

# 再生用添加剤が再生アスファルトの性能に及ぼす影響に関する実験的研究

八谷好高<sup>1</sup>・高橋 修<sup>2</sup>・松崎和博<sup>3</sup>・坪川将丈<sup>4</sup>・郝 培文<sup>5</sup>

<sup>1</sup> 正会員 工博 国土交通省国土技術政策総合研究所空港研究部空港施設研究室 (〒239-0826 横須賀市長瀬3-1-1) hachiya@ipc.ysk.nilim.go.jp

<sup>2</sup> 正会員 博 (工学) 長岡技術科学大学工学部環境・建設系 (〒940-2188 長岡市上富岡町 1603-1)

<sup>3</sup> 学生会員 国土交通省国土技術政策総合研究所空港研究部空港施設研究室 (〒239-0826 横須賀市長瀬3-1-1)

<sup>4</sup> 正会員 工修 国土交通省国土技術政策総合研究所空港研究部空港施設研究室 (〒239-0826 横須賀市長瀬3-1-1)

<sup>5</sup> 工博 国土交通省国土技術政策総合研究所空港研究部空港施設研究室 (〒239-0826 横須賀市長瀬3-1-1)

再生アスファルトコンクリートの配合設計において重要となる、再生用添加剤が異なる場合のアスファルトの基本的特性について、成分が大きく異なる3種類の再生用添加剤による再生アスファルトならびに再生アスファルトコンクリートを用いて検討した。その結果、再生用添加剤を添加して再生することにより旧アスファルトの性状は大幅に改善されること、製造ならびに供用後の劣化・老化を考えた場合には再生アスファルトと新規アスファルトとの差は明確ではなくなるものの再生用添加剤の影響が残っていること、さらに、再生用添加剤の違いによる再生アスファルトコンクリートの特性の違いは老化の進行により明確ではなくなるのがわかった。

**Key Words:** recycled asphalt, airport, rejuvenating agent, aging, laboratory test

## 1. はじめに

建設材料のリサイクル率は年々増加しており、アスファルト発生材をみれば多数の地域で既に90%を超えるまでになっている<sup>1)</sup>。空港においてもそれは例外ではなく、現に東京国際空港では旧ターミナル地区の滑走路やエプロンの解体に伴って発生した材料を、再生アスファルトコンクリート用再生骨材として有効利用して新設舗装が建設された<sup>2)</sup>。空港においては今後補修工事が増加するものと考えられ、その場合には再生アスファルトコンクリートが使用されることは間違いのないところである。

再生アスファルトコンクリートをより積極的に使用するためには、再生骨材混入率、すなわち再生率を高くする必要がある。その場合、再生用添加剤を用いて旧アスファルトの性能を回復させることになるので、再生率が増加するにつれて再生用添加剤の添加量も多くなる。そのため、再生用添加剤が再生アスファルトコンクリートの性状に及ぼす影響はますます大きくなるものと考えられるので、再生用添加剤の成分と再生アスファルトの物理特性および再生アスファルトコンクリートの性状の関係について詳しく検討する必要がある。

再生用添加剤の品質としてはプラント再生舗装技術指

針<sup>3)</sup>に標準的なものが示されている。しかし、規定されている項目数が少ないため、アスファルト系、石油潤滑油系、動植物油系、アスファルト乳剤系といった、市販されている再生用添加剤はいずれもその標準値を満足しているものの、成分は様とはなっていない。このことから、再生アスファルトコンクリートの性状には、用いた再生用添加剤による違いが現れる可能性がある。

空港舗装では道路舗装に比べて交通量が少なく、その幅員も広いことから、交通荷重によるニーディング作用を受ける範囲は広いとはいえず、表層に用いられるアスファルトコンクリートは自然環境下において老化しやすいと考えられる<sup>4)</sup>。そのため、再生アスファルトあるいは再生アスファルトコンクリートの性状、特に老化作用を受けた後のものについても検証する必要がある。

本研究は、このような背景の元、再生用添加剤の成分の違いによる再生アスファルトの性状の差異、ならびに再生アスファルトコンクリートの性状の差異について空港舗装用材料を対象として検討したものである。

再生アスファルトの性状については、プラント再生舗装技術指針やJISにより規定されている一般的な項目に加えて、米国のSHRPで採用されている新しいものについても検討した。この場合、アスファルトがアスファル

トコンクリートの製造時ならびに供用中に劣化・老化することも想定している。

再生アスファルトコンクリートの性状は、曲げ試験ならびに繰返し曲げ試験によって評価した。実際の舗装では長期供用に伴う老化によってアスファルトコンクリートの性状が変化することから、この点についても着目して再生アスファルトコンクリートの性状を評価した。自然環境下での老化を再現する方法として、ここでは高温下で酸化させる促進老化作用を採用した。

## 2. 試験方法と使用材料

### (1) 試験方法

#### a) 再生アスファルト

再生アスファルトの性状を評価するために、針入度試験、軟化点試験、伸度試験、粘度試験、成分分析試験、ベンディングビームレオメータ (BBR) 試験、ダイナミックシェアレオメータ (DSR) 試験を実施した<sup>5)</sup>。そのうち、針入度試験、軟化点試験、伸度試験はJIS K 2207に準拠して実施した。このほかの試験方法は、舗装試験法便覧<sup>6)</sup>あるいは同別冊<sup>7)</sup>に示されている方法を用いた。アスファルトならびに再生用添加剤の成分分析法としてカラムクロマトグラフィー法 (石油学会法) を用いたので、成分はアスファルテン、飽和分、芳香族分、レジン分の割合として表現される。

