

### 9.3 舗装路面の性能評価法の高度化に関する研究（2）

研究予算：運営費交付金（道路整備勘定）

研究期間：平 18～平 22

担当チーム：材料地盤研究グループ（新材料）

研究担当者：西崎到、新田弘之、加藤祐哉

#### 【要旨】

舗装に対するニーズの多様化とともに、アスファルトも様々な特性を有するものが開発されている。また、舗装の性能規定化が進みつつある一方で、アスファルトの評価手法は従来からあまり変わっておらず、多様化する材料の性能を適切に評価しているとは言い難い。このため、多様なアスファルトに対応した舗装性能に基づく評価方法が必要となっている。本研究では、新たな舗装用バインダの性能評価手法の提案を目的として検討を行った。

本研究においては、舗装用バインダの中でも多様化、高性能化が著しいポリマー改質アスファルトの性能評価手法を中心に研究を行った。ポリマー改質アスファルトの高温から低温までの性状把握方法の検討、劣化に関する評価方法の検討、水による剥離抵抗性を評価するための新たな評価試験についての検討を行った。その結果、高温性状把握のためのアスファルトのせん断試験、および低温性状把握のためのアスファルトの曲げ試験、供用中の劣化の評価手法としての暴露試験、耐水性評価手法としての珪砂を利用したはく離評価試験のなどを開発し、基準値案を作成した。

キーワード：ポリマー改質アスファルト、せん断試験、曲げ試験、暴露試験、珪砂、はく離試験

#### 1. はじめに

高耐久舗装や排水性舗装など、舗装に対するニーズが多様化すると共に、様々な性能を有するポリマー改質アスファルトが開発されるなど近年の舗装用アスファルトは多様化している。また、舗装の性能規定化が進みつつある一方で、アスファルトの評価方法は従来からあまり

変わっておらず、多様化する材料の性能を適切に評価しているとは言い難い。そこで、多様なアスファルトに対応した舗装性能に基づく評価方法が必要となっている。

本研究では、多様化する舗装用バインダに対応する性能評価手法の提案を目的として検討を行っている。表-1 にポリマー改質アスファルトに求められる主な性能に対

表-1 ポリマー改質アスファルトの性能評価の現状と課題、検討項目

性能項目	規格値の設定されている試験方法	課題、検討項目
耐流動性 (高温性状)	軟化点	代替評価手法が必要→平成 18, 19, 21, 22, アスファルトのせん断試験検討 その他、粘弾性指標等の評価手法が必要→平成 20, 21, 22, DSR 条件検討
	60℃粘度（平成 18 年廃止）、現在規格なし	
耐疲労性 (常温性状)	針入度 (25℃)	III 型・H 型でテナシティが廃止、改良または代替評価手法が必要
	タフネス・テナシティ (25℃)	
耐低温ひび割れ性 (低温性状)	伸度 (7, 15℃)	その他、強度・粘弾性指標等の評価手法が必要→平成 20, DSR 条件検討 簡易な方法が必要→平成 21, 22, アスファルトの曲げ試験検討
	フラス脆化点	
劣化特性	混合物製造時 TFOT (163℃)	RIFOT の方がポリマー改質アスファルトに適するとされるが、試験条件の検討が必要→平成 19 検討 新たな評価手法が必要→平成 19, 20, 紫外線照射試験検討 →平成 21, 暴露供試体の性状把握
	供用時 現在規格なし	
磨耗抵抗性	フラス脆化点	
骨材飛散抵抗性	低温時 曲げ (-20℃)	耐低温ひび割れ性評価への適用性も検討（平成 19） テナシティの一部廃止、改良または代替手法が必要 テナシティの一部廃止、改良または代替手法が必要
	低温時 タフネス・テナシティ (25℃)	
	高温時 タフネス・テナシティ (25℃)	
耐水性 (水による剥離抵抗性)	粗骨材の剥離面積率	ポリマー改質アスファルトの分類を目的とする場合、標準骨材等の統一基準が必要→平成 19, 20, スライドガラス検討 →平成 21, 22, 珪砂を用いた評価法検討

表-2 各性能項目に関連すると考えられるバインダ試験方法

性能項目		試験方法	規格等	概要
耐流動性 (高温性状)		DSR	AASHTO など	繰返しせん断载荷による流動特性評価・粘性と弾性の判断
		スライディングプレートレオメータ	研究段階 <sup>1)</sup>	せん断载荷による流動特性評価
		OSFR	研究段階 <sup>2)</sup>	繰返し圧縮・引張载荷による流動特性評価・粘性と弾性の判断
耐疲労性 (常温性状)		DSR	AASHTO など	繰返しせん断载荷による流動特性評価・粘性と弾性の判断
		DSR による疲労	研究段階 <sup>3)</sup>	DSR による疲労破壊試験
		スライディングプレートレオメータ	研究段階 <sup>1)</sup>	せん断载荷による流動特性評価
		弾性回復	AASHTO など	伸度試験機による永久変形抵抗性に関係する変形回復力評価
耐低温ひび割れ性 (低温性状)		DSR	AASHTO など	繰返しせん断载荷による流動特性評価・粘性と弾性の判断
		BBR	ASTM など	3点曲げ载荷による流動特性評価・粘性と弾性の判断
		DTT	AASHTO など	引張载荷による強度特性評価
		引張	EN など	引張载荷による強度特性評価
		フォースダクティリティ	AASHTO など	伸度試験機による引張強度特性評価
		スライディングプレートレオメータ	研究段階 <sup>1)</sup>	せん断試験による流動特性評価
		FIT	研究段階	ノッチ入りビームを用いた3点曲げ载荷による強度特性評価・流動特性評価
劣化特性	製造時	RFT	EN など	回転フラスコによる加熱劣化試験
		改良 RIFOT	研究段階	RIFOT ガラス容器内に金属棒を入れることにより改良
		RCAT	prEN など	酸素又は空気を送り込める回転ステンレスシリンダーによる劣化試験
	製造時	PAV	AASHTO など	加圧加熱による劣化試験
		紫外線劣化	研究段階 <sup>4)5)</sup>	
骨材飛散抵抗性		振り子式粘着力	EN など	衝撃荷重による付着力評価
		ピアリット粘着性	JEAAT (日本アスファルト乳剤協会) など	衝撃荷重による付着力評価
		PATTI	研究段階 <sup>6)</sup>	ブルーフ式引張载荷による付着力評価・水による剥離評価
耐水性 (水による剥離抵抗性)		回転容器による剥離	EN など	水とガラス棒の入ったガラス容器を回転させる骨材剥離試験
		沸騰水による剥離	EN など	沸騰水による剥離試験
		超音波による剥離	研究段階	超音波による剥離試験
		PATTI	研究段階 <sup>6)</sup>	ブルーフ式引張载荷による付着力評価・水による剥離評価

する現在の評価項目と課題、そして本研究において実施した検討項目を示す。性能評価手法の改良や代替評価手法の開発が必要な項目が多いことが分かる。

なお、本研究は日本改質アスファルト協会との共同研究により実施した。

## 2. ポリマー改質アスファルトの性能評価に関する現状の整理

ポリマー改質アスファルトは、従来のストレートアスファルトに熱可塑性エラストマーなどの改質材を添加し、アスファルト混合物の耐流動性や耐磨耗性などの性能向上を目指したもので、I型、II型、III型、H型などの種類がある。

現在のポリマー改質アスファルトの性能評価に関する主な課題は表-1 に示した通りである。性能評価手法の改良や代替評価手法の開発が必要な項目が多いことが分かる。新しい性能評価方法の検討を始めるにあたり、まず日本・米国・欧州の文献等を調査し、ポリマー改質アスファルトの性能評価手法に関する情報の収集・整理を行った。結果を表-2 に示す。これらの情報を考慮して、新たな性能評価試験の検討を行うこととした。

## 3. 使用材料

各検討には、表-3 に示すバインダを使用した。ストレートアスファルトは、PDA (プロパン脱離アスファルト) を含むもの (Si) と含まないもの (Ss) の2種類とした。ポリマー改質アスファルトは、これらの2つのストレートアスファルトをそれぞれベースアスファルトにして製造したII型、III型、H型の6種類を使用した。

表-3 試験に用いたバインダ

ベースアスファルト	記号	種別	改質材添加率 (%)
Si		ストレートアスファルト 60/80 (PDA)	0.0
	IIi	ポリマー改質アスファルト II 型(PDA)	4.6
	IIIi	ポリマー改質アスファルト III 型(PDA)	6.0
	Hi	ポリマー改質アスファルト H 型(PDA)	8.0
Ss		ストレートアスファルト 60/80	0.0
	IIs	ポリマー改質アスファルト II 型	5.0
	IIIs	ポリマー改質アスファルト III 型	6.7
	Hs	ポリマー改質アスファルト H 型	8.5

## 4. アスファルトのせん断試験による高温性状評価手法の検討

### 4.1 概要

ポリマー改質アスファルトでは 60°C 粘度の測定が困

難であるという理由から、平成18年に60℃粘度が品質項目から削除されて以降、ポリマー改質アスファルトの耐流動性(高温性状)の評価項目は軟化点のみとなっている。そのため、60℃粘度試験に代わる高温時の粘弾性評価手法が必要である。そのような手法としてDSR(ダイナミックシアレオメータ)試験があり、高温時の耐流動性評価手法として優れていることがわかっている<sup>7)</sup>。しかし、試験機が高価であり、あまり普及していないことから、本研究ではより一般的な力学試験機でも評価可能な方法として、アスファルトのせん断試験を検討した。

#### 4.2 アスファルトのせん断試験方法

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<sup>1)</sup>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。

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

- 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 (=3.0×10<sup>3</sup>mm<sup>2</sup>)
  - $x$  : 変位量 (mm)

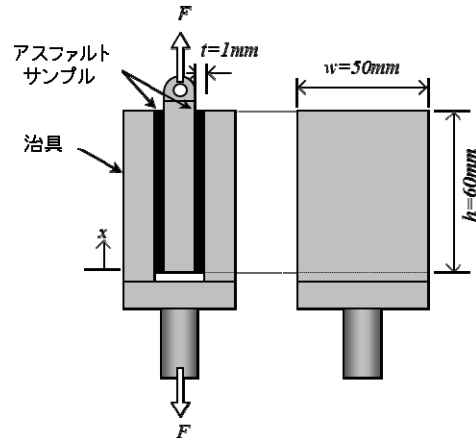


図-1 せん断試験概要



写真-1 アスファルトのせん断試験の様子

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、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。

