

V-28

アスファルトマスチックの力学的性状 —SHRPバインダー試験法の適用—

北海道電力(株) ○正会員 浅沼 芳雄

北海道電力(株) 中井 雅司

北電興業(株) 若本 貴宏

1. はじめに

アスファルトマスチックは、アスファルト表面遮水壁型ダムの表面保護層や防波堤、護岸などに利用される捨石マウンド被覆石の根固め、埋立て護岸などの吸出し防止、あるいは各種目地工等に使用されている。このような用途に用いる場合、要求される機能、性状としては、耐衝撃性、耐摩耗性、変形追従性、耐久性、水密性などがあり、密度測定や変形性試験、施工試験等の結果に基づき、力学的な性状評価というよりも経験的、定性的な評価から配合設計が行われているのが現状である。しかし、重要な工作物にアスファルトマスチックを使用する場合には、地震に対する抵抗性や低温時における変形特性、温度応力抵抗性等をより厳密に力学的に評価する必要がある。また、道路用として考慮する場合、排水性舗装用混合物を構成するマトリックスないしはマスチックの性状を力学的に評価することも重要である。

本報告はマスチックの力学的性状を合理的に評価するべく、バインダーの粘弾性状を測定するために用いられている SHRP (Strategic Highway Research Program: 新道路研究計画) バインダー試験法^{1) 2) 3)}を数種類のバインダーを用いたアスファルトマスチックに拡大して適用し、その力学的性状評価を試みたものである。なお、著者らはバインダー試験について、多様なアスファルトを対象として在来試験法および SHRP バインダー試験法を用いて詳細な研究を実施しているが、ここでは省略する。

2. SHRPバインダー試験法と本研究で用いた試験法

SHRP バインダー試験法とは供用性に基づいて道路用バインダーの力学的性状を評価するために開発されたもの^{1) 2) 3)}で、表-1に示すように供用温度やその目的によって4つの試験が設定されている。

SHRP バインダー試験法に採用されている各装置は精密な測定を可能とする試験装置であり、試験条件の設定や試験結果の解析が可能な一連のソフトウェアが用意されている。

本研究は SHRP バインダー試験法に基づく AASHTO 規格³⁾に準拠しているが、道路用とは異なる水理工作物を対象とした試験であるため、直接適用することはできないものと考えた。DTT 試験については、米国内においてもまだ、実用に耐えうる精度が確保されていないこと、また、高温粘度試験についてはマスチックに対してそのままの仕様では粘度が測定できず、試験方法の改良が必要であったことから、今回は実施しないこととし、バインダーとマスチックを比較できる DSR 試験および BBR 試験を実施した。

表-1 SHRP バインダー試験および本試験内容

	試験温度	60~200℃	5~85℃	-40~25℃	-30~10℃程度
	試験名	高温粘度試験 HTV (Brookfield)	動的ねじりせん断試験 DSR (Dynamic Shear Rheometer)	低温曲げクリープ試験 BBR (Bending Beam Rheometer)	直接引張試験 DTT (Direct Tension Test)
	評価内容	施工性評価	供用温度域のうち、高温側の動的粘弾性状を評価	供用温度域のうち、低温側の静的粘弾性状を評価	低温における破断性を評価
SHRP バインダー試験項目		○	○	○	○
本研究でのバインダー試験項目			○	○	
本研究でのマスチック試験項目			○	○	

Mechanical properties of asphalt mastic—Application of SHRP binder testing machines—
by Yoshio ASANUMA, Masashi NAKAI and Takahiro WAKAMOTO

3. SHRP バインダー試験法の原理と適用範囲

(1) DSR (Dynamic Shear Rheometer) 試験

DSR 試験とは図-1に示すように 2 枚の平行円盤 (直径 25 または 8mm) の間にバインダーを充填し、平行円盤にトルクを加えることによってバインダーに作用するトルク、回転たわみ角、位相角を測定するものである。本試験はアスファルトの比較的高温域における動的粘弾性を測定する試験であり、複素弾性率 G^* および位相角 δ を求めるものである。

複素弾性率 G^* は物質の硬さを示す指標で、この値が大きいほど硬いことを示している。完全粘性物質の場合、ひずみと応力に時間的なずれが生じ、その位相角 δ は 90° となり、完全弾性物質の場合、ひずみと応力が同時に発生するため、位相角 δ は 0° となる。

また、SHRP ではこれまでの研究成果より、道路用において、 $G^*/\sin \delta$ が流動性、 $G^*\sin \delta$ が疲労ひび割れとそれぞれ密接な関係があるという知見が得られており、表-2に示すような評価基準が設定されている。

