アスファルトバインダの劣化と疲労回復に関する研究

Characteristics of asphalt binder affected by aging and fatigue recovery

土木工学専攻　10 号　金子昌平

KANEKO Shohei

1. 背景

私たちが普段道路で目にするアスファルト混合物(アスファルト舗装)は接着剤として働くアスファルトバインダと骨材を混ぜ合わせたものからなっている．アスファルトバインダは複雑な粘弾性状を持ち，温度や改質剤の存在により大きく性状が変化することが知られている．また，製造時及び供用時に，熱劣化や紫外線劣化を生じ，ひび割れや骨材剥離などの原因となる．このことからアスファルト舗装を評価するためにはバインダ単体の評価も重要である．

既往の研究中では向後ら[1] が push-pull 一軸疲労試験装置を使用したアスファルト混合物の疲労性状の測定をおこなった．その中において載荷休止時間の違いが破壊到達回数大きな影響を及ぼし，ヒーリングの影響が認められるという知見を示している．

2. 目的

本研究の目的は劣化したアスファルトバインダ(以下バインダ)の温度変化や改質剤の有無による基本物理性状の変化を把握し，混合物の疲労回復をバインダに焦点をおいて調べていくことである．

3. バインダの基本性状特定試験の概要

3. 1. 回転式薄膜加熱試験概要(RTFOT)

RTFOT はアスファルトバインダを加熱混合時の劣化の状態に近づけるために行われる試験である．

3. 2. 加圧劣化試験概要(PAV)

PAV は、SUPERPAVE の「バインダ仕様」の中で規定された長期供用後のバインダ性状を室内で再現するための試料作製作成試験である．

3. 3. ダイナミックシアレオメータ概要(DSR)

日本では，アスファルトバインダの性状を評価する指標として，主に針入度や軟化点などが用いられてきたが，舗装分野において先進的なアメリカでは DSR(写真-1)が用いられている．DSR は，供用性に重点を置いた評価が可能であり，従来の試験に代わり，粘弾性理論に基づいた評価方法である．

写真-1　DSR 本体と概念図

3. 4 試験結果の評価方法

DSR 試験で得られるパラメータは表-1 に示す通りである．

表-1　実験で得られるパラメータとその性質

①	位相角δ	δが小さいほど弾性的 大きいほど粘性的
②	せん断複素弾性率$\lvert G^*\rvert$	貯蔵弾性率と損失弾性率の総和で表される硬さや粘さの指標
③	$\lvert G^*\rvert\sin\delta$	現在のSuperpaveの ひび割れ抵抗の指標

4. 熱劣化によるバインダの性状変化

4. 1. 基本性状試験

バインダが加熱・混合時の劣化，また温度変化によってどのような性状を示すのかを把握することを目的として予備試験をおこなった．

4. 2. 試験条件

予備試験で用いるアスファルトバインダの寸法と試験条件について表－2 に示す．

表-2　試験条件

	試験条件
供試体寸法	円形 直径25mm，厚さ2mm
バインダ種	StAs(未劣化，加熱劣化，供用劣化) 改質Ⅱ型(未劣化，加熱劣化，供用劣化) 改質H型(未劣化，加熱劣化，供用劣化)
試験温度	10°C～60°C
回転角速度	10rad/s

ここにおける改質Ⅱ型，H 型はともにストレートアスファルトにポリマー(主にスチレンブタジエンスチレン)を添加したものである．改質Ⅱ型はアスファルト連続相を持ち，ポリマーの添加量の多い H 型はポリマー連続相を持つためⅡ型に比べ弾性に支配された性質を持つ．本研究では StAs にこの 2 種を加えた 3 種のバインダで実験を行った．

4. 3. 試験結果

4. 3. 1. 位相角

位相角はバインダの種類に関わらず温度が上がれば大きくなるすなわち，塑性体に近づき，劣化するにしたがって小さくなり弾性体に近づく．また改質剤の有無で比べると改質剤を添加している方が温度変化に伴う位相角の変化は小さくなり，添加率が高い改質 H 型が最もその傾向を高く示している．これは改質アスファルトのポリマー部分が温度変化に反応しづらい性質を有しているためである．また混合物の push-pull 一軸疲労試験機のデータ(10℃，ひずみ制御，100μ)と比較するとバインダの位相角は混合物の位相角と同じ傾向を示すことがわかり，混合物になると位相角は上昇する傾向がみられた．

