

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

札幌開発建設部岩見沢道路事務所 ○西山 公夫
札幌開発建設部岩見沢道路事務所 久保田 良司
(独)土木研究所寒地土木研究所 安倍 隆二

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℃程度低減出来ることから CO₂ 排出量削減に期待される技術である。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冬期のデータ等が少ない状況であり品質・施工性について明確ではない。また、CO₂ 排出量及び削減量についても同様である。本報告では試験舗装により、冬期の混合物の品質・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、冬期施工、CO₂削減、

1. はじめに

中温化舗装技術は、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、冬期施工の施工性改善、工事による通行規制時間の短縮およびCO₂排出量削減に寄与すること等が見込めることが大きな効果であると考えられる。CO₂排出量の削減効果については、日本道路建設業協会の試算によると、外気温30℃の条件では約15%の削減効果があると試算されている。

一方、冬期間においては中温化舗装技術を用いることによるCO₂削減効果が不明確であることや、冬期施工の品質確保と施工性向上に大きく寄与すると考えられることから、中温化アスファルト混合物の試験施工を実施し、混合物の品質・施工性および冬期の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ることが一般的な使用方法である。

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、混合性と締固め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もの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物温度を加熱アスファルト混合物（以下、通常混合物）より20℃低減した混合物を使用することにより、CO₂削減の排出効果および品質・施工性の検証を行った。

(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。平均外気温は2℃、風速は1m/secの気象条件で実施した。使用したアスファルト混合物は密粒度アスコン(13F)を使用し、新材を用いている。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。中温化混合物は、通常混合物より混合温度を30℃低減させ106～111℃の温度範囲で、突き固めた温度条件で実施した。マーシャル試験結果は通常混合物よりマーシャル安定度が小さいが、北海道開発局道路・河川工事仕様書(以下、仕様書)の基準は満足している。

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別の車線で施工し、午前中は中温化混合物(下り車線)、午後には通常混合物(上り車線)の施工を行った。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20℃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、敷均し温度や初期転圧温度も10～20℃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

項目	施工条件等
施工箇所	一般国道452号 夕張市
施工日	平成22年11月25日
気象条件	外気温:-2～+5℃(平均外気温+2℃)
	風速:1m/sec
	天候:曇り
混合物の種類	密粒度アスコン(13F)・新材
舗装厚	t=4cm
転圧回数	マカダムローラーによる転圧回数:2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

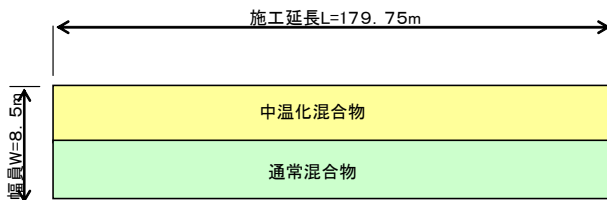


図-1 試験施工の工区割

(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。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特記仕様書等に反映させるために測定した。また、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(図-2、写真-1)。

敷均し温度の調査については、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20℃低下させた温度設定を行ったことから、仕様書の規格値110℃以上を下回ることが予想されたため、仕様書の規格値改訂に使用するデータを測定した。

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	2.382	2.470	3.6	79.1	9.58	35
密粒度アスコン(13F) 中温化混合物	2.362	2.470	4.4	75.4	6.56	29

表-4 混合物の温度管理の目標値

項目	中温化混合物		通常混合物	
	項目	目標値	項目	目標値
混合物出荷温度(℃)	155℃~160℃		混合物出荷温度(℃)	175℃~180℃
混合物到着温度(℃)	135℃~145℃		混合物到着温度(℃)	155℃~165℃
混合物敷均温度(℃)	120℃~130℃		混合物敷均温度(℃)	140℃~150℃
初期転圧温度(℃)	110℃~120℃		初期転圧温度(℃)	120℃~140℃
二次転圧温度(℃)	70℃~110℃		二次転圧温度(℃)	70℃~110℃
開放温度(℃)	50℃以下		開放温度(℃)	50℃以下

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	・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	・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。 ・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開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	・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	・流量計により、重油使用量を計測する。 ・骨材の温度、含水比、および骨材加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	・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。

