

戦-80 積雪寒冷地における低炭素型社会実現に向けた舗装技術に関する研究

研究予算：運営費交付金

研究期間：平 22～平 25

担当チーム：寒地道路保全チーム

研究担当者：熊谷政行、石田樹、安倍隆二、
三田村宏二、井上豊基、濱崎良

【要旨】

本研究では、舗装工事における CO₂ 削減が期待できる技術としての路上再生工法、常温／中温化舗装技術などの評価および積雪寒冷地における適用方法、再生材料混合率の一層の向上技術、アスファルト発生材の多用途活用方法、改質アスファルト混合物の再生利用、複数回再生利用の供用性能検証、非石油系材料を用いた代替バインダの検討を行う。本年度は、中温化舗装技術を用いた試験施工を行い、CO₂ 削減効果や中温化混合物の品質データを取りまとめた。また、他産業廃棄物のリサイクルについては、ガラスカレットを凍上抑制層に利用した試験施工を実施し、ガラスカレットの品質を把握した。

キーワード：低炭素型社会、リサイクル、CO₂ 削減、アスファルト混合物

1. はじめに

地球温暖化対策として、公共事業分野においても低炭素型技術の開発が強く求められている。北海道開発局では先進的取り組みとして北海道エコ・コンストラクション・イニシアティブを推進しており、研究開発面からのサポートが必要であり、舗装工事における CO₂ 削減が期待できる技術としては、欧米で使用されている路上再生工法および常温／中温化舗装技術が挙げられる。これらについては日本の道路事情および積雪寒冷地への適用性、環境性能、品質管理方法等を検証することが必要である。

従来進めてきた舗装材料のリサイクルについては、「北海道地方建設リサイクル推進計画 2008」でアスファルト・コンクリート塊再資源化率目標を 99%以上（H24 目標）とされており、再資源化率を高める必要がある。再生材の需給バランスは地域的にみると不均衡状態にあるため、再生材余剰地域では再生材の高配合率化技術および舗装材料以外への適用技術が求められている。また、舗装発生材は性状が多様化しており、排水性舗装等に用いられるポリマー改質アスファルトを含んだ材料や、劣化／再生を繰り返した材料の再利用手法が確立されていない。本研究ではこれらの品質基準を作成する必要がある。

2. 低炭素舗装技術の評価

2. 1 調査研究の方法

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った。試験施工は、中温化混合物の混合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。

2. 2 調査研究の成果

(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-1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-1 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

表-2 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-3 混合物の温度管理の目標値

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 (°C)	155°C~160°C	混合物出荷温度 (°C)	175°C~180°C
混合物到着温度 (°C)	135°C~145°C	混合物到着温度 (°C)	155°C~165°C
混合物敷均温度 (°C)	120°C~130°C	混合物敷均温度 (°C)	140°C~150°C
初期転圧温度 (°C)	110°C~120°C	初期転圧温度 (°C)	120°C~140°C
二次転圧温度 (°C)	70°C~110°C	二次転圧温度 (°C)	70°C~110°C
開放温度 (°C)	50°C以下	開放温度 (°C)	50°C以下

表-4 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	・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。 ・熱電対を舗装体へ埋設し、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。
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	・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。
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、および骨材加熱温度等の計測を行う。
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	・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。
⑥ 供用性調査	供用性状の把握	施工完了後	



図-1 試験施工の工区割

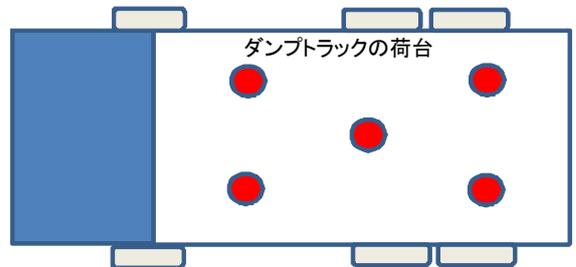


図-2 運搬時の温度測定箇所



写真-1 到着時の温度測定状況

表-2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°C低減させ106~111°C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)、午後は通常混合物(上り車線)の施工を行った。表-3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°C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°C低減した温度管理の目標値を設けた。