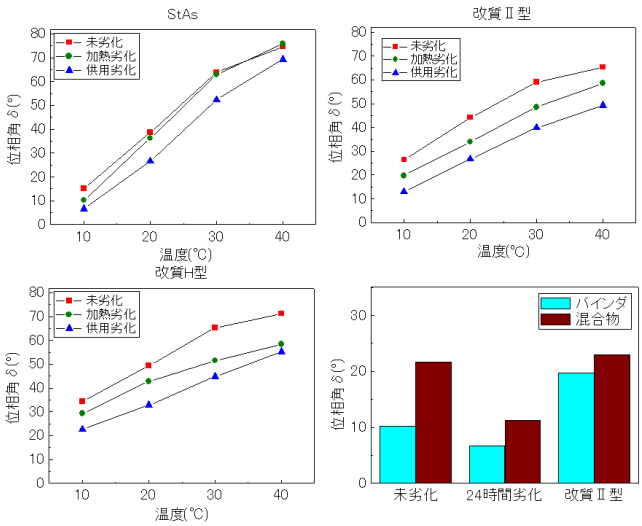

図-1　DSR によるバインダの位相角の評価

4. 3. 2. 複素せん断弾性率

図-2 より複素せん断弾性率は劣化を重ねていくと一定の割合で増加することがわかり，改質剤の有無による明確な差は見いだせなかった．差が生じない理由として，加熱や供用による劣化はバインダのポリマー部分の劣化よりもアスファルト部分の劣化を促進するためであると考えられる．また先ほどと同様に混合物とバインダで比較した結果，劣化による複素弾性率の変化の傾向はバインダの劣化と同様である．すなわち骨材部分の劣化は考慮する必要がないことがわかる．また複素弾性率はバインダと混合物間で大きな開きがあるが，これはバインダ単体の弾性率に比べ，骨材の弾性率が低いためであると考えられる．

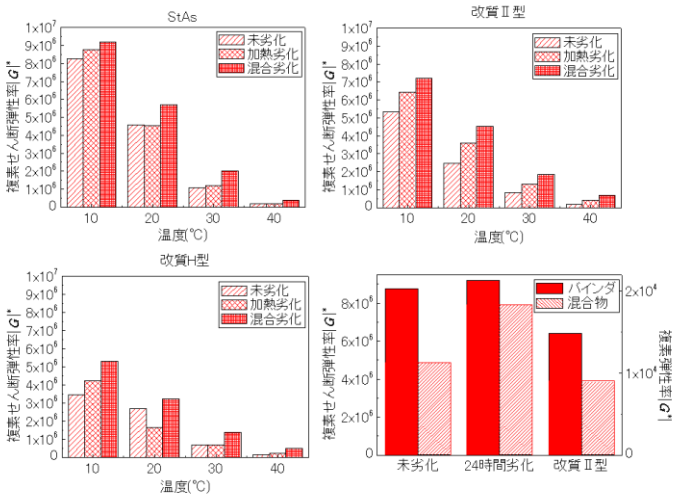

図-2　DSR によるバインダの複素せん断弾性率の評価

4. 3. 3. $|G^*|\cdot\sin\delta$

$|G^*|\cdot\sin\delta$ は位相角と複素せん断弾性率の両方を取り入れた指標である． StAs に着目すると 10℃での位相角がかなり低い値のため改質剤を加えたものに比べると違った変化傾向を持つことがわかる．ひび割れは低温下で起こることがほとんどであり，StAs と改質アスファルトの変化傾向の違いが大きいため $|G^*|\cdot\sin\delta$ で評価をすることは向かないと考えられる．

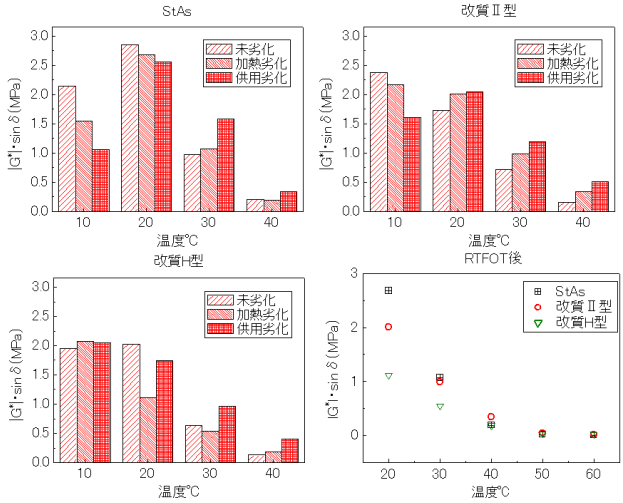

図-3　DSR によるバインダの$|G^*|\cdot\sin\delta$ の評価

5. 疲労回復に関する研究

5. 1. 休止時間の違いによる疲労挙動の変化

既往の研究において向後ら[1)]は短時間の載荷休止による混合物の疲労回復について，小林[2)]は長時間の載荷休止による混合物の疲労回復について言及している．このように載荷休止が疲労回復をもたらすことは分かっているが，その中でバインダがどのような挙動を示すのかはわかっていない．そこで繰返しクリープ回復試験を用いてバインダの挙動の変化を測定した．

