

積雪寒冷地における再生アスファルト混合物の 長期的利用について

上野千草¹・田高淳²・安倍隆二³

¹正会員 独立行政法人 土木研究所 寒地土木研究所 (〒062-8602 札幌市豊平区平岸一条三丁目 1-34)
E-mail : c-ueno@ceri.go.jp

²正会員 独立行政法人 土木研究所 寒地土木研究所 (〒062-8602 札幌市豊平区平岸一条三丁目 1-34)

³正会員 独立行政法人 土木研究所 寒地土木研究所 (〒062-8602 札幌市豊平区平岸一条三丁目 1-34)

積雪寒冷地において、アスファルト混合物を繰り返し再生利用する場合の品質の変化を確認することを目的として、針入度 80-100 のアスファルトバインダとアスファルト再生骨材を用い、低温領域中心に、繰り返し再生を行ったアスファルトバインダとアスファルト混合物の性状を検討した。

その結果、現在のアスファルト再生骨材の規格である針入度 20 程度まで劣化したアスファルトバインダを繰り返し使用した場合、化学性状、物理性状の著しい変動が見られ、再生添加剤による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ことを確認した。

Key Words : Straight asphalt binder (Pen.80-100), Pen.20, Repetition recycling, Breaking point

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。

2. バインダの性状

(1) 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。

a) 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RTFOT試験(以下、RTFOT)⁵⁾、およびPAV試験(以下、PAV)⁶⁾を用いた。RTFOT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)、および針入度20までの劣化(以下、針入度20劣化)の3条件を設けた。

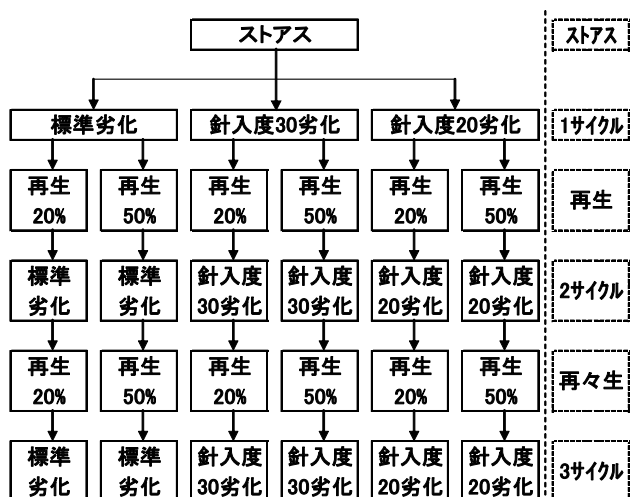


図-1 アスファルトバインダの性状評価のフロー図

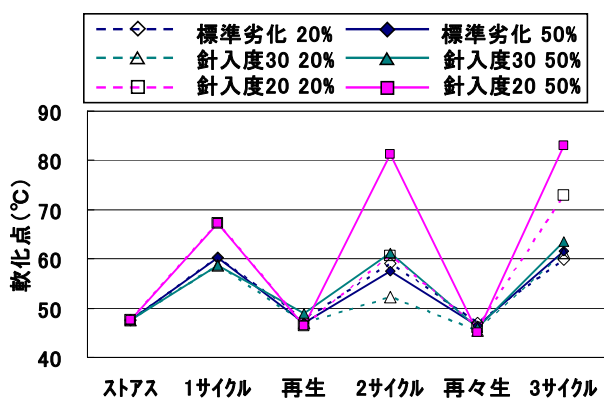


図-2 軟化点試験結果

RTFOT は試験温度 163℃、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 2.1MPa、温度 100℃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。

b) 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、再生回数の多い試料ほど、再生添加剤を多く必要とした。

c) 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。

表-1 PAV 劣化時間

	ストアス	1サイクル	再生	2サイクル	再生	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				再生				再生			
	標準		針入度 30		針入度 20		標準		針入度 30		針入度 20	
	20%	50%	20%	50%	20%	50%	20%	50%	20%	50%	20%	50%
新アス	80%	50%	80%	50%	80%	50%	80%	50%	80%	50%	80%	50%
旧アス	17%	42%	17%	43%	15%	36%	17%	43%	16%	39%	14%	32%
添加剤	3%	8%	3%	7%	5%	14%	3%	7%	4%	11%	6%	18%

