

# 高温域を考慮したアスファルト混合物の スティフネス測定に関する研究

久利良夫<sup>1</sup>・佐藤彰紀<sup>2</sup>・鎌田 修<sup>3</sup>・芳賀潤一<sup>4</sup>・児玉孝喜<sup>5</sup>

<sup>1</sup>正会員 博(工) 阪神高速道路管理技術センター 調査研究部 (〒541-0054 大阪市中央区南本町 4-5-7)

E-mail : hisari@tech-center.or.jp

<sup>2</sup>正会員 修(工) 阪神高速道路株式会社 技術部 (〒541-0056 大阪市中央区久太郎町 4-1-3)

<sup>3</sup>正会員 博(工) 鹿島道路株式会社 技術研究所 (〒182-0036 東京都調布市飛田給 2-19-1)

<sup>4</sup>正会員 鹿島道路株式会社 技術研究所 (〒182-0036 東京都調布市飛田給 2-19-1)

<sup>5</sup>正会員 鹿島道路株式会社 技術部 (〒112-8566 東京都文京区後楽 1-7-27)

供用下での舗装の温度は、夏期には 60℃にも達する。アスファルト混合物のスティフネスは、レジリエントモデュラス試験や一軸圧縮試験で測定が行われるが、60℃のような高温域では未だ測定方法が確立されていない。また、高温域の実験では、供試体形状も測定に大きく影響を与える。このことから、高温域でのスティフネスの測定を一軸圧縮試験を用いて検討した。この結果、60℃での計測が可能なスティフネスの測定方法と供試体形状とを見だし、密粒度アスファルト混合物、ポーラスアスファルト混合物、SMA 混合物、グースアスファルト混合物それぞれのスティフネスを測定することができた。

**Key Words** : asphalt mixture, stiffness, high temperature, creep test, mastic asphalt

## 1. はじめに

橋梁の鋼床版部において、近年、疲労き裂が報告され、阪神高速道路でもUリブとデッキプレートとの溶接部などで確認されている。鋼床版の疲労き裂の原因究明や損傷対策を検討する場合には、舗装体を含めた橋梁の構造解析などが行なわれている。その際に、アスファルト混合物の弾性係数を入力する必要がある。しかし、60℃程度の高温域におけるアスファルト混合物のスティフネスの測定方法は確立されていない。そこで、既存の試験方法を調査して、試験方法の問題点を整理し、橋面舗装の実路のアスファルト混合物に近い状態でスティフネスの測定試験を実施できるように試験方法を検討した。

また、検討した試験方法にて、阪神高速道路で使用している密粒度アスファルト（以下、密粒度 As）混合物、ポーラスアスファルト（以下、ポーラス As）混合物、砕石マスチック（以下、SMA）混合物、グースアスファルト（以下、グース As）混合物の4種類の混合物についてスティフネスの測定を試みた。

本稿は、アスファルト舗装のFEM解析に用いる弾性係数を把握することを目的に、測定方法を含めたアスファルト混合物のスティフネスに関する基礎的な研究について報告するものである。

## 2. 試験方法の検討

舗装の設計方法は、我が国では  $T_A$  法が広く使用されており、アスファルト混合物の弾性係数を設計に取り入れることはあまり行われていない。しかし、フランスでは理論設計法が取り入れられており、アスファルト混合物の弾性係数の測定方法が示されている。フランス中央土木研究所（Laboratoire Central des Ponts et Chaussées. 以下 LCPC）では、一定の規格以上の舗装についてはアスファルト混合物の弾性係数を求めることが定められている。この試験方法は、直径 100mm、高さ 200mm の供試体に周波数 10Hz で動的载荷を行いスティフネスを求めている。ここでの試験の最高温度は、改質アスファルトを使用した混合物では 40℃としている<sup>1)</sup>。

また、AASHTO から 2002 年に発刊された舗装のデザインガイドでも、弾性係数の測定方法が指定されている。この中では NCHRP 1-28A に示された動的モデュラス試験か AASHTO T320 のせん断試験のいずれかを行って、動的モデュラスと時間シフトファクターを定めるように示されている<sup>2)</sup>。NCHRP 1-28A は AASHTO T307-99 「土と粒状材料のレジリエントモデュラス」<sup>3)</sup>と同様の方法であり、これは LCPC のレジリエントモデュラス試験とよく似た方法である。供試体は、ジャイレトリコンパクタ

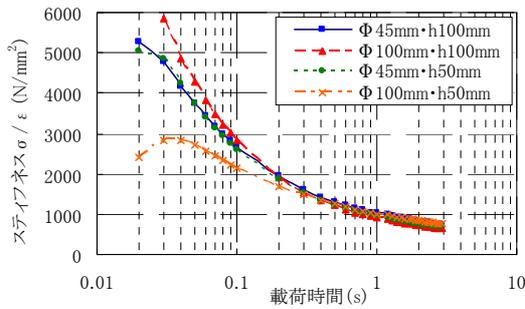


図-1 20°Cにおけるスティフネスと時間との関係

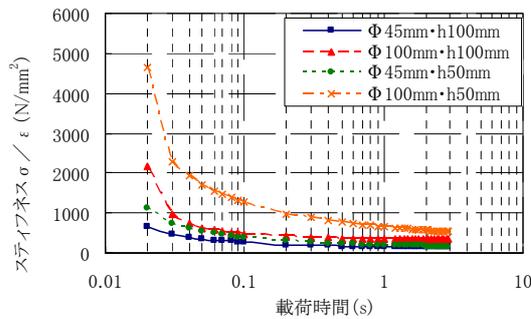


図-2 40°Cにおけるスティフネスと時間との関係

一で製作するようになっており、またその形状から推測して60°Cでの実施は困難な場合がある。AASHTO T320<sup>4)</sup>はSuperpave Shear Test<sup>5)</sup>(SST)と同様の方法である。SSTは80°Cまで試験が行えるが、AASHTO T320では、20°Cを標準的な温度、40°Cを高温での試験としている。