5. 4. 繰返しクリープ回復試験

DSR を用いて行われる繰返しクリープ回復試験は近年海外で新たに検討されている試験方法である．この試験から得られるひずみ-時間曲線は，レオロジーモデルの適用が可能であり，粘性要素や弾性要素の係数を推定できることから，今後のアスファルト舗装の発展に貢献していく可能性があるとされている．

5. 4. 1. 試験条件

繰返しクリープ回復試験は**表-3** の条件のもと行った．試験温度はクリープ回復試験ができる最低の温度 40℃とよく使用される 60℃とした．

表-3　試験条件

	試験条件
供試体寸法	円形 直径25mm，厚さ1mm
バインダ種	StAs(未劣化，加熱劣化，供用劣化) 改質Ⅱ型(未劣化，加熱劣化，供用劣化) 改質H型(未劣化，加熱劣化，供用劣化)
試験温度	40°C及び60°C
時間	1サイクル(載荷1s，休止9s)×100回
せん断応力	300Pa

5. 5. 試験結果

5. 5. 1. 改質剤が繰返しクリープ回復に及ぼす影響

図-4 に示すのは未劣化 3 種類のバインダによる繰返しクリープ回復試験の結果であり，横軸に時間，縦軸にひずみをとっている．ひずみの小さいものが見えにくくなるのを防ぐため縦軸を対数で与えた．全体図でみると温度が高くなるに従いひずみは大きくなくなり，ポリマーの添加量が少ないほどひずみが大きくなる．

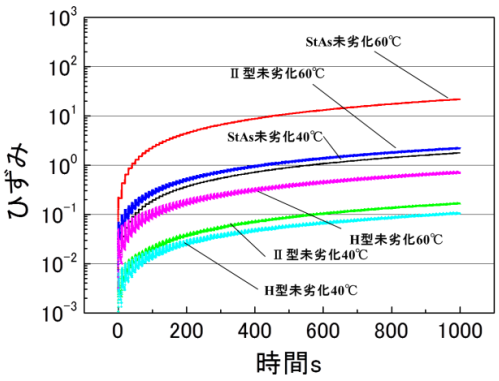

図-4　劣化の有無による繰返しクリープ回復試験(未劣化 3 種類)

さらに各条件をわかりやすく見るために 1 サイクル目から 5 サイクル目を抽出したものを平均した時間-ひずみ曲線を**図-5** に示す．ここでは 9s 間の除荷時のひずみ回復の割合に焦点を当てた．低温時より，高温時に複素せん断弾性率が小さくなるためその分ひずみの量も多くなくなる．また StAs ではほとんど回復が見えず，ポリマーの量に応じて回復率が増えていくことが見て取れる．これはポリマーの弾性成分が回復を引き起こしているためであると考えられる．また 1～5 回目と 96～100 回目の回復率の温度の違いによる変化を見たが特筆すべき点はみつからなかった．

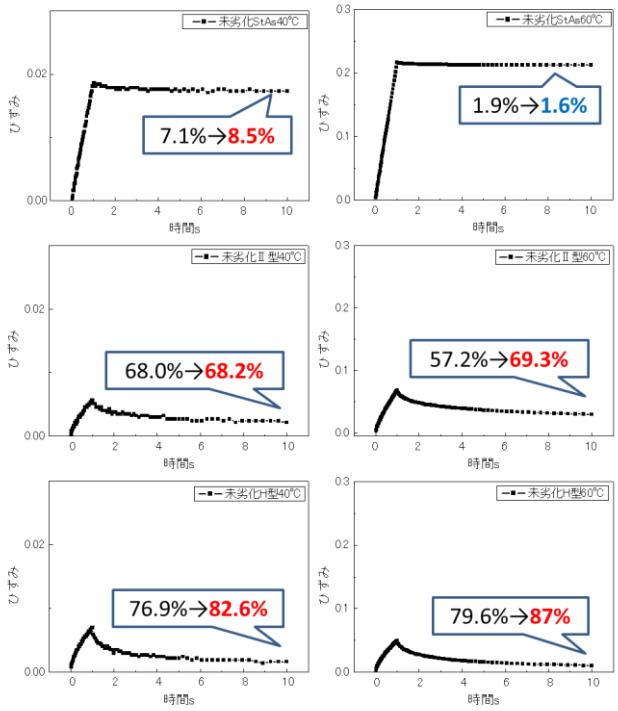

図-5　1～5 サイクル目の平均ひずみ-時間曲線と回復率(未劣化 3 種)