また、再生アスファルトコンクリートの製造時における劣化、供用中の老化を想定して、それぞれ回転式薄膜加熱 (RTFO) 試験ならびに加圧劣化容器を用いた促進劣化 (加圧劣化, PAV) 試験を実施した。RTFO試験では、SHRPにより提案されている時間である85分間の試験後の針入度低下が実際のアスファルトコンクリート製造プラントの場合と比較して大きかったことから、45分に変更した。なお、PAV試験はRTFO試験に引き続いて実施した。

#### b) 再生アスファルトコンクリート

再生アスファルトコンクリートの力学的性状は、上記のように、促進老化を与えない場合と与えた場合の両方について、静的曲げ試験により評価した<sup>8)</sup>。また、疲労抵抗性を明らかにするために、繰返し曲げ試験も実施した。

#### i) 静的曲げ試験

この試験は、舗装試験法便覧に準拠した方法で実施した。ただし、供試体の形状寸法と試験温度、载荷速度は舗装試験法便覧と異なるものとした。供試体は、ローラコンパクタで締め固めて作製した、縦・横300mm、厚さ50mmの試料から、ダイヤモンドカッタを使って幅50mm、長さ300mm、厚さ50mmのものを切り出した。なお、老化作用を与える場合には、供試体を切り出す前

表-1 再生用添加剤の性状

項目	A	B	C	標準値	
動粘度 (mm <sup>2</sup> /s)	526	202	46.0	80 - 1000	
引火点 (°C)	327	232	276	230以上	
粘度比	1.10	1.37	1.03	2以下	
質量変化率 (%)	-0.07	-1.78	-0.56	±3以内	
密度 (g/cm <sup>3</sup> )	0.974	1.011	0.884	—	
成分 (%)	アスファルテン	0.2	2.0	0.0	—
	飽和分	8.7	51.9	90.3	—
	芳香族分	83.5	33.2	8.7	—
	レジン分	7.6	12.7	1.0	—

の試料に対して促進老化を施した。

曲げ試験は、支間を200mmとした2点支持、1点中央载荷方式で、载荷速度ならびに温度一定の条件で実施した。载荷速度は、標準の試験法では50mm/minであるが、ここでは航空機の走行速度が比較的小さい状況を想定して、10mm/minとした (供試体底面でのひずみ速度 $1.25 \times 10^{-3}$ /s)。試験温度については、当初-10、0、10、20、30°Cとして試験を実施していたが、脆化点を明確にするために-10、0、5、10、20°Cへと変更した。

#### ii) 繰返し曲げ試験

この試験には、上記の曲げ試験と同様に、幅50mm、高さ50mm、長さ300mmの寸法の供試体を用いた。試験方法としては、2点支持1点载荷の条件 (支間250mm) で、変位波形を正弦波 (両振り) とする、変位 (ひずみ) 制御方式を用いた。温度は-10、0、5、10°Cの4通り、変位はひずみ振幅で $1,000 \times 10^{-6} \sim 2,500 \times 10^{-6}$  (片振幅) の範囲で4ないし5通り変化させた。周波数は既往の研究<sup>9)</sup> <sup>10)</sup>に基づいて5Hzとした。

#### iii) 促進老化方法

アスファルトコンクリートの促進老化方法としては、高温下で酸化させるもの<sup>11)</sup>を採用した。具体的な方法は次の通りである。

- ① 60°Cに調整した恒温槽 (真空乾燥炉) 内に試料を入れる。
- ② 真空ポンプにより恒温槽内の空気を排出する。
- ③ 恒温槽内に酸素を送り込んで充填させる。
- ④ 24時間放置する。

上記①～④を1サイクルとして、これを所定のサイクル数繰り返した。

## (2) 使用材料

再生用添加剤は、アスファルトの劣化による成分変化に関する既往の知見<sup>12)</sup>に基づいて、飽和分、芳香族分ならびにレジン分に着目し、成分としてこれらが大きく異なる3種類を用いた。具体的には、数多く市販されている再生用添加剤の中から、表-1に示す性状を有する、比較的使用実績の多いものを選定した。添加剤A、Cはそ

表-2 アスファルトの品質

項目	旧アスファルト	新規アスファルト
針入度 (1/10mm)	35	66
軟化点 (°C)	56.0	48.0
伸度 (cm)	8	100+
粘度 (Pa·s)	761	174
密度 (g/cm <sup>3</sup> )	1.045	1.037

表-3 再生骨材の品質と粒度

項目		測定値	
抽出アスファルト量 (%)		5.95	
粗骨材	比重	表乾	2.662
		かさ	2.633
		見掛	2.713
	吸水量 (%)	1.12	
細骨材	比重	表乾	2.597
		かさ	2.547
		見掛	2.683
	吸水量 (%)	1.99	
理論最大密度 (g/cm <sup>3</sup> )		2.478	
通過質量百分率 (%)	粒径 (mm)	13.2	100
		4.75	73.1
	2.36	49.5	
	0.6	28.9	
	0.3	19.4	
	0.15	9.4	
	0.075	6.2	

れぞれ芳香族分、飽和分が多いのに対し、添加剤Bは両者の中間に位置するものと考えられる。表中の標準値はプラント再生舗装技術指針に記されている値であり、添加剤AならびにBはこれに適合しているが、添加剤Cは動粘度が標準値の範囲を下回っている。なお、飽和分が多く、芳香族分とレジン分が少ないほど動粘度が小さいという傾向が認められる。

再生骨材から回収したアスファルト（旧アスファルト）の品質については表-2に示してある。針入度は、いずれもプラント再生舗装技術指針に記されている規格を満足している。また、新規アスファルトは舗装用石油アスファルト60/80を使用した。その品質はJIS K 2207を満足したものとなっている。

