

[ノート]

低温領域のアスファルト性状の測定法

森吉昭博*, 川村和将

北海道大学工学部, 060 札幌市北区北 13 条西 8 丁目

(平成 4 年 7 月 27 日受理)

現在, 低温領域におけるアスファルト単体の力学試験としてフラースぜい化点試験が存在するが, その試験の測定値はばらつきの幅が著しく大きく, 破壊温度しか測定できない。そこで筆者らはフラースぜい化点試験機を改良し, 荷重も測定可能なものを試作した。このとき, フラースぜい化点試験も併せて行った。本研究はこの筆者らが新たに開発した試験機を用い, 低温領域におけるアスファルト単体の曲げ試験の結果について主に報告する。供試体はあらかじめひずみを測定した鋼板にアスファルトを塗布したものである。それに様々な温度で曲げ作用を与え, アスファルトの強度, ひずみ, 破壊時の弾性係数を測定した。一部, 応力緩和試験も行った。

実験により以下の結果を得た。フラースぜい化点試験および曲げ試験の結果は試験機のジグの形状に著しく依存する。また, アスファルトの低温領域において破壊時の強度および破壊時の弾性係数は温度が低下するに伴い増加する。

1. 緒 言

アスファルト舗装のき裂は主にアスファルト単体のぜい性破壊に起因すると考えられる¹⁾。き裂は, 使用したアスファルトの応力緩和の限界を超えその強度以上の荷重がかかった時に生じるので, アスファルト単体の応力緩和や強度はき裂を考える上で極めて重要な因子である。従来, アスファルトの強度の測定や応力緩和試験は困難であるとされていた。筆者らはフラースぜい化点試験機を改造し, 鋼板上にアスファルトを塗布した試料を用いて, アスファルトの曲げ試験だけでなく, 応力緩和試験も簡単に行う方法を開発したのでここに報告する^{2),3)}。この方法は少量のアスファルトで簡単に, かつ正確にこれらの試験を行うことが可能で, 特に低温領域におけるアスファルトの力学性状を測定するのに適していると思われる。

2. アスファルトの破壊強度計算法

供試体は全て, 厚さが 0.1 mm の特別に製作したフラースぜい化点試験用の鋼板 (41 × 20 × 0.1 mm) 上に 0.4 g のアスファルトを均一に塗布した 2 層構造である。供試体は荷重測定が可能なフラース試験機 (北海道開発庁開発局開発土木研究所型, 概略図を Fig. 1 に示す) に長軸方向を鉛直にした状態で, 鉛直方向に 0.4 mm 以上変形 (以後, 鉛直変位をストロークと呼ぶ) させあらかじめ曲げて設置しておく。この時生じるひずみを初期ひずみとする。以下の実験はこのような状態から始まる。供試体が曲げられる過程で最大応力となる箇所は供試体の表面中央部であり, 供試体の変形量が大きいため, アスファルトの破壊強度の推定には中央部の軸力と曲げモーメントの両方を考慮する必要がある。アスファルト層下面のひずみは鋼

板上面のひずみと同一と思われる。本実験に用いられる供試体のアスファルトと鋼板は十分に密着していると考えられるため, 作用する曲げモーメントは鋼断面をアスファルト断面に換算することにより, 全断面を等質なアスファルトとみなし次式より計算できる⁴⁾。

