

経年劣化による改質バインダおよび改質アスコンの性状変化に関する基礎的研究

交通工学研究室 大久保美里
指導教員 丸山暉彦

1. はじめに

アスファルト舗装は屋外の自然環境下に長期間曝露されることにより、アスファルトコンクリート（以下、アスコン）中のアスファルトバインダ（以下、バインダ）が時間の経過と共に変化する。これを経年劣化と称し、経年劣化はアスコンの長期供用性や耐久性に大きく影響を及ぼすものと考えられている。このため、舗装の長寿命化を目指すにあたっては、設計法や評価法に経年劣化による影響を考慮することが必要である。しかしながら、我が国の配合設計法においては、経年劣化によるアスコンやバインダの性状変化に対する評価や対策が具体的に行われておらず、バインダ種類や自然環境条件の違いに対する経年劣化のメカニズムの差異が合理的に反映されていないものとなっている。

また、我が国のアスファルト舗装材料の現状として、舗装の耐久性を向上させるために改質アスファルトバインダ（以下、改質バインダ）の使用が年々増加している。昨年度までの本学の研究において、改質バインダとストレートアスファルト（以下、ストアス）を用いたアスコンの耐久性を室内試験に基づいて比較したところ、促進劣化を施したものの、施していないものとも改質バインダを用いたアスコン（以下、改質アスコン）はストアスを用いたものよりも耐久性がかなり優れていることが明らかとなった。しかしながら、強制加熱による促進劣化を施したアスコンの物理的性状のみを評価しているため、経年劣化によってバインダ性状が変化するメカニズム、それらとア

表-1 使用バインダおよびその特徴

バインダ	特 徴
ストレートアスファルト60/80	一般的な舗装に最も使用されている。
改質アスファルト型	ストアス60/80にSBS を添加したもの。耐摩耗、耐流動、滑り止めに優れている。
超重交通用改質アスファルト	ストアス80/100にSBS、剥離防止剤を添加したもの。改質型よりも耐流動、耐摩耗性に優れている。

SBS (スチレン・ブタジエン・スチレンブロック共重合体) = 熱可塑性エラストマー

スコンの性状との関連性、実用的な促進劣化方法等、経年劣化に対する基礎的事項が明らかになっていない。また、ストアスに関しては以前からいくつかの研究機関で検討されているが、改質バインダは包括的な知見が未だ明らかにされていない。

以上のことより、本研究では経年劣化に対する基礎的知見を得るために、経年劣化によるバインダの化学的、物理的性状、およびアスコンの物理的性状の変化に関して、また、これらの関連性について評価することを目的とした。バインダの違いを考慮するため、改質バインダとストアスを比較して、改質バインダおよび改質アスコンに関する劣化特性について明確化した。また、同時に促進劣化方法に対する知見も得た。

2. 評価方法

本研究では、表-1 に示すようにストアス 1 種類と改質バインダ 2 種類（改質アスファルト 型、超重交通用改質アスファルト）を用いて密粒度アスコン（13）を作製して、供用後の経年劣化を再現するために促進劣化を施した。その後、促進劣化を施したアスコン（以下、劣化アスコン）、お

よび劣化を施さない新規のアスコン（以下，新規アスコン）から，アブソン抽出法にてバインダを回収した．そして，劣化アスコンおよび回収バインダに対して表-2 に示す試験を実施して，経年劣化によるバインダの化学的・物理的性状の変化，およびアスコンの物理的性状の変化について評価した．以下に促進劣化方法，および評価方法の詳細を記す．

1) 促進劣化方法

恒温槽による方法

3 種類のバインダを使用し，それぞれ作製した密粒度アスコンに対して，アスコン表面からの劣化を再現するために，120 に保持した恒温槽内に締め固めたアスコンを型枠ごと放置して加熱強制劣化を施した．放置期間は 0 日，つまり劣化なし（以下，新規）と，4 日間，8 日間の 3 とおりである．バインダ回収用のアスコンの寸法は 300×300×50mm で，転圧方向と平行に上下両端 20mm 部分をカットしたものである．

SHRP による方法（バインダのみ）

SHRP による促進劣化は，上記の高温槽による促進劣化におけるバインダ性状と劣化程度を比較するために実施した．SHRP（Strategic Highway Research Program）とは米国の新道路研究計画のことをいう．米国の設計法の一環として長期供用性を評価するために実施されている，回転式薄膜加熱試験（RTFOT：Rolling Thin Film Over Test）と加圧劣化試験（PAV：Pressurized Aging Vessel）によってバインダに促進劣化を施した．試験条件は，RTFOT のみ，および RTFOT 後の試料に PAV を施す方法（2 条件）の計 3 条件であった．RTFOT は試験温度 163 ，試験時間 85 分の条件とした．これはプラントでの混合物製造時の劣化に相当する．また，PAV は RTFOT 終了後の試料を用いて圧力 2.1MPa（空気）温度 100 の条件で 20 時間，