使用した再生骨材は、東京国際空港の旧ターミナル地区における舗装の撤去に伴って発生したものであり、プラント再生舗装技術指針ならびに空港土木工事共通仕様書<sup>13)</sup>（以下共通仕様書）の規定を満足している。ここでは、再生アスファルトコンクリートの骨材最大粒径を13mmと設定したため、再生骨材の最大粒径も13mmとして粒度調整を行った。再生骨材の品質と粒度を表-3にまとめた。

新規骨材としては、6号砕石、7号砕石、スクリーニングス、粗砂、細砂ならびに石粉を使用した。これらの骨

表-4 再生用添加剤の必要添加量

再生用添加剤	添加量 (%)	
	単体	混合物
A	8.8	12.0
B	7.9	7.7
C	4.9	5.3

材は、いずれも共通仕様書等の規定を満足している。

### (3) 配合設計

#### a) 再生用添加剤の添加量

再生用添加剤の添加量は、プラント再生舗装技術指針の方法に準拠して、これを旧アスファルトに添加混合した後の再生アスファルトの針入度が新規アスファルトの針入度と等しくなるように決定した。この場合、新規アスファルトと再生アスファルトの針入度を同一にしたとしても、アスファルトコンクリートの製造過程におけるアスファルトの劣化程度が両者で異なることが懸念される。そこで、ここでは、新規アスファルト、再生アスファルトをそれぞれ用いて製造したアスファルトコンクリート中のアスファルトの針入度が製造直後の時点で同一になるように添加量を決定した。

具体的な添加量決定方法は、アスファルト単体とアスファルトコンクリートの場合で異なったものとなっている。すなわち、後者については実際に再生アスファルトコンクリートを製造して、それから回収したアスファルトの針入度に注目した。前者についてはその方法が採用できないので、アスファルトコンクリート製造時の劣化を再現する方法であるRTFO試験をアスファルトに適用した後の針入度に注目した。

その結果、得られた3種類の再生用添加剤の必要添加量は表-4に示すとおりになった。再生用添加剤の成分によって添加量の増加に伴う針入度変化の割合が大きく異なることから、必要添加量にもかなりの差があるものとなっている。また、アスファルト単体とアスファルトコンクリートでは、上記のように方法が異なることから、再生用添加剤の必要添加量も異なることがわかる。

#### b) アスファルトコンクリートの配合設計

再生アスファルトコンクリートならびに新規アスファルトコンクリートに用いた骨材の配合比を表-5にまとめた。これらの粒度は、いずれも共通仕様書に規定されている基本施設の表層タイプI、骨材最大粒径13mmの粒度範囲に基づき、その中央値を目標粒度として決定した。なお、一連の試験では、再生アスファルトコンクリートの骨材中に占める再生骨材の割合（再生率）として、共通仕様書で規定されている上限値である40%を用いている。

最適アスファルト量（OAC）はマーシャル安定度試

表-5 骨材の配合

材料	再生	新規
再生骨材	40	—
6号碎石	28	36
7号碎石	10	23
スクリーニングス	8	17
粗砂	6.5	13
細砂	4.5	6.5
石粉	3	4.5

(単位: %)

表-6 マーシャル安定度試験の結果

項目	新規	A	B	C	基準値
OAC (%)	5.8	5.4	5.4	5.4	—
密度 (g/cm <sup>3</sup> )	2.383	2.422	2.411	2.410	—
空隙率 (%)	2.7	2.2	2.7	2.7	2~5
飽和度 (%)	83.1	84.9	82.4	82.3	75~85
安定度 (kN)	12.9	16.1	15.1	14.1	8.8以上
フロー値 (1/100cm)	37	36	37	37	—

表-7 老化作用を受けない再生アスファルトの性状

項目	A	B	C
針入度 (1/10mm)	56	59	55
軟化点 (°C)	50.5	51.0	51.0
伸度 (cm)	90	100+	49
粘度 (Pa·s)	297	318	352

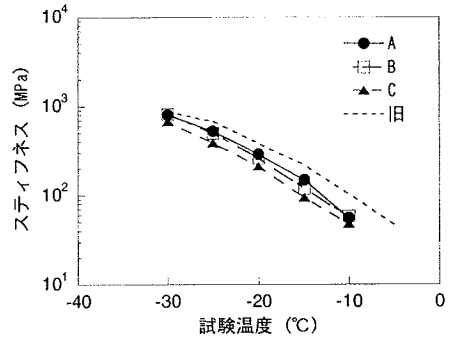
験の結果に基づいて決定した。このときの基準値は、共通仕様書に記載されている基本施設の①表層のものである。得られた最適アスファルト量を用いて作製した、新規ならびに再生アスファルトコンクリートに対するマーシャル安定度試験の結果を表-6に示す。新規材料と再生材料では骨材粒度が多少異なっているため、最適アスファルト量は同一にはなっていない。マーシャル安定度試験の結果はどの材料もほとんど同じであり、全てが基準値を満足している。なお、使用した再生用添加剤に応じて再生アスファルトコンクリートもA, B, Cと記している。

### 3. 再生アスファルトの性状

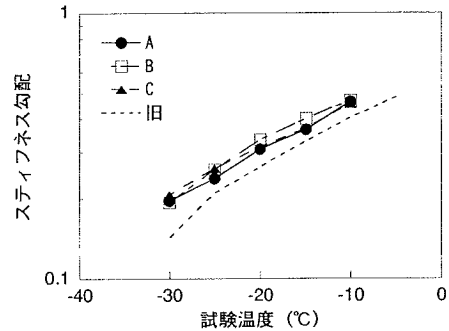
再生用添加剤を使用して再生した再生アスファルトの性状を評価した<sup>9)</sup>。ここでは、老化作用のない場合に加え、アスファルトコンクリート製造後ならびに施工してある程度供用された状態での性状に注目した。

