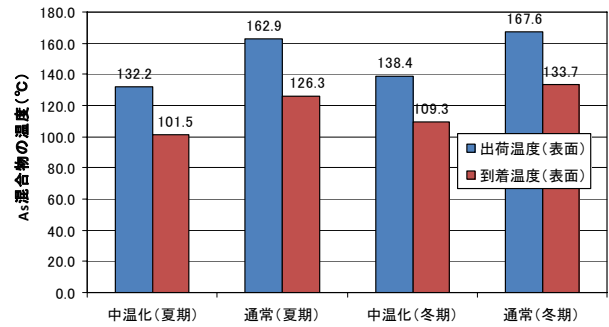


図-5 出荷温度・到着温度(表面)

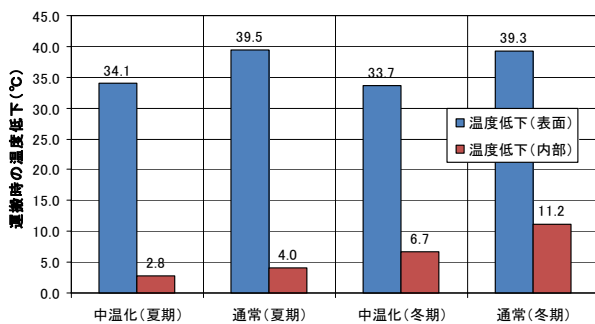


図-6 As混合物の温度低下

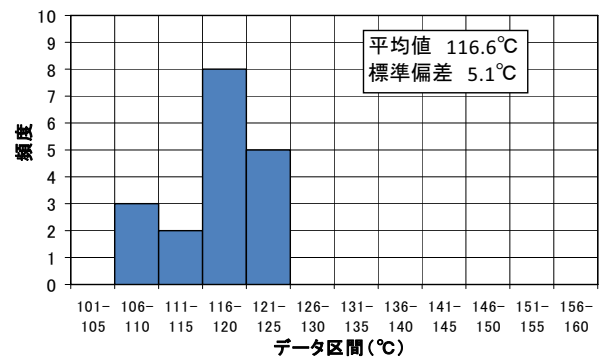


図-7 敷き均し温度(夏期・中温化)

b) 現場到着時の温度および到着時の温度低下

アスファルトプラントから現場までの距離32km、運搬時間40~50分の現場条件で試験施工を実施した。図-2、5に中温化混合物の出荷温度・到着温度、図-6にAs混合物の温度低下を示す。夏期の運搬時の温度低下に着目すると、冬期の内部温度(表面から15cmの位置)は中温化混合物2.8°C、通常混合物4.0°Cの温度低下が確認された。冬期は中温化混合物6.7°C、通常混合物11.2°Cの温度低下が見られた。冬期は夏期と比較し、外気温の影響により温度低下幅が大きいと考えられる。

図-5に表面温度(表面から2cmの位置)の出荷温度・到着温度、図-6にAs混合物の温度低下を示す。夏期は中温化混合物34.1°C、通常混合物39.5°Cの温度低下が確認された。冬期は中温化混合物33.7°C、通常混合物39.3°Cの温度低下が見られた。表面温度の温度低下は同程度である。

c) 敷き均し温度

図-7に夏期における中温化混合物の敷均し温度、図-8に通常混合物の敷均し温度を示す。温度測定結果は棒状温度計で測定した18箇所をとりまとめたものである。中温化混合物の目標敷均し温度範囲は120°C~130°C、実測値の平均値は116.6°Cであり、目標温度よりやや低い温度で敷き均し作業を実施した。また、通常混合物の敷き均し温度の平均値は143.2°Cであり、中温化混合物の敷き均し温度と比較し、30°C程度高い温度である。夏期施工においては18箇所中、3箇所が110°C未満となり、仕様

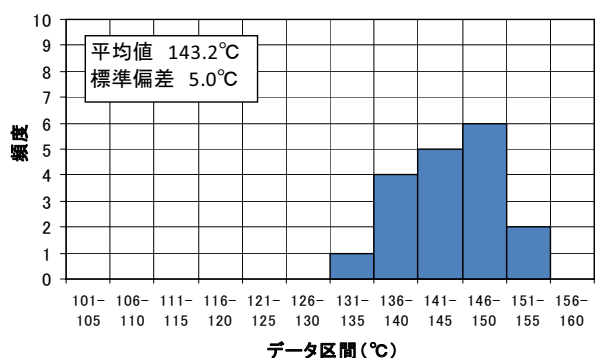


図-8 敷き均し温度(夏期・通常)