(2) 試験施工の調査項目

試験施工の調査項目を表-4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)。

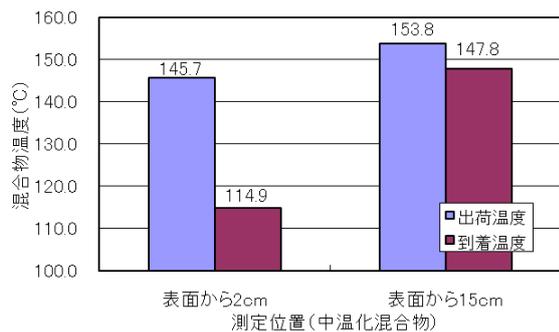


図-3 中温化混合物の出荷温度・到着温度

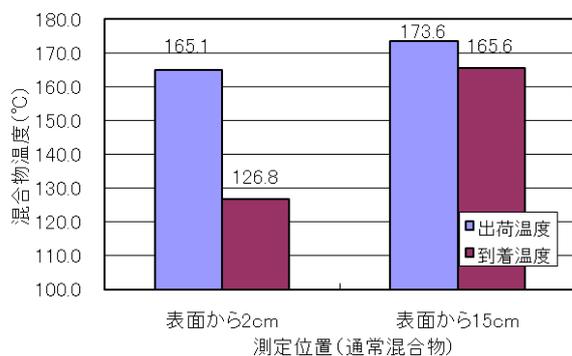


図-4 通常混合物の出荷温度・到着温度

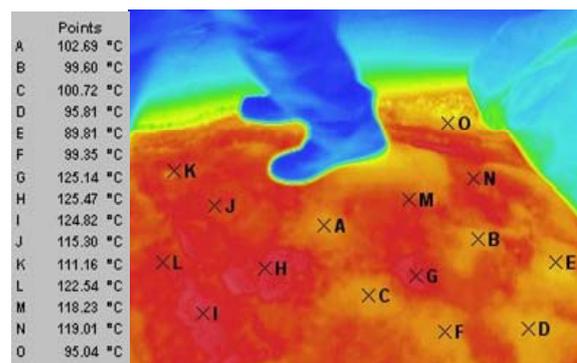


図-5 到着時の混合物の温度 (通常混合物)

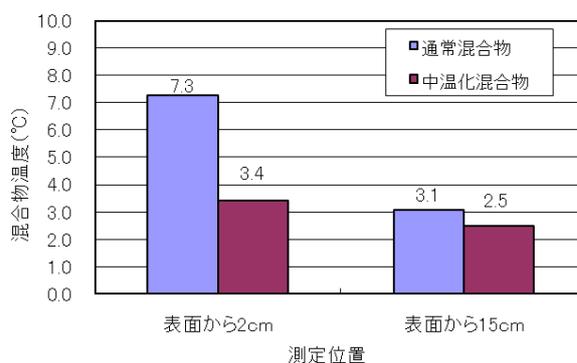


図-6 出荷温度の標準偏差

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°C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°C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。

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。

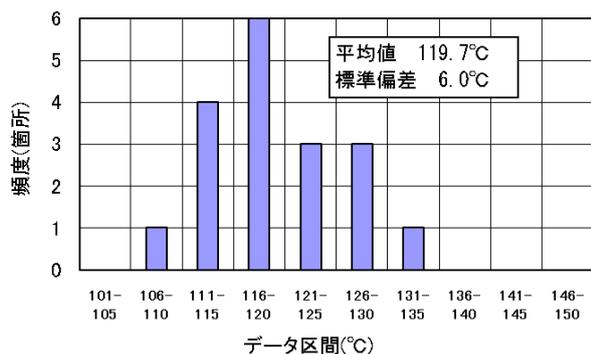


図-7 敷均し温度 (中温化混合物)

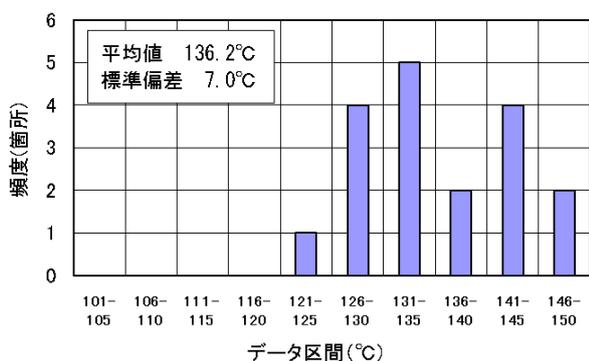


図-8 敷均し温度 (通常混合物)