#### (1) 老化作用のない場合

3種類の再生用添加剤を用いて調整した再生アスファルトが何ら老化作用を受けないときの性状として、従来より実施されている一般的な試験により判明した再生ア



a) スティフネス



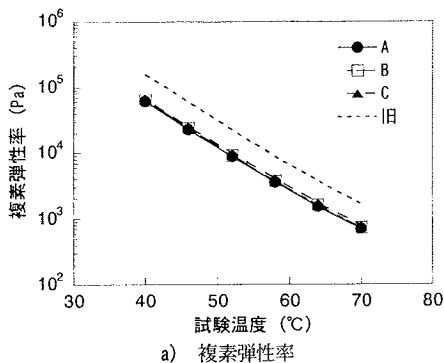
b) スティフネス勾配

図-1 再生用添加剤によるBBR試験特性の違い

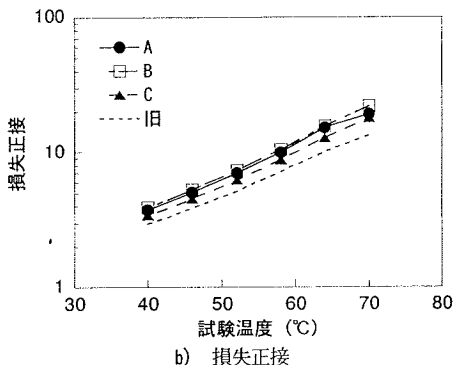
スファルトの性状を表-7に示した。表-2に示した旧アスファルトの性状と比較すると、再生アスファルトの性状が大幅に改善されていることが明らかである。再生用添加剤の違いをみれば、伸度については添加剤Cを用いたものが小さい値を示したが、それ以外の項目については大きな違いはないことがわかる。

次に、BBR試験結果であるスティフネスとその勾配を図-1に示した。再生アスファルトのほうが旧アスファルトよりもスティフネスが小さくなっていて温度変化による発生応力が小さいこと、スティフネス勾配が大きくなっていて応力緩和性状が良好なことがわかる。なお、スティフネス、勾配とも再生用添加剤による差は小さいことがわかる。

また、DSR試験の結果である複素弾性率と損失正接を図-2にまとめた。旧アスファルトと比較すると、複素弾性率が小さく、損失正接が大きいことから、再生アスファルトは旧アスファルトの性状を改善できていること、すなわち、変形抵抗性が小さく、粘性的になったことがわかる。この場合も再生用添加剤の違いは明確ではない。



a) 複素弾性率



b) 損失正接

図-2 再生用添加剤によるDSR試験特性の違い

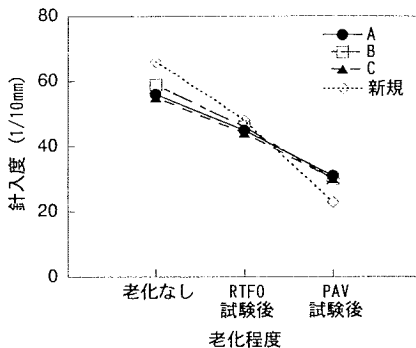


図-3 老化による針入度の変化

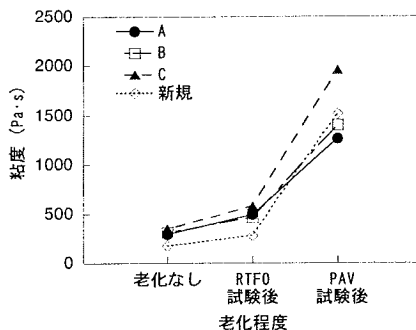


図-4 老化による粘度の変化

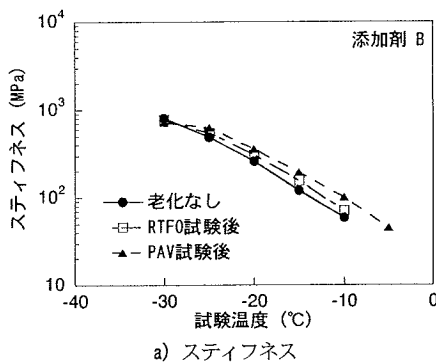
## (2) 老化に伴うアスファルトの性状変化

老化作用を与えることによって生ずる、アスファルトの性状変化についてまとめる。

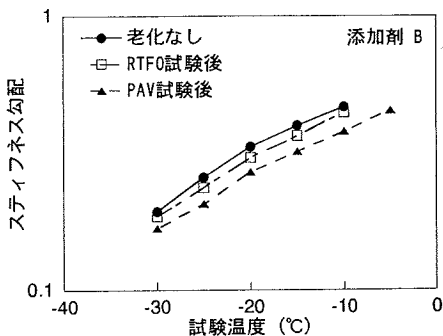
まず、針入度について図-3に示す。老化のない状態で再生アスファルトと新規アスファルトにみられた差は老化の進行により小さくなり、最終的には逆転することが認められた。具体的には、針入度は、再生アスファルトの場合、平均でRTFO試験後には45(1/100cm)、PAV試験後には30(1/100cm)となるのに対して、新規アスファルトの場合にはそれぞれ、48(1/100cm)、23(1/100cm)となっている。針入度のみ限り、供用中の耐老化性は再生アスファルトのほうが優れていると判断される。なお、老化の進行後は再生用添加剤による違いはほとんどみられなくなる。

また、軟化点と伸度も、老化の進行に伴って、再生アスファルトと新規アスファルトの差が小さくなり、PAV試験後には差がほとんどみられなくなる。再生用添加剤による違いも、針入度と同様、明らかではない。

