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：熊谷政行、丸山記美雄、
安倍隆二、星卓見、大山健太朗

【要旨】

本研究では、積雪寒冷地の舗装工事におけるCO_2削減が期待できる技術として、積雪寒冷地の舗装リサイクル技術の開発および低炭素型舗装技術の開発を行うことを目的としている。平成23～25年度は、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、積雪寒冷地における中温化アスファルト混合物のCO_2削減効果および品質管理等の検証を行った。その結果、寒冷期に中温化舗装技術を適用する場合、品質を確保するには出荷温度の低減幅等を検討する必要があることが分かった。また、他産業廃棄物のリサイクルとして、焼却灰を主原料とした再生骨材とガラスカレットを凍上抑制層材料としての適用性を確認するため、室内試験および試験施工を実施して検討した結果、融解期においても十分な支持力を有していることが確認された。

キーワード：低炭素型社会、中温化舗装、リサイクル、CO_2削減、他産業廃棄物

積雪寒冷地の低炭素型舗装技術の開発

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、As混合物）の施工は、通常のAs混合物と比較し製造温度を30℃低減することにより、CO_2排出量の削減効果が期待され、環境に優しい舗装技術である。一方、寒冷期において、やむを得ずアスファルト舗装工事を施工する場合、As混合物の温度低下により品質の低下が懸念される。

しかしながら、積雪寒冷地である北海道では、中温化舗装技術を使用することによる舗装工事のCO_2排出量の削減効果、品質管理方法、施工時の温度管理手法等は明確ではない。

本報告では、中温化舗装技術のCO_2排出量の削減効果、品質管理方法、および施工時の温度管理手法等を確認するため、試験施工を通常期および寒冷期に実施し、積雪寒冷地における適用性を検討した結果を報告するものである。なお、本報文では平均外気温が5℃より高い気象条件を通常期施工、平均外気温5℃以下を寒冷期施工と定義した。

２．中温化舗装技術

中温化舗装技術は、通常のAs混合物（以下、通常混合物）に一定量の中温化剤を混合し、中温化アスファルト混合物（以下、中温化混合物）の製造温度を低減することができる舗装技術である。通常期はAs混合物の混合温度を30℃程度低減させ、CO_2排出量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。

寒冷期はAs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、施工性改善にも用いられている。

なお、中温化混合物は平成22年2月からグリーン購入法の特定調達品目に指定[1)]されており、舗装工事におけるCO_2排出量の削減対策として期待されている。

中温化剤の種類を**表-1**に示す。中温化剤は発泡系、粘弾性調整系、および滑剤系の3つの種類に分類される。発泡系は微細な気泡によるベアリング効果により締固め性を向上させる中温化剤である。粘弾性調整系は2つのタイプがあり、タイプ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。タイプ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。

表-1 中温化剤の種類 [2)]

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。

また、中温化混合物の製造方法は、中温化剤をアスファルトプラント内のミキサーに人力やポンプにより直接投入し混合するプラントミックスタイプと、事前にアスファルトの中に中温化剤を添加した製品を用いる方法のプレミックスタイプがある。

３．中温化混合物の室内試験

通常混合物と比較し30℃低減した中温化混合物の基本性状を確認するため、室内試験を実施し、中温化混合物の最適締固め温度の検討と30℃温度低減した中温化混合物のマーシャル安定度[3)]を確認した。

3.1　中温化混合物の最適締固め温度の検討

中温化混合物の混合温度は通常混合物と比較し、30℃温度低減可能とされているが、プラントミックスタイプの場合、転圧温度の設定方法は定められていない。そのため、室内試験により突固め温度を変化させたマーシャル試験用供試体を作製し、締固め度と突固め温度の関係を確認し、最適締固め温度範囲を検討した。

図-1にストレートアスファルトを用いた密粒度アスコン13Fによる発泡系の中温化剤（プラントミックスタイプ）を使用した試験結果を示す。通常混合物の最適突固め温度は粘度試験から算出し、ストレートアスファルトを用いた混合物の場合、一般的に140℃程度である。室内試験の結果、中温化混合物は通常混合物より30℃低い110℃で100％程度の締固め度を得られた。中温化混合物を現場で施工する際の温度管理条件として、110℃程度以上の温度管理は最適締固め温度範囲の参考になる。

ただし、突固め温度が低下すると締固め度も低下することが確認され、所定の品質を得るためには施工時の転圧温度の管理は重要であることが分かった。

また、粘弾性調整系や滑剤系の中温化剤についても同じ室内試験を実施したが、同様な結果を得ることができた。一方、通常混合物は140℃以上で100％程度の締固め度が得られ、粘度試験によるアスファルトの温度と粘度の関係から得られる最適締固め温度範囲と同程度であることが確認された。

図-2にポリマー改質アスファルトⅡ型を用いた細密粒度ギャップアスコン13F55、**図-3**にポリマー改質アスファルトH型を用いた排水性舗装について同様な試験を実施した結果を示す。試験に用いたポリマー改質アスファルトは、プレミックスタイプの滑剤系の中温化剤を事前に添加した製品を用いた。滑剤系を選定した理由は、プレミックスタイプとしては滑剤系しか開発されていないことや試験施工においても多く使用されていたからである。プレミックスタイプの製品には、メーカ推奨温度が設定されており、中温化混合物130℃、通常混合物160℃に最適突固め温度が設定されている材料を使用した。

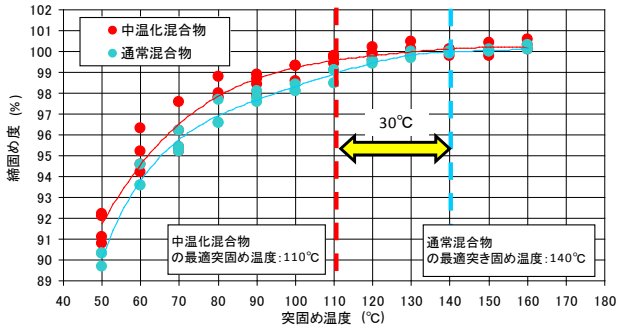


図-1　中温化混合物の突固め温度と締固め度の関係（ストレートアスファルト・発泡系）

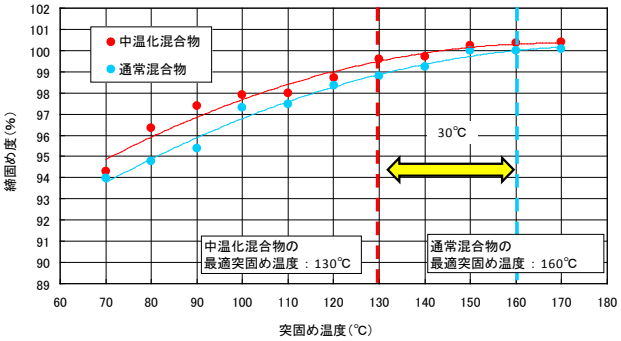


図-2　中温化混合物の突固め温度と締固め度の関係（ポリマー改質アスファルトⅡ型・滑剤系）

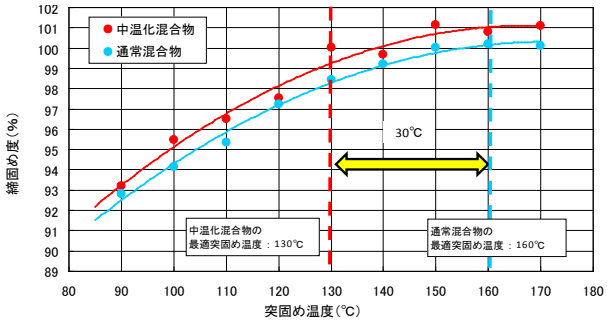


図-3　中温化混合物の突固め温度と締固め度の関係（ポリマー改質アスファルトＨ型・滑剤系）

室内試験の結果、中温化混合物は130℃以上で100％程度の締固め度が得られることが確認された。また、ポリマー改質アスファルト用の中温化剤が添加されている製品の最適突固め温度は130℃程度の温度範囲に設定されたものが多く、突固め温度130℃は転圧作業時の温度管理の目安となる温度領域であることが分かった。

3.2　中温化混合物のマーシャル安定度試験

中温化混合物の混合温度は、通常混合物と比較し30℃温度低減し製造するため、突固め温度を 30℃低減した中温化混合物の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 [3)]を実施した。なお、使用した材料には、後述する試験施工で使用した材料を用いた。

