

バインダのレオロジー特性が混合物の変形特性に及ぼす影響に関する研究

長岡技術科学大学大学院 環境社会基盤工学専攻 ○石井 翔太
長岡技術科学大学大学院 環境社会基盤工学専攻 正会員 高橋 修
長岡技術科学大学大学院 環境社会基盤工学専攻 正会員 中村 健

1. はじめに

アスファルトバインダは粘弾性的挙動を示し、応力緩和が発生するという特徴を持つ。応力緩和が発生することで路面に起きる現象としてトップダウンクラックやわだち掘れなどがある。これらの現象はポリマー含有量や表層の劣化が影響している。そのため、粘弾性状は混合物の物性にも影響を及ぼす。

既往の研究¹⁾では混合物の物性を評価する試験で得られる評価指標とバインダの物性を評価する試験で得られる評価指標との間に高い相関が見られた。また、中原と平林によるポリマー含有量、劣化程度を変化させたバインダを用い、荷重測定型伸度試験機で試験を行う研究²⁾³⁾が行われた。その結果、バインダの評価指標である応力緩和時間と弾性回復率との間に概ね高い相関が見られた。そのため、荷重測定型伸度試験機でバインダの粘弾性状を評価できることが分かった。そのため、バインダの粘弾性状から混合物の物性も評価できないかと考えた。

そこで、本研究では、新たなバインダ性状評価試験機である荷重測定型伸度試験機を用いてバインダ性状を評価することと、そのバインダ性状から混合物の物性を間接的に評価することの妥当性を検討することを目的とした。バインダ性状評価試験は、荷重測定型伸度試験機を用いて Elastic Recovery Test (ERT) を行い、応力緩和時間と弾性回復率を求める。混合物の物性評価試験は、ホイールトラッキング試験 (WT 試験) を行い、動的安定度 (DS) を求める。そうして得られたバインダと混合物の評価指標の相関を確認することで荷重測定型伸度試験機を用いて得られるバインダ性状から混合物の物性を間接的に評価することの妥当性を検討した。

2. WT 試験

(1) 概要

WT 試験では、アスファルト混合物の塑性流動抵抗性を表す DS を評価することができる。

試験方法は舗装調査・試験法便覧；「B003①ホイールトラッキング試験」⁴⁾に準拠した。試験条件を表-1 に示す。供試体作製に用いた骨材配合は、最大骨材粒径 5mm (細粒 5mm) の配合と、一般的に用いられている最大骨材粒径 13mm (密粒 13mm) の配合を用いた。最適アスファルト量は細粒 5mm では 6.8%，最密粒 13mm では 5.5%とした。骨材配合を表-2 に示す。使用したバインダは、ストレートアスファルト 60/80 (StAs)，ポリマー改質アスファルトⅡ型 (改質Ⅱ型)，およびこれら 2 つを混合した混合アスファルト A, B, C (混合アス A, B, C) とした。改質Ⅱ型のポリマー含有量は約 4%であり、混合アス A, B, C のポリマー含有量をそれぞれ 1%，2%，3%となるように混合した。

表-1 WT 試験の試験条件

項目	試験条件
供試体寸法(mm)	300×300×50
接地圧(MPa)	0.63
往復走行回数(回)	1260
試験温度(℃)	60
養生時間	5 時間以上
試験数	5

表-2 骨材配合比

骨材の種類	配合(%)	
	細粒 5mm	密粒 13mm
6 号	0	36
7 号	47.5	22
粗砂	42.5	31
細砂	0	3.5
石粉	10	7.5
アスファルト量	6.8	5.5

(2) 結果

WT 試験で得られた DS とポリマー含有量の関係を図-1, 2 にまとめる。これより、最大骨材粒径が大きく、ポリマー含有量が多いほど、DS が大きいことがわかる。また、ポリマー含有量が 0%から 2%までの DS の

増加量に比べ、2%から 3%までの増加量が著しく大きくなっていることがわかる。これより、ポリマーの改質効果が発生する閾値が存在すると考えられ、今回の場合は 2%から 3%の間に存在すると考えられる。そのため、閾値を超えていない 1%から 2%では、ポリマーによる改質効果が反映されず、DS の値は非常に低くなったのだと考えられる。