表-2 各試験材料の試験項目

試験材料	試験項目
アスコン	繰返し4点曲げ試験
回収バインダ	アスファルト成分分析試験（イアトロスキャン）
	針入度試験，軟化点試験，伸度試験
	タフネス・テナシティ試験
	ダイナミックシェアレオメータ試験

表-3 バインダ4成分の特徴¹⁾

組成分	外 観	構成物質	分子量
飽和分	無色 / 淡黄色の澄んだ液体物質	パラフィンおよびナフテン	300 ~ 2000
芳香族分	赤褐色で粘りのある液体	芳香族の小さな集合	300 ~ 2000
レジン	暗褐色で粘りのある固体または半固体	縮合した芳香族環構造	500 ~ 50000
アスファルテン	暗褐色，黒褐色の固体粉末	縮合した環構造の層状構造	1000 ~ 100000

または 60 時間実施した．試験時間 20 時間の条件は，供用年数約 5 年の劣化を再現するとされている．なお，使用したバインダはストアスと改質型の 2 種類であった．

2) バインダの化学的性状の評価

回収バインダに対して，薄膜クロマト分離（TLC）/水素イオン検出器（FID）を組み合わせた装置（イアトロスキャン）によってバインダ組成成分の分析試験を実施した．これより，バインダ中に含まれる 4 成分（飽和分，芳香族分，レジン，アスファルテン）の劣化に伴う含有量の変化を評価した．表-3 に 4 成分の特徴を示す．なお，分子量が高くなるほど，粘度，比重が高くなるとされている¹⁾．

3) バインダの物理的性状の評価

回収バインダに対してバインダのコンシステンシーおよび把握力，粘結力を評価するために，従来からの評価試験として，針入度，軟化点，伸度試験，およびタフネス・テナシティ試験を実施した．これらの試験は全て舗装試験法便覧に準拠

する。さらに、バインダの動的粘弾性状を評価するために、SHRP の新しい評価方法であるダイナミックシアレオメータ(DSR)試験を実施した。評価因子はバインダの変形抵抗性を示す複素弾性率 G^* 、粘性的傾向の度合いを示す損失正接 $\tan \delta$ とした。これらの指標は図-1 に示すように、2つの平行円盤状に試料を挟み込み、回転方向に一定周波数で振動させたときの応力 σ_0 とひずみ ϵ_0 により求められる。試験条件として、ひずみは 1%、プレートの直径は 25mm、ギャップ 1mm、温度は 25℃、周波数は 10rad/s とした。その他、温度または周波数を変化させた場合についても評価した。

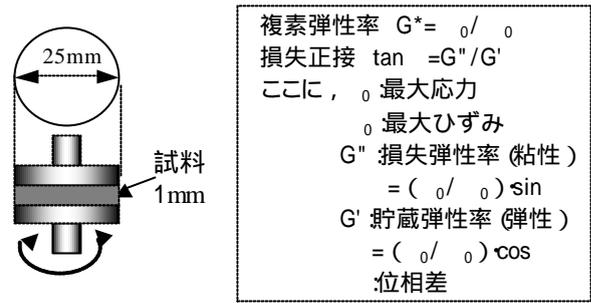


図-1 DSR測定部の概要および評価指標

表-4 推定した供用年数と各促進劣化条件の対応

供用年数	0年	2~3年	4~5年	6年以降
SHRP	RTFOTのみ		R+PAV(20h)	R+PAV(60h)
恒温槽	新規	4days	8days	

4) アスコンの物理的性状の評価

劣化アスコン(4日および8日間)に対してアスコンの耐久性や強度、および破壊時スティフネスを評価するために2点支持2点荷のひずみ制御方式による繰返し4点曲げ試験を実施した。試験温度は-10℃と15℃の2条件であり、設定ひずみは200μm~500μmの範囲で3水準とした。荷重周波数は5Hzで、供試体寸法は40×40×400mmであった。また、昨年度に行われた試験温度0℃の劣化アスコンの結果²⁾、および試験温度-10℃、0℃、5℃、15℃の新規アスコンの結果²⁾に関しても今年度の結果に加えて評価した。