なお、DSR 試験装置の測定範囲は G^* が 100Pa~10MPa、 δ が $0\sim 90^\circ$ となっている。

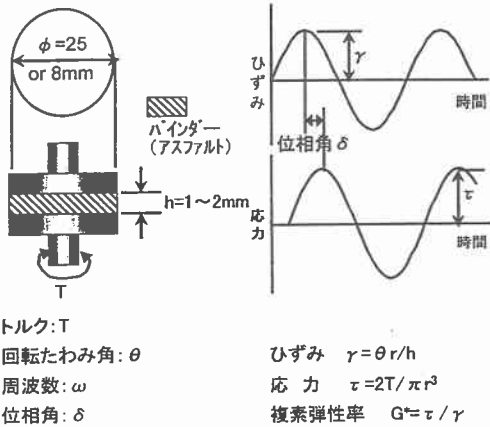


図-1 DSR 試験^{1) 2) 3)}

表-2 DSR 試験の評価条件と評価基準 (AASHTO 規格)

供試体の劣化状態	評価項目	基準値	備考
オリジナル(劣化していない)	$G^*/\sin \delta$	1.0 kPa 以上	まだ劣化していない状態
RTFOT 後	$G^*/\sin \delta$	2.2 kPa 以上	混合時の劣化状態
PAV 後	$G^*\sin \delta$	5000 kPa 以下	長期供用後の劣化状態

(2) BBR (Bending Beam Rheometer) 試験

BBR 試験とは、図-2に示すように一定温度に保持した液槽の中にビーム状の供試体 ($127 \times 12.7 \times 6.35\text{mm}$) を浸し、ビームの中央に約 100g の荷重を 240 秒間载荷し、そのときのたわみ量を測定するものである。

本試験は、アスファルトの低温域における静的粘弾性を測定する試験であり、クリープスティフネス S 値と S 値の時間あたりの変化率である m 値によって評価する。低温では温度収縮により応力が発生し、この応力に耐え切れなくなるとひび割れが発生する。本

試験から得られる S 値が小さく m 値が大きいものほど、低温ひび割れが発生しにくい材料と評価でき、AASHTO 規格では S 値と m 値については表-3に示すような評価基準を設定している。

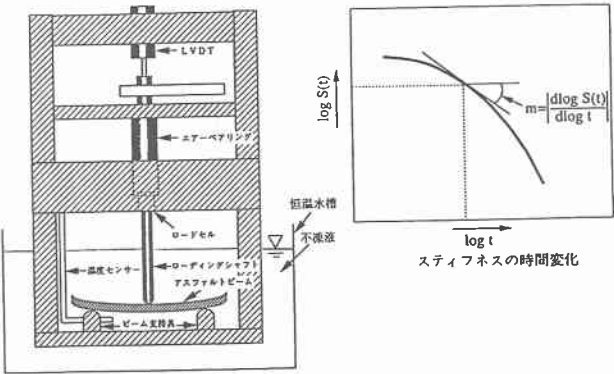


図-2 BBR 試験^{1) 2) 3)}

なお、BBR 試験装置の測定範囲は S 値が 30MPa～1GPa であるが、本研究ではアスファルトよりも硬い材料についても試験が可能になるようにソフトウェアに一部改良を加えている。

表－3 BBR 試験の評価条件と基準値（AASHTO 規格）

供試体の劣化状態	試 験 温 度	対象時間	評価項目	基 準 値	備 考
PAV 後	設計最低温度 + 10℃*	60 秒	S 値(MPa)	300 MPa 以下	* + 10℃としているのは時間温度換算則を適用するため
			m 値	0.3 以上	

4. 試験内容

(1) 使用材料と配合

アスファルトマスチックに使用した材料は 4 種類のアスファルト、粘度調整剤、石粉、添加材、およびガラス繊維とし、表面保護層用マスチックを対象として試験を行った。表－4 に使用したアスファルトの性状を表－5 にアスファルトマスチックの配合を示す。

なお、配合は吹き付け工法を前提とした施工性を考慮して 190℃における粘度が 5500cps 程度となるとき配合とした。その結果、改質アスファルト A が他の配合に比べてアスファルト量が 62%と多くなった。

表－4 使用したアスファルトの性状表

アスファルト名	針入度*	軟化点(℃)
St. As. 80-100	86	46.0
St. As. 100-120	109	44.0
改質アスファルト A (センプロン系)	64	59.5
改質アスファルト B (SBS 系)	101	89.0

