

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

【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の材料評価方法を中心としたままとなっている。このため、多様化する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及び表層用混合物の性能評価手法の提案を目的として検討を行っている。

平成 21 年度は、前年度に引き続き新たな舗装用バインダの性能評価手法の開発およびデータの拡充を進め、ポリマー改質アスファルトの高温性状および低温性状把握方法の検討、紫外線による供用時の劣化特性、耐水性（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の適用性、供用時劣化特性の把握として暴露供試体の性状把握、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適用性などを把握した。

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は従来からの材料評価

方法を中心としたままとなっている。そこで、多様化する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及び表層用混合物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

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、検討状況

| 性能項目 | 規格値の設定されている試験方法 | 課題など | |
|--------------------|--------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|
| 耐流動性 (高温性状) | 軟化点 | | |
| | 60℃粘度 (平成 18 年廃止)、現在規格なし | 代替評価手法が必要→平成 18,19,21, 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, DSR 条件検討 | |
| 耐疲労性 (常温性状) | 針入度 (25℃) | | |
| | タフネス・テナシティ (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 | |
| 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 | |
| | フラス脆化点 | 簡易な方法が必要→平成 21, アスファルトの曲げ試験検討 | |
| 劣化特性 | 混合物製造時 TFOT (163℃) | RTFOT 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 | |
| | 供用時 | 現在規格なし 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 | |
| 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) |
| | | タフネス・テナシティ (25℃) | テナシティの一部廃止、改良または代替手法が必要 |
| | 高温時 | タフネス・テナシティ (25℃) | テナシティの一部廃止、改良または代替手法が必要 |
| 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, 珪砂を用いた評価法検討 | |

注：太字は平成 21 年度実施項目

れる主な性能に対する現在の評価項目と課題を示す。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。平成21年度は、前年度に引続きアスファルトバインダーの新たな評価試験方法として、供用時の劣化特性、耐流動性、耐ひび割れ性、耐水性(水による剥離抵抗性)評価のための新たな評価試験に関する検討を行った。

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. 使用材料

各検討には、表-2に示すバインダを使用した。ストレートアスファルトは2種類とし、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)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-2 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 |

3. 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

3.1 概要

平成18年にポリマー改質アスファルトの品質から60℃粘度が廃止されて以降、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。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。平成18年度より検討を行ってきたが、平成21年度は試験条件の決定およびDSRとの相関性把握などを行った。

3.2 試験方法

アスファルトのせん断試験は、これまでの検討により、一面せん断より二面せん断で行った方が試験精度が向上することがわかっており、図-1に示す治具を用いて、次の手順により試験を行った。

- (1) 図-1のようにサンプルをセットする。

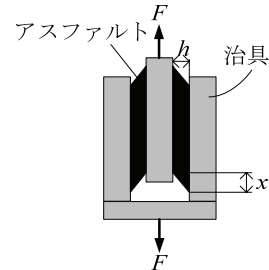


図-1 せん断試験概要

- (2) 恒温槽付きの引張試験機に設置し、試験温度60℃で1時間程度養生する。
- (3) 一定の速度でせん断载荷を行い、試験開始からの時間*t*(s)、荷重*F*(N)、変位量*x*(mm)を記録する。
- (4) 式(1)により、スティフネス*S*(kPa)を計算する。

$$S = \frac{3Fh}{2Ax} \times 1,000 \quad (1)$$

ここに、*S* : スティフネス (kPa)

F : 荷重 (N)

h : 試料厚さ (=1.0 (mm))

A : 試料と型枠の接触面積 (=3,000 (mm²))

x : 変位量 (mm)

- (5) log*t*-log*S_t*図を描き、その接線の傾きの絶対値|m|を求める。

3.3 試験結果

(1) 引張り速度の検討

試験条件の検討のために、引張り速度を変えて測定を行った。荷重変位曲線を図-2に示す。引張り速度を速くするほど荷重が大きくなった。引張り速度と荷重の関係を見るために、図-3に示すように、引張り速度を横軸にして、同じ変位量のときの荷重をプロットした。引張り速度と荷重には相関が見られ、特に0.2mm/minを除くと極めて相関性が高くなった。0.2mm/minでは速度が遅く荷重が小さく測定誤差の影響も考えられた。測定誤差や、試験時間を考慮して、以後の測定は5mm/minで行うことにした。