これらに対して、粘度には新規・再生アスファルトの違いのほかに、再生用添加剤の違いによる影響がみられる(図-4)。すなわち、老化なしとRTFO試験後までは新規アスファルトのほうが粘度が小さかったが、PAV試験後には新規と再生アスファルトの差はみられなくなっ



a) スティフネス



b) スティフネス勾配

図-5 老化に伴うBBR試験特性の変化

たことに加え、再生用添加剤の違いとしては添加剤Cを使用したものが他よりも粘度が大きいことから、老化が進行していることが明らかである。

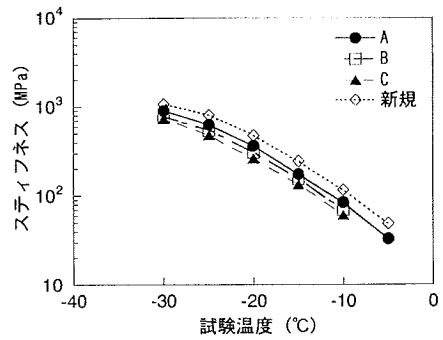
次にBBR試験結果をまとめた。まず、再生用添加剤Bを用いた再生アスファルトについて、老化の進行に伴うスティフネスならびにその勾配の変化を図-5に示した。RTFO試験、PAV試験後と進むにつれて老化が進行していることがわかる。この傾向は他の再生用添加剤を用いた再生アスファルトならびに新規アスファルトの場合でも同様にみられる。

再生用添加剤の違いによる影響をみるために、RTFO試験ならびにPAV試験後のスティフネス、その勾配を図-6、図-7に示した。RTFO試験後では、スティフネス、その勾配のいずれでも、新規アスファルトのほうが再生アスファルトに比較すると老化している傾向がみられる。再生用添加剤による違いをみれば、添加剤Cを用いたもののスティフネスが小さくなっている。

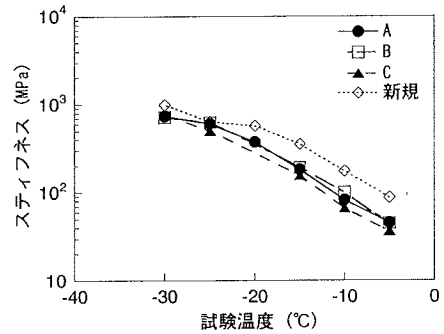
PAV試験後には、RTFO試験後にみられた性状変化がさらに進み、再生アスファルトはほとんどの温度領域において新規アスファルトよりもスティフネスが小さく、その勾配は大きくなっていることがわかる。このことは、供用によって老化が進行しやすいものは新規アスファルトであることを意味している。再生アスファルトの中では、添加剤Cを用いたものが若干ではあるが老化傾向が小さいものと考えられる。

DSR試験の結果である、複素弾性率と損失正接について、老化作用の進行に伴う変化を図-8、図-9にまとめた。老化のない場合を示した図-2と比較すると、RTFO試験、PAV試験後と徐々に老化の進行していく状況がわかる。新規と再生アスファルトの違いをみれば、RTFO試験後では再生アスファルトが新規アスファルトより老化しているが、PAV試験後には再生アスファルトと新規アスファルトの力学特性にはほとんど差のみられなくなり、複素弾性率では新規アスファルトのほうが値が大きいことから、新規アスファルトが逆に老化が進行しているような傾向も認められる。再生アスファルトの性状が再生用添加剤により異なる状況を見ると、複素弾性率では差はないものの、PAV試験後の損失正接においては添加剤Cを用いたものが老化程度は大きいことがわかる。

以上より、低温から高温までの広い温度において、アスファルトコンクリート製造時ならびに舗装供用開始後に再生、新規を問わず、アスファルトの老化が進行すること、供用後には新規アスファルトのほうが老化の進行程度が大きいこと、老化のない場合のみならず老化後であっても再生用添加剤の効果に差のあることが認められた。特に、成分として飽和分の多い再生用添加剤Cを用いた場合には、他と比較すると、常温から高温域で老化の進行程度が大きい反面、低温域では老化の進行程度が

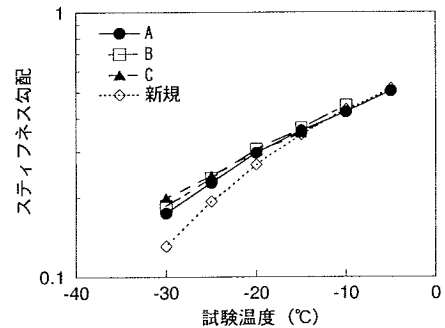


a) RTFO試験後

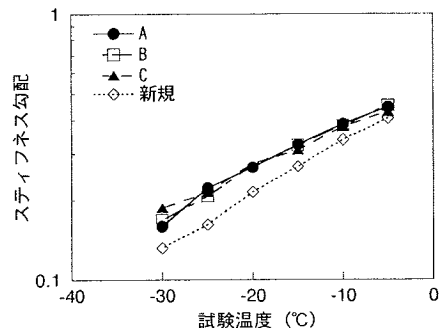


b) PAV試験後

図-6 老化後のスティフネス



a) RTFO試験後



b) PAV試験後

図-7 老化後のスティフネス勾配

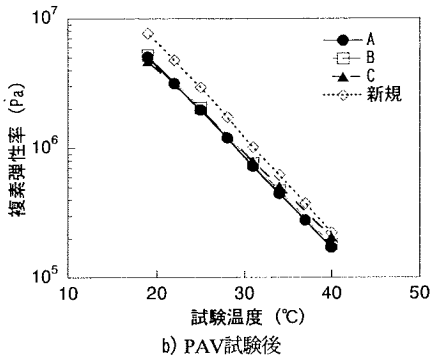
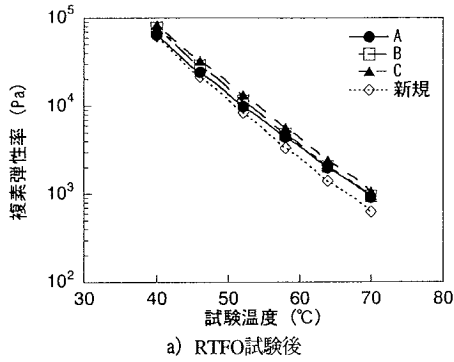