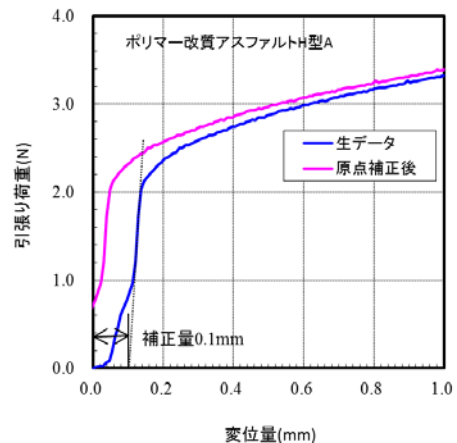


図-2 原点補正の例

### 4.3 検討方法

#### (1)試験条件の検討

試験条件として、せん断速度や評価するひずみ量など、またデータの処理方法などを定める必要があったため、高温性状をよく評価できる試験条件の検討を行った。

#### (2)粘弾性状の検討

せん断試験から得られるデータの特徴を把握し、高温性状の評価に有効であるかどうかを判断するために、粘弾性状を表現できるかどうかについて検討を行った。

#### (3)せん断試験結果と耐流動性の相関性の検討

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。

#### (4)市販ポリマー改質アスファルトの性状

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。

#### (5)基準値の検討

(3)(4)の検討を踏まえ、せん断試験における基準値について検討を行った。

### 4.4 結果

#### (1)試験条件の検討

##### 1)せん断速度

試験条件の検討のために、せん断速度を変えて測定を行った。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  $0.5 \text{ min}^{-1}$  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的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、 $5.0 \text{ mm/min}$  ( $5.0 \text{ min}^{-1}$ )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<sup>9)</sup>結果と類似しているため、これを参考に特性やデー

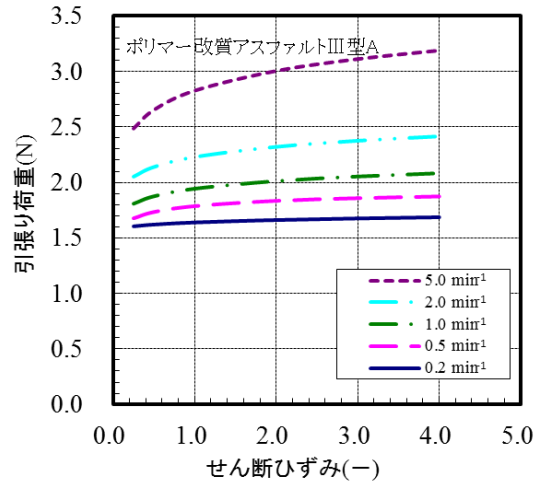


図-3 せん断速度による荷重曲線の違い

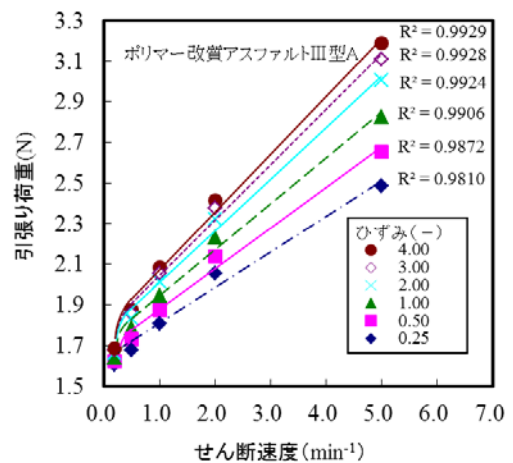


図-4 せん断速度の影響

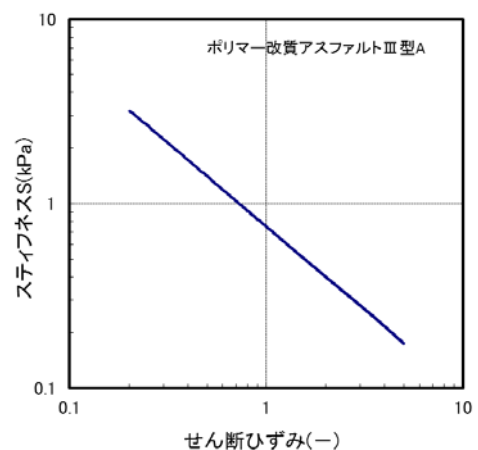


図-5 スティフネスの変化の例

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、同様にして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。

$$|m| = B + 2C \log x \quad (3)$$

(2)粘弾性状の検討

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 $\delta$ は測定周波数によって数値が変わる。そこでSと $G^*$ 、mと $\delta$ の相関関係を調べた。Sとmは変位量0.25mm~4mmの範囲、 $G^*$ と $\delta$ は0.4rad/s~10rad/sの範囲でそれぞれ組み合わせて相関性を求めた結果、変位量0.25~1mm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 $\delta$ 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、定み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。

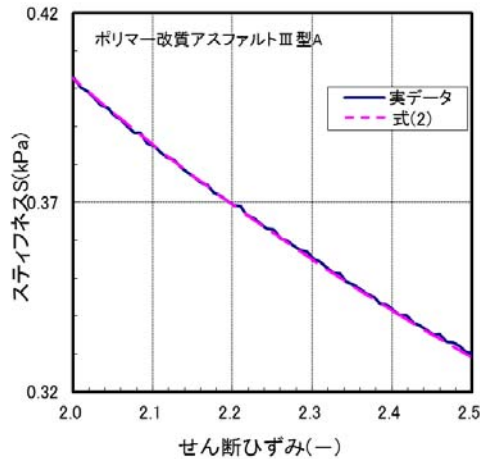


図-6 スティフネスの実データと式(2)による算出データ

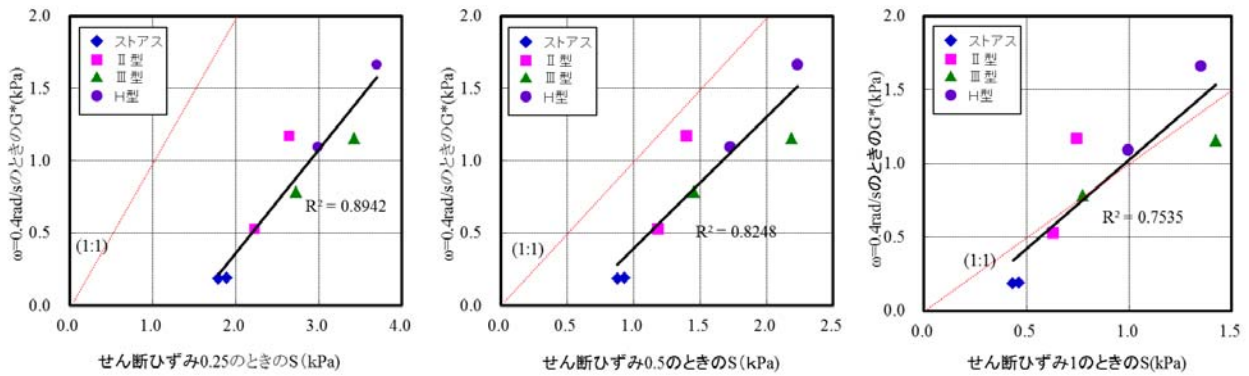


図-7 スティフネスSと複素弾性率 $G^*$ の関係

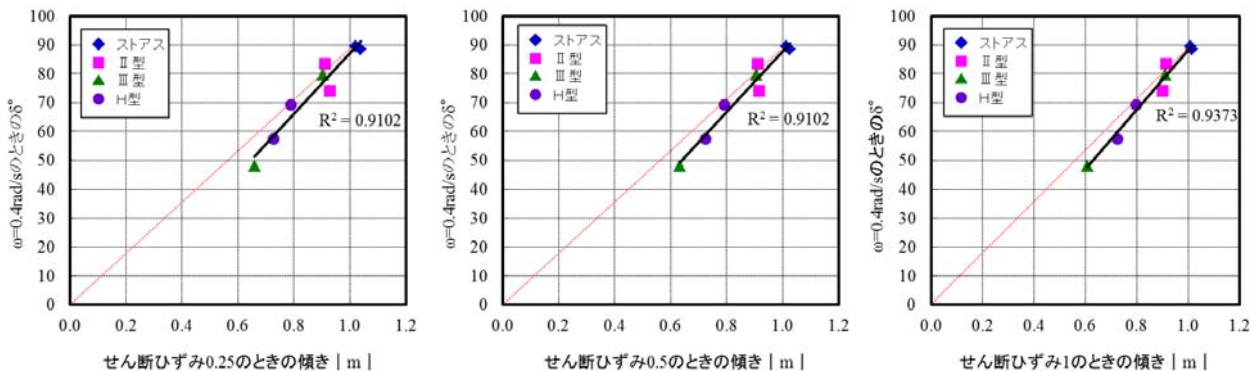


図-8 傾きmと位相差 $\delta$ の関係

(3)せん断試験結果と耐流動性の関係

図-9 にスティフネス S と動的安定度 DS との関係、図-10 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、ここではひずみ 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ので、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。

(4)市販ポリマー改質アスファルトの性状

図-11 にひずみ 0.25, 0.5, 1.0 での S と m の分布を示す。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きた。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

