

積雪寒冷地における舗装の品質管理手法に関する研究

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平 18～平 21

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、
吉井昭博、三田村宏二

【要旨】

ストレートアスファルトを用いた一般的なアスファルト舗装材料のリサイクル技術はほぼ確立しているが、今後発生量の増加が予想される特殊舗装材料（排水性舗装および耐流動対策用混合物）のリサイクルを推進し、さらに、アスファルト再生骨材の複数回の再利用を行うには、積雪寒冷地の条件に適合した品質基準と配合設計法の確立が必要である。本研究ではアスファルト再生骨材の下限規格値で繰り返して使用すると、品質の低下が確認され、品質を保持するためには、現在の規格値よりも高い値で品質管理を行う必要があることが分かった。また、再生加熱混合物に特殊舗装材料を混入しても、混合物の品質低下は見られないことが分かった。

キーワード：積雪寒冷地、リサイクル、アスファルト、複数回利用、特殊舗装材料

1. はじめに

近年国際的に環境保全への関心が向けられており、あらゆる分野で循環型社会の構築に向け研究がされている。

道路舗装分野も例外ではなく、我が国においても本州等で 1980 年代からアスファルト舗装材料のリサイクルが本格的に行われている。積雪寒冷地である北海道においても、1998 年度から表層混合物に利用され、今後 2 回目以降のリサイクルが予想されている。

これまでに、アスファルトバインダ（以下、バインダ）、および舗装発生材等を用いた舗装材料の長期的な利用方法が検討されているが^{1), 2)}、高温領域の検討や組成成分の分析が中心となっており、脆性破壊を起こす低温領域での検討は進んでいない。このため、積雪寒冷地においてアスファルト舗装材料を長期的に利用するためには、低温領域における性状の検討が必要である。

また、アスファルトコンクリート再生骨材（以下、再生骨材）の旧アスファルトの針入度の規格は 20(1/10mm) 以上³⁾とされているが、この規格値は本州等で使用されている針入度 60-80 のバインダが用いられた再生骨材に対する試験舗装⁴⁾の結果から決定されたものである。しかし、積雪寒冷地である北海道では、低温時の横断亀裂現象などの問題を考慮し、針入度 80-100 のバインダを使用しているため、同一の針入度 20(1/10mm) の条件でもその性状に差が生じることが考えられる。

本研究では室内試験により、積雪寒冷地において繰り返し劣化、再生されたアスファルト舗装材料が、アス

ファルト混合物（以下、混合物）の低温性状に与える影響についての評価と、現在の再生骨材の規格に基づいて長期的に使用された場合に、混合物の耐久性に及ぼす影響についての評価を行った。さらに、特殊舗装材料（排水性舗装および耐流動対策用混合物）が混入した場合の混合物の評価、および北海道内の溶融固化施設から排出される一般廃棄物溶融スラグを混合物として活用する場合の評価を併せて行った。

2. 再生加熱アスファルト混合物の複数回利用の検討

2.1 バインダの調査研究の方法

2.1.1 バインダの評価方法

積雪寒冷地で用いられているストレートアスファルトバインダ 80-100（以下、ストアス）に対し、劣化、再生を繰り返し行い、各段階でバインダの性状試験を行い、物理性状、および化学性状を評価した。本検討の流れを図-1 に示す。また、各評価段階について図中の右段に示す呼び名を使用する。

(1) バインダの劣化方法

バインダに対する劣化方法は、AASHTO 試験規格に採用されている RIFOT 試験（以下、RIFOT）⁵⁾、および PAV 試験（以下、PAV）⁶⁾を用いた。RIFOT は、プラント混合時の熱劣化を想定した試験であり、PAV は長期供用時の劣化を想定した試験となっている。本検討では、供用 5 年程度⁷⁾の標準的な劣化条件（以下、標準劣化）、針入度 30 までの劣化（以下、針入度 30 劣化）、および針

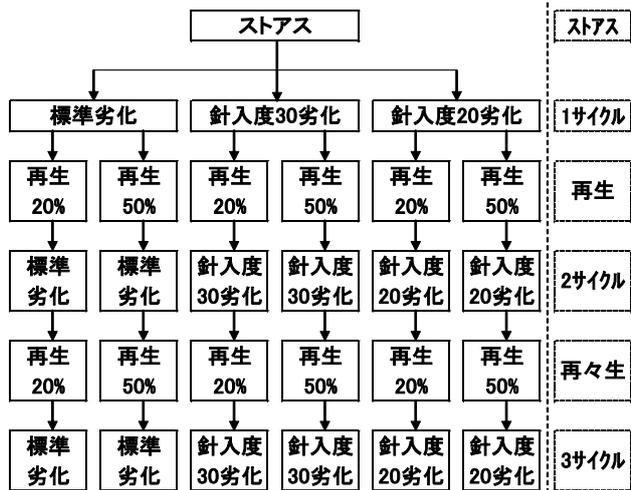


図-1 アスファルトバインダの性状評価のフロー図

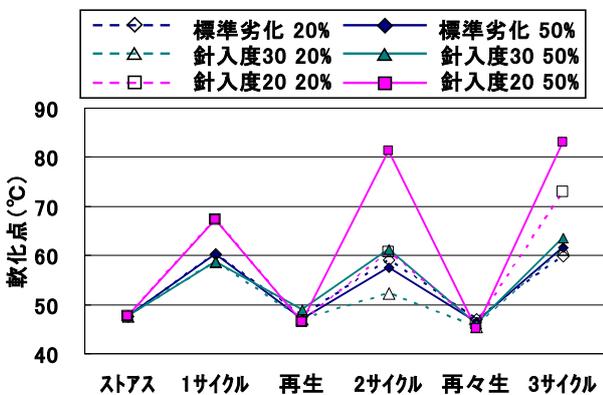


図-2 軟化点試験結果

入度 20 までの劣化(以下、針入度 20 劣化) の 3 条件を設けた。RTFOT は試験温度 163°C、試験時間は 85 分の劣化条件とし、PAV は RTFOT 終了後の試料を用いて空気圧 2、MPa、温度 100°C の条件で実施した。PAV の試験時間は標準劣化で 20 時間、針入度 30 劣化と針入度 20 劣化では、それぞれその針入度に至るまでの時間とした。PAV による劣化時間を表-1 に示す。

(2) バインダの再生方法

舗装再生便覧³⁾に示される再生用添加剤による針入度の調整を行い、針入度 80-100 の規格を満足するように旧バインダの針入度を調整し、さらにこの試料に新規にストアスを加え、旧アスファルトの混合率を 20%、50% (以下、再生混合率 20%、再生混合率 50%) の 2 条件とし、再生混合率の影響を確認した。

各条件における再生添加剤量を表-2 に示す。劣化の影響を大きく受けた低針入度、高再生混合率、再生回数が多い試料ほど、再生添加剤を多く必要とした。

(3) バインダの評価方法

新規のストアス、各段階における劣化後の試料、および再生添加剤を加え針入度を回復させた直後の試料に対

表-1 PAV 劣化時間

	ストアス	1サイクル	再生	2サイクル	再々生	3サイクル
標準劣化 20%	-	20h	-	20h	-	20h
標準劣化 50%	-	20h	-	20h	-	20h
針入度30 20%	-	10h	-	25h	-	30h
針入度30 50%	-	10h	-	45h	-	40h
針入度20 20%	-	50h	-	70h	-	80h
針入度20 50%	-	50h	-	95h	-	105h

表-2 再生添加剤量

条件	再生				再々生					
	標準		針入度 30		標準		針入度 30		針入度 20	
	20%	50%	20%	50%	20%	50%	20%	50%	20%	50%
新アス	80%	50%	80%	50%	80%	50%	80%	50%	80%	50%
旧アス	17%	42%	17%	43%	15%	36%	17%	43%	16%	39%
添加剤	3%	8%	3%	7%	5%	14%	3%	7%	4%	11%

再生添加剤の組成：アマルテン 0%、レジン 5.5%、芳香族分 36.6%、飽和分 57.9%

表-3 バインダの評価試験

性状試験	試験方法
針入度試験	舗装試験法便覧準拠 ⁵⁾
軟化点試験	舗装試験法便覧準拠 ⁵⁾
伸度試験	舗装試験法便覧準拠 ⁵⁾
フラス脆化点試験	別途記述
森吉脆化点試験	別途記述
バインダの曲げ試験	別途記述
組成分析試験	舗装試験法便覧準拠 ⁵⁾

