

# 劣化と再生を繰り返したアスファルトの性状

PROPERTIES OF ASPHALT REPEATED AGING AND RECLAMATION

新田弘之\*・西崎 到\*\*

by Hiroyuki NITTA and Itaru NISHIZAKI

## 1. はじめに

舗装発生材のリサイクルは、80年代から本格的に行われるようになり、現在ではアスファルトコンクリート塊の再利用率が99%となっている。アスファルトコンクリート塊のほとんどは、破碎・分級などの処理をして再生骨材に加工され、この再生骨材を原料として、再生アスファルト混合物や再生路盤材が製造されている。

再生アスファルト混合物を製造する場合、再生骨材に含まれるアスファルト（以下、旧アスファルト）を抽出回収・性状測定を行い、旧アスファルトの性状を基にして再生アスファルト混合物の配合設計が行われている。具体的には、旧アスファルトに新アスファルトや再生用添加剤を加え、新アスファルトと同じ性状に回復させるという考え方で配合を行っている。

一方、近年、旧アスファルトの性状変化が生じていると感じているアスファルト合材製造者が多くなってきており<sup>1)</sup>、その原因としては、再生を繰り返した舗装発生材の増加や改質アスファルトを含む舗装発生材の増加が考えられる。現在の再生アスファルト混合物の設計法は、主にストレートアスファルトからストレートアスファルトに再生することを念頭に置いており、性状の調整はアスファルトの針入度を目標に合わせるという方法で行っている。しかし、従来とは性状の異なった旧アスファルトの場合、針入度以外の性状が満足する性状にあるか十分な研究が行われておらず不明である。満足しない性状の場合、再生後のアスファルト混合物性状が低下する可能性も考えられる。

そこで、本研究では、ストレートアスファルト（以下、StAs）や改質アスファルト（以下、改質As）が繰り返し再生された場合の性状変化について、室内促進劣化試験によって把握したので報告する。

\*独立行政法人土木研究所材料地盤研究グループ主任研究員（〒305-8516 茨城県つくば市南原1-6）

\*\*独立行政法人土木研究所材料地盤研究グループ首席研究員

## 2. 方法

### 2.1 促進劣化方法と再生方法

実際に供用したアスファルト舗装から、劣化や再生の履歴が明確になったものを入手することは非常に困難である。このため、室内において、再生と促進劣化試験を繰り返し行うことにより、劣化・再生履歴の明確なアスファルトを作製した。劣化と再生のイメージを図1に示す。この促進劣化から再生までの作業は計5回繰り返した。

#### (1) 促進劣化方法

促進劣化試験は、薄膜加熱試験<sup>2)</sup>（以下、TFOT）と加圧劣化容器を用いた舗装用バインダの促進劣化試験<sup>3)</sup>（以下、PAV）を用いた。それぞれの試験の

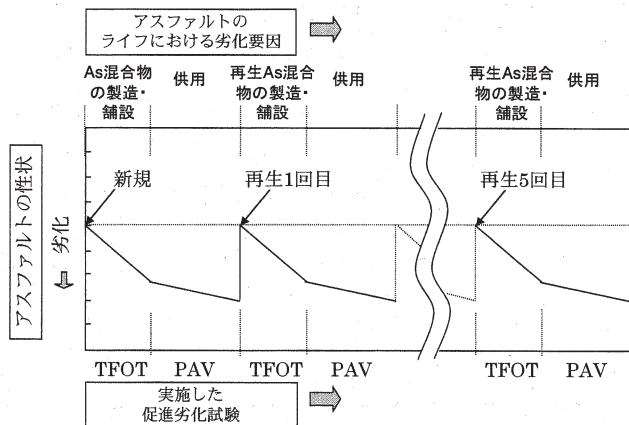


図1 劣化と再生のイメージ

表1 促進劣化試験の概要

項目	概要	備考
薄膜加熱試験 (TFOT: Thin Film Oven Test)	薄膜加熱用皿に試料を 50g (膜厚約 3.2mm) 入れ、163℃で 5 時間加熱する。	—
加圧劣化容器を用いた舗装用バインダの促進劣化試験 (PAV: Pressure Aging Vessel test)	薄膜加熱用皿に試料を 50g (膜厚約 3.2mm) 入れ、空気で 2.1MPa に加圧し、100℃で 20 時間加圧加熱する。	本研究では、劣化時間を 70 時間に変更したものを行った。

