

7-2 低炭素社会を実現する舗装技術の開発および評価手法に関する研究（3）

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平 23～平 27

担当チーム：寒地道路保全チーム

研究担当者：木村孝司，丸山記美雄，
安倍隆二，上野千草，大山健太郎

【要旨】

本研究では、積雪寒冷地の舗装工事におけるCO₂削減が期待できる技術として、積雪寒冷地の低炭素型舗装技術の開発および舗装リサイクル技術の開発を行うことを目的としている。

本研究の成果として、積雪寒冷地の低炭素型舗装技術の開発を目的に、中温化舗装技術を用いた試験施工より得られたデータから、「中温化舗装技術の適用に関する指針（案）」を作成した。さらに、過年度に実施した混合温度を低減する技術やリサイクル舗装技術のCO₂排出量の削減効果を把握した。

また、積雪寒冷地の舗装リサイクル技術の開発を目的に、他産業再生資材の適用方法の検討を行い、「積雪寒冷地における他産業再生資材の舗装材料としての適用方法に関する手引き（案）」を作成した。

キーワード：低炭素型社会，中温化舗装，リサイクル，CO₂削減，他産業再生資材

1. 積雪寒冷地の低炭素型舗装技術の開発

温室効果ガスであるCO₂の排出量を抑制する舗装技術については、低炭素型舗装技術である中温化舗装技術（以下、中温化混合物）の試験施工箇所の試験結果を基に、「中温化舗装技術の適用に関する指針（案）」を作成した。また、中温化混合物の試験施工箇所の供用性状を把握した。

さらに、過年度に試験施工を実施した混合温度を低減する技術やリサイクル舗装技術のCO₂排出量の削減効果についても把握した。

1.1 積雪寒冷地の低炭素型舗装技術のCO₂排出量の削減効果

1.1.1 はじめに

温室効果ガスであるCO₂の発生量を抑制する舗装技術として、①加熱アスファルト混合物のアスファルトプラントにおける材料加熱温度を低減させ化石燃料使用量を抑える技術，②他産業廃棄物を舗装材料として利用することにより環境負荷を低減する技術（以下、リサイクル舗装技術），③舗装発生材を再利用することにより環境負荷を低減する技術（以下、再生舗装技術）が知られている。

本章では、積雪寒冷地特有の気象条件および積雪寒冷地の仕様を満足した使用材料を用いた場合における①～③の各種低炭素舗装技術のCO₂排出量削減効果について報告する。

なお、②のリサイクル舗装技術に関する詳細については、第2章にて述べる。

1.1.2 CO₂排出量の削減効果

「舗装の環境負荷低減に関する算定ガイドブック」¹⁾（以下、ガイドブック）による手法を用い、低炭素型舗装技術のCO₂排出量の削減効果を算出した。

各材料の配合については、各技術の試験施工時における配合値を用いた。

その他の条件についてはガイドブックを参考に表-1-1に示す条件を用いた。なお、加熱アスファルト混合物については切削オーバーレイによる補修工事を、下層路盤は新設工事を想定し試算を行った。

研究対象とした各種低炭素舗装技術のCO₂排出量の削減効果を表-1-2に示す。

表-1-1 CO₂排出量の削減効果算出条件

施工面積	10,000m ²
アスファルト混合物運搬距離	20km
アスファルト混合物運搬速度	20km/h
骨材運搬距離	20km
骨材運搬速度	20km/h
重機運搬距離	40km
重機運搬速度	40km/h
アスファルト舗装厚	5cm
アスファルト混合物の密度	2.35g/cm ³
アスファルト混合物のロス率	7%
下層路盤厚	35cm
下層路盤の密度	1.57g/cm ³
下層路盤のロス率	27%

表-1-2 各種低炭素舗装技術のCO₂排出量の削減効果

	利用材料	利用方法	混合温度	混合率	配合等	比較対象	CO ₂ 発生量削減率(%)
			低減(°C)	(%)			
混合温度を低減する技術	中温化剤	加熱アスファルト混合物	30	—	密粒度アスコン13F(中温化混合物)	密粒度アスコン13F(通常)	4%
	セミホッパ型特殊ハイダ	加熱アスファルト混合物	80	—	密粒度アスコン13F(セミホッパ混合物)	密粒度アスコン13F(通常)	13%
リサイクル舗装技術	焼却灰	凍上抑制層材	—	100	焼却灰を主材料とした再生骨材	切込砂利	—
	ガラスカレット	凍上抑制層材	—	100	ガラスカレット	切込砕石	12%
	溶融スラグ	下層路盤材	—	10	切込砕石と混合	切込砕石	6%
			—	30			19%
	ホタテ貝殻	加熱アスファルト混合物	—	10	密粒度アスコン13F	密粒度アスコン13F(通常)	11%
			—	7.7	密粒度アスコン13F	密粒度アスコン13F(通常)	2%
	鉄鋼スラグ	加熱アスファルト混合物	—	54.4	細密粒度G7アスコン13F55(改Ⅱ)	細密粒度G7アスコン13F55(改Ⅱ)(通常)	25%
	舗装発生材	再生加熱アスファルト混合物	—	20	再生密粒度アスコン13F	密粒度アスコン13F(通常)	3%
			—	30			5%
			—	50			9%
			—	20	再生密粒度アスコン13F(改Ⅱ)	密粒度アスコン13F(改Ⅱ)(通常)	9%
			—	30			13%
			—	50			21%
—			30	再生細密粒度G7アスコン13F55(改Ⅱ)			細密粒度G7アスコン13F55(改Ⅱ)(通常)
路上表層再生工法	—	56	ホーラスアスファルト混合物(H)	ホーラスアスファルト混合物(H)	32%		

混合温度を低減する中温化混合物およびセミホッパ混合物の技術では、比較対象の加熱アスファルト混合物と比べて、前者で4、後者で13%の削減効果が見られた。この差は、混合物の製造時における材料の加熱温度の差によるものが大きい。

リサイクル舗装技術では、材料に応じて削減率が異なる結果となった。これは、リサイクル材の製造方法が異なるため、製造時のCO₂排出量が異なることに起因する。また、リサイクル材の混合率が高くなるほど、CO₂排出量の抑制効果が期待できる結果となったが、次章以降に述べるとおり所定の品質を得るためには、表中の混合率が上限と考える。

再生舗装技術では、混合率が高くなるほど、CO₂排出量を削減できる結果となった。

路上再生工法(HITONE工法)を用いたポーラスアスファルト混合物は、通常のパーラスアスファルト混合物を舗装する場合と比較して32%の削減率となっている。

1.2 中温化舗装技術

1.2.1 はじめに

中温化舗装技術を用いた加熱アスファルト混合物(以下、中温化混合物)の施工は、通常加熱アスファルト混合物(以下、通常混合物)と比較し、製造温度を30°C低減することにより製造時の重油使用量が削減され、CO₂排出量の削減効果が期待される環境に配慮した舗装技術である。

中温化混合物に添加されている中温化剤^{2),3),4)}は主に、発泡系、粘弾性調整系、滑剤系の3種類がある。発泡系は、微細泡の発生により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ものである。粘弾性調整系は、常温で固体性状だが、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タイプと、アスファルトと同様の組成を有した特殊添加剤を使用し、製造・施工温度領域のアスファルト

混合物の粘弾性のみを低下させるタイプがある。滑剤系はアスファルトおよび骨材界面の潤滑性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ものである。

温暖な気象条件において、混合温度を30°C程度低減させた中温化混合物の品質や供用後の耐久性は、通常混合物と比較し同等程度と報告されている^{5),6)}。一方、秋期から春期にかけて寒冷な北海道においては、中温化舗装技術をCO₂排出量の削減のために使用する場合の適用可能な気象条件が明確ではない。

このような背景から、平成22年度に産学官からなる「積雪寒冷地における舗装技術検討委員会」(北海道開発局主催)が設立され、寒冷期において試験施工を実施し、寒冷期における中温化舗装技術の適用方法について検討が行われた。そこに当研究所も参画し、試験・調査・研究を行っているところである。

本論文では中温化混合物の品質管理等に着目し、寒冷期における中温化舗装技術の適用方法を論述するものであり、寒冷期におけるCO₂削減を目的とした中温化舗装技術の適用条件の検討と施工性改善を目的とした使用方法について検討を行った。

なお、本論文では平均外気温5°C以下を寒冷期、平均外気温が5°Cより高い時期を通常期と定義した。

1.2.2 寒冷期におけるCO₂削減を目的とした中温化舗装技術の適用条件の検討

寒冷期におけるCO₂排出量の削減を目的とした中温化舗装技術の適用条件を評価するため、中温化混合物を通常混合物と比較し混合温度を30°C程度低減した舗装の試験施工を実施した。以下に調査箇所と調査項目を示す。

(1) 調査箇所および調査項目

中温化混合物の試験施工箇所を表-1-3に示す。試験施工は18箇所を実施し、アスファルト混合物の種類はストレートアスファルトを使用した密粒度アスコン13F、粗粒度アスコン、アスファルト安定処理、

ポリマー改質アスファルトⅠ型を使用した密粒度ギャップアスコン13F、北海道開発局で耐流動対策として用いられているポリマー改質アスファルトⅡ型を使用した細密粒度ギャップアスコン13F55⁷⁾、ポリマー改質アスファルトH型を使用した排水性舗装の6種類のアスファルト混合物を寒冷期に施工した。中温化剤は発泡系、粘弾性調整系、滑剤系の3種類の中温化剤を使用した。また、密粒度アスコン13Fについては再生アスファルト混合物についても試験施工を実施した。

調査は11月から3月の寒冷期において実施した。中温化混合物の出荷温度は通常混合物と比較し、混合温度を30℃程度低減することを目標に出荷した。中温化混合物と通常混合物は同じ施工方法で行い、運搬時の保温対策についても同一の方法で行った。

図-1-1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た。

表-1-4に調査項目および調査時期を示す。調査は品質管理や気象条件に着目し実施した。以下に調査方法の内容を示す。

a) 骨材の含水比等の計測

骨材に含まれる水分がアスファルトプラントに与える影響を把握する目的で、ストックヤードに保管している骨材、ホットピンから採取した骨材、およびアスファルト混合物の含水比を測定した。また、バグフィルター内の排気熱温度を計測し、通常混合物と中温化混合物の出荷時の温度を比較した。

b) 運搬時のアスファルト混合物の温度計測

運搬時の温度低下の影響を把握する目的で、ダンプトラックの荷台上でアスファルト混合物の表面から2cm、15cmの位置において、棒状温度計を用いダンプトラック1台毎に、荷台の前方2箇所、中央1箇所、後方2箇所の計5点で計測を行い、試験施工で出荷した全ての車両を対象に計測を行った。温度計測については、出荷時に温度測定箇所を5箇所マーキングし、出荷時と到着時は同一の箇所を測定した。

c) 敷均し温度および転圧時の温度計測

敷均し温度は中温化混合物工区および通常混合物工区の各18箇所を棒状温度計で測定した。

また、熱電対をアスファルト混合物中に埋設し、敷均し開始から交通開放時間までの温度を計測した。転圧温度は各工区6箇所とサーモグラフィーにより確認された温度低下箇所を棒状温度計により測定した。

d) 締固め度の計測

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した(以下、温度低下箇所)。また、舗装の端部から各工区10本のコアを採取し、密度を測定した(以下、定点箇所)。

e) 気象データの整理

気象庁のアメダスデータ⁸⁾から施工時の外気温、風速を整理した。

表-1-3 中温化混合物の試験施工箇所

調査箇所	混合物名	アスファルトの種類	厚さ(cm)	施工時期	中温化剤の種類	
帯広	密粒度アスコン13F	ストレートアスファルト	3	1月	粘弾性調整系	
稚内				3月	滑剤系	
函館				2月	発泡系	
札幌	11月					
札幌	11月					
釧路	再生密粒度アスコン13F	ストレートアスファルト	4	12月	発泡系	
釧路			1月			
網走	密粒度ギャップアスコン13F	改質アスファルトⅠ型	4	2月	滑剤系	
旭川				12月	発泡系	
室蘭	排水性舗装	改質アスファルトH型	4	12月	発泡系	
室蘭	細密粒度ギャップアスコン13F55	改質アスファルトⅡ型	5	2月	滑剤系	
網走	粗粒度アスコン	ストレートアスファルト	5	12月	発泡系	
留萌				12月		
室蘭				2月	滑剤系	
稚内	アスファルト安定処理	ストレートアスファルト	5	3月	滑剤系	
帯広				1月	粘弾性調整系	
網走				6月	11月	発泡系
室蘭				9月	2月	滑剤系

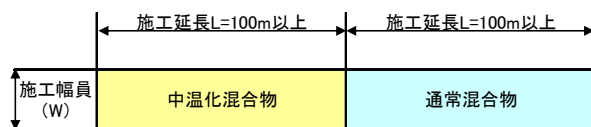


図-1-1 試験施工の工区割

表-1-4 調査項目と調査時期

調査項目	調査時期
ストックヤードにおける骨材の含水比の計測	混合物出荷時
ホットピンから採取した骨材や混合物の含水比の計測	
バグフィルター内の排気熱温度の計測	
運搬時のアスファルト混合物の温度計測	プラント出荷時・現場到着時
敷均し温度および転圧時の温度計測	敷き均し時・転圧時
締固め度の計測	施工後
気象データの整理	施工時

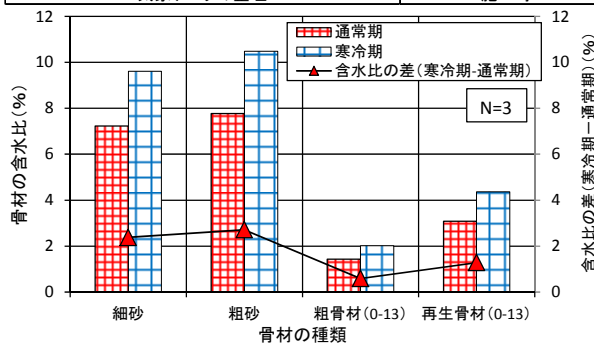


図-1-2 骨材の含水比 (ストックヤード)

(2) アスファルトプラントにおける評価

アスファルトプラントにおける骨材の含水比の結果については、寒冷期施工と通常期施工を同じアスファルトプラントで出荷した札幌について述べる。

a) スtockヤード

図-1-2にストックヤードに堆積していた骨材の含水比を示す。8月と11月にアスファルトプラントから採取し計測した骨材の含水比を比較した。なお、通常期である8月においては、骨材温度は細骨材21℃、

粗骨材27℃，再生骨材23℃，寒冷期である11月においては細骨材8℃，粗骨材7℃，再生骨材7℃の温度条件であった。通常期と寒冷期の含水比を比較すると，寒冷期の方が細骨材については2.4～2.7%，粗骨材は0.5%，再生骨材は1.2%高い結果となった。寒冷期は外気温が低いためストックヤードの骨材が自然乾燥しにくいことが要因と考えられる。

b) ホットビン

アスファルトプラントにおけるアスファルト混合物の製造時の温度条件は，中温化混合物で骨材加熱温度141℃，練り上がり温度143℃，通常混合物は加熱温度183℃，練り上がり温度を173℃に設定した。

図-1-3にホットビンから採取した骨材の含水比と練り落としたアスファルト混合物の含水比を示す。ホットビンから採取した2.5mm以下の細骨材や2.5mm以上の粗骨材の含水比は0.1%程度，アスファルト混合物は0.04%，中温化混合物の方が高くなった。これは骨材加熱温度の差による影響と考えられる。なお，再生骨材を加熱するドライヤは，中温化混合物と通常混合物の加熱温度は同じ154℃に設定したため，比較の対象とはしていない。

c) バグフィルター

バグフィルター内の排気熱温度の測定結果を図-1-4に示す。混合物製造時の外気温は-3～-2℃であり，外気温はほぼ一定の気象条件であった。温度測定は出荷時に全数1バッチ毎に温度を計測した。中温化混合物は通常混合物よりも排気熱温度の平均値が11℃程度低い結果となった。ただし，排気熱温度の低下によるバグフィルターの濡れなどのアスファルトプラントの不具合は発生しなかった。なお，バーナー設定温度は一定としていたが，排気熱温度に20℃程度の差が見られる箇所があるのは，通常混合物出荷時の骨材加熱温度が変動し，その影響により温度差が生じたと考えられる。

d) アスファルトプラントで不具合が発生した事例

帯広のアスファルトプラントでは，気象条件として平均外気温0℃，最低外気温-9℃，最高外気温+2℃で出荷をした際，中温化混合物の出荷温度は173℃，通常混合物は203℃で実施した結果，中温化混合物の出荷時にのみバグフィルターの濡れが発生した。これは，中温化混合物の骨材加熱温度が通常混合物よりも30℃低いため，バグフィルター内の排気熱温度が下がったためと考えられる。そのまま放置すると凍結し，凍結した状態で使用するとバグフィルターの破損の可能性が高いため，ドライヤを加熱し乾燥作業を余儀なくされた。