5) 2種類の促進劣化方法におけるバインダ性状の劣化程度の比較

恒温槽による方法、およびSHRPによる方法によって促進劣化を施したバインダの性状(針入度、軟化点、伸度、タフネス・テナシティ)に関して、劣化程度の差異を評価した。表-4に示すように、各促進劣化方法とも劣化条件を3条件設定して、それぞれ実舗装の供用年数に置き換えて、同一時間軸上において比較した。なお、恒温槽による促

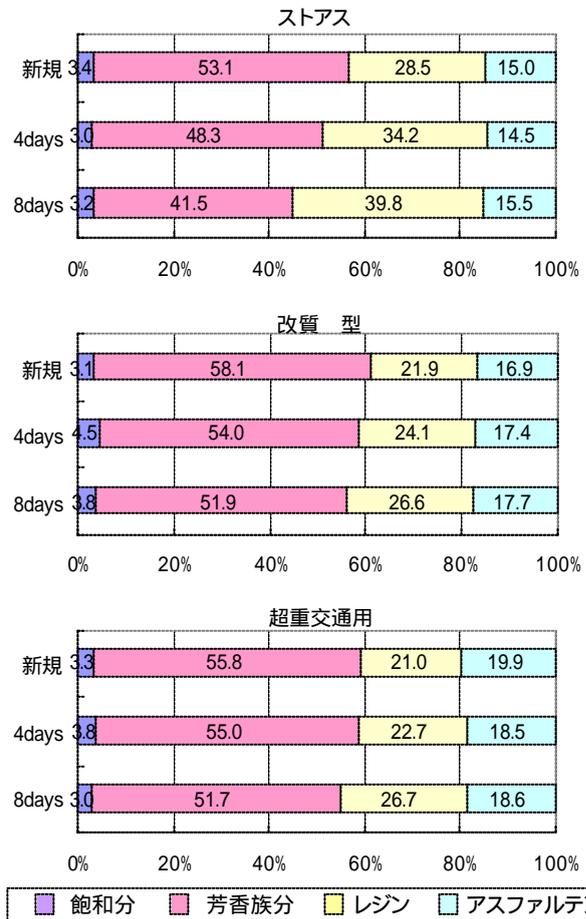


図-2 劣化に伴う各種バインダの組成成分含有量の変化

進劣化に相当する供用年数は、アスコンの屋外曝露試験による回収バインダ(実舗装と同等の針入度を示し、実舗装の供用年数に相当する)の劣化

に伴う針入度低下率，および軟化点上昇率と，高温層による促進劣化による回収バインダの針入度低下率，および軟化点上昇率を比較することによって，それぞれ仮定した．

4. 試験結果と考察

1) バインダの化学的性状の変化

図-2 に各種バインダの組成成分の分析結果を示す．3 種類のバインダに共通して，劣化に伴う飽和分の変化はほとんどみられなかったが，芳香族分の減少，レジンの増加，わずかであるがアスファルテン分の増加が認められた．これより，劣化によって高分子成分が増加して高分子化することがわかる．また，各成分の変化の程度は，各種バインダとも芳香族分とレジンの変化が顕著であった．これらの変化量はストアスが最も大きく，改質型および超重交通用改質アスファルトは同程度でストアスよりも 9~15%ほど小さい．したがって，改質バインダは劣化に伴う化学的性状の変化が小さいといえる．

2) バインダの物理的性状

従来の試験により各種バインダの物理的性状を評価したところ，全てのバインダ性状においてストアスよりも改質バインダのほうがコンシステンシー，把握力，粘結力に優れ，耐久性が高い傾向にあった．また，図-3 に示すように，DSR 試験によって，バインダの変形抵抗性を示す G^* と粘性傾向を示す \tan の劣化に伴う推移を比較したところ，ストアスはいずれの変化も大きく，粘性的な性状から弾性的な性状に移行する程度が高い．しかし，改質バインダの場合はその程度がかなり低いことが確認される．また，ストアスにおいて変形抵抗性，粘性の変化の大きかった低周波数域（実舗装でいう渋滞路線），および高温域の場合においても，改質バインダの変化は小さ