概要を表1に示す。TFOTは、アスファルト混合物の製造・施工時に受ける高温下での劣化をシミュレートするものであり、またPAVは、供用中の劣化をシミュレートするためのものである。これまでの研究<sup>4)</sup>で、これらの劣化試験の組み合わせにより、供用10年程度の促進劣化が行えることが確認されている。

なお、本研究では、「舗装再生便覧<sup>5)</sup>」で示されているアスファルトの再生利用限度である針入度20の状態を作るために、事前に劣化時間の検討を行い、PAVの劣化時間を通常の試験条件の20時間ではなく70時間に変更することで、針入度20の状態まで劣化が進むことを把握した。これに従い、本研究では、通常の条件の他にPAVの劣化時間を70時間にした試験パターンも実施した。

(2) 再生方法

促進劣化試験(TFOT+PAV)後のアスファルトは、「舗装再生便覧<sup>5)</sup>」に従って再生した。再生方法として2通りの方法が示されており、新規アスファルト

表2 再生方法の概要

	概要	備考
再生方法①	劣化したアスファルトに新アスファルトを加え、針入度50になるように調整する。	新アスファルトの添加率は、一つだけ。
再生方法②	劣化したアスファルトに再生用添加剤を加え、針入度50になるように調整する。その後、必要量の新アスファルトを加える。	新アスファルトの添加率は、自由に設定できる。

表3 試験パターンの概要

パターン	バージンアスファルト	再生時に添加する材料	備考
①	StAs60/80*	StAs60/80 (再生方法①)	—
②	StAs40/60*	再生用添加剤 + StAs40/60 (再生方法②)	—
③	改質 As II型**	再生用添加剤 + StAs40/60 (再生方法②)	—
④	StAs40/60	再生用添加剤 + StAs40/60 (再生方法②)	PAV 劣化時間 70h

\*StAs40/60 および StAs60/80：針入度 40~60 あるいは 60~80 のグレードのストレートアスファルト

\*\*改質 As II型：ストレートアスファルトに熱可塑性エラストマーを添加した改質アスファルト

トだけで再生する方法(再生方法①)と再生用添加剤を用いて再生する方法(再生方法②)の両方を行った。再生方法の概要を表2に示す。

再生方法①は、劣化したアスファルトの性状と新アスファルトの性状の組み合わせにより、両者の配合率が決まるため、予め配合率を決めることができない。試験の結果、新アスファルトの配合率が概ね60%程度となった。一方、再生方法②は、新アスファルトの添加率を任意に決められることができるため、再生骨材の配合率を高くすることができる。このため、本研究においては、再生骨材の配合率が比較的高い場合である60%程度を想定して、新アスファルトの配合率が40%となるように再生を行った。

(3) 試験パターン

劣化と再生を行う試験パターンは、4つのパターンを行った。概要を表3に示す。パターン④だけは、PAV劣化時間を70hに変更したものであり、その他のパターンではPAV劣化時間は20hとした。