稚内のアスファルトプラントでは，気象条件として平均外気温-3℃，最低外気温-3℃，最高外気温-3℃で中温化混合物を出荷した際，外気温が低くアスファルトプラント内のドライヤが冷えている影響により骨材を加熱するドライヤの羽根に含水比の高い細骨材が付着し温度調整ができなくなるケースが発生した。

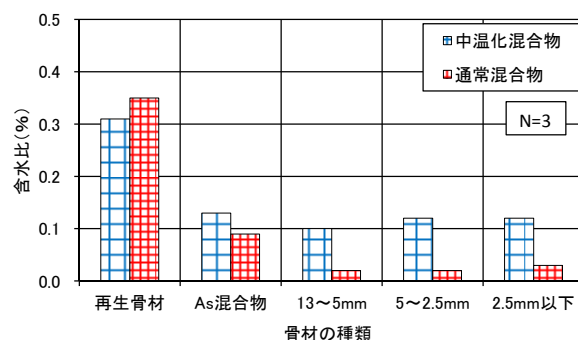


図-1-3 骨材の含水比 (ホットビン)

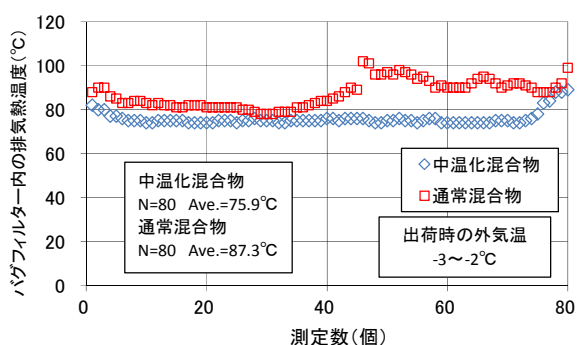


図-1-4 バグフィルターの排気熱温度

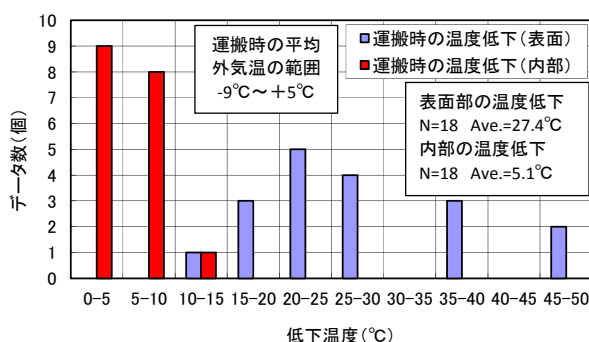


図-1-5 運搬時の温度低下

(3) 運搬時における評価

図-1-5に寒冷期におけるアスファルト混合物の運搬時の温度低下状況を示す。対象とした混合物の種類は表-1-3に示す。運搬時間は平均48分間，最小23分間，最大80分間で実施した。なお，保温対策としては，二重シートやダンプトラックの荷台を排気ガスの熱を利用し暖める保温効果のある車両を利用した。

表面から15cmの内部における温度低下の範囲は2～11℃，平均5.1℃の温度低下であった。一方，表面から2cmの位置の表面部の温度低下の範囲は12～47℃，平均27.4℃の温度低下となっており，内部よりも大幅な温度低下が確認された。これは，外気温等の気象条件や運搬時の影響を大きく受けるためと考えられる。

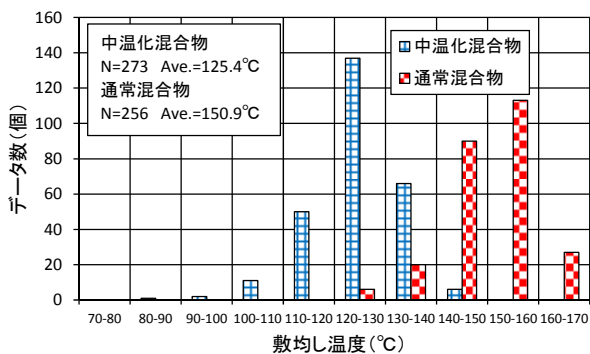


図-1-6 敷均し温度 (St.As.)

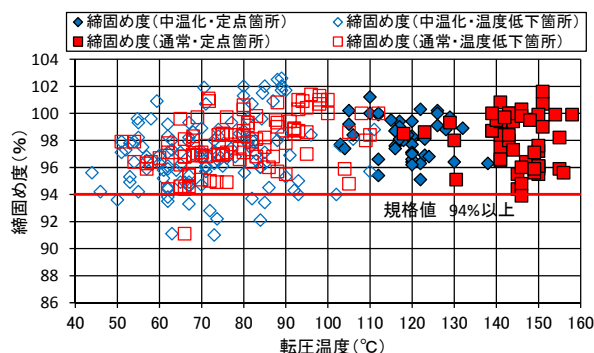


図-1-8 締固め度 (St.As.・温度低下箇所)

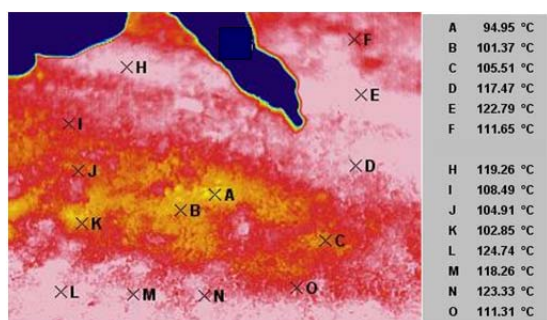


写真-1-1 サーモグラフィーによる温度低下状況 (密粒度アスコン13F)

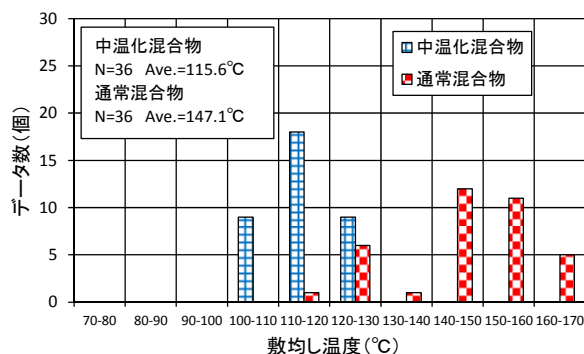


図-1-9 敷均し温度 (改質I型)

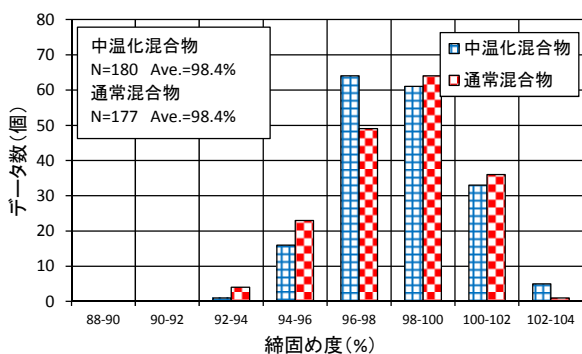


図-1-7 締固め度 (St.As.・定点箇所)

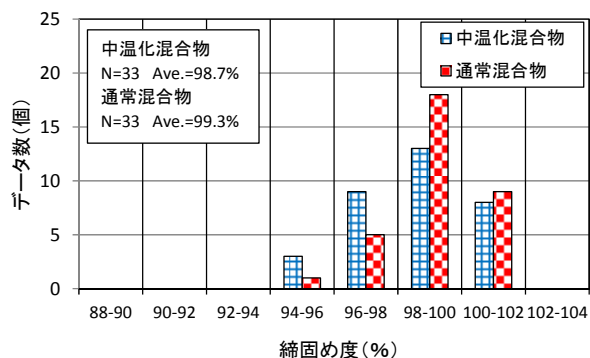


図-1-10 締固め度 (改質I型・定点箇所)

(4) 混合物に対する評価

a) ストレートアスファルトを用いた混合物

図-1-6にストレートアスファルトを使用した密粒度アスコン13F, 粗粒度アスコン, アスファルト安定処理の敷均し温度を示す. 中温化混合物の敷均し温度は, 通常混合物と比較し平均で25.5°C低い温度で施工された.

写真-1-1に密粒度アスコン13Fの敷均し時の表面温度をサーモグラフィーにより撮影した状況を示す. 部分的に温度低下した箇所が見られ, 運搬時や敷均し時に温度低下したアスファルト混合物の影響と考えられる.

図-1-7にストレートアスファルトを用いたアスファルト混合物の定点箇所から採取したコアの締固め度を示す.

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.

図-1-8に転圧時に棒状温度計を用い温度低下箇所と転圧温度を計測した定点箇所の締固め度を示す.

100°C以下の転圧温度で施工された温度低下箇所から採取したコアの締固め度は, 規格値94%⁹⁾を下回るデータが見られ, 運搬時や敷均し時の温度低下の影響と考えられる.

b) ポリマー改質I型を用いた混合物

図-1-9にポリマー改質I型を用いた密粒度ギャップアスコン13Fの敷均し温度を示す. 中温化混合物の敷均し温度は, 通常混合物と比較し, 平均31.5°C低い温度で施工された.

図-1-10に定点箇所の締固め度を示す. 締固め度は概ね同程度の値を示した.

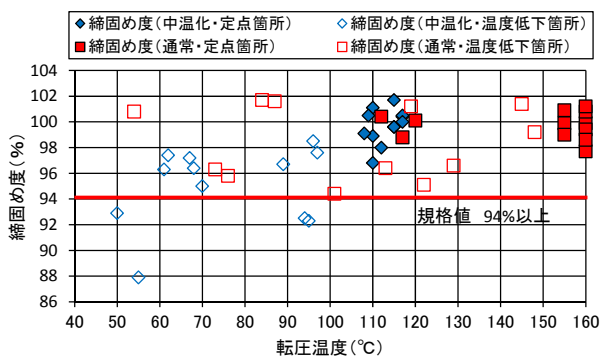


図-1-11 締固め度

(改質I型・定点箇所+温度低下箇所)

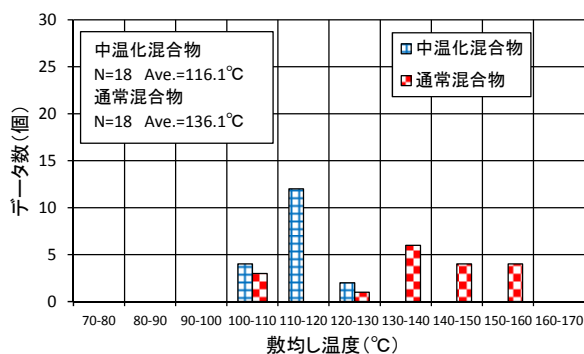


図-1-12 敷均し温度 (排水性・定点箇所)

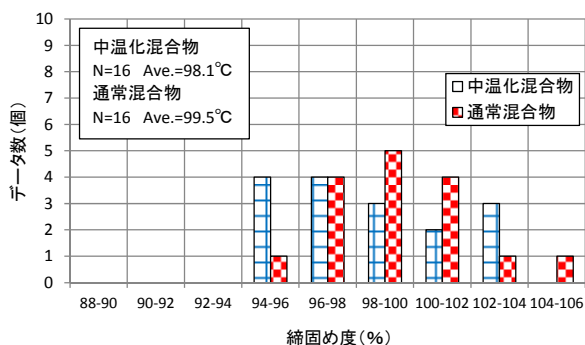


図-1-13 締固め度 (排水性・定点箇所)

図-1-11に温度低下箇所と定点箇所の締固め度を示す。転圧温度が100℃以下で転圧された中温化混合物は、規格値94%以下を下回るデータが見られた。

c) ポリマー改質H型を用いた混合物

図-1-12にポリマー改質アスファルトH型を用いた排水性舗装の敷均し温度を示す。中温化混合物の敷均し温度は、通常混合物と比較し、平均20℃低い敷均し温度で施工された。図-1-13に定点箇所の締固め度を示す。中温化混合物は通常混合物と比較しやや低い締固め度を示した。

図-1-14に温度低下箇所の締固め度を示す。転圧温度が90℃以下に低下した箇所の中温化混合物は規格値94%を満足しない結果となった。また、温度低下した中温化混合物は写真-1-2に示すように施工時に塊となり、敷均し時に作業性を低下させ、廃棄する混合物は通常混合物と比較し多くなった。調査結果

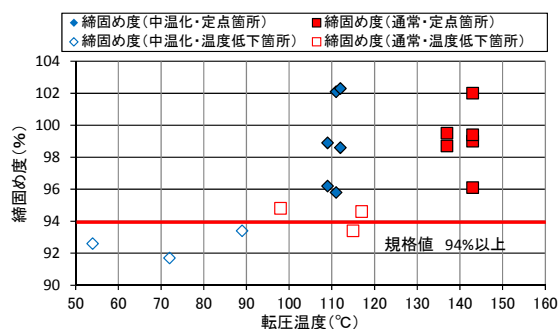


図-1-14 締固め度

(排水性・定点箇所+温度低下箇所)



写真-1-2 敷均し作業時に発生したAs塊

からポリマー改質アスファルトH型を使用した混合物は、ストレートアスファルトを用いた混合物と比較し、最適締固め温度が高いため、大幅な温度低下は、締固め度に影響を与えやすいと考えられる。

(5) 気象データの整理

各試験施工箇所における施工時の外気温と風速を整理した。気象データは気象庁のアメダスデータを使用した。

図-1-15に試験施工時の外気温、図-1-16に試験施工時の風速を示す。図中には施工箇所、アスファルト混合物の種類、舗装厚さ、天候も併せて記載した。なお、図中の破線枠の範囲は、全ての箇所で温度低下箇所の締固め度が規格値を満足しないか、アスファルトプラントにて不具合が発生した箇所(以下、品質低下箇所)となっている。

図-1-17に気象条件と品質低下有無の関係を示す。外気温に着目すると品質低下箇所の平均外気温は、全ての箇所で0℃以下となった。品質低下が発生しなかった箇所は、0℃以上の平均外気温の施工箇所が多い結果となった。

風速に着目すると品質低下箇所の平均風速は概ね1m/s以上で発生している。ただし、平均風速が2m/s程度の施工箇所では、品質低下しなかった箇所が多く、風速が強いと温度低下が早いので品質に影響を与えていると考えられる。