表-4 針入度試験結果

	ストアス	1サイクル	再生	2サイクル	再々生	3サイクル
標準劣化 20%	85	26	81	32	82	32
標準劣化 50%	85	26	84	39	86	34
針入度30 20%	85	30	82	30	84	30
針入度30 50%	85	30	81	30	90	30
針入度20 20%	85	20	82	20	81	20
針入度20 50%	85	20	89	20	96	20

し、物理性状、および化学性状の評価を行った。試験項目を表-3 に示す。

2.2 調査研究の評価 (バインダ)

2.2.1 物理性状の評価結果

(1) 針入度試験結果

各条件における針入度試験結果を表-4 に示す。先に述べた通り、針入度 30 劣化と針入度 20 劣化は、劣化時間を調整したため劣化後の針入度は常に一定となっている。

標準劣化に着目すると、劣化条件は 3 サイクルとも同じであるが、2、3 サイクル後の針入度は、1 サイクル後よりも高く、再生添加剤が混入すると、針入度の低下幅が小さくなる傾向が見られる。

(2) 軟化点試験結果

各条件における軟化点試験結果を図-2 に示す。標準劣化、および針入度 30 劣化では、再生混合率、劣化回数によらずサイクル終了後の値は 60°C 前後となった。しかし、針入度 20 劣化では、サイクルを繰り返す毎に値が上昇し、

表-5 伸度試験結果

	ストアス	1サイクル	再生	2サイクル	再々生	3サイクル
標準劣化 20%	100+	5	100+	6	100+	6
標準劣化 50%	100+	5	100+	7	100+	5
針入度30 20%	100+	6	100+	6	100+	5
針入度30 50%	100+	6	100+	5	100+	4
針入度20 20%	100+	0	100+	5	100+	3
針入度20 50%	100+	0	100+	3	65	2

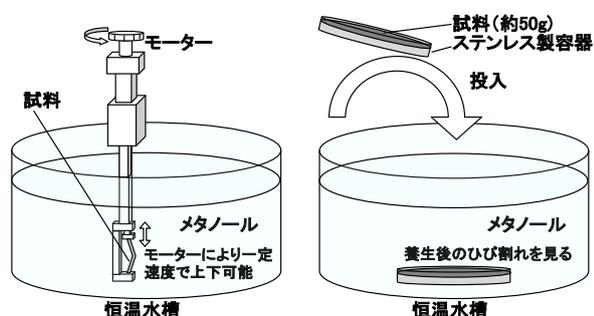


図-3 フラース脆化点試験(左)および森吉脆化点試験(右) 概要図

再生混合率 50%では2サイクルで 80℃を越え、再生混合率 20%でも 3サイクルで 70℃を越えた。

高速道路における調査⁸⁾では軟化点が 60~63℃となるとひび割れが多くなると報告されており、針入度 80-100のバイндаにとって、針入度 20に至る劣化は、極めて厳しい条件であると考えられる。

(3) 伸度試験結果

各条件における伸度試験結果を表-5に示す。全ての条件で各サイクル後における性状は、いずれの条件でも 10以下となっており大きな差違は見られない。

再生、再々生後では、標準劣化、および針入度 30劣化では、再生混合率、劣化回数にかかわらず、再生舗装便覧に示される基準値 100以上を満足した。しかし、針入度 20劣化では、混合率 50%で再々生を行った試料において、規準を満足できない結果となった。

(4) フラース脆化点⁹⁾試験結果

バイндаの低温領域の力学試験であるフラース脆化点試験を行い、脆性領域に入る限界温度を確認した。

試験方法は DIN U 6に準拠し、荷重測定が可能であり、供試体を装着するジグの溝幅を供試体の厚み程度に抑えた改良型の試験機と、永久変形の少ない特殊な鋼板、および冷媒を従来の空気の代わりにメタノールを使用し試験を行った。試験装置の概略を図-3に示す。

各条件におけるフラース脆化点を図-4に示す。各サイクル後の性状に着目すると、再生混合率の影響は全ての条件でほとんどなく、標準劣化ではサイクル回数によらず標準劣化 1サイクルの値と同程度の値を示し、針入度 30劣化は、サイクル数が増える毎に値が上昇する傾向が見られるが、ほぼ標準劣化と同程度の値を示している。針入度 20劣化は、サイクル数による値の変化は見られな

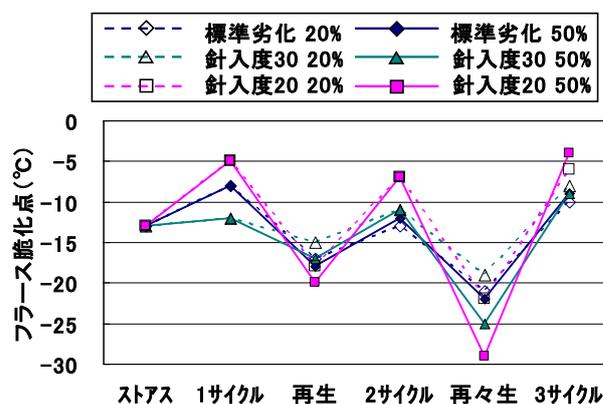


図-4 フラース脆化点試験結果

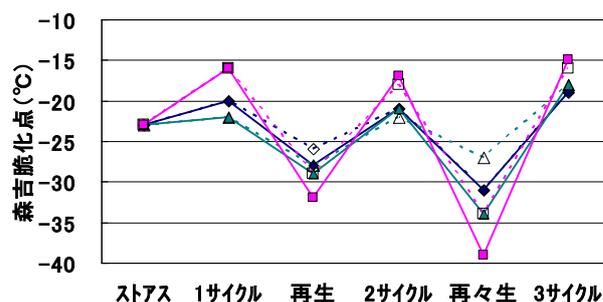


図-5 森吉脆化点試験結果

いが、標準劣化の値と比べ著しく高い値となっている。

全体としてサイクル数の増加に伴うフラース脆化点の上昇はあまり見られず、サイクル後においては、フラース脆化点は針入度の影響を大きく受けると考えられる。

再生作業後の性状について着目すると、針入度はすべて 90程度であるのに対し、フラース脆化点は一定とはなっておらず針入度の影響よりも、表-2に示した再生添加剤の影響を大きく受け、これが多く再生混合率が高いほど、低い値となっている。

(5) 森吉脆化点¹⁰⁾試験結果

バイндаの低温領域の熱応力試験である森吉脆化点試験を行い、熱応力により破壊が生じる温度を確認した。

この試験は、試料を直径 14cm のステンレス製容器 2個に各々 50g 取り、約 120℃まで加熱融解し厚さ約 3mmとした試料を交互にメタノール低温水槽内に浸して、バイндаが熱応力により破壊する温度(以下、森吉脆化点)を求めるものである。試験概略を図-3に示す。

各条件における森吉脆化点を図-5に示す。図-4に示したフラース脆化点と同様の傾向を示している。森吉らの研究⁸⁾により、新規、および劣化を受けたバイндаでは、フラース脆化点より 10℃マイナス側に森吉脆化点が存在することが明らかにされているが、今回、劣化、再生を繰り返した試料に対してもこの関係が見られた。

積雪寒冷地のアスファルト舗装では、冬期間のひび割れや剥離による破壊を防ぐために、できるだけ脆くない



図-12 アスファルト混合物の性状評価の概要

の低下が懸念される結果となった。また、これらの傾向は再生混合率 20%の試料でも同様に見られた。

2.2.2 化学性状の評価結果

各条件におけるアスファルト組成成分の分析結果を再生混合率 50%の試料について劣化条件別に図-9、10、11に示す。劣化によりアスファルテン、レジ分が増加し、芳香族、飽和分が減少し、再生により芳香族、飽和分を主とする再生添加剤を加えることにより、減少した成分が補われ、組成成分の構成比率の回復が見られる。

