

せん断試験によるポリマー改質アスファルト の粘弾性状の評価

新田弘之¹・西崎到²・鈴木とおる³

¹正会員 博(工) 独立行政法人 土木研究所 つくば中央研究所 材料地盤研究グループ 新材料チーム
(〒305-8516 茨城県つくば市南原 1-6)

E-mail : hnitta@pwri.go.jp

²正会員 博(工) 独立行政法人 土木研究所 つくば中央研究所 材料地盤研究グループ 新材料チーム
(〒305-8516 茨城県つくば市南原 1-6)

³正会員 一般社団法人 日本改質アスファルト協会 (〒104-0031 東京都中央区京橋 2-11-5)

アスファルトの流動わだちに対する抵抗性の評価を目的として、60℃粘度の測定が行われている。しかし、ポリマー改質アスファルトは、60℃でも弾性的性質を示し、60℃粘度の測定が困難である。ポリマー改質アスファルトの60℃付近の性状評価としてはDSR (Dynamic Shear Rheometer) による粘弾性測定が有効であるが、DSRは一般に高価な測定機器であり、試験室等で所有することは難しい。そこで、本研究では、汎用の試験機である万能試験機を利用したアスファルトの粘弾性評価方法の開発を目的に、定ひずみ速度でアスファルトのせん断試験を実施し、DSR試験結果などと比較検討した。その結果、万能試験機を用いたアスファルトの粘弾性評価は可能で、性状試験に利用できることがわかった。

Key Words : *shear test, polymer modified asphalt, viscoelastic property, plastic flow resistance*

1. はじめに

夏季のアスファルト舗装の表面は60℃以上になることもあることから、アスファルトが軟化して流動わだちが発生しやすくなる。このため、アスファルトの流動わだちに対する抵抗性の評価を目的として、60℃粘度の測定が行われてきた。しかし、ポリマー改質アスファルトについては、「舗装設計施工指針(平成18年度版)」から標準的性状に60℃粘度の範囲が示されなくなった。これは、ポリマー量の多いポリマー改質アスファルトにおいては、粘度管を用いて60℃粘度を測定するときに、流れている状態が測定できず、伸びている状態を測定しているに過ぎないことから、粘度という指標で表すことが適切ではないとの判断からである。これまでの研究で、ポリマー改質アスファルトの60℃付近の性状評価としてはDSR (Dynamic Shear Rheometer) を用いた粘弾性測定が有効であることが分かっている¹⁾。しかし、DSRは一般に非常に高価な測定機器であり、品質管理を行う試験室等で所有することは難しい。粘弾性評価が、比較的廉価な試験機や汎用の試験機を用いて行うことができれば非常に便利である。

本研究では、様々な性状測定に使用される一般的な万能試験機を利用したアスファルトの粘弾性評価方法の開発を目的に、定ひずみ速度でアスファルトのせん断試験を実施し、DSR試験結果と比較検討した。さらにホイールトラッキング試験を実施し、流動わだち抵抗性との関係を把握した。

なお、本研究は土木研究所と日本改質アスファルト協会の共同研究として実施したものである。

2. 試験方法

(1) アスファルトのせん断試験

アスファルトのせん断試験は、定荷重で行われた牛尾の研究²⁾を参考に予備試験として一面せん断による検討を行った。本研究は、定ひずみ速度で試験を行うこととしているが、定ひずみ速度で行う場合、一面せん断では治具が平行に移動しないことがあり、試験精度に問題が生じた。また、一般的な万能試験機を利用することを想定しているため、より大きな荷重が得られるようにせん断面積を広く取る必要もあった。このため、これらの課題へ対応できるように二面せん断で試験を行うことにし

た.