図-8 老化後の複素弾性率

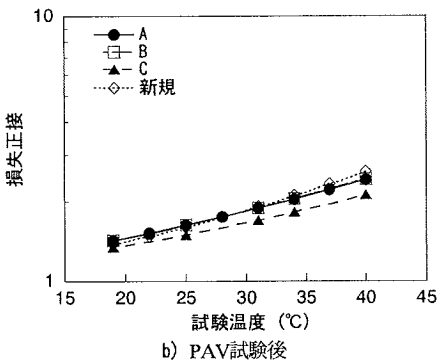
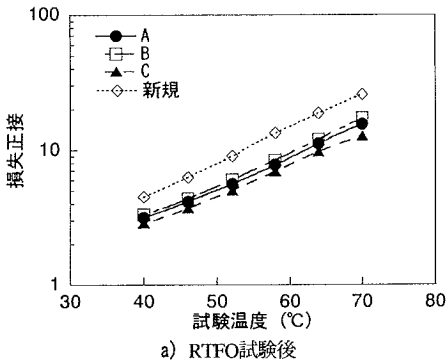


図-9 老化後の損失正接

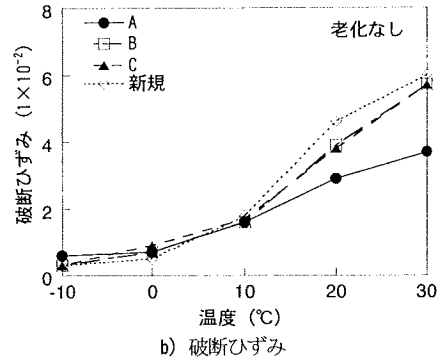
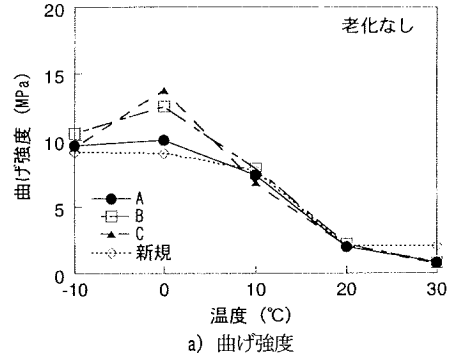


図-10 再生用添加剤による静的曲げ試験特性の違い

小さいという特性を示している。

#### 4. 再生アスファルトコンクリートの性状

再生アスファルトの混合物レベルでの性状を比較するために、再生アスファルトコンクリートと新規アスファルトコンクリートを用いて静的曲げ試験と繰返し曲げ試験を行った<sup>9)</sup>。再生アスファルトコンクリートの長期供用に対する耐久性についても検討するために、促進老化を与えた供試体についても試験を実施した。

##### (1) 静的曲げ試験による評価

促進老化を施していない場合について、曲げ強度が温度によって変化する状況を図-10a)に示した。全体的な傾向として再生アスファルトコンクリートは新規アスファルトコンクリートよりも曲げ強度が大きくなっていること、特に脆化点近傍で明らかに大きいこと、また脆化点の高温側では明確な差は見られないことがわかる。

これに対して、図-10b)に示した破断ひずみには温度が高い条件で材料による違いが明確に現れている。すなわち、添加剤BとCを使用した再生アスファルトコンクリートは新規アスファルトコンクリートと大きな差異は

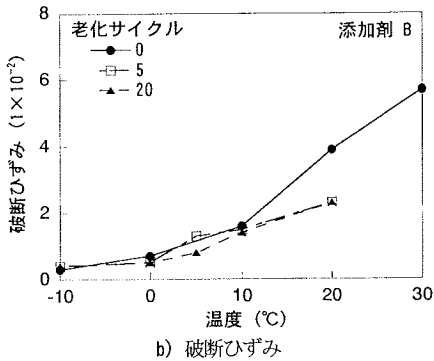
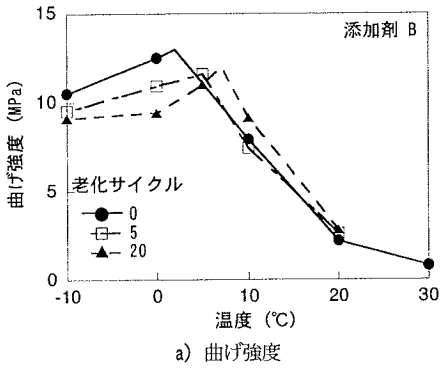


図-11 老化に伴う静的曲げ試験特性の変化

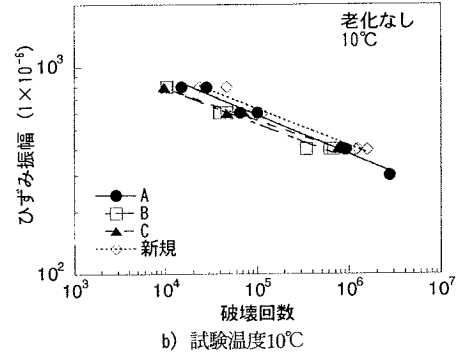
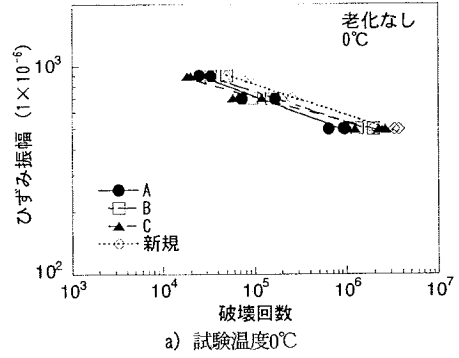