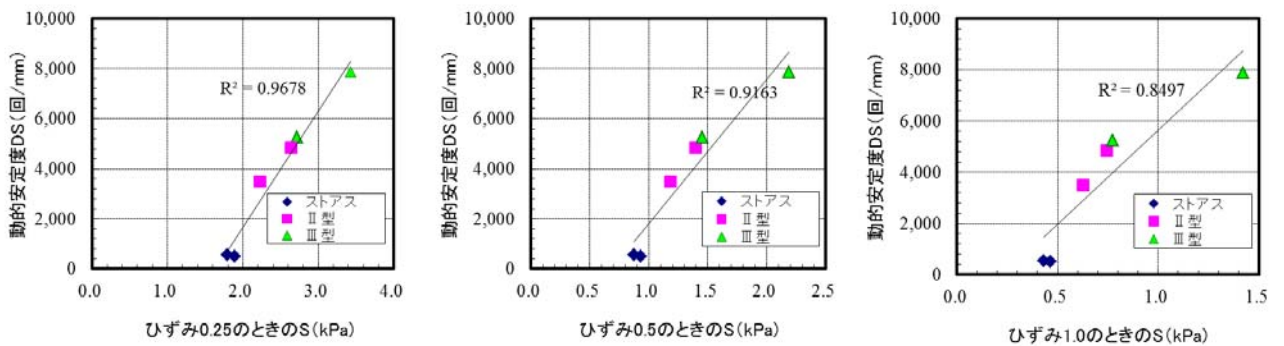


図-9 スティフネス S と動的安定度 DS の関係

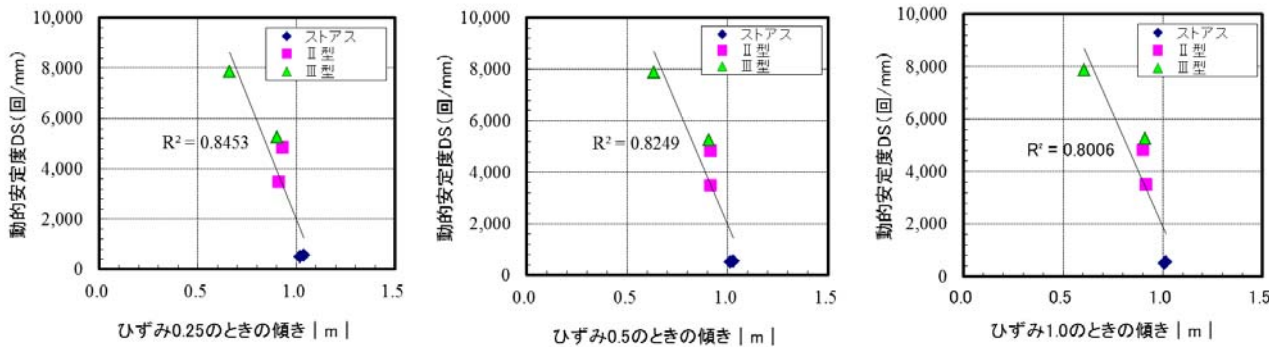


図-10 傾き m と動的安定度 DS の関係

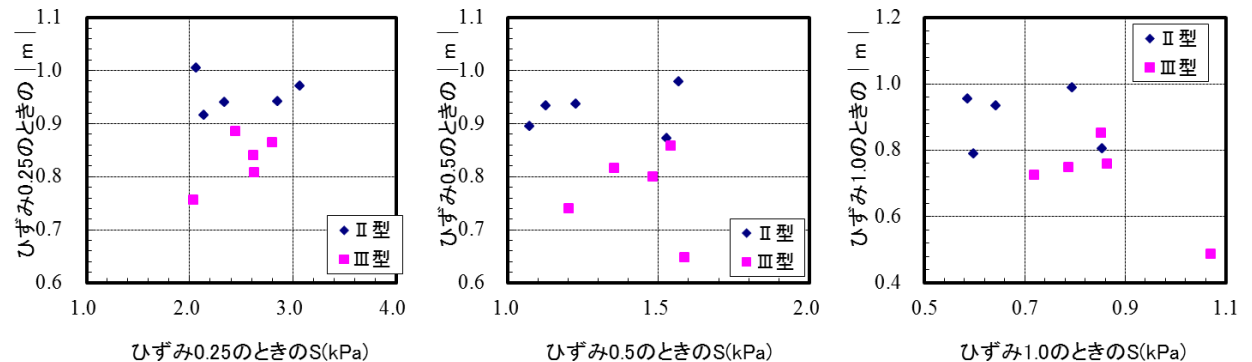


図-11 市販ポリマー改質アスファルトにおけるせん断試験結果の分布

ードの区別ができるものと考えられ、基準値も求められるものと考えられた。

(4)基準値の検討

せん断試験においては、ひずみ量により S や m が変化するため、ひずみ量を定めた上で基準値を求める必要がある。図-9、10 では、どのひずみ量でも DS との相関が得られ、図-11 ではひずみ量 1.0 のときアスファルトのグレードの区別がしやすい傾向が見られた。このことより、ひずみ量 1.0 のときの S、m で基準値を求めるとよいと考えられた。求めた基準値案を表-4 に示す。

表-4 せん断試験による基準値案

ポリマー改質アスファルトグレード	せん断試験値 (60℃, ひずみ量1.0)	
	S (kPa)	m 値 (-)
II型	≥0.55	<1.0
III型	≥0.70	<0.9

5. DSR による常温から低温での性状評価手法の検討

5.1 概要

DSR は、様々な粘弾性物質の性状を測定できる試験機であり、アスファルトにおいても高温域 (60℃付近) での測定を中心に測定事例が多く、耐流動性の評価については有効性が確認されている。DSR は測定温度域が非常に広く、0℃以下での測定も可能である装置が多い。アスファルトにおいては、常温から低温にかけては疲労ひび割れや低温ひび割れなどの損傷が発生しやすい温度域でありこれらの温度域での性状把握は重要である。このため、DSR によりこの温度域での測定条件や測定限界などを明らかにするとともに、他の試験との比較のために、データの蓄積を行った。

5.2 試験方法

DSR では、図-12 に示すように、円筒供試体で回転方向に一定周波数で振動を与え、応力やひずみを計測する。本研究では、常温から低温にかけての測定でありアスファルトが粘性特性をあまり持たない領域であるため、応力とひずみを考慮して、基本的に 8mm φ × 2mm の供試体で測定した。

試験は、線形粘弾性領域で測定する必要があるため、まず、ひずみを 0.01~30% に変えて、対象温度域 (-10~

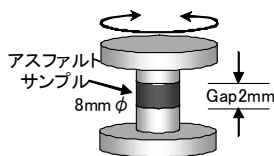


図-12 常温から低温での DSR アスファルトサンプル

20℃) での線形粘弾性領域を確認した。また、供試体の厚さ (Gap) の影響も確認した。これらの検討により、試験条件を求めた。

5.3 試験結果

ひずみを変化させて線形粘弾性領域を求めた結果、線形限界ひずみは、20℃で 2.5% 付近、10℃で 1.4~2.2% の範囲、0℃で 0.9~1.8% の範囲、-10℃で 0.5~1.9% の範囲でとなった。これらの結果を考慮して、20~-10℃の共通でのひずみの条件を表-5 のように設定した。

表-5 常温から低温での共通試験条件

項目	条件
プレート径	8mm
プレート間 GAP	2mm
測定ひずみ	0.1%
測定周波数	10rad/s
測定温度	20~-10℃

設定した条件で、各アスファルトの性状を測定した。Si をベースにしたアスファルトでの測定例を図-13、14 に示す。DSR は、動的粘弾性を測定するもので、複素弾性率 G\* が得られるほか、粘性・弾性の程度を把握できる損失正接 tan δ も同時に得られる。改質材添加率が高い

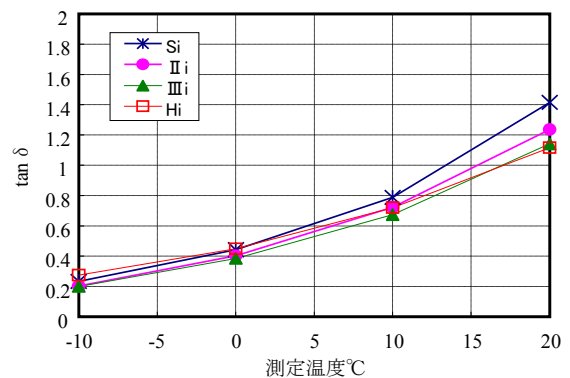


図-13 低温域 DSR の損失正接 tan δ の結果の例

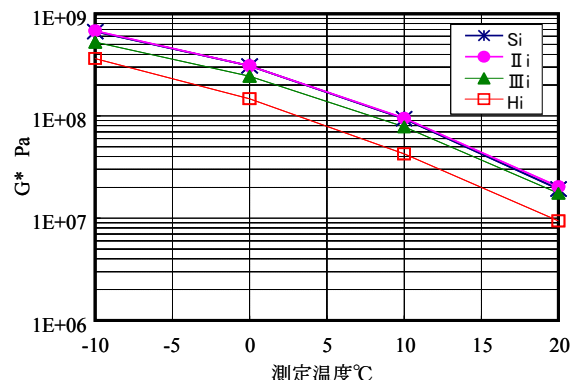


図-14 低温域 DSR の複素弾性率 G\* の結果の例

Hi では、低温において G\*が小さいなど、低温での特性が現れている。なお、供試体の厚さ (Gap) を 0.5、1.0、2.0mm として Gap の影響の検討も行ったが、大きな影響は見られなかった。

## 6. 耐低温ひび割れ (低温性状) 評価手法の検討

### 6.1 概要

現在のポリマー改質アスファルトの耐低温ひび割れ性 (低温性状) の評価は、フラース脆化点で行われている。フラース脆化点試験は温度を降下させながら曲げ荷重を行った場合のひび割れが生じる最初の温度 (脆化点) を測定するものであるが、操作が複雑であるため試験に熟練を要することや、強度特性の指標がないなどの課題がある。低温性状の評価試験としては、他にバイндаの曲げ試験 (図-15) や DTT (ダイレクトテンション試験、図-16) がある。両者とも荷重と変位を評価する試験であり得られるデータがフラース脆化点試験に比べて多く、耐低温ひび割れ性の評価にも適用できる可能性が期待できる。そこで、バイндаの曲げ試験及び DTT の耐低温ひび割れ性評価への適用性を検討した。

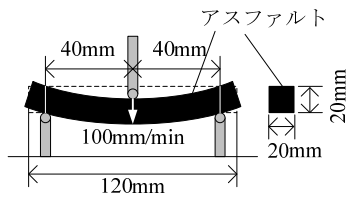


図-15 バィндаの曲げ試験概要

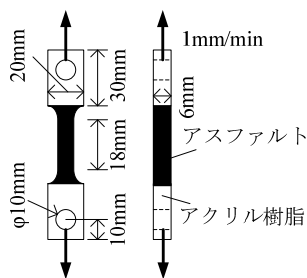


図-16 DTT 概要

## 6.2 バィндаの曲げ試験

### 6.2.1 試験方法

試験は、舗装調査・試験法便覧第2分冊 A063T に従って実施した。供試体数は1 ケース当たり 3 本とした。サンプルは、表-2 のものに追加して、一般に販売されている 17 の市販品、及び PDA (プロパン脱歴アスファルト) を添加したアスファルトも使用した。なお、PDA は硬く脆い性質を持ち、脆化点を変化させるために添加した。

曲げ試験によって得られる供試体の破断率を式(4)により求めた。また、最大曲げ応力  $\sigma$ 、最大曲げひずみ  $\varepsilon$

より、曲げ仕事量および曲げスティフネスを(7)(8)により求めた。

$$\text{破断率 (\%)} = \frac{\text{破断した供試体の本数}}{\text{供試体の本数}} \times 100 \quad (4)$$

$$\sigma = \frac{3L}{2bh^2} \times P \quad (5)$$

$$\varepsilon = \frac{6h}{L^2} \times d \quad (6)$$

$$\text{曲げ仕事量} = \sigma \times \varepsilon \quad (7)$$

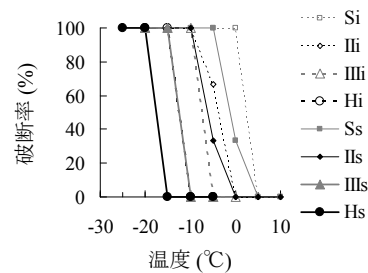
$$\text{曲げスティフネス} = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (8)$$

ここに、  
 $\sigma$  : 最大曲げ応力 (MPa)  
 $\varepsilon$  : 最大曲げひずみ荷重 ( $\times 10^6$ )  
 $b$  : 供試体の幅 (mm)  
 $h$  : 供試体の厚さ (mm)  
 $L$  : 支点間長 (mm)  
 $P$  : 最大荷重 (N)  
 $d$  : 最大荷重時の変位量 (mm)

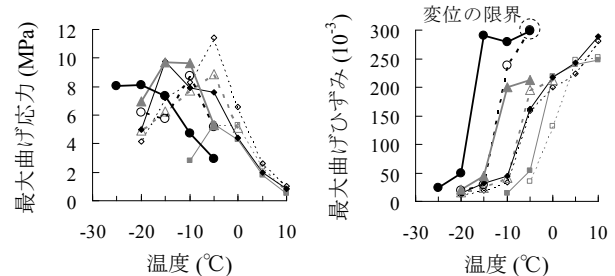
### 6.2.2 試験結果

#### (1) 温度の影響

載荷速度 100mm/min、試験温度 -25~10°C における曲げ

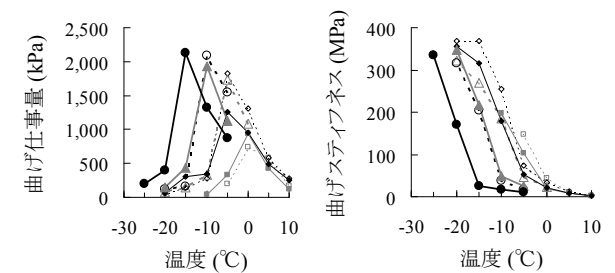


(a) 破断率



(b) 最大曲げ応力

(c) 最大曲げひずみ



(d) 曲げ仕事量

(e) 曲げスティフネス

図-17 曲げ試験の結果 (100mm/min, -25~10°C)



