

劣化アスファルト舗装の再生利用に関する研究（2）

研究予算:運営交付金

研究期間:平 18～平 21

担当チーム:材料地盤研究グループ(新材料)

研究担当者:西崎到、新田弘之、佐々木巖

【要旨】

近年、繰り返し再生されたアスファルトやポリマーを含むアスファルトの増加などの理由により、舗装発生材に含まれるアスファルトの針入度が低下傾向にあり、このままでは、再生アスファルト混合物に使用できる舗装発生材が減少するおそれがある。本研究では、針入度の低い舗装発生材をより高度に利用するために、品質規定の見直しなども含む技術開発を行うことを目的として実施している。

舗装発生材の品質評価方法の検討として、アスファルトモルタルによる評価方法の可能性を見だし、特に再生ポーラスアスファルトの配合設計で有効であることを確認した。また、圧裂試験により再生骨材中のアスファルトの劣化度を評価できることがわかり、繰返し劣化再生された促進試験材料、全国の現場にて採取した試料、改質材を含む劣化アスファルトの品質評価と利用方法に関する試験評価を行った。その結果、繰返し再生されたストレートアスファルトと同様に、再生骨材中の改質アスファルトの劣化度を圧裂試験により評価できることがわかった。

再生用添加剤では、混合物試験の結果などから繰返し再生を考慮した評価の必要性を指摘し、再生用添加剤の品質と配合の検討、および再生用添加剤の品質と舗装の性能の関連を試験した。その結果、密度をはじめとした再生用添加剤の品質を明らかにするとともに、再生アスファルト舗装材料の性状を実験評価し配合上の留意点を整理した。

キーワード:リサイクル、繰返し再生、再生アスファルト、再生アスファルト混合物、再生用添加剤

1. はじめに

昭和60年頃に本格化した舗装のリサイクルは現在では広く浸透し、アスファルト舗装発生材の99%以上が再利用(H14年以降)されている。このため、修繕工事等で発生するアスファルト塊や路面切削材等の舗装発生材は、繰返し再生されて劣化が進んでいることが懸念されている。

また、舗装の高耐久化、多機能化が求められる場面が増え、重交通対策や排水性舗装用等として、熱可塑性エラストマ等のポリマーを添加することにより改質されたポリマー改質アスファルト(以下、ポリマー改質アス)を使用する場面が増えている。これに伴い、このポリマーを含む舗装発生材も増加しつつある。改質アスファルトは、改質材として添加されるポリマーの特性から、ストレートアスファルトに比べて針入度が低い。

現在、舗装発生材からの再生加熱アスファルト混合物(以下、再生アスコン)の製造においては、発生材に含まれるアスファルトの針入度が20未満のものは劣化が著しく進行しているとされ、原則として使用できないこととなっている。しかし、上記のように、繰返し再生されたアスファルトやポリマーを含むアスファルトが増加したことなどの理由により、

この針入度が低下傾向にある。このままでは、再生アスファルト混合物に使用できる舗装発生材が減少し、再生利用率も低下するおそれがある。

そこで、本課題では、針入度が低下したアスファルト舗装発生材のより高度な利用のために、品質規定の見直しなども含む技術開発を行うことを目的として、平成 18 年度から 21 年度にわたり、アスファルト舗装発生材の品質評価方法の検討、および再生用添加剤の品質評価方法の検討を行った。実験調査の着目点および実施項目は以下の通りである

- ・アスファルトモルタルによる舗装発生材の評価方法
- ・再生用添加剤の品質評価方法の検討
- ・再生骨材中の劣化アスファルトの品質評価方法
- ・再生用添加剤の品質と繰返し再生への適用性
- ・改質材を含む劣化アスファルトの再生利用方法
- ・再生用添加剤の品質と配合設計方法

2. アスファルトモルタルによるポーラスアスファルト舗装発生材の品質評価方法の検討

2. 1 アスファルトモルタル評価の適用性

2.1.1 検討の概要

アスファルト舗装発生材の品質は、溶媒で抽出したアスファルトの針入度により評価しており、この針入度により、アスファルトの品質改善のための再生用添加剤等の添加量を決定している。しかし、ポリマー改質アスでは抽出後の針入度評価による添加量決定が困難、抽出に使用する有機溶剤の使用量削減の必要性などから、新しい品質評価方法が求められている。

本検討では、アスファルトを抽出せずに、再生用添加剤等の添加量を求める方法として、アスファルトモルタルの性状により添加量を決定する方法を検討することとした。平成18年度は新アスファルト(改質Ⅱ型3種、改質H型3種)を用いてアスファルトモルタルを作製し、性状測定を行った。アスファルトモルタルの性状試験として一般的に行われるものはないため、今回は、アスファルトで行われる試験(ダイナミックシアレオメータ試験(DSR)、ベンディングビームレオメータ試験(BBR))を用いてアスファルトモルタルの試験を行った。

2.1.2 予備検討結果

DSRの結果を図-1に示す。ここで $G^*/\sin\delta$ は弾性率の一種で、耐わだち掘れ性の評価に用いられるものである。アスファルトモルタルは、DSRでも試験が行え、図のように、アスファルトの性状と関係が深いことが分かった。

BBRの結果を図-2に示す。ここでSは曲げスティフネスであり、低温ひび割れの評価に用いられるものである。やはり、アスファルトモルタルは、BBRでも試験が行え、アスファルトの性状と関係が深いことが分かった。

これらの結果より、アスファルトの抽出に代わり、アスファルトモルタルでの評価試験によりアスファルトの再生の設計ができる可能性が見いだされた。

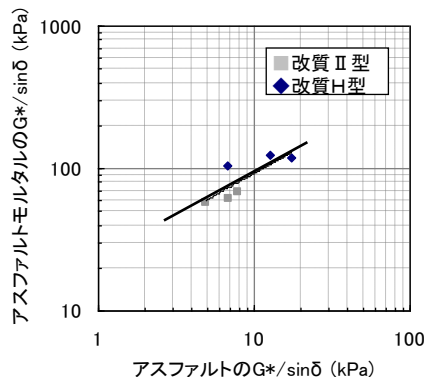


図-1 アスファルトとアスファルトモルタルの性状比較(DSR)

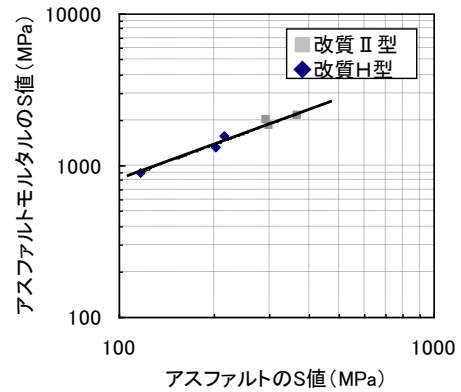


図-2 アスファルトとアスファルトモルタルの性状比較(BBR)

2. 2 ポーラスアスファルト混合物の配合設計

アスファルトモルタル(以下、アスマル)による試験方法を検討した結果、舗装発生材の評価方法としての適用可能性が認められたため、平成19年度も引き続きアスマルによる評価の検討を行った。特に再生ポーラスアスファルト混合物(以下、再生ポラス混)の配合設計時にアスマルの試験を適用することが有効と考えられたため、再生ポラス混の再生アスマルを作製し検討を進めた。

2.2.1 方法

アスマルの検討を行うのに先立ち、従来までの知見で再生ポラス混を配合することにした。従来までの知見での配合設計方法としては、「舗装再生便覧((社)日本道路協会)」に参考として紹介されているカンタブロ試験を用いて行う配合設計法があり、これを行った。配合設計のフローを図-3に示す。

新規ポラス混も再生ポラス混も目標空隙率は20%とし、再生ポラス混は、使用する再生骨材をポラス混由来の再生骨材(以下、ポラス再生骨材)とストレートアスファルト混合物由来再生骨材(以下、ストアス再生骨材)の2種類を使用した。新規アスファルトはいずれも共通で、ポリマー改質アスファルトH型を使用した。

再生用添加剤、改質剤はいずれも市販のものを用い、改質剤はポリマー改質アスファルトH型用として市販されているものを用いた。ポラス再生骨材もストアス再生骨材も13~5mmに粒度調整したものを用いた。

決定した配合については、各種混合物性状(マーシャル試験、カンタブロ試験、圧裂試験、ホイールトラック試験)を実施するとともに、ポーラスアスファルト混合物の場合、供用時の骨材飛散が問題になる場合もあるので、「舗装性能評価法別冊」((社)日本道路協会)に掲載されている「ねじり骨材飛散抵抗値」の測定方法により、ねじり骨材飛散値も計測した。