図-13 老化なしでのひずみ振幅と破壊回数

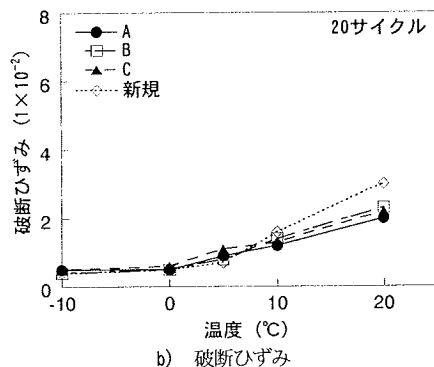
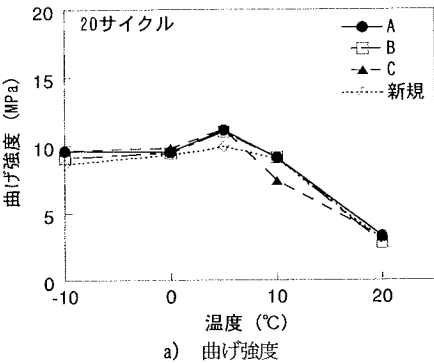


図-12 老化20サイクル後の静的曲げ試験特性

ないが、添加剤Aを使用したものは破断ひずみが小さくなってきている。

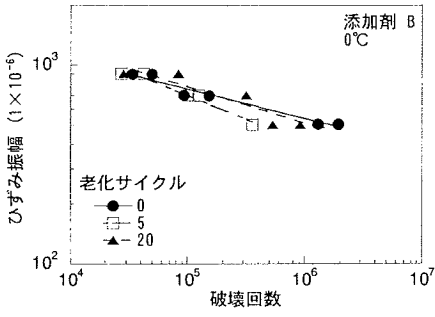
再生用添加剤Bを用いた再生アスファルトコンクリートの曲げ特性が、老化の進行に伴って変化する状況を図-11に示した。曲げ強度で見ると、材料の老化に伴って、脆化点が高温側に移動してくることが明らかで、低温域では強度低下が認められる。破断ひずみについては、老化が進行するにつれて脆化点よりも高温域において低下するようになることがわかる。

再生用添加剤の違いによる影響をみるために、促進老化を20サイクル施した場合の曲げ強度と破断ひずみを測定した。その結果を図-12に示す。図-10に示した老化なしの場合と比較すると、各材料間の性状の違いが老化が進行するに従って全体的に小さくなっていることがわかる。すなわち、老化を施さない場合は、脆化点近傍で曲げ強度に、高温域で破断ひずみに再生用添加剤による違いが認められたが、老化が進行するに従ってその程度が小さくなっている。

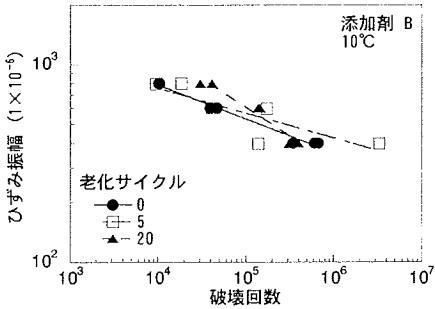
## (2) 繰返し曲げ試験による評価

繰返し曲げ試験の結果として、図-13には老化のない場合のひずみ振幅と破壊回数の関係について示した。これから、老化のない場合には、新規アスファルトコンクリートと比較して、再生アスファルトコンクリートのほ





a) 試験温度0°C



b) 試験温度10°C

図-14 老化に伴う破壊回数の変化

うが疲労抵抗性は若干小さい傾向がみられる。

図-14には、添加剤Bを用いた再生アスファルトコンクリートについて、ひずみ振幅と破壊回数の関係が老化の進行に伴って変化する状況を示してある。全体的にみると、老化に伴って、疲労曲線の勾配が大きくなる、すなわち、ひずみ振幅が変化した場合の破壊回数の変化度合いが小さくなる傾向がみられる。

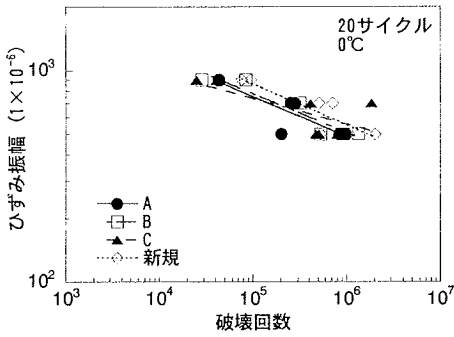
図-15に20サイクルの促進老化作用を与えた後のひずみ振幅と破壊回数の関係をまとめた。老化作用を受けることによって、新規アスファルト、再生アスファルトの差は小さくなるようである。また、再生用添加剤の影響も明確ではない。

以上のように、老化作用を受けていない条件では、高温域での曲げ特性ならびに繰返し曲げ特性には、再生と新規アスファルトコンクリートの違いと、前者においては再生用添加剤による違いもみられ、特に、成分として芳香族分の多い再生用添加剤Aを用いた場合には、他と比較すると常温から高温域での老化程度が大きくなっている。しかし、老化後にはこのような傾向が明確でなくなる。