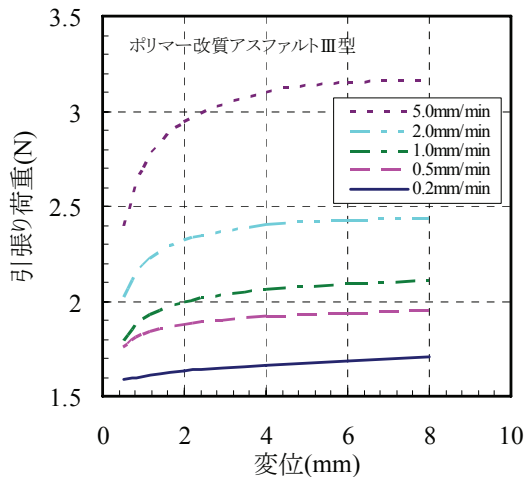


図2 引張り速度による荷重曲線の違い

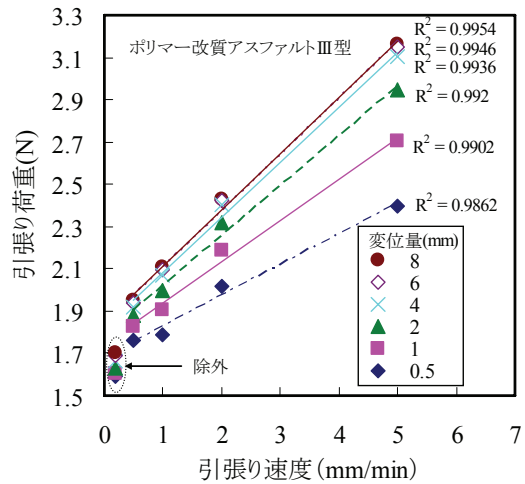


図3 引張り速度の影響

(2)DSR との関係

せん断試験によりアスファルトの粘弾性特性が把握できるかを確認するために、DSR との関係性を検討した。具体的には、DSR により得られる複素弾性率 G^* および位相角 δ と、せん断試験により得られるスティフネス S および傾き m の関係について検討した。

図4に示すように S は両対数グラフ上で減少するように変化し、さらに式(2)の近似式で表すことができたので、傾き m は式(3)のように求めた。(A, B, C は定数)

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

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

S や m は変位量によって数値が変わり、 G^* や δ は測定周波数によって数値が変わる。そこで S と m は、変位量 $0.5\text{mm} \sim 8\text{mm}$ 、 G^* と δ は $0.4\text{rad/s} \sim 10\text{rad/s}$ までの全ての

組み合わせで相関性を求めた。その結果、変位量 1mm のときの S および m と周波数 0.4rad/s の間の相関性が最も良くなった。このときの S と G^* の関係を図5に、 m と δ の関係を図6に示す。 S については、ゼロ点は通らないものの相関性が見られ、弾性率としての大きさも同程度であることがわかった。また、 m についてははかにより相関性が得られ、 m から δ の予測なども可能であると判断された。