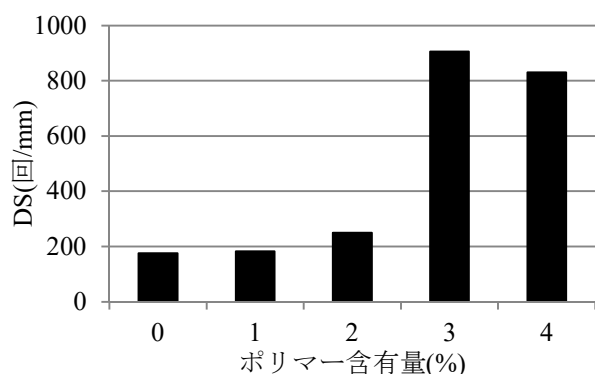


図-1 細粒 5mm の DS-ポリマー含有量関係

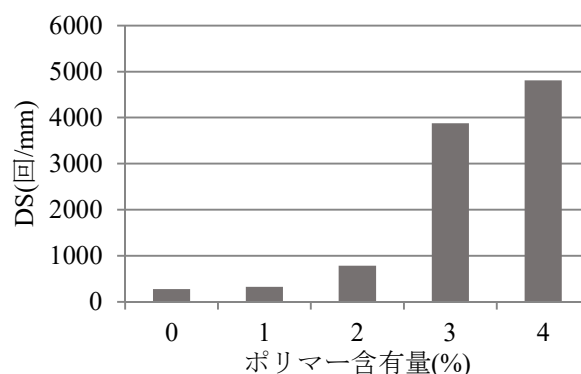


図-2 密粒 13mm の DS-ポリマー含有量関係

3. ERT

(1) 概要

ERT は米国 ASTM⁵⁾で規定されたバインダ性状評価試験であり、バインダの弾性的挙動を示す弾性回復率を評価することができる。通常の ERT は伸度試験機を用いて行われる。しかしこの研究では、荷重を測定するためのロードセルを取り付けた荷重測定型伸度試験機を用いている。そのため、弾性回復率に加え、応力緩和時間も評価することができる。

表-3 ERT の試験条件

項目	試験条件
試験温度(℃)	10
試験速度(mm/分)	50
養生時間(分)	90
試験数	3

試験方法は、既往の研究²⁾³⁾と同様の方法で行った。試験条件を表-3 に示す。供試体作製に用いたバインダは、WT 試験と同様に StAs, 改質Ⅱ型, 混合アス A, B, Cとした。

(2) 結果

ERT で得られた弾性回復率、応力緩和時間とポリマー含有量の関係を図-4, 5 に示す。これより、ポリマー含有量が多いほど、弾性回復率は大きく、応力緩和時間は長くなることがわかる。また、WT 試験で得られる DS と異なり、ポリマー含有量が少ない場合でも、ポリマー含有量に比例して弾性回復率と応力緩和時間もほぼ一定の傾きで増加し続けることがわかる。これより、バインダの状態であれば閾値が存在せず、ポリマー含有量が少ない場合でもポリマー含有量分の改質効果は十分に発揮されると考えられる。

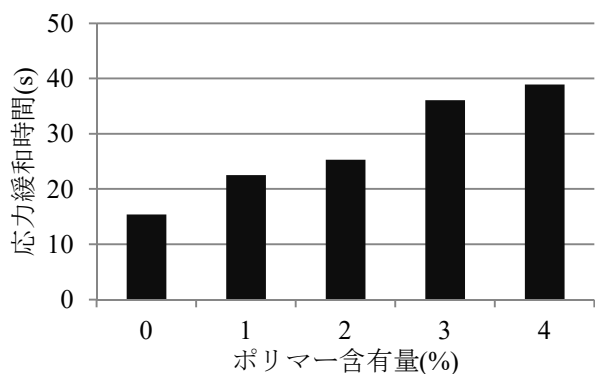


図-4 弾性回復率-ポリマー含有量関係

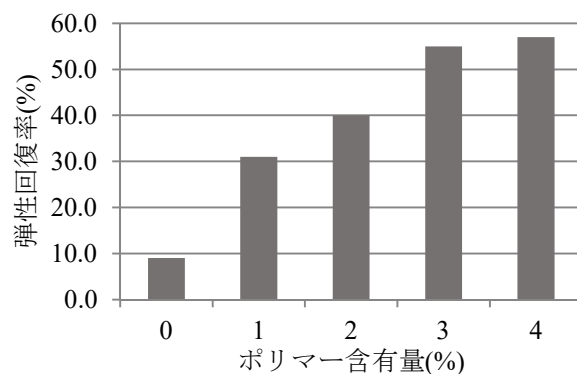


図-5 応力緩和時間-ポリマー含有量関係

4. DS と弾性回復率及び応力緩和時間の関係

DS と弾性回復率の関係を図-6 に、DS と応力緩和時間の関係を図-7 に示す。グラフ上の 5 点は左から StAs, 混合アス A, B, C, 改質Ⅱ型である。図-1, 図-2 より DS が急激に増加していることから、指数関数的に増加しているのではないかと考え、図-6, 図-7 の縦軸である DS を対数で表記した。図-6, 図-7 より、グラフ上の点が右上方向に移動しているため、ポリマー含有量が多いほど DS, 弾性回復率が増加し、応力緩和時間が長くなっていることがわかる。これは既往の研究¹⁾²⁾で判明しており、今回も同様の結果を得られた。また、応力緩和時間のほうが弾性回復率よりも決定係数が大きいことから、より高い相関を得られることがわかる。