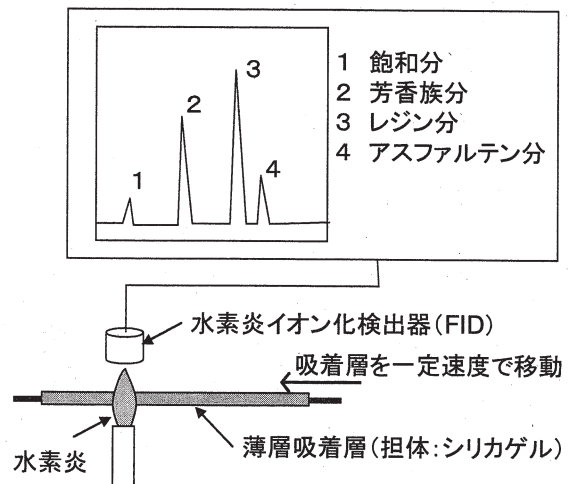


図2 TLC-FID法での測定イメージ

表4 TLC-FID法の概要

	概要
吸着層	棒状薄層吸着層(担体:シリカゲル)
検出器	水素炎イオン化検出器(FID検出器). 有機成分を水素炎中で燃焼させ、発生イオン電流を検出)
操作方法	吸着層上にアスファルトをスポットした後、ヘキサン(展開距離10cm)→トルエン(展開距離5cm)→ジクロロメタン+メタノール混液(95:5)(展開距離2cm)の順で展開し、4成分に分離する。乾燥後、それぞれの濃度をFID検出器で測定し、それぞれの濃度比を求める。

2. 2 試験項目

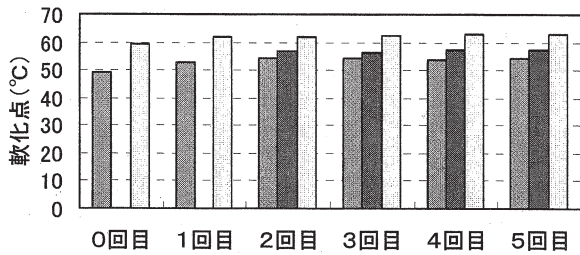
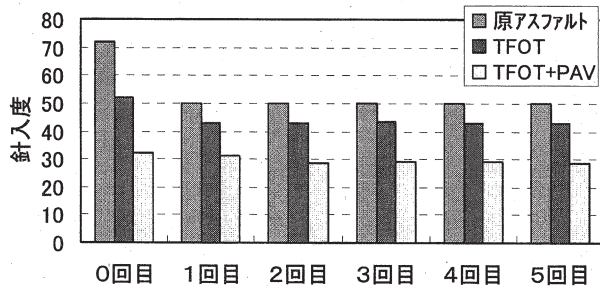
試験項目は、物理性状試験として、針入度試験<sup>2)</sup>、軟化点試験<sup>2)</sup>、化学性状試験として、アスファルト組成成分の分析を行った。

ここで、アスファルト組成成分の分析には、薄層クロマトグラフ法（以下、TLC-FID法）を用いた。このTLC-FID法は、棒状の薄層吸着層上でアスファルトを4つの成分に分離する操作（TLCの操作）と、それぞれの成分を水素炎で燃焼させ発生するイオン電流から濃度を求める操作（FID検出の操作）を組み合わせた分析方法である。測定のイメージを図2に、また、使用した溶媒などの条件を表4に示す。

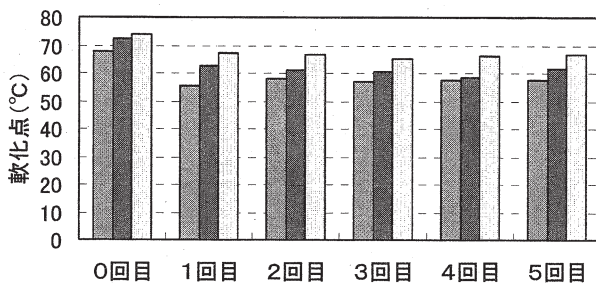
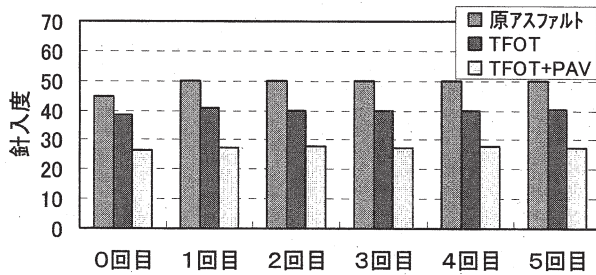
3. 結果