図中で着色している範囲である0℃以下で平均風速3m/s以上の気象条件の範囲では、全ての施工箇所において品質低下が発生していることを確認した。

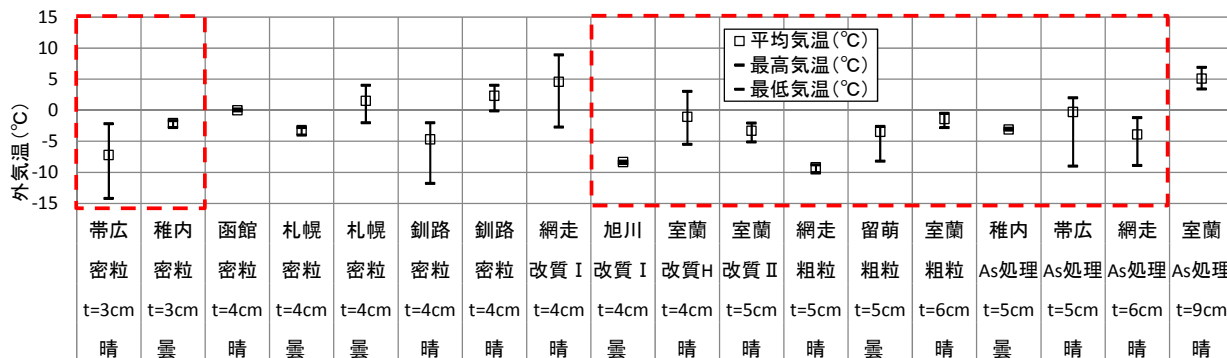


図-1-15 試験施工時の外気温

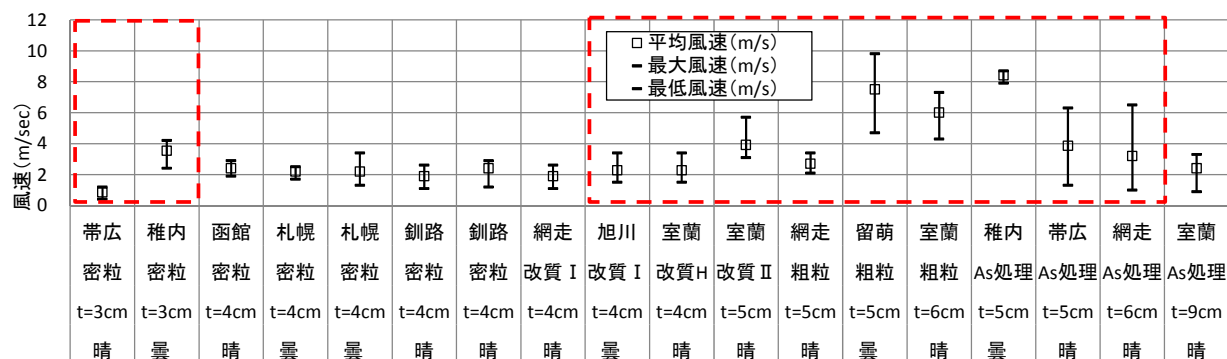


図-1-16 試験施工時の風速

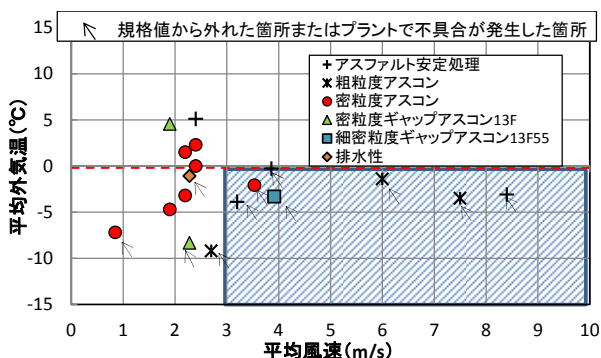


図-1-17 気象条件と品質低下の関係

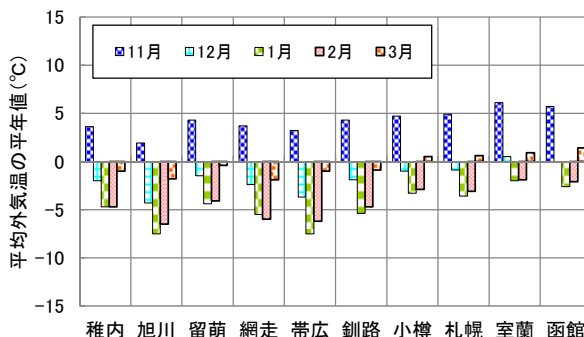


図-1-19 平均外気温の平年値

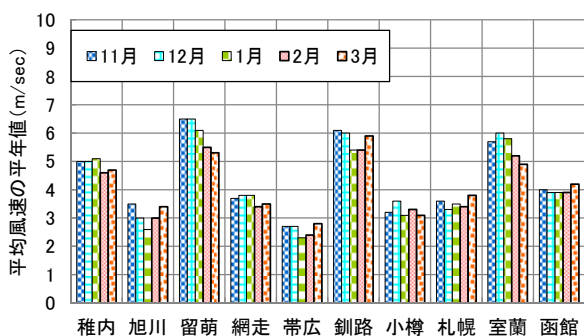


図-1-18 平均風速の平年値

図-1-18にアメダスデータを用いた1981年～2010年までの30年間のデータを使用した11月～3月までの平均風速の平年値を示す。平均風速は地域によって異なるが、沿岸部に位置する稚内、留萌、釧路、室蘭は平均風速が5m/s以上であり、内陸部の旭川、帯広、札幌では3m/s程度の風速となっている。

図-1-19にアメダスデータを用いた1981年～2010年までの30年間のデータを使用した11月～3月までの平均外気温の平年値を示す。11月において5℃以上になる都市は室蘭と函館だけであり、他の都市は5℃以下となっている。12月～3月の平年値は全ての都市で5℃以下の気象条件となっている。

(6) 寒冷期におけるCO₂削減を目的とした中温化舗装技術の適用条件

寒冷期においてCO₂削減を目的とした試験施工を実施した結果、以下のことが明らかになった。

a) 中温化混合物の品質

ストレートアスファルトやポリマー改質アスファルトを使用した中温化混合物の温度低下した箇所の締固め度は、規格値94%を下回るものが発生する場合があった。

b) アスファルトプラントの状況

寒冷期に30℃混合温度を低減した中温化混合物の出荷時には、骨材加熱温度は通常混合物より低く設定するためバグフィルター内の排気熱温度が低下し、バグフィルターが濡れ、アスファルトプラントに支障が発生する場合がある。また、寒冷期施工であるためアスファルトプラントが冷えている影響からドライヤに細骨材が付着し温度調整ができなくなる場合があった。

c) 品質が低下する気象条件

施工時の気象データを整理した結果、平均外気温0℃以下で、平均風速3m/s以上の気象条件では全ての施工箇所でも品質低下が発生した。

d) 北海道内の気象条件

北海道内の11月～3月までの気象条件は、概ね平均風速が3m/s以上であり、平均外気温が5℃を下回る気象条件である。

e) 適用条件

寒冷期において中温化混合物を施工する場合は、気象条件によっては規格値を満足する品質を得られる場合もあるが、寒冷期は図-1-15、図-1-16の品質低下箇所を示すように施工時間内でも外気温が変動し、0℃以下に低下したり、風速の変動が大きくなる日も見られ、品質を低下させる可能性が高い。

試験施工結果から寒冷期施工において中温化混合物を用いて混合温度を低減した場合、品質の低下やアスファルトプラントにおいて不具合が発生する場合がある。また、北海道内の11月～3月までの平均外気温は、5℃以下になる地域が多いことや主要都市の平均風速も3m/s以上となることから、寒冷期には温度低減した中温化混合物の適用は避けることが望ましいと考えられる。

1.2.3 施工性改善を目的とした使用方法

寒冷期施工において中温化混合物を施工改善の目的で使用されている実績が報告^{10),11),12)}されていることから、品質を改善させる効果について評価を行うこととした。

そこで、寒冷期施工において中温化混合物の混合温度を低減しない施工性改善を目的とした使用方法について試験施工を実施した。

表-1-5に調査箇所を示す。試験施工は2箇所で行われ、アスファルト混合物の種類は、密粒度アスコン

表-1-5 調査箇所（施工性改善）

調査箇所	混合物名	アスファルトの種類	厚さ (cm)	施工時期	中温化剤の種類
室蘭	再生密粒度アスコン13F	ストレートアスファルト	4	3月	発泡系
室蘭	排水性舗装	改質アスファルトH型	4	12月	発泡系

表-1-6 調査項目（施工性改善）

調査項目	調査時期
敷均し温度および転圧時の温度計測	施工時
締固め度の計測	施工後
作業性	施工時
気象データの整理	施工時

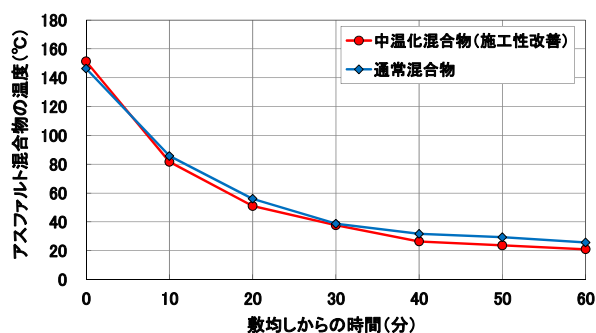


図-1-20 アスファルト混合物の温度の経時変化

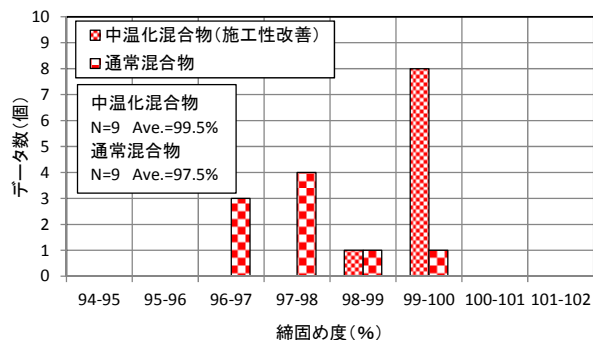


図-1-21 締固め度 (St.As.・施工性改善)

13F、排水性舗装の2種類を使用した。なお、中温化剤は発泡系を使用した。表-1-6に調査項目を示す。敷均し温度や転圧時の温度計測、締固め度の計測、作業性の確認、および気象データの整理を実施した。

中温化混合物と比較する混合物の施工方法や運搬時の保温方法は同じ方法で行い、施工延長は各工区L=100m程度とした（図-1-1参照）。

a) 密粒度アスコン13F

中温化混合物と通常混合物の目標温度は同じ温度で出荷した。施工時の気象条件は、平均外気温3℃、風速4～7m/s、天候は曇りである。敷均し温度は中温化混合物151℃、通常混合物146℃で施工された。

図-1-20にアスファルト混合物の温度の経時変化を示す。中温化混合物と通常混合物の温度低下の状況は同程度であった。図-1-21に締固め度を示す。中

温化混合物は平均値99.5%、最大値100.0%、最小値99.0%を示し、十分な締固め度を確保し、図-1-20に示すように、敷均し後10分でアスファルト混合物温度が80度となる温度低下が早い条件においても締固め度の低下は確認されなかった。一方、通常混合物は平均値97.5%、最大値99.0%、最小値96.1%を示し、締固め度の最小値は中温化混合物と比較し小さく、中温化混合物と比較し温度低下による施工性の低下の影響を受けたと考えられる。

b) 排水性舗装

排水性舗装は、30℃混合温度を低減した中温化混合物と施工性改善を目的とした温度低減させない中温化混合物を用い、試験施工を実施した。気象条件は、平均外気温-1℃、風速1~3m/s、天候は晴である。敷均し温度は、施工性改善を目的とした中温化混合物は154℃、30℃温度低減した中温化混合物は115℃で施工された。

図-1-22にアスファルト混合物の温度の経時変化を示す。施工性改善を目的とした中温化混合物と30℃混合温度を低減した中温化混合物の温度差は敷均し後30分まで20℃程度以上ある。締固め度を図-1-23に示す。施工性改善を目的とした中温化混合物の締固め度は、平均値98.5%、最大値100.8%、最小値96.9%、標準偏差1.1%を示し、30℃温度低減した中温化混合物は、平均値98.1%、最大値102.6%、最小値94.2%、標準偏差2.8%を示した。

最小値を比較すると施工性改善を目的とした中温化混合物は、混合物温度が高いことにより十分な締固めが行え、高い値を得られたと考えられる。また、施工性改善を目的とした締固め度の標準偏差も小さく品質が安定していることが確認された。

過年度の調査¹¹⁾においても施工性改善を目的とした中温化舗装技術を排水性舗装に適用し、品質や供用性状が良好であることを確認しており、今回の調査結果からも寒冷期の品質を確保するには有効な方法であることが確認された。

1.2.4 結論

本研究では、積雪寒冷地において中温化舗装技術をCO₂排出量の削減のために使用する場合の適用条件を寒冷期に試験施工を行い検証した。

以下に得られた知見を示す。

- (1) ストレートアスファルトを使用した混合物やポリマー改質アスファルトを使用した混合物の温度低下箇所から採取したコアは、締固め度の規格値94%を満たさない品質の低下箇所が見られ、気象条件によっては30℃温度低減ができない場合がある。
- (2) 寒冷期に混合温度を低減し中温化混合物を出荷する場合、通常混合物よりも骨材加熱温度の設定を低くするため、バグフィルターの排気熱温度が低下し、バグフィルターが濡れることや、アスファルトプラントが冷えている影響からドライヤの羽根の部

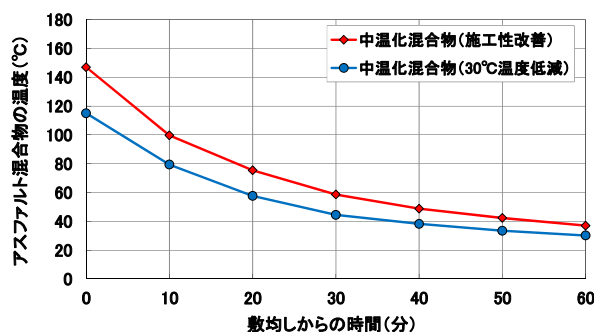


図-1-22 アスファルト混合物の温度の経時変化

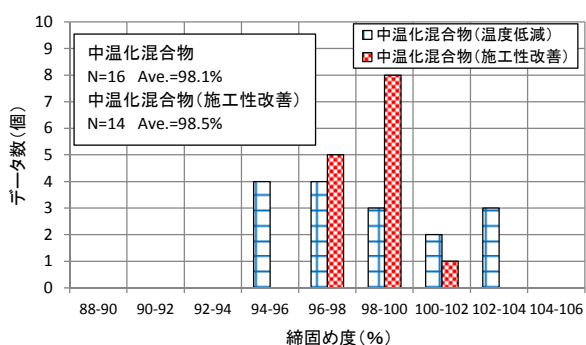


図-1-23 締固め度 (排水性・施工性改善)

分に細骨材が付着し温度調整ができなくなる場合があり、気象条件によっては、30℃温度低減ができない場合がある。

(3) 施工時の気象データを整理した結果、平均外気温0℃以下で、平均風速3m/s以上の気象条件では全ての施工箇所でも品質低下が発生していることが確認された。

(4) 施工性改善を目的とした中温化混合物の品質は、通常混合物より温度低下の影響を受けにくいことや、30℃温度低減した中温化混合物よりも温度の影響を受けにくいことが確認され、寒冷期の品質を確保するには有効な方法であることが確認された。

以上の結果から、現状では寒冷期は気象条件によってアスファルトプラントの不具合の発生や品質の低下が発生する可能性が高いため、温度低減した中温化混合物の適用は避けることが望ましいと考えられる。また、寒冷期施工におけるアスファルト混合物は品質の低下を防止するため、温度を低減させない施工性改善を目的とした使用方法が望ましいと考えられる。

1.2.5 中温化舗装技術の適用に関する指針 (案)

低炭素舗装技術である中温化舗装技術の積雪寒冷地における普及を目的として、「中温化舗装技術の適用に関する指針 (案)」を作成し、寒地土木研究所のホームページよりダウンロードできるようにした。以下に指針 (案) の概要を示す。

1. 総則

1-1. 目的

中温化舗装技術は加熱アスファルト混合物の製造温度を 30℃程度低減できる舗装技術であり、この舗装技術を活用することにより、二酸化炭素排出量を削減することが可能となる。

本案は中温化舗装技術を利用し、二酸化炭素排出量の削減を目的として使用する場合の適用方法を示すものである。

2. 二酸化炭素排出量の削減を目的に中温化舗装技術を使用する場合

2-1. 適用の範囲

通常期に二酸化炭素排出量を削減する目的で使用する場合、製造温度低減の目標は 30℃を基本とする。ただし、外気温等の気象条件、プラントの型式、ストックヤードの含水比、配合、運搬時間等の影響により、求められる品質が得られない恐れがある場合は、この限りではない。なお、通常期とは平均外気温が 5℃より高い気象条件とする。

以下の加熱アスファルト混合物を対象とする。

(対象混合物)

- ・ストレートアスファルトを用いた加熱アスファルト混合物
- ・ポリマー改質アスファルト (I 型・II 型・H 型) を用いた加熱アスファルト混合物
- ・再生加熱アスファルト混合物 (再生骨材混入率30%以下)

2-2. 中温化剤

中温化剤の種類は発泡系、粘弾性調整系、滑剤系の 3 種類に大別できるが、所定の品質を確保できるものであれば、どの種類の製品を用いるかは問わない。なお、水や水蒸気を利用し、アスファルトを泡状 (フォームド状) にするフォームドアスファルトについては、発泡系の中温化剤に含まれる。

2-3. 配合設計

中温化混合物の配合設計に際しては、各アスファルトプラントで作成した通常加熱アスファルト混合物 (以下、通常混合物: 通常混合物とは中温化剤を用いない混合物と定義する。) の配合設計書が基本となる。中温化剤の性状については、中温化剤の各製造メーカーにより異なるため、各製造メーカーが推奨する添加量によることとする。なお、プレミックスタイプは事前に品質を得るために所定の添加量を混入した材料である。