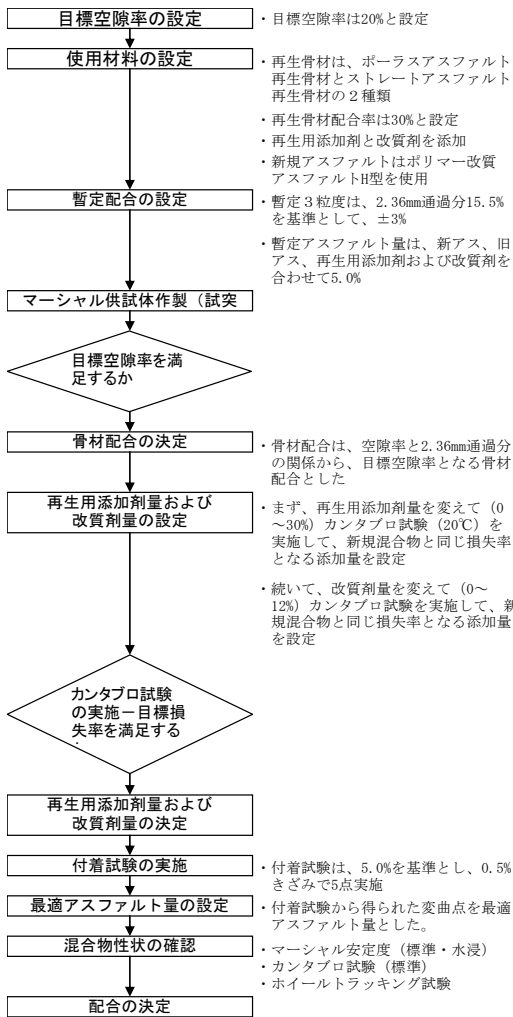


図-3 再生ポラス混の配合設計のフロー

2.2.2 結果

上記の配合および新規の配合の混合物性状を表-1に示す。この配合設計法では、カンタブロ損失率を新規混合物に合わせるように配合をしているが、再生ポラス混の決定配合では、新規ポラス混の値より小さくなり、良好な結果を得た。またその他の試験結果も各種目標値を満足している。

ねじり骨材飛散試験の結果を図-4に示す。ポラス再生骨材を使用したものと新規ポラスはほぼ同じ曲線を描き、同等の性能を有するものと思われる。また、ストアス再生骨材を用いたものは骨材飛散が小さく新規のものよりもよい性状を示した。これは、決定配合ではストアス再生骨材の改質剤の添加量がポラス再生骨材の2倍となったためと考えられる。しかし、この混合物は粘性が高く、施工性が劣るものと予想された。

ここで得られた決定配合をもとにアスモルの配合を求め、アスモルによる評価法の検討を行った。

表-1 新規および再生ポラス混の混合物性状一覧

	新規ポラスアスファルト混合物	ポラス再生骨材使用した再生ポラス混	ストアス再生骨材使用した再生ポラス混	基準値および目標値	
アスファルト量 (%)	4.90	5.30	5.20	—	
理論密度 (g/cm ³)	2.49	2.49	2.47	—	
密度 (g/cm ³)	2.00	2.00	2.01	—	
空隙率 (%)	19.80	19.10	19.40	20±1	
安定度 (kN)	5.41	5.81	5.80	5kN以上	
フロー (1/100cm)	36.50	28.30	31.70	20~40	
残留安定度 (%)	—	98.60	94.50	75以上	
カンタブロ損失率 (%)	11.40	8.40	10.10	15以下	
圧裂試験 (20℃)	強度 (MPa)	0.63	0.85	0.73	—
	変位量 (cm)	0.25	0.18	0.20	—
	強度/変位量 (MPa/cm)	2.64	4.66	3.65	—
動的安定度 (回/mm)	—	6,517	7,269	3,000以上	

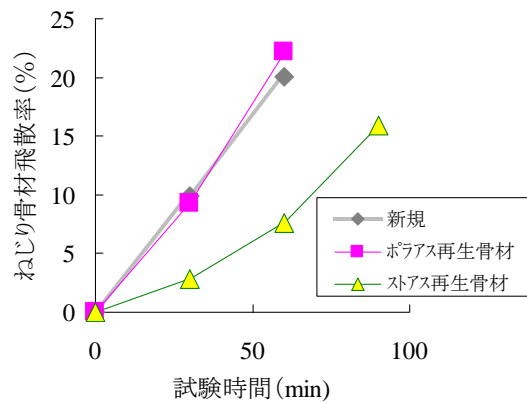


図-4 ねじり骨材飛散試験の結果

2.3 アスファルトモルタルによる評価法の検討

2.3.1 方法

2.2 で得られたポラス混の配合を基にアスモルの配合を求め、アスモル部分だけを作製し、各種性状を測定した。再生用添加剤や改質剤の添加量は、図-3で求めた決定配合だけでなく、再生用添加剤2×改質剤3の6種類ずつ作製した。アスモル部分の配合設定は、ポラス混の配合の1.18mm通過分の骨材およびアスファルトをアスモルとして行った。なお、再生骨材は13-5mmに調整したものであるから、普通にふるっただけでは1.18mm通過分は得られない。そこで、再生骨材の表面に付着しているアスモル分を粗骨材を磨耗させないようにふるい目に擦って剥ぎ取り1.18mm通過分を得ている。ここで得た1.18mm通過分の再生骨材は全てがアスモル分となるが、全体のアスファルト量と異なるので、アスファルト量を別途計測した。

このようにして求めたアスモルの配合を表-2に示す。①~⑫が再生アスモルで、⑬が新材のアスモルである。2.2の決定配合と同じ成分のアスモルは②と⑩となっている。②と⑩の混合物性状は、表-1でも分かるように、どの項目でも新材による試験結果と比べて同等かそれ以上の性状を示したものである。

アスモルの試験は、DSR (Dynamic Shear Rheometer) 試験や二重円筒回転粘度計による高温粘度の測定など、アスファルト用の試験を行った。

2.3.2 結果

アスモルの DSR 試験の結果を図-5に示す。アスモルでの試験値の目標値はないため、全て新規材料の⑬と比較した。今回の再生骨材では特に改質剤を添加していない①④⑦⑩が⑬と同じような挙動を示しているため、改質剤を添加しなくても目標の性状になる可能性が見られた。また、カンタブロ試験での決定配合となった②と⑪は⑬より高い値を示し、60℃での性状は新規材料以上である可能性がみられた。

一方、カンタブロ試験による配合では、これまでの経験で現場施工において施工性に劣るものもあった。そこで、施工性をアスモルで評価できるか試みた。アスモルを回転粘度計で計測した結果を図-6に示す。②においては⑬の1.2倍程度の値を示し、施工性には問題ないと考えられた。しかし、⑪は⑬の2倍近い値を示しており、実施工ではかなりの注意が必要であることが予測された。

以上より、再生アスモルはアスファルト用の試験で適用できるものがあり、60℃の性状などが把握できた。また、現在の混合物のみで配合する方法では、特に施工性を考慮することができないことが確認できた。アスモルによる粘度判定を組み合わせることにより、よりよい配合ができる可能性があることが分かった。

3. 再生用添加剤の品質評価方法の検討

3.1 バインダ試験

3.1.1 試験の概要

本課題では、針入度が低下したアスファルト舗装発生材のより高度な利用のために、品質規定の見直しなども含む技術開発を行うことを目的として実施している。

現在、再生用添加剤の品質は、「舗装設計施工指針」

表-2 アスモルの配合

	骨材種類	添加剤等配合割合	再生骨材(7%含有)	細目砂	新As(改質H型)	再生用添加剤	改質剤
①	ポーラスアスファルト発生材由来	再生用添加剤10%, 改質剤0%	63.98	14.16	21.16	0.71	0
②		再生用添加剤10%, 改質剤3%設定	63.98	14.16	20.29	0.71	0.87
③		再生用添加剤10%, 改質剤6%設定	63.98	14.16	19.42	0.71	1.74
④		再生用添加剤5%, 改質剤0%設定	63.98	14.16	21.54	0.33	0
⑤		再生用添加剤5%, 改質剤3%設定	63.98	14.16	20.67	0.33	0.87
⑥		再生用添加剤5%, 改質剤6%設定	63.98	14.16	19.8	0.33	1.74
⑦	通常発生材由来(ストレートアスファルト)	再生用添加剤10%, 改質剤0%	56.05	22.07	21.36	0.53	0
⑧		再生用添加剤10%, 改質剤6%設定	56.05	22.07	19.72	0.53	1.63
⑨		再生用添加剤10%, 改質剤12%設定	56.05	22.07	18.09	0.53	3.27
⑩		再生用添加剤5%, 改質剤0%設定	56.05	22.07	21.62	0.26	0
⑪		再生用添加剤5%, 改質剤6%設定	56.05	22.07	19.99	0.26	1.63
⑫		再生用添加剤5%, 改質剤12%設定	56.05	22.07	18.35	0.26	3.27
⑬	新規材料	-	-	49.26 +石粉25.0	25.74	-	-