一般的に、再生を繰り返すことにより、徐々にアスファルテン、およびレジ分が増加することが知られているが、図-9、10に示した標準劣化、針入度 30 劣化ではその傾向が見られる。

一方、針入度 20 劣化では、図-11に示すように他の条件よりアスファルテンの大きな増加が見られ、劣化の影響を大きく受けており、さらに、針入度の回復のため再生添加剤を大量に加えたことによる飽和分の大きな増加が見られる。これらのことから繰り返し再生することにより組成成分の比率が著しく変化している。

2.2.3 物理性状と化学性状の関係

針入度の調整作業により、再生添加剤量を決定する方法を用いたが、積雪寒冷地のバインダでは、劣化後と再生時の針入度の差が大きくなるため、針入度と同時に組成成分を新規のものと同等に回復させることは難しい。

特に針入度 20 まで劣化させた試料では、繰り返し利用することで組成が大きく変化し、針入度を回復させても、伸度が回復できず、またサイクル数の増加に伴いバインダの曲げ破壊強度が低下する結果を招いたと考えられる。

ただし、針入度 30 程度までの劣化であれば、緩やかな組成の変化は見られるものの、物理性状値の大きな低下には至っていない。

2.3 混合物の調査研究の方法

バインダの性状評価で確認された事項が、混合物の性状に与える影響を確認するため、劣化を繰り返した再生

表-6 再生骨材の品質

	針入度	微粒分量	旧アスファルト含有量
採取再生骨材	37	0.70%	5.45%
規格値	20以上	5%以下	3.8%以上

表-7 劣化・再生条件

	劣化後の針入度	劣化日数	再生添加剤量
再生骨材(一般劣化)	37	-	10.0%
再生骨材(針入度30)	37	3日	20.0%
再生骨材(針入度20)	37	14日	30.0%
再々生骨材(一般劣化)	-	10日	15.5%
再々生骨材(針入度30)	-	33日	20.0%
再々生骨材(針入度20)	-	60日	24.0%

骨材を用いて混合物の評価試験を行った。

2.3.1 混合物の評価方法

評価方法の概要を図-12に示す。北海道地区のA再生プラントより採取した再生骨材を用いて、再生を繰り返した混合物を作製し、その性状を評価した。

再生骨材の品質を表-6に示す。再生骨材は各規格を満足し、針入度は 37(1/10mm)であった。

(1) 混合物の劣化方法

改質アスファルト協会が実施した再生骨材の作製手法¹³⁾を参考に、乾燥炉で加熱劣化する方法を採用した。再生骨材をバットに 21~22(kg/m²)に広げ、135°Cの乾燥機に 4時間入れ、大きな塊を解し、その後 85°Cの乾燥機で熱劣化させた。所定の針入度とするため、再生骨材よりバインダを回収後、針入度を確認し、劣化時間を調整した。

劣化条件を表-7に示す。ここでは、採取した再生骨材の針入度 37を一般的な劣化条件とし、さらに針入度 30まで劣化した骨材、および再生骨材の規格値である針入度 20まで劣化した再生骨材の 3条件を設け、比較した。

(2) 混合物の再生方法

舗装再生便覧³⁾に示される再生用添加剤による針入度の調整を行い、針入度 80-100の規格を満足するよう旧バインダを回復させた。再生条件を表-7に示す。再生混合率は 50%とした。

(3) 混合物の評価項目

新規、再生、および再々生混合物に対し、表-8に示す評価試験を行った。また、再生骨材より回収した旧バインダを混合物と同条件で再生した試料(以下、回収バインダ)に対し表-9に示す評価試験を行い、先に行ったバインダの性状と比較し、劣化方法を評価した。

2.4 調査研究の評価(混合物)

2.4.1 基本性状

混合物の配合は密粒度アスコン 13Fを使用した。マーシャル安定度試験より得られた基本性状を表-10に示す。

表-8 混合物の評価試験

性状試験	試験方法
マーシャル安定度試験	舗装試験法便覧準拠 ⁵⁾
単純曲げ試験	別途記述
圧裂試験	舗装試験法便覧準拠 ⁵⁾
チェーンラベリング試験	舗装試験法便覧準拠 ⁵⁾
ホイールトラッキング試験	舗装試験法便覧準拠 ⁵⁾

表-9 回収バインダの評価試験

性状試験	試験方法
針入度試験	舗装試験法便覧準拠 ⁵⁾
軟化点試験	舗装試験法便覧準拠 ⁵⁾
伸度試験	舗装試験法便覧準拠 ⁵⁾
フラス脆化点試験	別途記述
森吉脆化点試験	別途記述

表-10 基本性状

	新材	再生混合物			再々生混合物			目標値 基準値
		一般劣化	針入度30	針入度20	一般劣化	針入度30	針入度20	
アスファルト量(%)	5.4	5.7	5.7	5.7	5.3	5.3	5.3	—
空隙率(%)	3.1	3.5	3.4	3.3	3.5	3.5	3.8	3-5
飽和度(%)	80.3	79.0	79.6	80.1	78.0	78.0	76.5	75-85
マーシャル安定度(kN)	7.7	9.4	9.0	8.3	9.1	9.8	8.5	4.9以上
フロー値(1/100cm)	32	36	32	34	30	29	25	20-40

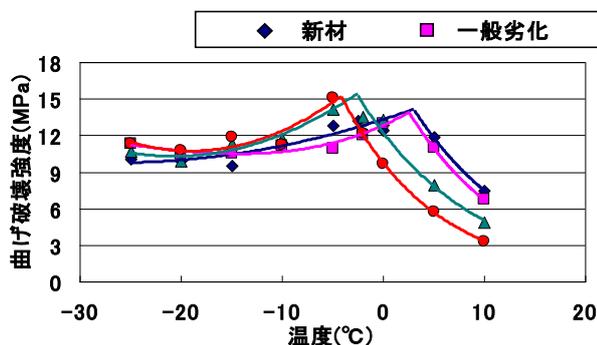


図-13 再生混合物の曲げ破壊強度

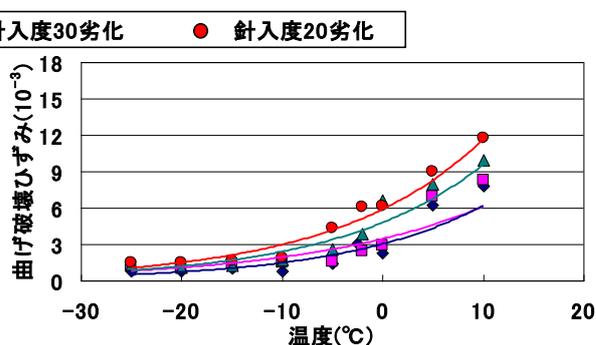


図-15 再生混合物の曲げ破壊ひずみ

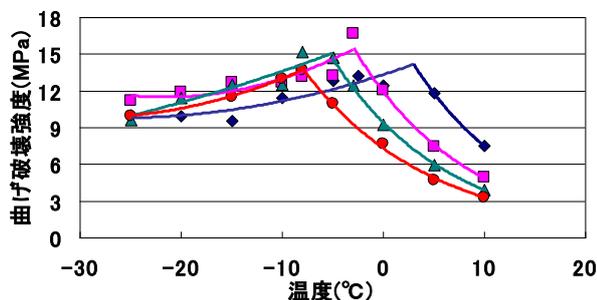


図-14 再々生混合物の曲げ破壊強度

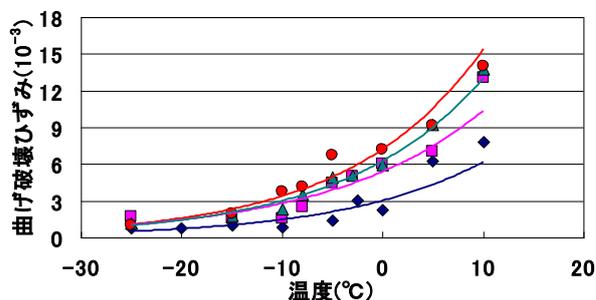


図-16 再々生混合物の曲げ破壊ひずみ

基本性状は、基準値を逸脱する条件はなく全ての配合で良好な性状を示した。

2.4.2 曲げ特性¹⁴⁾

養生温度を変化させて単純曲げ試験を行い、混合物の曲げ破壊強度と曲げ破壊ひずみを測定し、低温時のたわみ性の評価と、混合物の脆化点の評価を行った。

試験に用いた供試体は、各条件で作製したホイールトラッキング試験供試体より、転圧方向と平行に電動カッターを用いて25mm×25mm×280mmに6面を切断し作製した。これを実験条件の温度で約30分間養生し、スパン長200mmで供試体中央に荷重をかけ、破壊時の曲げ強度、および曲げひずみを計測した。