一方、我が国を見ると舗装調査・試験法便覧にアスファルト混合物のレジリエントモデュラス試験法が記載されている<sup>6)</sup>。この試験温度は通常5°C~40°Cである。また、アスファルト混合物の弾性係数を一軸圧縮試験にて測定する研究もなされている<sup>7)</sup>。直径100mm、高さ200mm(以下、Φ100mm・h200mm)の供試体を用いて-10°Cから10°Cの範囲であれば一軸圧縮試験を用いた方法で弾性係数、ポアソン比の測定が可能とされている。しかし、60°Cでは、供試体が側方への膨らみを伴った破壊が生じ、明確に測定結果が記載されていない。以上のことから、アスファルト混合物のスティフネスを測定する方法は、間接引張型試験と一軸圧縮型試験に大別できる。本研究では、実路での荷重の載荷状況と高温域での試験の実現性を考慮し、一軸圧縮試験を用いて行うこととした。

また、供試体は、現場切り取り供試体を想定してローラーコンパクターを用いて製作したものとし、舗装厚は橋面舗装の構成から50mm~100mmとして試験が実施可能な条件や方法を検討することとした。

### 3. 供試体形状の検討

#### (1) 供試体寸法に関する検討

一般的な一軸圧縮試験の供試体は、直径：高さが1：2である。しかし、コンクリートの既存の研究では、直径：

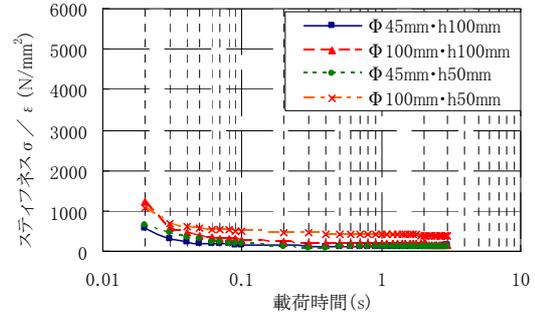


図-3 60°Cにおけるスティフネスと時間との関係

高さが1：1程度の場合、圧縮強度には寸法の影響がでるが、弾性係数を測定する範囲においては影響がないとの報告もある<sup>8)</sup>。このことから、アスファルト混合物においても、載荷荷重が線形粘弾性領域から逸脱しないボルツマンの重ね合わせの原理が成立する範囲の大きさである場合には、直径と高さの比を変化させても、得られるスティフネスに変化がない可能性がある。このため、粗骨材の最大寸法の3倍以上を確保する直径で、供試体の直径高さ比を変化させて検討を行った。骨材の最大粒径が13mmであることと、使用するコアバレルの関係から、供試体寸法の検討は、次の4種類の寸法とした。

- ①Φ45mm, h100mm
- ②Φ45mm, h50mm
- ③Φ100mm, h100mm
- ④Φ100mm, h50mm

供試体寸法の影響は、密粒度As混合物を用いて、20°C、40°C、60°Cの3条件にて試験を行い確認した。試験は一定荷重で載荷するクリープ試験で実施した。載荷荷重は、49kN 輪荷重を多層弾性理論で広く用いられている接地半径 $r$ (cm) =  $12 + \sqrt{\text{輪荷重 } P \text{ (tf)}}$  で計算した結果をもとに0.55N/mm<sup>2</sup>を目標として、断面積を乗じた値を目標とした。20°C、40°Cの試験では、同一供試体にて複数回載荷を行い測定値が安定してくる載荷4回目の値を用いた。60°Cでは、Φ45mm・h100mmの供試体で載荷2回目で破損したため、載荷1回目の測定値を用いた。20°Cから60°Cまでのスティフネスと載荷時間の関係は、図-1~図-3に示すとおりである。また、60°Cにおけるポアソン比と載荷時間の関係を図-4に示した。これを見ると、Φ100mm・h50mm供試体は他の供試体と比較すると異なるスティフネスと時間の関係を示し、直径：高さが2：1は寸胴な形状であり、供試体寸法の影響が大きく出ることがわかった。

Φ100mm・h100mmの供試体のスティフネスは、Φ45mm・h50mm、Φ45mm・h100mmの供試体と同様な傾向が得られたが、ポアソン比は異常と考えられる値を示す場合もあった。これは、高さ100mmの供試体の製作では、1層を50mm程度とし2層で締め固めたことから混合物が層状になることが一因と考えられ、Φ45mmに比べΦ100mmに影響が大きく出た推察される。