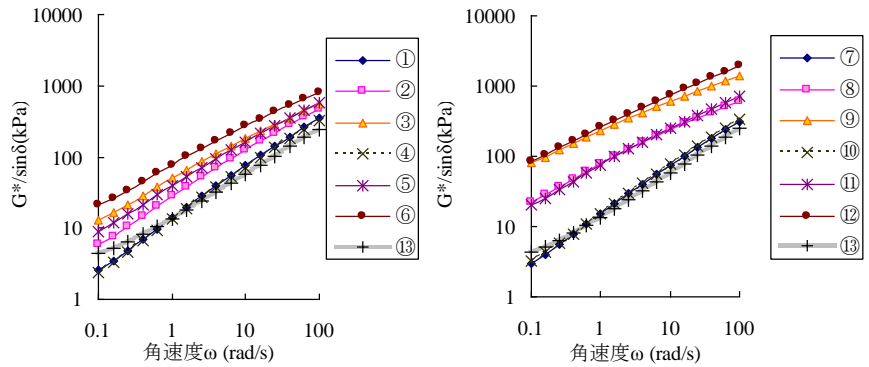


図-5 再生アスモルの DSR 試験結果

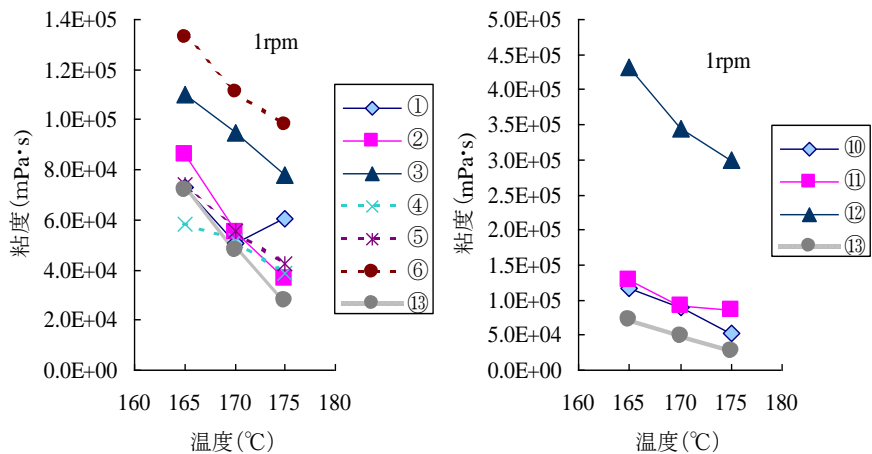


図-6 再生アスモルの高温粘度測定結果

((社)日本道路協会)に示されているが、規格値が定められている項目は少ない。再生舗装が主流になっており、繰返し再生も行われていることから、これを考慮して再生用添加剤の品質を定める必要がある。

そこで、現在流通している再生用添加剤について、繰返

し再生を行った場合のアスファルトの性状を平成 18 年度に把握するとともに、混合物劣化試験による再生用添加剤の品質評価方法の検討を平成 19 年度に行った。

繰返し再生試験は図-7に示す手順で劣化と再生を繰り返して、針入度や軟化点といった基本的な性状を測定した。ここで劣化では、薄膜加熱試験(TFOT)後に加圧劣化試験(PAV)を行い、再生では、再生用添加剤を針入度 70 になるように添加した後、新アスファルト(以下、新アス)を 40% になるように添加した。新アスにはストレートアスファルト 60/80(以下、StAs)を1種類用い、再生用添加剤は9種類用いた。なお、原アスファルト(原アス)とは、未劣化のものは新アスのことをいい、劣化後のものは再生アスファルト(再生アス)のことをいう。

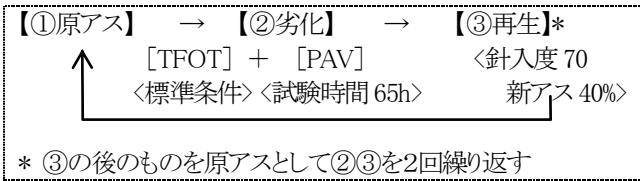


図-7 アスファルトの繰返し再生試験方法

3.1.2 バインダ試験の結果

針入度は、図-8のように針入度が 70 になるように再生しているので、原アスは 70 付近になっている。薄膜加熱(TFOT)後、加圧劣化(PAV)後も再生添加剤の種類の影響も少なく、ほぼ同じような値となっている。一方軟化点は、図-9のように原アスでも比較的に広い範囲に分布しており、特に再生2回目の分布が広がっている。

これらの結果より、再生用添加剤種類によって再生アスファルトの性状は異なり、特に劣化後の軟化点は大きく異なることが分かった。

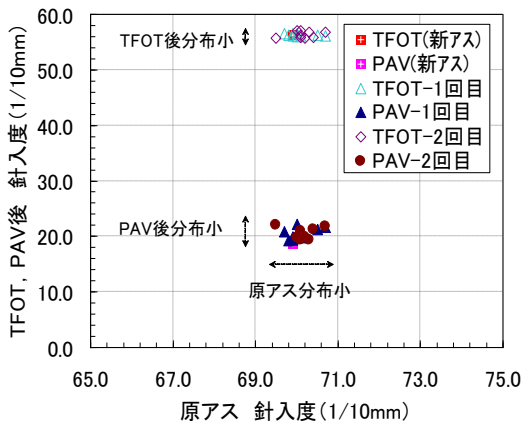


図-8 劣化と再生を繰り返したアスファルトの針入度

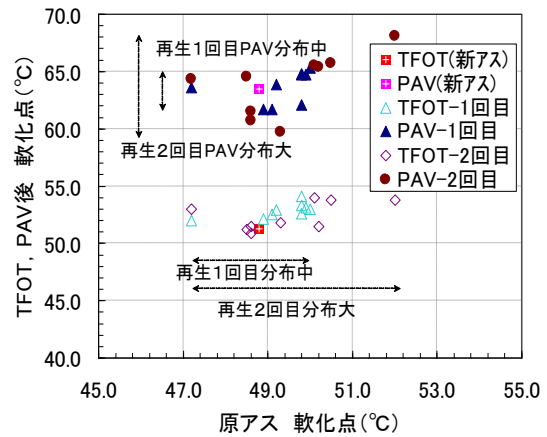


図-9 劣化と再生を繰り返したアスファルトの軟化点

3. 2 混合物試験

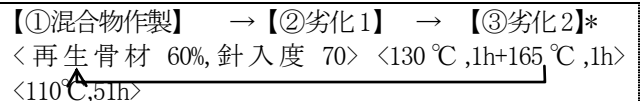
3.2.1 試験の概要

現在、再生用添加剤の品質は、「舗装設計施工指針」(社)日本道路協会)に示されているが、規格値が定められている項目は少ない。現在、再生舗装が主流になっており、繰返し再生も行われていることから、これを考慮して再生用添加剤の品質を定める必要がある。

アスファルトバインダにおける検討で、再生用添加剤の品質は繰返し再生を考慮する必要があると考えられたため、混合物を繰返し再生した場合の性状への影響を平成 19 年度に調べた。

3.2.2 混合物試験方法

試験は図-10に示す手順で劣化と再生を繰り返した。劣化1は施工までに受ける劣化を再現する操作であり、劣化2は供用中に受ける劣化を再現するものである。劣化2の試験条件は、事前に劣化時間を変えて試験を行い、得られた劣化-時間の関係から、アスファルトの針入度が 20 になる試験条件として、劣化時間を 51h とした。アスファルトはストレートアスファルト 60/80 で、再生用添加剤は2種類使用した。また、再生する場合の再生骨材の配合率は 60%とした。評価試験は圧裂試験と水浸圧裂試験、抽出アスファルトの試験などを行った。



* ③の後のものを再生骨材として②③をもう一度繰り返す

図-10 アスファルト混合物の繰返し再生試験方法

3.2.3 混合物試験の結果

図-11に繰り返し再生した混合物の圧裂試験結果を示す。ここで、新規とは全ての材料が新材のもの、劣化は図-11の②と③の劣化を施したものの、再生1回目、2回目は劣化後に再生したものである。圧裂強度は再生のものも新規と大きな違いがないが、破壊時の変位量(圧裂変位量)は新規のものより小さくなる傾向が見られる。その傾向は再生用添加剤の種類や回数によって異っており、再生1回目よりも再生2回目、AよりもBが小さい。これは再生の場合、変位に対して追従できなくなっていく傾向を示しているものと考えられ、再生性状の評価としてこれに関する項目が今後必要と考えられた。

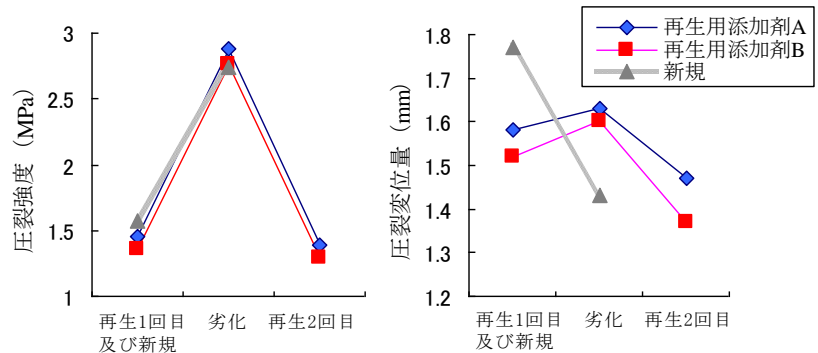


図-11 繰り返し再生した混合物の圧裂試験結果

図-12に繰り返し再生した混合物から抽出回収したアスファルトの性状を示す。針入度は、新規アスファルトが61であったのに対し、再生時は70(60/80等級の中央値)を目標に配合したので、新規と再生で異なっている。軟化点をみると、針入度が再生時に高くなったにもかかわらず、軟化点も高くなっている。針入度が上がると軟化点は下がる傾向が見られるのが一般的であることから、図のような変動は、再生されたアスファルトの質が変化していることを示している。さらに劣化すると軟化点は上昇するが、劣化前後で新規のものでは変化が大きいのにに対し、再生では新規のものほど変化していない。再生ではこのように元のアスファルトとは異なる傾向がみられた。