二面せん断試験は図-1 に示すように、治具の両側にアスファルトサンプルを配置し、中央の治具を抜き取るようにして行った。治具を万能試験機にセットした様子を写真-1 に示す。温度制御には恒温空気槽を用い、試験温度を2時間保持してから試験を行うようにした。また、アスファルトサンプルは、熔融温度で溶かしてから治具に流し治具と治具で挟み、所定の厚さにしてから余分なサンプルを除去して整形した。続いて試験温度より10℃程度高い温度まで放冷した後、恒温空気槽内に移動させ、試験機にセットし、試験温度になってから、10分間保持してせん断試験を行った。

試験条件としては、ひずみ速度0.2~5.0mm/min(せん断速度0.2~5.0/min)、試験温度45~75℃で行い、変位量 x と引張り荷重 F を測定した。スティフネス S は(1)式により求めた。

$$S = \frac{3Ft}{2Ax} \times 1000 \quad (1)$$

図-1 アスファルトのせん断試験



写真-1 アスファルトのせん断試験の様子

ここに、 S : スティフネス (kPa)

F : 荷重 (N)

t : 試料厚さ (=1.0mm)

A : 試料と型枠の接触面積 ($=3.0 \times 10^3 \text{ mm}^2$)

x : 変位量 (mm)

試験の開始時には、図-2 に示すように、荷重が不規則に変化する区間が見られることがあった。これは同一サンプルであっても測定によって出現したりしなかったりし、またアスファルトグレード等とも一定の傾向が見られなかった。塑性変形の可能性もあったが、治具等のわずかな遊びも一因と考えられ、本論文ではこのような場合には原点を図-2 のように補正することにした。

(2) DSR

動的粘弾性状の測定はDSRにより行い、操作方法は「舗装調査・試験法便覧 A062」³⁾に従って測定した。

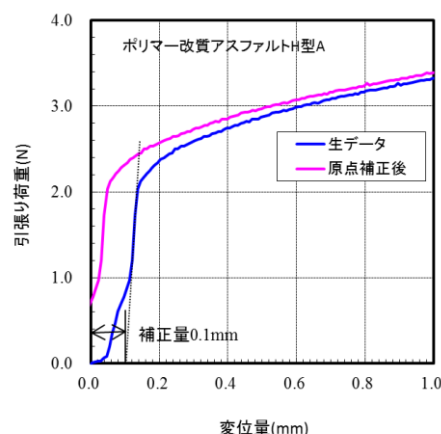


図-2 原点補正の例

表-1 アスファルトサンプルの一般性状

	ストレートアスファルト 60-80A	ポリマー改質アスファルト II型 A	ポリマー改質アスファルト III型 A	ポリマー改質アスファルト H型 A
軟化点 ℃	48.5	60.5	87.0	89.5
伸び(15℃) cm	100+	85	82	74
タフネス (25℃) N・m	—	24.0	37.7	31.6
デナシティ (25℃) N・m	—	17.0	—	—
針入度(25℃) 1/10mm	67	47	50	50
密度(15℃) g/cm ³	1.043	1.036	1.036	1.033
	ストレートアスファルト 60-80B	ポリマー改質アスファルト II型 B	ポリマー改質アスファルト III型 B	ポリマー改質アスファルト H型 B
軟化点 ℃	47.5	59.5	71.5	88.5
伸び(15℃) cm	100+	59	105	74
タフネス (25℃) N・m	—	27.6	33	29.0
デナシティ (25℃) N・m	—	20.8	—	—
針入度(25℃) 1/10mm	69	47	54	45
密度(15℃) g/cm ³	1.032	1.030	1.022	1.025

(3) 動的安定度

動的安定度の測定は、「舗装調査・試験法便覧 B003」⁴⁾に従って測定した。

(4) サンプル

使用したアスファルトサンプルの一般性状を表-1に示す。これらは、製造方法の異なるストレートアスファルト 60-80A および B と、これら二つのストレートアスファルトをベースに作製したポリマー改質アスファルト II 型、III 型、H 型、計 8 種類である。これらは同グレードでも比較的性状の異なるものと考え、異なる性状でも同様に評価できるかを確認するために用意した。