試験の結果を図-17 に示す。ここで、最大曲げひずみとは最大曲げ応力時のひずみである。図-17(a)より、例えばポリマー改質アスファルト Si の破断は 0~5°Cの間で生じることが分かった。破断の生じる温度を曲げ脆化点と定義し、例えば Si の場合は中間値の 2.5°Cを曲げ脆化点とすることにした。また、H 型の曲げひずみは-5°Cで試験装置の限界の  $300 \times 10^3$  に達してしまっただ。そのため、この点における実際の試験値は、若干異なると考えられた。

(2) 荷速度の影響

ポリマー改質アスファルト Hi について、試験温度を-15°Cとし、荷速度 5~100mm/min の範囲で変化させて試験を行った。その結果、荷速度の変化は測定結果に大きな影響を与えないことが分かった。

6.2.3 フラス脆化点との比較

フラス脆化点を図-18、フラス脆化点と曲げ脆化点の関係を図-19 に示す。曲げ脆化点はフラス脆化点に比べて 10°C程度高く、両者の間には比較的良い相関があることが分かった ( $R^2=0.83$ )。

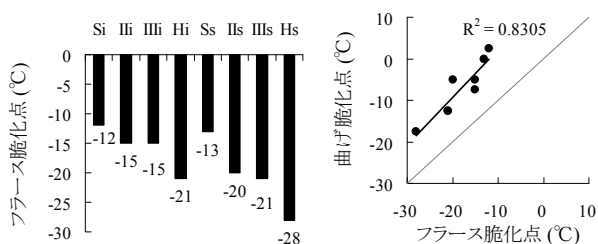


図-18 フラス脆化点

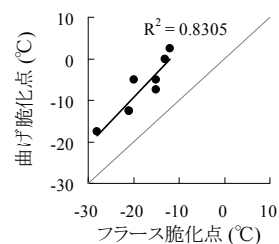
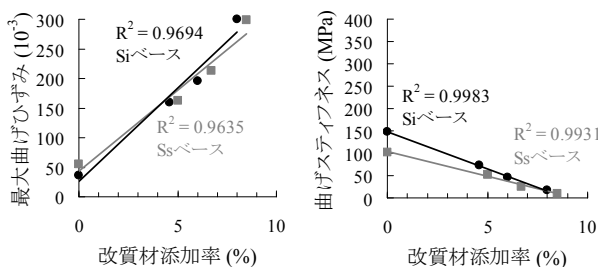


図-19 フラス脆化点と曲げ脆化点の関係

6.2.4 改質材添加率との関係

改質材添加率と曲げ試験値の関係を調査した結果、高い相関が得られたものは、試験温度 15°Cにおける最大曲げひずみ (図-20(a)) と曲げスティフネス (図-20(b)) で、いずれも  $R^2 > 0.95$  であった。Si ベース、Ss ベースをまとめて考慮しても、最大曲げひずみとの相関は  $R^2=0.96$ 、曲げスティフネスとの相関は  $R^2=0.92$  と高かった。従っ



(a) 最大曲げひずみ (b) 曲げスティフネス

図-20 改質材添加率との関係 (100mm/min, -5°C)

て、最大曲げひずみや曲げスティフネスで大まかなバインドの区分けができる可能性があると考えられた。

6.2.5 一定温度での曲げ試験の検討

曲げ試験によりストレートアスファルトからポリマー改質アスファルト H 型までを評価できる温度は-5°C付近であったので、試験温度を-5°Cと定めて各種アスファルトの曲げ試験を行った。曲げ試験からは、曲げ仕事量、曲げスティフネス等が得られるので、これらとフラス脆化点を比較した。結果を図-21, 22 に示す。

曲げ仕事量は、表-2 のアスファルト (ベースストアス Si および Ss) でも市販のアスファルトでもフラス脆化点との相関性が見られなかった。一方、曲げスティフネスでは、表-2 のアスファルトではかなり相関性が高いが、市販品では若干相関性が低くなっている。しかし、全体的には相関性が見られるため、曲げ試験を-5°Cで行うことで、フラス脆化点の代替となりうるということがわかった。

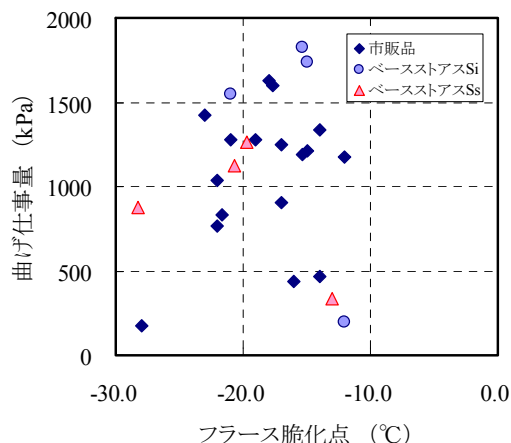


図-21 フラス脆化点と曲げ仕事量の関係

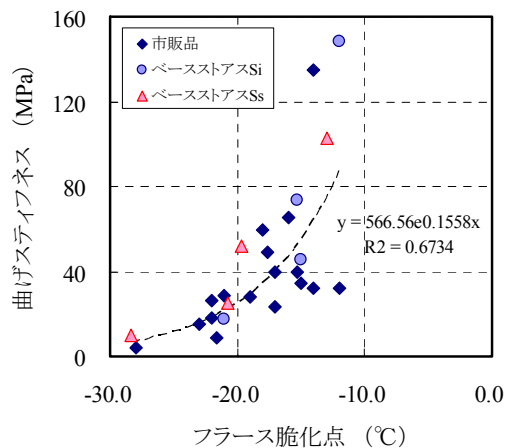


図-22 フラス脆化点と曲げスティフネスの関係

### 6.2.6 一定温度での曲げ試験の基準値の検討

表-2のアスファルト、市販のポリマー改質アスファルト、PDAを添加したストレートアスファルトの結果を図-23、24に示す。曲げ仕事量では、フラス脆化点との相関性は得られなかったが、曲げスティフネスでは相関性が認められた。曲げ試験において最大曲げ応力を示す状態として、脆性破壊した点で最大曲げ応力を示す場合と、破壊はせずに流動し応力が最大値を示した後に減少していく場合があった。曲げ仕事量では、この最大曲げ応力の状態の違いによってフラス脆化点との関係が異なったため、全体に相関が得られなかったと考えられる。

以上より、6.2.5で行った検討からバインダ範囲をさらに広げて試験を行っても、 $-5^{\circ}\text{C}$ で曲げスティフネスで評価を行えば、フラス脆化点の代替になるものと考えられた。

これまで特に低温ひずみ抵抗性を求められる場合には、フラス脆化点で $-12^{\circ}\text{C}$ 以下とされてきたことから、図-24の関係から、曲げスティフネス 150MPa 以下などの基準値が考えられた。

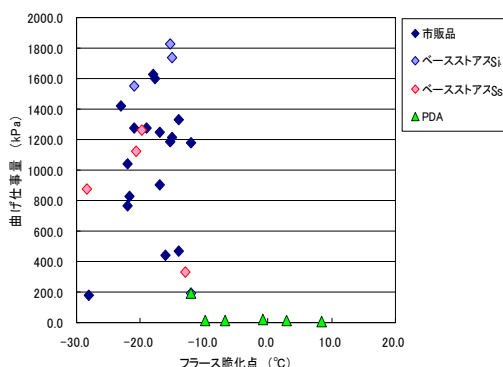


図-23 フラス脆化点と曲げ仕事量の関係

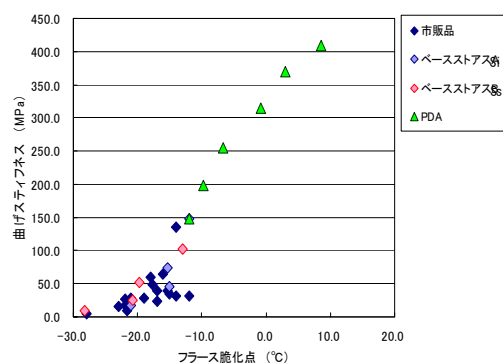


図-24 フラス脆化点と曲げスティフネスの関係

## 6.3 DTT (ダイレクトテンション試験)

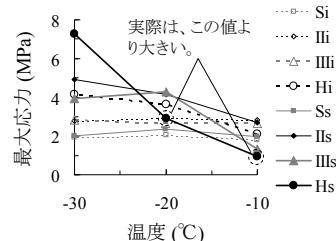
### 6.3.1 試験方法

試験は、舗装調査・試験法便覧第2分冊 A061Tに従っ

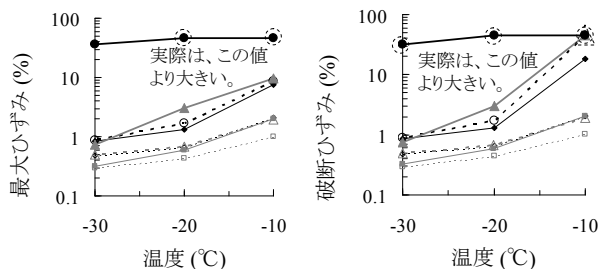
て、ひずみが45% (変位 15.2mm) となるまで実施した。供試体数は1ケース当たり5本とし、最大応力の大きな3本の平均値を試験値とした。

### 6.3.2 試験結果

試験温度 $-30\sim-10^{\circ}\text{C}$ における DTT の結果を図-25に示す。ここで、最大ひずみとは最大応力時のひずみである。



(a) 最大応力



(b) 最大ひずみ

(c) 破断ひずみ

図-25 DTT の結果

試験温度の低下に伴って最大応力は増加し、最大ひずみ及び破断ひずみは減少する傾向を示した。なお、IIIs、Hi、Hsは、 $-10^{\circ}\text{C}$ ではひずみが45%に達しても破断せず、Hsは $-30^{\circ}\text{C}$ でも破断しなかった (破断ひずみ45%以上)。また、Hsは $-20^{\circ}\text{C}$ 以上ではひずみが45%に達してもひずみ-応力曲線の応力ピークを示さなかった (最大ひずみ45%以上)。

### 6.3.3 フラス脆化点との比較

フラス脆化点と DTT 最大応力の関係を図-14(a)に示す。最大応力については全ての試料のフラス脆化点を下回る $-30^{\circ}\text{C}$ では高い相関を示し、全ての試料のフラス脆化点を上回る $-10^{\circ}\text{C}$ ではほとんど相関が認められなかった。従って、十分に低い温度における最大応力はフラス脆化点の代替となる可能性のあることが分かった。

フラス脆化点と DTT 最大ひずみの関係を図-26(b)に示す。今回得られたデータで評価すると、 $-10^{\circ}\text{C}$ が最も良い相関が得られた。また、 $-10^{\circ}\text{C}$ 、 $-20^{\circ}\text{C}$ におけるHsの最大ひずみは45%以上であることから、これを考慮しても $-10^{\circ}\text{C}$ では高い相関を維持できる可能性があると考えられる。一方、 $-30^{\circ}\text{C}$ より更に温度を低下させると、Hsの