試験結果を再生混合物と再々生混合物とに分け、図-13～16に示す。再生混合物の脆化点は新材よりも低温側へ移動することがこれまでに報告されているが¹⁵⁾、図13、14に見られるように、今回作製した再生、再々生混合物でも脆化点の低温側への移動が見られる。これは、図-4、5で示したバインダの脆化点と同様の傾向となっており、劣化条件が厳しく、再生添加剤を多く含む条件ほど脆化点の低温側への移動が大きくなっている。

この脆化点の移動により低温時において、全ての再生、再々生混合物で新材よりも大きな曲げ破壊強度を示し、曲げ破壊ひずみにおいても図-15、16に示すように新材よりも大きな値となっている。

表-11 再生・再々生混合物の耐久性

		圧裂強度 (Pa)	すり減り量 (cm^2)	動的安定度 (回/mm)
新材		4.0	1.02	312
再生	一般劣化	4.6	1.17	519
	針入度30	4.6	0.81	289
	針入度20	4.7	0.84	271
再々生	一般劣化	5.1	0.96	291
	針入度30	4.8	0.85	268
	針入度20	5.2	0.93	320
規格値		-	1.3 cm^2 以下	-

混合物の性状評価でも、バインダの評価と同様に、再生添加剤の影響により脆化点が低くなり、低温性状が向上する傾向が見られた。

2.4.3 圧裂強度

-25°Cの養生条件で圧裂試験を行い、低温領域での混合物の圧裂強度を確認した。試験結果を表-11に示す。

再生、再々生混合物は、劣化条件による大きな差は見られず、新材よりも大きな値を示し、-25°Cにおける曲げ破壊強度と同様の傾向を示し、低温性状が向上する傾向が見られた。

2.4.4 摩耗抵抗性

チェーンラベリング試験を行い、積雪寒冷地の表層混合物において懸念されるタイヤチェーン等に対する摩耗抵抗性を確認した。試験結果を表-11に示す。

一般劣化条件の再生混合物は、新材よりもすり減り量が若干大きな値となったが、その他の条件では同程度以下の値を示している。全ての条件で規格値¹⁶⁾を満足しており、劣化条件、再生回数にかかわらず、良好な値を示した。

2.4.5 塑性変形抵抗性

曲げ特性より、再生、再々生混合物の脆化点の低温側への移動を確認したことから、これによる高温時のアスファルト混合物性状への影響の評価するため、ホイールトラッキング試験を行い、塑性変形抵抗性を確認した。試験結果を表-11に示す。

再生、再々生混合物は、新材と同程度の動的安定度を示しており、同等程度の塑性変形抵抗性を有していることを確認した。

2.5 まとめ

本研究では、積雪寒冷地において混合物を繰り返し再生することによる品質の変化を確認することを目的として、針入度 80-100 のバインダと再生骨材を用いて、バインダ単体と混合物の試験を実施し、諸性状を確認した。これにより以下の知見を得た。

- (1) バインダの性状試験結果から、針入度 20 劣化は針入度 80-100 のバインダにとって極めて厳しい条件であることが分かった。針入度 20 まで劣化させた試料では、針入度を回復させても、伸度が規格まで回復できない現象が見られた。また、サイクル数の増加に伴いバインダの曲げ破壊強度が低下し、その値は針入度 30 まで劣化させた試料の半分程度となり、極めて脆い材料となると考えられる。
- (2) 積雪寒冷地のバインダでは、劣化後と再生時の針入度の差が大きく、特に針入度 20 まで劣化させた試料では、繰り返し利用することで組成が大きく変化し、針入度と同時に組成成分の構成比を回復させることは困難であると考えられる。
- (3) 再生後において混合物の低温時における性状が向上する傾向が見られた。バインダおよび混合物による評価において、脆化点温度のマイナス側への移動が確認され、それに伴い低温時における混合物の曲げ破壊強度、曲げ破壊ひずみの増加、および低温時の圧裂強度の増加を確認した。これは、針入度を回復させるために使用した再生添加剤の影響と考えられ、再生添加剤が多い試料ほど、この品質の変化が大きく現れた。

本研究において、繰り返し再生し用いた場合の低温領域におけるバインダおよび混合物の性状の低下は針入度 20 劣化を除き概ね見られなかった。

なお、針入度 80-100 のバインダを針入度 20 程度まで劣化させ繰り返し再生する場合、化学性状、物理性状の変動が著しく、針入度の調整作業のみでは新材と同等の品質を確保することが困難となると考えられる。再生を行った混合物の性状は、新材と同程度の値を示したが、劣化を受けたバインダの曲げ強度は大きく低下することから、供用時に早期の舗装体の破壊が起こることが懸念される。一方、針入度 30 程度の劣化では、緩やかな組成の変化は見られるものの、物理性状の大きな品質の低下には至らないため、積雪寒冷地において長期的に再生骨材を使用する場合には、針入度の規格を引き上げるなどが必要と考えられる。

今後の課題としては、供用した道路において、複数回利用した再生混合物の劣化の影響を把握する必要がある。

3. 排水性舗装および耐流動対策舗装の再利用方法の検討

近年、北海道の国道にも、排水性舗装や耐流動対策舗装の施工が増加している。近い将来、これらの舗装の修繕時期を迎え、大量に切削材として排出されるが、資源の有効利用の観点から、一般の舗装と同様に舗装用骨材として再利用する必要がある。

ただし、排水性舗装や耐流動対策舗装には、バインダの性状を変える改質剤が含まれているため、再生混合物の品質に影響を及ぼすことが予測される。

そこで本研究では、排水性舗装や耐流動対策舗装切削材を表層用骨材として使用した場合に、再生混合物の品質へ与える影響について検討を行った。

3.1 調査研究の方法

本検討では、採取した舗装切削材を、アスファルト再生骨材の旧バインダの針入度規格の下限である20 (1/10mm) まで劣化させ、現在の規格への適用性を併せて検討した。

3.1.1 評価方法

加熱アスファルト混合物（以下、新材）、および切削材を用いた再生混合物に対し、表-12 に示す評価試験を行った。

表-12 再生混合物の評価試験

評価項目	試験名	試験条件
基本性状	マーシャル安定度試験	60℃
わだち掘れに対する抵抗性	ホイールトラッキング試験	60℃
摩耗に対する抵抗性	チェーンラベリング試験	-10℃
低温ひび割れに対する抵抗性	圧裂試験	-25℃
低温時における応力緩和性状	曲げ試験	-25～10℃
疲労に対する抵抗性	繰り返し曲げ試験	10℃

3.2 調査研究の評価

新材、および切削材を用いた再生混合物を作製し、表-13 に示す評価項目について比較検討を行った。

配合は、北海道開発局で表層用標準混合物として使用されている密粒度アスコン 13F（ストレートアスファルト 80-100）を使用した。

3.2.1 基本性状

切削材を用いて再生混合物のマーシャル安定度試験による配合設計を行った。

混合物の配合条件、およびマーシャル安定度試験

表-13 基本性状(排水性舗装切削材)

	新材	再生混合率		基準値	
		20%	50%		
骨材配合率 (%)	碎石6号	39.2	25.4	4.7	—
	碎石7号	5.0	6.6	5.6	—
	粗砂	26.4	18.8	14.1	—
	細砂	14.2	17.0	16.9	—
	切削材	0.0	18.8	46.9	—
	石粉	9.2	7.5	5.7	—
	アスファルト	5.4	5.8	6.2	—
密度 (g/cm ³)	2.410	2.388	2.370	—	
空隙率 (%)	3.1	3.3	3.3	3-5	
飽和度 (%)	80.3	80.3	81.3	75-85	
安定度 (kN)	7.7	8.8	9.5	4.9以上	
フロー値 (1/100cm)	32	32	32	20-40	