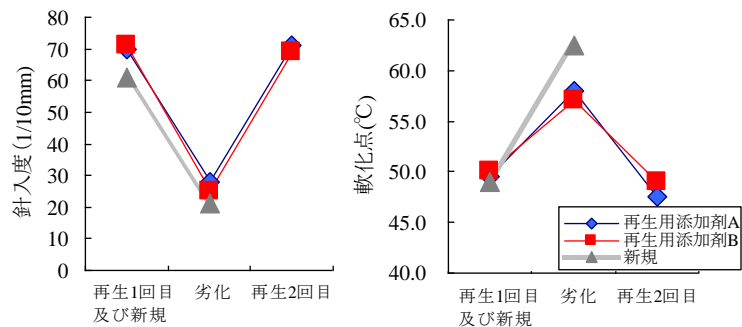


図-12 繰り返し再生した混合物から抽出したアスファルトの性状

加剤の適用限界の試験評価を平成20年度に行った。

以上より、アスファルト混合物は繰り返し再生を行うことで、アスファルトの性質が変化しており、その変化には再生用添加剤の種類の影響も見られるため、今後再生を考慮した評価が必要と考えられた。

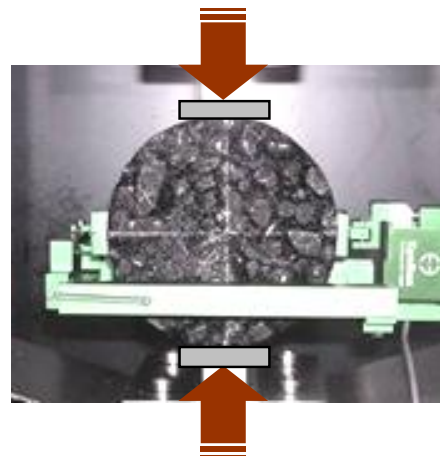


図-13 アスファルト混合物の圧裂試験

4. 再生骨材中の劣化アスファルトの品質評価方法

本研究では、針入度が低下したアスファルト舗装発生材をより高度に利用するために、品質規定の見直しなども含めた技術開発を行うことを目標に、再生材料の評価法および利用法の実験検討を行った。

劣化アスファルトを再生利用する場合に懸念される、疲労破壊性状を簡便に評価できる新たな品質評価試験方法と配合設計手法の設定を目的に、中間処理施設で製造される劣化アスファルトを含む再生骨材への新しい評価方法の適用性の検討、および繰り返し再生利用における再生用添

4.1 検討の概要

低針入度化したアスファルトを再生しても疲労性状に劣ることが多く、早期にひび割れが発生し損傷する可能性が高い。このため前述の通り現時点では、原則として混入量等にかかわらず再生骨材の使用可否を定めるための針入度20の下限値が規定されている。

アスファルト舗装発生材の再生利用にあたっては、溶剤によりアスファルトバインダを回収し、針入度により評価しているが、煩雑で手間がかかるほか、ポリマーを含む場合には正確な品質評価が困難な場合がある。そこで、これに代

わる簡易に評価法として圧裂試験が期待されている。本研究では、日本アスファルト合材協会との共同研究により、圧裂試験の適用性について実験検討を実施し、配合設計における目標値や再生用添加剤の添加量決定方法を見いだした。再生骨材中の劣化アスファルトの評価として、針入度にかわる品質指標としての、圧裂試験の適用性を検討した。

4. 2 試験方法

再生資材の品質基準を有効に運用するためには、品質指標として用いる評価法が、再生骨材の粒度やアスファルト量、あるいはアスファルトの種類にかかわらず、アスファルトの劣化度を推定できるものである必要がある。このため、実験室で促進劣化させた試料の圧裂試験(図-13)を実施し、針入度と圧裂性状との関係を把握した。さらに、実際の現場抜き取り試料によりその適用性を確認した。

4.2.1 室内促進劣化試料

アスファルト混合物を実験室内でオープン劣化させることにより針入度の異なる劣化アスファルト混合物を調整した。アスファルトの種類はストレートアスファルト(以下、ストアス)60/80 および改質アスファルトⅡ型の2種類とし、混合物は密粒度アスファルト混合物(13)とし、アスファルト量を4.0%から6.0%まで0.5%きざみで5段階変化させたものを使用した。アスファルト量ごとに3水準の促進劣化試料を調整し、各劣化水準につき3個の圧裂試験供試体から得られた試験結果から、図-14のように針入度(20,15,10)ごとの圧裂スティフネス値を内外挿により求めた。

4.2.2 プラント再生材試料

実際の供用環境で自然劣化した再生材への適用性の確認として、プラントからの抜き取り試料について同様に試験した。日本アスファルト合材協会の全国各地の再生プラントから、劣化アスファルトを含む再生骨材を42試料採取して試験に用いた。

評価対象となる劣化したアスファルト混合物は、採取した再生骨材を165℃で両面75回突き固めてマーシャル供試体を作製し、20℃で圧裂試験を行った。あわせて、この再生骨材から劣化アスファルトを溶剤抽出し、針入度とアスファルト量を測定した。

4. 3 試験結果

4.3.1 室内促進劣化試料

アスファルト量と圧裂スティフネス(図-14の結

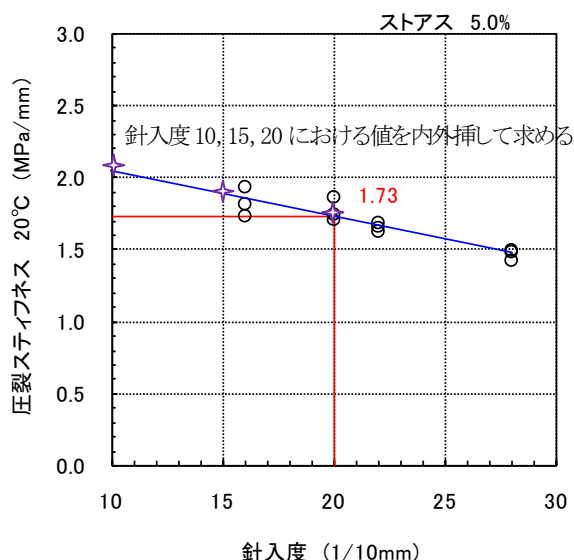


図-14 針入度と圧裂係数の関係の一例(ストアス5%の場合)

果から求めた各針入度の値)の関係を、アスファルト種および針入度ごとにプロットしたものが図-15である。この図から、アスファルトが劣化し針入度が低下するほど圧裂スティフネスが大きくなり、その関係はアスファルト量には大きな影響を受けないことがわかる。また、改質アスファルトはストアスに比べると、圧裂スティフネスが同程度でも針入度は小さいが、これは、改質アスファルトは針入度が小さくてもポリマーの効果により性能は保たれているという、これまでの知見と整合している。

ストアスの針入度20に相当する再生骨材の品質基準を圧裂スティフネスで設定しようとする場合、たとえば1.6MPa/mm 付近にしきい値があるものと見られる。この場合、改質アスファルトでは針入度10~15になるとみられ、

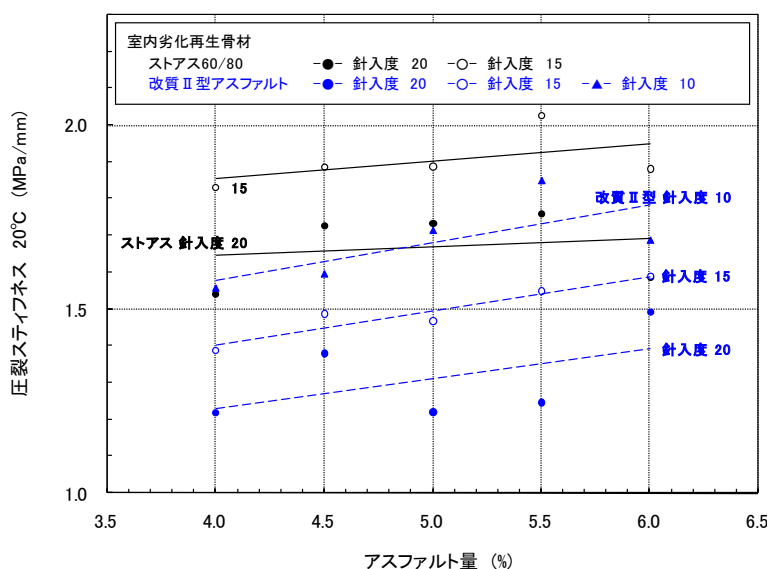


図-15 アスファルトの劣化レベルと圧裂係数(圧裂スティフネス)