表－5 各アスファルトマスチックの配合（重量：％）

材料名	St. As. 80-100	St. As. 100-120	改質アスファルト A (センプロン系)	改質アスファルト B (SBS 系)
アスファルト + 粘度調整剤	44	44	62	44
石粉	45	45	27	45
添加材	9.7	9.7	9.7	9.7
ガラス繊維	1.3	1.3	1.3	1.3

* 1/10 mm, 25℃, 100g 5 秒のときの値

(2) 試験条件

試験はバインダー4 種類、それらを用いたマスチック 4 種類の計 8 試料について DSR 試験と BBR 試験を対象にして行った。バインダーおよびマスチックの DSR 試験条件を表－6 に、BBR 試験条件を表－7 に示す。

表－6 DSR 試験条件

項 目	試 験 条 件
供試体の劣化状態	オリジナル
円盤治具直径	25 mm
供試体厚	1 mm
制御モード	ひずみ制御
測定周波数	10 rad/sec
測定温度(℃)	48 ～ 84

表－7 BBR 試験条件

項 目	試 験 条 件
供試体の劣化状況	オリジナル(劣化無し)
供試体寸法 (mm)	厚さ： 6.35±0.05 幅： 12.70±0.05 長さ： 127±0.5
載荷重 (mN)	980±50mN
試験温度 (℃)	－10, (－15), －20, －30 *()内は改質 A, B について適用
試験時間	240 秒間
供試体作製から試験終了までの時間	4 時間以内

5. 試験結果および考察

(1) DSR 試験と針入度, 軟化点試験との関係

図-3 は本試験で対象としたバインダーの複素弾性率 G^* (60℃) と針入度の関係を示したものである。針入度が増加するほど複素弾性率 G^* は減少する傾向が見られる。

また, 図-4 は本試験で対象としたバインダーの位相角 δ と軟化点の関係を示したものである。軟化点が増加するほど位相角 δ は減少する結果となっている。

既往の研究報告によれば, DSR 試験で得られた動的性状である複素弾性率 G^* は静的性状である 25℃ 針入度と, 位相角 δ は軟化点とある程度の相関があるとされている⁴⁾ が, 今回の試験ではデータ数が少なく限られた範囲での結果であるため, 改質アスファルトを含めて関係付けるには, より詳細な検討が必要と考えられる。

なお, 25℃ で試験を行う針入度試験や一定の柔らかさに到達する温度のみを測定する軟化点試験に比べて DSR 試験は幅広い温度域で粘弾性を測定できるため, バインダーの粘弾性状をより力学的に評価できる試験法といえる。

(2) 供用温度域のうち高温側における

マスキックの粘弾性状

図-5 は DSR 試験から得られた $G^*/\sin \delta$ と温度の関係を保インダーの値もあわせて図示したものである。

$G^*/\sin \delta$ は流動性と相関があるとされており, $G^*/\sin \delta$ が大きいほど, 道路舗装では流動しにくい材料と言われている²⁾。

今回の試験で対象とした 4 種類のマスキックでは改質 B のマスキックが最も流動に対する抵抗性が大きく, 100-120 マスキックが最も流動しやすい材料と判断される。

一方, 図-6 は DSR 試験から得られた PAV 後のバインダーの $G^*\sin \delta$ と温度の関係を図示したものである。

SHRP では道路用の評価基準として PAV 後のバインダーの常温付近における $G^*\sin \delta$ が疲労ひび割れと相関があるとされており, $G^*\sin \delta$ が大きいほど, 疲労ひび割れが生じやすいことになる²⁾。