写真-2 温度測定状況

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等程度となった。

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

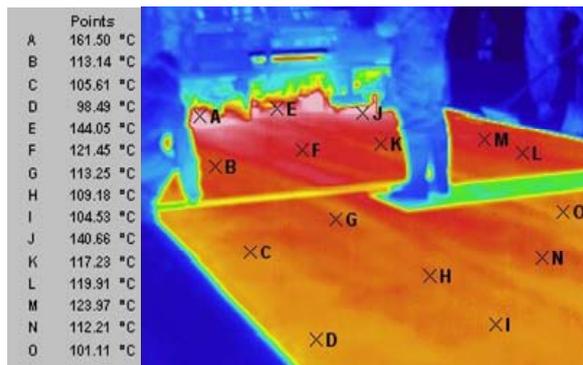


図-9 敷均し温度 (中温化混合物)

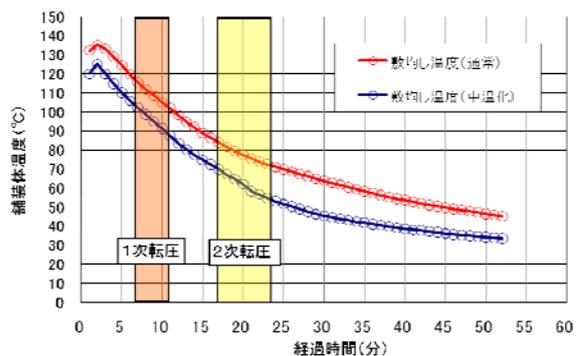


図-10 アスファルト混合物温度の経時変化

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ー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、2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た施工であった。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、二次転圧作業は目標温度内の作業となってい