3. 1 劣化と再生の繰り返しにおける性状変化

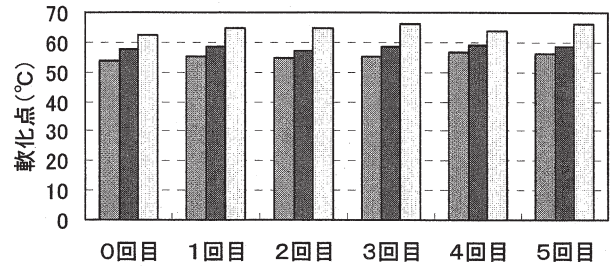
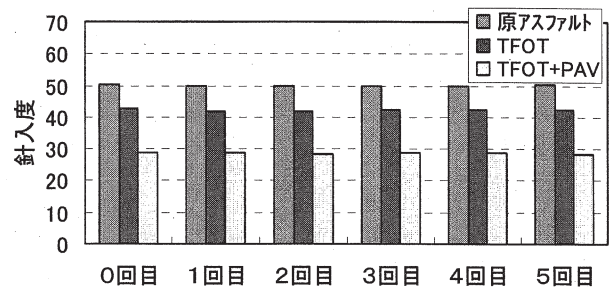
劣化と再生を繰り返し行ったアスファルトの性状を図3に示す。ここで0回目とはバージンのアスファルトを原アスファルトにした試験結果のことであり、以降1回目などの回数は再生の回数を示し、そこでの原アスファルトは針入度を50に調整した再生アスファルトのことである。4つの試験パターンの全てのデータを載せているが、いずれの場合でも原アスファルト→TFOT→PAVの順で針入度が低下しており、軟化点が上昇している。これを再生することによりいずれの場合も針入度が上昇し、軟化点が低下している。



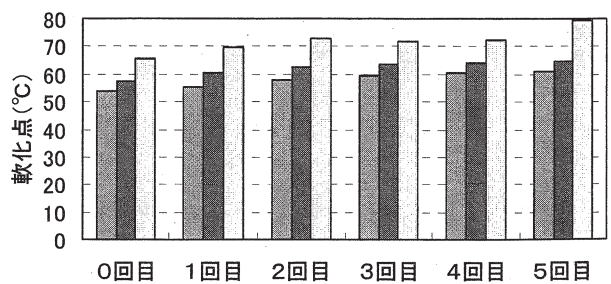
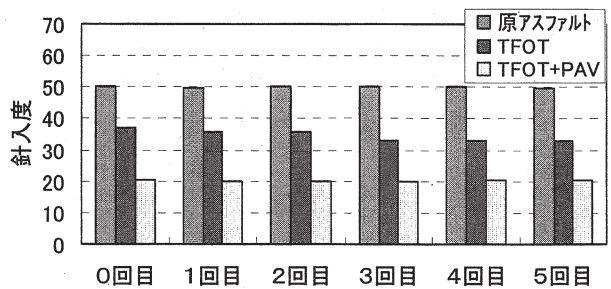
(a)試験パターン① (StAs60/80)



(c)試験パターン③ (改質 As II 型)



(b)試験パターン② (StAs40/60)



(d)試験パターン④ (StAs40/60・70h)

図3 劣化と再生を繰り返し行ったアスファルトの性状

再生では、針入度 50 を指標として配合率を決めたので、1 回目以降の再生アスファルトの針入度は 50 となっている。しかし、軟化点は再生回数が増えると若干高くなる傾向があり、特に試験パターン④ではその傾向が顕著であった。

TFOT および PAV を行うことで、アスファルトの組成がどのように変化したかを測定した。再生 0 回目の組成分析結果を図 4 に示す。ここでは、試験パターン②と④の結果を示したが、どちらの場合も、芳香族分とレジン分には、特徴的な変化が見られ、TFOT→PAV と劣化操作を進めることにより芳香族分が減少し、レジン分が増加する傾向にあった。飽和分およびアスファルテン分には特徴的な変化はみられなかった。