表面保護層用マスキックについては静的な流動抵抗性を含めてさらに詳細な検討が必要と考えられる。

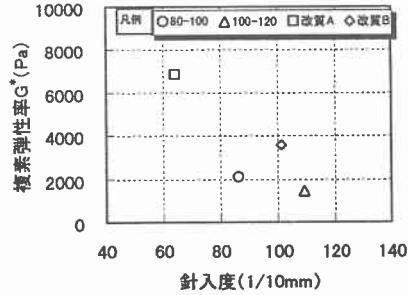


図-3 バインダーの針入度と複素弾性率 G^* (60℃) との関係

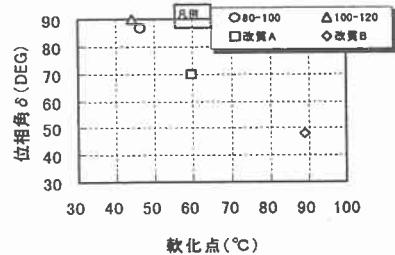


図-4 バインダーの軟化点と位相角 δ (60℃) との関係

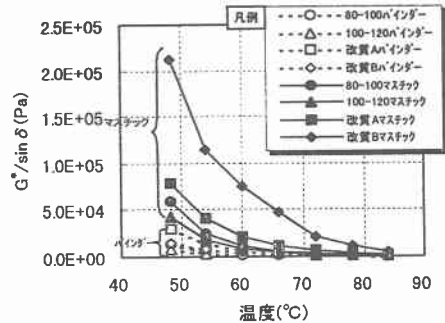


図-5 バインダーおよびマスキックの $G^*/\sin \delta$ の比較

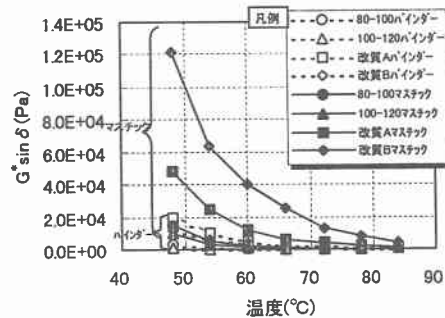


図-6 バインダーおよびマスキックの $G^*\sin \delta$ の比較

(3) 供用温度域のうち低温側におけるマスチックの粘弾性状

BBR 試験から得られたバインダーとマスチックのスティフネス S 値と温度との関係を図-7に、 m 値と温度との関係を図-8に示す。

温度応力ならびに地震時における抵抗性は前述したように S 値が小さく、 m 値が大きいものほど大きいと考えられる。本試験で対象とした4種類のマスチックでは、改質 A および改質 B マスチックが他のマスチックに比べて低温ひび割れに対する抵抗性が大きい材料と判断される。

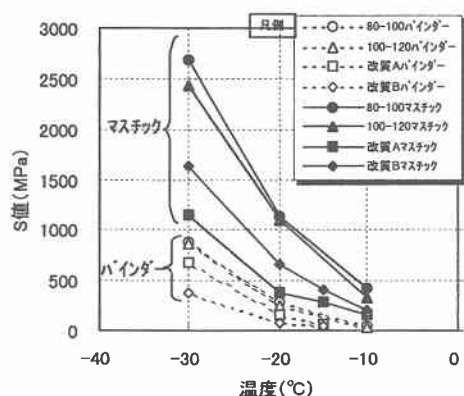


図-7 S 値と温度の関係

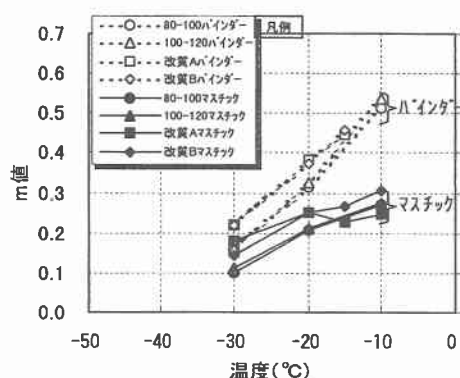


図-8 m 値と温度の関係

(4) バインダーとマスチックにおける 複素弾性率 G^* および位相角 δ の比較

図-9、図-10は、DSR 試験から得られた複素弾性率 G^* 、位相角 δ についてバインダーとマスチックで比較したものである。

図-9より、バインダーとマスチックの複素弾性率 G^* は良い相関性があり、マスチックの G^* はバインダーの G^* に比べて2.5~10 倍程度大きくなる結果となった。バインダーの複素弾性率 G^* とマスチックの複素弾性率 G^* は比例の関係にあることから、バインダーの G^* からマスチックの G^* を推定することが可能と考えられる。

一方、図-10 より位相角 δ についてはバインダーが80-100、100-120 の場合に比べて改質 B の場合は弾性の要素が卓越しているものと判断される。

なお、改質 B の場合は他のバインダーと異なった傾向を示しており、このバインダー特有の性状を示しているものと考えられる。改質 B を除く他のバインダー3種類についてはバインダーの位相角とマスチックの位相角はほぼ等しい関係にあり、バインダーの位相角からマスチックの位相角を概ね推定できると考えられる。