また、動的安定度の測定に用いたアスファルト混合物は、密粒度アスファルト混合物(13)とし、中央粒度でアスファルト量は OAC とした供試体を用いた。

3. アスファルトのせん断試験方法の検討

(1) せん断速度の検討

試験条件の検討のために、せん断速度を変えて測定を

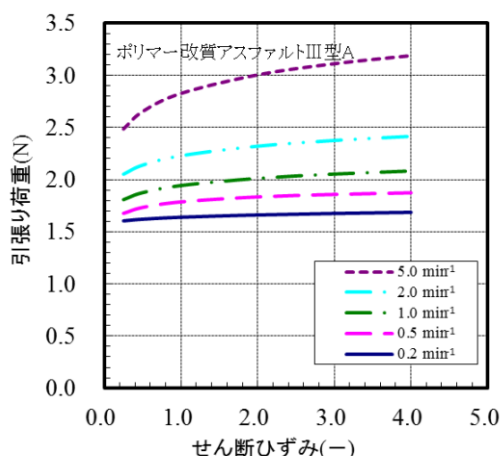


図-3 せん断速度による荷重曲線の違い

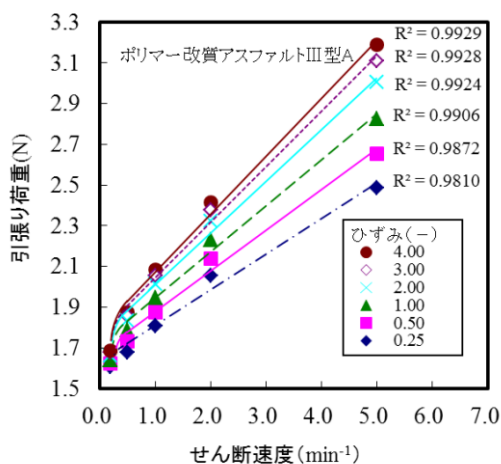


図-4 せん断速度の影響

行った。荷重変位曲線を図-3に示す。せん断速度を速くするほど荷重が大きくなった。せん断速度と荷重の関係を見るために、図-4に示すように、せん断速度を横軸にして、同じひずみ量のときの荷重をプロットした。せん断速度が 0.5 min^{-1} 以上では直線的な関係がみられた。これはポリマー改質アスファルトが非ニュートン流動を示す物質であり準塑性流れを示したためであると考えられた。本研究では、測定精度を考慮して比較の変動要因が少ないと予想される直線的な部分の測定をすることにした。そこで、せん断速度は、試験時間も考慮して、 5.0 min^{-1} で行うことにした。

(2) データ処理方法の検討

本研究では、定ひずみ速度のせん断試験を行い式(1)により S を求めるが、 S は図-5に示すように変位量 x とともに変化し、両対数グラフ上で減少するように変化した。このような変化は、BBR (Bending Beam Rheometer) 試験⁵⁾結果と類似しているため、これを参考に特性やデータ処理方法の検討を行った。