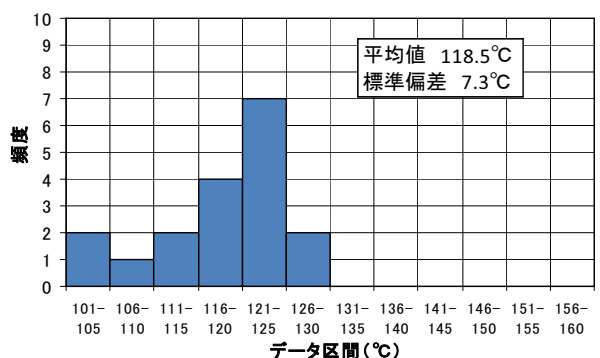


図-9 敷き均し温度(冬期・中温化)

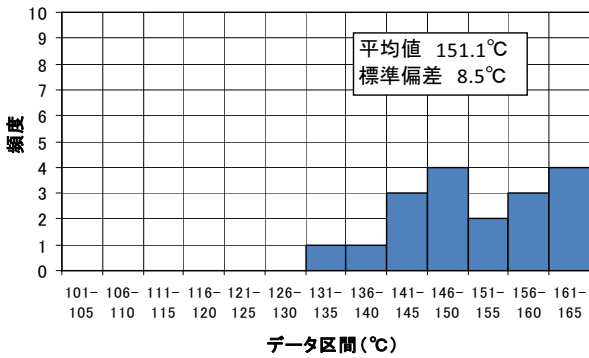


図-10 敷き均し温度 (冬期・通常)

書の規格値を下回った。

図-9に冬期における中温化混合物の敷き均し温度、図-10に通常混合物の敷き均し温度を示す。中温化混合物の敷き均し温度の平均値は118.5°C、標準偏差7.3°Cとなった。また、通常混合物の平均値は151.1°C、標準偏差8.5°Cであり、中温化混合物の敷き均し温度は、30°C程度低い値を示した。冬期施工において中温化混合物の敷き均し温度は、110°C未満となるデータ数は18箇所の内、3箇所が仕様書の規格値を下回った。

以上の結果から、中温化混合物の敷き均し温度の規格値を検討する必要性が確認された。

d) 交通開放時間

図-11に夏期におけるAs混合物の温度低下状況を示す。交通開放可能な舗装体の表面温度は50°Cである。舗装体の50°Cまでに低下する時間は中温化混合物4時間20分、通常混合物は2時間44分であり、通常混合物の交通開放時間が短い結果となった。ただし、試験施工は平均外気温29°C、晴天の気象条件で実施し、中温化混合物の舗設時は日射が強い状況であった。一方、通常混合物の工区は、舗設後日陰となり、舗装体温度の低下時の気象条件が中温化工区と異なる要因のため、50°Cに低下するまでの時間が逆転した結果となった。一般的に舗装体は、日射の影響により60°C程度まで上昇するため、日射の影響により舗装体温度が下がらなかったと考えられる。因みに舗装体温度が70°Cまで低下する時間は中温化混合物35分、通常混合物57分であり、中温化混合物の低下時間は20分程度早い試験結果となっている。また、60°C程度までの低下時間は中温化混合物が早い結果となった。

冬期におけるAs混合物の温度低下を図-12に示す。舗装体温度の低下速度は夏期と比較し早く、舗装体50°Cまでの低下時間は、中温化混合物28分、通常混合物38分となり、中温化混合物の交通開放時間は10分程度早い結果となった。

e) 締固め度

図-13に夏期・冬期に実施した試験施工箇所から採取したコアの締固め度の平均値を示す。夏期施工については、中温化混合物と通常混合物の締固め度は同程度の値を示した。また、冬期に実施した箇所についても同様に、

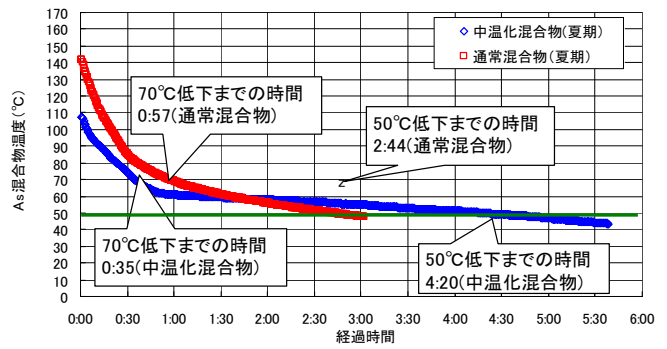


図-11 As混合物の温度低下 (夏期施工)