再生添加剤の組成:アスファレン 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

(2) 物理性状の評価結果

a) 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。

b) 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℃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、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⁹⁾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 のバインダにとって、針入度 20 に至る劣化は、極めて厳

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

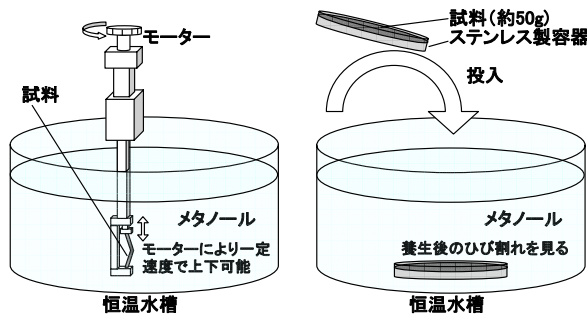


図-3 フラース脆化点試験(左)および森吉脆化点試験(右) 概要図

しい条件であると考えられる。

c) 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。

d) フラース脆化点⁹⁾試験結果

バインダ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 U6 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

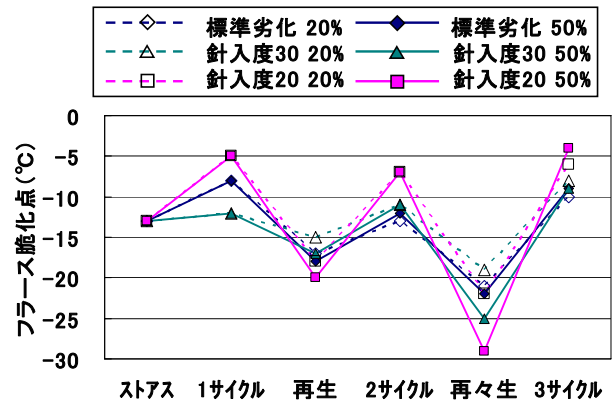


図-4 フラース脆化点試験結果

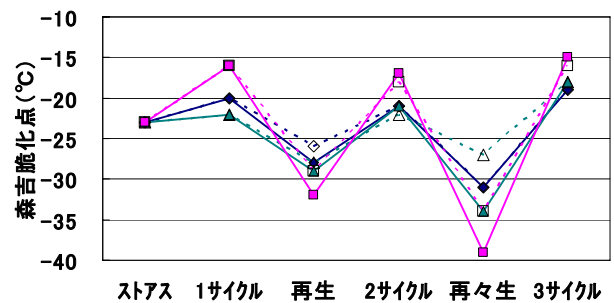


図-5 森吉脆化点試験結果

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。

e) 森吉脆化点¹⁰⁾試験結果

バインダ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、バインダ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⁹⁾により、新規、および劣化を受けたバインダでは、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もの、つまり脆化点が高いものが望まれるが¹¹⁾、フラース脆化点試験、森吉脆化点試験の結果から、針入度の調整による再生を繰り返した場合、再生添加剤の影響によりかえって脆化点が低くなり、低温性状が向上する傾向が見られた。

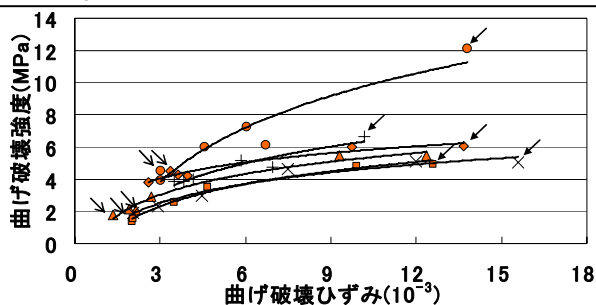
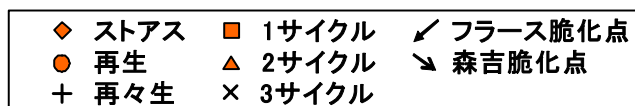


図-6 曲げ破壊強度と曲げ破壊ひずみ(標準劣化)