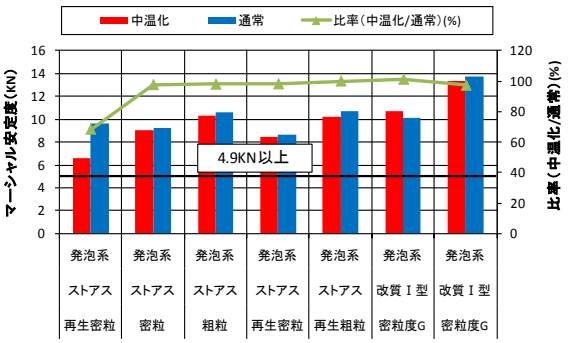


図４　マーシャル安定度試験結果（発泡系）

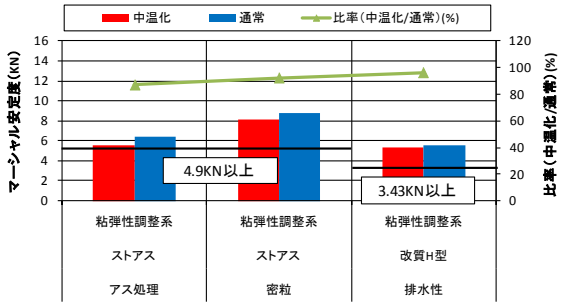


図-5　マーシャル安定度試験結果（粘弾性調整系）

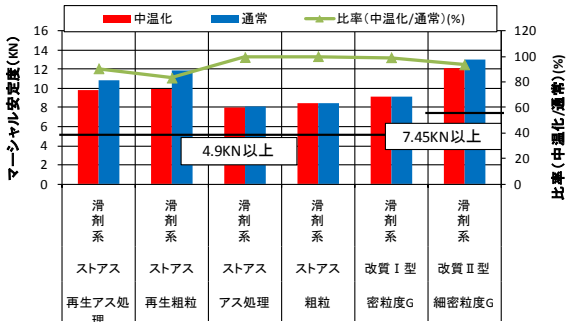


図-6　マーシャル安定度試験結果（滑剤系）

図-4、5、6 は最適突固め温度で作製した通常混合物と 30℃温度低減した中温化混合物のマーシャル安定度試験を比較した試験結果を示す。室内試験では発泡系・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、アスファルトにはストレートアスファルト、ポリマー改質アスファルト（Ⅰ型・Ⅱ型・H 型）を用いた。室内試験の結果、中温化剤や As 混合物の種類にかかわらず、中温化混合物のマーシャル安定度は、通常混合物と比較し、やや低いデータも見られるが、「北海道開発局　道路・河川工事仕様書」（以下、仕様書）の規格値[4]を満足した結果が得られた。また、試験施工では、再生 As 混合物を使用した箇所もあり、同様の室内試験を実施したが、新材と同様な結果が得られた。

４．試験施工

平成22年度および平成23年度における中温化混合物の試験施工箇所を**表-2、3、4**に示す。平成22年度の試験施工は寒冷期施工6箇所（**写真-1**参照）、平成23年度の試験施工では通常期施工7 箇所、寒冷期施工7箇所で実施した。As混合物の種類は密粒度アスコン13F（ストレートアスファルト使用）、密粒度ギャップアスコン13F（ポリマー改質アスファルトⅠ型使用）、細密粒度ギャップアスコン13F55（ポリマー改質アスファルトⅡ型使用）、排水性舗装（ポリマー改質アスファルトH型使用）、粗粒度アスコン（ストレートアスファルト使用）、アスファルト安定処理（ストレートアスファルト使用）の6種類のAs混合物を施工した。試験施工ではグリーン購入法の対象となっていない再生As混合物やポリマー改質As混合物についても、中温化混合物の利用拡大の観点から実施した。

4.1 試験施工の施工条件

試験施工は通常期施工と寒冷期施工に分けて調査を実施し、通常期施工は平均外気温5℃より高い気象条件で行い、寒冷期施工は平均外気温5℃以下の気象条件で実施した。中温化混合物の出荷温度は通常期および寒冷期施工ともに通常混合物と比較し混合温度を30℃程度温度低減することを目標に出荷し、アスファルトプラントで使用するA重油の使用量の削減効果を計測した。

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

図-7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、CO_2排出量の精度を向上させるため、As混合物重量をできるだけ多く出荷することを考慮した。

表-2～4に試験施工で用いた中温化剤の種類を示す。試験施工では発泡系、粘弾性調整系、滑剤系の中温化剤を使用した。中温化剤の添加方法はプラントミックスタイプとプレミックスタイプがあり、中温化剤の製造メーカによって異なる。また、添加量についても中温化剤の種類によって異なるため、配合設計時に確認した。

4.2 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プラント出荷温度の計側、②現場到着温度の計測、③敷均し温度の計測、④締固め度の計測、⑤重油使用量の計測、⑥供用性調査に着目し現地調査を実施した。

今回調査した中温化混合物の敷均し温度の計測は、仕様書の規格値である110℃以上[4]の妥当性を検討する必要があると判断し計測した（**写真-2**）。

表-2 平成 22 年度　試験施工箇所一覧（寒冷期）

番号	建設部	延長(m)	幅員(m)	面積(㎡) 混合物重量	混合物名	厚さ(cm)	施工時期	再生・新材の区分	中温化剤の種類
①	札幌	179	4.25～4.75	788 (72.3t)	密粒度アスコン(表層)	4.0	H22.11	新材	発泡系 プラントミックス
②	釧路	100	6.25	625 (58.8t)	再生密粒度アスコン(表層)	4.0	H22.12	再生20%	発泡系 プラントミックス
③	帯広	500	4.00	2,000 (141.0t)	密粒度アスコン(表層)	3.0	H23.1	新材	粘弾性調整系 プラントミックス
		500	4.00	2000 (230.0t)	アスファルト安定処理	5.0	H23.1	新材	粘弾性調整系 プラントミックス
④	室蘭	96	10.00	960 (112.8t)	細密粒度ギャップアスコン(表層) ポリマー改質アスファルトⅡ型	5.0	H23.2	新材	滑剤系 プレミックス
		92	10.00	920 (129.7t)	再生粗粒度アスコン(中間層)	6.0	H23.2	新材	滑剤系 プレミックス
		88	8.25	726 (102.4t)	再生粗粒度アスコン(基層)	6.0	H23.2	新材	滑剤系 プレミックス
		84	8.40	706 (146.1t)	再生アスファルト安定処理(1層目)	9.0	H23.2	新材	滑剤系 プレミックス
		80	8.55	684 (141.6t)	再生アスファルト安定処理(2層目)	9.0	H23.2	新材	滑剤系 プレミックス
⑤	函館	100	4.50	450 (42.3t)	密粒度アスコン(表層)	4.0	H23.2	新材	発泡系 プラントミックス
⑥	稚内	100	5.00	500 (35.3t)	密粒度アスコン(表層)	3.0	H23.3	新材	滑剤系 プレミックス
		100	4.50	450 (51.8t)	アスファルト安定処理	5.0	H23.3	新材	滑剤系 プレミックス
	合計	2,019		10,808 (1264.1t)					

表-3　平成 23 年　試験施工箇所一覧（寒冷期）

番号	建設部	延長(m)	幅員(m)	面積(㎡) 混合物重量	混合物名	厚さ(cm)	施工時期	再生・新材の区分	中温化剤の種類
①	札幌	200	4.25	850 (79.9t)	再生密粒度アスコン(表層)	4.0	H23.11	再生30%	発泡系 プラントミックス
②	旭川	200	4.25	850 (79.9t)	密粒度ギャップアスコン(表層) ポリマー改質アスファルトⅠ型	4.0	H23.12	新材	発泡系 プラントミックス
③	室蘭	100	5.90	590 (48.4t)	排水性舗装(表層) ポリマー改質アスファルトH型	4.0	H23.12	新材	発泡系 プラントミックス
④	釧路	140	6.25	875 (82.3t)	再生密粒度アスコン(表層)	4.0	H24.1	再生20%	発泡系 プラントミックス
⑤	網走	169	4.60	777 (91.3t)	粗粒度アスコン	5.0	H24.2	新材	発泡系 プラントミックス
		170	3.85	655 (90.3t)	アスファルト安定処理	6.0	H23.12	新材	発泡系 プラントミックス
⑥	網走	220	5.00	1,100 (103.4t)	密粒度ギャップアスコン(表層) ポリマー改質アスファルトⅠ型	4.0	H23.11	新材	滑剤系 プレミックス
⑦	留萌	600	6.50	3,900 (458.3t)	粗粒度アスコン(基層)	5.0	H23.12	新材	発泡系 プラントミックス
	合計	1,799		9,597 (1033.7t)					

表-4　平成 23 年度　試験施工箇所一覧（通常期）

番号	建設部	延長(m)	幅員(m)	面積(㎡) 混合物重量	混合物名	厚さ(cm)	施工時期	再生・新材の区分	中温化剤の種類
①	札幌	200	4.25	850 (79.9t)	再生密粒度アスコン(表層)	4.0	H23.8	再生30%	発泡系 プラントミックス
②	函館	210	9.05 ～9.65	1,987 (162.9t)	排水性舗装(表層) ポリマー改質アスファルトH型	4.0	H23.9	新材	滑剤系 プラントミックス
③	旭川	94	3.50	329 (23.2t)	密粒度ギャップアスコン(表層) ポリマー改質アスファルトⅠ型	3.0	H23.9	新材	滑剤系 プレミックス
④	釧路	143	18.50	2,586 (327.0t)	再生粗粒度アスコン(基層)(中間層)	5.0	H23.9	再生20%	発泡系 プラントミックス
		143	9.25	1,230 (156.0t)	再生粗粒度アスコン(中間層)	5.0	H23.9	再生20%	発泡系 プラントミックス
⑤	帯広	100	4.25	425 (30.0t)	密粒度ギャップアスコン(表層) ポリマー改質アスファルトⅠ型	3.0	H23.7	新材	発泡系 プラントミックス
⑥	網走	590	9.45	5,576 (576.5t)	細密粒度ギャップアスコン(表層) ポリマー改質アスファルトⅡ型	4.4	H23.6	新材	滑剤系 プレミックス
⑦	留萌	157	6.50	1,021 (119.9t)	粗粒度アスコン(基層)	5.0	H23.10	新材	発泡系 プラントミックス
	合計	1,636		14,003 (1475.4t)					