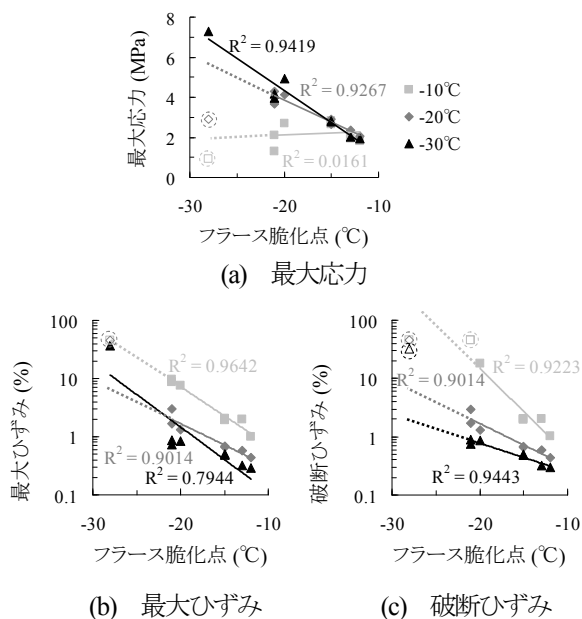


図-26 フラース脆化点との関係

最大ひずみは小さくなっていくものと考えられることから、十分に低い温度でも高い相関が得られると推測できる。しかし、試験温度が高い方が試験が容易に実施できるため、-10°Cにおける最大ひずみがフラース脆化点の代替としてより有望であると考えられる。

フラース脆化点と DTT 破断ひずみの関係を図-26(c)に示す。今回得られたデータで評価すると-30°Cが最も相関が高かったが、Hs の破断ひずみは 32.3%以上であった。従って、これを考慮すると相関は低くなるものと考えられ、-10°Cの方が相関が高くなるものと推測できる。十分に低い温度でも高い相関が得られると推測できるが、最大ひずみと同様に、-10°Cにおける破断ひずみがフラース脆化点の代替としてより有望であると考えられた。

## 7. 混合物製造時の劣化特性評価手法の検討

### 7.1 概要

アスファルト混合物製造時の加熱劣化特性を評価する試験には、TFOT (薄膜加熱試験) と RTFOT (回転式薄膜加熱試験) がある。現在、TFOT 後の質量変化率及び針入度残留率が評価項目として規定されているが、ポリマー改質アスファルトの場合は対流不良や表面膜生成の問題が生じ、RTFOT の方が適しているとの指摘がある<sup>2)</sup>。ただし、RTFOT の試験温度は 163°Cであり、改質 III 型や H 型はより高い温度で混合されることから、十分な劣化が得られていないとの指摘もある。そこで、本研究では RTFOT を改良した劣化試験方法の検討を行い、試験温度や試験時間を変化させた場合の影響を検討した。

## 7.2 試験方法

試験は、舗装調査・試験法便覧第 2 分冊 A054 により実施した。試験温度を 163, 180°C、試験時間を 85, 170min の計 4 ケースの試験を実施し、試験後の針入度及び軟化点に与える影響を調査した。針入度試験は舗装調査・試験法便覧第 2 分冊 A041、軟化点試験は A042 により実施した。

## 7.3 試験結果

RTFOT 後の針入度を図-27 に示す。概ね 163°C85min、180°C85min、163°C170min、180°C170min の順で針入度が小さくなる傾向を示した。即ち、試験温度を 163°Cから 180°Cに上昇させるよりも、試験時間を 85min から 170min に延長させた方が劣化の度合いが大きい結果となった。

RTFOT 後の軟化点を図-28 に示す。ストレートアスファルトや IIs は 163°C85min、180°C85min、163°C170min、180°C170min の順で軟化点が大きくなり、針入度の場合と同様の劣化傾向が認められた。しかし、改質材添加率の高い III 型や H 型に関しては、針入度の場合とは逆の傾向を示した。これは、劣化すると軟化する改質材の添加割合が多いことから、その影響が現れたものと考えられた。

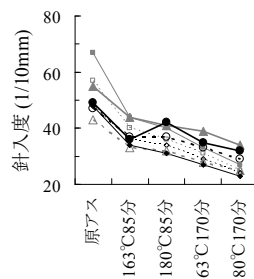


図-27 RTFOT 後の針入度

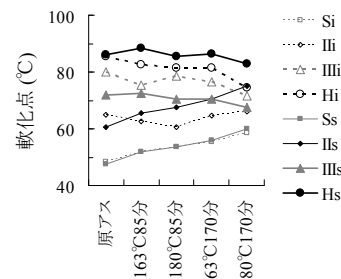


図-28 RTFOT 後の軟化点

## 8. 供用時の劣化特性評価手法の検討

### 8.1 概要

アスファルトには、混合物製造時の加熱劣化の他に、酸素や紫外線等による供用時の劣化が考えられる。そこで、紫外線による供用劣化特性評価としてバインダ単体の暴露試験および室内劣化試験、また混合物の暴露試験を実施した。

### 8.2 供用時劣化特性評価手法 (バインダ単体) の検討

#### 8.2.1 試験方法

これまでの研究<sup>9)</sup>により、アスファルトの膜厚が 0.1mm 以下の場合で紫外線の影響が試料全体に及ぶと考

えられる。従って、RTFOT (163°C75min) で加熱劣化させた試料を用い、ステンレス板の上に直径 14mm、厚さ 0.1mm の薄膜暴露供試体 (写真-2) を加熱プレスにより製作し、平成 19 年 11 月 9 日よりつくばの屋外暴露場にて暴露を開始した。暴露供試体は南向きに設置し、雨水等が表面に留まることを防ぐために 5° の傾斜角度を付けた。暴露状況を写真-3 に示す。



写真-2 薄膜暴露供試体 写真-3 暴露状況

暴露開始から 2 週、4 週、8 週後に供試体を回収した。回収した試料は均質に混合し、真空オープンで加熱脱泡して調整した。暴露後の劣化状況は、60°C、10rad/s における DSR 試験値、フラース脆化点、フーリエ変換式赤外分光分析 (FT-IR) により得られるカルボニル指数で評価した。FT-IR は 0.03g/mL のアスファルト試料クロロホルム溶液について計測し、式(9)で定義するカルボニル指数 CI で評価した<sup>9)10)11)</sup>。これは、劣化の影響を受けないとされる C=C 伸縮振動に帰属する波数 1602.63cm<sup>-1</sup> のピークを内部基準とし、この吸光度に対する 1701.27cm<sup>-1</sup> にアスファルトの酸化によって現れるカルボニル基伸縮振動に起因する吸光度の比である。CI が大きい程、酸化の度合いが大きいことを意味している。

$$CI = \frac{\log(I^*_{1701.27} / I_{1701.27})}{\log(I^*_{1602.63} / I_{1602.63})} \quad (9)$$

ここに、 CI : カルボニル指数  
 $I_n$  :  $n\text{cm}^{-1}$  のピークスペクトルの透過率 (Transmissivity %)  
 $I^*_n$  :  $n\text{cm}^{-1}$  におけるバックグラウンド (クロロホルム) の透過率 (Transmissivity %)

### 8.2.2 試験結果

#### (1) 暴露試験の結果

IIs の暴露供試体の外観を写真-4 に示す。暴露 2 週後の段階で既にひび割れが発生していた。他の試料についても、ほぼ同様のひび割れ発生状況となっていた。

暴露期間と DSR 試験結果の関係を図-29 に示す。|G\*| は暴露 2 週間で大きく上昇し、その後暴露期間の増加に

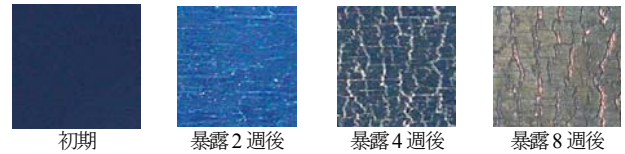
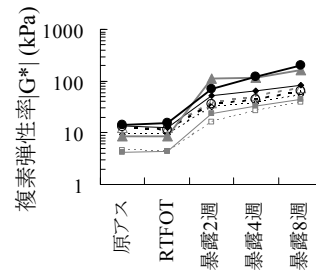
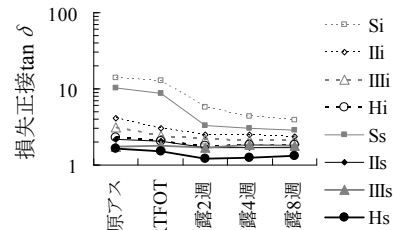


写真-4 暴露供試体の外観 (IIs)



(a) 複素弾性率 |G\*|



(b) 損失正接 tan δ

図-29 暴露期間と DSR 試験結果 (60°C, 10rad/s) の関係

伴い更に増加した。また、tan δ についても同じ傾向の減少が認められた、これらの変化からも試料が劣化により硬化していることが分かった。

暴露期間とフラース脆化点の関係を図-30 に示す。暴露期間の増加に伴いフラース脆化点も上昇し、より高い

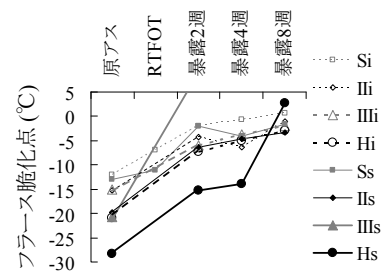


図-30 暴露期間とフラース脆化点の関係

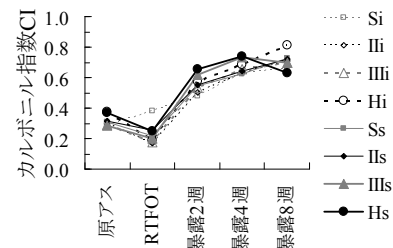


図-31 暴露期間とカルボニル指数 CI

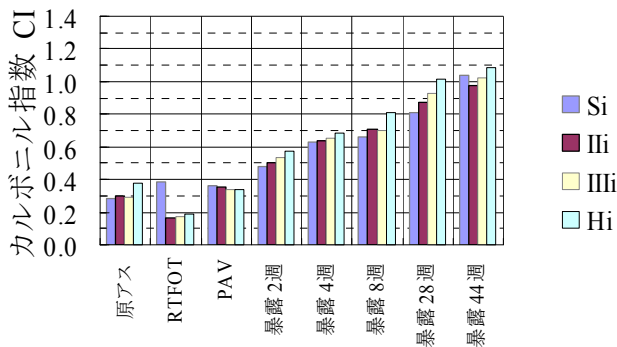


図32 室内試験 (PAV) と暴露試験の比較 (Si ベース)

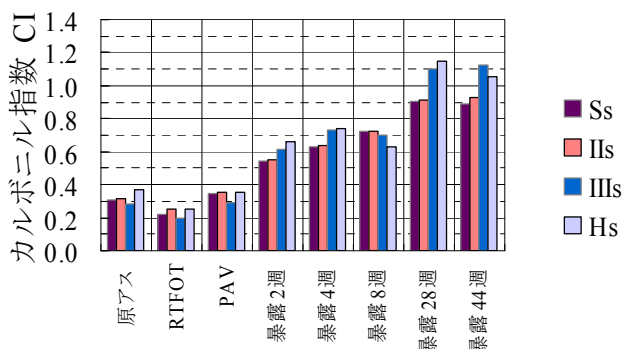


図33 室内試験 (PAV) と暴露試験の比較 (Ss ベース)