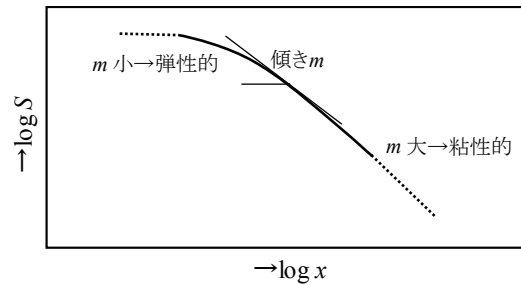


図4 スティフネス S と傾き m の概念図

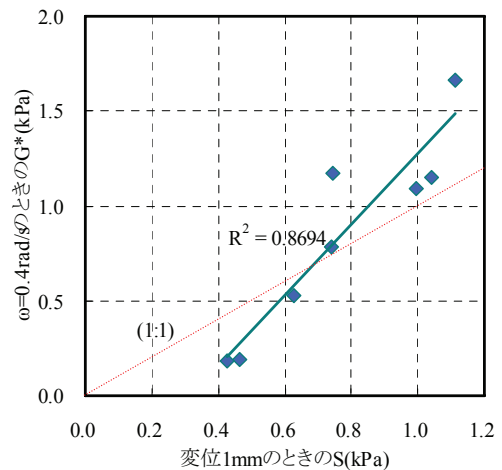


図5 スティフネス S と複素弾性率 G^* の関係

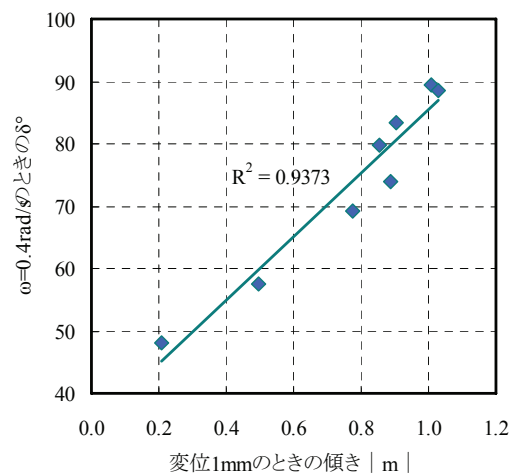


図6 傾き m と位相角 δ の関係

4. アスファルトの曲げ試験による耐低温ひび割れ評価手法の検討

4.1 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、フラス脆化点で行われている。フラ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。そこで、これまでごく一部のポリマー改質アスファルトで実施されていたアスファルトの曲げ試験(図-7)をポリマー改質アスファルト全般で実施できるか検討を行ってきた。

これまでの検討により、フラス脆化点と曲げ試験から得られる脆化点には相関性がみられることがわかっているが、曲げ試験から脆化点を求めるには、多くの温度で試験を行わなければならない、簡便な手法ではない。そこで、温度を1点に決めた場合のフラス脆化点との相関性を検討することにした。

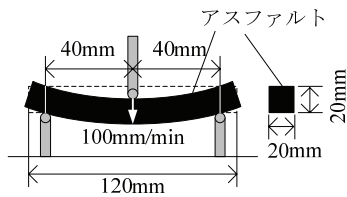


図-7 バインダの曲げ試験概要

4.2 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の市販品も使用した。また、以下に示す式により、最大曲げ応力 σ 、最大曲げひずみ ε より、曲げ仕事量および曲げスティフネスを求めた。

$$\sigma = \frac{3L}{2bh^2} \times P \quad (4)$$

$$\varepsilon = \frac{6h}{L^2} \times d \quad (5)$$

$$\text{曲げ仕事量} = \sigma \times \varepsilon \quad (6)$$

$$\text{曲げスティフネス} = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (7)$$

ここに、 σ : 最大曲げ応力 (MPa)
 ε : 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)

4.3 試験結果

平成20年度までの試験結果から、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-5, 6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ことがわかった。