写真-1 試験施工箇所（寒冷期施工・室蘭）

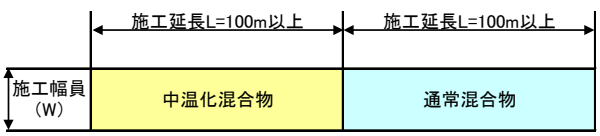


図-7　試験施工の工区割

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、温度低下の品質への影響を把握するため、サーモグラフィーによる敷均し温度測定（**図-8**）を行い、周辺部と比較し温度が低下した箇所（以下、温度低下箇所）を見つけ、その箇所からコアを採取し、締固め度を比較した。

CO_2排出量はアスファルトプラントにおいて骨材を加熱するドライヤのA重油使用量を流量計により計測し、算出した。また、計算式による方法でもCO_2排出量を算出するため、As混合物の出荷温度、骨材の温度、骨材の含水比、骨材加熱温度等を計測し算出した。

4.3 調査結果

4.3.1 中温化混合物の製造・運搬・施工時の温度

図-9、**10**に通常期施工および寒冷期施工におけるストレートアスファルトを用いた中温化混合物の製造、運搬、施工時の温度変化を示す。通常期施工および寒冷期施工における通常混合物と比較し30℃程度低い温度で出荷した中温化混合物は、マーシャル安定度試験において確認した最適突固め温度110℃以上を概ね確保していることが確認された。

図-11、**12**に通常期施工および寒冷期施工におけるポリマー改質アスファルトを用いた中温化混合物の製造、運搬、施工時の温度変化を示す。通常期施工および寒冷期施工における通常混合物と比較し30℃程度低い温度で出荷した中温化混合物は、マーシャル安定度試験において確認した最適突固め温度130℃程度以上を満足できない結果となった。なお、試験施工時の運搬時間については、通常期40～83分間（平均58分間）、寒冷期23～70分間（平均57分間）の運搬条件であった。

ストレートアスファルト、ポリマー改質アスファルトⅠ型、Ⅱ型を用いたAs混合物の敷均し温度の平均値は、規格値110℃以上を満足した。ただし、個々の測定データには110℃以下のデータも確認されている。

4.3.2 中温化混合物の締固め度

(1)　二酸化炭素の削減を目的とした場合

通常期施工および寒冷期施工箇所から採取したコアを用い、中温化混合物と通常混合物の締固め度を比較した。

表-5 試験施工の調査項目（通常期・寒冷期）

	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の把握	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	敷き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。 ・サーモグラフィーにより、温度の均一性を計測する。
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、密度を測定する。
⑤	重油使用量の計測	CO2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、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	・施工完了後、横断凹凸量および平坦性調査等の供用性状を把握する。

写真-2 敷均し温度の計測状況

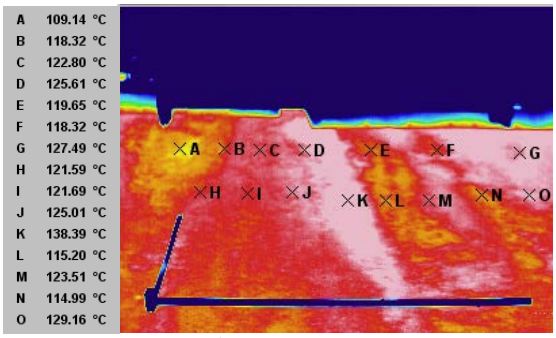


図-8 サーモグラフィーによる撮影状況

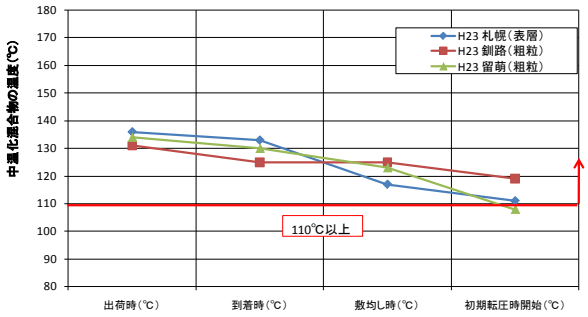


図-9 中温化混合物の製造・運搬・施工時の温度
（通常期・ストレートアスファルト）

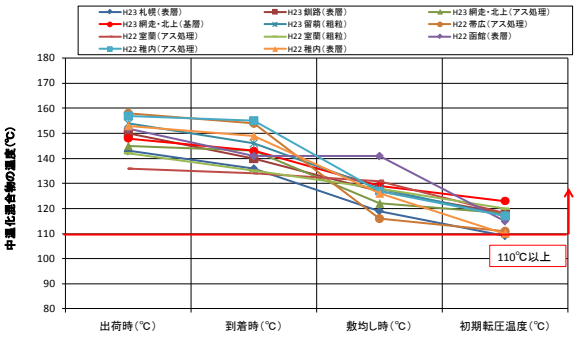


図-10 中温化混合物の製造・運搬・施工時の温度
（寒冷期・ストレートアスファルト）

図-13に通常期施工におけるストレートアスファルトを用いた中温化混合物と通常混合物の比較を示す。最適突固め温度110℃以上（図-9参照）を確保し施工した中温化混合物の締固め度は、平均値100%の締固め度を示し、通常混合物と同程度の締固め度を確保することができた。

図-14、15に通常期施工におけるポリマー改質アスファルトⅠ型を用いた密粒度ギャップアスコン13Fおよびポリマー改質アスファルトH型を用いた排水性舗装の締固め度の比較を示す。中温化混合物は通常混合物と比較し、同程度の締固め度を示した。室内試験で確認した最適突固め温度130℃より低い転圧条件（図-11参照）でも所定の締固め度が得られた理由としては、中温化混合物の初期転圧温度が低下しても、通常期施工の影響からAs混合物の温度低下が遅く、十分な転圧効果が得られたと考えられる。

また、通常期施工においては、サーモグラフィーにより確認された敷均し温度のムラは少なく、温度低下の影響が少ないと推察される。

図-16に寒冷期施工におけるストレートアスファルトを用いた中温化混合物と通常混合物の締固め度の比較を示す。中温化混合物の初期転圧温度の平均値は110℃以上（図-10参照）を概ね確保し、通常混合物と比較し同程度の締固め度を有している。ただし、寒冷期はサーモグラフィーにより確認された敷均し温度のムラが通常期施工と比較し多く見られた。

中温化混合物工区および通常混合物工区の定点箇所と温度低下箇所からコアを採取し、締固め度を測定した試験結果を図-17に示す。寒冷期は外気温の影響による運搬時や施工時のAs混合物の温度低下が早いため、中温化混合物を使用しても110℃以下の転圧温度箇所においては仕様書の下限規格値94%[4]以下のコアも見られた。

図-18に密粒度ギャップアスコン13F（改質Ⅰ型）に中温化舗装技術を適用した箇所の締固め度の比較試験結果を示す。中温化混合物の敷均し温度は目標温度130℃以上を確保することができず（図-12参照）、中温化混合物の締固め度は通常混合物と比較し、やや低い結果となった。

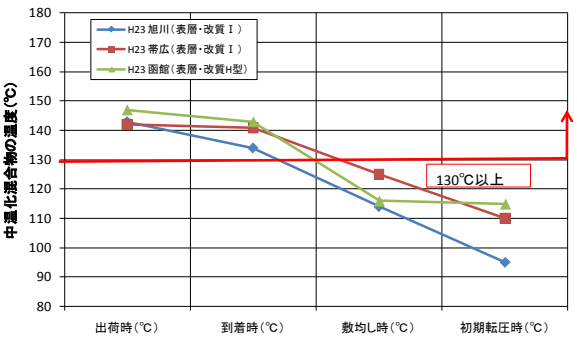


図-11 通常混合物の製造・運搬・施工時の温度
（通常期・ポリマー改質アスファルト）

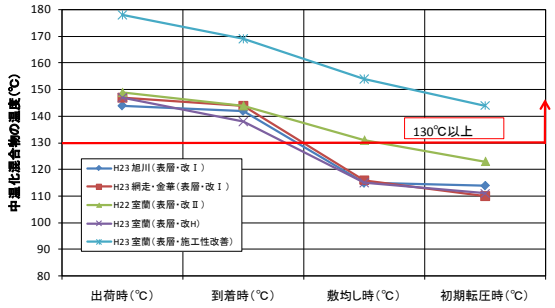


図-12 中温化混合物の製造・運搬・施工時の温度
（寒冷期・ポリマー改質アスファルト）

図-19に定点箇所および温度低下箇所から採取したコアの締固め度を示す。温度低下箇所から採取したコアには下限規格値94%以下のコアも見られた。

図-20に排水性舗装に中温化技術を適用した箇所の締固め度の試験結果を示す。転圧温度は目標温度130℃以上を確保することができず（図-12参照）、中温化混合物の締固め度は通常混合物と比較し低い結果となった。施工時には温度低下により固まって廃棄するAs混合物が通常混合物と比較し多く発生した（写真-3）。図-21に定点箇所と温度低下箇所の締固め度を示す。中温化混合物の温度低下した箇所から採取したコアは下限規格値94%を下回る試験結果となった。