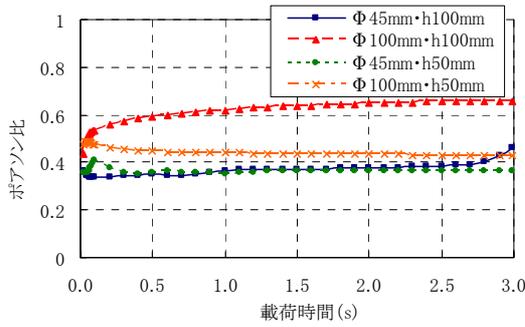


図-4 60℃におけるポアソン比と時間との関係

Φ45mm・h100mm 供試体は、基準となる直径高さ比の供試体である。しかし、60℃の試験では、载荷 2 回目の測定途中で供試体が破損した。直径：高さが 1：2 の場合には、60℃のような高温域では同一供試体において繰り返した計測が難しい。

以上の結果から、直径：高さが 1：1 の供試体は、線形粘弾性領域を逸脱しないような荷重でスティフネスを測定する場合には、直径と高さの比の影響がなく、高温域でも同一供試体において繰り返して計測ができることがわかった。また、供試体を 2 層で締め固めた場合には、ポアソン比に影響を及ぼすことから、1 層で締め固めることが望ましい。このため、橋面舗装の舗装厚を考慮し、本章の「供試体形状の検討」以降は、高さ 50mm の供試体を使用することとした。

## (2) ひずみゲージの影響

ひずみは、高さ 50mm の供試体の場合には、長さ 30mm 程度のひずみゲージを貼付し、測定する方法が妥当と考えられるが、次に示す留意点があることから、これらの確認を行った。

①ひずみ計の貼付は JISA 1149 の「コンクリートの静弾性係数試験方法」では、粗骨材最大粒径の 3 倍以上の長さであり、供試体高さの 1/2 以下と定められている。粗骨材最大粒径が 13mm (以下、13mm<sub>top</sub>)、供試体高さが 50mm の場合には、長さ 30mm のひずみゲージではいずれの条件も満たすことができない。

②ひずみゲージは、アスファルト混合物に接着剤で貼付するため、アスファルトによるひずみゲージの剥がれが懸念される。また、接着剤を貼付することによる測定値への影響も確認する必要がある。

### a) ひずみゲージの長さの影響

ひずみゲージの長さが測定値に及ぼす影響については、コンクリートの弾性係数に関する研究では、60mm のひずみゲージが 30mm となっても得られる結果に差は見られないとの報告がある<sup>9)</sup>。このことから、13mm<sub>top</sub> の密粒度 As 混合物を用い、60℃でクリープ試験を行い確認した。試験供試体は Φ45mm・h100mm の直径：高さが 1：2 のものを用い、同一供試体上に長さ 60mm と 30mm のひ

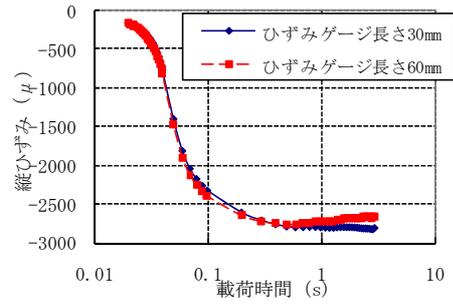


図-5 ひずみゲージの長さによる縦ひずみへの影響

ずみゲージを各々対面に貼付して、2箇所縦ひずみを計測した。図-5に縦ひずみと時間の関係を示した。この結果、ひずみゲージの長さを変化させても大きな差は見られなかった。このため、コンクリートでは直径：高さ 1：2 の供試体が 1：1 になっても得られる弾性係数に差がないとの既往の研究成果<sup>8)</sup>との両者を考慮し、ひずみ計測は、供試体高さを 50mm とした 13mm<sub>top</sub> のアスファルト混合物では、長さ 30mm のひずみゲージを使用することとした。

### b) ひずみゲージの剥がれに対する影響

ひずみゲージを貼付すると、供試体と接着剤との間にアスファルトのオイル分が存在するため、十分な接着力が得られない可能性がある。このため、ひずみゲージの貼付について、既存の研究結果<sup>10)</sup>を基に検討した。今回は WT 試験用の 300×300×50 (mm) の供試体からコア採取した混合物を供試体とするため、供試体側面のアスファルトはかなり除去された状態となっている。更に、その供試体をサンドペーパーで研ぎ、供試体側面の骨材上にひずみゲージを貼るように設置した。その結果、载荷荷重の増加に伴いひずみが線形的に変化し、同一供試体で繰り返し载荷試験を行っても同程度の測定値が得られことを確認した。また、供試体が異なっても混合物種と温度が同じ場合には、同程度のスティフネスが得られ、供試体を変えても精度のよい結果が得られた。以上のことから、ひずみゲージが供試体の側面で剥がれておらず、アスファルト混合物の変形に追従しているものと考えた。

### c) 接着剤の測定値への影響

ひずみゲージを貼付する場合には、接着剤を使用するため、供試体との間に剛性の違う物質が存在することになり測定値に影響を及ぼす可能性がある。使用した瞬間接着剤は、一般に市販されているものの中から弾性係数の低いものを選定した。瞬間接着剤の弾性係数は 564N/mm<sup>2</sup> である。一方、アスファルト混合物の 60℃でのスティフネスは図-3から 100 N/mm<sup>2</sup> を下回る小さな値であると考えられる。このため、接着剤の貼付した供試体としていない供試体とを線形 FEM 解析でモデル化して、接着剤貼付の影響を確認することとした。

