

DSR 繰り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

東亜道路工業(株)技術研究所 正会員 ○豊田 麻衣
同 正会員 平戸 利明
同 正会員 村山 雅人

1. はじめに

SUPERPAVE(Superior Performing Asphalt Pavements)のバインダ規格 PG(Performance Grad)では、供用最高温度を DSR(Dynamic Shear Rheometer)を用いて測定する永久変形抵抗性の一指標である $|G^*|/\sin\delta$ で評価している。しかし、近年、強制振動モードで測定される $|G^*|/\sin\delta$ では改質アスファルトを適切に評価していないと指摘されており、新たな評価方法の検討が行われている¹⁾。検討されている評価方法のうち有望なものとして、DSR 繰り返しクリープ試験が挙げられる。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、モデルに含まれる粘性要素や弾性要素の係数を推定できることから、今後、アスファルト材料の永久変形の理論的研究には欠かせない情報を与えるもの考えられるため検討の必要性は高い。

ここでは、改質材として SBS(スチレン・ブタジエン・スチレンブロック共重合体)を添加したポリマー改質アスファルト(以下、SBS 改質アス)の DSR 繰り返しクリープを行い、混合物の永久変形との高い相関性を確認するとともに、Burgers モデルによる計算結果と測定結果の適合性を検討し、粘弾性要素の係数推定を行なった。

2. 試料

ストレートアスファルト 60/80(以下、ストアス)をベースアスファルトとし、これに SBS を添加してポリマー改質アスファルトを試作した。表-1 に、試料としたバインダの配合と性状を示す。

表-1 試料としたバインダの配合と性状

項目	No.	①	②	③	④	⑤	⑥
		配合	ストアス60/80(wt%)	100	98.5	97.0	95.5
	SBS添加量(wt%)	0	1.5	3.0	4.5	6.0	9.0
性状	軟化点	45.5	53.0	56.5	58.5	79.0	92.5
	針入度	61	49	48	46	44	42

表-2 DSR 繰り返しクリープ試験条件

項目	条件
プレートタイプ	平行円盤
プレート直径	25mm
プレート間ギャップ	1mm
試験温度	60℃
せん断応力	300Pa
載荷モード	応力制御繰り返しクリープ
1サイクル	載荷1s、除荷9s
繰り返し載荷回数	100サイクル

3. 実施した試験と測定方法

3-1 繰り返しクリープ試験

繰り返しクリープの測定には、DSR(AR-1000 : TA インストルメント製)を使用し、NCHRP(National Cooperative Highway Research Program)レポートを参考に、表-2 に示す条件で実施した¹⁾。そして、100 サイクルまでのひずみ-時間曲線を得た。

3-2 ホイールトラッキング試験

舗装調査・試験法便覧に準拠してホイールトラッキング試験を実施し、動的安定度(DS)を測定した。混合物は、密粒度アスファルト混合物(13)、最適アスファルト量(OAC)5.2%である。供試体は、75 回両面突きマーシャル密度に対し目標締固め度 100%となるように作製した。⑥SBS9%は、粘性が高すぎ供試体を適切に作製できないため除外した。

4. 結果および考察

4-1 繰り返しクリープ測定結果

図-1 に、繰り返しクリープ試験から得たひずみ-時間曲線を示す。ひずみは、繰り返し数が 50 サイクル以上になるとほぼ直線的に累積して行く。図-1 では、1 サイクルのひずみ-時間挙動が見難いことから、図-2 と図-3 に例として、①ストアスと④SBS4.5%の 96~100 サイクルのひずみ-時間曲線をそれぞれ示す。

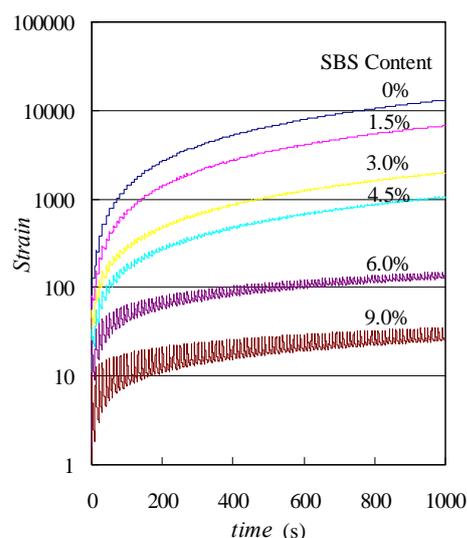


図-1 繰り返しクリープ試験によるひずみ-時間曲線

キーワード DSR, 繰り返しクリープ試験, ポリマー改質アスファルト, レオロジー, バーガーモデル
連絡先 〒300-2622 茨城県つくば市要 315-126 東亜道路工業(株)技術研究所 TEL.029-877-4150