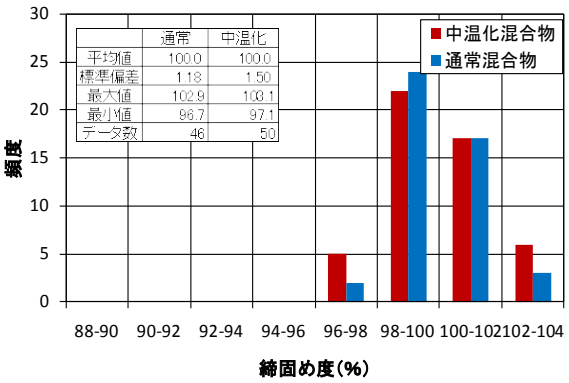


図-13 締固め度（ストアス・定点箇所・通常期）

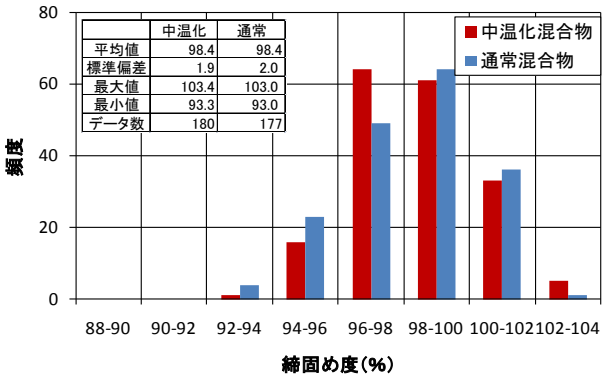


図-16 締固め度（ストアスファルト・定点箇所・寒冷期）

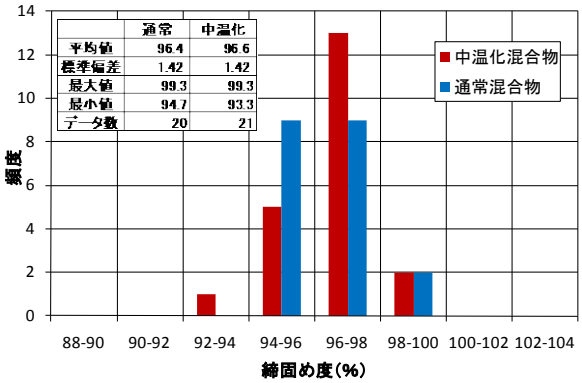


図-14 締固め度（改質Ⅰ型・定点箇所・通常期）

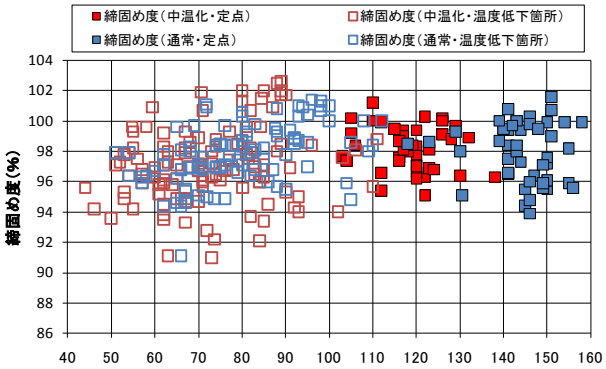


図-17 締固め度（ストレートアスファルト使用
・定点箇所＋温度低下箇所・寒冷期）

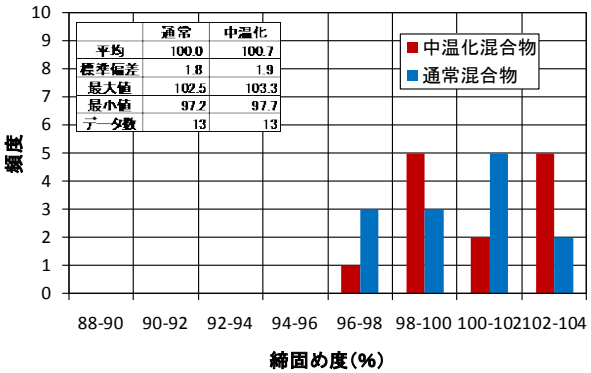


図-15 締固め度（排水性・定点箇所・通常期）

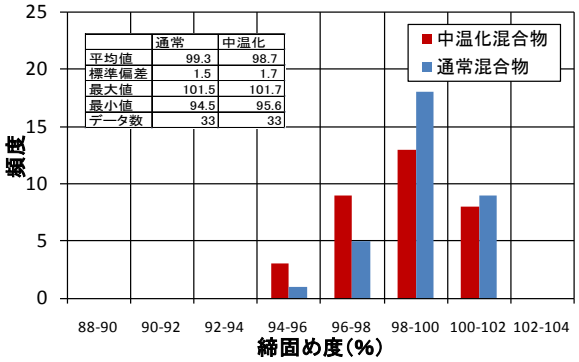


図-18 締固め度（改質Ⅰ型・定点箇所・寒冷期）

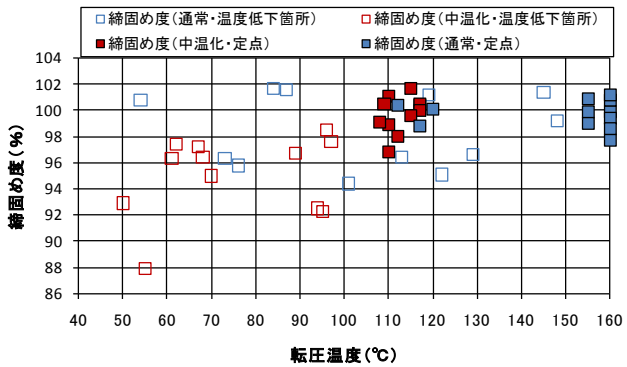
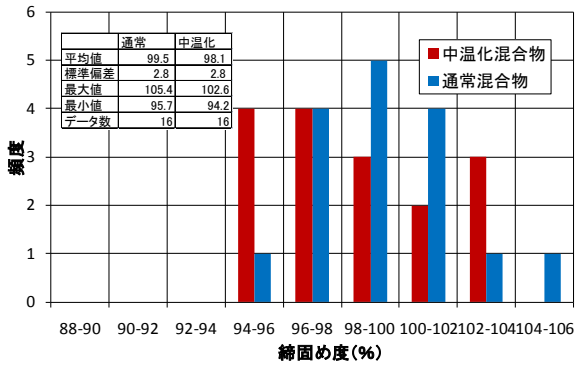


図-19 締固め度
（改質Ⅰ型・定点箇所＋温度低下箇所・寒冷期）



	通常	中温化
平均値	99.5	98.1
標準偏差	2.8	2.8
最大値	105.4	102.6
最小値	95.7	94.2
データ数	16	16

図-20 締固め度（排水性・定点箇所・寒冷期）

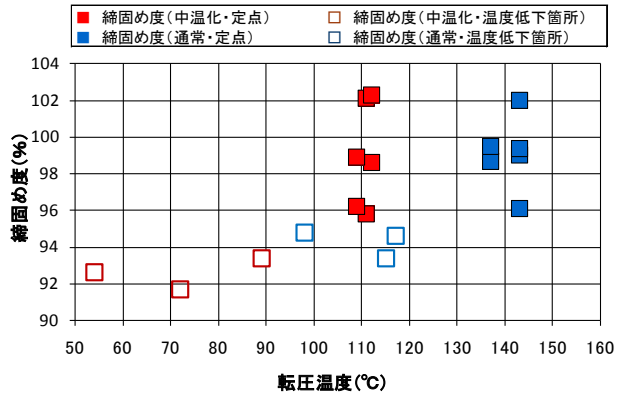


図-21 締固め度（排水性・定点箇所＋温度低下箇所・寒冷期）

写真-3 廃棄した As 混合物（寒冷期施工・室蘭）

(1) 重油の計測によるCO_2排出量の削減効果

中温化混合物のCO_2排出量の削減効果については、骨材加熱時に使用するドライヤのA重油使用量を流量計で計測し、A重油のCO_2 原単位[5]を乗じてCO_2排出量を算出し比較した。

図-22に通常期施工におけるCO_2排出量の削減効果を示す。通常期施工では、中温化混合物の温度低減幅24～30℃程度の条件において、16～19%程度のCO_2排出量の削減効果が確認された。社団法人日本道路協会[6]で示している15%の削減効果と比較し、同程度以上のCO_2排出量の削減効果が確認された。

図-23に寒冷期施工におけるCO_2排出量の削減効果を示す。中温化混合物の温度低減幅25～36℃程度の条件において、11～22%程度のCO_2排出量の削減効果が確認された。温度低減幅25～30℃程度の条件であれば、11～16%程度のCO_2排出量の削減効果があり、概ね10%以上のCO_2排出量の削減効果が期待できる結果となった。