FEM 解析では、実際の接着剤の貼付状況を図-6に示すようにモデル化した。FEM 解析では、1mm 未満のメッシ

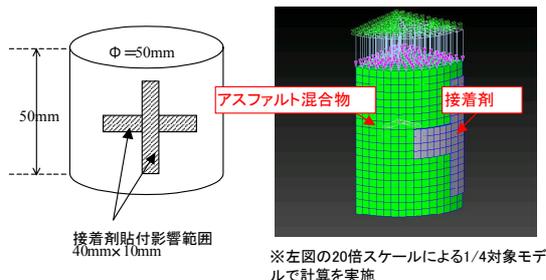


図-6 接着剤貼付の影響調査のためのFEMモデル

表-1 平均膜厚と貼付の影響のFEM解析結果

測定	接着剤使用量 (g)	平均膜厚 (mm)	解析入力値のスティフネス (N/mm <sup>2</sup> )	解析から得られる測定時のスティフネス (N/mm <sup>2</sup> )			
				接着剤膜厚 (mm)			
				0.5	0.25	0.15	0.05
1	0.0591	0.0800	2000	2040	2020	2013	2004
2	0.0588	0.0795	1000	1039	1020	1013	1004
3	0.0733	0.0992	500	538	519	513	504
平均	0.0637	0.0862	100	133	118	112	104

表-2 接着剤の違いによるスティフネス測定結果(60℃)

混合物種類	接着剤弾性係数 (564N/mm <sup>2</sup> )	接着剤弾性係数 (960N/mm <sup>2</sup> )	差 (N/mm <sup>2</sup> )
	スティフネス (N/mm <sup>2</sup> )	スティフネス (N/mm <sup>2</sup> )	
密粒度As	80	86	6
ポーラスAs	119	125	6
SMA	70	77	7
グースAs	103	94	-9

は解析ができないことから、実際のスケールから20倍して計算した。接着剤の膜厚は、実際は不均一な状況であるが、これを完全にモデル化することはできないため、均一であるとして計算した。FEM解析から求めた測定スティフネスと実際の接着材の膜厚を表-1に示した。膜厚は、接着剤の使用量から求めた。これより、アスファルト混合物のスティフネスが100N/mm<sup>2</sup>の場合には、膜厚が0.15mmでは測定値は112N/mm<sup>2</sup>、膜厚が0.05mmでは測定値は104N/mm<sup>2</sup>となる。実際の接着剤の平均膜厚が0.086mmであることから、アスファルト混合物のスティフネスが100N/mm<sup>2</sup>の場合には、数%の影響を受けていることがわかる。

次に、解析の妥当性を確認するために、弾性係数が564N/mm<sup>2</sup>よりも大きい接着剤(弾性係数;960N/mm<sup>2</sup>)を使用して60℃で密粒度As混合物、グースAs混合物、SMA混合物、ポーラスAs混合物で試験を実施した。表-2は、クリープ試験で荷重時間1秒後のスティフネスである。これとFEM解析の計算結果とを比較すると、接着剤を換えても有意な差は認められず、測定誤差の範囲に入る程度であった。

これらの結果より、接着剤貼付の影響は、ほとんどないと考えられ、測定した実測値をアスファルト混合物の値として扱うこととした。

#### d) 線膨張係数の測定

ひずみゲージの測定値の確認を行うため、35℃~60℃

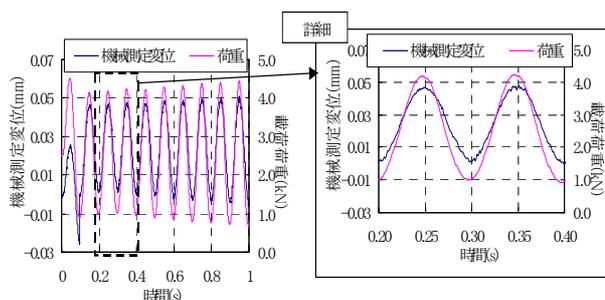


図-7 繰返し荷重試験による測定結果

において、アスファルト混合物の線膨張係数を測定した。この結果、線膨張係数は20μ/℃程度であり、既存の研究結果<sup>10)</sup>や一般的にいわれている値と同程度であった。

以上より、適切にひずみゲージを貼付することで、アスファルト混合物のひずみ測定は可能であると判断した。

## 4. 測定手法の検討

### (1) 試験方法の検討

荷重試験の方法は、繰返し荷重試験、応力緩和試験、クリープ試験の3試験が考えられる。それぞれの試験実施について、今回使用する機械(Instron8802 油圧型疲労試験機)で検討した。供試体は、密粒度As混合物とし、60℃にて、それぞれの試験を行った。

### (2) 荷重試験方法の検討

#### a) 繰返し荷重試験

繰返し荷重試験は、荷重を一定のサイクルで行うため、安定した結果が得られる。周波数を10Hz、最大変位を0.05mmとして試験を実施した結果、図-7のように、荷重と変位が精度よく計測できた。本研究では、測定結果を粘弾性FEM解析により再現することを予定している。しかし、繰返し荷重試験の結果を粘弾性FEM解析で再現することは困難であることから、各混合物にて行う試験では、繰返し荷重試験は実施しないこととした。

#### b) 応力緩和試験

まず静的圧縮試験を行い、応力とひずみの関係を調べ、供試体の線形領域となる範囲を確認した。それから荷重する応力を決定して、荷重板を変位させる速度と停止させる時間とを決定して応力緩和試験を実施した。