温度でひび割れが生じるようになった。IIIs は、暴露 2 週後の段階でフラース脆化点が試験機の限界の 10°C 以上となり、計測できなかった。劣化の度合いは、DSR 試験結果と同様に暴露 2 週までに大きく劣化し、Hs を除きそれ以降の劣化速度や概ね緩やかであることが分かった。

暴露期間と CI の関係を図-31 に示す。暴露期間の増加に伴い CI は増加する傾向を示した。これは、酸化劣化が進行していることを示している。また、DSR やフラース

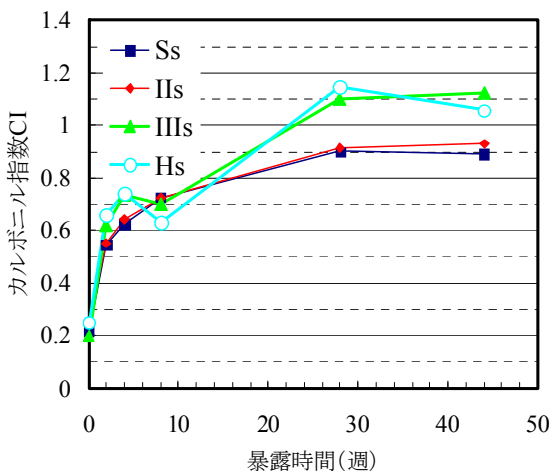


図34 屋外暴露試験の結果

脆化点と同様に暴露 2 週までに大きく劣化していることが分かった。

以上の結果より、暴露試験は概ね 2 週間で顕著な劣化を示すことが分かった。ただし、季節や天候等により紫外線照射量等が異なることから、気象データを観測してその関係を調査する必要がある。

(2)室内試験との比較

暴露を 44 週まで行った結果を図-32、33 に示す。従来試験との比較のために、PAV 試験での結果も合わせて示している。暴露期間が進むごとにどの供試体においても CI は増加しており、また暴露 2 週目にはすでに PAV の値を大きく上回る結果を示した。CI で見る限り、PAV では紫外線による供用劣化はうまく再現できていない可能性が見られた。

屋外暴露試験と室内紫外線照射試験の結果を図-34、35 に示す。まず屋外暴露を見ると、2~4 週間で CI は急激に増大し、その後は緩やかに増加している。室内での紫外線照射では、横軸が時間となっていないが、RTFOT を紫外線照射前 (0 時間)、120MJ、240MJ をそれぞれの照射時間としてもグラフのイメージが変わることはなく、照射時間が長くなるほど、CI は増大している。図-34、35 を比較すると、同じ程度の CI になるところがあり、これを利用して、目的とする暴露期間に応じた室内紫外線照射試験の条件が見出せる可能性が見られた。

ただし、室内紫外線照射においては、120MJ で Ss が最大だが 240MJ では最小となり、また、暴露試験の 44 週と 240MJ を比べると IIs だけが、CI の順序が異なっており、評価方法の作成には、これらの原因を含めて検討進めなければならない。

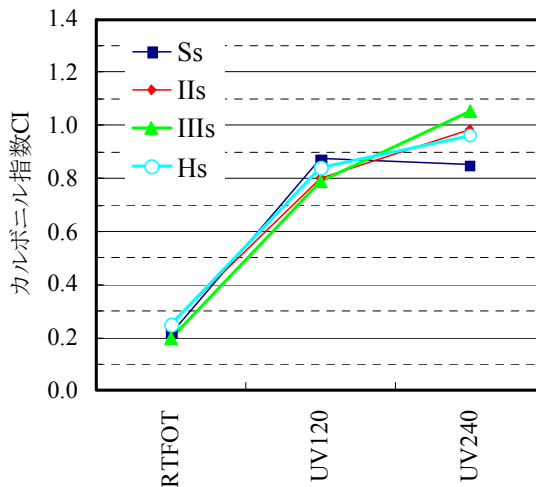


図35 室内紫外線照射試験の結果

### 8.3 供用時劣化特性評価手法(混合物)の検討

#### 8.3.1 概要

アスファルトには、混合物製造時の加熱劣化の他に、酸素や紫外線等による供用時の劣化があるが、その適切な評価手法は定まっていない。紫外線による供用劣化特性を把握するために実施中である暴露試験から回収したアスファルト混合物、暴露前(材令0年)、暴露1年(材令1年)、暴露2年(材令2年)について試験を行った。

#### 8.3.2 試験方法

暴露試験の方法は、以下のように行った。表-2の各アスファルトを用いて300×300×50mmのアスファルト混合物供試体をそれぞれ6枚作製し、そのうち5枚ずつを

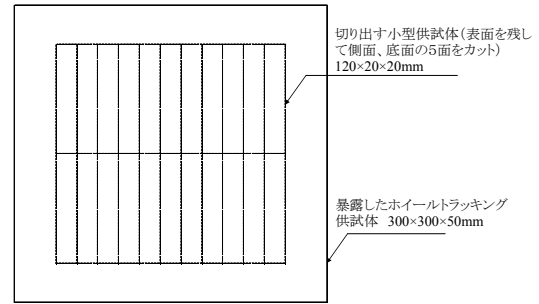


図-36 暴露供試体からの小型供試体の切り出し方

平成19年11月27日より朝霧環境材料観測施設において暴露試験に供した。また、一部のアスファルトについて

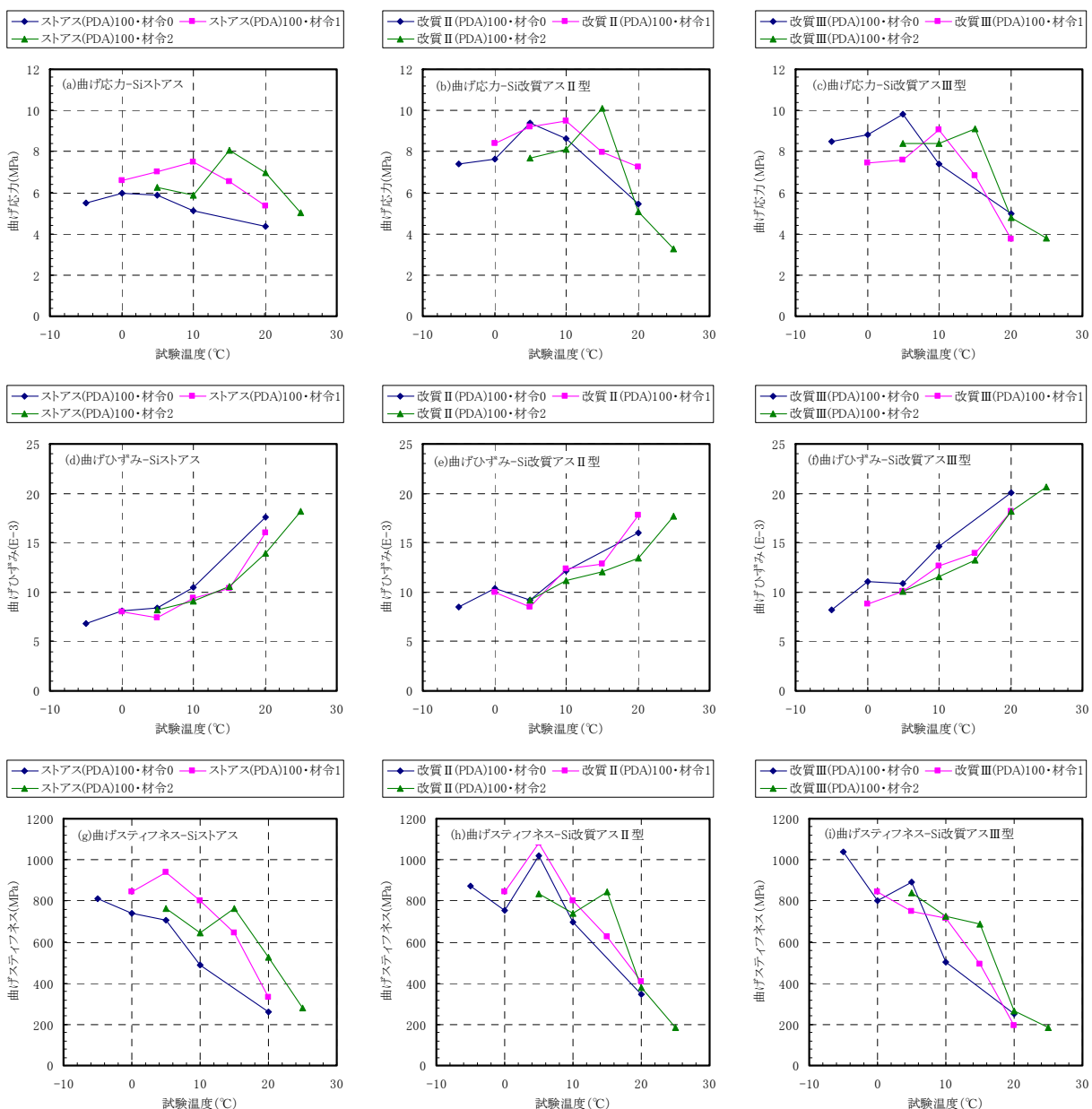


図-37 暴露したアスファルト混合物の小型曲げ試験の結果(一例)

は、平成19年10月23日より沖縄暴露場における暴露試験に供した。それぞれの暴露場から1年および2年目に供試体を一枚ずつ回収した。残りの3枚ずつの供試体については、さらに長期の評価に向けて暴露試験を継続中である。

回収した材令2年目までの供試体は、未暴露の供試体各一枚とともに、まず混合物試験を行い、その後にアスファルトを抽出回収して各種試験を行った。平成21年度は混合物試験として、小型供試体による曲げ試験を実施した。小型供試体は、図-36に示すように暴露供試体の表面を残すように20×20×120mmの大きさで5面カットしたものをを用い、これを暴露面を下向きにして、舗装調査・試験法便覧第2分冊A063Tの方法と同様にして曲げ試験を行った。曲げ試験は、脆化点が得られるように温度5点で試験をするようにした。

### 8.3.3 試験結果

曲げ試験結果の一例を図-37に示す。図-37では、(a)～(c)に曲げ応力、(d)～(f)に曲げひずみ、(g)～(i)に曲げスティフネスを材令毎に整理して示した。変曲点を脆化点とみると、どの指標でも概ね変曲点が見られるため、測定した温度範囲に脆化点があるものと思われるが、曲げ応力の脆化点が最も判別しやすかった。曲げ応力における脆化点では、アスファルトの種類の違いはあまり見られず、材令0年で5℃、材令1年で10℃、材令2年で15℃付近となった。しかし、曲げ応力だけで、材料の劣化が判断できるかどうかは、現段階ではわからず、今後のバインダ試験の結果などと合わせて、判断する。

## 9. 耐水性(水による剥離抵抗性)評価手法の検討

### 9.1 概要

ポリマー改質アスファルトの耐水性(水による骨材との剥離抵抗性)の評価手法としては、静的はく離試験など粗骨材の評価を目的としたものしかないのが現状である。アスファルトのはく離抵抗性評価を目的とする場合は、骨材の材質を統一するなどしてアスファルトの特性値が得られることが必要となっている。