(2) 実測値と計算によるCO_2排出量の比較

中温化混合物のCO_2排出量の削減効果を確認するため、以下の算出方法によってCO_2排出量を計算し、A重油使用量の実測値と比較した。使用した数値は、試験施工で使用した配合設計書、計測した骨材の温度、骨材の含水比、骨材加熱温度、As混合物の練り上がり温度、As混合物中の含水比等を用いた。気化熱や骨材の比熱は理科年表[7]を参考に算出した。ドライヤ内の水分気化温度やドライヤの熱効率はメーカ聞き取りによるものである。

＜計算式＞

1) 各材料(アスファルト・フィラー・再生骨材)の顕熱 Q(kcal/kg)の計算

$$Q = V \times C \times (T_{mix} - T) \qquad (1)$$

V :各材料の配合率(%)
C :各材料の比熱(kcal/kg) ～(アスファルト 0.5、砕石 0.22、再生骨材 0.22)
T_{mix}: As 混合物の練り上がり温度(℃)
T :各材料の貯蔵温度(℃)

2) 各材料(フィラー・再生骨材)の水分潜熱 q(kcal/kg)の計算

$$^{(2)}q = V \times (w_1 - w_2) \times he \times (T_w - T)$$

V :各材料の配合率(%)
w_1 :各材料の貯蔵時の含水比(%)
w_2 :各材料の残存含水比(%)
he :水分の気化熱(kcal/h)～539
Tw :ドライヤ内の水分気化温度(℃) ～89

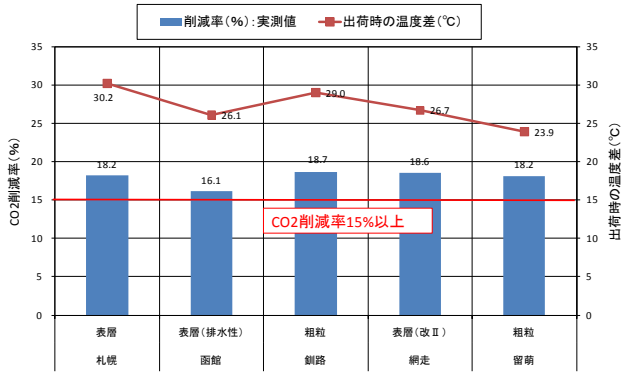


図-22 CO_2 排出量の削減効果（通常期）

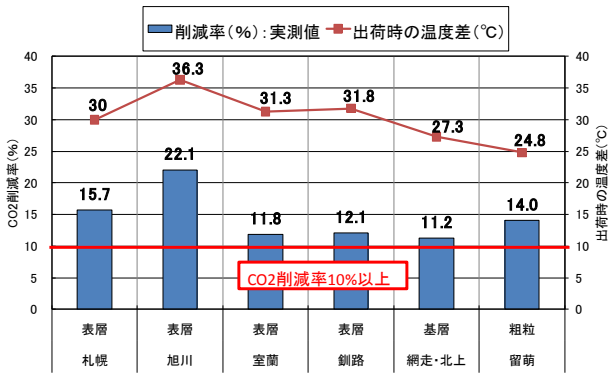


図-23 CO_2 排出量の削減効果（寒冷期）

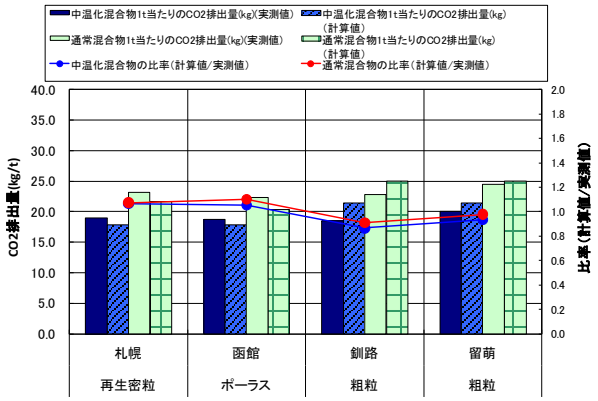


図-24　計算による CO_2 排出量と実測値の比較（通常期）

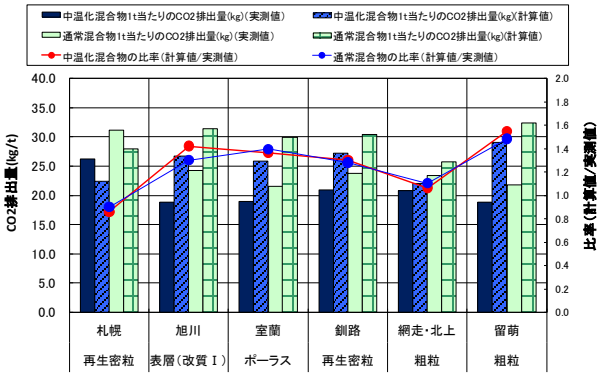


図-25　計算による CO_2 排出量と実測値の比較（寒冷期）

3)　骨材の顕熱 Q_{ag}(kcal/h)の計算

$$(3)\ Q_{ag} = M \times V_{ag} \times C_{ag} \times (T_{ag} - T_{ag'})$$

M　:プラント製造能力(t/h)
T_{ag}　:骨材の加熱温度(℃)
$T_{ag'}$　:骨材の貯蔵温度(℃)

4)　骨材の水分潜熱 q_{ag}(kcal/h)の計算

$$(4)\ q_{ag} = M \times V_{ag} \times (w_1 - w_2) \times he \times (T_w - T_{ag'})$$

w_1　:各材料の貯蔵時の含水比(%)
w_2　:各材料の残存含水比(%)

5)　単位時間当たりの骨材加熱に必要な燃料(kg/h)の計算

$$(5)\ E_{ag} = (Q_{ag} + q_{ag}) \times HL \times n$$

HL　:燃料の低発熱率(kcal/kg)　～10,200
n　:ドライヤの熱効率(%)　～70%

6)　合材 1t 当たりの CO_2 発生量 X(kg/t)　の計算

$$(6)\ X = E_{ag} \times M_{co_2} / M$$

M_{co2}　:燃料を 1t 燃焼させることにより発生する CO_2 の量

図-24 に通常期施工における計算による CO_2 排出量と実測値の比較を示す。通常期施工の実測値と計算値の比率（計算値/実測値）を比較すると、0.87～1.07 の値を示し概ね±10%程度の差に収まり、比較的差が小さい結果を得ることができた。

図-25 に寒冷期施工における計算による CO_2 排出量と実測値の比較を示す。寒冷期施工の実測値と計算値の比率（計算値/実測値）を比較すると、0.86～1.55 の値を示し、通常期施工と比べて差が大きくなった。

５. 通行規制時間の短縮効果の検証（通常期・寒冷期）

一般的な舗装工事においては舗装表面温度が 50℃以下になれば、一般交通を開放しても良いとされている。

図-26 に平成 22 年、23 年度の寒冷期、平成 23 年度の通常期の混合温度を 30℃低減した中温化混合物と通常混合物の交通開放の時間差を示す。通常期に施工した中温化混合物は通常混合物と比較し、概ね 20 分～170 分の時間差があり、中温化混合物が早く交通開放可能であることが確認された。一方、寒冷期に施工した通常混合物と中温化混合物の交通開

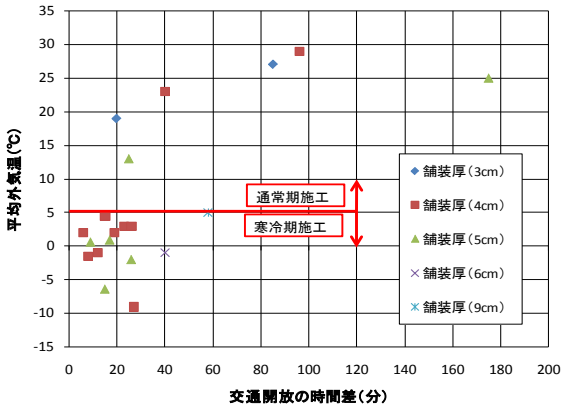


図-26　交通開放時間（通常期・寒冷期）

放の時間差は概ね 30 分以下であった。

交通開放可能な温度までの低下時間は、施工する舗装厚、運搬距離等の施工条件、外気温、日射、および風速等の気象条件に左右されるため、各現場で異なると考えられる。

６．供用性状

図-27 に 10 年以上供用した中温化混合物（密粒度アスコ 13F：ストレートアスファルト使用・発泡系）の供用性調査結果を示す。中温化混合物の施工は、平成 13 年 9 月に一般国道 239 号下川町で実施されたものである。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。

図-28 に通常期施工である平成 23 年 8 月に施工した一般国道 452 号夕張市における中温化混合物（密粒度アスコ 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 2 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-29に寒冷期施工である平成23年2月に施工した一般国道230号今金町における中温化混合物（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。供用後3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-30 に平成 22 年 12 月に一般国道 36 号登別市虎杖浜で施工した中温化混合物（細密粒度ギャップアスコン 13F55：ポリマー改質アスファルトⅡ型使用・滑剤系）のわだち掘れ量の推移を示す。供用後 3 年程度が経過した時点では、走行車線と追越し車線のわだち掘れ量の傾向はやや異なるが、中温化工区と比較工区は同程度のわだち掘れ量で推移している。なお、寒冷期に施工した一般国道 230 号今金町および一般国道 36 号登別市の試験施工箇所でも、現時点では舗装表面の損傷は生じていない。