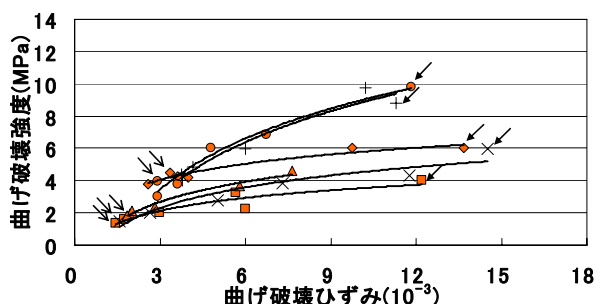


図-7 曲げ破壊強度と曲げ破壊ひずみ(針入度 30 劣化)

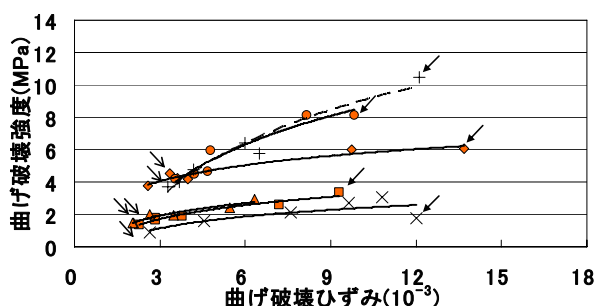


図-8 曲げ破壊強度と曲げ破壊ひずみ(針入度 20 劣化)

ただし、針入度 20 劣化では、サイクル後において、フラース脆化点、森吉脆化点がともに標準劣化と比較して著しく高い値を示していることから、供用に伴い比較的高い温度で低温クラックが発生する可能性が高く、極めて厳しい劣化条件であると考えられる。

f) バインダの曲げ特性¹²⁾

低温時のバインダ単体の曲げ破壊強度、および曲げ破壊ひずみを測定し、バインダの低温性状を評価した。

試験に用いる供試体、試験機はフラース脆化点試験と同様である。供試体を試験機にセットし、メタノール低温水槽内に投入し、約 5 分間の養生時間を取り、熱応力を十分に緩和させ、一定の载荷速度(ひずみ速度 2×10^{-2} 1/sec)により、曲げ破壊時の強度、およびひずみを測定する試験である。本検討では、各々の試料についてのフラース脆化点から森吉脆化点の間の脆性領域温度において、2°C 間隔で計測を行った。

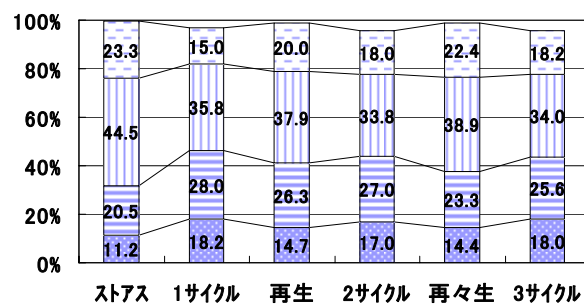
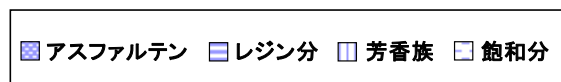


図-9 組成分析試験結果(標準劣化)

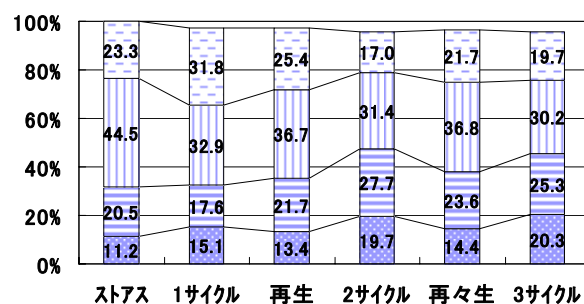


図-10 組成分析試験結果(針入度 30 劣化)

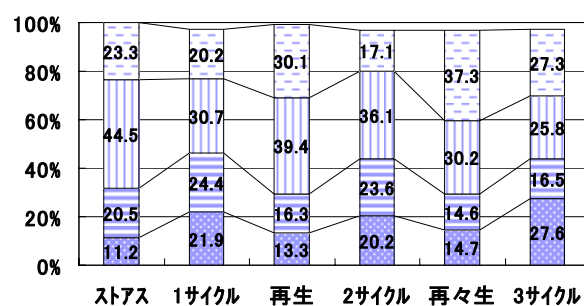


図-11 組成分析試験結果(針入度 20 劣化)