5. 5. 2. 劣化が繰返しクリープ回復に及ぼす影響

先ほどと同様に今度は劣化が繰返しクリープ回復に及ぼす影響に対して比較を行った．1～5 サイクル目を抜き出したものの平均を見比べてみると，劣化が進むにつれてひずみの大きさは変化するが，回復率は変化しないことがわかる．バインダのアスファルト部分が劣化によって硬化するためひずみが大きくなり，回復率が変化しないのはポリマーの弾性的性質が劣化により変化しづらいためであると考えられる．また 1～5 回目と 96～100 回目の回復率の比較では改質剤を加えているものは 96～100 回目の方が高い回復率を持つ傾向があることがわかったが現時点で特定できる要素はない．

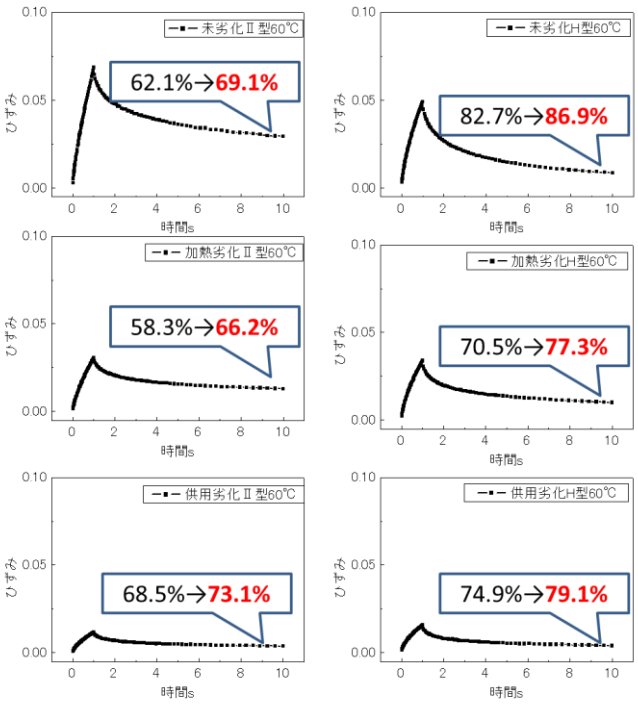

図-6　1～5 サイクル目の平均ひずみ-時間曲線と回復率(改質Ⅱ型・H 型)

6. まとめ

本研究で得られた知見を以下に示す．

6. 1. 基本性状試験

・バインダの位相角は改質剤を添加しているものの方が温度変化による変化が少なくなる．これはポリマーが温度変化に影響を受けづらい物質であるためであると考えられる．

・位相角はバインダよりも混合物の方が大きくなるが変化の傾向は同じである．

・劣化による複素せん断弾性率の変化率は改質剤の有無によって明確な違いがなかった．これは加熱や供用による劣化はバインダのポリマー部分よりもアスファルト部分の劣化を促進するためであると考えられる．

6. 2. 繰返しクリープ回復試験

・全体の傾向として温度によって StAs の回復率は変化するが，改質剤入りのバインダの変化はほとんど見られなかった．これはポリマー成分が温度によって変化しにくいためである．

・今回用いた改質剤ではポリマー添加率の一番大きい改質 H 型が，一番小さいひずみをもつ．

・改質剤入りのアスファルトは高い回復率をもち，サイクルを重ねたものの回復率の若干増加が見られた．

7. 考察と今後の課題

本研究はアスファルト混合物の休止回復の解明を目的に始めたバインダの特性評価である．基本性状実験において，StAs 混合物と StAs バインダのみでの比較ではあるがバインダの位相角や複素せん断弾性率は混合物と同じような挙動を示すことがわかった．このことからバインダ単体で混合物の議論することは有意であると考えられる．繰返しクリープ回復試験においてすべてのバインダで休止による回復が見られ，混合物の休止回復解明に役立つデータを得られたと考えるが，試験温度の相違(混合物 10℃：バインダ 40℃・60℃)があるため実際の混合物内でどれほど休止回復が起きているかは現時点ではわかっていない．

しかし，本研究の検討の中において得たバインダに関する特性は今後，舗装の維持補修検討のための研究の足掛かりになり得るものである．繰返しクリープ回復のサイクルを変化させる，より長時間での休止やサイクル数を増やすことなどをまだ検討していないため，今後の課題としたい．

[参考文献]

1) 向後憲一，姫野賢治：載荷波形および休止時間の違いがアスファルト混合物の疲労挙動に及ぼす影響，土木学会舗装工学論文集第 12 巻，2007

2) 小林祐介：熱劣化がアスファルト混合物の疲労特性に及ぼす影響と載荷休止によるヒーリング効果，中央大修士論文，