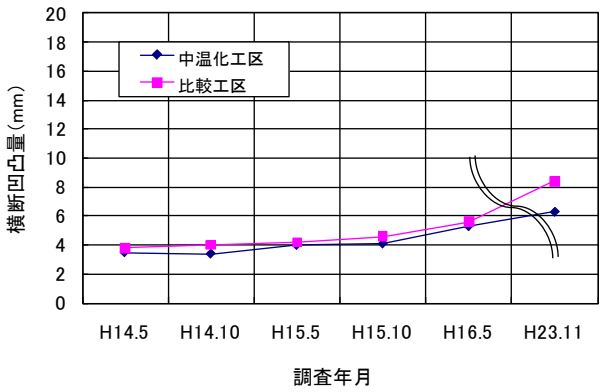


図-27　わだち掘れ量の経年変化（通常期施工・密粒 13F）

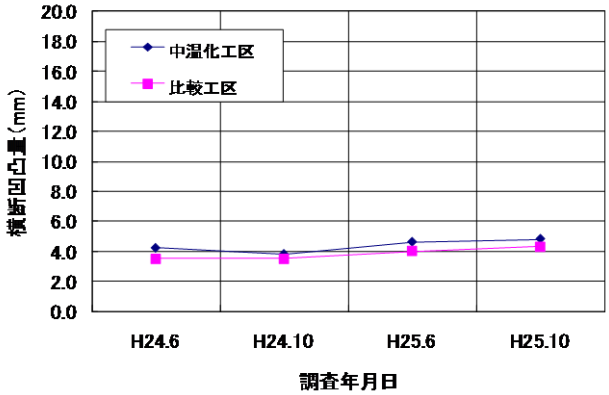


図-28　わだち掘れ量の経年変化（通常期施工・密粒 13F）

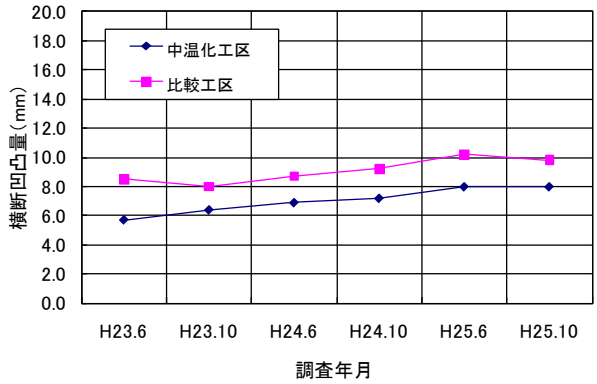


図-29　わだち掘れ量の経年変化（寒冷期施工・密粒 13F）

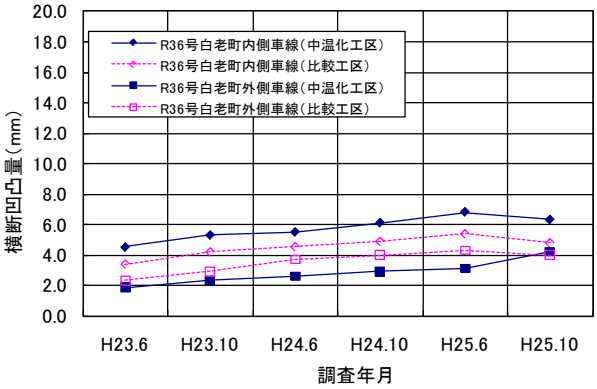


図-30　わだち掘れ量の経年変化（寒冷期施工・細密粒 G）

７．まとめ

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

（中温化舗装技術に関する事項）

1） 発泡系、粘弾性調整系、滑剤系の3種類の中温化剤を用いたAs混合物の室内試験の結果、どの中温化剤を使用しても、仕様書のマーシャル安定度試験の規格値を満足した。
2） ストレートアスファルトを使用した中温化混合物の最適締固め温度は110℃程度以上と考えられる。
3） ポリマー改質アスファルトを使用した中温化混合物の最適締固め温度は130℃程度以上と考えられる。

（通常期施工）

4） 通常期施工において30℃程度温度低減したストレートアスファルトを使用した中温化混合物の締固め度は通常混合物と比較し、同程度の締固め度を得ることが可能である。
5） 通常期施工において30℃程度温度低減したポリマー改質アスファルトを使用した中温化混合物の締固め度は通常混合物と比較し、同程度の締固め度を得ることが可能である。
6） 通常期施工で実施した中温化混合物の供用性状は、通常混合物と同程度である。
7） 通常期に施工した中温化混合物は通常混合物と比較し、概ね20分～170分の時間差があり、中温化混合物が早く交通開放可能であることが確認された。

（寒冷期施工）

8） 寒冷期施工において30℃程度温度低減したストレートアスファルトを使用した中温化混合物の締固め度は、通常混合物と比較し、同程度の締固め度を得ることが可能である。ただし、寒冷期施工では敷均し時に発生する温度ムラは、通常期施工と比較し多く見られ、温度低下箇所は中温化混合物を使用しても仕様書の下限規格値94%を満足しない箇所が発生した。

9） 寒冷期施工において30℃程度温度低減したポリマー改質アスファルトを使用した中温化混合物の締固め度は、通常混合物と比較し低下する傾向が見られた。寒冷期施工では通常期施工と比較し、敷均し時に温度ムラの発生が多く見られ、更に改質アスファルトは温度低下の影響を受けやすいため、温度低下箇所では中温化混合物を使用しても仕様書の下限規格値94%を満足しない箇所が発生した。また、排水性舗装の試験施工箇所では、通常混合物と比較し温度低下の影響により破棄するAs混合物が多く発生した。

（CO_2排出量の削減効果に関する事項）

10） 30℃程度温度低減した中温化混合物では、通常期施工15%以上、寒冷期施工10%以上のCO_2排出量の削減効果が実測値より確認された。

８．今後の予定

寒冷期施工においては、中温化混合物の出荷温度を30℃させた場合、品質の低下が確認された。今後は、低減幅を30℃より小さくする等の検討が必要である。

参考文献

1） 国土交通省「特定調達品目ガイドライン（案）」: http://www.mlit.go.jp/tec/kankyou/green/pdf/201105guideline.pdf
2） 一般社団法人　日本道路建設業協会：中温化舗装（低炭素）アスファルト舗装の手引き、pp5-7、平成 24 年 4 月
3） 社団法人　日本道路協会：舗装調査・試験法便覧〔第 3 分冊〕、pp〔3〕5～16、平成 19 年 6 月
4） 国土交通省北海道開発局 : 平成 25 年度版　北海道開発局　道路・工事河川仕様書、1-195～196、2-169、平成 25 年 4 月
5） 社団法人　日本道路協会 : 舗装性能評価法別冊、pp180、平成 20 年 3 月
6） 社団法人　日本道路協会：環境改善を目指した舗装技術（2004 年度版）、pp14、平成 17 年 3 月
7） 丸善株式会社 : 理科年表、pp563、565、1999.11

積雪寒冷地の舗装リサイクル技術の開発（焼却灰）

1.　はじめに

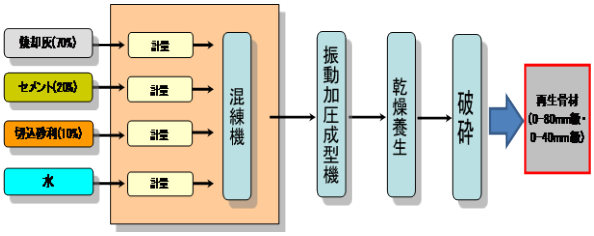
他産業再生資材は、建設業以外から発生した材料であり、リサイクル推進の観点から積極的に活用していくことが望まれている。このため他産業再生資材を舗装体の凍上抑制層材料として、積雪寒冷地で活用するためには、凍上、凍結融解の耐久性、融解期の支持力、環境負荷、および繰返し再生利用の可否等を検討した。

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製紙会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-31**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-4**）やボトムアッシュ（**写真-5**）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錬機により混合し、振動加圧成型機に正方体状に成型し、乾燥養生を行い、破砕機により破砕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。



振動加圧成型機

乾燥養生

破砕

再生骨材

図-31　再生骨材の製造工程

写真-4　フライアッシュ

写真-5　ボトムアッシュ

2．検討方法

積雪寒冷地において再生骨材を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製紙会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。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。

3．材料試験結果

再生骨材の配合については、A製紙会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や別の用途である林道の敷砂利として利用できるように、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