表-14 基本性状(耐流動対策舗装切削材)

	新材	再生混合率		基準値	
		20%	50%		
骨材配合率 (%)	碎石6号	39.2	33.1	24.5	—
	碎石7号	5.0	3.8	0.0	—
	粗砂	26.4	22.7	14.1	—
	細砂	14.2	9.5	5.7	—
	切削材	0.0	18.9	47.2	—
	石粉	9.2	6.6	2.8	—
	アスファルト	5.4	5.4	5.6	—
密度 (g/cm ³)	2.410	2.491	2.482	—	
空隙率 (%)	3.1	3.1	3.4	3-5	
飽和度 (%)	80.3	80.4	79.3	75-85	
安定度 (kN)	7.7	10.4	11.5	4.9以上	
フロー値 (1/100cm)	32	34	34	20-40	

より得られた基本性状を表-13、表-14 に示す。

排水性、耐流動対策舗装切削材を用いた再生混合物は、ともに再生混合率 50%までの条件で、基本性状値の基準を満足した。

また、マーシャル安定度は、排水性、耐流動対策舗装切削材ともに、混合率が高いほど大きくなる傾向が見られた。

3.2.2 わだち掘れに対する抵抗性

ホイールトラッキング試験より、わだち掘れに対する抵抗性（以下、塑性変形抵抗性）を確認した。試験結果を図-17 に示す。

排水性、耐流動対策舗装切削材を用いた再生混合物は、新材と同程度の動的安定度を示しており、新材と同程度の塑性変形抵抗性を有していることを確認した。

3.2.3 摩耗に対する抵抗性

チェーンラベリング試験を行い、積雪寒冷地の表

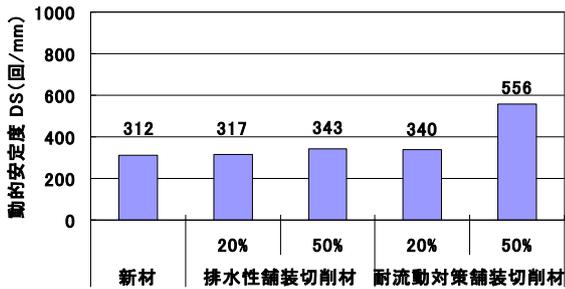


図-17 わだち掘れに対する抵抗性

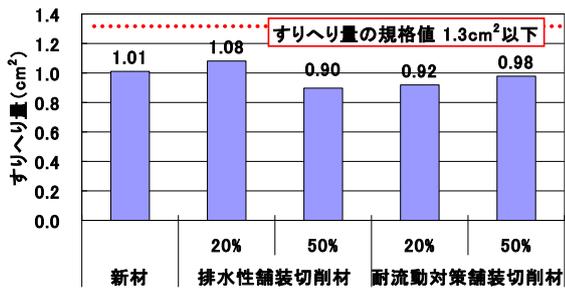


図-18 摩耗に対する抵抗性

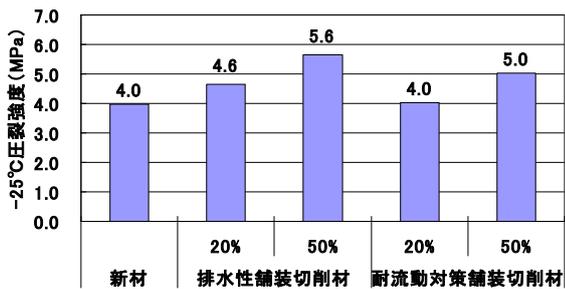


図-19 低温ひび割れに対する抵抗性

層混合物において懸念されるタイヤチェーン等に対する摩耗に対する抵抗性（以下、摩耗抵抗性）を確認した。試験結果を図-18に示す。

全ての条件で表層用混合物のすりへり量の規格値を満足し、新材と同等程度の値を有しており、切削材の混入による摩耗抵抗性の低下は見られなかった。

3.2.4 低温ひび割れに対する抵抗性

-25°Cの養生条件で圧裂試験を行い、低温領域における混合物の圧裂強度を確認し、低温ひび割れに対する抵抗性を検討した。試験結果を図-19に示す。

排水性、耐流動対策舗装切削材を用いた再生混合物はともに、再生混合率の増加に伴い、圧裂強度が上昇し、低温ひび割れに対する抵抗性の向上が見られた。

3.2.5 低温時における性状

養生温度を変化させて単純曲げ試験を行い、混合物の曲げ破壊強度と曲げ破壊ひずみを測定し、低温

時における応力緩和性状の評価を行なった。本試験では、30cm×30cm×5cmのホイールトラッキング供試体をカットし28cm×2.5cm×2.5cmの供試体を作製し、3点支持の単純曲げ試験を行った⁸⁾。

排水性舗装切削材を用いた再生混合物の試験結果を図-20、21に、耐流動対策舗装切削材を用いた再生混合物の試験結果を図-22、23に示す。

排水性舗装切削材を用いた再生混合物は、0°C以上条件で試験値にばらつきが見られるが、低温時には再生混合率の違いによる曲げ強度、曲げひずみの違いは見られず、新材と同様の曲げ特性を示した。

耐流動対策舗装切削材を用いた再生混合物では、切削材の混入により温度-応力曲線の低温側への移動が見られ、これにより低温域での曲げ強度、曲げひずみが新材の値よりも若干大きな値を示した。

以上の結果から、排水性、耐流動対策舗装切削材を用いた再生混合物はともに、低温時において新材と同程度の応力緩和性状を有していると考えられる。

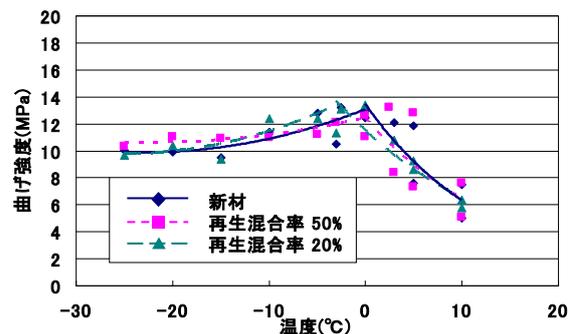


図-20 温度-曲げ強度の関係(排水性)

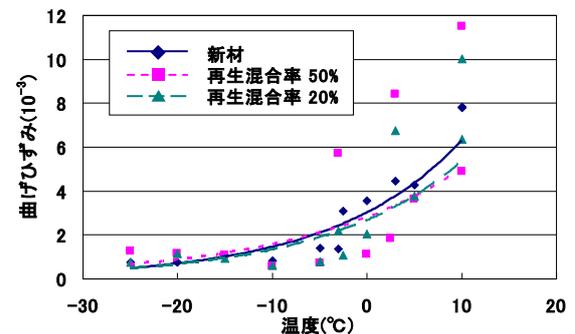


図-21 温度-曲げひずみの関係(排水性)

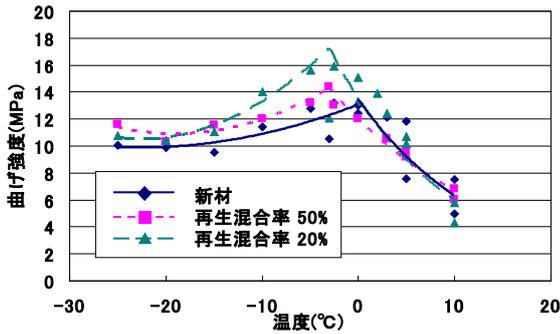


図-22 温度-曲げ強度の関係(耐流動)

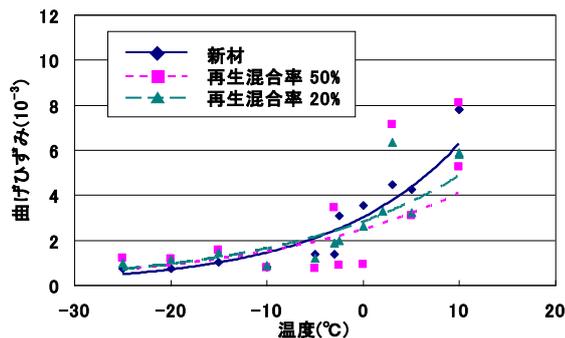


図-23 温度-曲げひずみの関係(耐流動)