昨年度実施した疲労試験等による改質アスファルトの耐久性の目安とも一致する。ただし、試験条件や配合条件等による変動も予想されるので、これらを勘案した試験を継続して、より多くのデータをもとに慎重に設定する必要がある。

4.3.2 プラント再生材試料

実道の供用環境で自然劣化した再生材の劣化レベルと圧裂試験性状との関連を、室内劣化試験結果(近似線)とともに図-16に示す。

アスファルト塊から中間処理施設で再生された材料は、アスファルト量は一様でなく、その劣化度により圧裂スティフネスの値も幅をもっている。針入度と圧裂スティフネスの関係を見ると、劣化が進み針入度が20未満に低下したもの(赤丸)は圧裂スティフネスの値が母集団の分布のうち大きい側に集中して測定されることがわかる。さらに、試料によるばらつきはあるものの、室内劣化のストアス針入度20の線が、プラント再生材の針入度20未満の分布付近を通ることがわかる。したがって、針入度20基準に相当する資材評価を、圧裂スティフネスによって規定できそうなことがわかった。今後、試験の有効性、試験条件、誤判定の率などを考慮した検討を進め、実用的な品質規格の提案につなげる必要がある。

5. 再生用添加剤の品質と繰返し再生への適用性

5.1 検討の概要

劣化の進んだアスファルトには、通常、軟化剤(若返り材)を混入して再生アスファルト混合物を製造する。これらの軟化剤のうち軽質オイル等の再生用添加剤は、劣化硬化したアスファルトを見かけ上軟化させる効果はあるものの、その品質や添加量が舗装の耐久性等に与える影響については不明な点が多い。過度に劣化したアスファルトに再生用添加剤を多量に添加し、針入度の値のみを確保することは、舗装用アスファルトとしての品質のバランスを欠き、十分な性能と耐久性を確保できなくなる懸念される。

一方、オイル等の再生用添加剤ではなく、新アスファルトを添加することにより再生する手法がある。軟質なアスファルトの添加は、再生アスファルトの品質や成分バランスを著しく乱すことはなく、バインダ性能や耐久性、繰返し再生への適用性に優れるものと考えられる。

そこで、これらの軟化剤の添加が舗装用バインダとしての品質の変化、特に繰返し再生における再生利用限界に与

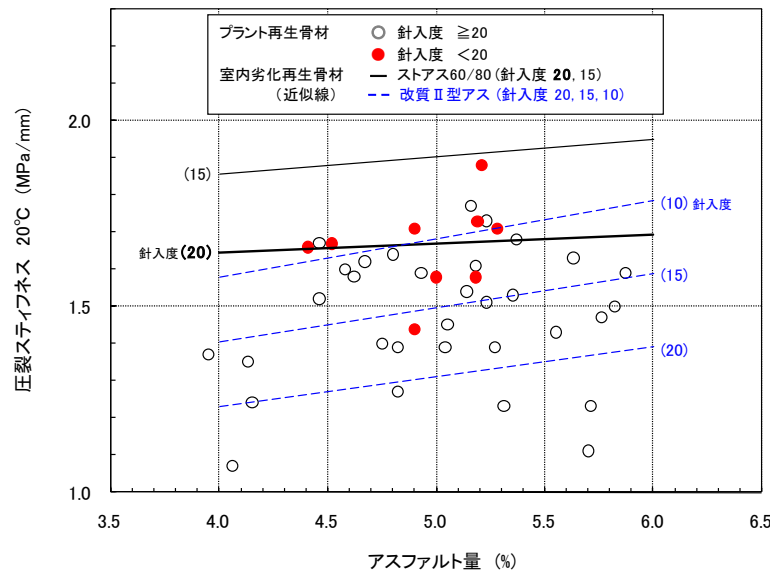


図-16 アスファルトの劣化レベルと圧裂係数(圧裂スティフネス)

える影響を把握して適用性の基準を提案するための資料とすべく材料試験を行った。

5.2 試験方法

促進劣化と再生(軟化剤の添加混合)を繰り返してバインダ性状ならびに混合物性状の品質変化を試験した。この繰返し再生試験は、アスファルトバインダのみの劣化試験とアスファルト混合物を用いた劣化試験を実施した。

バインダのみによる劣化試験は、アスファルト試料を薄膜加熱および加圧劣化(PAV)試験により劣化させ、針入度と軟化点の変化を測定した。これに軟化剤を添加して再生し、促進劣化および性状測定を繰り返した。

混合物試験は、アスファルト混合物を加熱オープンにて促進劣化させ、これを再生する操作を繰り返した。各段階で圧裂試験と、抽出回収したアスファルトの針入度と軟化点を測定した。

再生アスファルトの調整に使用した軟化剤は、オイル系再生用添加剤、軟質アスファルトである。バインダ試験、混合物試験には、同じアスファルトおよび軟化剤を使用した。

再生における劣化アスファルトの混入率は、いずれの試験も60%として行った。配合条件は3種類とし、試料Aは再生用添加剤のみを用いて再生、試料Bは再生用添加剤と軟質アスファルト(針入度 150/200)を併用、試料Cは軟質アスファルト(針入度 400程度)のみを添加して再生したものである。混合物試験はBとCについて実施した。

5.3 試験結果

図-17に、繰返し再生したアスファルト、混合物から抽出

回収したアスファルトの性状を示す。バインダ試験と混合物試験の劣化条件が異なることから、劣化後の針入度は、バインダ試験で15~20、混合物試験では20~30となった。再生アスファルトの針入度は、それぞれ40~50、50~60程度であった。再生アスファルトの調整は針入度を指標にするため、軟化剤配合による再生後の針入度には変化は生じないが、劣化後の針入度は僅かに上昇傾向にあるともいえる。

バインダ試験での軟化点の変化(図-18)をみると、再生時に針入度が高くなったにもかかわらず、軟化点も高めに变化してゆく傾向が見られる。針入度が上がると軟化点は下がるのが一般的であることから、このような変動は、過度に劣化した成分の蓄積等により再生されたアスファルトの質が変化し、脆くなっているものと考えられる。特に、オイル系軟化剤のみを使用した試料Aでは繰返し再生に伴う軟化点の上昇が顕著である。ストアスの試験値として80°Cを超える軟化点は著しく異常であり、繰返し再生によりアスファルトがかなり硬く変質していることが伺える。

混合物試験での軟化点の変化(図-19)では、バインダ試験ほどの軟化点の上昇はみられないものの、オイル系添加剤を使用した試料Bでは、繰返し回数が3回を超えると軟化点が上昇の傾向を示している。これは、混合物の劣化条件が比較的緩やか(劣化後針入度が25~30)であったことが影響しており、針入度が20を下回るような繰返し劣化を行った場合には、軟化点の上昇はより顕著になるものと考えられる。

図-20に、繰返し再生した混合物の圧裂試験結果を示す。繰返し回数が少ない場合は軟化剤の種類による差異は見られないが、オイル系の軟化剤を使用すると、再生後の圧裂スティフネスの値が漸増することがわかる。前述の通り、圧裂スティフネスの基準値は1.6MPa/mm程度にあるものとみられ、繰返しによる使用限界を考慮する必要がある。

このように、繰返し再生により元のアスファルトとは異なる性状に変化する傾向がみられ、アスファルトに比べてかなり軽質で成分構成も異なる再生用添加材を使用すると、その影響が特に顕著であることがわかった。

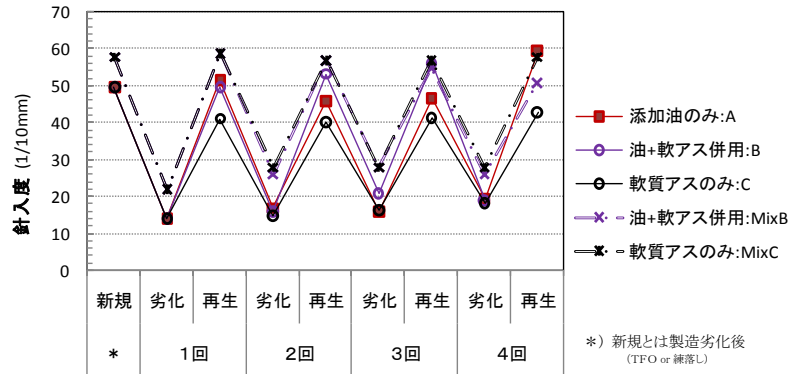


図-17 繰返し再生による針入度の変化

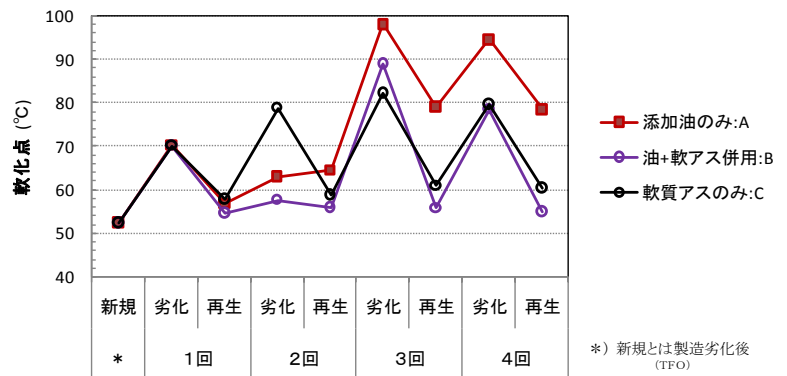


図-18 繰返し再生による軟化点の変化(バインダ劣化)