中温化混合物の品質確認については、「北海道開発局 道路・河川工事仕様書」(以下、仕様書) に規定されたマーシャル安定度試験等により評価すること。

以下に中温化混合物の配合設計書作成時の留意事項を示す。

1) ストレートアスファルトを用いた混合物

- ① 配合設計を行うにあたっては、中温化剤の各製造メーカーにより配合設計方法や適用範囲が異なるため、製造メーカーに中温化剤の添加量等を確認すること。
- ② 中温化混合物の最適混合温度および最適突固め温度は、通常混合物と比較し 30℃低減した温度条件とする。その試験条件でマーシャル安定度試験用供試体を作製し、マーシャル安定度試験結果が仕様書の規格値を満足していることを確認すること。なお、通常混合物のマーシャル安定度試験用供試体作製時の最適混合温度および最適突固め温度は、アスファルトの動粘度が $180 \pm 20 \text{mm}^2/\text{s}$ および $300 \pm 30 \text{mm}^2/\text{s}$ の範囲の温度を標準とする。
- ③ プレミックスタイプについては、製造メーカーが推奨する温度により混合温度、および突固め温度を設定すること。
- ④ 配合設計は必要に応じて、マーシャル安定度試験以外の混合物毎に求められるチェーンラベリング試験や水浸マーシャル安定度試験等の各種試験を実施し、中温化混合物の品質を確認すること。

2) ポリマー改質アスファルトを用いた混合物

- ① 配合設計を行うにあたっては、中温化剤の各製造メーカーにより配合設計方法や適用範囲が異なるため、製造メーカーに中温化剤の添加量等を確認すること。
- ② 通常のポリマー改質アスファルト混合物と比較し 30℃温度低減した混合温度でマーシャル安定度試験用供試体を作製し、マーシャル安定度試験結果が仕様書の規格値を満足していることを確認すること。なお、通常のポリマー改質アスファルト混合物のマーシャル安定度試験用供試体作製時の最適混合温度および最適突固め温度は、プレミックスタイプの製造メーカー (プレミックスタイプの場合) や改質材の製造メーカー (プラントミックスタイプの場合) が推奨する温度を参考に最適混合温度および最適突固め温度を設定すること。
- ③ 配合設計は必要に応じてマーシャル安定度試験以外のホイールトラッキング試験や低温カンタブロ試験等の各種試験を実施し、中温化混合物の品質を確認すること。

2-4. 製造

通常期に中温化混合物の混合温度を 30℃低減する場合、2-3. 配合設計に記載した最適混合温度に外気温等の気象条件、プラントの型式、ストックヤードに保管している骨材の含水比、混合物の配合、運搬距離等の影響を考慮し、目標温度を設定し出荷すること。

2-5. 運搬

通常期においても、気象条件やアスファルトプラントから現場までの運搬距離が長い等の理由により混合物の温度低下が想定される場合は、二重シート等の保温対策を行うこと。

2-6. 敷均し温度（初転圧前温度）

製造温度を 30℃低減した中温化混合物の敷均し温度は、製造温度は低減しつつも所定の締め固め度は確実に得られるよう、運搬から敷均しまでの過程で生じる温度低下を極力抑え、より高い温度で敷均しを行えるようにすること。

2-7. 転圧温度

事前の準備を行い、所定の締め固め度を得られる温度範囲で速やかに早期転圧に努めるものとする。

2-8. 二酸化炭素排出量の削減効果

通常期に施工する 30℃温度低減した中温化混合物の二酸化炭素の排出量削減効果は、15%程度と見なすことができる。

2-9. 施工管理

中温化混合物の施工管理は通常混合物と同一の項目について提出すること。

2-10. 工事記録の保存

中温化混合物の品質管理データを蓄積するために、工事記録を保存すること。

1.2.6 供用性状

「中温化舗装技術の適用に関する指針（案）」を作成し、その耐久性を評価するために追跡調査を実施している。以下に調査結果を示す。

中温化混合物を、通常期（平均外気温が 5℃より高い気象条件）に施工した箇所の供用性状調査を実施した。

図-1-24 は平成 23 年 8 月に施工した一般国道 452 号夕張市（交通量区分 N5）における中温化混合物（再生密粒度アスコン 13F：ストレートアスファルト使用・発泡系）のわだち掘れ量の経年変化を示す。供用後 4 年程度の時点では、隣接して施工した比較工区と比べて同程度のわだち掘れ量で推移している。

図-1-25 は平成 23 年 7 月に施工した一般国道 273 号上士幌町幌加（交通量区分 N5）における中温化混合物（密粒度アスコン 13F：改質 I 型・発泡系）のわだち掘れ量の経年変化を示す。供用後 4 年程度の時点では、比較工区と比べて同程度のわだち掘れ量で推移している。

図-1-26 は平成 23 年 9 月に施工した函館江差自動車道（矢不來 交通量区分 N5）における中温化混合物（排水性舗装：ポリマー改質アスファルト II 型）のわだち掘れ量の経年変化を示す。供用後 4 年程度の時点では、比較工区と比べて同程度のわだち掘れ量で推移している。

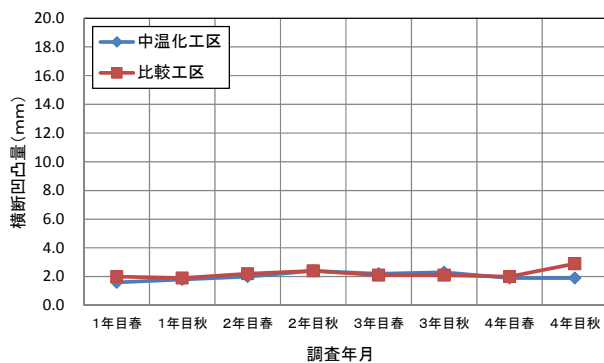


図-1-24 わだち掘れ量の経年変化（通常期施工・再生密粒度アスコン 13F）

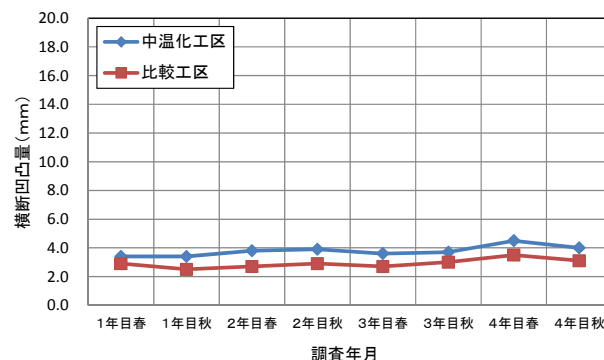


図-1-25 わだち掘れ量の経年変化（通常期施工・密粒度 G アスコン 13F）

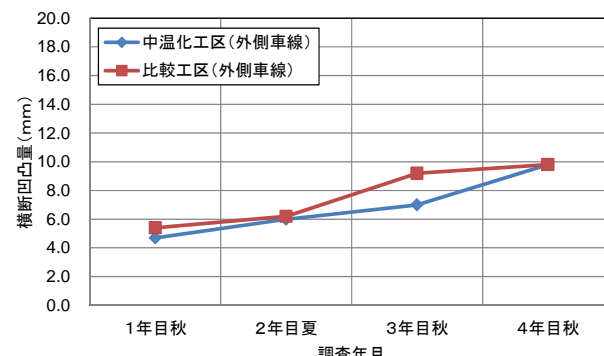


図-1-26 わだち掘れ量の経年変化（通常期施工・排水性舗装）

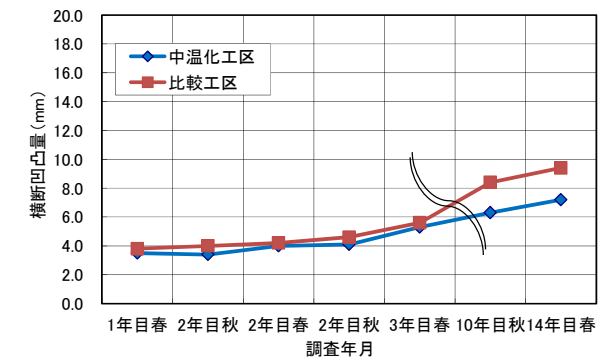


図-1-27 わだち掘れ量の経年変化（通常期施工・密粒度アスコン 13F）

のわだち量の経年変化を示す。供用4年程度の時点では、比較工区と比べて同程度のわだち掘れ量で推移している。

図-1-27に14年間供用した中温化混合物（密粒度アスコン13F：ストレートアスファルト使用・発泡系）のわだち掘れ量の経年変化を示す。中温化混合物の施工は、平成13年9月に一般国道239号下川町（N5交通）で実施されたものである（写真-1-3）。

中温化混合物は通常混合物と比較し同程度のわだち掘れ量の推移を示し、良好な路面性状を示している。

性状の異なる3種類の中温化剤を使用した中温化混合物の供用性状を供用4年まで追跡調査した結果、通常混合物と同程度の供用性状で推移しており、良好な路面性状を示していることを確認した。

また、発泡系の中温化剤を用いた中温化混合物については供用後14年まで追跡調査を行っているが、通常混合物と同様の供用性状を保持していることを確認した。

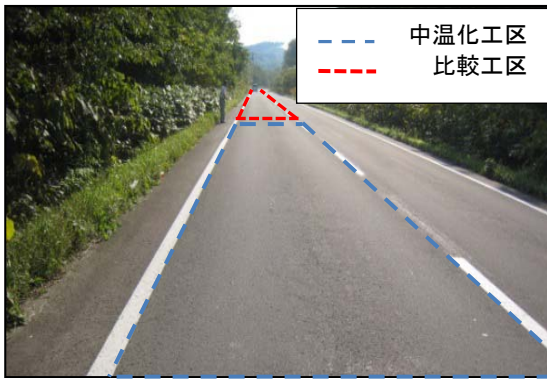


写真-1-3 下川町（中温化混合物）

参考文献

- 1) 公益社団法人 日本道路協会：舗装の環境低減負荷に関する算定ガイドブック，2014.1
- 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に関する研究，舗装工学論文集第2巻，pp.239-248，1997.
- 3) 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，雑誌舗装，Vol34，No.5，1999.
- 4) 永原篤，平戸利明，村山雅人：プレミックス型中温化剤アスファルト，雑誌舗装，Vol.47，No.5，pp.22-25，2012.
- 5) 斉藤晃，桐生祝男：中温化アスファルト舗装の耐久性等の特性に関する調査，第29回日本道路会議，2011.
- 6) 皆方忠雄，大林正和，新田幸司：基層の厚層補修における施工能力の向上，第29回日本道路会議，2011.
- 7) 国土交通省北海道開発局：北海道開発局 道路設計要領，pp.1-5-21，2015.
- 8) 国土交通省気象庁ホームページ：
<http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/>
- 9) 国土交通省北海道開発局：平成26年度版 北海道開発局 道路・河川工事仕様書，pp.2-169，2014.
- 10) 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，09166，2003.
- 11) 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，09166，2003.
- 12) 上野千草，田高淳，安倍隆二：排水性アスファルト混合物の寒冷期施工について，寒地土木研究所月報 No.635,2006.

2. 積雪寒冷地の舗装リサイクル技術の開発（焼却灰）

2.1 はじめに

他産業再生資材は、建設業以外から発生した材料であり、リサイクル推進の観点から積極的に活用していくことが望まれている。このため他産業再生資材を舗装体の凍上抑制層材料として、積雪寒冷地で活用するためには、凍上、凍結融解の耐久性、融解期の支持力、環境負荷、および繰返し再生利用の可否等を検討した。

本研究では、製紙工場から発生する焼却灰を主材料とした再生骨材を凍上抑制層として適用するために検討した結果を報告するものである。なお、本文では、焼却灰を主材料とした骨材を再生骨材と定義した。

A社ではバイオマスボイラーを使用しており、バイオマスボイラーの燃料には木屑、石炭、廃タイヤを使用し、焼却灰を主原料として固化した骨材（以下、再生骨材）を製造している。再生骨材の製造方法を図-2-1に示す。

再生骨材の製造工程は、バイオマスボイラーから発生したフライアッシュ（写真-2-1）やボトムアッシュ（写真-2-2）などの焼却灰とセメント、切込砕石、および水を一定の割合で混練機により混合し、振動加圧成型機に正方体状に成型し、乾燥養生を行い、破碎機により破碎することで再生骨材を製造する。

リサイクル材料の舗装材料への有効利用方法に、舗装体の下層路盤材料や凍上抑制層材料としての適用が考えられるが、本研究では、凍上抑制層の適用性についての検討結果を主に報告する。なお、凍上抑制層は舗装体の凍上対策として必要な層であり、北海道開発局では20年設計を適用する場合、理論最大凍結深さの70%の深さまで非凍上性材料で置換えを行い、使用する材料は非凍上性であり、かつ規定の粒度範囲を満足した材料を用いる必要がある。

2.2 検討方法

積雪寒冷地において再生骨材の凍上抑制層への適用についての検討を行うため、室内試験では、一般的な性状試験、凍上試験、凍結融解後のCBR、溶出試験等を行い、再生骨材の品質を確認した。

現地試験としては、A社構内道路に旭川市の生活道路の舗装に準じた試験施工ヤードを設け、下層路盤や凍上抑制層に再生骨材を用いた。更に、旭川市春光台、旭川市東鷹栖、および芦別市の市道の凍上抑制層に再生骨材を用いた試験ヤードを設けた。

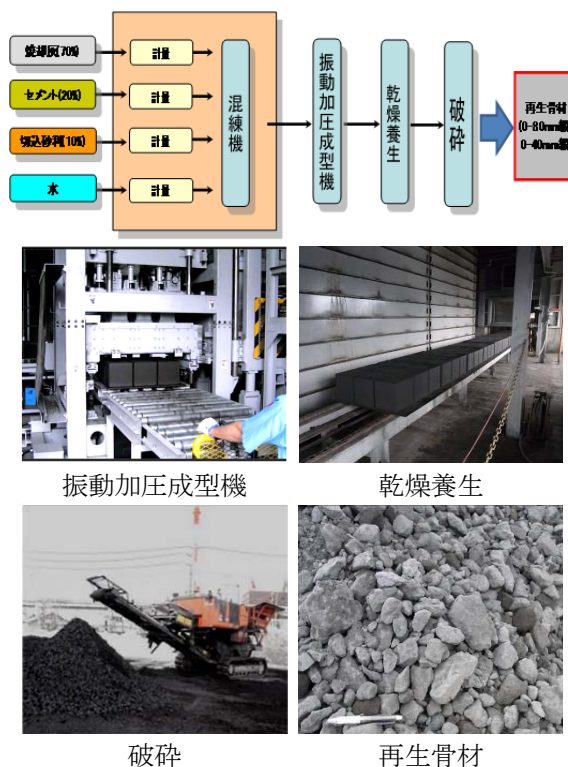


図-2-1 再生骨材の製造工程



写真-2-1 フライアッシュ

写真-2-2 ボトムアッシュ

現地調査としては、融解期の支持力低下を把握するためにFWD調査や現場CBR試験を行った。また、凍上の影響を把握するため凍上量調査等を行い、積雪寒冷地における再生骨材の凍上抑制層への適用について検討を行った。

2.3 材料試験結果

再生骨材の配合については、A社から日々発生する焼却灰の量を全量処理するため、フライアッシュおよびボトムアッシュの量が決定されている。

セメント量等の配合率の検討については、凍上抑制層以外の用途拡大を図るため、下層路盤材料への適用も利用できるように、すり減り減量を少なくする配合も検討した。また、再生骨材の品質の変動についても併せて確認した。

表-2-1 再生骨材の配合及び室内試験

試験項目		単位	H21.7.17	H22.4.16	H23.4.9	H23.7.1	H24.5.2	H24.9.13	H25.6.1	H25.10.15	—	—
灰処理配合 (バッチあたり仕込量)	フライアッシュ	kg	756	843	853	853	853	838	838	838	—	—
	ボトムアッシュ	kg	254	203	263	263	263	263	263	263	—	—
	切込砕石(5-13mm)	kg	0	0	145	145	150	150	150	150	—	—
	ピリ	kg	360	290	0	0	0	0	0	0	—	—
	セメント(高炉B)	kg	310	310	310	340	340	360	360	360	—	—
清水	kg	500	500	500	500	500	500	500	500	—	—	
灰(FA+BA)に対するセメント比率	%	31	30	28	30	30	33	33	33	—	—	
特記事項			●灰処理対策 ①灰(フライアッシュ) (756→843)	●混練攪拌対策 ①ピリ切込砕石	●すりへり対策 ①セメントアップ (310→340)		●すりへり対策 ①セメントアップ (340→360) ②灰(フライアッシュ) (853→838)				—	—
凍上抑制層への 適用調査地区	場所		旭川市東鷹栖	橋内試験道路		旭川市春光台	芦別市				—	—
	施工日		H21-8月	H22-10月		H23-11月	H24-9月				—	—
											骨材試験 規格値	
											凍上抑制層	路盤材
骨材試験	修正CBR	%	156.5	104.7	76.0	112.2	75.9	102.8	125.9	116.1	—	30%以上
	すりへり減量(粒径5~13)	%	43.6	32.7	47.6	42.9	44.7	39.5	41.4	45.7	—	45%以下
	安定性試験損失量	%	56.2	47.8	44.8	57.6	41.9	40.3	45.4	46.2	—	20%以下
	吸水率	%	32.41	28.77	43.24	31.33	40.41	38.49	40.26	44.23	—	—
	表面密度	g/cm ³	1.77	1.80	1.64	1.79	1.67	1.72	1.68	1.68	—	—
	絶乾密度	g/cm ³	1.34	1.40	1.14	1.36	1.19	1.24	1.20	1.16	—	—
ふるい分け試験			粒度範囲内	粒度範囲内	粒度範囲内	粒度範囲内	粒度範囲内	粒度範囲内	粒度範囲内	粒度範囲内	砂利:9%以下 碎石:15%以下	砂利:9%以下 碎石:15%以下
凍上試験 (試験方法:φ8)	凍上率	%	12.3	6.6	9.4		7.0	3.4	6.9	3.2	20%未満	20%未満
	判定:凍結様式1-1-1	20%未満	(合格)	(合格)	(合格)		(合格)	(合格)	(合格)	(合格)		