3.2.6 疲労に対する抵抗性

+10°Cの試験条件で繰り返し曲げ試験を行い、混合物の疲労に対する抵抗性を検討した。試験結果を図-24に示す。排水性、耐流動対策舗装切削材を用いた再生混合物はともに、切削材の混合率が高くなるに伴い、同じひずみレベルの新材の値よりも破壊点回数が増える傾向が見られた。

従前の研究から、改質剤を含む耐流動対策舗装用混合物は、一般的な混合物と比較して、同じひずみレベルでの大きな破壊点回数となること明らかになっている。このことから、上記の傾向は、切削材に含まれる改質剤が影響したものと考えられる。

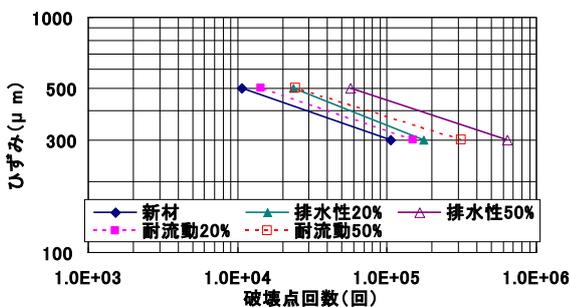


図-24 疲労に対する抵抗性

3.3 まとめ

アスファルト混合物の性状試験より、排水性、耐流動対策舗装切削材を用いた再生混合物は、新材と同程度以上の品質が得られることを確認した。

以上の結果から、現在のアスファルト再生骨材の規格を満たす排水性、耐流動対策舗装切削材は、再生混合物としての品質は、新材と同程度の品質を有することから、室内試験レベルでの検討では、再生混合率50%までの条件で表層用骨材として使用可能であることを確認した。

今後の課題としては、排水性や耐流動対策舗装切削材が混入した再生混合物の供用性状を把握する必要がある。

4. 積雪寒冷地における溶融スラグのアスファルト混合物用骨材としての検討

近年、廃棄物最終処分場の延命化や、ダイオキシン類の排出抑制を目的として、一般廃棄物の溶融固化施設の建設が盛んに行われている。北海道内においては、平成20年3月現在、10地区で一般廃棄物溶融固化施設が稼働している。これら北海道内の施設から生産される一般廃棄物溶融スラグ(以下、「溶融スラグ」)は、平成20年には年間約3.1万トンと見込まれている。

本州等の温暖な地域では、以前から溶融スラグを建設資材として利用する方法が検討されており、利用指針(案)などを作成し、積極的な利用を行っている地方自治体も数多く見られる。しかし、積雪寒冷地では溶融スラグの利用促進に関する検討は進んでおらず、北海道内では現在、埋め立て処理、あるいは保管されるなど、有効利用されていないのが実状である。そこで、積雪寒冷地における溶融スラグの道路用資材としての有効利用に関する検討を行った。

4.1 調査の方法

本報告では北海道内の一般廃棄物溶融固化施設より生産された溶融スラグに対し、室内においてアスファルト混合物用骨材としての品質、および安全性の検討を行った結果と、これに基づいて溶融スラグを舗装用骨材として用い試験施工を行った結果について報告する。

表-15 骨材としての評価項目

評価項目	試験名	備考
粒度	骨材のふるい分け試験	JIS A 1102 準拠
比重 吸水率	粗骨材の比重 および吸水率試験	JIS A 1110 準拠
すりへり減量	粗骨材のすりへり試験	JIS A 1121 準拠
微粒分量	骨材の微粒分量試験	JIS A 1103 準拠
剥離量	粗骨材の剥離抵抗性試験	JPI 5S 27 準拠

表-16 骨材性状

	溶融 スラグ	碎石 6号	碎石 7号	スクリー ングス	細砂
表乾比重	2.660	2.671	2.646	2.656	2.846
吸水率(%)	0.35	2.00	2.37	1.78	1.03
すりへり減量(%)	66.1	19.4	19.7	-	-
微粒分量(%)	0.17	0.38	0.38	-	-
剥離量(%)	49	-	-	-	-

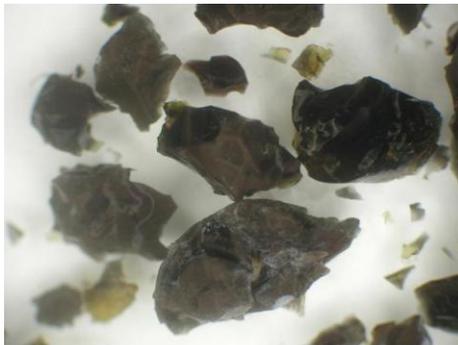


写真-1 溶融スラグ

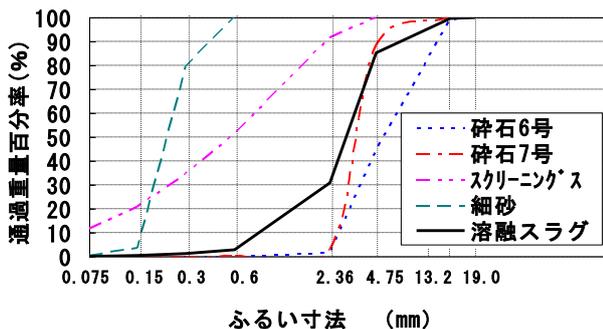


図-25 粒度曲線

4.2 アスファルト混合物用骨材としての品質評価

室内試験より、溶融スラグの骨材性状、アスファルト混合物としての性状、および安全性を評価した。評価結果を以下に示す。

4.2.1 骨材性状

溶融スラグの道路用骨材としての評価のため表-15に示す試験を実施した。なお、試験に用いた溶

融スラグは、溶融固化施設より直接採取したものをを用いた。溶融スラグの写真を写真-1に、骨材のふるい分け試験の結果を図-25に、その他の試験の結果を表-16に示す。また、比較のためアスファルト混合物の検討に用いた天然骨材の性状値を併せて記載する。

溶融スラグの粒度は、2.36~4.75mmを中心としており、表乾比重は天然骨材と同程度の値を示している。一方、溶融スラグは写真-1に示すように、表面がガラス状となっているため、天然の骨材と比較して吸水率が極めて小さい値となっている。このためアスファルトとの付着性が弱く、骨材の剥離抵抗性試験では剥離量が49%と高い値を示しており、溶融スラグを高い混合率でアスファルト混合物に用いた場合、アスファルト混合物の品質低下を招くことが考えられる。

4.3 アスファルト混合物としての品質評価

溶融スラグの表層用骨材としての適用性を確認するためアスファルト混合物を作製し、表-17に示す項目について評価を行った。

なお、アスファルト混合物作製に使用した骨材は、今回使用した溶融スラグの発生地区で使用されているものとした。

表-17 アスファルト混合物としての評価項目

評価項目	試験名	備考
配合設計	マーシャル安定度試験	
剥離抵抗性	水浸マーシャル安定度試験	舗装調査・試験法便覧 ⁸⁾
塑性変形抵抗性	ホイールトラッキング試験	
摩耗抵抗性	チェーンラベリング試験	

4.3.1 配合設計

マーシャル安定度試験を行い、最適アスファルト量を求め、配合設計を行った。なお、配合は北海道内の表層に最も多く用いられている密粒度アスコン13Fとした。

各溶融スラグ混合率における最適アスファルト量を図-26に、各溶融スラグ混合率におけるマーシャル安定度を図-27に示す。

図-26に示すように、溶融スラグの混合率が増加するに従い最適アスファルト量が低下している。これは、溶融スラグの吸水率が極めて小さいことが起因したものと考えられる。

また、図-27に示すようにマーシャル安定度は、溶融スラグの混合率が増加するに従い低下する傾向

が見られるが、これは前述した最適アスファルト量の低下による影響と推察される。なお、全ての混合率で、密粒度アスコン 13F の安定度の規格値 4.90kN を満足する値を示した。