そこで、材質の統一できる可能性があると思われたスライドガラスを用いる方法と砂を用いる方法の2つの方法について検討を行った。

### 9.2 耐水性評価手法(スライドガラス法)の検討

#### 9.2.1 試験方法

スライドガラスによる剥離抵抗性評価は、次の手順で行った。

- (1) 試料を加熱溶解させ、洗浄したスライドガラス上に0.7～0.8g程度量りとする。
- (2) 加熱したスパチュラ等を使用し、スライドガラス上の試料を全体に広げ、試料が所定の質量となるように調整し、供試体とする。
- (3) 1時間放置し、室温まで放冷する。
- (4) 恒温水槽を80±1℃に保ち、その中へ供試体を30分間水浸させる。
- (5) 30分後、水中から供試体を静かに引き上げ、直ちに室温の水が入った平らな容器に移す。
- (6) 約1時間後、容器から供試体を取り出し、乾いた布で供試体の水分を拭き取る。
- (7) 供試体をコピー機にセットし、その上に白紙を置いて印刷する。
- (8) 印刷された用紙をスキャナーで読み込み、パソコンに取り込む。
- (9) 画像処理ソフト等により試験前後の試料面積の着色を行う。
- (10) 面積計算ソフト等により着色箇所の面積を求め、式(10)により剥離面積率を算出する。

$$\text{剥離面積率 (\%)} = \left( 1 - \frac{\text{試験後の着色面積}}{\text{試験前の着色面積}} \right) \times 100 \quad (10)$$

#### 9.2.2 試験条件の検討

試験条件の検討はSsを使用して実施した。今回検討した試験条件は、スライドガラスの表裏の影響、恒温水槽の対流の影響、スライドガラスの洗浄方法の影響、スライドガラスの種類による影響、試料塗布量の影響の5項目とした。

##### (1) スライドガラスの表裏の影響

スライドガラスの表裏の影響を調査するために、表裏に試料を塗布して試験を行った。

試験結果を写真-5に示す。試料を塗布する面により、剥離の程度が大きく異なることが分かった。従って、表裏が明確に判別できるようなスライドガラスを試験に用いる必要があるものと考えられる。また、剥離の大きな表側を以後の試験に用いた。



表 裏 表 裏  
(a) 試験前 (b) 試験後

写真-5 スライドガラスの表裏の影響

(2) 恒温水槽の対流の影響

恒温水槽の循環による影響を調査するために、特に対策をせずに水槽中に供試体を設置する場合と、写真-6に示すように対流の影響を遮断する装置を用いた場合について試験を行った。

試験結果を写真-7に示す。対流ありの場合では、供試体の場所により剥離の程度に差が生じた。従って、対流の影響を無くすことが望ましいことが分かった。

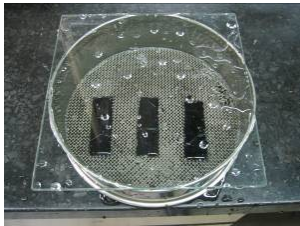
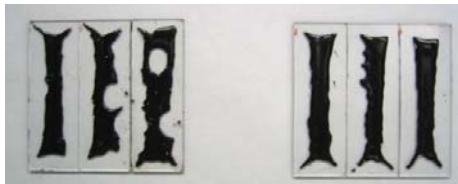


写真-6 対流の影響を遮断した状態

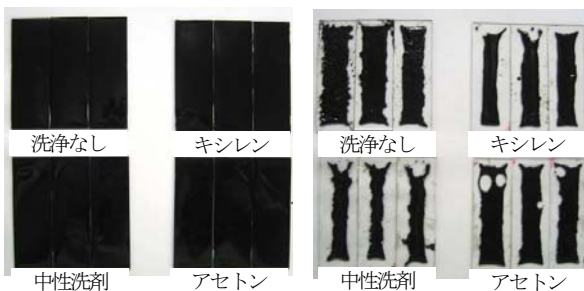


対流あり 対流なし  
写真-7 対流の有無の影響

(3) スライドガラスの洗浄方法の影響

スライドガラス表面の汚れ等による実験誤差を取り除くために、表面の洗浄方法を検討した。検討した洗浄方法は、①洗浄なし、②中性洗剤による洗浄、③キシレンによる洗浄、④アセトンによる洗浄の4種類である。

試験結果を写真-8に示す。洗浄した供試体の方が、剥離の程度は高かった。洗浄に用いる溶剤等によっても剥離の程度に差が生じたため、さらに検討を行った。その結果、ガラス表面の被膜を除去するためにトルエン+アセトン洗浄前にガラス表面をバーナーで加熱する方法とした。



(a) 試験前 (b) 試験後  
写真-8 スライドガラスの洗浄方法の影響

(4) スライドガラスの種類による影響

スライドガラスの種類による影響を調査するために、表-6の3種類のスライドガラスを用いて試験を行った。また、以後式(10)により剥離面積率を計算した。

試験結果を写真-9に示す。スライドガラスの種類によって、剥離面積率が異なることが分かった。今後は、試験に適したスライドガラスの種類について、検討を進める必要がある。

表-6 スライドガラスの種類

記号	A	B	C
種類	水切放	水研磨	緑研磨



A (69.4%) B (42.2%) C (27.8%)

( )内は剥離面積率

写真-9 スライドガラスの種類による影響(試験後)

(5) 試料塗布量の影響

試料の塗布量の影響を調査するために、塗布量を0.3g、0.5g、0.7gの3種類として試験を行った。今回使用したスライドガラスの種類はAとした。

試験の結果、塗布量0.3gの場合は試料を広げるのに長時間を要し、試料の変性が生じた可能性があった。また、塗布量0.7gの場合は塗布面積に対して量が多く作業性が悪かった。従って、試料の塗布量は0.5gが適量と判断し、これを以後の試験条件とした。

9.2.3 各試料の剥離面積率

これまでの結果より得られた試験条件に従い、スライドガラスAを用いた場合の各試料の剥離面積率を求めた。

試験結果を図-38に示す。H型とIIIiはほとんど剥離が認められなかったが、その他の試料は70~80%程度と高い剥離面積率を示した。これらの中間の値を示すデータが得られなかったことから、更なる評価手法の改良が必

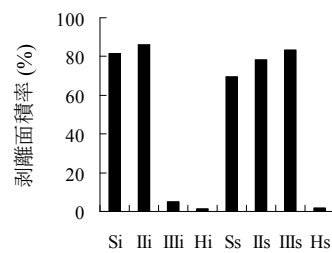


図-38 各試料の剥離面積率



要であると考えられた。

### 9.2.4 砕石の剥離試験結果との関係

スライドガラスの剥離状況と砕石での剥離の関係を把握した。スライドガラスと砕石での静的剥離試験結果の関係を図-39に示す。凡例で1, 2, 3は、異なるスライドガラスを示している。全体的な傾向として、スライドガラスでの剥離率が高いものは、砕石での剥離率も高くなる傾向が見られた。しかし、剥離防止剤Bにおいては、砕石では剥離率が小さく、剥離防止効果が認められるのに、スライドガラスでは大きな剥離率を示しており、砕石との結果に大きな違いが出た。また、ポリマー改質アスファルトⅢ型では、砕石での剥離率は小さいが、スライドガラスでは、種類によって値が大きく異なっており、ガラス種類により評価が大きく異なることを示した。

これらの結果より、スライドガラスを用いての剥離評価方法の作成には、今後さらに検討が必要であると考えられた。

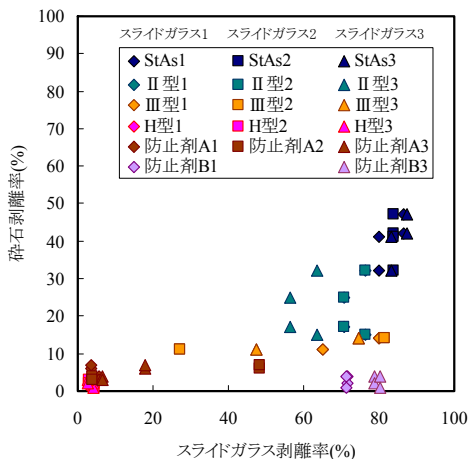


図-39 スライドガラスと砕石の静的剥離試験結果の関係

## 9.3 耐水性評価手法(砂法)の検討

### 9.3.1 試験方法

硅砂を用いた耐水性の評価手法の検討では、シリカ分を多く含む硅砂を用いてマーシャル供試体を作製し、圧裂試験により評価することとした。試験の様子を写真-10に示す。硅砂は豊浦標準砂(以下、豊浦)を基準とした。試験フローを図-40に示す。供試体は水分の影響を十分受けるように予め強制浸水させ、水浸条件は60℃で48時間とした。

評価は、標準条件と水浸条件による圧裂強度からの残留強度率で行うこととした。なお、圧裂試験の載荷治具および載荷速度は「舗装調査・試験法便覧 B006 圧裂試

験方法」に準拠した。



写真-10 硅砂を用いた供試体の水浸圧裂試験の様子

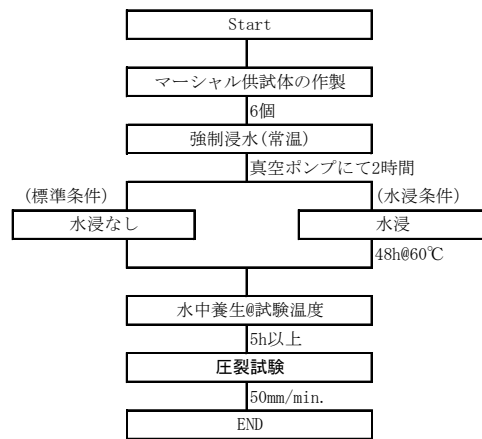


図-40 試験フロー(養生時間は暫定)

### 9.3.2 検討方法

#### (1) 試験条件の検討

図-40では、供試体を水浸養生する時間をマーシャル試験の残留安定度試験と同様に48時間としていた。養生時間を確定するため、養生時間の影響について検討を行った。試験方法は、水浸養生時間を24時間、48時間、72時間と変化させて圧裂残留強度率を求めた。このとき試験材料はストアスと2種類のはく離防止剤(a, b)をそれぞれ0.3%添加したものとした。また、硅砂には豊浦標準砂と秩父硅砂7号とした。

さらに、図-40では、供試体を試験温度5℃の恒温槽で養生する時間を5時間以上としていたが、評価を迅速に行うため、試験温度での養生時間を短縮可能かどうかについて検討した。試験方法は、まず供試体の中心部に熱電対を設置し、供試体内部の温度変化を把握することとした。次に、試験温度までの養生時間を1、5、12時間と変化させたときの圧裂強度を測定し残留強度率を評価し

た。

(2)市販ポリマー改質アスファルトの性状

本評価方法の適用性を検証するため、市販されているポリマー改質アスファルトについて評価した。

(3)基準値の検討

(1)(2)の検討を踏まえ、硅砂を用いたはく離抵抗性試験における基準値について検討を行った。

9.3.3 試験結果

(1)試験条件の検討

1) 水浸養生時間の検討

図41 に試験結果を示す。ここで示すとおり、水浸養生時間が長いほど圧裂残留強度率は低下しており、バインダの接着力が低下していることが分かる。特にストアスでの試験結果でこの傾向は顕著であった。この結果と試験の簡便さを考慮し、以降の試験における水浸養生時間は、ストアスの圧裂残留強度率が概ね収束する48時間に設定することとした。