荷重速度を20mm/sとした静的圧縮試験の結果を図-8に示した。これより、応力が2.0~2.5N/mm<sup>2</sup>の範囲程度まではボルツマンの重ね合わせの原理が成立する線形領域であることが確認できた。発生応力は0.02秒で0.5N/mm<sup>2</sup>、0.03秒で1.5N/mm<sup>2</sup>であったが、荷重速度20mm/sで0.03秒で変位を与える条件で、応力緩和試験を実施したところ0.03秒で発生する応力は、0.1~0.3N/mm<sup>2</sup>と、静的圧縮試験の発生応力の1/5程度であった。これは0.03秒で変位を停止させる試験機の制動の影響で静的試験と異なっ

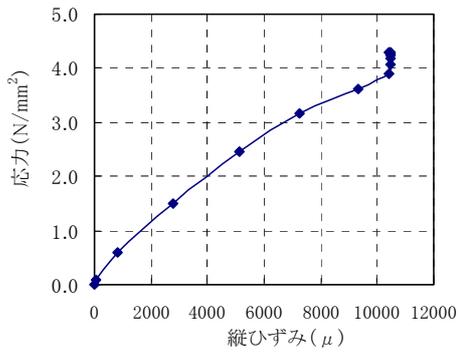


図-8 静的圧縮試験における応力とひずみとの関係

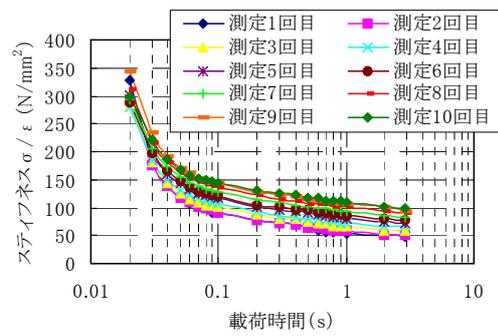


図-11 応力緩和試験における载荷回数を増加させた場合のステイフネスと時間

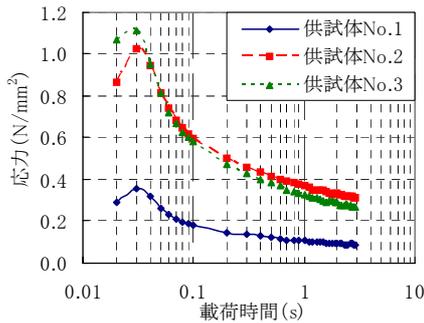


図-9 応力緩和試験における応力と時間

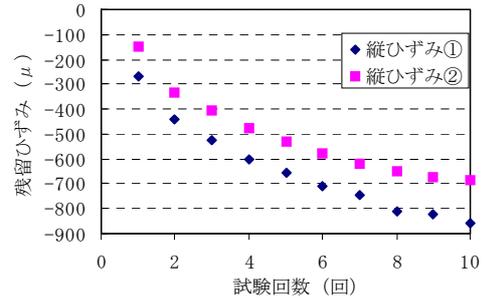


図-12 载荷回数と残留ひずみとの関係

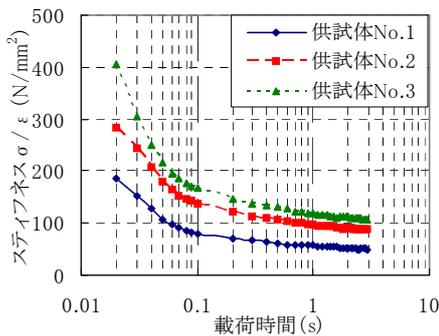


図-10 応力緩和試験におけるステイフネスと時間

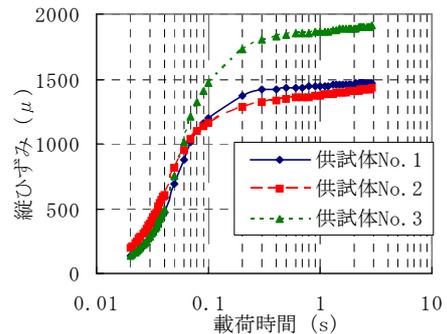


図-13 クリープ試験における縦ひずみと時間

たと考えられる。そこでひずみ速度を 30mm/s と 35mm/s とで試験を行った。図-9、図-10 は、その結果である。同一供試体に複数回数载荷を行うと、回数を重ねるごとに発生する応力は大きくなるが、30mm/s の供試体 1 では 0.03 秒で発生する応力は 0.4N/mm<sup>2</sup> 程度と、目標とした 0.55N/mm<sup>2</sup> より小さくなった。また、35mm/s の供試体 2 と 3 では 0.03 秒に発生する応力は、1 回目の载荷時から目標とした 0.55N/mm<sup>2</sup> 程度が得られたが、载荷回数を重ねると 1.0~1.2 N/mm<sup>2</sup> とかなり大きくなった。

次に、同一供試体により载荷回数を増やすことによる影響を調べた。载荷は、载荷回数 4 回目で発生応力が 0.5~0.6N/mm<sup>2</sup> 程度となるように行った。ステイフネスと载荷回数との関係を図-11 に示した。ステイフネスは载荷 1 回目を除いて大きな差は見られず、4 回目以降はほぼ同じ

値となった。载荷時間が 0.1 秒では 2 回目と 10 回目とのステイフネスの差は 30N/mm<sup>2</sup> 程度である。また、残留ひずみは図-12 に示すとおり、载荷回数ごとに増加していくことがわかった。