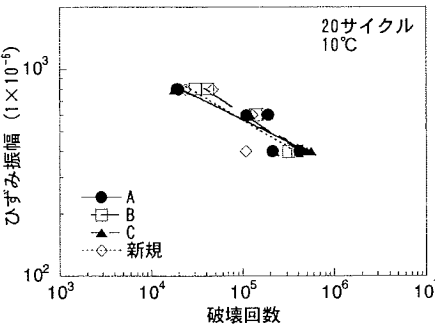
## 5. 結論

成分の異なる再生用添加剤を用いて再生した再生アスファルトならびに再生アスファルトコンクリートの性能に関して、次のような知見が得られた。

- (1) 再生用添加剤を添加して再生することにより旧アスファルトの性状は大幅に改善される。再生用添加剤の種類により必要添加量が異なり、また伸度等の特性に違いがみられる。
- (2) 低温から高温までの広い温度領域における再生アスファルトの特性には、アスファルトコンクリート製造時ならびに供用後における劣化・老化がみられる。再生用添加剤の影響は劣化・老化後に現れてくる。
- (3) 再生アスファルトコンクリートの曲げ特性には老化による変化がみられる。再生用添加剤の影響は、老化のない場合、脆化点近傍での曲げ強度、高温域での破断ひずみにみられるが、老化後には小さいものとなる。
- (4) 再生アスファルトコンクリートの繰返し曲げ試験における疲労曲線は、老化により、ひずみ振幅の変化に対する破壊回数の変化度合いが小さくなる傾向がみられる。再生用添加剤の影響は明確ではない。



a) 試験温度0°C



b) 試験温度10°C

図-15 老化20サイクル後のひずみ振幅と破壊回数

## 6. おわりに

アスファルト再生用添加剤は、ここで取り上げた3種類以外にも数多くのものである。それらについて全てを対象としたわけではないが、本研究によりプラント再生舗装技術指針に示されている規定を満足する材料であっても、それらを用いて再生した再生アスファルト、再生アスファルトコンクリートの特性には差のあることが認識できたものと考えている。

今後の課題としては、再生用添加剤の効果をより多くの方法やより実際に即した方法によって、評価する必要があることが挙げられる。また、さらに多くの種類の再生用添加剤についても評価を行い、一般性を向上させる必要があるといえよう。

いずれにしろ、これらの再生用添加剤による違いが許容されるかどうかは今後空港舗装材料としての要求性能を明確にした上で最終的に判断する必要があると考えている。

### 参考文献

- 1) 中村俊行, 久保和幸, 木村 慎: プラント再生舗装の現状と課題について, アスファルト, 第184号, pp.4-8, 1995.
- 2) 高橋 修, 秋元恵一, 八谷好高, 藪中克一: 再生アスファルト混合物を用いたシックリフト工法の空港舗装への適用性, 舗装工学論文集, 第3巻, pp.241-251, 土木学会, 1998.

- 3) (社) 日本道路協会: プラント再生舗装技術指針, 84p., 1992.
- 4) Sato, K., Hachiya, Y. and Abe, Y.: Changes in Properties of Asphalt Concretes due to Aging, Mini-Workshop on Paving in Cold Areas, Canada/Japan Science and Technology Consultations, pp.85-116, 1987.
- 5) 八谷好高, 高橋 修, 郝 培文: 添加剤による再生アスファルトの性能の違い, 第58回年次学術講演会第V部, 土木学会, 2003.
- 6) (社) 日本道路協会: 舗装試験法便覧, 1069p., 1979.
- 7) (社) 日本道路協会: 舗装試験法便覧別冊, pp.20-29, 1996.
- 8) 高橋 修, 八谷好高: 組成が異なる再生用添加剤を用いた再生アスファルト混合物の特性, 舗装工学論文集, 第5巻, pp.23-30, 土木学会, 2000.
- 9) 丸山暉彦, 渡辺 隆, 吉原一彦: アスファルト混合物の疲労破壊包絡線, 土木学会論文報告集, 306号, pp.71-78, 1981.
- 10) 姫野賢治, 丸山暉彦, 渡辺 隆, 吉原一彦: 低スティフネス状態におけるアスファルト混合物の疲労破壊特性に関する研究, 土木学会論文集, 第366号/V-4, pp.143-151, 1986.
- 11) 野村健一郎, 丸山暉彦, 高橋光彦: アスファルトの劣化促進方法に関する研究, 舗装工学論文集, 第1巻, pp.223-230, 土木学会, 1996.
- 12) 坂本浩行: 再生用添加剤, アスファルト, Vol.27, No.141, pp.39-46, 1984.
- 13) 国土交通省航空局(監): 空港土木工事共通仕様書, (財) 港湾空港建設技術サービスセンター, 2001.

(2003. 5. 20 受付)

## A STUDY ON INFLUENCE OF REJUVENATING AGENTS UPON PERFORMANCE OF RECYCLED ASPHALT

Yoshitaka HACHIYA, Osamu TAKAHASHI, Kazuhiro MATSUZAKI,  
Yukitomo TSUBOKAWA and Peiwen HAO

The fundamental properties of rejuvenating agents for reclaimed asphalt, which play a vital role in the design of recycled asphalt concrete, are investigated as for both asphalt binders and asphalt concretes. Commonly used three agents with highly variable ingredients are evaluated in this study. In comparison with new asphalt, recycled asphalt shows the more aged properties before aging process is applied, whereas the differences between them become smaller as the aging proceeds. The difference in an effect of rejuvenating agent on the performance of recycled asphalt concretes also becomes smaller as the aging proceeds, while that of recycled asphalt still remains even after aging.