再生混合率 50%の試料における曲げ破壊強度と曲げ破壊ひずみの関係を劣化条件別に図-6, 7, 8 に示す。

フラース脆化点付近で最大の曲げ破壊強度、およびひずみを示し、温度の低下に伴い双方とも低下し、森吉脆化点付近で最低値となっている。

各サイクル後の曲げ破壊強度について着目すると、標準劣化、および針入度 30 劣化では、各サイクル後の値は新材と大きく変わらず、サイクルが増えても同程度となっている。しかし、針入度 20 劣化では、新材と比較して極めて小さな値となり、脆い材料となると考えられる。さらに針入度 20 劣化では、サイクルが増すにつれ値が低下する傾向が見られ、繰り返し再生することによる品質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。

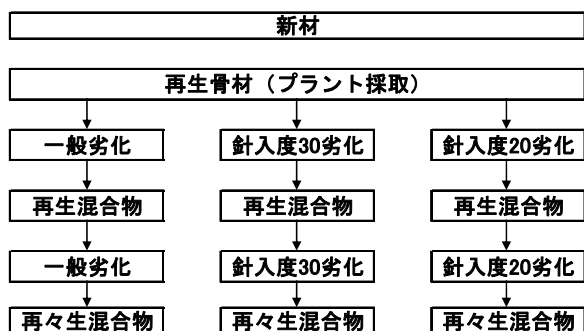


図-12 アスファルト混合物の性状評価の概要

(3) 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、レジン分が増加し、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、およびレジン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。

(4) 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様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。

3. 混合物の性状

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骨材を用いて混合物の評価試験を行った。

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%

(1) 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。

a) 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、乾燥炉で加熱し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℃の乾燥機に 4 時間入れ、大きな塊を解し、その後 85℃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。

b) 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。

c) 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) アスファルト混合物性状

a) 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。

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。

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

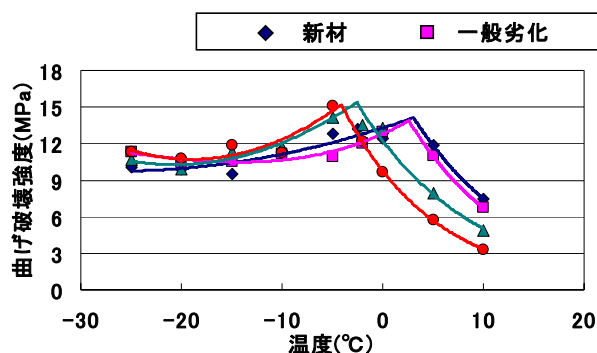


図-13 再生混合物の曲げ破壊強度

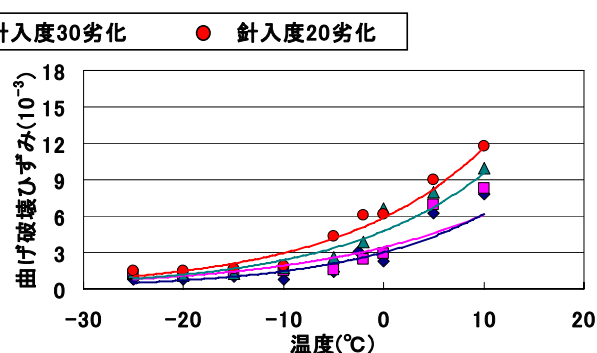


図-15 再生混合物の曲げ破壊ひずみ

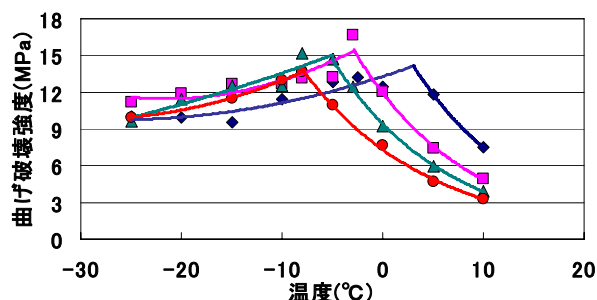


図-14 再々生混合物の曲げ破壊強度

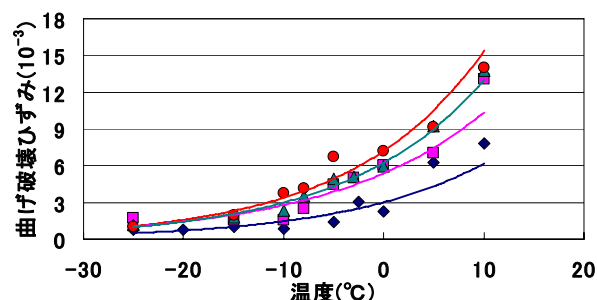


図-16 再々生混合物の曲げ破壊ひずみ

b) 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なった。

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。

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。

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)
再生	新材	4.0	1.02	312
	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	-