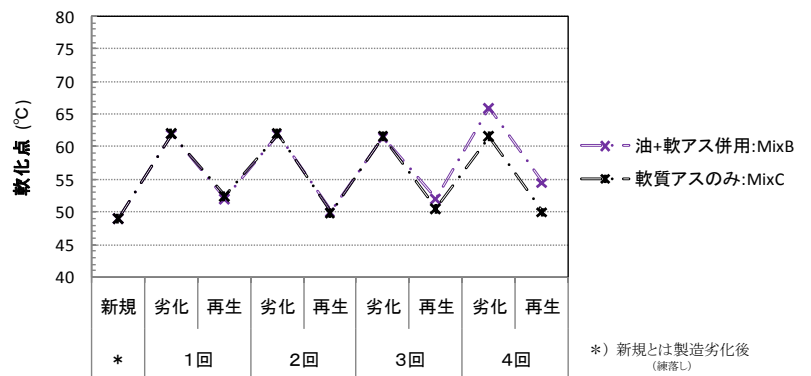


図-19 繰返し再生による軟化点の変化(混合物劣化)

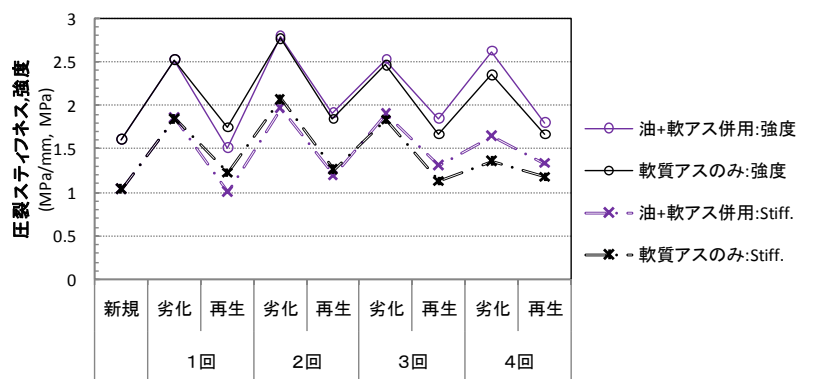


図-20 繰返し再生による圧裂係数(圧裂スティフネス)の変化

6. 改質材を含む劣化アスファルトの再生利用方法

6.1 検討の背景

本研究では、ポリマー改質アスファルトの混入により針入度が低いアスファルト舗装発生材を有効に再生利用するための技術を確立することを目標に、再生材料の評価法および利用法の実験検討を実施している。改質材を含む劣化アスファルトの品質評価と利用方法に関する試験評価を平成21年度に行った。

低針入度化したアスファルトはアスファルト舗装に再生しても針入度が低くても疲労性状に劣ることが多く、早期にひび割れが発生し損傷する可能性が高いと言われている。このため、使用可否の判断基準として針入度20の下限値が規定されている。旧アスファルトの針入度が20未満の場合、再生骨材はアスファルト混合物へ利用することは現時点では原則としてできない。

しかしながら、改質アスファルト混合物の発生材を使用した再生混合物は耐流動性が向上することなどが知られており、舗装再生便覧では「旧アスファルトの針入度の規格値(20以上)は、ストレートアスファルト混合物の発生材を対象としたものであり、改質アスファルト混合物の発生材への適用の可否は確認されていない。(中略)改質アスファルト混合物の発生材は、旧アスファルトの針入度だけで劣化の程度を評価することは難しく、旧アスファルトの針入度が20未満のものでもアスファルトコンクリート再生骨材として利用することができるものもある。」と記述されている。

このように、改質アスファルトはその改質材の効果により、針入度では評価できない性能を有する。このため、改質アスファルトの性能を適切に評価するための評価試験方法の研究が別途進められている。再生利用においては、発生材が改質アスファルト由来であるかどうか、目視により使用アスファルトの種類を判別できないことから、有効利用の支障となっている。また、改質アスファルト由来であることがわかっても、旧アスファルトの回収が困難な場合があるなど、劣化度を正しく評価できない。このため、再生骨材の利用の可否について、針入度に代わる判断手法の確立が望まれている。

6.2 試験の概要

本研究では、日本アスファルト合材協会との共同研究¹⁾により、圧裂試験の適用性につ

いて実験検討を実施し、配合設計における目標値や再生用添加剤の添加量決定方法を見いだした。この検討の継続として、圧裂試験による改質アスファルト由来の再生骨材中の劣化アスファルトの簡易な評価方法について検討した。

6.2.1 試験方法

再生資材の品質基準を有効に運用するためには、品質指標として用いる評価試験基準が、粒度やアスファルト量、あるいはアスファルトの種類にかかわらず、劣化度を適切に推定できる必要がある。ポリマー改質アスファルトの混入による判定結果への影響の評価として、様々な試料の圧裂試験を実施し、針入度と圧裂性状との関係を把握した。さらに、長期間の屋外暴露により劣化した試料によりその適用性を確認した。

6.2.2 暴露試験材料

実環境にて劣化した改質アスファルト試料は、舗装走行実験場において走行試験されていた舗装工区からの再取材、ならびに土木研究所構内暴露場に長期間暴露されていた密粒度アスファルト混合物(13)試験体である。アスファルトの種類は、製造メーカーの異なる改質アスファルトII型である。

6.2.3 実験操作および評価指標

暴露試験後の供試体を破碎し再生骨材に調整したのち、圧裂試験供試体を3個ずつ作製し、その試験結果から圧裂係数を求めた。圧裂係数は、繰返し再生されたストレートアスファルトの劣化度の指標であり、室内促進劣化試験を主体とした過年度の研究から1.7以下という許容値を提案して

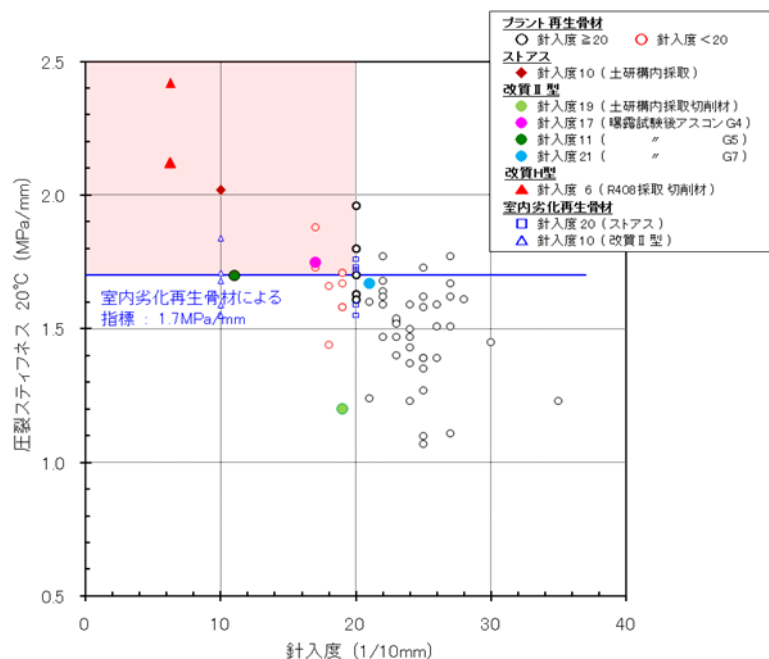


図-21 針入度と圧裂係数(圧裂スティフネス)試験結果の関係

いる。さらに、残りの再生骨材から溶剤を用いて劣化アスファルトを回収し、針入度試験を行った。

6.3 試験結果

再生骨材を加熱転圧して作製した試料の圧裂係数と、劣化アスファルトの針入度の関係を図-21に示す。改質アスファルト由来の材料は、針入度が20未満であっても圧裂係数が許容値である1.7を大きく超えることはない。しかしながら、針入度が10未満になると、圧裂指数は2.0を超えることがわかる。

昨年度までの研究により、疲労抵抗性が急激に低下する劣化レベルは、ストレートアスファルトの場合は現行基準と同じく針入度20程度であるが、改質アスファルトの場合は針入度10程度であることがわかっている。今回の実験結果は室内促進試験によるこの知見と整合しており、実環境において長期間にわたり劣化した材料についても、圧裂試験により適切に劣化評価でき、さらにこの方法は、アスファルトの種類にかかわらず同じ基準値により運用できることがわかった。