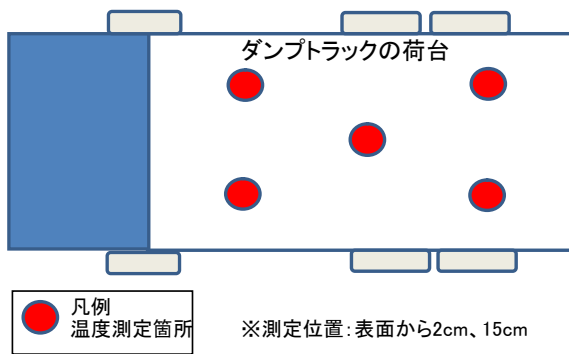


図-2 運搬時の温度測定箇所



写真-1 到着時の温度測定状況

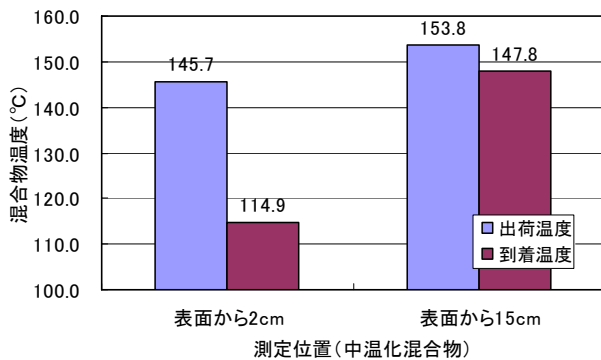


図-3 中温化混合物の出荷温度・到着温度

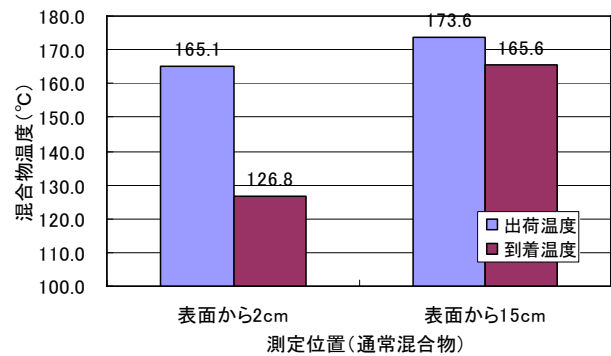


図-4 通常混合物の出荷温度・到着温度

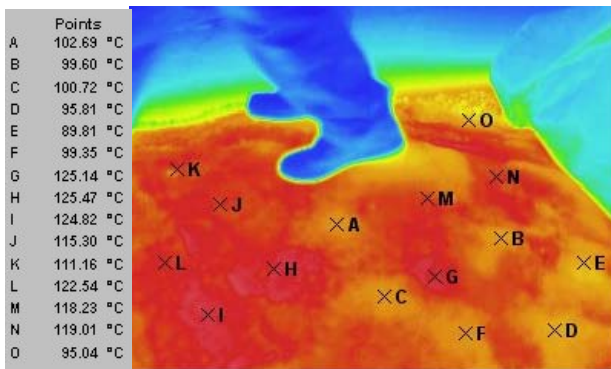


図-5 到着時の混合物の温度 (通常混合物)

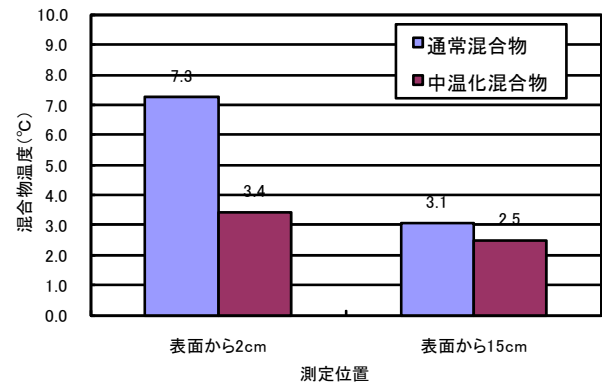


図-6 出荷温度の標準偏差

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、サーモグラフィーによる温度測定を行い、敷均し温度の均一性を調査した。

締固め度の調査については、サーモグラフィー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、締固め度を測定した。また、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9個のコアを採取し（以下、定点箇所）、締固め度の変動幅を確認した。

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毎に流量計により計測した。骨材の目標加熱温度は中温化混合物170°C、通常190°Cとした。なお、A重油使用量は骨材の含水比、骨材保管温度に依