既往の研究²⁾より、ポリマー含有量が多く応力緩和しにくいバインダほど、弾性回復率が高く、応力緩和時間が長くなる。そのため、バインダの応力緩和性状は ERT の試験結果から求められる弾性回復率と応力緩和時間を用いて評価できる。また、WT 試験は載荷と除荷を繰り返す際に応力緩和が発生するため、DS にはバインダの応力緩和性状が寄与している。そのため、DS と弾性回復率、応力緩和時間との間には高い相関があるのだと考えられる。

図-6, 図-7 より、密粒 13mm は細粒 5mm よりもグラフの傾きが大きいことがわかる。粒径が大きい骨材を用いるほど、骨材の噛み合わせ効果は強く働くため、DS は大きくなる。また、ポリマー含有量が増加すると、弾性回復率は大きくなり、応力緩和時間は増加する。これらの要因が重なったため、粒径が大きい密粒 13mm のほうがグラフの傾きが大きくなったのだと考えられる。

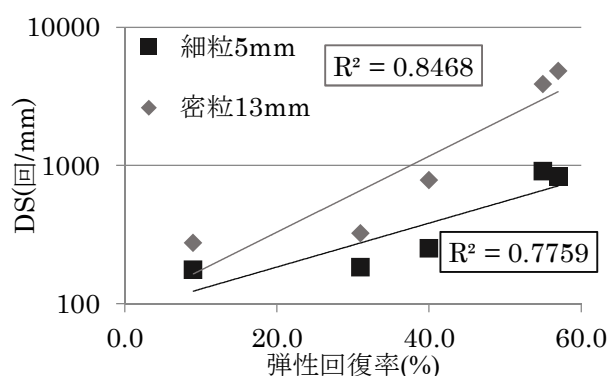


図-6 DS－弾性回復率関係

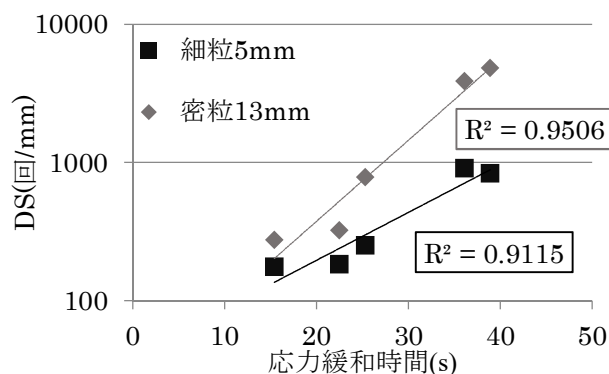


図-7 DS－応力緩和時間関係

表-4 ERT の試験条件

項目	試験条件
試験温度(℃)	15
試験速度(mm/分)	50
養生時間(分)	90
試験数	3

5. 劣化バインダを対象とした ERT

(1) 概要

既往の研究³⁾より、バインダが劣化すると粘弾性状が変化することがわかっている。そのため、3 項で示した荷重測定型伸度試験機を用いた ERT を行い、劣化したバインダの弾性回復率と応力緩和時間を評価することで、バインダの劣化程度が粘弾性状に及ぼす影響について検討を行うこととした。

試験方法は 3 項と同様であるが、温度が低いと供試体が破断する可能性があるため、試験温度を 15℃とした。試験条件を表-4 に示す。供試体作製に用いたバインダは StAs, 改質Ⅱ型, 混合アス B とした。バインダの劣化方法は加熱促進劣化とし、180℃まで加熱したマントルヒーターの中で攪拌し続けることで劣化バインダを作製した。マントルヒーターでの劣化バインダ作製状況を図-8 に示す。また、劣化時間は 0h (未劣化), 48h, 96h の 3 種類とした。