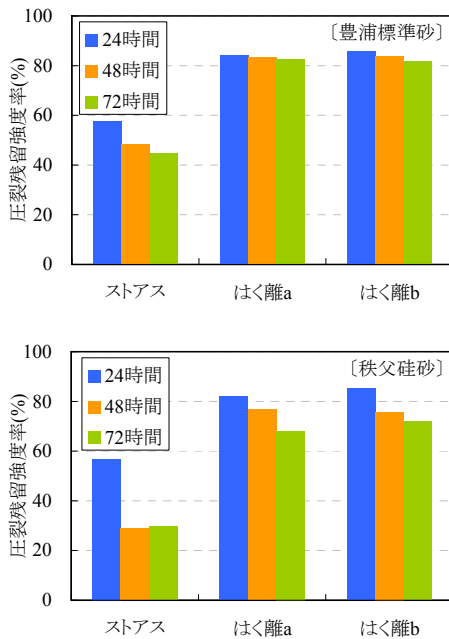


図-41 水浸養生時間による影響

2) 試験温度での養生時間について

試験の結果、供試体の内部温度は40分程度で試験温度に到達することがわかった。また、図42 に示すとおり設定した試験温度での養生時間では、圧裂残留強度に大きな違いは見られないことが確認された。これらの結果から、試験温度での養生時間は1時間程度で十分と判断した。

以上の結果より決定した硅砂を用いたバインダのはく離抵抗性評価試験方法の試験条件を表-7に示す。

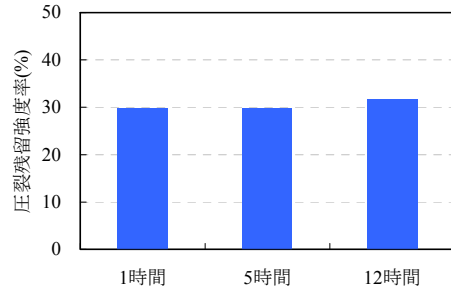


図-42 試験温度での養生時間による影響

表-7 決定したはく離抵抗性能評価試験の条件

供試体 作製条件	硅砂の種類	豊浦標準砂、東北7号硅砂、秩父7号硅砂
	硅砂の質量	860g
	突固め回数	50回
	アスファルト量	7.5%
圧裂試験 の条件	強制浸水時間	2時間(表裏各1時間)
	水浸養生	60℃、48時間
	試験時間までの養生時間	1時間以上
	載荷速度	50mm/min
	試験温度	5℃

(2)市販ポリマー改質アスファルトの性状

図43 に試験結果を示す。試験の結果、モデルバインダを評価したときと同様に硅砂によりその傾向は若干異なっているものの、概ねII型<III型<III型-Wの順に圧裂残留強度率が高くなった。III型-Wは耐水性を向上させたグレードであり、本評価方法によりグレードの区別ができるものと考えられた。

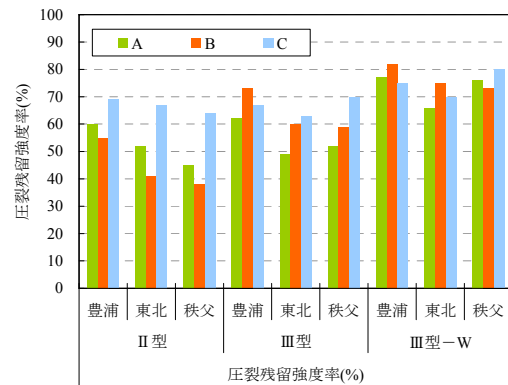


図-43 市販品の圧裂残留強度率

(3)基準値の検討

これまで耐水性に実績のあるグレードIII型-Wの試験結果をもとに基準値を考えると、硅砂の種類により若干差があるものの、いずれも圧裂残留強度率が65%以上の数値である。試験値の変動幅に関する情報が十分ではないものの、本研究結果からは、特に高い耐水性を求めら

れる場合は、圧裂残留強度率が65%程度以上の基準を設けることができるものと考えられる。

## 10. まとめ

本研究で得られた結果は、次のとおりである。

- 高温域におけるアスファルトの耐流動性の評価方法として、アスファルトのせん断試験による評価を検討した。試験条件の検討では、0.5mm/min～5mm/minの引張り速度範囲においては荷重が引張り速度に依存していたことから、測定精度や試験のし易さなどから、引張り速度を5mm/minと設定した。8種類のアスファルトで5mm/minにおける試験を実施し、耐流動性の評価方法として実績のあるDSR試験との相関性を検討した結果、アスファルトのせん断試験で得られるスティフネスSおよびその傾きmは、DSRで得られる複素弾性率G\*および位相差 $\delta$ と相関性が見られた。これより、アスファルトのせん断試験による高温域特性を把握できることがわかり、耐流動性の評価にも適用できるものと考えられた。
- 高温域におけるアスファルトの耐流動性の評価方法において、8種類のアスファルトで5mm/minにおける試験を実施し、アスファルト混合物のホイールトラッキング試験との相関性を検討した結果、アスファルトのせん断試験で得られるスティフネスSおよびその傾きmは、それぞれ相関性が見られた。これより、アスファルトのせん断試験による高温域特性を把握できることがわかり、耐流動性の評価に適用できるものと考えられた。特に耐流動性能が高いポリマー改質アスファルトⅢ型では基準値を $S \geq 0.70kPa$ 、 $m < 0.9$ 程度に設定するとよいものと考えられた。
- 常温から低温にかけて性状評価手法として、DSRの試験条件を検討した。線形粘弾性領域となるひずみ量を検討した結果、20～-10℃の範囲で、限界値は0.5～2.5%程度であり、共通のひずみ量として0.1%を選択することにした。
- 耐低温ひび割れ性(低温性状)評価手法として、曲げ試験及びDTTを検討した。その結果、両者ともフラス脆化点試験との良い相関が得られ、フラス脆化点試験の代替として有効であることが分かった。特に、汎用試験機を用いる曲げ試験は有望であると考えられた。
- 曲げ試験は、これまでも一部のポリマー改質アスファルトに適用されてきたが、全種類には適用されておらず、共通の測定条件がなかった。このため、ま

ず全てのポリマー改質アスファルトに適用できる温度条件を求めたところ、-5℃での測定が可能であったため、-5℃で評価することにした。-5℃の曲げ試験の結果とフラス脆化点試験の間には相関性がみられたため、曲げ試験はフラス脆化点試験の代替になるものと考えられた。これまで特に高い低温ひび割れ抵抗性が求められる場合にはフラス脆化点で-12℃以下とされてきたが、これと同程度の性状とするには、曲げスティフネスを150MPa以下とするとういことが分かった。

- 混合物製造時の劣化特性評価手法として、RTFOTの改良を検討した。その結果、試験温度を高くするよりも、試験時間を長くした方がより劣化が進むことが分かった。
- 紫外線による供用時の劣化特性を把握するために、屋外暴露試験を実施し、さらにこの劣化を再現する室内試験の検討を行った。その結果、屋外暴露試験ではカルボニル指数が2～4週までに急増し、従来供用性劣化を評価する試験であるPAV試験の値を大きく上回った。室内における紫外線照射試験を実施し、屋外暴露試験の結果と比較した結果、カルボニル指数の増加傾向が似ており、任意の屋外暴露期間に対応する照射条件も求められる可能性があることが分かった。
- 耐水性(水による剥離抵抗性)評価手法として、スライドガラスによる剥離試験を検討した。その結果、大まかな傾向として、砕石で行う通常の静的剥離試験と同じような傾向が見られた。しかし、一部の剥離防止剤では砕石での結果と大きく異なるため、全く評価が行えず、またスライドガラスの種類によつてのばらつきも非常に大きかった。実用には、今後さらなる改善が必要であることがわかった。
- 耐水性(水による剥離抵抗性)評価手法として、硅砂を用いた供試体による水浸圧裂試験による評価方法の試験条件を検討した。その結果、水浸養生は48時間、試験温度への養生は1時間とすればよいことが分かった。基準値については、特に剥離抵抗性を高めたバインダについては硅砂を用いた圧裂残留強度率が65%以上とするとよいと考えられた。

## 参考文献

- 1) 牛尾俊介：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、昭和53年
- 2) D. Bell and M. J. Claxton：A novel rheometer for bitumens, 2<sup>nd</sup>

### 9.3 舗装路面の性能評価法の高度化に関する研究（2）

- Eurasphalt & Eurobitume Congress, book 1, pp.35-43, 2000
- 3) H. Soenen, C. de La Roche and P. Redelius : Predict mix fatigue tests from binder fatigue properties, measured with a DSR, Eurasphalt & Eurobitume Congress, 2004 {database ID 501}
  - 4) Maurizio Bocci and Gianluca Cerni : The ultraviolet radiation in short- and long-term aging of bitumen, 2<sup>nd</sup> Eurasphalt & Eurobitume Congress, book 1, pp.49-58, 2000
  - 5) 山口勝之、佐々木巖、明嵐政司：アスファルト材料の紫外線劣化とカーボンブラック添加効果、舗装工学論文集、Vol.8、pp.251-260、平成15年12月
  - 6) J. Youtcheff and V. Aurilio : Moisture sensitivity of asphalt binders: evaluation and modeling of the pneumatic adhesion test results, Canadian Technical Asphalt Association Proceedings, 1997 {database ID 778}
  - 7) 塚越徹、田中正義、佐々木巖、新田弘之、坂本浩行：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、pp.552-553, 1995
  - 8) Michael Zupanick : Comparison of the Thin Film Oven Test and the Rolling Thin Film Oven Test, Asphalt Paving Technology, Vol.63, pp.346-372, 1994.
  - 9) 山口勝之、佐々木巖、明嵐政司：アスファルト材料の紫外線劣化とカーボンブラック添加効果、舗装工学論文集、Vol.8, pp.251-260, 2003.
  - 10) 田中邦則、鈴木勲、梶谷行男：舗装用アスファルトの熱劣化による性状変化、平成2年度東京都土木技術研究所年報、pp177-184, 1991.
  - 11) 佐々木巖、寺田剛、明嵐政司：赤外線吸光分析による舗装用アスファルトの劣化度評価、平成15年度土木学会全国大会第58回年次学術講演会講演概要集、pp.1433-1434, 2003.

## A STUDY ON PERFORMANCE EVALUATION METHOD FOR PAVEMENT (2)

**Budgeted** : Grants for operating expenses  
General account

**Research Period** : FY2006-2011

**Research Team** : Material and Geotechnical Engineering  
Research Group (Advanced Materials)

**Author** : NISHIZAKI Itaru  
NITTA Hiroyuki  
KATOU Yuya

**Abstract** : With diversification of the needs for the pavement, the asphalt having various characteristics is developed. The evaluation of the pavement is becoming an evaluation based on the performance. On the other hand, the evaluation of asphalt is a materials evaluation. Therefore, the method of evaluating asphalt based on the pavement performance is needed. Proposal of new performance evaluation methods for pavement binder is the subject of this study. The mainly topics of this study are the evaluation methods of polymer modified asphalt properties. These are methods of high and low temperature properties, degradation properties, water stripping properties. As the results, asphalt double shear test for high temperature property, asphalt bending test for low temperature property, exposure test for degradation property, and splitting test with silica sand mixture for water stripping property are developed.

**Key words** : polymer-modified asphalt, double shear test for asphalt, bending test for asphalt, exposure test, anti-stripping evaluation test using silica sand