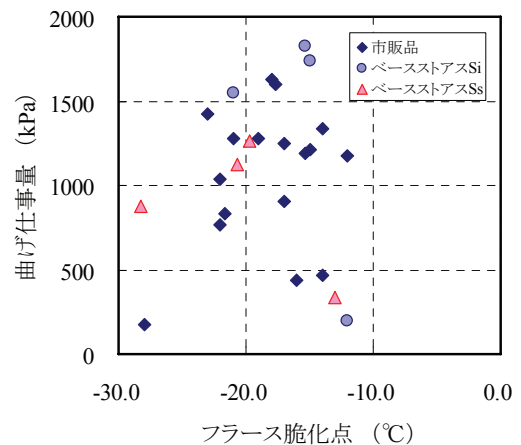


図-8 フラス脆化点と曲げ仕事量の関係

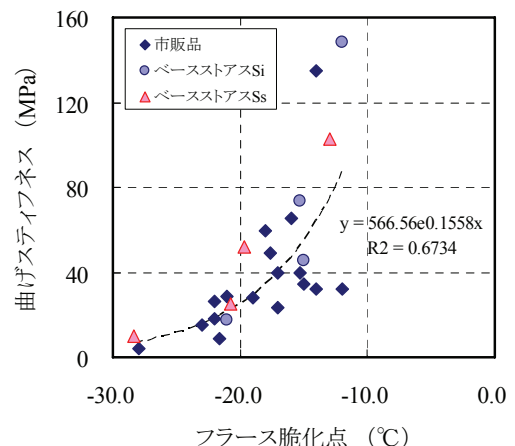
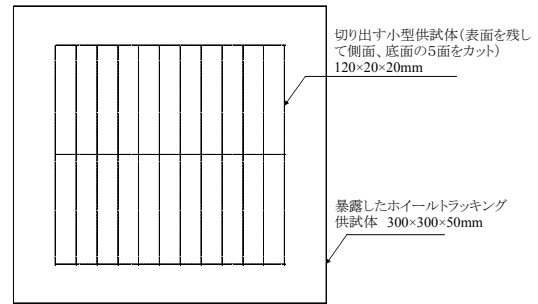


図-9 フラス脆化点と曲げスティフネスの関係

5. 供用時の劣化特性評価手法の検討

5.1 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。平成21年度は、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。