BBR では、この S と S の傾き m を特性値として用いるが、 S は図-6に示すように、実データでは、わずかに振

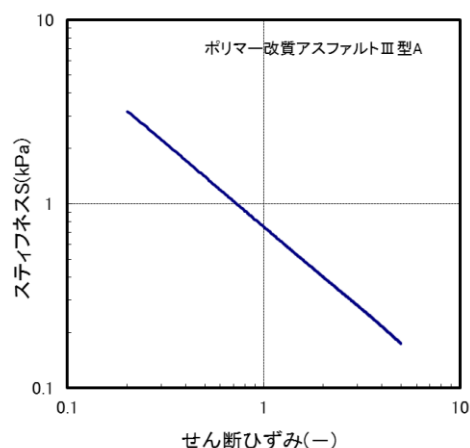


図-5 スティフネスの変化の例

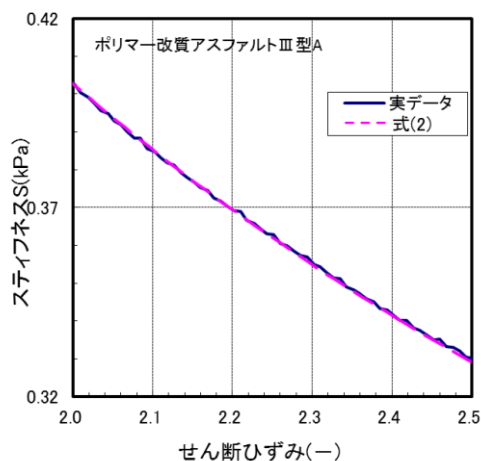


図-6 スティフネスの実データと式(2)による算出データ

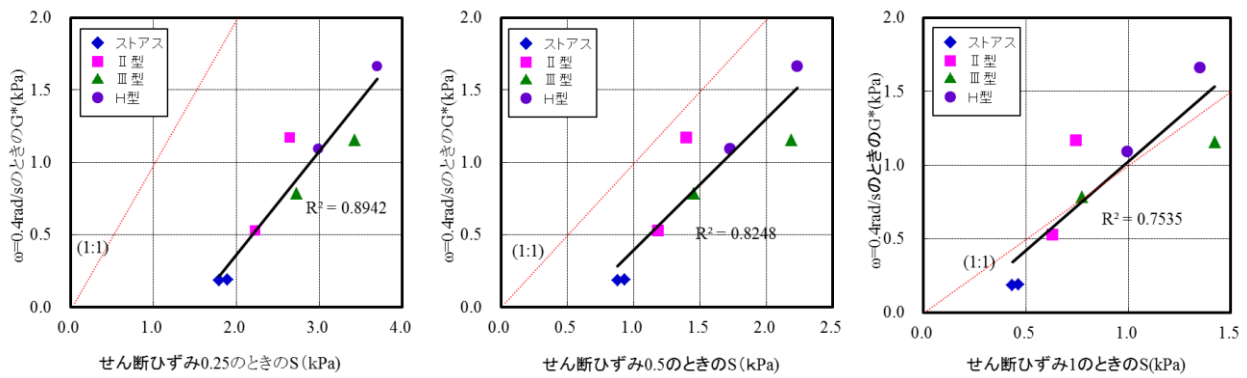


図-7 スティフネス S と複素弾性率 G^* の関係

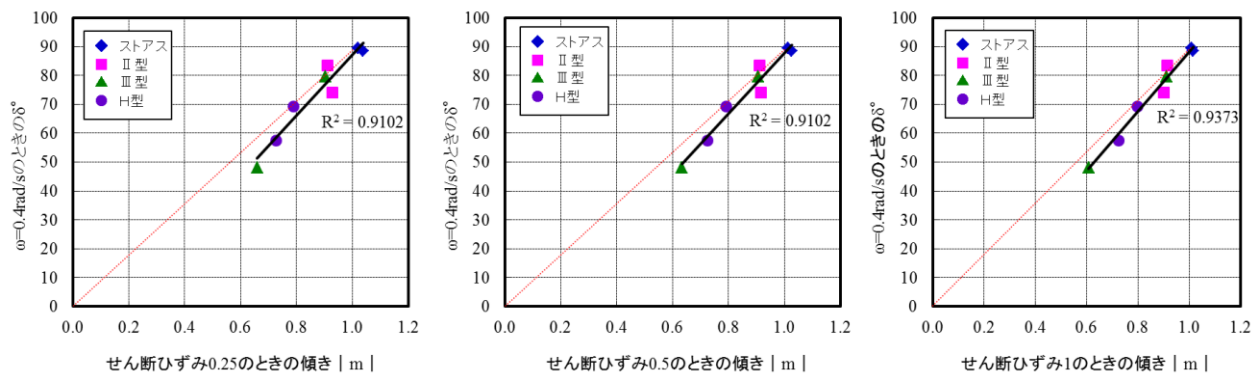


図-8 傾き m と位相差 δ の関係

動しており、実データから直接傾き m を求めると非常に変動の大きなものになった。これを解決するために、 S を近似式で表し、近似式から m を求めることにした。 S の近似式は、BBR を参考にして検討した結果、 A 、 B 、 C を定数として式(2)で表すことができた。BBRにおいては、グラフ上の6点から、近似式(2)の定数 A 、 B 、 C を求めており、本研究のせん断試験においても、同様に A 、 B 、 C を求めた。図-6 に示したように、 S の実データと式(2)による近似曲線はよく一致した。なお、実データと近似曲線の相関係数が $R^2 \geq 0.999$ となるように A 、 B 、 C を求めた。

$$\log S = A + B \log x + C [\log x]^2 \quad (2)$$

傾き m については、式(3)のように求めた。

$$|m| = B + C \log x \quad (3)$$

4. 粘弾性状の評価

(1) DSR との比較検討

せん断試験で得られる S や m は変位量によって数値が変わり、DSR によって得られる複素弾性率 G^* や位相差 δ は測定周波数によって数値が変わる。そこで S と G^* 、 m と δ の相関関係を調べた。 S と m は変位量 $0.25\text{mm} \sim 4\text{mm}$