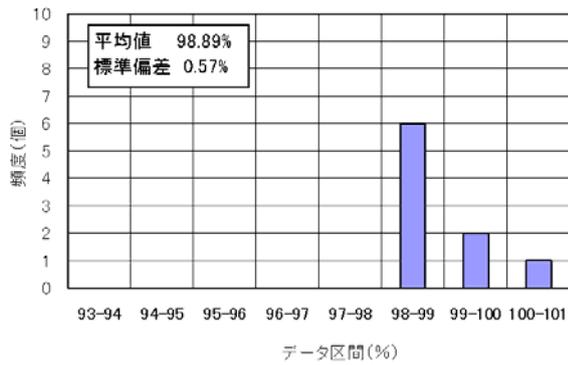


図-11 締固め温度（中温化・定点箇所）

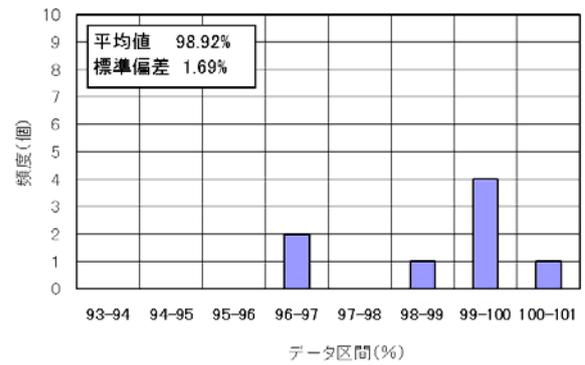


図-13 締固め温度（中温化・温度低下箇所）

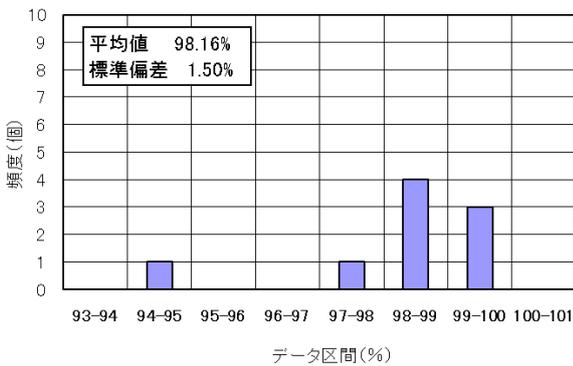


図-12 締固め温度（通常・定点箇所）

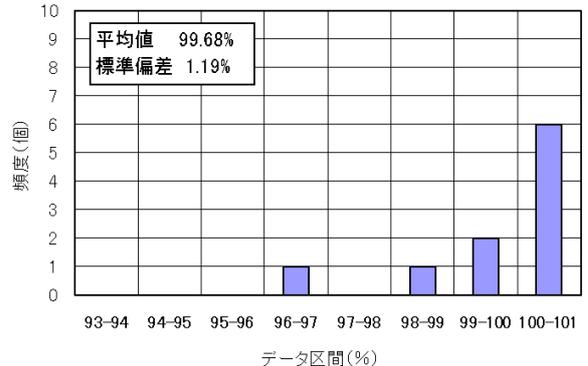


図-14 締固め温度（通常・温度低下箇所）

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、サーモグラフィー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ーの撮影状況である。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℃程度であった。その低下箇所が87℃まで低下した時点で転圧作業を実施し、コアを採取し締

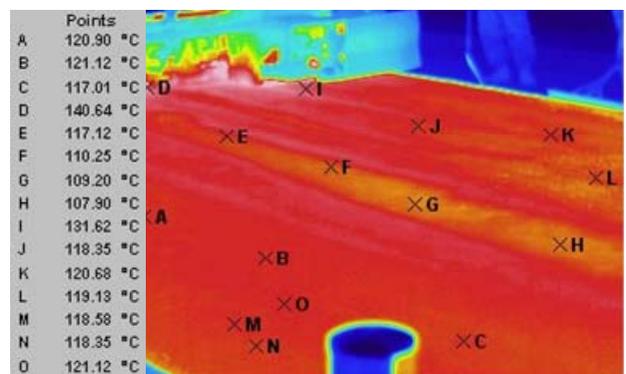


図-15 敷均し直後の状況（中温化混合物）

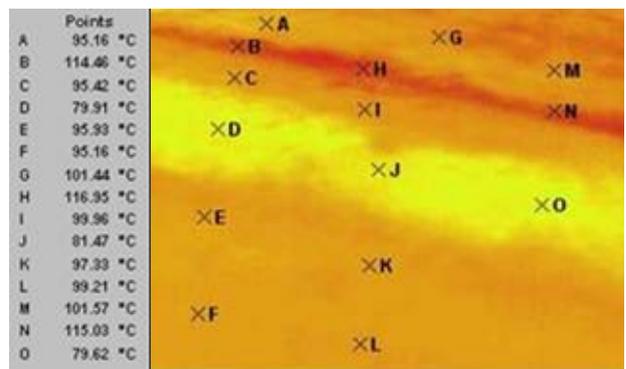


図-16 敷均し後8分経過の状況（中温化混合物）

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。数均し温度が110℃程度で初期転圧温度を87℃で実施し、初期転圧温度の目標温度を20～30℃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、定点箇所で採取した締固め度と比較すると、やや締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、数均し温度、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2,252kg、1t当たりは28.4kg/t、通常混合物のCO₂排出量は2,574kg、1t当たりは32.5kg/tの排出量と試算された。

表-5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を比較すると、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。

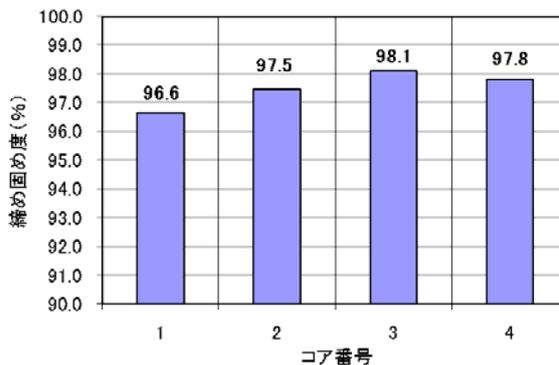


図-17 締固め温度 (中温化・温度低下箇所)