5.2 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

図-10 暴露供試体からの小型供試体の切り出し方

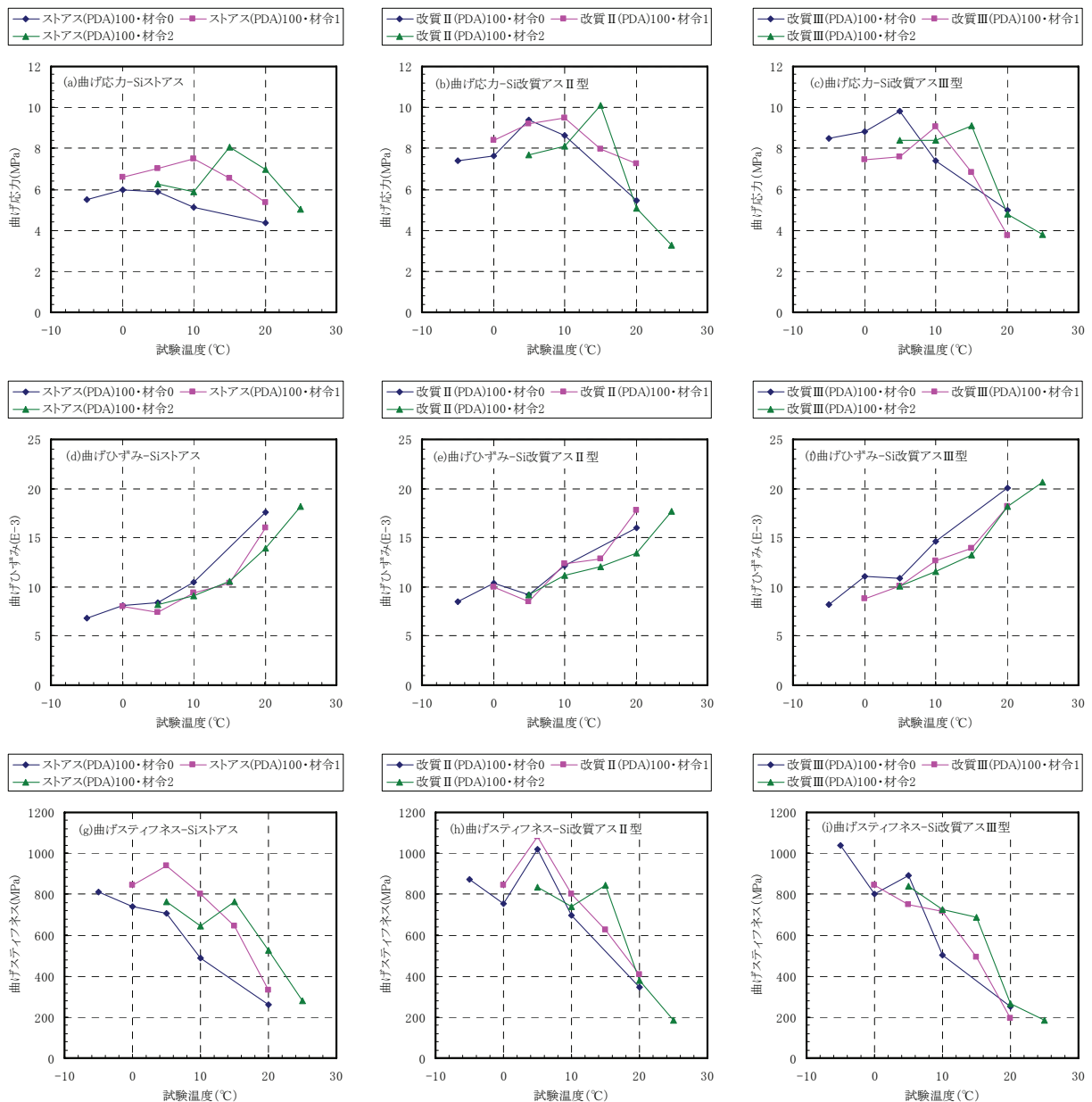


図-11 暴露したアスファルト混合物の小型曲げ試験の結果(一例)

物供試体をそれぞれ6枚作製し、そのうち5枚ずつを平成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-10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。

5.3 試験結果

曲げ試験結果の一例を図-10に示す。図-11では、(a)~(c)に曲げ応力、(d)~(f)に曲げひずみ、(g)~(i)に曲げステイ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、今後行う、回収バインダの試験の結果と合わせて、判断する予定である。

今後、暴露試験結果と室内での紫外線照射試験などとの比較検討などにより、改質アスファルトの供用劣化を評価する方法を提案する予定である。

6. 耐水性（水による剥離抵抗性）評価手法の検討

6.1 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。前年度までスライドガラスによる剥離試験を行ってきたが、スライドガ

ラスの品質による違いが著しく、品質の変動に合わせた評価法が難しいことから、平成21年度は、新たな方法として、硅砂を利用したアスファルト混合物供試体を作製し、これを圧裂試験することで評価する方法について検討を行った。

6.2 試験方法

はく離抵抗性の評価には、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-1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-12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-1 硅砂を用いた供試体の水浸圧裂試験の様子

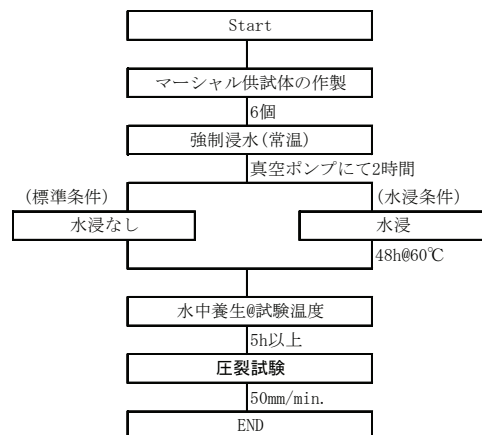


図-12 試験フロー

6.3 試験結果

(1) 試験条件の設定

予備試験を実施し、試験条件を設定した。試験条件の設定方針としては、アスファルトの差が半別しやすい条件で設定することとし、また、硅砂は豊浦標準砂を基本として、それと同等の結果が得られる他の硅砂もいくつか選定するようにした。予備試験より決定した試験条件を表-3に示す。

表-3 はく離抵抗性能評価試験の試験条件

| | | |
|-------------|-------------|---------------------|
| 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(真空度:4kPa以下) |
| | 水浸養生 | 60℃、48時間 |
| | 試験時間までの養生時間 | 5時間以上 |
| | 載荷速度 | 50mm/min |
| | 試験温度 | 5℃ |