の範囲、 G^* と δ は $0.4\text{rad/s} \sim 10\text{rad/s}$ の範囲でそれぞれ組み合わせる相関性を求めた結果、変位量 $0.25 \sim 1\text{mm}$ 付近と周波数 0.4rad/s 付近の相関性が良くなる傾向を示した。このときの S と G^* の関係を図-7 に、 m と δ の関係を図-8 に示す。 S については、相関係数では 0.25mm での値が高くなったが、 1mm の結果は、1:1 の点線に非常に近くなっており、弾性率としての大きさの程度がほぼ同じになった。また、 m については全般により相関性であり、特に 1mm での値で相関性が高くなった。

以上より、せん断試験の結果は、DSR の結果と相関性が高く、定ひずみ速度のせん断試験においても粘弾性評価は可能であることがわかった。

(2) マスターカーブの作成

定ひずみ速度のせん断試験でも粘弾性の評価は可能であることがわかった。しかし、本研究では、比較的小さい供試体での測定であり、一条件で得られる情報の範囲が狭い。粘弾性物質では、広い範囲の粘弾性状を把握するために、様々な試験温度による測定を繰り返し、温度-時間換算則を利用してマスターカーブを作成することがある。本試験法においては横軸を変位量にとっているが、温度-時間換算則を模してマスターカーブが作成できるか試みた。

試験温度 $45 \sim 70^\circ\text{C}$ でせん断試験を実施し、得られた複数のスティフネス曲線を 60°C を基準として横方向に移動

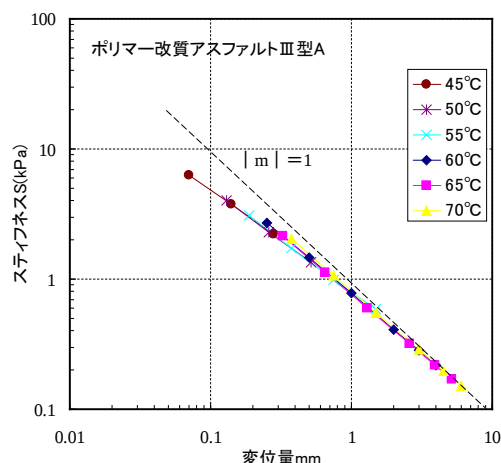


図-9 セン断試験から求めたマスターカーブ

させ重ね合わせ、マスターカーブを作成した。得られたマスターカーブを図-9に示す。通常、横軸を時間にとるが、本研究では変位量を横軸にとっており、通常マスターカーブとは異なるものの、変位量が大きくなるほど傾き $|m|$ が 1 に近づき、変位量が小さくなるほど傾き $|m|$ が小さくなってきており、通常マスターカーブに見られる形状のカーブが得られることが分かった。従って、定ひずみ速度でのせん断試験においても、マスターカーブの作成は可能であり、マスターカーブの作成により、広い範囲の粘弾性状を把握できることが分かった。

5. アスファルト混合物の耐流動性との関係

アスファルトのせん断試験により、アスファルトの耐流動性の評価が可能であるかを確認するために、アスファルト混合物（密粒度アスファルト混合物(13)）の動的安定度 DS とせん断試験で得られる特性値の相関性を検討した。図-10にスティフネス S と動的安定度 DS との関係、図-11に傾き m と動的安定度 DS との関係を示す。 S や m は、ひずみ量により値が変化するので、4.(1)と同様にひずみ 0.25, 0.5, 1.0 の場合について示した。どのひずみ量でも相関係数は高い値であったが、特にひずみ 0.25 のとき、 S 、 m とともに高い相関性を示した。

以上より、せん断試験により得られる S や m は、耐流動性を評価する指標として有効であることが分かった。ただし、 m は粘性的か弾性的かの程度を示すものであるため、単独で耐流動性を評価するものではなく、 S を補足するものとして扱うのが良いと考えられた。

6. 市販アスファルトの性状範囲

定ひずみ速度によるせん断試験で得られる S や m について、一般に流通しているポリマー改質アスファルト II 型および III 型で、どのような値の分布になっているかを確認した。図-12にひずみ 0.25, 0.5, 1.0 での S と m の分