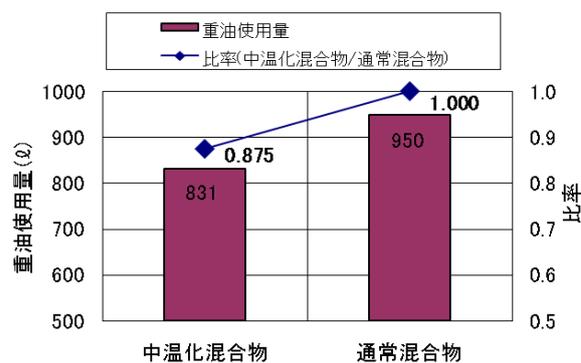


図-18 重油使用量の比較

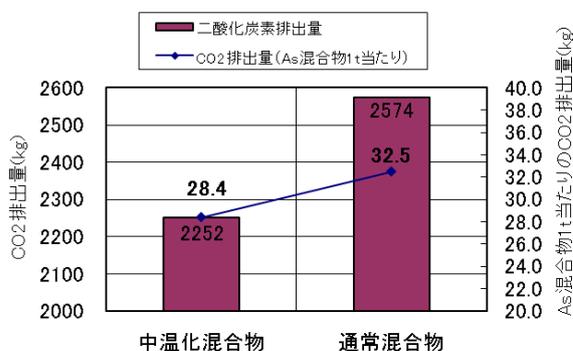


図-19 CO₂排出量の比較

表-5 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

3. ガラスカレットの舗装材料への適用性に関する調査

3.1 調査研究の方法

試験施工箇所の平面図を図-20、定規図を図-21に示す。凍上抑制層にガラスカレット（写真-3）を適用した工区（ガラスカレット工区）と、従来の80mm級切込砕石を適用した工区（比較工区）を設け、路面の季節的な変動を把握し、ガラスカレットの凍上抑制層への適用を検討するものである。

3.2 調査研究の成果

(1) 室内土質試験

ガラスカレットについて室内土質および骨材試験を実施し、凍上抑制層に一般的に用いられる80mm級切込砕石との材料物性を比較した。結果を表-6、7に示す。ガラスカレットを、舗装の凍上抑制層に適用する場合、最も重要となる性質は冬期の低温に対して凍上しないことである。凍上試験の結果、ガラスカレットの凍上率は0.3%で凍結様式はコンクリート状であり、ガラスカレットは凍上しないことがわかる。これに付随して、凍上性の目安である微粒分量試験結果は、

凍上抑制層に一般的に用いられる80mm級切込砕石は14.3%（基準：15%以下）なのに対して、ガラスカレットは0.7%と非常に小さい。また、吸水率も80mm級切込砕石に対して低いため、凍上に対して有利な試験結果となっている。

材料の耐久性を表す粗骨材のすり減り試験結果では、80mm級切込砕石が21.6%なのに対してガラスカレットは26.0%と多少高い値を示した。アスファルト舗装構造において、下層路盤におけるすり減りの規格値は45%であるが、凍上抑制層は路床とみなしすり減りなどの規格値はない。

材料の支持力を表すCBR値は、80mm級切込砕石が153.6%なのに対して27.2%と比較的小さいが、設計CBRの上限である20以上を確保している。また凍結融解作用を与えた後のCBR保存率は、80mm級切込砕石が58.3%なのに対して82.0%と逆に高く、一般的に用いられる80mm級切込砕石と比較して、凍結融解に対する支持力低下を起しにくい材料である。

ガラスカレットについて溶出試験を実施し、環境に悪影響を及ぼす物質が溶出しないか分析を実施した。今回の分析において、環境上問題となる計量値は測定されなかった。

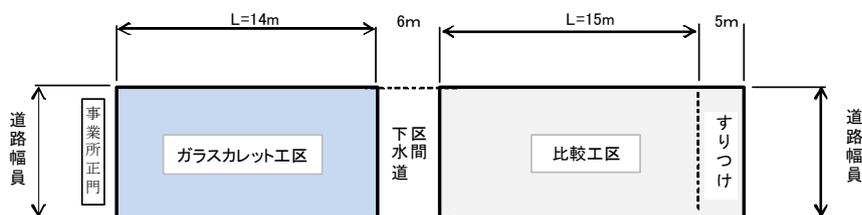


図-20 試験施工の平面図

ガラスカレット工区		比較工区	
アスファルト舗装（表層）	T=3cm	アスファルト舗装（表層）	T=3cm
アスファルト舗装（上層路盤）	T=5cm	アスファルト舗装（上層路盤）	T=5cm
40mm級砕石（下層路盤）	T=25cm	40mm級砕石（下層路盤）	T=25cm
ガラスカレット（凍上抑制層）	T=4.7cm	80mm級砕石（凍上抑制層）	T=4.7cm
路床土	—	路床土	—