なお、「舗装試験法便覧」に掲載されているアスファルトの組成分析試験方法 (JPI-5S-22) (以下、JPI 法) では、劣化により芳香族分が減少し、アスファルテン分が増加する傾向が見られることが報告されている<sup>6)</sup>が、今回行った TLC-FID 法では、アスファルテン分ではなくレジン分が主に変化した。これは、両者の分析方法が大きく異なるためと考えられ、使用した溶媒や吸着層が異なること、また JPI 法は各成分の重量比で表すのに対し TLC-FID 法では各成分の水素の量の比で表すことなどが、影響していると考えられた。従って、ここで示す TLC-FID 法は、JPI 法での結果とは単純に比較できない。

### 3. 2 再生後のアスファルトの性状

アスファルトの再生では、バージンのアスファルトの性状と同じにすることを前提として行われている。しかし、先にも述べたとおり、通常の配合設計時に考慮するのは針入度だけであり、その他の性状はチェックしていない。3. 1 で見られたように再生回数が増す毎に軟化点の上昇がみられることが分かったため、ここでは再生後のアスファルトの性状に注目して特徴の把握を行った。

#### (1) 物理性状

針入度、軟化点試験の結果および針入度・軟化点から求めた針入度指数 (PI) を図 5 に示す。この PI は、アスファルトの感温性を示す指標であり、マイナス側になるほど温度に対して敏感、プラス側になるほど温度変化に対して鈍感となる。PI は以下の式から求めた。

$$\frac{\log 800 - \log(25^\circ\text{C 針入度})}{\text{軟化点} - 25^\circ\text{C}} = \frac{20 - PI}{10 + PI} \times \frac{1}{50}$$

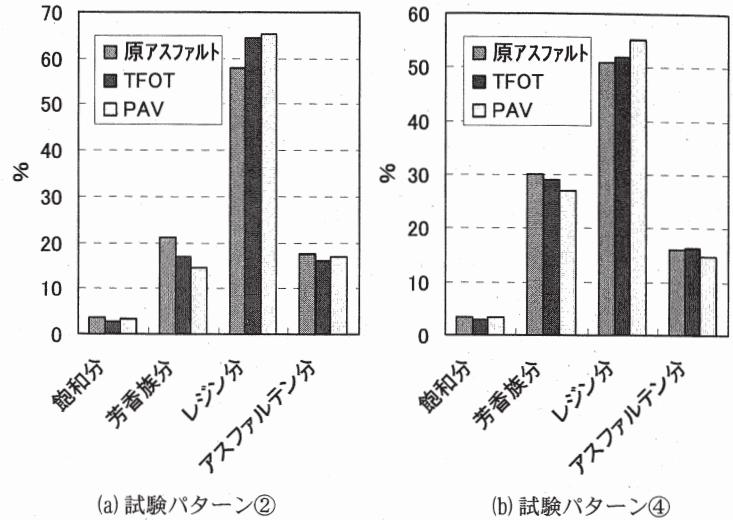


図 4 促進劣化後のアスファルトの組成 (TLC-FID 法)