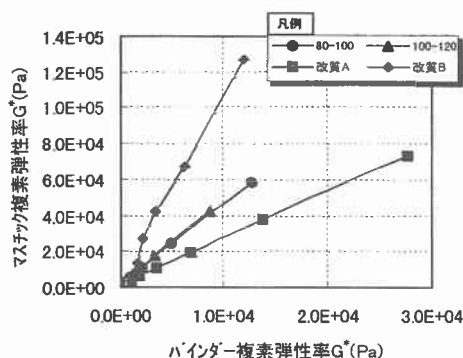


図-9 複素弾性率 G^* の比較

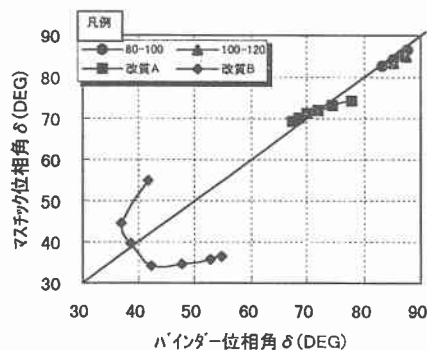


図-10 位相角 δ の比較

(5) バインダーとマスチックにおけるS値, m値の比較

BBR 試験から得られた S 値, m 値について, バインダーとマスチックの関係を比較した結果を図-11, 12に示す。これらより, バインダーとマスチックは S 値, m 値ともに相関があることが認められ, バインダーの S 値および m 値からマスチックの S 値, m 値を推定することが可能と考えられる。m 値については低温域における感温性を示す指標と考えられ, DSR 試験結果も考慮することによりマスチックの感温性を評価できるものと考えられる。

なお, マスチックの S 値は SHRP 試験の測定範囲である 1 GPa を越えているが, これはマスチックのたわみ量が小さいことによるものと考えられ, たわみ量が大きくなるように供試体断面を小さくしたり, 載荷時間を長くすることで対処可能と考えられる。載荷時間を長くする方法については, 新しいソフトウェアを導入して現在検討中である。今後は水工用としてマスチックを評価する場合の S 値, m 値の範囲を設定することが重要と考えられる。

6. まとめ

本報告では, バインダーの力学的性状評価に使用される SHRP バインダー試験法をマスチックに適用し, その力学的性状評価を試みた。その結果, 以下に示す知見が得られた。

- ・ソフトウェアや試験方法など一部改良を加えることにより SHRP バインダー試験法をアスファルトマスチックに適用することが可能である。
- ・SHRP バインダー試験法をマスチックに適用することにより合理的な材料設計が可能になる。

7. おわりに

今回, 実施した試験はアスファルト表面遮水工などの水工用アスファルトを対象とした一連の研究の一環として実施したものであるが, 表面保護層用マスチックに SHRP バインダー試験法を適用することが十分可能であるという結果が得られた。その適用にあたっては今後ともソフトウェアや試験方法に改良を加え, さらに合理的な手法を確立したいと考えている。また, アスファルトの種類や配合を変化させた試験を行い, バインダーの性状からマスチックの性状を推定する手法を確立し, さらにはアスファルト混合物の性状をも評価できる手法の確立に向けて検討を進めていきたい。最後に本研究を実施するにあたり, 多大なご指導をいただいた北海道大学菅原照雄名誉教授をはじめ, アスファルト試験および設計に携っている関係各位に厚くお礼申し上げます。

(参考文献)

- 1) 菅原照雄: SHRP のアスファルト研究について, ペーパーテック研究会講演資料, 1994 年 3 月 10 日。
- 2) 社) 日本道路協会: 舗装試験法便覧別冊 (暫定試験法), 1996 年 10 月。
- 3) American Association of State Highway and Transportation Officials: June 1997 Interim Edition-AASHTO Provisional Standards, 1997。
- 4) 新田弘之他: SUPERPAVE バインダー試験による国内アスファルトの性状調査, 舗装 31-7, pp3-7, 1996 年 7 月。

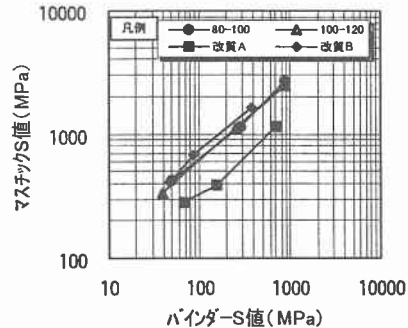


図-11 バインダーのS値とマスチックのm値の比較

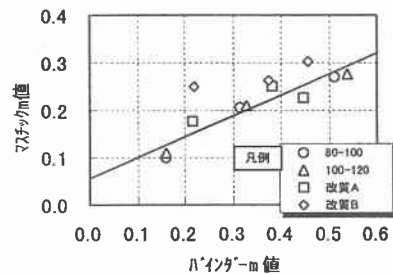


図-12 バインダーのm値とマスチックのm値の比較