図-21 試験施工の定規図



写真-3 ガラスカレット

表-6 材料試験結果

試料名		凍上抑制層 ガラスカレット	凍上抑制層 80-0mm	
骨材	骨材のふるい分け試験	別紙試験表による	別紙試験表による	
	骨材の微粒分量試験 %	0.7	14.3	
	粗骨材の密度・吸水率試験	表乾密度 g/m ³	2.49	2.56
		絶対密度 g/m ³	2.49	2.50
	吸水率 %	0.19	2.33	
	ロサンゼルス試験機による粗骨材のすり減り試験	26.0	21.6	
硫酸ナトリウムによる骨材の安定性試験 %	1.6	4.7		
分類	地盤材料の分類名	砂質礫	砂質礫	
	分類記号	GS	GS	
締固め	試験方法	A-b法	E-b法	
	最大乾燥密度 ρ _{dmax} g/m ³	1.640	2.043	
CBR	最適含水比 W _{opt} %	3.2	7.8	
	膨張比 γ _e %	0.013	0.000	
	貫入試験後含水比 W ₂ %	12.1	8.3	
	平均CBR (N=67×3) %	27.2	153.6	
	95%修正CBR %	-	99.6	
	凍結融解後のCBR %	22.3	89.5	
	CBR保存率 %	82.0	58.3	
凍上	凍上率 %	0.3	0.8	
	凍結様式	コンクリート状	コンクリート状	

表-7 ガラスカレットの溶出試験結果

No.	項目	計量値 (mg/L)	判定	環境上の注意	測定方法
1	カドミウム	0.001未満	○	検液1Lにつき0.01mg以下であり、かつ、農用地においては、米1kgにつき1mg未満であること。	環境上の条件のうち、検液中濃度に係るものについては、日本工業規格K0102 (以下「規格」という。)55に定める方法、農用地に係るものについては、昭和46年6月農林省令第47号に定める方法。
2	六価クロム	0.002未満	○	検液1Lにつき0.05mg以下であること。	規格65.2に定める方法
3	全シアン	不検出	○	検液中に検出されないこと。	規格38に定める方法 (規格38.1に定める方法を除く。)
4	総水銀	0.0001未満	○	検液1Lにつき0.0005mg以下であること。	昭和45年12月環境庁告示第59号付表1に掲げる方法
5	アルキル水銀	不検出	○	検液中に検出されないこと。	昭和46年12月環境庁告示第59号付表2及び昭和49年9月環境庁告示第64号付表に掲げる方法
6	セレン	0.001未満	○	検液1Lにつき0.01mg以下であること。	規格67.2又は67.3に定める方法
7	鉛	0.003	○	検液1Lにつき0.01mg以下であること。	規格54に定める方法
8	砒素	0.001未満	○	検液1Lにつき0.01mg以下であり、かつ、農用地 (田に限る。)においては、土壌1kgにつき15mg未満であること。	環境上の条件のうち、検液中濃度に係るものについては、規格61に定める方法、農用地に係るものについては、昭和50年4月総理府令第31号に定める方法
9	ふっ素	0.1未満	○	検液1Lにつき0.8mg以下であること。	規格34.1に定める方法又は昭和46年12月環境庁告示第59号付表6に掲げる方法
10	ほう素	0.1未満	○	検液1Lにつき1mg以下であること。	規格47.1若しくは47.3に定める方法又は昭和46年12月環境庁告示第59号付表7に掲げる方法