c) 圧裂強度

-25℃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℃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。

d) 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¹⁰⁾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。

e) 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。

(3) 回収バインダの性状

回収バインダに対し表-9に示す性状試験を行い、「2. バインダの性状」で述べたバインダに対して行った評価との比較を行い、今回、再生骨材に対して用いた劣化方法の評価を行った。

回収バインダに対する評価結果を表-12に、再生混合率50%の条件におけるバインダに対する評価結果を表-13に示す。

網掛け箇所において性状に大きな差が見られた。いずれも、バインダに対する評価結果の値のほうが、回収バインダに対する評価結果よりも劣化の影響による性状の変化を大きく反映している結果となっている。

表-12 回収バインダに対する評価結果

	再生骨材 の針入度 1/10mm	針入度 1/10mm	軟化点 ℃	伸度 cm	フラス 脆化点 ℃	森吉式 脆化点 ℃
ストアス	-	85	47.5	100+	-13	-23
再生	37	91	46.0	100+	-16	-28
	30	86	44.5	100+	-18	-28
	20	98	42.5	100+	-21	-31
	37	86	45.0	100+	-22	-30
再々生	30	89	45.0	100+	-24	-32
	20	97	43.5	100+	-26	-36
規格値	20以上	80-100	42-50	100以上	-	-

表-13 バインダに対する評価結果

	針入度 (劣化時) 1/10mm	針入度 1/10mm	軟化点 ℃	伸度 cm	フラス 脆化点 ℃	森吉式 脆化点 ℃
ストアス	-	85	47.5	100+	-13	-23
再生	26	84	47.0	100+	-18	-28
	30	81	49.0	100+	-17	-29
	20	89	46.5	100+	-20	-32
	39	86	46.5	100+	-22	-31
再々生	30	90	46.0	100+	-25	-34
	20	96	45.0	65.0	-29	-39
規格値	20以上	80-100	42-50	100以上	-	-

これは、前者が熱劣化と酸化による劣化を考慮していることに対し、後者は熱劣化のみでの劣化を行っているためと考えられる。

ただし、フラス脆化点試験、森吉脆化点試験では両者でほぼ同等の値が得られ、低温時の性状については良好に再現ができたと考えられる。

4. 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。

- 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。
- 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。
- 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、再生添加剤量が多い試料ほど、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。

5. おわりに

本研究では、バインダ単体に対しては熱劣化と酸化による影響を、再生骨材に対しては熱劣化による影響のみによる評価を行ったが、舗装体の劣化にはこの他に紫外線等による影響も考えられる。再生資源化施設において劣化履歴による舗装廃材の分別を行っていないため、実際の路面において繰り返し再生を行った混合物の評価を行うことは難しい。このため、室内試験により他の劣化要因等を考慮し、積雪寒冷地における再生骨材の規格の確立を行っていきたい。また、繰り返し再生を行う場合に再生添加剤の影響が大きく影響するため、この点についても加えて検討を行う必要がある。

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, pp3-7, 1995.
- 8) 谷口豊明, 伊藤達也: アスファルトの劣化, ASPHLT, 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) 北海道開発局: 道路工事設計施工要領, p1-5-10, 2005.

LONG-TERM PERFORMANCE OF RECYCLED ASPHALT MIXTURES IN COLD, SNOWY REGIONS

Chigusa UENO, Jun TAKOU and Ryuji ABE

Research was performed to investigate the changes in the quality of asphalt mixtures that were repeatedly recycled in a cold, snowy region. Asphalt binders with penetration values of 80 to 100 and aggregates recycled from asphalt were used in studying the properties of asphalt binders and repeatedly recycled asphalt mixtures. The focus was on their various properties in the low-temperature range. Test pieces made from asphalt that had been repeatedly recycled and degraded to a penetration value of approximately 20, showed wide variations in chemical and physical properties. The results demonstrate that bringing recycled aggregates to the same quality as new materials requires more than just adjusting the penetration value of the aggregates by adding recycled admixture.