表-6　再生骨材の配合及び室内試験結果

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（ﾊﾞｯﾁあたり仕込量）	ﾌﾗｲｱｯｼｭ	kg	756	843	853	853	853	838	838	838	－	－
	ﾎﾞﾄﾑｱｯｼｭ	kg	254	203	263	263	263	263	263	263	－	－
	切込砕石(5-13mm)	kg	0	0	145	145	150	150	150	150	－	－
	ﾋﾞﾘ	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)に対してのｾﾒﾝﾄ比率		%	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)	●混練撹拌対策 ①ﾋﾞﾘ→切込砕石	●すりへり対策 ①ｾﾒﾝﾄｱｯﾌﾟ (310→340)		●すりへり対策 ①ｾﾒﾝﾄｱｯﾌﾟ (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	構内試験道路		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/cm3	1.77	1.80	1.64	1.79	1.67	1.72	1.68	1.68	－	－
	絶乾密度	g/cm3	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 砕石:15%以下	砂利:9%以下 砕石:15%以下
凍上試験（試験方法:φ8）	凍上率 判定:凍結様式1-1-1	% 20%未満	12.3 （合格）	6.6 （合格）	9.4 （合格）		7.0 （合格）	3.4 （合格）	6.9 （合格）	3.2 （合格）	20%未満	20%未満

確認した。表-6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。最終配合を表-6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。

(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。

表-7　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	－	－	－

(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-7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（表-7）。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。

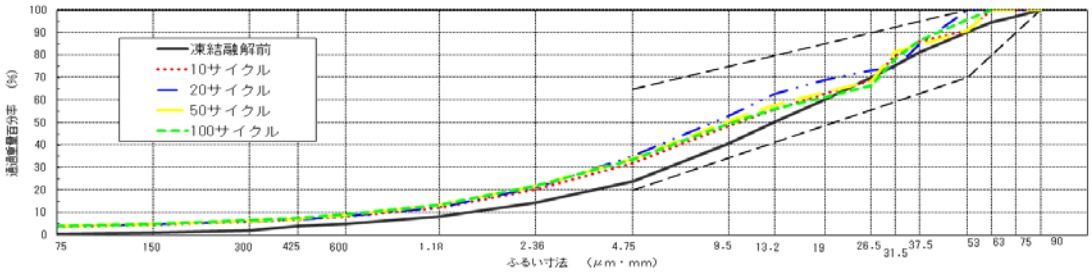


図-32　凍結融解による粒度曲線図（切込砂利）

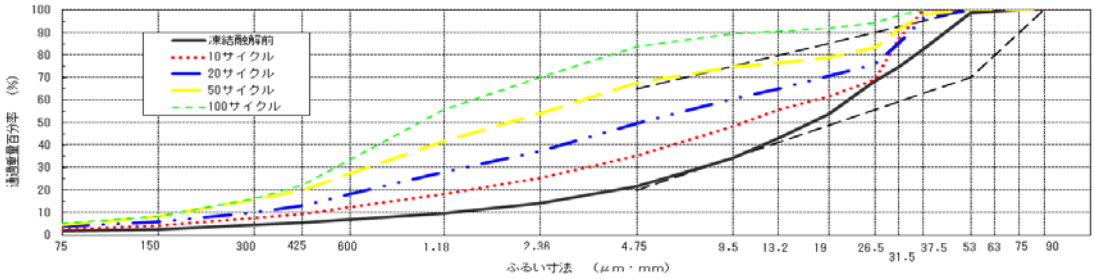


図-33　凍結融解による粒度曲線図（再生骨材）

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-32**、**図-33**に示す。

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-8**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-9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)]。

表-8　溶出試験

分析項目試料（土壌環境試験）	単位	土壌基準値	全試験回数(回)（24．9～H25．9）	分析結果（測定最高値）
ｶﾄﾞﾐｳﾑ	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-9　含有量試験

分析項目試料（含有量試験）	単位	含有試験基準値	分析結果（測定最高値）
ｶﾄﾞﾐｳﾑ	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

４.現地調査結果

現地調査項目を表-10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製紙構内道路、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-34～図-37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製紙会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製紙会社構内道路の凍上抑制層工区、旭川市春光台で仕様書の規格値90%以上を満足できない結果となった（表-11）。

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-38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0.075μm以下のシルト分の増加は見られなかった。

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、含水比の管理についても重要である。

(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-39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-40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は、舗装表面には凍上によるクラックは発生しなかった。

表-10　現地調査項目

調査項目	試験目的	試験対象工区			
		日本製紙	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	わだちぼれ量の測定	－	○	○	－

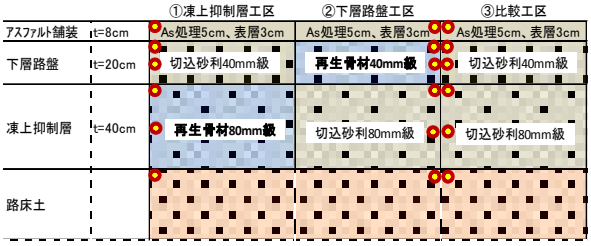


図-34　試験施工箇所(A製紙会社構内)　施工時期 H22.10

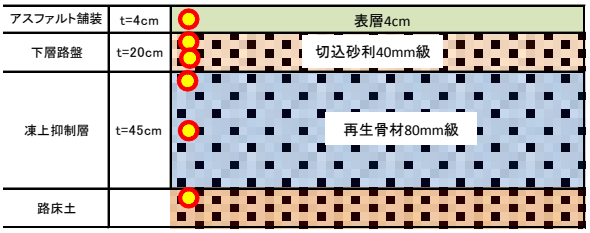


図-35　試験施工箇所（旭川市春光台）　施工時期 H23.11

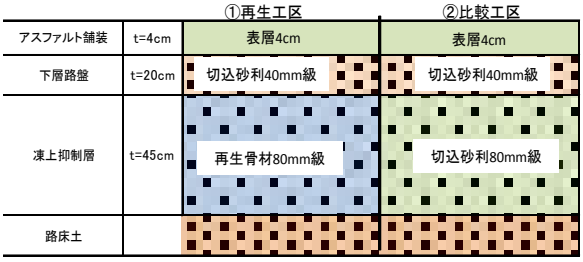


図-36　試験施工箇所（旭川市東鷹栖）　施工時期 H21.8

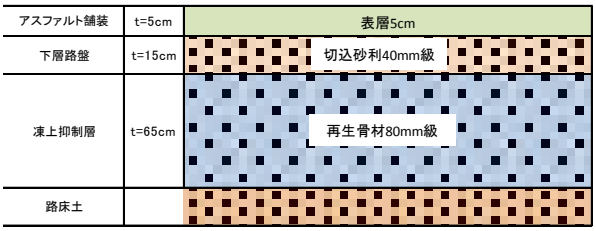


図-37　試験施工箇所（芦別市）　施工時期 H24.9

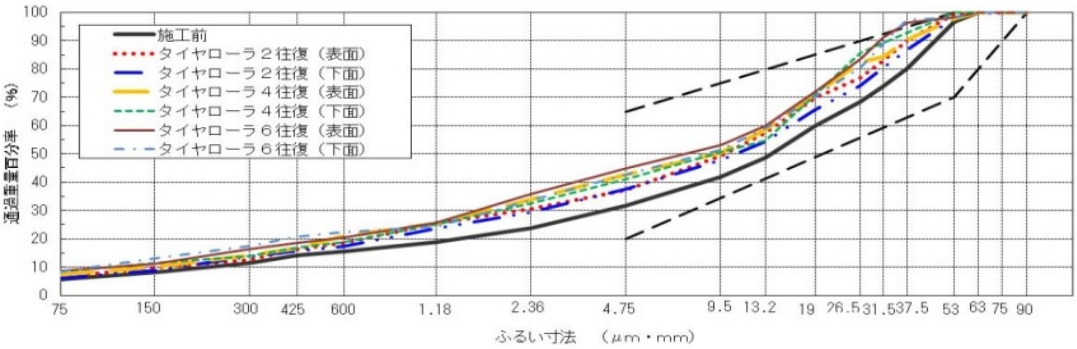


図-38　転圧回数と粒度分布の関係（芦別市）

(3) 現場ＣＢＲ試験（3年経過後）と粒度試験

A製紙会社構内道路では、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-41**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-42**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製紙会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-43**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調査

旭川市東鷹栖・春光台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-44にFWD調査結果を示す。調査は平成24年、25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。