表-2-1に検討した再生骨材の室内試験の配合および試験結果を示す。また、最終配合を表-2-1の赤枠内に示す。最終配合の1バッチ当たりの重量は、フライアッシュ838kg、ボトムアッシュ263kg、切込砕石(5-13mm)150kg、セメント(高炉B種)360kg、清水500kgとした。フライアッシュとボトムアッシュの比率は一定の割合で配合され、焼却灰の品質については、定期的に溶出試験を実施し確認している。

(1) 修正CBR試験

最終配合の修正CBRの値は100%以上の値を示しており、下層路盤材料に使用する場合の修正CBRの規格値30%以上¹⁾を満足した。

なお、「北海道開発局 道路・河川工事仕様書」(以下、仕様書)では、凍上抑制層材料の修正CBRの規格値は設けられていない。

(2) ロサンゼルス試験(すり減り減量)

すり減り減量の規格値は、転圧時に骨材が細粒化することを防止するために設けられている試験方法である。下層路盤材料には規格値を設けているが、凍上抑制層には設定されていない。

すり減り減量の仕様書の規格値は、45%以下に設定されており、最終配合では、すり減り減量の規格値である45%程度を示し、規格値を外れる可能性が高い。

表-2-2 凍上試験結果(NEXCOの試験方法)

		再生骨材80mm級		切込砂利80mm級	
		施工前	凍結融解100サイクル	施工前	凍結融解100サイクル
凍上試験	凍上率 (%)	0.88	1.52	—	1.36
	凍上様式	1	1	—	1
	凍上性の判定	合格	合格	—	合格
	CBR保存率 (%)	90.6	—	—	—

(3) 吸水率及び密度について

最終配合の吸水率は、45.7%を示し、表層用の骨材の規格値2.5%以下と比較し、かなり高い数値を示した。焼却灰の影響により吸水性が高く、表乾密度は1.7程度を示し、通常骨材より1.0程度軽い材料である。

(4) 凍上試験

「社団法人 日本道路協会 排水工指針」の凍上試験方法による試験結果を表-2-2に示す。どの配合でも非凍上性を示した。

H22.4の再生骨材を用いた試験は、施工前、凍結融解100サイクル後の材料を用い、NEXCOの試験方法でも実施した。両方の材料ともに凍結様式は「1」となり、非凍上性の材料と評価できた。凍結様式とは、供試体を凍上させたときの供試体の凍結状態を5段階で表している。ここでの「1」とはコンクリート状凍結を表しており、氷晶がまったく認められない状態をいう。

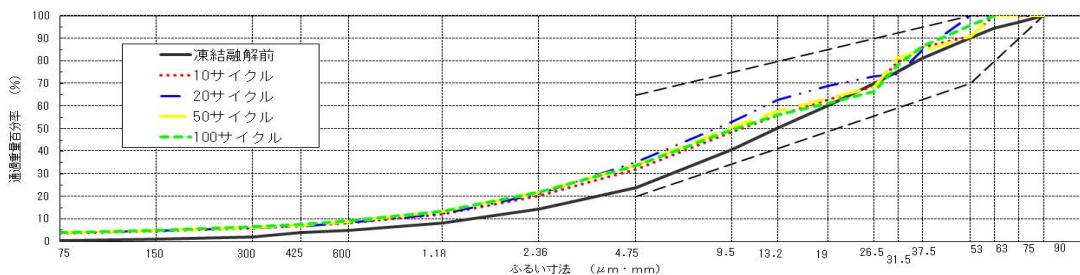


図-2-2 凍結融解による粒度曲線図（切込砂利）

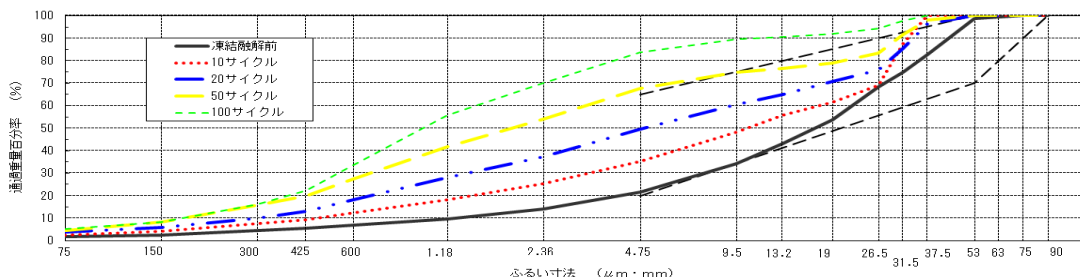


図-2-3 凍結融解による粒度曲線図（再生骨材）

表-2-3 溶出試験

分析項目試料 (土壌環境試験)	単位	土壌	全試験回数(回) (24.9~H25.9)	分析結果 (測定最高値)
		基準値		
ガドリウム	mg/L	0.01以下	13	0.001未満
鉛	mg/L	0.01以下	13	0.001未満
全シアン	mg/L	検出されないこと	13	不検出
六価クロム	mg/L	0.05以下	28	0.044
砒素	mg/L	0.01以下	13	0.001
総水銀	mg/L	0.0005以下	13	0.00016
アルキル水銀	mg/L	検出されないこと	13	不検出
セレン	mg/L	0.01以下	28	0.007
ほう素	mg/L	1以下	28	0.5
ふっ素	mg/L	0.8以下	28	0.62

表-2-4 含有量試験

分析項目試料 (含有量試験)	単位	含有試験	分析結果 (測定最高値)
		基準値	
ガドリウム	mg/Kg	150以下	15未満
鉛	mg/Kg	150以下	33
全シアン	mg/Kg	50以下	5未満
六価クロム	mg/Kg	250以下	25未満
砒素	mg/Kg	150以下	15未満
総水銀	mg/Kg	15以下	1.5未満
セレン	mg/Kg	150以下	15未満
ほう素	mg/Kg	4000以下	400未満
ふっ素	mg/Kg	4000以下	400未満

凍結融解100サイクル後の再生骨材の試料を用いて凍上試験を行った結果、骨材は凍結融解により細粒化したが、非凍上性の材料と評価できた。

また、凍結融解後の支持力低下を把握するため、凍結融解後のCBR試験を実施した。凍結融解後のCBR保存率は90.6%を示し、一般的な粗粒材の保存率70%と比較しても同等程度以上の値を示した。

(5) 凍結融解後の細粒化による粒度試験

凍結融解による再生骨材への影響を確認するため、凍結融解試験装置を用い、凍結融解後に粒度試験を実施した。粒度曲線図を図-2-2、図-2-3に示す。なお、図中の黒破線は80mm級の切込砕石の粒度範囲を示している。

試験条件は-18℃～+5℃のサイクルで10, 20, 50, 100回実施後、粒度試験を行い、再生骨材と切込砂利を比較した。凍結融解作用を受けた再生骨材の粒度

は細粒化する試験結果となった。ただし、凍上に影響する75μmふるい通過量は切込砂利と比較しても同程度の値を示した。

(6) 溶出試験

再生骨材に対して環境省に示されている第二種特定有害物質の8項目の溶出試験を実施し、環境に悪影響を及ぼす物質の溶出性について分析を行った。試験結果を表-2-3に示す。今回の分析結果において、環境上問題となる計量値は測定されなかった。またセメント量を増やした配合でも実施したが、土質基準値を越える数値は測定されなかった。

表-2-4に含有量試験結果を示す。再生骨材に含有する8項目の分析結果では、基準値以下の値を示し、基準値の1/10以下である。なお、「社団法人 日本道路協会 舗装再生便覧」では、有害物質の溶出量と含有量基準を満足することが望ましいとされている²⁾。

2.4 現地調査結果

現地調査項目を表-2-5に示す。現地試験では、施工性や施工時の品質、凍上や凍結融解に対する影響、融解期の支持力低下、供用性状について調査を行った。試験施工箇所は、A社構内道路、旭川市春光台、旭川市東鷹栖、芦別市の市道で調査を行った。試験施工箇所別の舗装構成を図-2-4～図-2-7に示す。

(1) 施工性および現場密度試験

再生骨材の施工性についてA社構内道路や芦別市において確認した。施工については通常の骨材と同様に実施したが、A社構内道路の凍上抑制層工区、旭川市春光台で仕様書¹⁾の規格値90%以上を満足できない結果となった(表-2-6)。

芦別市の試験施工箇所において、転圧回数を3通りのパターンで施工し、締固め度を比較した。転圧回数が2～4往復では、所定の締固め度が得られない結果であったが、6往復の転圧を行うことにより90%以上の締固め度が得ることができた。規格値を満足できなかった箇所は、転圧回数が不足していたと推察される。図-2-8に転圧回数と粒度分布の関係を示す。転圧回数が増加すると、骨材の細粒化がやや見られたが、凍上に影響を与える75 μ m以下のシルト分の増加は見られなかった。

また、再生骨材の最適含水比は40%程度であり、通常の骨材と比較し高いため、転圧回数に加え、含水比の管理についても締固め度を得るために重要となると考える。

(2) 凍上量および最大凍結深さの調査

凍上量の測定はレベル(水準器)を用い、路面高さを計測することにより凍上量を測定した。図-2-9に平成24年2月に測定した凍上量調査結果を示す。凍上量は3測線の計測を行い、平均値と最大値を示した。

凍上量の平均値や最大値は比較工区と同等程度の値を示した。再生骨材や通常骨材は非凍上性の材料であるが、路床の凍上や粗粒材料自体もある程度は凍上するため、その影響が生じたと推察できる。図-2-10に最大凍結深さを示す。旭川市春光台は凍結深度計を設置していないため、埋設した熱電対の温度データを用い、最大凍結深さを推定した。再生骨材の路床部(h=69cm)に埋設した熱電対はマイナスの温度を計測したことから69cm以上は凍結し、路床土まで凍結したと考えられる。このような気象条件下においても、舗装表面には凍上によるクラックは発生しなかった。

表-2-5 現地調査項目

調査項目	調査目的	試験対象工区			
		A社構内	春光台	東鷹栖	芦別
現場密度試験	密度の確認(砂置換)	○	○	-	○
骨材のふるい分け試験	骨材粒度を確認	○	○	-	○
施工性	施工性の確認	○	-	-	-
舗装体の温度測定	凍結融解回数の把握	○	○	-	-
凍上量調査	凍上量の影響確認	○	○	-	-
現場CBR試験	舗装体の支持力を把握	○	○	-	-
FWD調査	たわみ量の測定	○	○	○	-
横断凹凸量調査	わだち掘れ量の測定	-	○	○	-

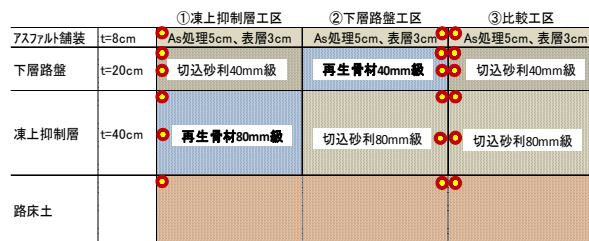


図-2-4 試験施工箇所 (A社構内) 施工時期 H22.10

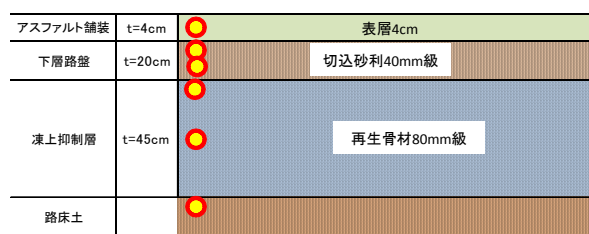


図-2-5 試験施工箇所 (旭川市春光台) 施工時期 H23.11

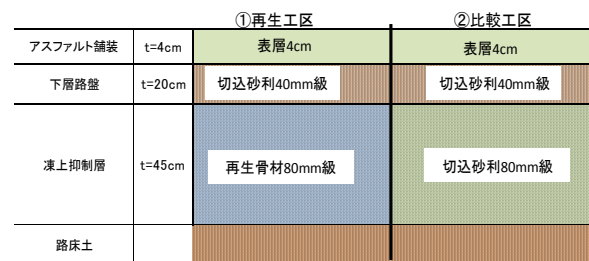


図-2-6 試験施工箇所 (旭川市東鷹栖) 施工時期 H21.8

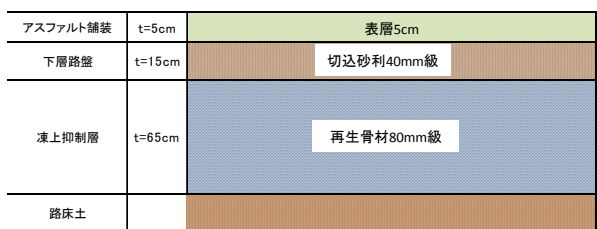


図-2-7 試験施工箇所 (芦別市) 施工時期 H24.9

表-2-6 現場密度試験

場所・工区名		再生骨材工区 現場密度(%)	比較工区 現場密度(%)
A製紙	凍上抑制層工区(80mm級)	89.4%	97.2%
	下層路盤工区(40mm級)	97.0%	
旭川市	春光台	86.7%	92.5%
芦別市	タイヤローラ(2往復工区)	84.1%	-
	タイヤローラ(4往復工区)	87.6%	
	タイヤローラ(6往復工区)	91.1%	

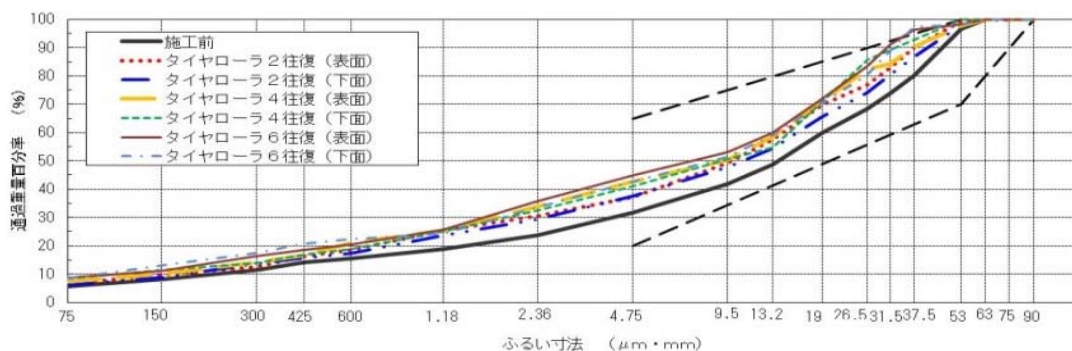


図-2-8 転圧回数と粒度分布の関係（芦別市）

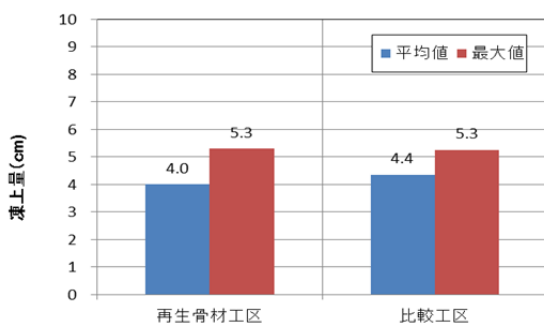


図-2-9 凍上量調査（旭川市春光台）

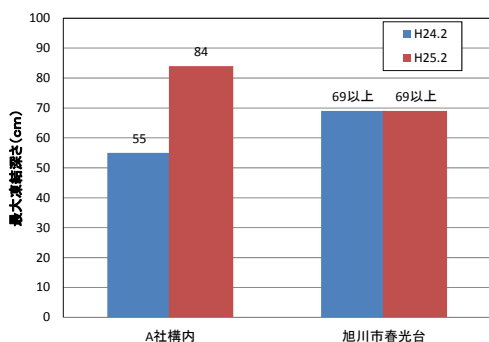


図-2-10 最大凍結深さ（A社構内・旭川市春光台）

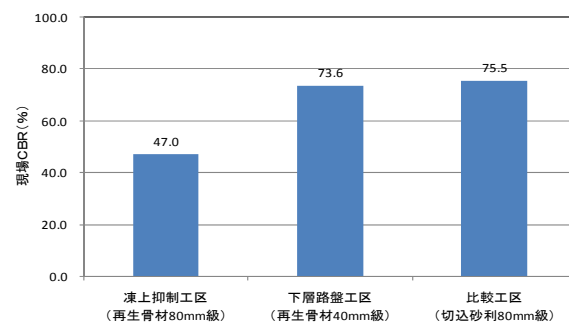


図-2-11 現場 CBR 試験（A 社構内）

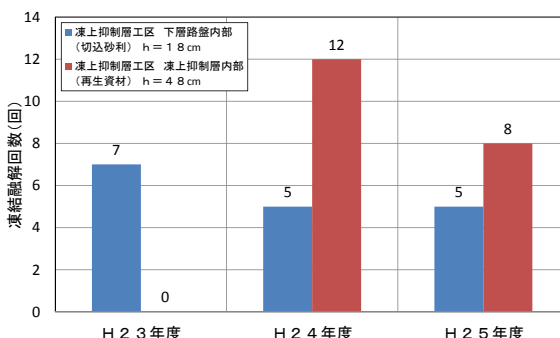


図-2-12 下層路盤・凍上抑制層の凍結融解回数

(3) 現場 C B R 試験（3年経過後）と粒度試験

A社構内道路では、施工後約3年経過した後に開削し、各工区において現場CBR試験を行った。現場CBR試験の試験結果を図-2-11に示す。凍上抑制層工区47.0%、下層路盤工区73.6%、比較工区75.5%を示し、各工区とも高い支持力を示した。図-2-12に年度別の凍結融解回数を示す。年度により凍結融解回数は異なるが、毎年5～10回程度の凍結融解は、下層路盤、凍上抑制層に作用している。