4.3.2 剥離抵抗性

水浸マーシャル安定度試験を行い、剥離抵抗性を確認した。各溶融スラグ混合率における水浸マーシャル安定度および残留安定度を図-28 に示す。

水浸マーシャル安定度は、マーシャル安定度と同様に溶融スラグの混合率が増加するに従い低下する傾向が見られた。また、残留安定度は、ばらつきはあるが全ての混合率において目安値(75%以上)を満足した。

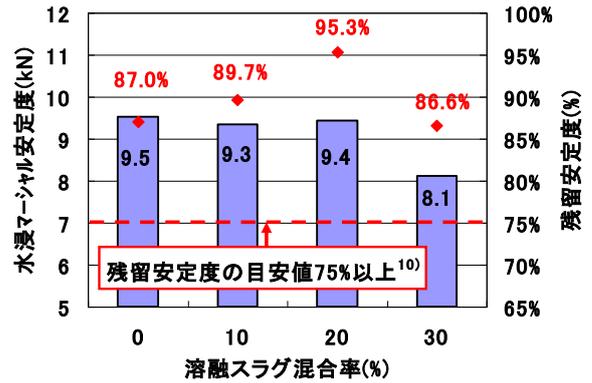


図-28 水浸マーシャル安定度・残留安定度

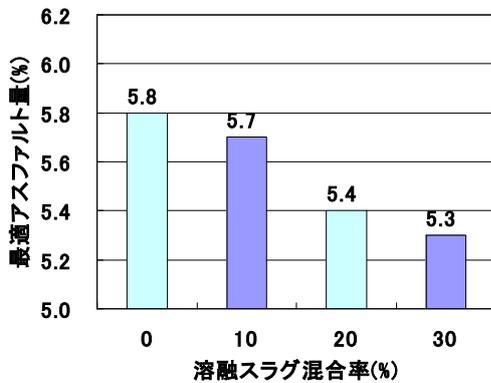


図-26 最適アスファルト量

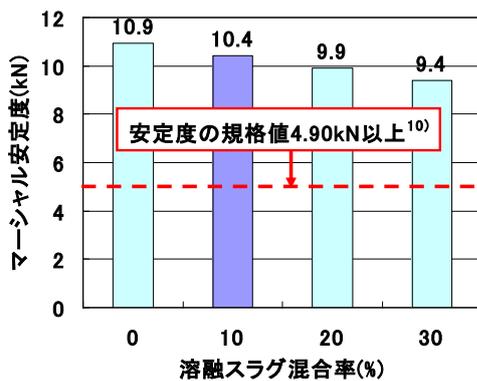


図-27 マーシャル安定度

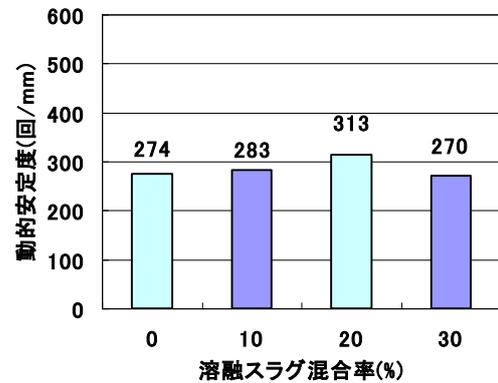


図-29 動的安定度

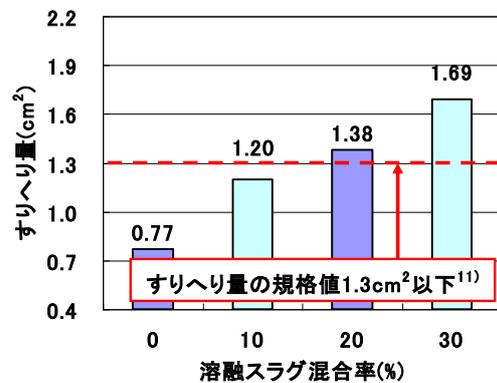


図-30 すりへり量

4.3.3 塑性変形抵抗性

ホイールトラッキング試験を行い、塑性変形抵抗性を確認した。各溶融スラグ混合率における動的安定度を図-29 に示す。

動的安定度は、溶融スラグの混合率によらず同程度の値を示し、溶融スラグの混入による塑性変形抵抗性の低下は見られなかった。

4.3.4 摩耗抵抗性

チェーンラベリング試験を行い、タイヤチェーン等に対する摩耗抵抗性を確認した。各熔融スラグ混合率におけるすりへり量を図-30に示す。

熔融スラグの混合率が増加するほど、すりへり量が大きくなる傾向が見られ、熔融スラグの混合率が20%以上の条件では、北海道開発局が表層混合物に設ける規格値(1.3cm²以下)を満足できない結果となった。

4.3.5 安全性

今回使用した熔融スラグの有害物質の溶出量、および含有量について、JIS規格値に示されている8項目に対し試験を行った。試験結果、およびJIS規

表-18 有害物質の溶出量・含有量

項目	溶出試験		含有試験	
	溶出量 (μg/L)	基準値	含有量 (mg/kg)	基準値
Cd	<5	<10	<20	<150
Pb	6	<10	380	<150
Cr(VI)	<40	<50	<2	<250
As	<3	<10	5.0	<150
T-Hg	<0.02	<0.5	<0.001	<15
Se	<4	<10	<4	<150
F	<170	<800	<80	<4000
B	<80	<1000	<150	<4000

は、基準値を超えた項目

格値)を表-18に示す。

溶出量は全成分で基準値を満足しているが、含有量の基準値については、スラグ単体での鉛含有量が基準を超える値を示した。ただし、JIS規格には「熔融スラグ単体で有害物質の含有量基準を満足しない場合でも、当該基準の3倍以内であれば、他の道路材料と配合したものによって当該基準のみならず、この規格の全ての項目を満足する品質を保証できる場合には、この規格の適用を妨げるものではない。」としている。

これを満足する熔融スラグ混合率の上限は、(1)式に当てはめると、39%程度となる。

$$\text{Pb含有基準値}(150\text{mg/kg}) \geq \text{Pb含有量} \times \text{混合率} \quad \dots (1)$$

4.4 アスファルト混合物用骨材としての評価

室内試験における評価から、アスファルト混合物としての摩耗抵抗性を考慮すると、熔融スラグの混合率は10%程度までとすることが望ましいと考えられる。

また、別に行った路盤材としての試験施工より粒

径5mm以上の熔融スラグは、特に転圧等により細粒化しやすいことが確認されたため、実際の施工にあたっては粒径5mm以上の熔融スラグをふるいにかけ取り除く必要があると考えられる。

4.5 アスファルト混合物用骨材としての試験施工

室内試験を基に、熔融スラグのアスファルト混合物用骨材としての試験施工を、交通量の少ない生活道路において行った。熔融スラグの混合率は室内試験結果より10%とし、写真-2に示すように5mm以下の粒径のものをふるい分け使用した。

試験施工箇所の概要を図-31に示す。熔融スラグ混合率10%のアスファルト混合物を使用した工区(以下、スラグ工区)と、比較のために天然骨材のみを使用した工区(以下、比較工区)をそれぞれ50m程度設けた。

なお、当試験工区の置換厚は、2工区とも55cmとなっており、試験施工地区の10年確率凍結指数(1991年-2000年アメダスデータ)より求めた必要な置換え深さ50cmを満足している。



写真-2 ふるい分け前後の熔融スラグの状況

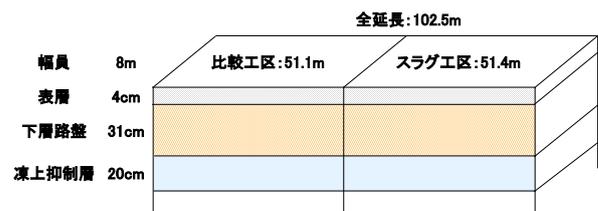


図-31 試験施工工区概要

4.5.1 試験施工概要

施工時の気象条件および転圧条件を表-19に示す。施工は両工区とも同日に行われ、転圧は各工区とも同一の条件で行われた。

表-19 試験施工条件

工区名	比較工区	スラグ工区
溶融スラグ混合率(%)	0%	10%
施工日	H19.12.25	
天候	晴れ	
平均気温	3.2°C	2.3°C
1次転圧	3tタンデムローラ 6回	
2次転圧	8~10tタイヤローラ 12回	