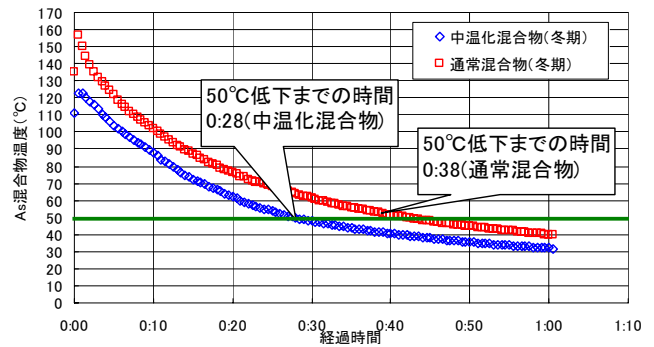


図-12 As混合物の温度低下 (冬期施工)

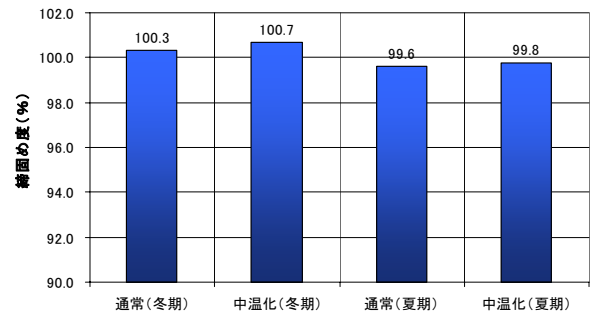


図-13 締固め度 (定点箇所：夏期・冬期)

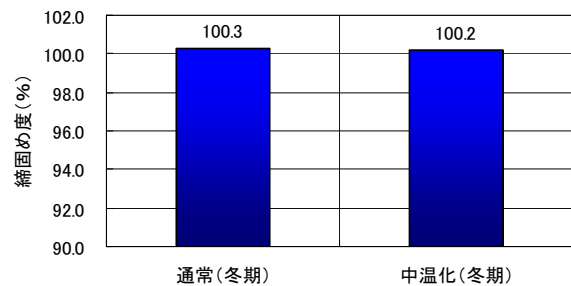


図-14 締固め度 (温度低下箇所・冬期)

同程度の締固め度を有している。図-14に冬期の試験施工箇所において、サーモグラフィーを使用し、周辺部より10~20°C程度低い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は中温化混合物、通常混合物ともに、100%程度の締固め度を確保し、所定の締固め度を有している。今回は中温化混合物と通常混合物の締固め度の差が生じなかったが、通常

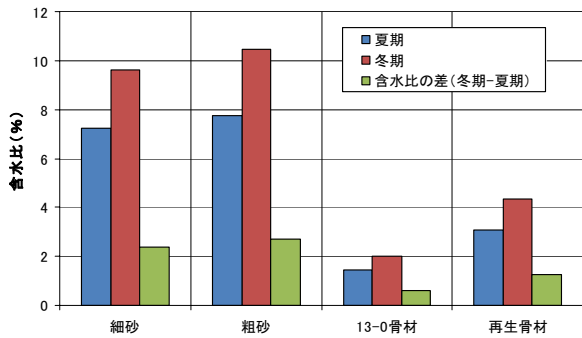


図-15 骨材の含水比 (夏期・冬期)

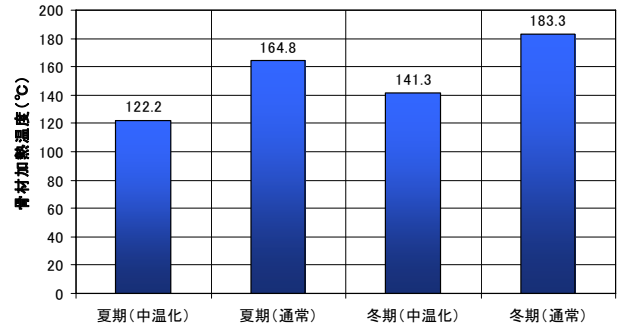


図-16 新骨材加熱温度 (夏期・冬期)