A社構内道路の試験施工箇所を開削後、再生骨材80mm級を採取し粒度試験を行った結果を図-2-13に示す。施工前、1年経過後、3年経過後の再生骨材の粒度を比較すると、1年経過後は、施工前に比べて凍結融解や転圧回数により細粒化が進行したが、3

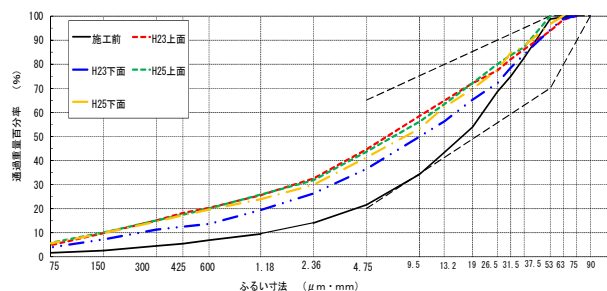


図-2-13 粒度分布の推移（A 社構内道路）

年経過後は凍結融解による細粒化の進行があまり進まなかった。

凍上に影響与える75μm以下ふるい通過量は5.7%であり、シルト分の増加はあまり見られない結果となった。

(4) FWD試験

旭川市春光台・東鷹栖の市道で再生骨材を使用した箇所で、車載型重錘落下式路面たわみ装置(以下、FWD)を用い、D0たわみ量を測定した。FWDとは、重錘を落下させて路面に衝撃を加え、そのときに発生する路面のたわみ量を測定し、舗装の構造性能を評価する装置である。

図-2-14、2-15にFWD調査結果を示す。調査は2012～2015年の融解期に調査を実施した。再生骨材工区と比較工区を比較すると、再生骨材工区のD0たわみ量は小さい値を示し、比較工区と同等程度以上の支持力を有していることを確認した。

(5) 横断凹凸量調査

図-2-16に旭川春光台および東鷹栖の横断凹凸量調査結果を示す。旭川市春光台は供用後約2年経過した路面性状結果である。再生骨材工区は比較工区と比較し、同等程度以上の供用性状を示している。旭川市東鷹栖の再生工区は供用後約4年、比較工区は約5年経過した区間である。再生工区も比較工区も良好な路面性状である。

2.5 まとめ

焼却灰を主原料とした再生骨材を舗装材料として使用した場合の適用性について以下に示す。

- 凍上試験の結果から、非凍上性の材料である事が確認できた。凍結融解により再生骨材は細粒化するが、75 μ mふるい通過量に関する凍上抑制層の規格は満足している。また、凍結融解後のCBR試験の保存率は90%程度を示しており、凍結融解後の支持力低下は粗粒材と同等以上であることが確認された。
- 第二種特定有害物質の溶出試験および含有量試験の結果、土壤環境基準以下となった。
- 締め固め度については、やや不足していた箇所もあったが、転圧方法を考慮することにより品質確保は可能と考えられる。
- 現場試験において、3年経過後の粗粒材については凍上に影響を与える75 μ mふるい通過量の増加は少なく、支持力も高い値を示した。また、現地の凍上量は比較工区と比べ同程度であり、沈下等もなく、路面は良好である。
- FWD試験による融解期の支持力の調査では、再生骨材工区のD0たわみ量は比較工区と比較し、たわみ量小さく、十分な支持力を有した。また、横断凹凸量調査結果でも、同等程度の供用性状を示した。

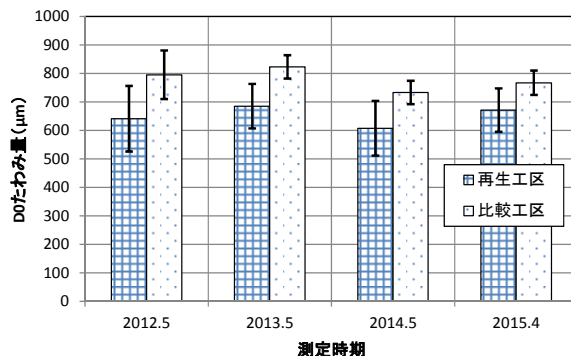


図-2-14 FWD試験 (旭川市春光台)

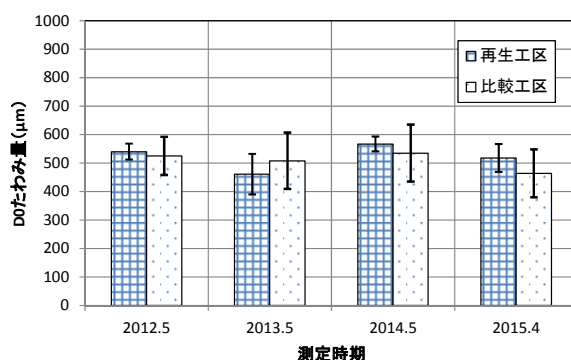


図-2-15 FWD試験 (旭川市鷹栖)

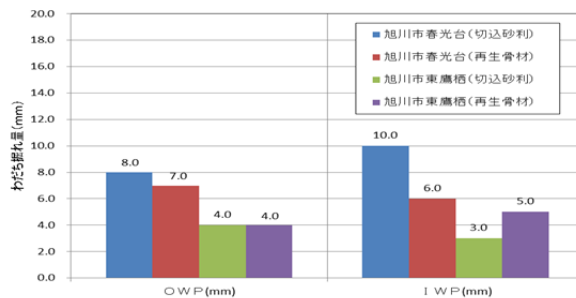


図-2-16 横断凹凸量調査 (旭川市春光台・東鷹栖)

以上の調査結果から、本焼却灰を主材とした再生骨材は、凍上抑制層として適用可能と評価できる。

(参考文献)

- 北海道開発局 道路・河川工事仕様書, pp.2-158～2-160, 平成25年度版
- 社団法人 日本道路協会: 舗装再生便覧, pp.111～118, 平成16年2月

3. 積雪寒冷地の舗装リサイクル技術の開発（ガラス）

3.1 はじめに

ガラスびんには、回収して何度も使用されるリターナブルびん（ビールや牛乳びんなど）と、一度の使用で捨てられるワンウェイびん（ドリンク剤や調味料のびんなど）の二種類がある。リターナブルびんは、繰り返し洗浄して何度も利用できるため、使い捨て容器に比べて環境負荷が低く、地球温暖化対策、3R対策の一体的な取組を進める上で、極めて有効な容器であり、平成26年度国内実績¹⁾で年間95.1万tが使用されている。一方、ワンウェイびんは年間107.0万t製造され、使用後は主に地方自治体が回収し、びん用カレット量として79.3万t、その他用途利用量として19.6万tが再利用されている。

表-3-1に日本容器リサイクル協会²⁾へ引き渡された後のガラスびんの利用用途を示す。ガラスびんが70%程度、路床・路盤・土壌改良用骨材が15%程度、舗装用骨材が1.5%であり、ガラスびん以外でも30%程度が他産業再生資材として利用されている。また、ガラスカレットのリサイクル率³⁾は、平成8年度以降年々増加しており、平成26年度は74%であり、資源有効利用促進法における平成32年度までの目標75%に近づいている。ただし、平成26年度においては、回収されないワンウェイびんや資源化できない残渣42万tが最終処分場に埋め立てられていると推定されている²⁾。

ガラスびんの建設業への利用はアスファルト混合物に混入している事例が多く報告⁴⁾されている。文献では品質管理の面においては、ガラスカレット入りアスファルト混合物は剥離しやすく、走行自動車による骨材飛散も指摘され、混入率を10%以下とすることが望ましいとされている。

ガラスカレットをさらに利用促進するためには、アスファルト混合物以外の利用方法も検討する必要がある。ガラスカレットの土木材料としての有効利用方法のひとつに、凍上抑制層材料としての適用が考えられる。北海道のような積雪寒冷地では、凍上対策として路床土の一部を凍上しにくい材料で置換する置換工法が対策としてとられている。そこで、本研究ではガラスカレットを凍上抑制層として有効利用することを目的として、ガラスカレットの凍上抑制層への適用性について検討した。

3.2 試験施工

適用性の検討は、使用した骨材の材料試験と構内道路での試験施工結果から得られたデータを用い検

表-3-1 ガラスびんの利用用途²⁾

利用用途	比率(%)
ガラスびん	71.8
路床・路盤・土壌改良用骨材	15.1
ガラス短繊維	10.4
舗装用骨材	1.5
軽量発泡骨材	0.4
その他の窯業原料	0.3
コンクリート二次製品用骨材	0.3
その他の工業材料	0.1
焼成タイル	0.0

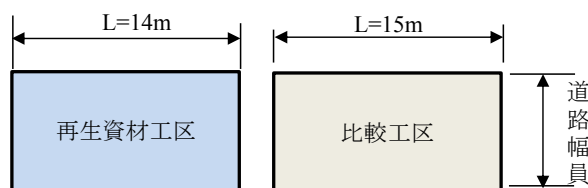


図-3-1 試験施工の工区割

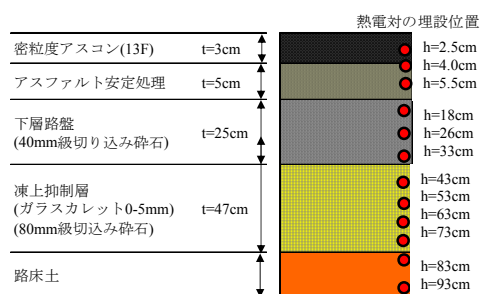


図-3-2 舗装構成と熱電対の埋設位置

討した。なお、構内道路は旭川市が管理し除雪は市道と同水準で実施している。

図-3-1に示す試験施工の工区割は、ガラスカレットを凍上抑制層に使用した再生資材工区と旭川地区で一般的に使用されている切込砕石80mm級(以下、切込砕石)を凍上抑制層に使用した比較工区を設けた。図-3-2に示す試験施工の舗装構成は旭川市の市道の舗装構成に準拠した。

表-3-2に調査項目を示す。調査項目は試験施工で用いた材料の性状試験やガラスカレットの環境安全性を評価する溶出試験や含有量試験、施工時の締固め度等の品質管理、図-3-2に示す銅-コンスタンタン熱電対(以下、熱電対)による温度計測、温度データを利用した凍結深さの計測、修正 Berggren 式による凍結深さの推定⁵⁾、冬期間の凍上量調査、融解期の支持力を把握するために実施した FWD 試験、供用性状の把握、およびガラスカレットを利用することによる CO₂ 排出量の試算等を行った。

(1) 室内試験結果

凍上抑制層材料に使用したガラスカレット，および切込碎石の室内試験結果を表-3-3に示す。

a) 骨材の微粒分試験

微粒分試験は5mm以下の骨材を対象に実施するものであり，骨材の凍上性を評価する試験である。北海道開発局「道路・河川工事仕様書」⁶⁾の規格値は，5mm以下の骨材に対する75μm以下の比率を砂6%以下，切込碎石15%以下とされている。ガラスカレットは砂の規格値を満足する性状となっている。

b) 粗骨材の密度・吸水率試験

ガラスカレットの密度は切込碎石と比較し，同程度であるが，吸水率は0.19%を示し，切込碎石2.3%と比較し小さい結果となった。

c) 硫酸ナトリウムによる骨材の安定性試験

骨材の安定性試験は凍結融解の耐久性を評価するものである。試験結果ではガラスカレットの安定性試験損失量は切込碎石と比較し低い結果となった。試験結果からガラスカレットの凍結融解に対する耐久性は，吸水率が低い影響により切込碎石と比較し高いと考えられる。

d) 突き固めによる土の締固め試験

図-3-3にガラスカレットと切込碎石の試験結果を示す。切込碎石は最適含水比が明確に分かる凸型の締固め曲線となっているが，ガラスカレットは吸水率が低いため，含水比を変動させても乾燥密度に変動があまり見られない材料であり，含水比の変動があっても所定の締固め度が得られやすい材料である。

e) CBR試験

凍上抑制層は路床の一部を構成する材料であるので，CBR試験を実施した。ガラスカレットは切込碎石と比較し支持力は低いが，設計CBRの上限値である20%⁷⁾は確保されている。

f) 凍上試験・凍結融解後のCBR試験

NEXCO試験方法による凍上試験の結果では，ガラスカレットは非凍上性の材料であることが確認された。また，凍上試験後のCBR試験では，凍結融解後の支持力を評価するCBR保存率は切込碎石より大きく凍結融解作用を受けても支持力の低下は少ないことが確認された。

g) 溶出量試験・含有量試験

他産業再生資材の環境安全性を評価する基準は定められていないが「土壌汚染対策法施行規則」⁸⁾に準拠し，溶出試験および含有量試験を実施した。表-3-4, 5に試験結果を示す。試験結果では溶出試験，含有量試験においても基準値を満足していた。今回

表-3-2 調査項目

調査項目	試験方法	試験目的
材料の性状試験	表-3参照	試験施工で使用了材料の性状把握 環境安全性の把握
舗装体温度の測定	熱電対による温度計測	凍結期間の把握 路床凍結の有無の把握
凍結深さの測定		凍結深さを把握
凍上量調査	水準測量	凍上の影響を把握
舗装体の支持力測定	FWD試験	舗装体の支持力を把握
品質管理	砂置換法による土の密度試験、球体落下試験	締固め度の把握
	転圧機械や転圧回数把握	施工性の把握
CO ₂ 排出量の試算	実績値や参考文献による方法	CO ₂ 削減量の把握

表-3-3 室内試験結果

試験名	単位	ガラスカレット (0~5mm)	切込み碎石 (0~80mm)	
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/cm ³	2.49	2.56
	絶対乾密度	g/cm 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	
突き固めによる土の締固め試験	最大乾燥密度	g/cm ³	1.64	2.043
	P _{dmax}			
	最適含水比 W _{opt}	%	3.2	7.8
CBR試験	%	27.2	153.6	
凍結融解後のCBR試験	%	22.3	89.5	
CBR保存率	%	82	58.3	
土の凍上試験 (NEXCO試験方法)	凍上率	%	0.3	0.8
	凍結様式	-	コンクリート状凍結	コンクリート状凍結
	凍上性の判定	-	非凍上性	非凍上性