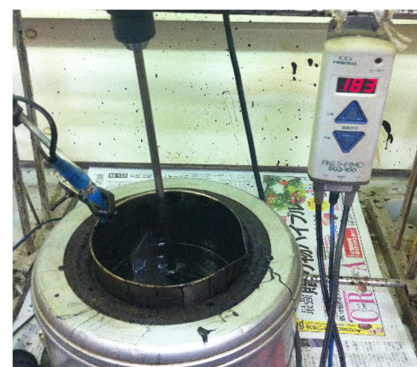


図-8 バインダの劣化状況

(2) 結果

劣化バインダを対象とした ERT で得られた弾性回復率，応力緩和時間と劣化時間の関係を図-9，10 に示す．これらより，劣化が進むと弾性回復率はわずかに大きく，応力緩和時間もわずかに長くなっているように見える．また，応力緩和時間はすべての劣化時間において，ポリマー含有量が多くなるほど長くなっている．しかし，弾性回復率は全体的に増加傾向であるものの，増加量は極めて小さい．また，劣化が進んだにもかかわらず弾性回復率が減少している点も存在する．そのため，劣化バインダの粘弾性状を評価する場合，通常の ERT で評価できる弾性回復率よりも荷重測定型伸度試験機で行う ERT で評価できる応力緩和時間のほうが評価しやすいと考えられる．

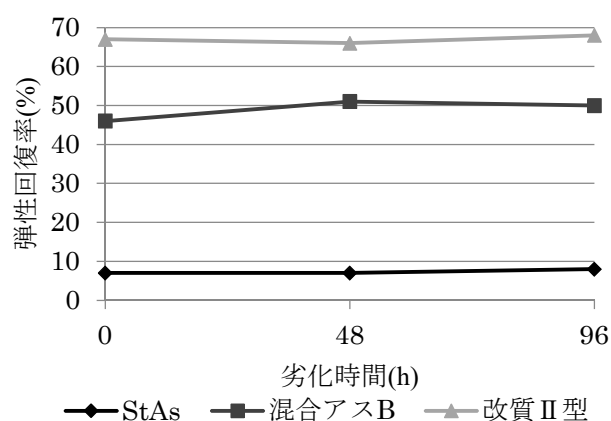


図-9 弾性回復率－劣化程度関係

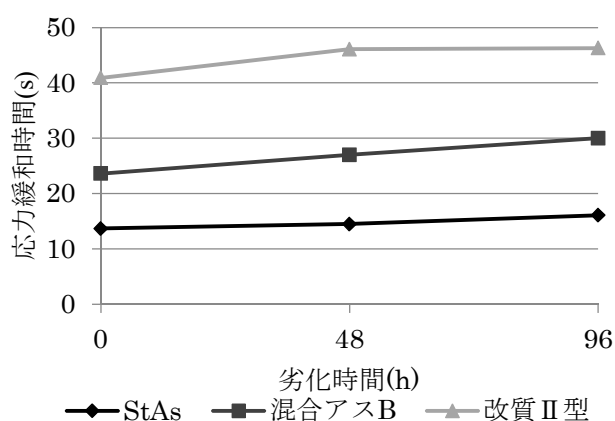


図-10 応力緩和時間－劣化程度関係

6. まとめ

2種類の骨材配合，5種類のポリマー含有量を変化させたバインダを用いて WT 試験，ERT を行い，混合物の評価指標である DS とバインダの評価指標である弾性回復率，応力緩和時間を得て，これらについて相関関係が得られるか確認した．また，劣化時間を変化させた 3 種類のバインダを用いて弾性回復率，応力緩和時間を確認した．それらの結果，以下の知見が得られた．

- (1) ポリマーの含有量が閾値を超えない場合，DS の値は非常に低い．
- (2) ポリマーの含有量に関係なく，弾性回復率と応力緩和時間の増加量はほぼ一定である．
- (3) DS を対数とした場合，応力緩和時間のほうが弾性回復率より相関が高いことが確認できる．
- (4) 劣化バインダを評価する場合，応力緩和時間のほうが弾性回復率より評価しやすい．

参考文献

- 1) 豊田ほか：DSR 繰返しクリープ試験による SBS 改質アスファルトの永久変形評価，土木学会第 63 回年次学術講演会，2008.
- 2) 中原和哉：弾性回復率を用いたアスファルトバインダの応力緩和税上の評価に関する研究，長岡技術科学大学卒業論文，pp.12-28，pp.35-36，2016.
- 3) 平林将：劣化に伴うアスファルトバインダの応力緩和性状の変化，長岡技術科学大学卒業論文，pp16-25，2017.
- 4) 社団法人 舗装調査・試験法便覧，pp.[3]39-55，2007.
- 5) ASTM Standards D6084-97