存するため、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および運搬時の温度低下

アスファルトプラントから現場までの距離50km、運搬時間1.2時間の現場条件で試験施工を実施した。図-3に中温化混合物の出荷温度・到着温度を示す。運搬時の温度低下に着目すると、内部温度（表面から15cmの位置）は6.0°Cの低下、表面温度（表面から2cmの位置）は30.8°Cの低下となった。内部温度はあまり低下しないが、表面温度は大きく低下した。図-4に通常混合物の出荷温度・到着温度を示す。内部温度は8.0°Cの低下、表面温

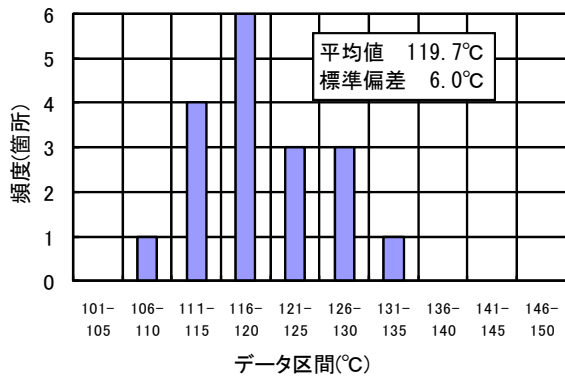


図-7 敷均し温度 (中温化混合物)

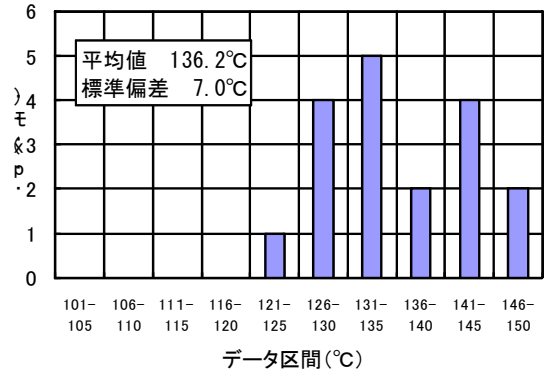


図-8 敷均し温度 (通常混合物)



写真-2 温度測定状況

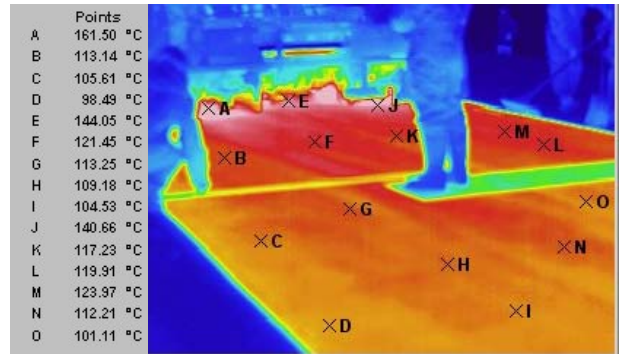


図-9 敷均し温度 (中温化混合物)

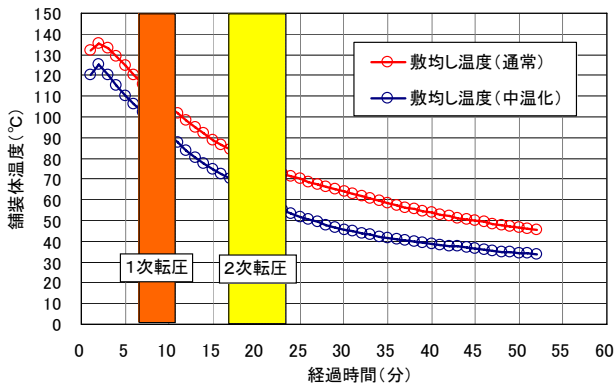


図-10 アスファルト混合物温度の経時変化

度は38.3°Cの低下となり、中温化混合物および通常混合物ともに表面温度の低下は大きい。図-5に到着時におけるダンプトラック荷台上の通常混合物の表面温度分布を示す。表面温度の低下が著しく、冬期間における運搬時の保温対策は品質向上のために重要であることが分かる。中温化混合物の出荷温度に着目すると、中温化混合物の目標出荷温度155~160°Cに対して、平均153.8°C(図-3参照)、標準偏差2.5°C(図-6参照)となり、目標温度の下限値付近の出荷温度となった。平均値±標準偏差を温度管理幅と仮定すると、151.3°C~156.1°Cの範囲で出荷した結果となった。通常混合物の標準偏差は3.1°Cであり、中温化混合物の出荷温度の変動幅と同程度となった。