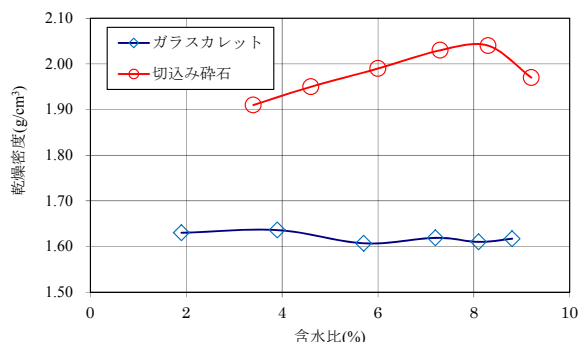


図-3-3 凍上抑制層材料の突き固め試験

表-3-4 溶出量基準と試験値

項目	溶出基準(mg/l)	測定値 (mg/l)	判定
カドミウム及びその化合物	0.01以下	0.001未満	○
六価クロム化合物	0.05以下	0.002未満	○
シアン化合物	検出されないこと	不検出	○
水銀及びその化合物	0.0005以下	0.0001未満	○
アルキル水銀	検出されないこと	不検出	○
セレン及びその化合物	0.01以下	0.001未満	○
鉛及びその化合物	0.01以下	0.003未満	○
砒素及びその化合物	0.01以下	0.001未満	○
ふっ素及びその化合物	0.8以下	0.1未満	○
ほう素及びその化合物	1以下	0.1未満	○

表-3-5 含有量基準と試験値

項目	含有量基準(mg/kg)	測定値(mg/kg)	判定
カドミウム及びその化合物	150以下	10未満	○
六価クロム化合物	250以下	10未満	○
シアン化合物	50以下	5未満	○
水銀及びその化合物	15以下	1未満	○
アルキル水銀	—	—	—
セレン及びその化合物	150以下	10未満	○
鉛及びその化合物	150以下	10未満	○
砒素及びその化合物	150以下	10未満	○
ふっ素及びその化合物	4000以下	40未満	○
ほう素及びその化合物	4000以下	40未満	○

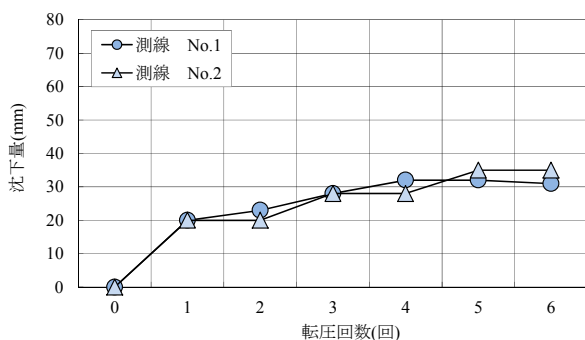


図-3-4 転圧回数と沈下量の関係(再生資材工区)

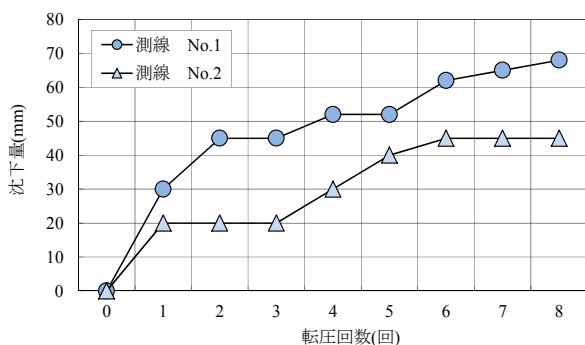


図-3-5 転圧回数と沈下量の関係(比較工区)



写真-3-1 再生資材工区の転圧状況

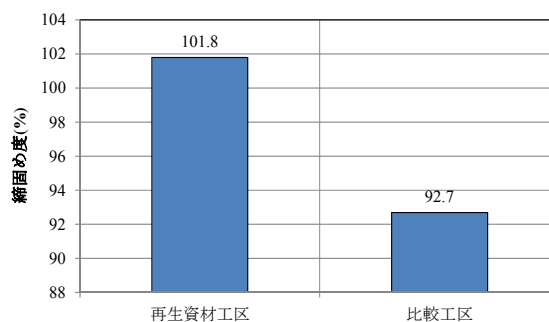


図-3-6 締固め度



写真-3-2 球体落下試験

試験施工で用いたガラスカレットの環境安全性は問題がないことを確認した。

(2) 現地調査結果

a) 品質管理

再生資材工区および比較工区の転圧回数と沈下量の間関係を図-3-4、図-3-5に、作業状況は写真-3-1に示す。使用した転圧機械の選定については、再生資材工区は施工性を考慮し砂の転圧に有効な振動ローラ、比較工区はタイヤローラを使用した。再生資材工区と比較工区では、転圧機械が異なるため単純な比較はできないが、再生資材工区は振動ローラによる転圧において、転圧回数が4~6回程度で沈下が収束した。また、転圧終了までの沈下量は30mm程度である。一方、切込砕石を用いた比較工区では、タ

イヤローラを用いた転圧において、転圧回数が6~8回程度で沈下が収束し、転圧終了までの沈下量は40~70mm程度となった。

再生資材工区および比較工区の凍上抑制層において砂置換法により密度測定を行い、締固め度を計測した結果を図-3-6に示す。再生資材工区は平均101.8%、比較工区は平均92.7%となり、再生資材工区は比較工区より高い値を示した。なお、再生資材工区の転圧作業は振動ローラ(転圧回数6回)、比較工区はタイヤローラ(転圧回数8回)を用いて施工を行ったが、作業性に問題はなかった。

次にガラスカレットの品質管理手法を検討するために、現場で簡易に測定できる球体落下試験を実施した(写真-3-2)。この試験方法は北海道開発局「道

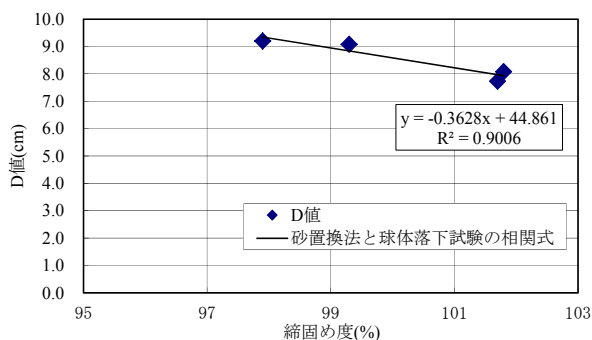


図-3-7 砂置換法と球体落下試験の関係

路・河川工事仕様書」において凍上抑制層材料に用いられる火山灰や砂の締固め管理に用いられている試験方法である。砂とガラスカレットの粒度分布が似ているので、砂置換法により得られる締固め度と球体落下試験で得られる D 値を比較した。試験結果を図-3-7 に示す。図には他の施工箇所でもガラスカレットの締固め度と球体落下試験を実施したデータも追加し図示した。試験結果では砂置換法により得られた締固め度と D 値の関係の相関は高く、球体落下試験を用いても締固め度の品質管理ができる可能性が示唆された。

b) 舗装体温度

舗装体温度の計測結果の事例として調査の初年度である 2010 年の温度データを示す。試験施工箇所の 2010 年における凍結指数は 531℃・days であり、調査期間中 5 ヶ年（2010～2014 年）の平均値 623℃・days と比較し温暖な気象条件であった。試験施工区間におけるアスファルト混合物層の表面部（深さ 2.5cm）、下層路盤層の中間部（深さ 26cm）、凍上抑制層の中間部（深さ 53cm）、路床の上面部（深さ 83cm）の温度における測定結果を図-3-8～11 に示す。

アスファルト混合物層の温度は、再生資材工区と比較工区においてあまり差は見られず、舗装表面の舗装体温度は両者とも同程度と考えられる。下層路盤層内部の温度は 1～2℃程度、凍上抑制層内部の温度は 1～3℃程度の温度差が見られ、再生資材工区の方が比較工区に対して 2 月上旬～下旬まで高い温度で推移している。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凍結した期間は 19 日間であるのに対して、再生資材工区は 0 日であった(表-3-6)。一方、2 月下旬以降は、下層路盤層、凍上抑制層、路床の温度データは逆転し、比較工区が高い結果となった。これは、後述するガラスカレットの熱伝導率が切込砕石と比較し小



図-3-8 舗装体の温度 (アスファルト混合物層)

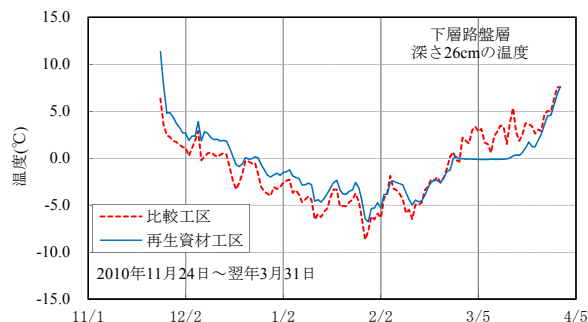


図-3-9 舗装体の温度 (下層路盤層)



図-3-10 舗装体の温度(凍上抑制層)

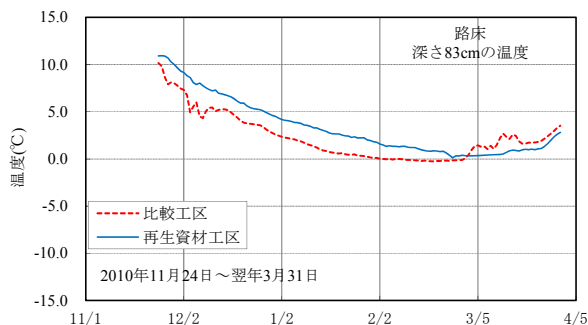


図-3-11 舗装体温度 (路床)

表-3-6 路床の凍結期間と凍結日数

年度	工区	凍結指数 (°C・days)	路床の凍結期間	路床の凍結日数 (日)
2010	再生資材工区	531	無し	0
	比較工区		2/6~2/28	19
2011	再生資材工区	799	2/24~3/5	11
	比較工区		1/28~4/7	71
2012	再生資材工区	755	2/26~3/18	22
	比較工区		1/23~4/9	78
2013	再生資材工区	618	無し	0
	比較工区		2/5~4/3	59
2014	再生資材工区	410	無し	0
	比較工区		2/10~3/7	27

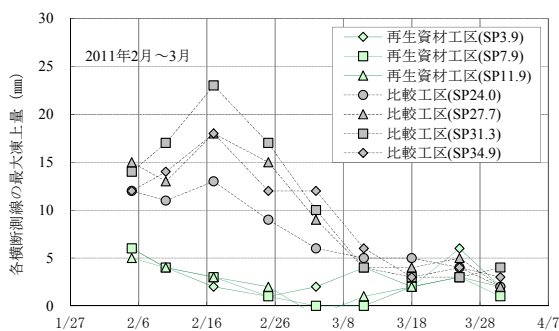


図-3-12 凍上量調査

表-3-7 各材料の熱定数

材料名	乾燥密度 ρ_d (g/cm ³)	含水比 w (%)	熱伝導率 λ (W/m/K)	熱容量 Q ($\times 10^{-6}$ (J/m ³ /K))	融解潜熱 L ($\times 10^6$ (J/m ³))
アスファルト混合物	—	—	1.448	1.875	0
切込碎石	2.043	5.6	2.378	1.812	38.3
ガラスカレット	1.640	3.2	0.14	1.332	17.6
路床土	1.799	16.2	1.94	2.195	97.6

さいため、冬期間は舗装体に寒さを伝達しにくく、融解期は下面からの地熱を伝達しにくい影響と考えられる。

c) 路床の凍結期間と凍結日数

表-3-6 に再生資材工区と比較工区の路床の凍結期間と凍結日数を示す。表には併せて凍結指数も記載した。5 年間の調査期間の内、再生資材工区の路床に凍結が入ったのは 2011, 2012 年の 2 年であり、2010, 2013, 2014 年は路床に凍結が入っていない。2011, 2012 年は凍結指数が 700°C・days 以上の寒冷な年であった。また、路床に凍結が入った年度でも路床の凍結日数は、比較工区と比べて 60 日間程度短くガラスカレットの断熱効果が確認された。

d) 凍上量調査

舗装体の凍上の影響を把握するため、再生資材工区では 3 測線、比較工区では 4 測線で凍上量を計測した。2010 年に計測した凍上量調査の結果を図-3-12 に示す。比較工区において凍上量が 20mm 以上であるのに対し、再生資材工区では 5mm 程度と凍上量は明らかに小さくなっている。これは、比較工区では

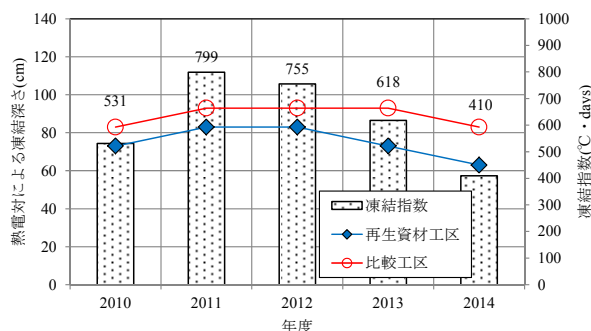


図-3-13 熱電対の温度計測による最大凍結深さ

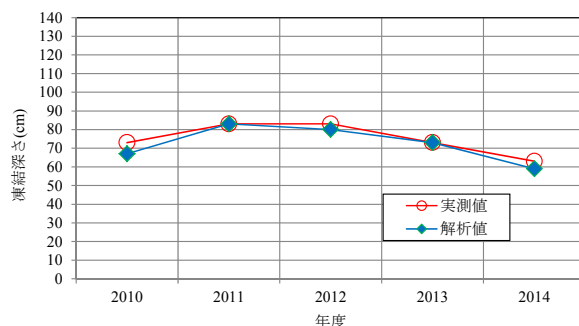


図-3-14 最大凍結深さの実測値と解析値の関係 (再生資材工区)

路床内部まで凍結が進入していたが、再生資材工区では路床に凍結が入らなかったためと考えられる。また、表-3-3 の材料試験の結果に示すように、ガラスカレットの凍上率は 0.3%、切込碎石の凍上率は 0.8%と、ガラスカレットの方が凍上しにくい材料となっていることも影響していると考えられる。

e) 最大凍結深さ

最大凍結深さは図-3-2 に示す熱電対による温度データにより算出した。実測値による最大凍結深さについては、最深部の熱電対がマイナスになった位置の値とした。また、修正 Berggren 式⁵⁾による凍結深さの推定も併せて実施した。表-3-7 に各材料の熱定数を示す。熱定数の算出は「寒冷地地盤工学」⁵⁾を基に算出した。また、ガラスカレットの熱伝導率はサーマルプローブ法によって算出した参考文献⁹⁾の値を引用した。ガラスカレット、切込碎石、路床土の熱容量と融解潜熱は、施工時に採取した試料の含水比、乾燥密度を用い算出した。

図-3-13 に熱電対の温度計測による最大凍結深さを示す。各年度とも再生資材工区の最大凍結深さは比較工区より 10~20cm 程度浅い結果となった。ただし、熱電対の最深部の位置でマイナス気温を計測した比較工区は更に最大凍結深さは深いことが予想される。

そこで、修正 Berggren 式を用いて最大凍結深さの推定を実施した。図-3-14 に再生資材工区の最大凍結深さの実測値と解析値の関係を示す。実測値と解析値の差は 0~6cm であり、10cm 以内の範囲に収まっており、精度は比較的高いと考えられる。

図-3-15 に比較工区の最大凍結深さの実測値と解析値の関係を示す。凍結指数が低い年度であった 2010 年の実測値と解析値の差は 9cm, 2014 年は 4cm であった。また、最大凍結深さが 93cm である 2011~2013 年度は、解析値では 120~130cm 程度と試算された。図-3-16 に解析による最大凍結深さを示す。再生資材工区と比較工区の差は 20~50cm 程度あることが解析結果から試算された。

f) FWD 試験

図-3-17 に FWD 試験の結果を示す。図には凍結指数も併せて記載した。FWD 試験は 2010 年 11 月の施工後に初期値を測定し、その後の追跡調査では舗装体の支持力が低下する融解期に行ない、測定期間は 5 ヶ年間実施した。図に示す D0 たわみ量は 49KN に荷重補正後、20℃に温度補正¹⁰⁾した値を用いた。

再生資材工区と比較工区の初期値に着目すると比較工区と比べて D0 たわみ量は同程度の舗装体の支持力を示している。また、融解期の追跡調査の結果、再生資材工区は比較工区と比べて同程度の支持力を有していることが確認された。

再生資材工区および比較工区の D0 たわみ量と凍結指数を比較すると、凍結指数が大きくなるに伴い D0 たわみ量も大きくなる傾向が見られ、路床により深く凍結が入った年は D0 たわみ量も大きくなっていることが確認できる。

g) 供用性状

試験施工箇所の状況を写真-3-3 に示す。冬期間は除雪ステーションとなっており、除雪車も頻繁に走行する区間である。5 年経過後のわだち掘れ量は比較工区 8mm, 再生資材工区 12mm であり大きな差は見られない。また、どちらの工区も良好な路面状態である。

h) CO₂ の削減効果

「舗装の環境負荷低減に関する算定ガイドブック」(以下、ガイドブック)¹¹⁾による手法を用い、ガラスカレットを凍上抑制層に利用した場合の CO₂ 排出量の削減効果を算出した。