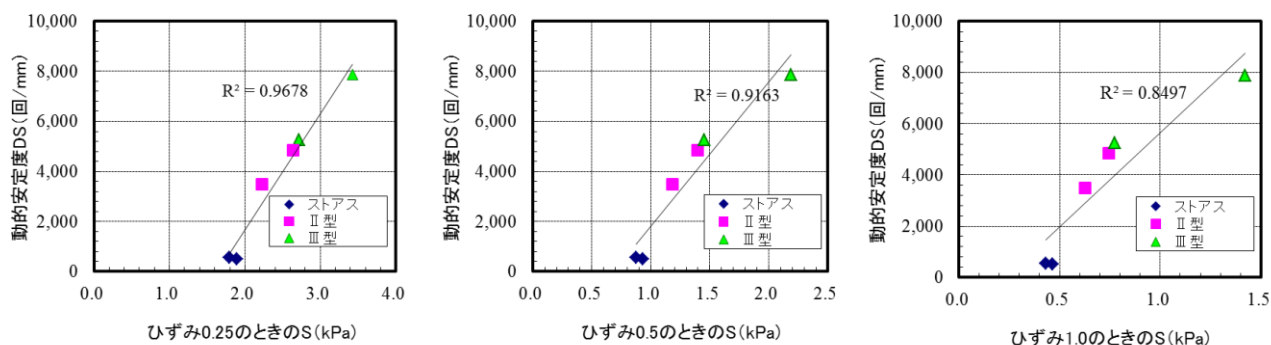


図-10 スティフネス S と動的安定度 DS の関係

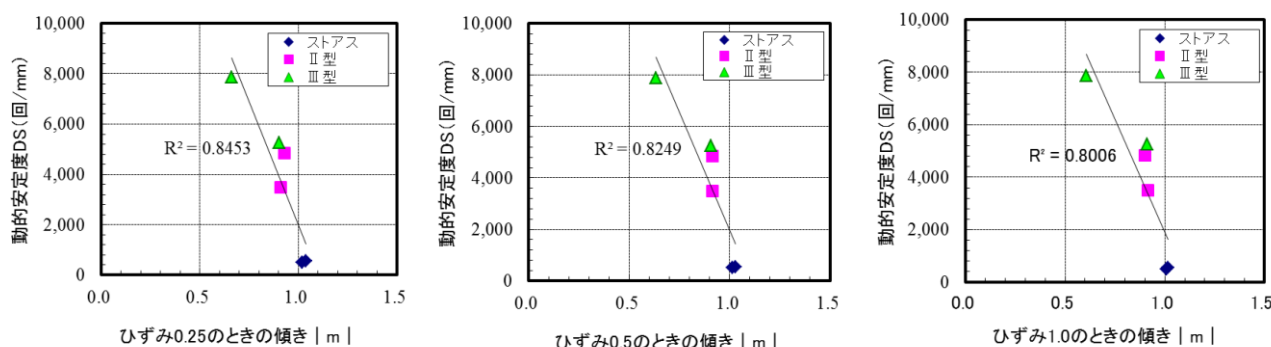


図-11 傾き m と動的安定度 DS の関係

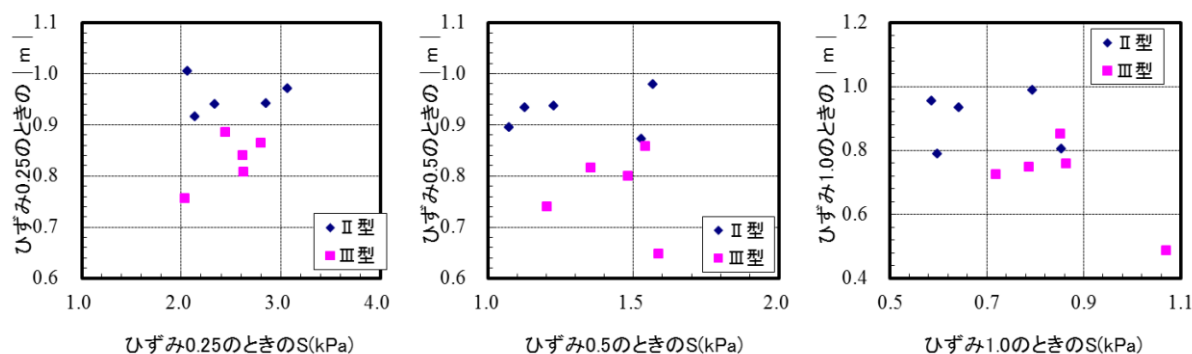


図-12 市販ポリマー改質アスファルトにおけるせん断試験結果の分布

布を示す。

ひずみ 0.25 の場合、Ⅱ型とⅢ型は S については同じような範囲に分布し、 m によってよく分かれることが分かった。したがって、 m によるグレードの区別ができるものと考えられた。ひずみ 0.5 の場合も m によりグレードの区別ができそうであるが、 S もⅡ型とⅢ型で少し分布の範囲が異なっている。さらにひずみ 1.0 になると m は重なる部分が出てくるものの、 S の分布がⅡ型とⅢ型で大きく異なるようになってきている。