図-22 試験施工箇所の気温

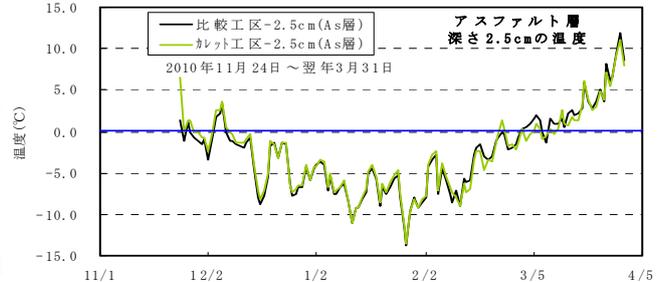


図-23 アスファルト混合物層表面付近の温度

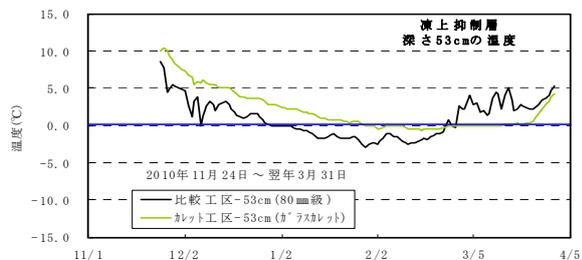


図-24 凍上抑制層の温度

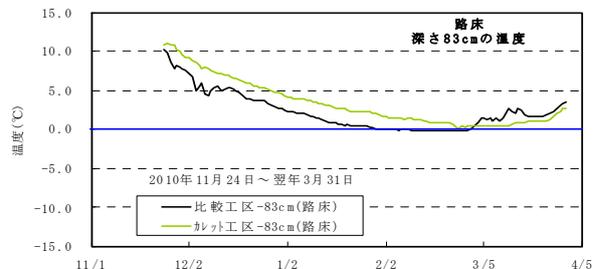


図-25 路床の温度

(2) 舗装の内部温度

今年度冬期における、試験施工箇所の気温を図-22に示す。気温の最低値は1月28日においてマイナス15°Cを観測しており、本試験施工箇所が寒冷な状況であることがわかる。

試験施工区間における舗装の温度について、表面付近のアスファルト混合物層、深さ53cmの凍上抑制層、深さ83cmの路床の温度について、それぞれ図-23、24、25にまとめた。アスファルト混合物層の温度は、ガラスカレット工区と比較工区においてほとんど差は無く、

舗装表面の温度は両者とも同一と考えられる。凍上抑制層内部の温度は、ガラスカレット工区と比較工区で差があり、ガラスカレット工区の方が比較工区に対して約2.5°C高い値で推移している。また、路床の温度も凍上抑制層と同様な傾向を示しており、比較工区の路床の温度がマイナスとなる期間は19日間であるのに対して、ガラスカレット区間は0日であった。