7. 再生用添加剤の品質と配合設計方法

7.1 検討の概要

現在、再生用添加剤の品質は、「舗装設計施工指針」(社)日本道路協会)に示されているが、アスファルト混合物および舗装の性能との関連性が十分に確認できていたとは言えず、規格値が定められている項目も少ない。今後、再生用添加剤の品質はますます重要になることから、まず、添加剤の品質が舗装の性能に与える影響についてよく把握する必要がある。

再生用添加剤の品質と配合の検討、ならびに再生用添加剤の品質と舗装の性能の関連について平成21年度に行った。現在市場で調達できる再生用添加剤や軟質アスファルト

トについて、劣化アスファルトとの混合性、ならびに再生用

表-3 混合性評価の試験材料

材料	アスファルト 60~80	再生用添加 剤:N	再生用添加 剤:L
製造時期	2003	2009	2009
動粘度 60℃ mm ² /s		89.2	84.4
引火点 ℃	364	232	264
密度 g/cm ³	1.038	0.966	0.914
飽和分 %		63.6	77.6
芳香族分 %		32.4	17.1
レジン分 %		4.0	5.3

添加剤の違いによる再生アスコンの性状を比較検討した。

7.2 再生用添加剤の混合性評価

再生用添加剤の混合性の評価試験として、促進劣化させたアスファルトに再生用添加剤を加え攪拌混合し、上部と下部の品質の相違を試験した。

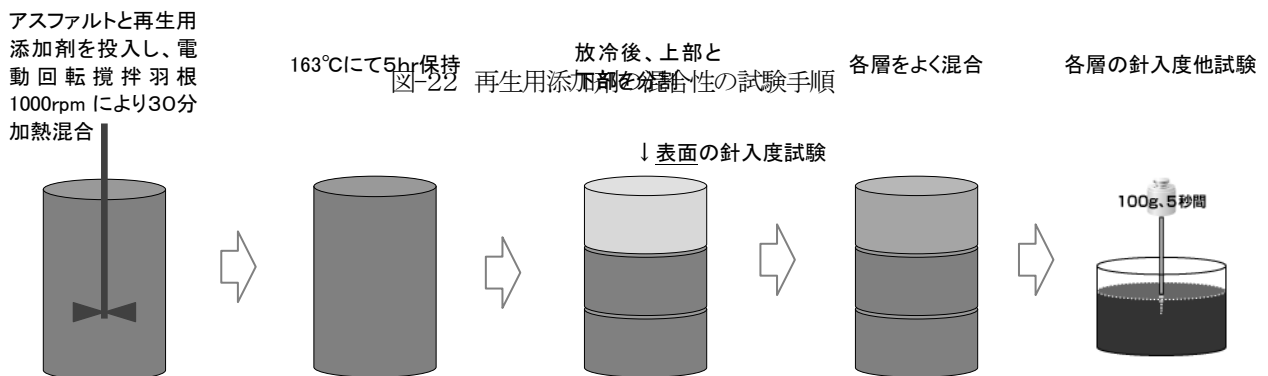
7.2.1 実験方法および試験材料

表-3に示す試験材料を用いて、図-22に示す手順により実験を行った。

7.2.2 実験結果

各層の針入度を測定した結果を図-23に示す。低密度の再生用添加剤Lは、再生アスファルト試料の上部あるいは表面の針入度が高く、旧アス中で均質に混合せず表面付近に浮きやすいことがわかる。なお、軟化点も同様な(試料下部の方がやや高い軟化点温度となる)結果であった。

今回の実験条件の設定は、再生アスファルトの規格級の上限および下限付近であるが、アスファルトの上部あるいは表面に再生用添加剤が集まってしまいう現象に変わりはない



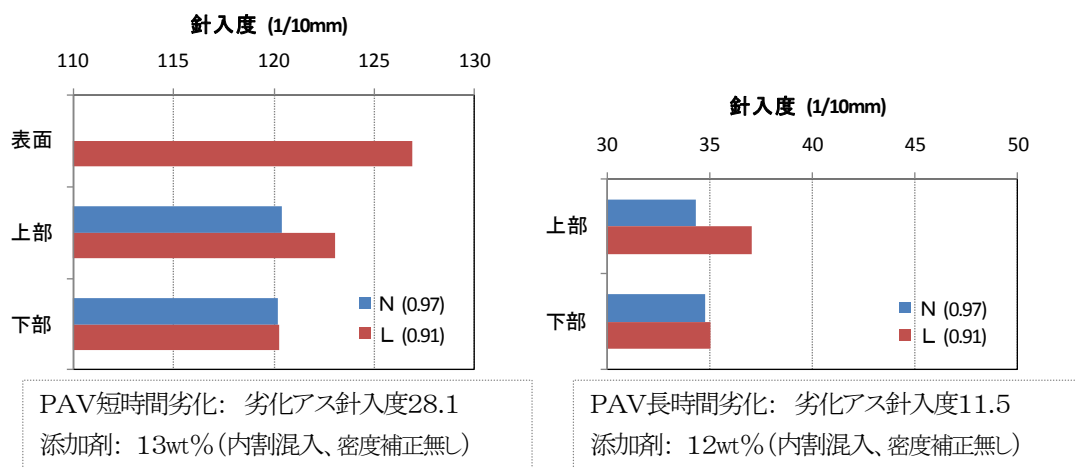


図-23 再生用添加剤の混合均質性試験結果

いことから、目標針入度が50や70でも傾向は同様とみられる。

7.2.3 考察

本試験の結果から以下のことが考察できる。

(1) 再生用添加剤の混合均質性

再生アスコン中での挙動は、配合率、混合状態、保持時間、膜厚、ファイラーの介在などの点で本試験とは異なるが、アスファルトモルタル被膜の内部では本試験と同様に分離が生じている可能性が懸念される。再生アスファルトについては、混合能力や劣化の状態により旧アスファルト中への添加剤の溶け混みが浅くなり、混合物の物性に影響する問題が指摘されているように、新アスファルトおよび添加剤の旧アスファルトへの均質な混合性が求められる。素材分離に関しては、例えば中温化剤は皮膜の表面にあえて浮かせて粗骨材接点の滑動を良くする意図をもつ用途もあるが、再生用添加剤の場合は劣化アスの回復を意図しているため均質な混合が望まれる。添加剤の偏在は、再生アスコン中での長期間の劣化アスの再生(熟成)も期待しにくくなり、偏在の影響は重要である。

(2) 再生アスファルトの密度

舗装設計施工指針および再生便覧では、旧アスファルトに再生用添加剤等を混入した再生アスファルトの品質が定められている(指針付表-9.2.14)。その品質項目と規定値は新アスファルトと同一であり、密度は1.0000以上と規定されている。これは、わが国では再生アスコンの性能が新材と同等であるとして構造や路面を設計しているためである。

アスファルトの密度は、薄膜加熱質量変化率等が示されているものの、現在のアスファルトは劣化が進んでも密度はほとんど増加しない。旧アスファルトに低密度の添加剤を混入すると、再生アスファルトの密度は低下する。この影

響は、低針入度化に伴う添加量の増加や、繰返し再生利用された際に、より顕著になる。わが国のアスファルト舗装材の再生利用は少なくとも既に2巡目に入っているとみられ、再生アスファルトの品質確保はより重要になっている。

過劣化材に対して添加剤を多量に混入したり、繰返し再生利用を続けた場合、アスファルトが低密度化することが懸念される。実際、再生加熱アスファルトの配合設計時に、針入度試験時に試料カップが浮いてしまうこともあり、密度が小さな再生用添加剤の影響について検討を続ける必要がある。

低密度の添加剤を加える場合には、配合時に密度補正などを行わないとアスファルト量のずれを生じる原因にもなる。とくに、圧裂試験による混合物評価が導入されると、特別に抽出回収しなければ再生アスファルトの密度は測定できず、再生アスファルト品質の確認は困難となる。

(3) 配合設計における針入度試験の精度

再生アスコンの配合設計においては、再生骨材の劣化度に応じた添加材料を決めるために針入度試験を行う。この針入度調整のためのバインダ試験でも、今回の実験と同様のことが起きているとみられる。その結果、再生アスファルトの針入度は高めに計測されることとなり、添加剤の不足や混合不良など再生アスの品質の安定性への影響が心配される。

これらのことから、再生用添加剤の密度には一定の下限値を設けることが望ましい。

7.3 再生用添加剤の品質と舗装材の性状

再生用添加剤の相違による再生アスコンの性状を比較評価するため、再生用添加剤をかえて再生アスコンを作製し、それらの性状を評価するとともに、溶剤を用いて抽出回収

した再生アスファルトの性状を試験した。

7.3.1 実験方法

再生アスコンの性状評価は、圧裂試験を行って、疲労性状を評価できることが過年度の成果からわかっている圧裂係数を求めた。また、わだち掘れ抵抗性としての耐流動性評価であるホイールトラッキング試験を行った。