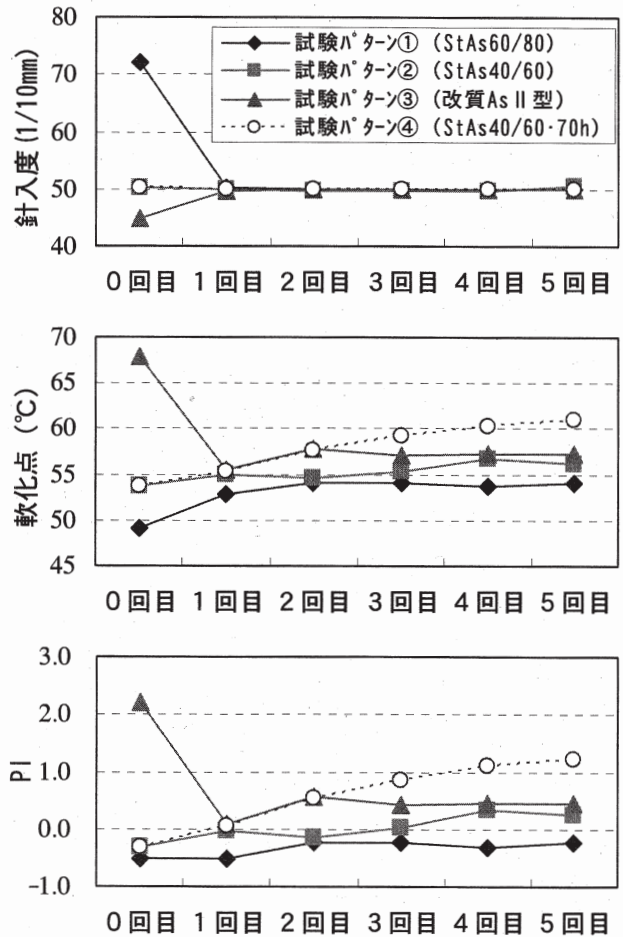


図 5 再生後のアスファルトの性状

$$PI = \frac{20(\text{軟化点} - 25^\circ\text{C}) - 500\{\log 800 - \log(25^\circ\text{C 針入度})\}}{(\text{軟化点} - 25^\circ\text{C}) + 50\{\log 800 - \log(25^\circ\text{C 針入度})\}}$$

針入度は、50 を目標に再生したので、1 回目以降は全て 50 を示した。

軟化点は、StAs では再生回数が増えると大きくな

る傾向が見られ、特に旧アスファルトの針入度を20まで低下させて、強く劣化させた試験パターン④ (StAs40/60・70h) ではその傾向が顕著であった。この試験パターン④では、再生後の軟化点が高い値を示し、StAs40/60の軟化点範囲である47.0~55.0℃ (JIS K2207) を再生1回目から超えた。

試験パターン①では、再生する際の新アスファルト量が60%程度あり、軟化点が多少大きくなっているが、その変化量はわずかであった。

試験パターン③では、0回目のアスファルトを改質AsⅡ型、再生で添加したアスファルトをStAsとしたため、1回目の軟化点の低下が大きい、2回目以降はあまり変化がなかった。特に3回目以降の変化はあまりなく、再生回数が増えることにより、改質As成分の減少による軟化点の低下が、再生が進むことによる軟化点の上昇により相殺されたためと考えられた。

PIについては、StAsでは全ての試験パターンについて増加が認められた。特に、試験パターン④ (StAs40/60・70h) でその傾向が顕著であり、再生回数が増えると感温性が鈍くなる傾向を示した。PIは、StAsにおいては、マイナスの値を示すことが一般的であるが、試験パターン①以外は、再生を繰り返すとプラスの値を示しており、再生アスファルトが一般的なStAsの性状を示していないことが分かった。

以上より、針入度だけを指標として、再生を繰り返した場合、軟化点が上昇していくことが分かり、再生アスファルトの性状が変化してしまうことが分かった。また、その軟化点の変化は通常のStAsで見られる性状と異なる範囲まで変化してしまう可能性があることが分かった。

## (2) 化学性状

物理性状の検討から、再生を繰り返すことによって、再生アスファルトの性状が変化していることが分かった。この原因として、アスファルトの組成が繰り返しの再生により変化していることが考えられたので、アスファルトの組成成分の分析を行った。分析結果を図6に示す。

いずれの場合も飽和分・アスファルテン分には特徴的な変化はなかった。しかし、芳香族分の減少とレジン分の増加が見られるものもあり、特に試験パターン④ (StAs40/60・70h) ではこの傾向が明確だった。ここで、今回用いた再生用添加剤の組成の分析結果を図7に示す。アスファルテン分はなく、飽和分・芳香族分・レジン分からなるものであることが