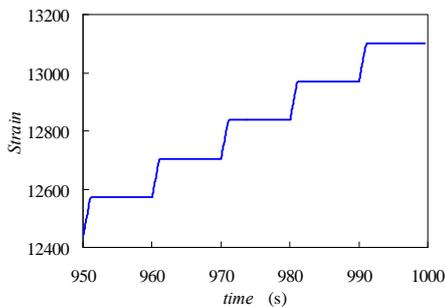


図-2 ①ストアスの96~100サイクルのひずみ-時間曲線

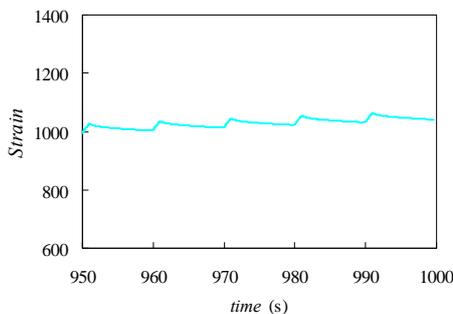


図-3 ④SBS4.5%の96~100サイクルのひずみ-時間曲線

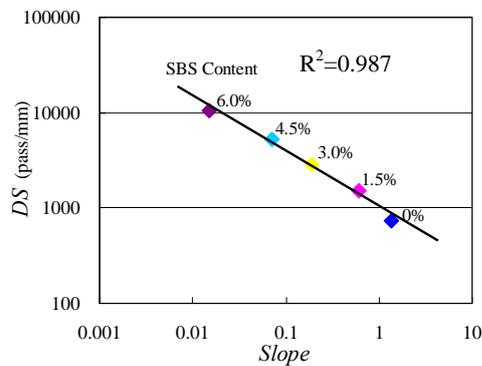


図-4 Slope と DS の関係

ストアスでは除荷時のひずみ回復がほとんど見られないが、SBS 改質アスは SBS 添加量に応じて大きなひずみの回復が生ずる。これは、SBS の弾性(ゴム弾性)が発現しているものと考えられる。

4-2 繰り返しクリープと動的安定度の関係

図-4 に、50~100 サイクルのひずみ-時間曲線の傾き(Slope)と混合物の動的安定度 DS の関係を示す。両者には、 $R^2=0.987$ の高い相関が確認できた。

4-3 Burgers モデルの適合性

アスファルトのような粘弾性体は、図-5 に示す Burgers モデル(4 要素モデル)でその変形特性が表現されるとされ、多くの研究が行なわれている²⁾。そこでここでは、Burgers モデルの各要素を適切に設定することで、1 サイクルのひずみ-時間曲線を再現できるか検討を行なった。

表-3 Burgers モデルの粘弾性係数推定結果

	①	②	③	④	⑤	⑥
SBS添加量(%)	0	1.5	3.0	4.5	6.0	9.0
応力(Pa)	P	300	300	300	300	300
独立弾性係数(Pa)	E_0	10000	10000	10000	10000	1000
独立粘性係数(Pa·s)	η_0	130	130	130	130	158
並列弾性係数(Pa)	E_1	0.0001	0.08	0.84	1.4	4.3
並列粘性係数(Pa·s)	η_1	2.3	4.0	7.7	10.5	12.8

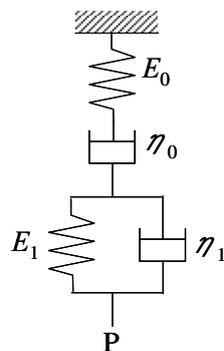


図-5 Burgers モデル

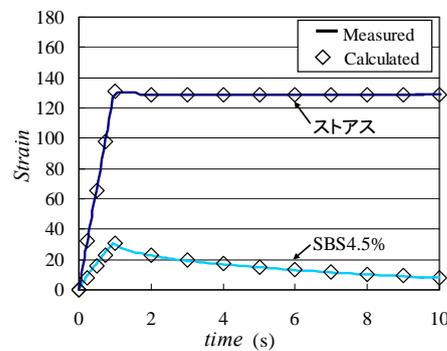


図-6 Burgers モデルの適合性

図-5 に荷重 P を載荷した後の時間 t におけるひずみ $\gamma(t)$ は、載荷時は式 1) で、除荷時は式 2) で表される。96~100 サイクルの各サイクルについて測定値と一致するように式 1) と式 2) の各粘弾性係数を推定し、5 サイクルの平均を算出した。表-3 に結果を示すとともに、例として図-6 に①ストアス(SBS0%)と④SBS4.5%について1サイクルについての測定結果と計算結果を示す。Burgers モデルは、ほぼ完全にひずみ-時間挙動を再現している。表-3 に見られる各粘弾性係数の変化は、SBS の増加に伴うゴム弾性の発現と粘性の上昇を示している。

載荷時: $0s \leq t \leq 1s$

除荷時: $1s < t \leq 10s, t_1=1s$

$$\gamma(t) = \frac{P}{E_0} + \frac{P}{\eta_0}t + \frac{P}{E_1}(1 - e^{-\frac{tE_1}{\eta_1}}) \dots 1)$$

$$\gamma(t) = \frac{P}{E_1}(1 - e^{-\frac{t_1 E_1}{\eta_1}}) \times e^{-\frac{(t-t_1)E_1}{\eta_1}} \dots 2)$$

5. まとめ

- 1) SBS 改質アスはゴム弾性を有するため、除荷時にひずみが回復し、その程度は添加量が増すほど大きい。
- 2) DSR 繰り返しクリープのひずみ-時間曲線の傾き(Slope)は、混合物の DS と高い相関がある。
- 3) 繰り返しクリープ 1 サイクルは、簡単なレオロジーモデルである Burgers モデルで再現可能である。

6. おわりに

本報では、Burgers モデルの各粘弾性係数の決定を行なったにとどまった。今後は、粘弾性係数の実質の意味について理解を深める必要がある。さらに、レオロジーを適用したアスファルト混合物の永久変形の定式化に向けて検討を行なっていく所存である。

参考文献

- 1) 例えば、NCHRP Report459, *Characterization of Modified Asphalt Binders in Superpave Mix Design*, TRB, 2001.
- 2) 例えば、村上憲吉: *レオロジー基礎論*, 産業図書, 1991.