試験目的から、旧アスファルトの劣化がかなり進んだ再生骨材を使用し、添加剤量をやや多めに設定した。再生骨材は、土木研究所構内から採取し製造したものを用いた。再生骨材配合率を60%、目標針入度を50として針入度調整を行い、添加剤ごとに配合を設定した。混合物粒度は密粒度(13)、アスファルト量は5.8%である。また、比較のため、再生骨材のみで作製した混合物と、新規アスファルト混合物もあわせて試験した。

7.3.2 試験材料

再生用添加剤の性状を表-4に、再生骨材の性状を表-5に示す。再生用添加剤を使用する場合には、新アスファルトとしてストレートアスファルト60~80を使用した。また、低密度で軟質なオイルである再生用添加剤の影響を評価するため、針入度の大きな軟質アスファルトのみを新アスファルトとして使用した試料を用いて比較評価を行った。新アスファルトの性状を表-6に示す。

表-4 再生用添加剤性状

再生用添加剤	60℃粘度 mm ² /s	薄膜加熱 後粘度比	引火点 ℃	密度 g/cm ³
A	523	1.75	328	0.9496
B	89.2	1.23	232	0.9658
C	98.0	1.12	240	0.9480
D	84.4	1.09	264	0.9141

表-5 再生骨材の性状

旧アスファルト量	旧アスファルト針入度 25℃,1/10mm	2.36mmふるい (みかみ)通過率
4.63%	10	41.8%

表-6 アスファルト性状

種類	針入度 25℃,1/10mm	軟化点 ℃	伸度 15℃, cm	密度 g/cm ³
60/80	70	47.0	100+	1.038
軟質	388	32.0	100+	1.000以上

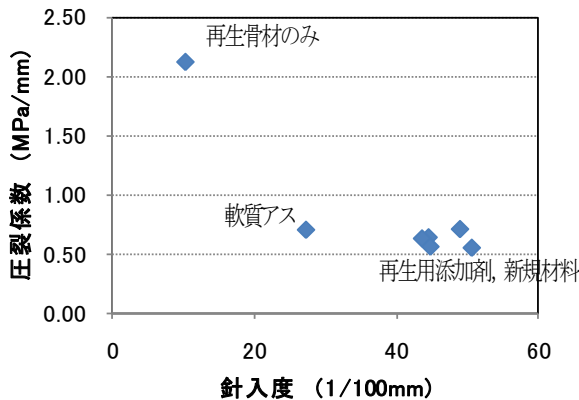


図-24 圧裂係数と再生アスファルト針入度

再生骨材のみ

軟質アス、再生用添加剤 新規材料

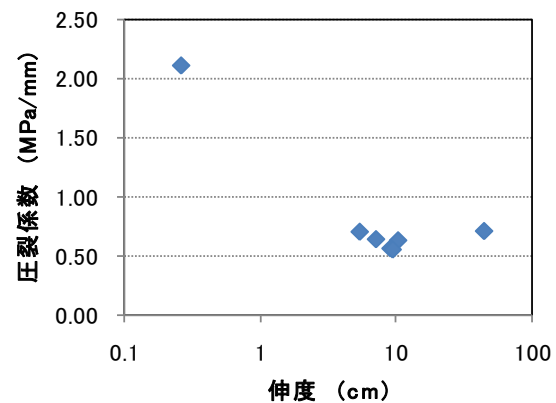


図-25 圧裂係数と再生アスファルトの伸度

7.3.3 実験結果

(1) 圧裂試験性状

再生アスコンの圧裂係数と再生アスファルトの針入度の関係を図-24に示す。再生用添加剤が異なっても圧裂係数は一様に0.5~0.7程度の値を示した。これは針入度40/60のアスファルト混合物に相当する¹⁾。一方、再生骨材のみの場合、2.0以上の大きな値を示す。軟質アスファルトによる再生は、旧アスファルトの劣化が進んでいることもあり針入度は十分に回復していないものの、圧裂係数は添加剤と同程度の値を示していることがわかる。

圧裂係数と再生アスファルトの伸度の関係は、図-25に示すとおり針入度と同様な傾向であるが、新規アスコンの挙動が異なる。軟質アスファルトによる再生では伸度はかなり回復しており、針入度が多少小さくても再生アスコンの疲労性状はある程度確保できるものとみられる。

(2) 動的安定度

再生アスコンの動的安定度と再生アスファルトの針入度との関係を図-26に示す。再生用添加剤で再生した再生アスコンは、針入度がほぼ同程度であるにもかかわらず、動的安定度は数百(新規アスコン)から3千まで分布している。一方、軟化点との対応は、図-27に示すように、軟化点上昇にしたがって動的安定度も上昇する傾向で、その相関関係も非常に良かった。

これらから、再生アスファルトの針入度級が同一であっても軟化点は大きく異なり、再生アスコンの耐流動性は一様でないことがわかった。アスファルトの再生利用においては、特に再生骨材の配合率が高い場合など再生用添加剤の影響が大きい条件においては、耐流動性を良く確認することが必要である。

用添加剤を多量に使用せざるを得ないことが想定されることから、添加剤の品質および添加量の上限值などに関する許容値を検討する必要がある。

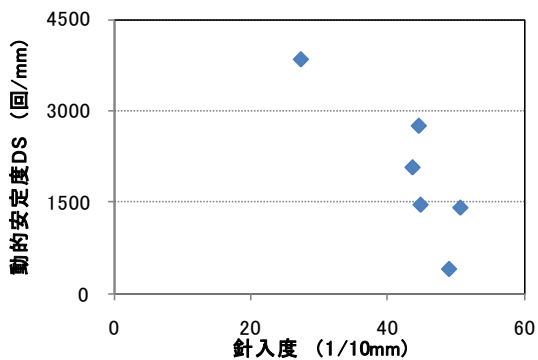


図-26 再生アスコンの耐流動性と針入度

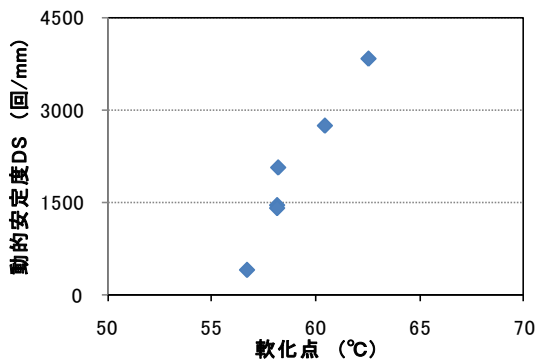


図-27 再生アスコンの耐流動性と軟化点

(3) 再生アスファルトの品質と繰返し再生

今回の試験は、一回のみの再生であるが、その軟化点は再生用添加剤の品質により異なり、舗装の耐流動性にも影響しうることがわかった。

過年度の研究では、繰返し再生により軟化点が上昇し品質基準値を満足しなくなる²⁾実験ケースが多く、これは繰返し再生に関する既往の報文とも一致している。この様な劣化材をさらに再生利用しようとする場合、より低粘度の再生

8. まとめ

本研究の成果として、以下のことが分かった。

- ・アスファルトモルタルでの性状評価が可能で、特にポーラアスファルトの配合設計においては、様々な温度域での評価が可能であることから、混合物試験だけによるものよりも施工性の評価が可能になるなど、有効であることが確認された。
- ・バインダの繰り返し再生試験ではアスファルトの性質が変化し、再生用添加剤の種類の影響も見られるため、繰り返し再生を考慮した再生用添加剤の評価の必要性が示された。
- ・混合物での繰り返し再生試験を行ったところ、繰り返し再生により変位への追従性が低下する可能性がみられ、繰り返し再生を考慮した再生用添加剤の評価の必要性が示された。
- ・圧裂試験により、再生骨材中のアスファルトの劣化度を混合物試験で簡易に評価できる可能性があることがわかった。
- ・ポリマー改質アスファルトを含む屋外暴露材の使用可否の目安は、圧裂係数 1.7 程度、針入度 10 程度である。
- ・圧裂試験から求められる圧裂係数により、劣化材を品質評価をアスファルトの種類にかかわらず同じ基準値により運用できることがわかった。

- ・低密度の再生用添加剤は、劣化アスファルトの表面に浮くなど混合不良となる場合がある。このため、再生用添加剤の密度には一定の下限値を設けることが望ましい。
- ・針入度調整により配合設計を行った再生アスコンは、いずれも適切とされる圧裂係数を示す。
- ・再生アスファルトの針入度が同程度であっても、軟化点の値に差があることから、再生アスコンの耐流動性は大きく異なることがある。

今後、これらの知見を踏まえた具体的な評価方法、運用可能な利用基準等の整備と、現場への普及が必要となる。

参考文献

- 1) (独)土木研究所, (社)日本アスファルト合材協会:アスファルト舗装の再生利用に関する共同研究中間報告書, 平成 20 年 12 月
- 2) 加納孝志, 新田弘之, 佐々木巖, 西崎到, 久保和幸:繰り返し再生を考慮したアスファルト混合物の再生方法に関する研究, 土木学会舗装工学論文集 第 14 巻 2009 年 12 月