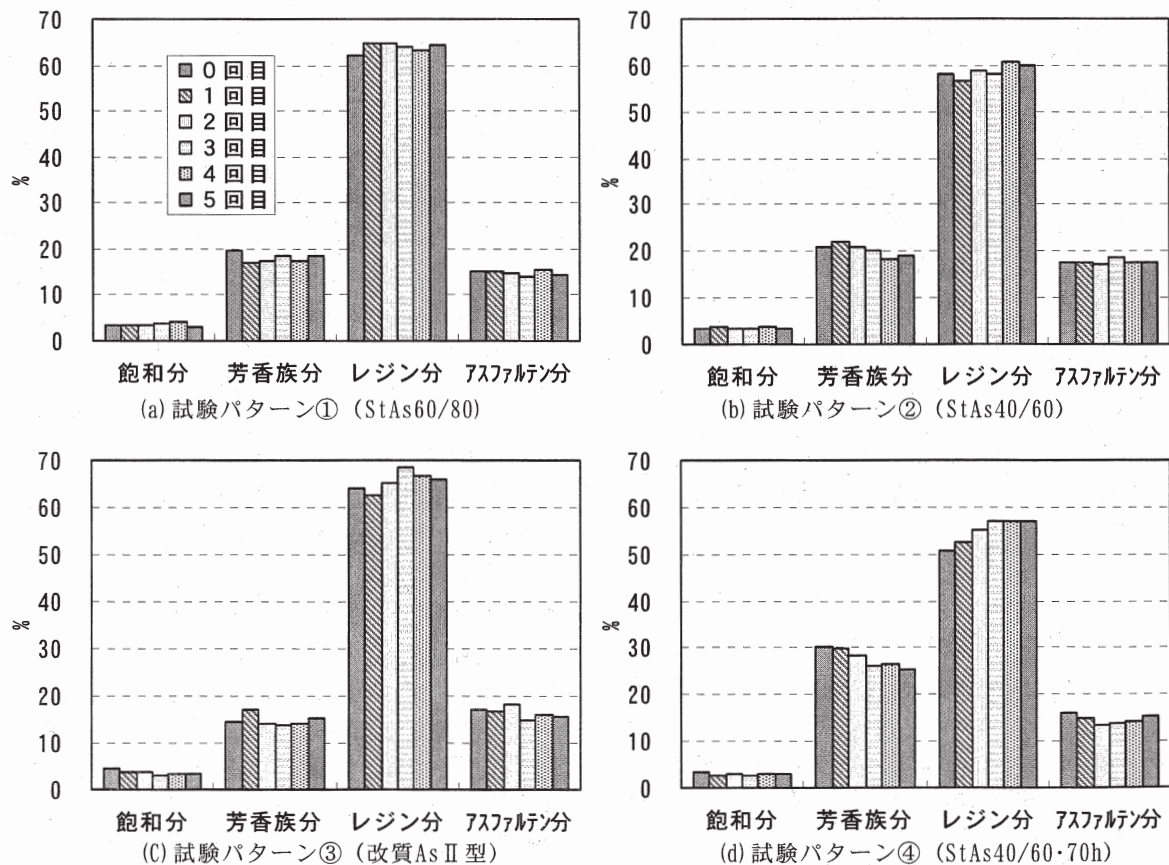


図6 再生後\*のアスファルトの組成 (TLC-FID法)

\*0回目は、バージンのアスファルト

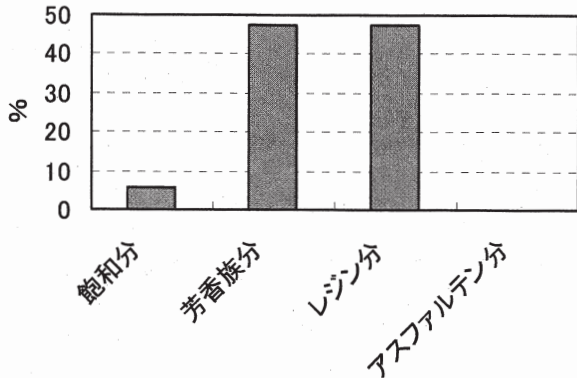


図7 再生用添加剤の組成 (TLC-FID 法)