凍上抑制層内部の温度がプラスになった日時は、比較工区では2月28日であるのに対して、ガラスカレット工区の方が多少遅く3月16日となっている。

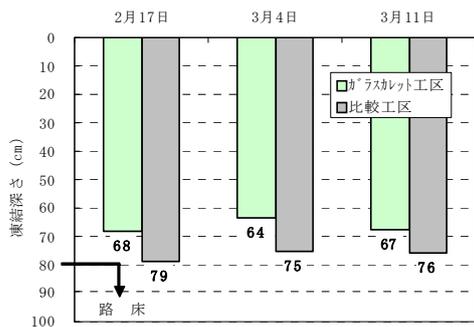


図-26 凍結深さの推移

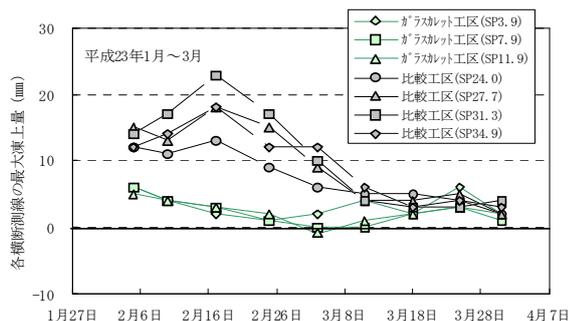


図-27 凍上量の推移

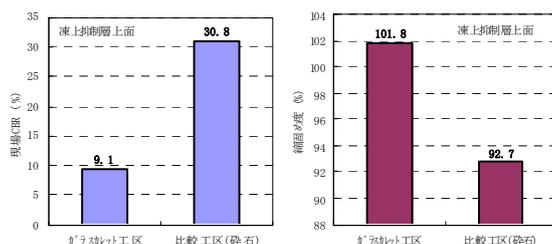


図-28 施工時における凍上抑制層上面の現場 CBR と締固め度

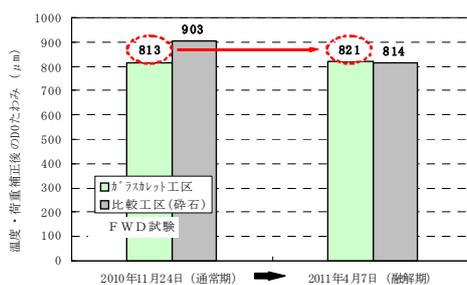


図-29 施工時および一冬経過時の融解期における D0 たわみ

(3) 凍結深さ

メチレンブルー凍結深度計で測定した、ガラスカレット工区と比較工区の凍結深さを図-26 に示す。80 mm 級の砕石を凍上抑制層に用いた断面よりガラスカレットを凍上抑制層に用いた断面の凍結深さが小さい結果となっており、その差は 80 mm 級の砕石の場合より9～11cm となった。

(4) 凍上量

凍上量調査結果を図-27 に示す。80 mm 級の砕石を凍上抑制層に用いた断面よりガラスカレットを凍上抑制層に用いた断面の凍上量は明らかに小さく、比較工区の最大凍上量が 2cm 以上であるのに対して、ガラスカレット工区では 0.5cm 程度となっている。これは、比較工区では路床まで凍結が進入していたのに対して、ガラスカレット工区は路床が凍結しなかったためであり、凍上そのものはほとんど発生しなかったものと考えられる。

(5) 現場 CBR

施工時に実施した、凍上抑制層の現場 CBR 試験結果を図-28 に示す。ガラスカレットを凍上抑制層に用いた断面の現場 CBR は、比較工区における CBR 値よりも小さいが、軟弱地盤である CBR 値 2 より大きな CBR=9 を確保している。

現場密度試験による凍上抑制層の締固め度は、CBR 値とは逆にガラスカレット工区が比較工区より高い値を示し、高い締固め度を確保できることを示している。

(6) FWD 試験による融解期の支持力比較

アスファルト舗装表面で実施した FWD 試験による D0 たわみについて、施工直後と一冬経過時の融解期に分けて図-29 に示す。D0 たわみは舗装全体の強度を表すとされている。ガラスカレット工区の施工直後における D0 たわみは 813 μm であり、融解期における値もほとんど変化が無いことが分かる。

4. まとめ

4.1 低炭素舗装技術の評価

(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、サーモグラフィ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。

4.2 ガラスカレットの舗装材料への適用性に関する調査

ガラスカレット(5-0mm)を道路の凍上抑制層材料として使用し、その適用性について検討するため、試験舗装を施工した。材料試験や現地調査から得られた結果は以下に示すとおり。

(1) ガラスカレットの施工性

ガラスカレットは、従来の80mm級の砕石と比較して、より少ない転圧回数で所定の密度を得られやすく、均一な施工が可能と考えられる。

(2) ガラスカレットの力学的性質

ガラスカレットの凍上率は0.3%で凍結様式はコンクリート状であり、ガラスカレット自体は材料的に凍上しない。

材料の支持力を表すCBR値は、80mm級切込砕石と比較すれば小さいが、設計CBRの上限値20以上を満足している。凍結融解作用を与えた後のCBR保存率は82.0%と80mm級切込砕石より高く、ガラスカレットは凍結融解に対する支持力低下を起こしにくい材料である。

(3) ガラスカレットの科学的性質

ガラスカレットについて溶出試験を実施し、環境に悪影響を及ぼす物質が溶出しないか分析を実施した結果、環境上問題となる計量値は測定されなかった。

(4) 凍結深さ

ガラスカレットを凍上抑制層に用いた断面の凍結

深さは、80mm級の砕石を凍上抑制層に用いた断面の凍結深さより小さくなっており、その差は80mm級の砕石を凍上抑制層に用いた場合より-9～-11cmである。

(5) 凍上量

今年度のような気象条件において、ガラスカレットを凍上抑制層に用いた断面の凍上量は、80mm級の砕石を凍上抑制層に用いた断面より小さかった。これは、比較工区では路床まで凍結が進入していたのに対して、ガラスカレット工区は路床が凍結しなかったためである。

(6) 支持力

FWD試験における、ガラスカレット工区の施工直後のD0たわみと、融解期におけるD0たわみの値はほとんど変化が無いことから、今年度の気象条件では、ガラスカレットを凍上抑制層に使用しても、ガラスカレット自体の融解期の支持力低下は見られない。