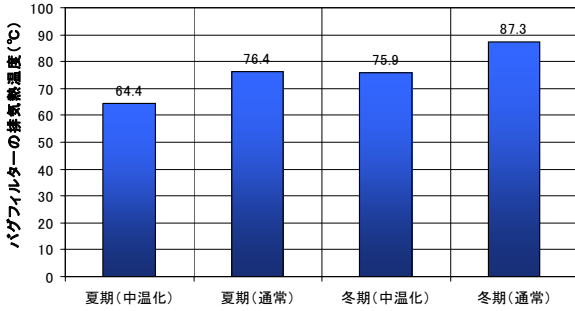


図-17 バグフィルターの排気熱温度 (夏期・冬期)

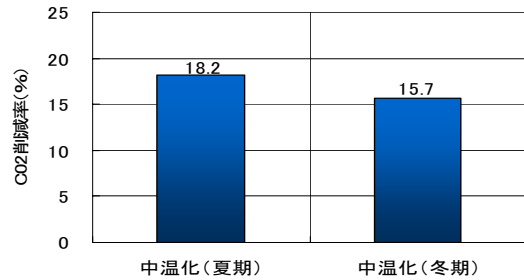


図-18 CO₂削減率 (夏期・冬期)

混合物の温度が更に低下した場合は、締固め度が不足するケースも懸念される。また、中温化混合物の施工性は通常混合物と比較し、同等程度の施工性が得られることを作業員からのヒアリングで確認した。

f) CO₂削減効果

中温化混合物のCO₂排出削減量の効果を検証するために、アスファルトプラントにおいて流量計を用い、骨材を加熱するドライヤーに使用するA重油使用量を計測した。試験施工時は、併せてストックヤードに保管している骨材の含水比、骨材の加熱温度、バグフィルターの排気熱温度等を計測した。

図-15にストックヤードに保管している骨材の含水比を示す。細砂・粗砂の含水比は粗骨材と比較し高く、夏期と冬期を比較すると、冬期の含水比が高い傾向が見受けられる。その要因としては冬期は外気温が低いため骨材が乾燥しづらい等の気象条件の要因と考えられる。

図-16に新骨材の加熱温度を示す。再生骨材の加熱温度は中温化及び通常混合物は同一であるが、中温化混合物の新骨材加熱温度は、通常混合物と比較し40°C程度低い加熱温度となっている。また、夏期と冬期を比較すると、冬期施工は20°C程度高い骨材加熱温度となっている。

図-17にバグフィルターの排気熱温度を示す。排気熱温度を測定した目的は、中温化混合物製造時に、バグフィルターに支障が生じないかを確認するためである。排気熱温度が低いとバグフィルターが詰まり、アスファルトプラントに支障を与える懸念がある。試験施工では、中温化混合物製造時の排気熱温度は、通常混合物製造時と比較し、10°C程度低かったが、夏期・冬期ともにバグフィルターに支障は生じなかった。

図-18に夏期と冬期のCO₂削減率を示す。CO₂削減率は同時期に施工した通常混合物との比較である。夏期では18.2%、冬期では15.7%のCO₂削減効果が確認された。

4. まとめ

今回試験施工で得られた知見を以下に示す。

- (1) 通常混合物と比較し、混合温度を30°C低減させた中温化混合物の出荷温度の変動幅は3°C程度であり、通常混合物と同程度である。
- (2) 中温化混合物の敷均し温度は、夏期および冬期の施工で110°Cを下回るケースがあり、仕様書の規格値を検討する必要がある。
- (3) 中温化混合物の締固め度については、定点箇所および温度低下箇所においても仕様書の規格値を満足した。
- (4) As混合物の温度低下は中温化混合物が早く、交通開放時間を短縮できる。
- (5) As混合温度30°C低減した中温化混合物のCO₂排出削減量は、通常混合物と比較し夏期18.2%、冬期15.7%のCO₂削減効果が検証された。

5. 今後の課題

今後は中温化混合物の出荷温度の変動幅や中温化混合物の敷均し温度の規格値の設定、初期転圧温度、二時転圧温度の適切な温度範囲を設定する必要がある。また、滑剤系等の他の中温化剤によるCO₂削減効果や混合温度30°C低減した中温化混合物、再生混合物、およびポリマー改質アスファルトへの適用等の課題や長期耐久性の確認については、今後データを蓄積し検討していきたい。

最後に本報告に際してご協力を頂いた不二建設(株) 共立道路(株)の皆様に深く感謝の意を表します。