(2) アスファルトのはく離抵抗性能評価法としての適応性

アスファルトは表-2のものに加えて、耐水性が強化されたポリマー改質アスファルトⅢ型-W、および実績の高いはく離防止剤を添加したストレートアスファルトを追加して実験を行った。比較のために、これまでの評価方法として、碎石を用いた静的はく離試験も行った。図-13に碎石による静的はく離試験から得られるはく離率と硅砂による圧裂残留強度率の関係を示す。一部はく離面積率の低い碎石があるものの、概ねはく離面積率と圧裂残留強度率には相関が認められた。つまり、はく離抵抗性の高いものほど、圧裂残留強度率が高くなっていた。硅砂の種類による影響を見ると、豊浦標準砂では、ポリマー改質アスファルトに含まれるポリマー量に比例してはく離率が減少した。一方、東北硅砂7号あるいは秩父7号硅砂では、ポリマー量によらず、はく離防止剤の有無により明確な違いが見られた。このように、使用する硅砂により若干の違いがあるものの、はく離抵抗性が高いポリマー改質アスファルトⅢ型-W、ポリマー改質アスファルトH型、はく離防止剤を添加したストレートアスファルトは、いずれも他のアスファルトと比べて高い圧裂残留強度率となっており、硅砂を用いた供試体を用いて水浸圧裂試験を行う方法によりはく離抵抗性が評価できることが明らかとなった。

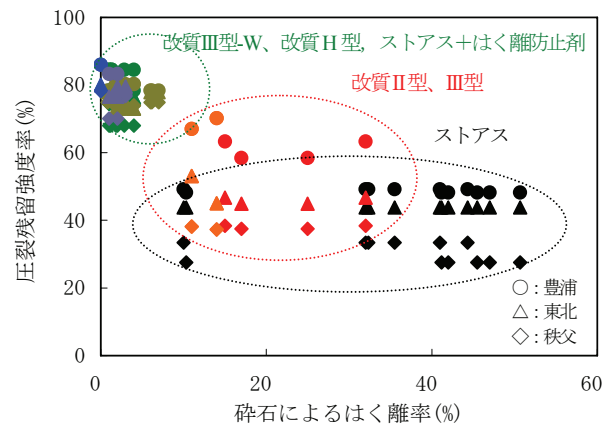


図-13 圧裂残留強度率とはく離率の関係

7. まとめ

平成21年度に得られた結果は、次のとおりであった。

- 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δ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。
- 低温域におけるひび割れの評価としては、これまで実施されてきたフラス脆化点に代わる方法としてアスファルトの曲げ試験を検討した。曲げ試験は、これまで一部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。
- 供用劣化の評価方法として検討している、室内での促進劣化試験の適用性の検証のために、屋外においてアスファルト混合物の暴露試験を行っている。平

成21年度は、2年間屋外暴露したアスファルト混合物供試体が回収できたので、まず基礎特性の把握を行った。その結果、アスファルト混合物はどのアスファルトを用いても概ね1年に5°C程度脆化点が上昇していた。今後、この混合物から抽出回収したアスファルトの性状測定を行い、暴露試験の方法や試験条件の設定に利用していく予定である。

- ・ 耐水性（水による剥離抵抗性）評価手法として、珪砂を用いた供試体による水浸圧裂試験による評価を検討した。その結果、評価には豊浦標準砂、東北7号珪砂、秩父7号珪砂が適していることがわかり、アスファルト量7.5%、試験温度5°Cでの試験実施が

よいことが分かった。珪砂を用いた圧裂残留強度率と砕石による静的はく離試験の結果を比較すると、相関性がみられ、特にはく離抵抗性について実績のあるポリマー改質アスファルトやはく離防止剤の圧裂残留強度率が高く、これらの材料の評価が行えると判断された。

参考文献

- 1) 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

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

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 and mixture for surface course of pavement is the subject of this study. In FY 2009, it researched for the development of new methods as follows. The evaluation method of high temperature flow resistance (rutting resistance), low temp crack resistances (low temperature property), aging properties by the ultra violet, and resistances to water (resistant stripping) were studied. As a result, the applicability of asphalt shear test by constant strain as the method of evaluating rutting resistance was found. The applicability of asphalt bending test by constant strain as the method of evaluating cracking resistance was found. To guess the properties change by service with road, the properties change in the test piece exposed for two years was measured. The applicability of the splitting test with the immersed silica sand mixture as the water-proof evaluation method was found.

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