表-11　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%	

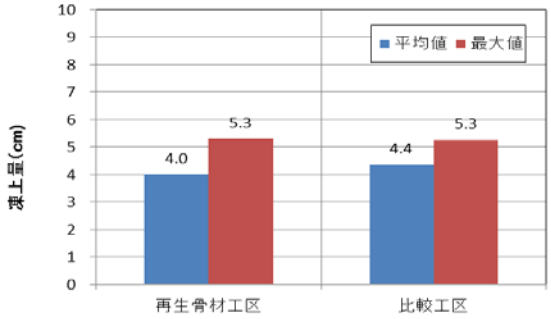


図-39　凍上量調査（旭川市春光台）

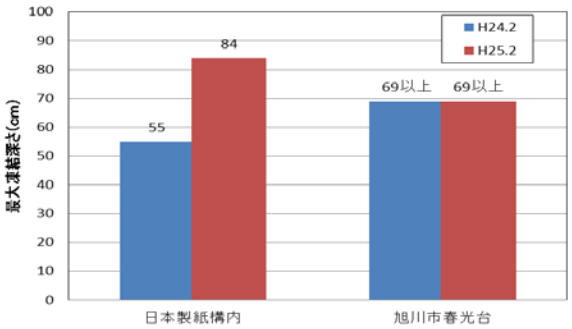


図-40　最大凍結深さ（A製紙構内・旭川市春光台）

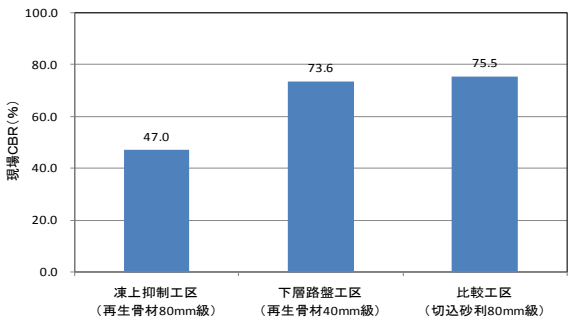


図-41　現場 CBR 試験（A 製紙構内）

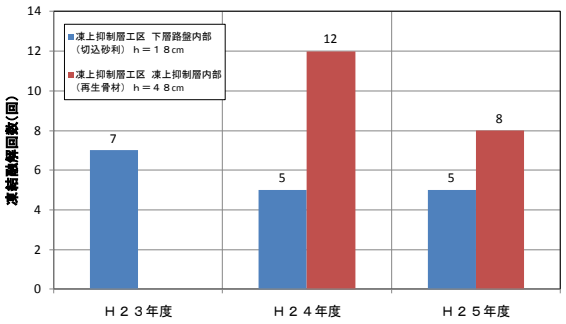


図-42　下層路盤・凍上抑制層の凍結融解回数

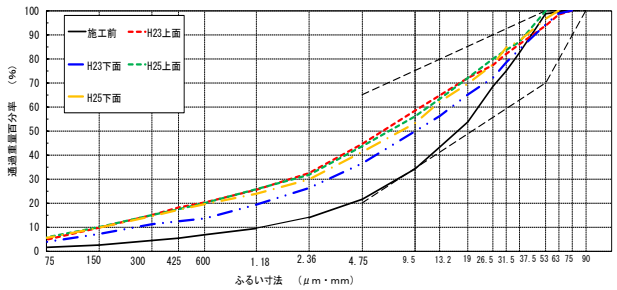


図-43　粒度分布の推移（A 製紙構内道路）

(5) 横断凹凸量調査

図-45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。

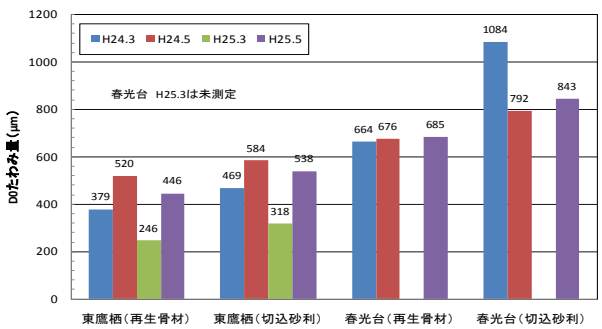


図-44　FWD 調査結果（旭川市春光台・東鷹栖）

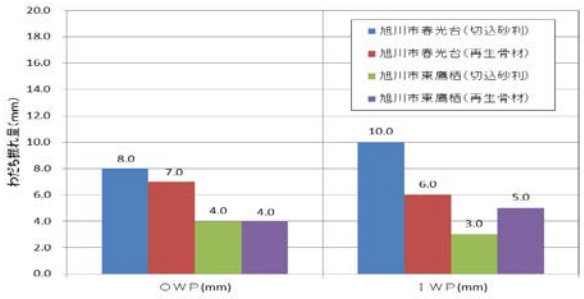


図-45　横断凹凸量調査（旭川市春光台・東鷹栖）

６．まとめ

今回行った試験結果から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。

(1) 凍上抑制層材料としての適用性

1) 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、75μm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。
2) 第二種特定有害物質の8項目の溶出試験を実施した結果、土壌環境基準の以下となった。
3) 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。
4) 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75μm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。
5) 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。

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。

(2) 路盤材料としての適用性

1) 下層路盤材料としての適用については、融解期の支持力や凍上に関しては通常骨材と比較し、同程度の性状を有していることが確認できた。しかしながら、吸水率が高く、表乾密度が低い要因によりすり減り減量の規格値を満足しないことから、配合手法の更なる検討が必要である。

７．今後の予定

今回の試験結果からは、再生骨材を凍上抑制層に用いることは可能と考えられるが、外気温や降雪等によって融解期の支持力や路面の評価等も異なる可能性がある。今後も引き続き、現地のデータを蓄積し、積雪寒冷地における焼却灰を原料とした再生骨材の適用性に関する検討を行いたい。

(参考文献)

1) 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
2) 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

積雪寒冷地の舗装リサイクル技術の開発
（ガラスカレット）

1.　背景

ガラス製品（ソーダ石灰ガラス）を破砕した状態の「ガラス屑」を製品化したガラスカレット（**写真-6**）の利用率は、平成元年度以降年々増加しており、平成19年度には95.6%[1]と資源有効利用促進法における平成22年度までの目標91%に達している。また、無色および茶色のガラス製容器のほとんどは、びん原料としてリサイクルされているが、その他の色のガラス製容器は、びん原料へのリサイクル率が約3割程度である。[2]

本研究では、びん原料に利用されない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。

写真-6 ガラスカレット

2．検討方法

検討方法は、ガラスカレットを使用したガラスカレット工区と切込砕石を利用した比較工区の、試験施工ヤード（**図-46**、**図-47**）を設け、凍上抑制層としての融解期の支持力について調査を行った。

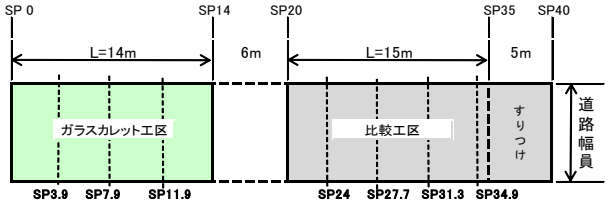


図-46 試験施工の平面図

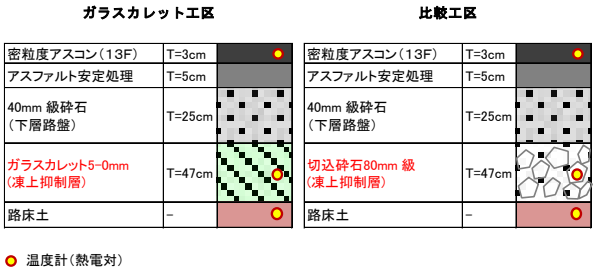


図-47 試験施工の舗装構成

3．FWD 試験

FWD 試験を実施し、融解期における舗装体の支持力を測定した。調査結果を**図-48** に示す。D_0たわみ量は舗装体の支持力を表す指標である。H22.11～H25.5 において FWD 試験を融解期に 3 シーズン実施した結果、ガラスカレット工区は比較工区と同程度の支持力を示した。

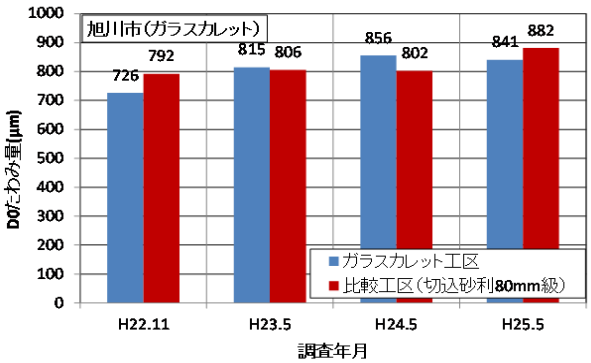


図-48 FWD 試験による D_0 たわみ量の比較

4．まとめ

FWD 試験における結果から、ガラスカレットを凍上抑制層に使用しても、ガラスカレット工区の融解期の支持力は、比較工区と同程度以上の支持力を有した。

5．今後の予定

外気温や降雪等の気象条件の違いによって融解期の支持力や路面の評価等も異なる可能性がある。今後もデータを蓄積し、ガラスカレットの凍上抑制層への適用に関する検討を進めたい。

（参考文献）

1)　ガラスびんリサイクル促進協議会　HP
2)　公益財団法人　日本容器包装リサイクル協会　HP

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

Budged : Grants for operating expenses general account
Research Period : FY2011-2015
Research Team : Road Maintenance Research Team
Author : KUMAGAI Masayuki
MARUYAMA Kimio
ABE Ryuji
HOSHI Takumi
OOYAMA Kentarou

Abstract :The purposes of this study are to develop pavement recycling technology and developing low carbon pavement technology for reducing CO_2 in pavement construction in cold snowy regions. For 2011-2013, test pavements were developed using warm mix pavement technology, and CO_2 reduction effect quality data and quality of warm mix in cold snowy regions were gathered. As a result, when the warm mix pavement technology is applied at cold snowy regions, it has been understood to have to examine the shipment temperature width. Additionally, test pavements were developed using incinerated ash and aggregate of glass for an antifrost layer in order to recycle other industrial wastes and the quality of recycled aggregate was confirmed. As a result, it is confirmed to have sufficient bearing power in melted period.

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