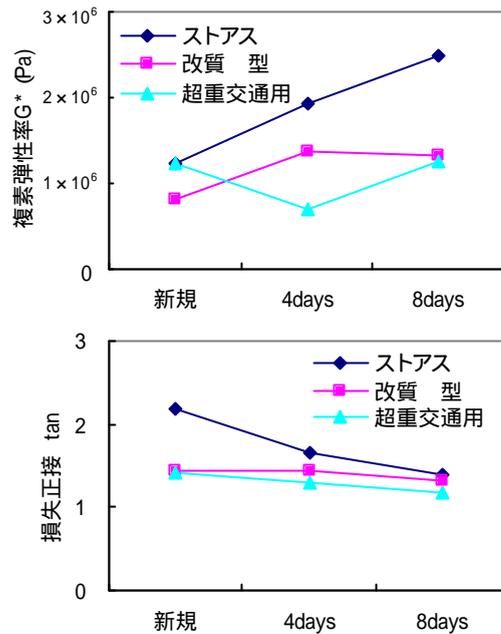


図-3 各種バインダの劣化に伴う複素弾性率 G^* および損失正接 \tan の推移

いという結果が得られた．これにより，改質バインダは，自身もつ弾性的な性状はほとんど変化せず，温度による依存性も小さいといえる．

3) バインダの組成成分と物理的性状の関連性

以上までの検討により，劣化の進行に伴う改質バインダの組成成分の変化，およびバインダの物理性状の変化がストアスよりも小さいことが明らかとなった．バインダ組成成分の分析試験結果により，劣化に伴いレジンやアスファルテンといった高分子材料が増加して高分子化することが確認された．また，既往の研究³⁾により，劣化によって高分子材料である改質材（SBS）が分子切断し，低分子化すると報告されている．したがって，改質バインダの劣化に伴う性状の変化が小さいのは，ベースアスファルトであるストアスの劣化に伴う高分子化と同時に，SBS の低分子化が生じるためと考えられる．これより，改質バインダの劣化の進行に伴う性状の変化が小さいのは，組成の変化が小さいためという化学的考察からも

説明される。

また、各組成成分の変化とバインダ性状の変化に対して相関関係を調べたところ、分子量が比較的高く、バインダの粘度と関わりのある組成成分のレジンを物理性状の損失正接 $\tan \delta$ 、また、アスファルテンと針入度指数 PI の相関係数が比較的高く、0.9 程度という結果が得られた。改質バインダに含まれている SBS は高分子材料であり、その大部分がレジンをアスファルテン中に含まれているとされていることから、SBS は改質バインダの粘性に大きく関わっているものと考えられる。また、DSR 試験の評価因子はバインダの粘性的な性状を評価し、レジンをアスファルテンが増加すると、バインダの粘性が低下する傾向にある。以上の検討により、分子量が高いほどバインダの粘度が高くなるという知見に関連し、弾性的な性質を示す改質バインダの物理的、化学的性状は、分子量の比較的高い組成成分のレジンを物理性状の損失正接 $\tan \delta$ 、アスファルテンと針入度指数 PI に注目することによって相互に評価できるものと予測される。

4) アスコンの物理的性状

図-4 に試験温度 15℃、設定ひずみ 400 μ における、ストアスを用いたアスコンの破壊回数を基準 (1.0) とした場合の改質アスコンの破壊回数の比率を一例として示す。改質アスコンは、いずれの劣化条件においてもストアスを用いたアスコンよりも耐久性が高い傾向にあり、改質型で最高約 5 倍、超重交通用改質アスファルトで約 11 倍も大きい。また、ストアスを用いたアスコンと改質アスコンの破壊回数の差は高温の条件のほうが大きい。超重交通用改質アスファルトを用いたアスコンは全ての温度条件、劣化日数条件において、ストアスのものよりも耐久性が高いという結果が得られた。また、全ての温度条件、劣化日数

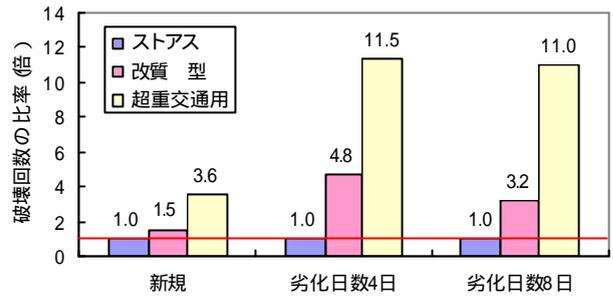


図-4 15℃、400 μ におけるストアスを基準 (1.0) とした場合の改質アスコンの破壊回数の比率

条件において改質アスコンのほうがストアスを用いたアスコンよりもひずみの減少にともなう破壊応力、すなわち強度の低下の程度が小さいことが認められた。

5) バインダ性状とアスコン性状の関連性

超重交通用改質アスファルトを用いたアスコンの破壊回数、破壊時スティフネスは DSR 試験における複素弾性率 G^* 、また針入度指数 PI などの評価因子と相関が高い。これより、超重交通用改質アスファルト、また、それを用いたアスコンの性状を評価、予測する際には、DSR 試験における評価因子が有用であると考えられる。