b) 敷均し温度の調査結果

図-7に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。中温化混合物の敷均し温度範囲は110°C~131°C、平均値119.7°C、標準偏差6.0°Cであり、目標温度110~120°Cの温度範囲を概ね満足した結果となった。測定結果は仕様書の規格値110°C以上を満足していた。通常混合物の敷均し温度範囲は126~146°C、平均値136.2°C、標準偏差は7.0°Cであり、目標敷均し温度120~140°Cの範囲を概ね満足した。写真-2に敷均し温度の測定状況、図-9にはサーモグラフィによる温度測定状況を示す。敷均し温度は均一ではなく、敷均し温度のムラが見受けられる。この原因は運搬時や敷均し時に温度低下した混合物が混合された影響と推察される。また、アスファルトフィニッシャーによる敷均し後、徐々に温度低下が進み舗装体温度が低下している状況が確認できる。

図-10にアスファルト混合物の敷均し後の舗装体温度の経時変化を示す。図には初期転圧、二次転圧を実施した時間帯を着色し示している。中温化混合物の初期転圧目標温度は110~120°C、二次転圧目標温度は70~110°Cとしている。目標温度と転圧作業を実施した時期を比較すると、初期転圧および二次転圧作業はやや遅れている施工であった。また、通常混合物の初期転圧目標温度は120~140°C、二次転圧目標温度は70~110°Cとしている。目標温度と比較すると、初期転圧はやや遅れたが、二次

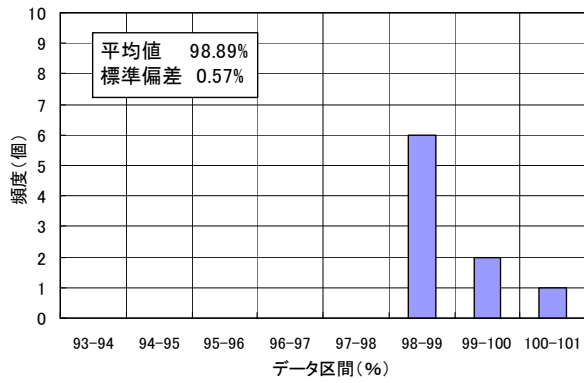


図-11 締固め度 (中温化・定点箇所)

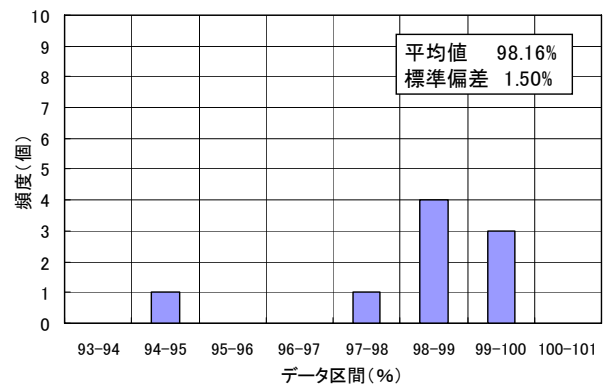


図-12 締固め度 (通常・定点箇所)

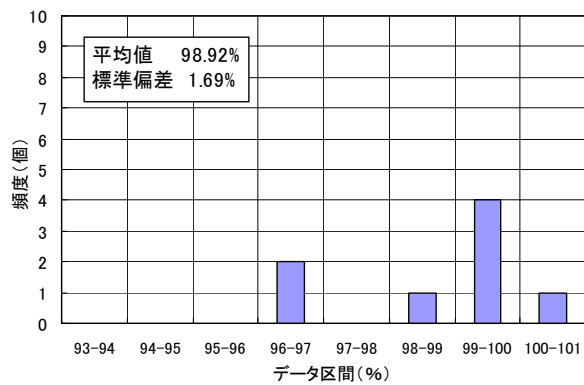


図-13 締固め度 (中温化・温度低下箇所)