分かる。特にアスファルトとは異なり、芳香族分とレジン分がほぼ同じ量含まれ、旧アスファルトにこれを加えることにより、劣化によって失われた芳香族分を補うものとなっていることが分かる。しかし、このように芳香族分が多いものを加えても、繰り返し再生を行った場合は、劣化により減少した芳香族分を補いきれず、再生した後も不足したものとなってしまったものと考えられた。そして、この組成の変化が PI の増加などへ影響を与えているものと考えられた。

以上より、繰り返し再生を行ったアスファルトの性状がバージンのアスファルトと異なるのは、アスファルトの組成が十分に補充できていないことが原因と考えられた。

### (3) 物理性状と化学性状の比較

今回行った全ての試験パターンについて、再生後のアスファルトの芳香族分と PI の関係を図8に示す。

試験パターン① (StAs60/80) では、PI や芳香族分の分布範囲が狭いため明確な傾向が見られなかったが、試験パターン② (StAs40/60) および試験パターン④ (StAs40/60・70h) では、芳香族分の減少とともに、PI の増大が認められた。

従って、針入度が同じになるように再生した場合でも、組成の違いから、異なった物理性状を示すことが明らかとなった。

## 4. まとめ

室内での促進劣化試験をもとに、再生を繰り返したアスファルトの性状を調査した結果、以下のことが分かった。

- ① 針入度を指標に回復させた場合でも、再生の繰り返し回数が増えると再生アスファルトの軟化点、PI などの性状が変化していく。
- ② StAs を再生した場合でも、軟化点や PI など

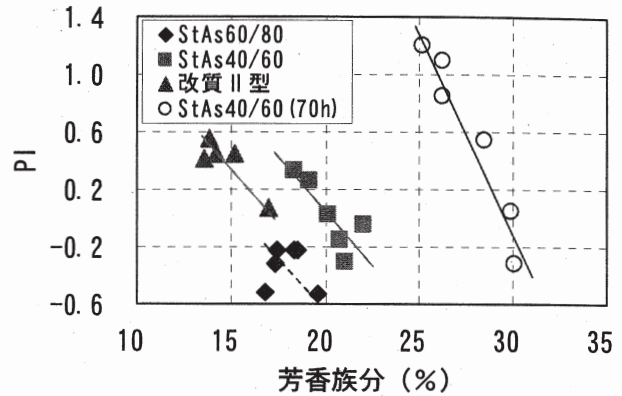


図8 化学組成と物理性状

般的性状範囲を超えてしまうことがあることが確認された。

- ③ 再生アスファルトの性状が変化していく原因として組成の変化が考えられ、特に芳香族分の不足が原因と考えられた。
- ④ 芳香族分の減少と PI の増大には関係が認められ、アスファルト組成成分の物理性状への影響が明らかとなった。

## 5. おわりに

今回、再生を繰り返し行った場合の再生アスファルトの性状変化が明らかとなった。しかし、今回は試験項目が限られていることや、使用した再生用添加剤が1種類だけであることから、さらに検討を行い、再生アスファルト混合物の性状低下の確認や再生用添加剤の最適化などを行いたいと考えている。

一方、現場に持ち込まれる舗装発生材の中には、本研究で扱ったものとは性状の異なるものもあるため、今後、再生合材製造時の条件などを詳しく分析し、この性状変化現象の解明を進め、より適切な再生方法の提案につなげたいと考えている。

## 参考文献

- 1) 国土交通省土木研究所：改質アスファルトを含む舗装発生材の再生利用の現状，土木研究所資料，第3806号，2001.1
- 2) 日本道路協会：舗装試験法便覧，1988
- 3) 日本道路協会：舗装試験法便覧別冊，1996
- 4) 遠西，新田，坂本，片脇：アスファルトバインダの劣化試験方法に関する研究，舗装，30-6，1995
- 5) 日本道路協会：舗装再生便覧，2004
- 6) 雑賀，川野：再生アスファルト混合物に関する一考察，道路建設，406号，1981.11

(2005年8月5日受付 2005年8月25日受理)