以上より、耐流動性の異なるグレードであるポリマー改質アスファルトⅡ型とⅢ型は、 S や m によってもグレードの区別ができるものと考えられ、今後アスファルト混合物の動的安定度との比較検討をもっと進めることにより、基準値も求められるものと考えられた。

7. まとめ

本研究では、ポリマー改質アスファルトの 60℃での粘弾性状を比較的汎用な試験機で評価する方法を開発することを目的に、定ひずみ速度によるアスファルトのせん断試験について検討した。その結果、定ひずみ速度によるせん断試験で得られるスティフネスや傾き m により粘弾性の評価は可能であり、流動性を評価する動的安定度とも高い相関性があることを確認した。

本研究で得られた主な知見をまとめると次のとおりである。

- 荷重の大きさは引張り速度に依存した。試験時間、試験精度を考慮して、ひずみ速度は 5.0min^{-1} と決定した。
- 実データは微細な振動をしているため、スティフネス S の傾き m の算出に課題があったが、BBR で用いられる回帰式を適用することで算出できることを確認した。

- せん断試験から得られる S と m は、DSR で得られる複素弾性率 G^* と位相差 δ と相関性が高く、粘弾性の評価に有効であることを確認した。
- いくつかの試験温度で得られたスティフネス曲線を利用してマスターカーブが作成でき、幅広い粘弾性状の把握も可能なことが分かった。
- S は、アスファルト混合物の動的安定度との相関性が見られ、ポリマー改質アスファルトの耐流動性の評価指標として有効であることを確認した。また、 m は粘弾性の程度を示すものであり、耐流動性の評価では S を補足するものであると考えられた。
- 市販のポリマー改質アスファルトのⅡ型とⅢ型を測定した結果、 S や m がⅡ型とⅢ型で異なる分布を示し、アスファルトのグレードの評価にも利用できる可能性があることが分かった。

今後は、試験機が異なる場合の誤差の確認や、操作性の向上、耐流動性との相関性の更なる検討を進めるほか、ポリマー改質アスファルトの基準値としての検討を進め、60℃粘度に代わる指標として確立していく予定である。

参考文献

- 塚越，田中，佐々木，新田，坂本：舗装用アスファルトの粘弾性状と混合物の流動特性に関する実験，第 50 回土木学会年次学術講演会第 5 部，1995.
- 牛尾：アスファルトの工学特性，主としてクリープに関する研究（第 1 報），石油学会誌，Vol.21，No.3，pp.167-174，1978.
- （社）日本道路協会：舗装調査・試験法便覧，第 2 分冊，pp.281-291，2007
- （社）日本道路協会：舗装調査・試験法便覧，第 3 分冊，pp.39-56，2007.
- （社）日本道路協会：舗装調査・試験法便覧，第 2 分冊，pp.266-273，2007.

EVALUATION OF VISCOELASTIC PROPERTY OF POLYMER MODIFIED ASPHALT BY SHEAR TEST

Hiroyuki NITTA, Itaru NISHIZAKI and Tooru SUZUKI

60°C viscosity has been measured aiming at the evaluation of the flow rut resistance of asphalt. However, because the polymer-modified asphalt has the character of rubbery elasticity, 60°C viscosity measurement is difficult. The viscoelasticity measurement by DSR (Dynamic Shear Rheometer) is effective as the properties evaluation of the polymer-modified asphalt of about 60°C. However, DSR is an expensive testing machine in general, and it is difficult to use this in laboratory of manufacturing plant. This research has aimed at the development of the method of evaluating the viscoelasticity of asphalt using the universal testing machine that is a general-purpose testing machine. The shearing test of asphalt was done at a constant strain velocity with an universal testing machine, and effectiveness was examined compared with DSR etc. The following have been understood as a result. The evaluation of asphalt viscoelasticity is possible also by the universal testing machine. This test method can be used for the asphalt property evaluation at about 60°C.