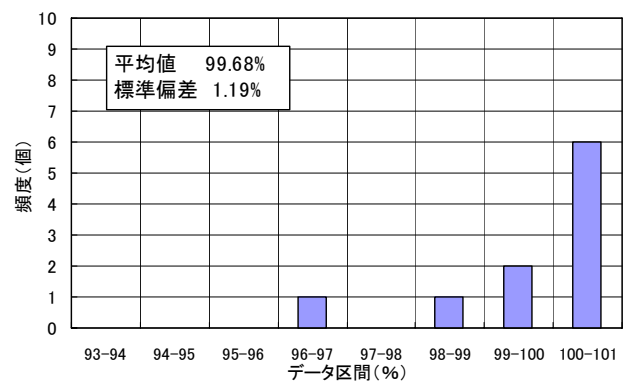


図-14 締固め度 (通常・温度低下箇所)

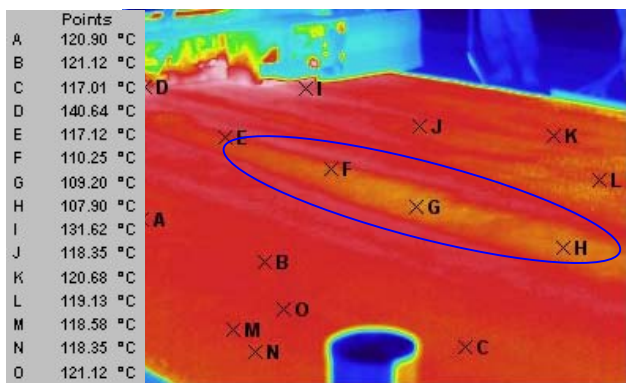


図-15 敷均し直後の状況 (中温化混合物)

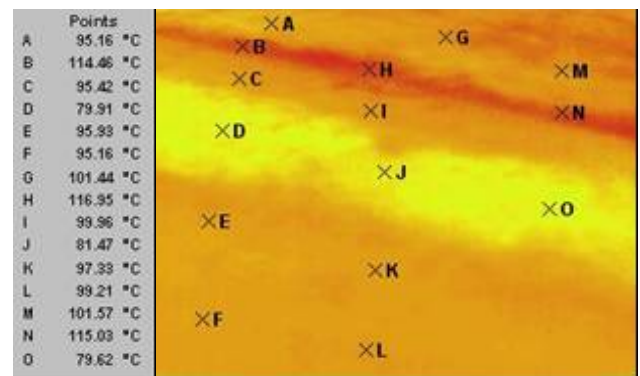


図-16 敷均し後8分経過の状況 (中温化混合物)

転圧作業は目標温度内の作業となっていた。

図-11、12に定点箇所の締固め度を測定した結果を示す。採取箇所の路肩部は車線の中央部とは異なり、転圧回数が少ない箇所である。仕様書における締固め度の規格値は各々のコアに対して94%以上かつ採取コア10個以上の場合、平均96%以上としている。この規格値と比較すると、中温化混合物および通常混合物は規格値を満足している。中温化混合物と通常混合物の締固め度を比較すると、平均値が0.7%高く、標準偏差が小さい結果となり、品質の変動幅が少ない結果となった。

図-13、14に中温化混合物および通常混合物工区において、サーモグラフィによる温度測定を行い、周辺部よりも温度低下が見受けられる箇所から採取したコアの

締固め度を示す。中温化混合物および通常混合物の温度低下した箇所から採取したコアは、規格値を満足するが、締固め度96~97%のコアも見受けられ、相対的に締固め度が低い箇所もある。図-15、16は中温化混合物の工区において転圧開始時間を人為的に遅くした箇所のサーモグラフィの撮影状況である。車線中央部付近は周辺部より温度低下しており、表面温度の最低値は108°C程度であった。その低下箇所が87°Cまで低下した時点で転圧作業を実施し、コアを採取し締固め度を測定した。試験結果を図-17に示す。締固め度は96.6~98.1%の値を得られた。敷均し温度が110°C程度で初期転圧温度を87°Cで実施し、初期転圧温度の目標温度を20~30°C下回っても仕様書の規格値を満足することができた。ただし、定

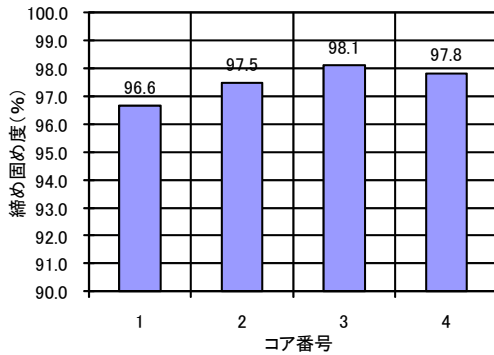


図-17 締め固め度 (中温化・温度低下箇所)