以上より、応力緩和試験でステイフネスを計測できることがわかったが、60℃の高温域では供試体によって発生する応力が大きく変化することも同時に判明した。供試体の寸法より、小さい線形粘弾性領域で载荷することが必要な本研究では、発生する応力の予測がつかないことは大きな課題である。

### c) クリープ試験

クリープ試験は、応力緩和試験と同じ混合物で 60℃において実施した。クリープ試験の結果は、図-13、図-14 のとおりである。この結果、载荷時間が短い間は、各供試体で発生する縦ひずみは同程度であった。また、ステ

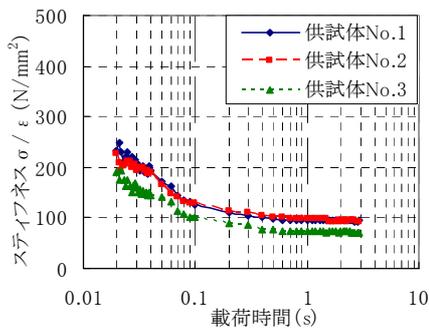


図-14 クリープ試験におけるスティフネスと時間

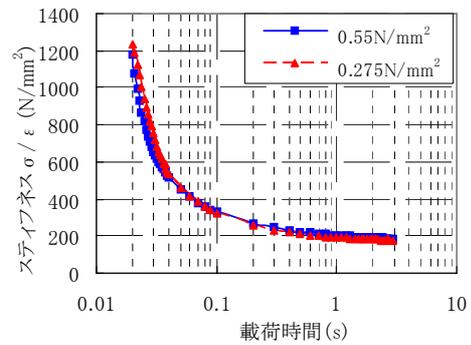


図-16 載荷荷重の違いによるスティフネス(40°C)

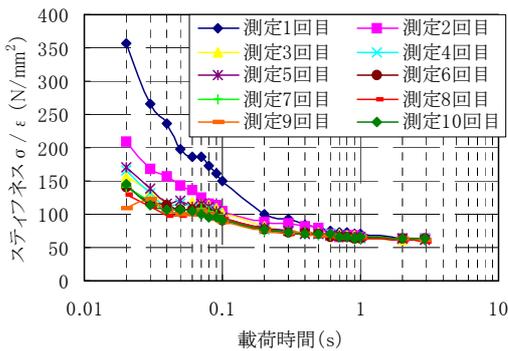


図-15 クリープ試験における載荷回数を増加させた場合

ィフネスも応力緩和試験と同程度の値であった。

次に、同一供試体により載荷回数を増やすことによる影響を調べた。スティフネスと載荷回数との関係を図-15に示した。各載荷回数でのスティフネスから、クリープ試験は応力載荷試験と比較して載荷回数の影響が少ないと考えられる。

以上より、60°Cの高温域ではクリープ試験は発生ひずみが載荷回数が少ない状態から安定し、得られるスティフネスの再現性がよく、載荷回数による変動も少ないことがわかった。

### (3) 載荷荷重の検討

載荷荷重は、0.55N/mm<sup>2</sup>に断面積を乗じた値を目標とした。しかし、0.55N/mm<sup>2</sup>では高温域の実験にて供試体の破損することが考えられるため、荷重を1/2倍、1/4倍、1/8倍としたときの影響について調べた。

密粒度As混合物を40°Cで1倍、1/2倍で試験した結果を図-16、60°Cで載荷荷重を0.55N/mm<sup>2</sup>の1/2倍、1/4倍、1/8倍で試験した結果を図-17に示した。この結果、載荷荷重が異なり、発生する縦ひずみが異なっても供試体が破損しない線形粘弾性領域内では得られるスティフネスに有意な差がないことが確認できた。

以上より、本研究では、各温度でまず0.55N/mm<sup>2</sup>の載荷荷重を与えて、供試体が早期に破損する場合には、載荷荷重を1/2として試験を実施する。それでも破損する場合には、さらに1/4として試験する。この手順が必要であ

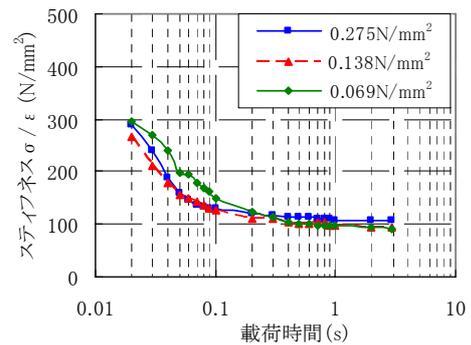


図-17 載荷荷重の違いによるスティフネス(60°C)

れば順次載荷荷重を低減させ、最小で1/8倍に相当する0.138N/mm<sup>2</sup>まで低減することとした。

### (4) 試験方法のまとめ

これまでの試験方法に関する結果と実路では車両により荷重は異なるが載荷状態はひずみ一定ではなく走行車両による荷重でアスファルト混合物へ載荷が行われることを考えると、各混合物の試験は、ひずみ制御ではなく荷重制御によるクリープ試験が妥当と考えられる。

## 5. 各混合物における測定結果

### (1) スティフネス測定結果

密粒度As混合物、ポーラスAs混合物、SMA混合物、グースAs混合物の4種類の混合物を用い、5°C、20°C、40°C、60°Cの各温度にてクリープ試験を実施した。供試体は、直径：高さ1：1が妥当であることから直径50mmで採取できるコアバレルを製作し、Φ50mm・h50mmとした。供試体数は、それぞれ3~9個である。図-18は60°C、図-19は40°C、図-20は20°C、図-21は5°Cでの各混合物のスティフネスである。ただし、スティフネスは各測定値の平均である。