また、15℃～25℃の常温域において、ストアスは劣化に伴い変形抵抗性が増大し、粘性が低下するが、改質バインダは自身が有する弾性的な性状がほとんど変化しないため、耐久性に優れている。このため、アスコンの場合においても劣化が進行しても、改質アスコンが元々有する強度を保ち、耐久性の低下も小さいといえる。

6) 2 種類の促進劣化方法におけるバインダ性状の劣化程度の比較

SHRP の方法により促進劣化を施したバインダと、恒温槽による加熱促進劣化を施したアスコンから回収したバインダの性状値 (針入度、軟化点、伸度、タフネス、テナシティ) を比較した。その

一例として、タフネスの結果を図-5に示す。全体をとおして両者のバイнда性状値、および劣化に伴う変化程度が異なる傾向にあった。特にタフネスは両者の傾向が異なっていた。これは、劣化初期の段階にあたるプラントでの混合に相当するRTFOTによる劣化と室内混合に相当する恒温槽による劣化（新規）の違い、および酸化劣化を考慮したPAVの劣化と熱劣化のみの高温槽による劣化の違いによる酸化の程度の差異といった、両者の劣化の機構の違いによるものと考えられる。したがって、バイнда性状をSHRPの方法、すなわち、供用後の劣化程度に対応させるためには、強制的な酸化の促進が必要であると考えられる。

5. まとめ

本研究で得られた知見をまとめると、以下のとおりである。

改質バイндаは、SBSそのものの効果やSBSの劣化の進行に伴う低分子化によって、組成成分やコンシステンシー、元々有している弾性的な性状が変化し難く感温性が小さい。これに反映して、アスコンの場合においても、劣化や温度の上昇に対する強度や耐久性の低下が小さい。すなわち、改質アスコンの耐久性は長期的にみても優れるといえる。

改質バイндаの化学、物理的性状および改質アスコンの物性を相互に評価するにあたっては、DSR試験における G^* や $\tan \delta$ 、針入度指数PIといった指標が有効である。これらの指標の劣化に伴う変化の程度から、バイндаの化学、物理性状および改質アスコンの性状の劣化に伴う変化の程度を相互に評価できるものと予測される。

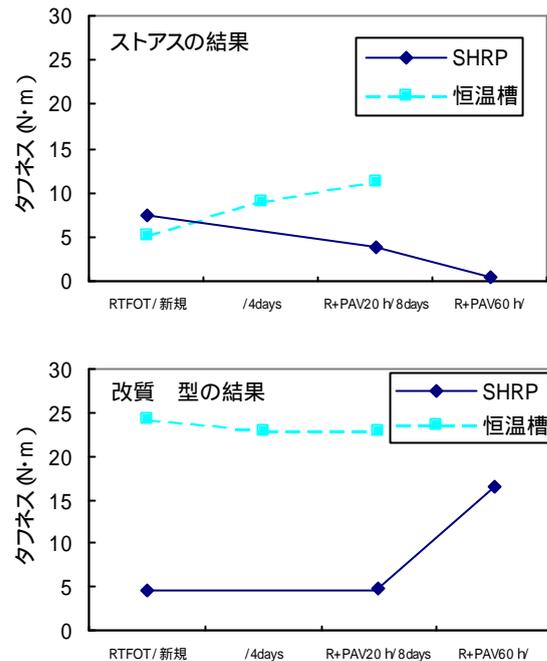


図-5 各促進劣化方法によるバイнда性状の劣化推移（タフネス）

評価試験、およびSHRPの方法による促進劣化と恒温槽による促進劣化を施したバイнда性状を比較した結果、本研究における促進劣化方法では酸化の程度が小さいことが明らかとなった。このため、供用中の劣化程度に対応させるためには、強制的な酸化の促進が必要であると考えられる。

- 1) 用語の解説「4大組成成分」, ASPHART, Vol.32 No.163, pp71-72, 1990.
- 2) 斉藤健治: 改質アスファルトコンクリートの疲労特性評価と疲労寿命予測に関する研究, 長岡技術科学大学修士論文, 2005.
- 3) 村山雅人, 菅野宏, 川口博: 排水性アスファルト混合物の再生利用に有効な改質添加剤の検討, 舗装 39-2, 2004.