点箇所にて採取した締め固め度と比較すると、やや締め固め度が低い結果となった。

今回の試験施工において、中温化混合物の混合温度、敷均し温度、および転圧温度の目標温度を設定し施工を実施したが、目標温度以下であっても所定の密度が得られ、混合物温度が低下しても所定の締め固め度が得られる結果となった。また、施工方法についても通常混合物と同じ施工方法により、所定の品質確保ができることが確認された。

C) 冬期のCO₂排出削減量の効果検証

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。中温化混合物の骨材加熱温度は実測値で171℃、通常混合物は190℃の加熱温度であった。試験結果を図-18に示す。中温化混合物および通常混合物は各々約79t出荷し、A重油使用量は中温化混合物831ℓ、通常混合物950ℓの使用量となり、中温化混合物は通常混合物と比較し、12.5%の削減量となった。図-19に使用したA重油にCO₂原単位を乗じた結果を示す。中温化混合物のCO₂排出量は2252kg、1t当たりは28.4kg/t、通常混合物のCO₂排出量は2574kg、1t当たりは32.5kg/tの排出量と試算された。

表-6にストックヤードにおける骨材の含水比を示す。今回使用したアスファルトプラントの細骨材と粗骨材と比較すると、細骨材の含水比が高いため、細骨材は粗骨材に比べCO₂削減に与える影響は大きい結果となった。

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、20℃低減させた中温化混合物の出荷温度は目標温度155～160℃に設定した。平均出荷温度153.8℃、標準偏差2.5℃となり、中温化混合物の出荷温度の変動幅は3℃程度であった。
- (2) 中温化混合物および通常混合物の運搬時の表面温度低下は著しく、30～40℃程度の低下が見られた。一方、内部温度の低下は6～8℃程度であった。
- (3) 中温化混合物の敷均し温度は110～131℃の範囲であり、仕様書の規格値内には収まったが、サーモグラフ

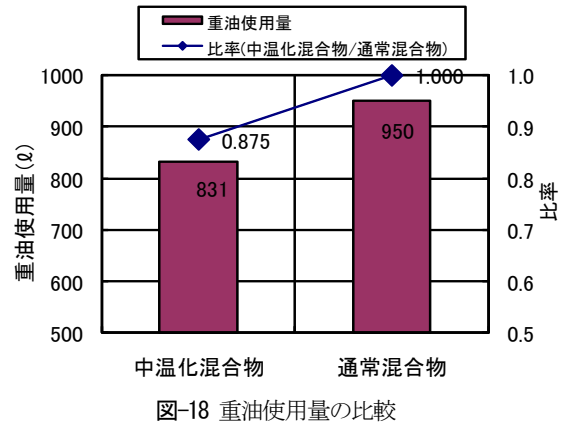


図-18 重油使用量の比較

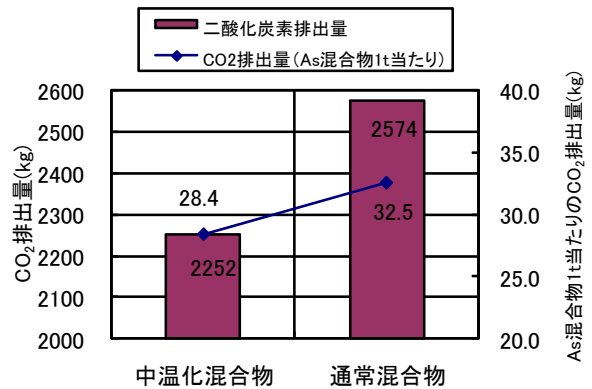


図-19 CO₂排出量の比較

表-6 スtockヤードにおける骨材の含水比

	細目砂	粗目砂	7号碎石	6号碎石
配合の比率	16.0	23.0	9.4	35.7
含水比 (%)	9.1	7.1	1.8	1.4

による温度分布では敷均し温度の不均一性が見受けられた。

- (4) 中温化混合物の締め固め度については、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。
- (5) 混合温度20℃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12.5%の削減効果が検証された。

5. 今後の課題

冬期施工の場合、運搬等により温度低下した混合物が混入するため、混合物温度は均一でない。その品質管理対策としては中温化混合物を利用することが有望な方法の一つと考えられる。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、二次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℃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。