5°Cから40°Cでは、SMA混合物と密粒度As混合物は各温度でのスティフネスが同程度であった。これは、使用したアスファルトが同じポリマー改質アスファルトII型であることも要因となっていると考えられる。60°Cでは、

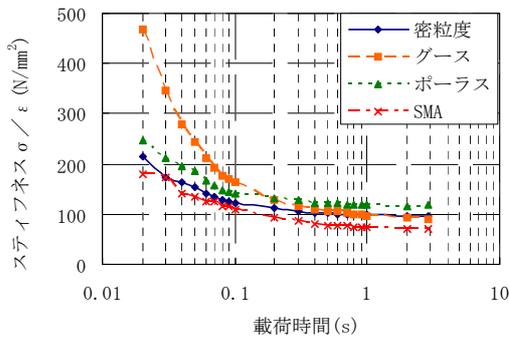


図-18 60°Cにおける各混合物のスティフネスと時間

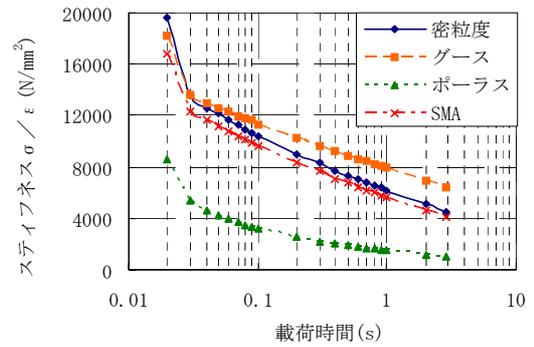


図-21 5°Cにおける各混合物のスティフネスと時間

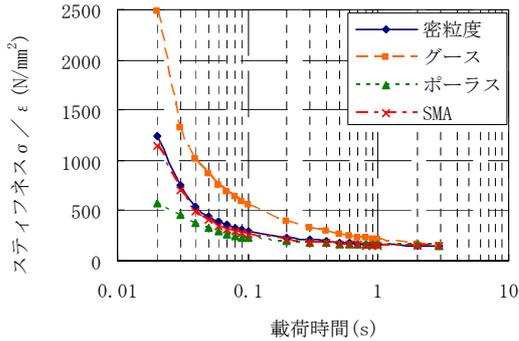


図-19 40°Cにおける各混合物のスティフネスと時間

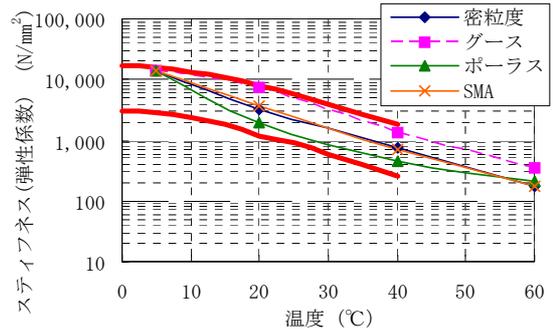


図-22 0.03 秒時のスティフネスと設計便覧の弾性係数

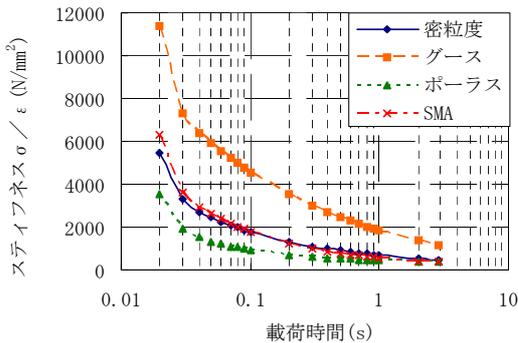


図-20 20°Cにおける各混合物のスティフネスと時間

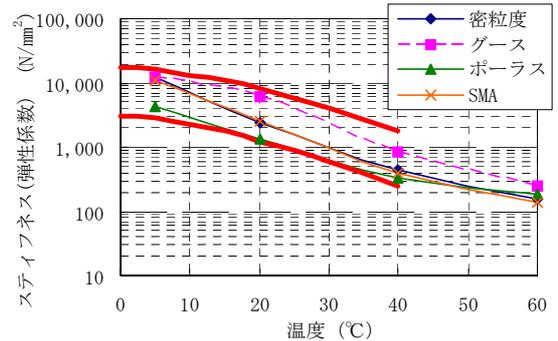


図-23 0.05 秒時のスティフネスと設計便覧の弾性係数

SMA のスティフネスが小さくなったが、これはアスファルト量の影響も一因と考えられる。グース As 混合物 (StAs.20/40+T.L.A.) は、密粒度 As 混合物や SMA 混合物と比較してスティフネスが大きく、ポリマー改質アスファルト H 型を使用したポーラス As 混合物はスティフネスが小さくなった。なお、ポーラス As 混合物のスティフネスが小さいのはアスファルトの影響のみではなく、構造的な要因も大きく関係していると考えられる。

次に、舗装設計便覧にはアスファルト混合物の弾性係数の一例が記載されている<sup>11)</sup>。この弾性係数は、これまでの FWD やレジリエントモデュラス試験などの調査や研究で得られたものである。FWD の荷重時間は 0.03 秒であり<sup>12)</sup>、レジリエントモデュラス試験が 10Hz の場合、ハーバーサイン波で荷重されていることから、0.05 秒程度で最大荷重になると考えられる。このため、今回の試験