表-20 締固め度・現場密度

	比較工区	スラグ工区	規格値
締固め度(%)	98.9	99.3	96以上
現場密度(g/cm ³)	2.389	2.403	—

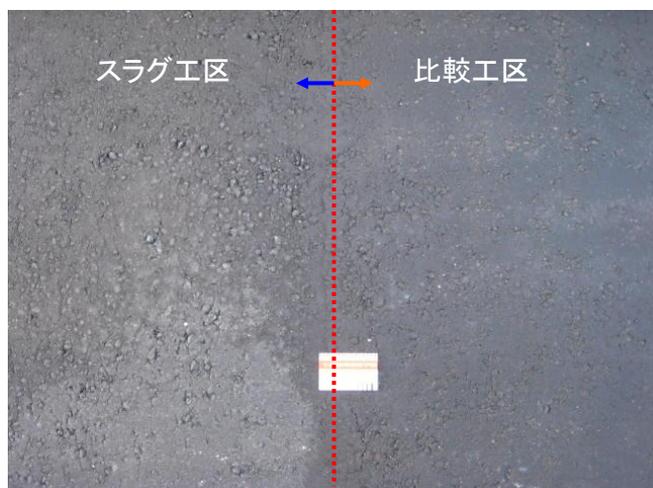


写真-3 スラグ工区の路面

4.5.2 施工時の評価

(1) 聞き取り調査

施工時に聞き取り調査を行い、各工区の施工性を確認した。聞き取りの結果、溶融スラグが10%混入することによる施工性への影響はなく、スラグ工区は比較工区と同程度の施工性を有しているとの評価を得た。

(2) 現場密度測定

各工区のアスファルト混合物の締固め度を確認するため、切り取りコアを採取し、密度測定を行った。試験結果を表-20に示す。

両工区とも規格値である締固め度 96%以上を満足しており、スラグ工区と比較工区の現場密度はほぼ同程度の値であることを確認した。

(3) 目視調査

スラグ工区と比較工区の施工直後の状況を写真-3に示す。工区境を接写で撮影した写真-3において、

スラグ工区と比較工区の路面状況に区別が付かない状況である。

4.5.3 供用後の性状

試験施工工区において施工2年までの追跡調査を実施している。

(1) わだち掘れ量

わだち掘れ量の推移を工区別に図-32に示す。供用2年後において各工区とも9mm程度の横断凹凸量となっており大きな差はなく、現段階においては溶融スラグをアスファルト混合物用骨材として使用したことによるわだち掘れ量への影響は見られていない。

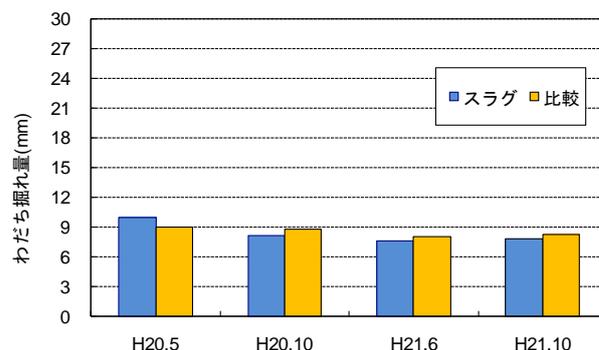


図-32 わだち掘れ量

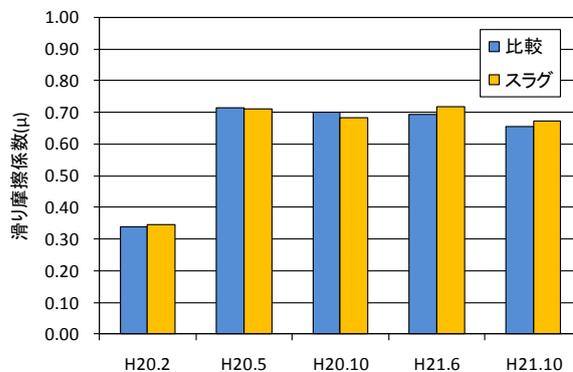


図-33 すべり抵抗性

(2) すべり抵抗性

ダイナミック・フリクション・テストを用いて、すべり摩擦係数を測定した。結果を図-33に示す。

施工3ヶ月後において両工区とも全ての速度条件において0.4を下回る値となっているが、これはアスファルトモルタル分が骨材表面を覆っていたことによる影響と考えられる。

施工5ヶ月後においては、両工区とも全ての速度ですべり摩擦係数は0.7程度であり、差は見られない。

4.6 まとめ

本検討で得られた知見を以下に示す。

(1) アスファルト混合物用骨材としての評価

熔融スラグは、吸水率が極めて低い材料であるため、アスファルトとの付着性が弱く、アスファルト混合物に用いる場合、混合率を高くすると、安定性、摩耗抵抗性が低下することが確認された。このため、積雪寒冷地の表層として用いる場合、すりへり量の規格を満たし、通常のアスファルト混合物と同程度の品質を確保するためには、熔融スラグの混合率を10%程度とすることが妥当である。

(2) 施工性の評価

熔融スラグ混合率 10%のアスファルト混合物が、通常のアスファルト混合物と、同様の施工性を有し、通常のアスファルト混合物と同じ転圧条件で所定の締固め度が得られることを確認した。

(3) 供用性の評価

施工後 2 年において、熔融スラグ混合率 10%のアスファルト混合物を用いた工区は、通常のアスファルト混合物を用いた工区と同等の供用性状を示している。

以上の結果から 10%程度の熔融スラグを混入した再生混合物は、交通量の少ない市道等では、使用できることが明らかになった。

今後は、長期的な供用性状を把握し、耐久性の確認が必要である。

参考文献

- 1) 片脇 清, 坂本浩行, 寺田 剛 : 劣化アスファルトの再生限界に関する試験, 第 20 回日本道路会議論文集, pp444-445, 1993.
- 2) 新田弘之, 西崎 到 : 繰り返し再生したアスファルト性状, 第 26 回日本道路会議, 2005.
- 3) 社団法人日本道路協会 : 舗装再生便覧, 2004.
- 4) 安崎 裕, 片倉弘美, 高木信幸 : 再生加熱アスファルト混合物の供用性評価, 土木技術資料, 31-9 pp48-53, 1989.
- 5) 社団法人日本道路協会 : 舗装試験法便覧, 1988.
- 6) 社団法人日本道路協会 : 舗装試験法便覧別冊, 1996.
- 7) 遠西智次, 新田弘之, 坂本浩之, 片脇 清 : アスファルトバインダーの劣化試験方法に関する研究, 舗装 30-6, pp.3-7, 1995.
- 8) 谷口豊明, 伊藤達也 : アスファルトの劣化, ASPHILT, Vol.33 No.164, pp67-82, 1990.
- 9) 森吉昭博, 川村和将 : 低温領域のアスファルト性状の測定法, 石油学会誌, 第 36 巻 第 2 号, pp139-143, 1993.2.
- 10) 森吉昭博, 高橋将, 張肖寧 : 低温領域におけるアスファルトの亀裂試験方法, 石油学会誌, 第 30 巻 第 4 号, pp273-276, 1987.
- 11) Akihiro MORIYOSHI, Junan SHEN, Kosuke EZAWA, Takashi TOMOTO : Comparison of Various Testing Methods for Low-temperature Properties of Asphalts, *Journal of the Japan Petroleum Institute*, Vol.48 No.6, pp336-343, 2005.
- 12) 徳光克也, 森吉昭博, 中島 隆 : 石油学会誌, 第 37 巻第 4 号, pp455-460, 1994.
- 13) 日本改質アスファルト協会 技術委員会 : 改質アスファルト混合物発生材の再生混合物への適用性, 改質アスファルト, No.12, pp27-31, 1999.
- 14) 森吉昭博, 上島 壮, 菅原照雄 : アスファルト混合物の破壊強度に関する研究, 土木学会論文報告集, 第 210 号, pp57-64, 1973.
- 15) 小林逸平, 上田 清 : 舗装の再生利用技術の現状, 土木技術資料, 26-4 pp195-200, 1984
- 16) 北海道開発局 : 道路工事設計施工要領, p1-5-10, 2005.