表-3-8 に CO₂ 排出量算定の設定条件を示す。ガラスカレットの単位容積質量は実績値、ロス率は切込砕石と同じ値とし、切込砕石の単位容積質量およびロス率はガイドブックの値を使用した。

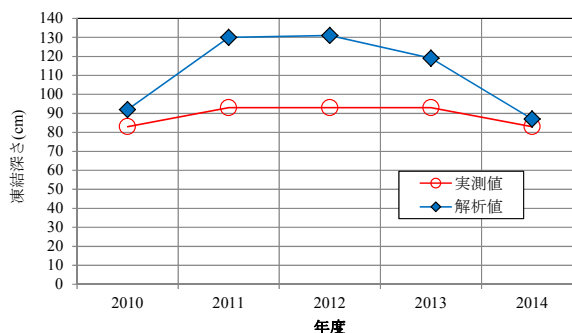


図-3-15 最大凍結深さの実測値と解析値の関係 (比較工区)

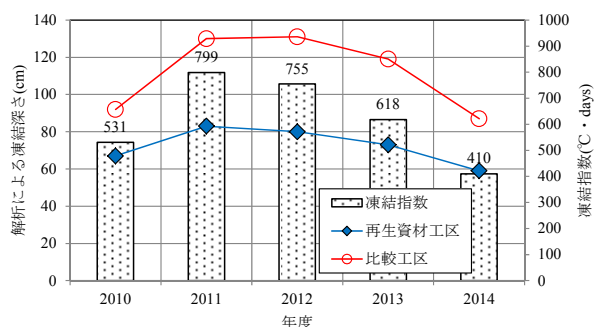


図-3-16 解析による最大凍結深さ

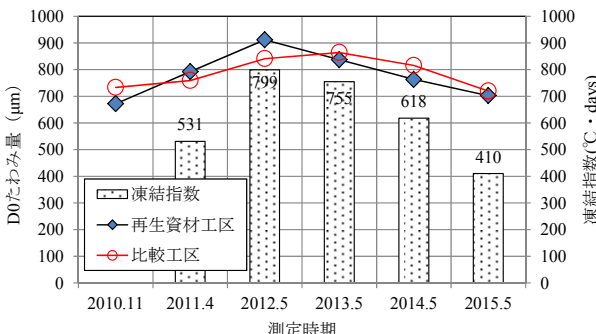


図-3-17 FWD 試験



写真-3-3 試験施工箇所の状況

表-3-9に施工機械・素材のCO₂原単位を示す。算出に当たっては使用する施工機械は同一とした。なお、ガラスカレットのCO₂原単位は製造工場の消費電力の実績値を用い算出したものである。

図-3-18にガラスカレットを使用した場合のCO₂排出量の削減効果を示す。今回の設定条件を用い試算した場合、12%程度の削減効果があることを確認した。

3. まとめ

本論文では、積雪寒冷地においてガラスカレット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証した。以下に得られた知見を示す。

(1) ガラスカレットの材料性状

ガラスカレットは凍上試験の結果、非凍上性の材料であることを確認した。また、凍結融解作用を受けた後のCBR保存率は82.0%を示し切込砕石より高いことや安定性試験損失量も低いことから、ガラスカレットは凍結融解による支持力低下が少なく凍結融解による耐久性が高い材料と考えられる。

(2) 環境安全性

ガラスカレットを用い溶出試験や含有量試験を実施した結果、環境上問題となる項目はなく、環境安全性に問題がないことを確認した。これは、収集するガラスびんが主に飲料用であることや、ガラスびんの成分がSiO₂等の安全な素材であることが考えられる。

(3) 品質管理

ガラスカレットの転圧作業は振動ローラを用いて施工を行ったが、作業性には問題はなく、6回程度の転圧を行うことで所定の締固め度を得ることができた。

砂置換法以外の方法として現場で品質管理が簡易な球体落下試験を実施した結果、品質管理として活用できる可能性があることを確認した。

(4) 路床の凍結期間・最大凍結深さ

ガラスカレットの熱伝導率が切込砕石と比較し低いことから熱を伝導しにくい材料であり断熱効果がある。そのため、比較工区では路床に凍結が入るが、再生資材工区では路床に凍結が入らない年があることを確認した。また、比較工区と比べて下層路盤、凍上抑制層、路床の温度が下がりにくく、再生資材工区の路床が凍結した年でも、路床の凍結期間を60日間程度短縮できることを確認した。さらに、ガラスカレットは凍上抑制層に使用すると断熱効果により最大凍結深さの低減は、実測値では最大20cm程度

表-3-8 CO₂排出量算定の設定条件

項目	単位	数値
施工面積	m ²	1,000
骨材運搬距離	km	20
骨材運搬速度	km/h	20
重機運搬距離	km	40
重機運搬速度	km/h	40
凍上抑制層厚	cm	20
切込砕石の単位容積質量	g/cm ³	1.57
ガラスカレットの単位容積質量	g/cm ³	1.62
凍上抑制層のロス率	%	27

表-3-9 施工機械・素材のCO₂原単位

名称	規格	単位	原単位(kg-CO ₂ /単位)
切込砕石	80mm級	t	7.98
ガラスカレット	0~5mm	t	5.07
モーターグレーダー運転	油圧式ブレード幅3.1m	日	193.00
ロードローラ運転	マカダム10~12t	日	144.75
タイヤローラ運転	8~20t	日	204.98
ダンプトラック運搬	10t	日	50.28
セミトラクタ運搬	25t積	日	75.42

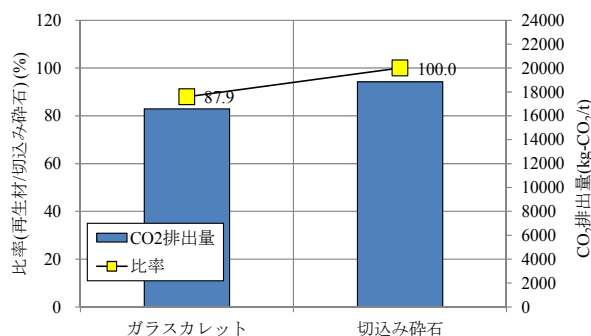


図-3-18 CO₂排出量の比較

あることを確認した。ただし、最深部の熱電対がマイナス気温になった箇所の実測の最大凍結深さは分からないので修正 Berggren 式を用い最大凍結深さを試算した結果、解析値では最大50cm程度低減できることを確認した。

(5) 凍上量調査

再生資材工区の凍結が路床まで入らない年度の凍上量では、再生資材工区の凍上量が比較工区より小さい結果となった。これは、ガラスカレットの断熱効果によるものと考えられる。

(6) 融解期の支持力・供用性

FWD 試験では融解期における再生資材工区のD0たわみ量の値は比較工区と同程度であること、供用後のわだち掘れ量も同程度であり、路面状況も良好であることから、供用性には問題ないと考えられる。

(7) CO₂の削減効果

ガラスカレットを使用した場合のCO₂排出量の削減効果を試算した結果、12%程度の削減効果を得られることを確認した。

以上の結果から、ガラスカレットの材料性状としては、非凍上性であり凍結融解の影響を受けにくい材料であることが確認された。また、作業性や環境安全性に問題がなく、ガラスカレットの断熱効果により凍結深さを低減することができ、供用性状にも問題がないことが確認された。上記の結果を踏まえると積雪寒冷地においてガラスカレットを凍上抑制層材料として適用することについては問題ないと考えられる。ただし、ガラスカレットの品質は変動する可能性があるため、環境安全性を確認後、使用することが望ましい。

参考文献

- 1) ガラスびん 3R 促進協議会ホームページ：
<http://www.glass-3r.jp>
- 2) 日本容器包装リサイクル協会ホームページ：
<http://www.jcpra.or.jp>
- 3) 経済産業省ホームページ：<http://www.meti.go.jp>
- 4) 独立行政法人土木研究所：建設工事における他産業リサイクル材料利用技術マニュアル，pp.184-188，2006.
- 5) 社団法人地盤工学会北海道支部：寒冷地地盤工学-凍上被害とその対策-，pp.32-52，2009.
- 6) 北海道開発局：平成28年度 北海道開発局 道路工事仕様書，pp.3-30-33，2016.
- 7) 社団法人日本道路協会：舗装設計便覧，p.70，2006.
- 8) 社団法人日本道路協会：舗装再生便覧(平成22年度版)，pp.117-119，2010
- 9) 畢春菴，鈴木輝之，澤田正剛，山下聡：凍上対策に用いる粒状材料の熱伝導率，土木学会論文集 No.785/III/70，pp.83-92，2005.
- 10) 財団法人道路保全技術センター：活用しよう！FWD，p.21，2005.
- 11) 公益社団法人日本道路協会：舗装の環境負荷低減に関する算定ガイドブック，pp.8-13，2014.

4. 積雪寒冷地における他産業再生資材の舗装材料としての適用方法に関する手引き(案)

本研究成果をまとめ、「積雪寒冷地における他産業再生資材の舗装材料としての適用方法に関する手引き(案)」を作成した。

本手引き(案)は、積雪寒冷地において、他産業再生資材を建設工事の舗装材料へ利用する場合に、これらの品質試験と評価方法および利用技術の手引き書として活用することを目的として作成した。

概要として、本手引き(案)における他産業再生資材を舗装用材料として活用する場合の考え方をフロー図に示す。(図-4-1)

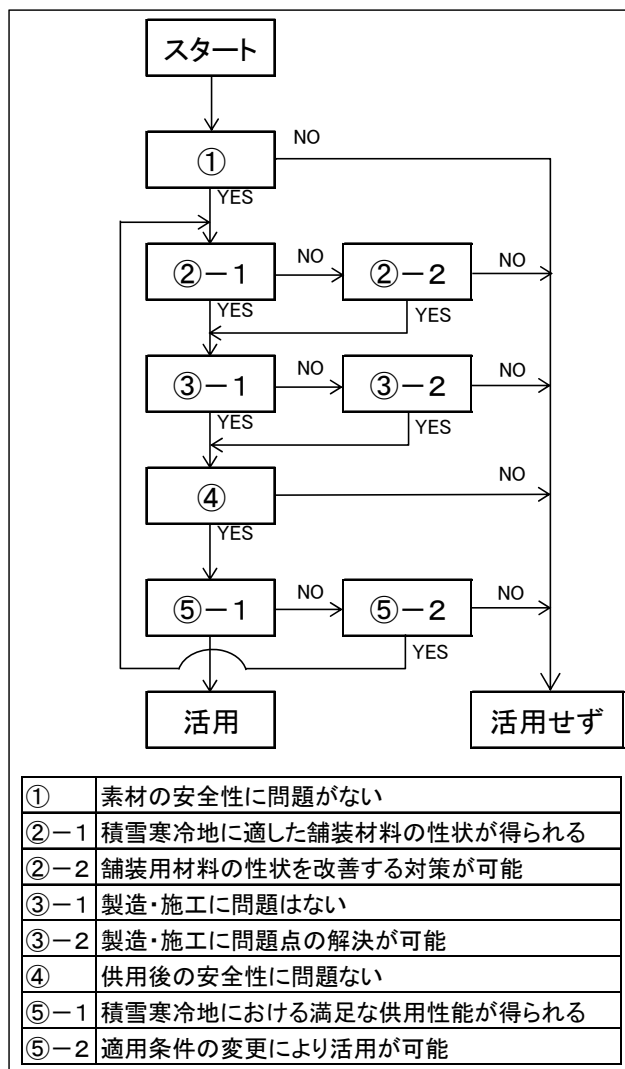


図-4-1 他産業再生資材の舗装材料として活用する場合の考え方(案)

このフロー図は「舗装再生便覧」の考え方に積雪寒冷地特有の留意事項を付加したものである。

他産業再生資材を舗装用材料として活用する場合の各段階における留意事項を列記する。

① 素材の安全性に問題がない

他産業再生資材は、単体として溶出試験と含有量試験により規格値を満足すること。これは、他産業再生資材は繰り返しリサイクルを前提としている材料であるため、リサイクル時に材料の偏り等により、溶出量または含有量が規格を満足しないことが発生し再利用時に支障をきたすことが想定されるためである。

また、製造・施工時に有毒ガスの発生などの可能性がないかを確認する。

なお、素材の安全性については、計量証明書や他産業発生資材の製造者が発行する試験成績書により確認する。

②-1 積雪寒冷地に適した舗装用材料の性状が得られる。

他産業再生資材は、積雪寒冷地特有の凍上や凍結融解等に対する性能を有し、舗装用材料として満足する性状であること。舗装用材料として満足な性状が得られていれば、舗装としての性能はおおむね確保されていると考えられる。また、一部満足されていない性状がある場合でも、舗装に新たな性能が期待できる場合には、これらも勘案して評価する。

②-2 舗装用材料の性状を改善する対策が可能

舗装用材料として満足されない場合でも、使用量の制限や改質剤の添加などで品質の改善が可能な場合がある。これらの対策の有無と対策に要する費用を勘案して採否を判断する。

③-1 製造・施工性に問題はない

他産業再生資材の製造は、特殊なプラントが必要になることや製造工程が特殊な場合がある。施工性においては他産業再生資材の留意事項を踏まえた施工を行うこと。

③-2 製造・施工性の問題点の解決が可能

製造・施工に問題点がある場合でも、製造方法お

よび施工方法の改善（常温混合など）により問題点を解決できる場合がある。これらの対策の有無と対策に要する費用を勘案して採否を判断する。

④ 供用後における安全性に問題はない

供用後に舗装の変状や有害物の溶出の有無を確認することや、舗装の切削が再生利用の過程で有害物が発生する可能性がないかを確認する。特に、複数の他産業再生資材を同一舗装用材料に使用した場合は留意する。

⑤-1 積雪寒冷地における満足な供用性能が得られる

供用性能を最終的に確認するため、実路で試験舗装を行い交通に供し、定期的に路面性状などの観測を行う。試験舗装を実施するに際しては、必要とするデータが得られる適切な規模とする。路面性状調査では、わだち掘れ調査や凍上量等の路面性状の確認を行い満足な供用性能を有しているか確認を行う。

⑤-2 適用条件の変更により活用が可能

試験舗装により、所定の供用性能に満たない場合でも、供用条件によっては利用することができる場合がある。舗装用材料の特性にあった適用箇所を再度検討する。

⑥ 活用

ここでいう「活用」とは、一般工事での使用できることを指す。また、ライフサイクルコストの他に、ライフサイクルアセスメントなどにより、環境負荷低減に対する考慮も勘案して採否を判断する。

その他(データの保管)

他産業再生資材が混入した舗装材料を再利用する際の対応についてもあらかじめ明確にしておく必要がある。

使用実績の無いもしくは少ない他産業再生資材を利用する場合には、使用時には予測し得なかった事案が将来的に生じることもあり得る。このため、他産業再生資材の施工段階から供用段階までの履歴を記録し、資材の品質や使用箇所などに関するトレーサビリティを確認するとよい。

RESEARCH ON PAVEMENT TECHNOLOGY REALIZING A LOW CARBON SOCIETY AND EVALUATION METHOD (3)

Budget : Grants for operating expenses general account

Research Period : FY2011-2015

Research Team : Road Maintenance Research Team

Author : KIMURA Takashi

MARUYAMA Kimio

ABE Ryuji

UENO Chigusa

OOYAMA Kentarou

Abstract :The purposes of this study are to develop pavement recycling technology and developing low carbon pavement technology for reducing CO₂ in pavement construction in cold snowy regions. With the purpose of developing low-carbon pavement technologies for snowy cold regions, the Guideline for Application of Warm-mix Asphalt Pavement Technologies (draft) was formulated based on the data obtained from test construction using warm-mix technologies. The CO₂ reductions afforded by the technologies for lowering the mixing temperature and using recycled materials were clarified in tests done during that year. To develop technologies for pavement that incorporates recycled materials in snowy cold regions, methods for applying recycled materials generated by industries other than the road construction were examined. “Guidelines on Application of Materials Recycled from Industries Other Than the Road Construction to Pavement Works in Snowy Cold Regions (draft).” was draw up based on an examination of the application of materials recycled from industries other than the road construction. The aim is to develop pavement recycling technology for snowy cold regions.

Key words : low-carbon society, warm mix pavement ,recycle, carbon reduction, other industrial wastes