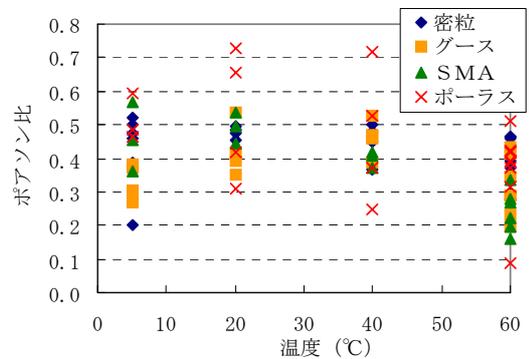


図-24 混合物の違いによる各温度でのポアソン比

結果の 0.03 秒と 0.05 秒時のスティフネスと比較した。図-22、図-23 をみると、5°C から 40°C では、ほとんどが舗装設計便覧の弾性係数の範囲に入っており、密粒度 As 混

合物と SMA 混合物がほぼ中央、グース As 混合物が上限側、ポーラス As 混合物が下限側となり概ね過去の知見と一致していることもわかった。

## (2) ポアソン比測定結果

ポアソン比の測定結果を図-24 に示した。ただし、載荷 4 回目の 2.5 秒時のポアソン比である。ポアソン比にはバラツキが見られ、これはひずみゲージによる測定が一因と考えられる。また、特にポーラス As 混合物でバラツキが大きくなったのは、スティフネスと同様に構造的な要因が大きく影響していると考えられる。

## 6. まとめ

舗装体を含めた橋梁の構造解析などを行う時のアスファルト混合物の弾性係数を把握するため、高温域を考慮したアスファルト混合物のスティフネスの測定について検討した。この結果、直径と高さの比が 1 : 1 の供試体を用いた一軸圧縮試験によりスティフネスを計測できることがわかった。また、各種の混合物のスティフネスを計測し載荷速度とスティフネスとの関係を得ることができた。

本研究は 60℃までの高温域を考慮した実験であることから静的圧縮試験を行ったところ、今回用いた供試体では 2.0~2.5N/mm<sup>2</sup> までは線形領域であることがわかり、載荷加重の目標とした 0.55N/mm<sup>2</sup> は、線形粘弾性領域での実験であることが確認できた。

今後は、混合物のスティフネス、ポアソン比の測定精度の向上を目指すとともに、本試験で計測できる載荷時間は 0.02 秒（車両速度に換算すると約 35km/h）までのことから、実際の車両走行時の載荷速度でのスティフネスを推定するための解析モデルの構築を行っていく予定である。

謝辞：本研究を行うにあたって、阪神高速道路舗装技術委員会、吉田委員長（神戸大学准教授）、山田委員（大阪市立大学名誉教授）、佐野委員（近畿大学教授）に多大なる御指導、御助言を承りました。ここに記して感謝の意を表します。

## 参考文献

- 1) THE RST Working Group “Design of bituminous mixture” : LCP Bituminous Mixtures Design Guide, 2007.
- 2) AASHTO : Pavement Design Guide, 2002.
- 3) AASHTO: Determining the Resilient Modulus of Soils and Aggregate Materials, T307-1-14, 2003.
- 4) AASHTO: Determining the Permanent Shear Strain and Stiffness of Asphalt Mixtures Using the Superpave Shear Tester(SST), T320-1-11, 2003.
- 5) 池田拓也：講座 SHRP で提案された新しい配合設計方法, 舗装, pp.29-33, 1997.11.
- 6) (社) 日本道路協会：舗装調査・試験法便覧, 2007.
- 7) 峰岸順一, 阿部忠行：アスファルト混合物の一軸圧縮特性, 東京都技術研究所年報, pp.91-94, 1991.
- 8) 四戸英男, 最知正芳：コンクリート供試体の高さ／直径比と静弾性係数測定値の関係について, 日本建築学会大会学術講演概要集, pp.107-108, 1980.
- 9) 磯健一, 佐原春也：小径コア供試体のひずみ計測に関する基礎研究, 日本国土開発技術研究報告, No.19, 2002.
- 10) 内田喜太郎, 西澤辰男, 姫野賢治, 野村健一郎：鋼床版舗装の表面ひび割れに関する研究, 土木学会舗装工学論文集, Vol.4, pp.103-110, 1999.
- 11) (社) 日本道路協会：舗装設計便覧, 2006.
- 12) 安倍隆二, 田高淳：動的載荷におけるアスファルト舗装の引張りひずみに関する一考察, 寒地土木研究所月報, pp.10-19, 2007.10.

# A RESEARCH ON MEASUREMENT OF STIFFNESS OF ASPHALT MIXTURE AT HIGH TEMPERATURE

Yoshio HISARI, Akinori SATO, Osamu KAMADA,  
Jyunichi HAGA and Takayoshi KODAMA

The temperatures of pavement of servicing road reach 60 degrees Celsius in summertime. The stiffness of asphalt mixture is often measured by resilient modulus test or uniaxial compression test at normal temperature. But, measurement method at high temperature is not defined. And shape of specimen also influences measured values in such condition. In this research, the measurement of asphalt mixture at high temperature using uniaxial compression test is investigated. As a result, the measurement method and the shape of specimen are proposed and the stiffness characteristics of dense grade asphalt concrete, porous asphalt concrete, stone matrix asphalt concrete and mastic asphalt concrete are measured.