MO : 作用する曲げモーメント

P : 破壊荷重

dt : 水平変位

Ea : アスファルトの弾性係数

Es : 鋼板の弾性係数

Aa : アスファルトの断面積

As : 鋼板の断面積

L : アスファルトの重心から鋼板の重心との距離

Ia : アスファルトのその重心に関する断面二次モーメント

Is : 鋼板のその重心に関する断面二次モーメント

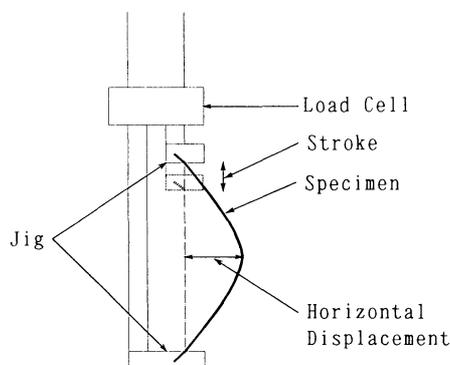


Fig. 1 The General Concept of Fraass Breaking Point Test

* 連絡先

E_{psc} : アスファルトの下層面上におけるひずみ

y_a : アスファルトの重心からアスファルト層上面までの距離

$$MO = +P \cdot dt$$

$n = E_a/E_s$: アスファルトと鋼の弾性係数比

$A_v = A_a + A_s/n$: アスファルトに換算した総断面積

$S_s = A_a/A_v \cdot L$: アスファルトに換算した合成断面の重心から鋼の重心までの距離

$S_a = A_s/(A_v \cdot n) \cdot L$: アスファルトに換算した合成断面の重心からアスファルトの重心までの距離

$I_v = I_a + A_a \cdot S_a^2 + 1/n \cdot (I_s + A_s \cdot S_s^2)$: アスファルトに換算した総断面二次モーメント

供試体のある断面内に曲げモーメントが作用している場合、これをアスファルト部の曲げモーメント MaO と軸力 NaO , および鋼板部の曲げモーメント MsO と軸力 NsO に、それぞれ分配することを考える。力のつりあいとひずみの平面保持の仮定により、次の連立式を得る。

$$\left. \begin{aligned} MaO + MsO + NaO \cdot L &= MO \\ NaO &= NsO \\ NaO/(E_a \cdot A_a) + NsO/(E_s \cdot A_s) &= MaO/(E_a \cdot I_a) \cdot L \\ MaO/(E_a \cdot I_a) &= MsO/(E_s \cdot I_s) \end{aligned} \right\}$$

上式を解くと次の結果を得る。

$$\left. \begin{aligned} MaO &= I_a/I_v \cdot MO \\ MsO &= I_s/(n \cdot I_v) \cdot MO \\ NaO = NsO &= A_s/n \cdot S_s/I_v \cdot MO \end{aligned} \right\}$$

アスファルトの下縁応力 σ_a は Eq. (1) となる。

$$\sigma_a = E_a \cdot E_{psc} = NaO/A_a - MaO/I_a \cdot y_a \quad (1)$$

Eq. (1) においてアスファルトの弾性係数 E_a が未知数であるため、式を変形しニュートン法にてアスファルトの弾性係数を求める。アスファルトの弾性係数が決定すると Eq. (2) より強度を求めることができる。

$$\sigma_b = 11 \cdot E_{psc} \cdot E_a \quad (2)$$

アスファルト層の上面のひずみは本装置ではアスファルト層下面のひずみの 11 倍と考えられるため、Eq. (2) においてひずみを 11 倍とした⁴⁾

水平変位 dt は実験を始める前に試験機に鋼板のみを装着し、ストロークを変化させデジタルダイヤルゲージにて水平方向変位を 1/1,000 mm 単位で測定した値とする。また、鋼板の荷重とストロークの関係を Fig. 2 に示す。

アスファルト層下面のひずみは鋼板上面のひずみと同一と仮定した。ストロークと鋼板上面のひずみの関係は Fig. 3 に示す。

3. フラスゼい化点試験機の改良

前述のフラスゼい化点試験機（北海道開発庁開発局開発土木研究所型）の供試体を装着するジグを他の形状のジグと交換し、その前後において供試体の破壊荷重を測定することによりジグの形状の影響を検討した。供試体を装着する溝の幅は 1 mm 程度あり、従来のジグにおいては供試体厚さより著しく広いため、供試体は載荷時に固定されず溝内で移動する。従来のジグで供試体の荷重を測定した結果は Fig. 4 に示す。明らか

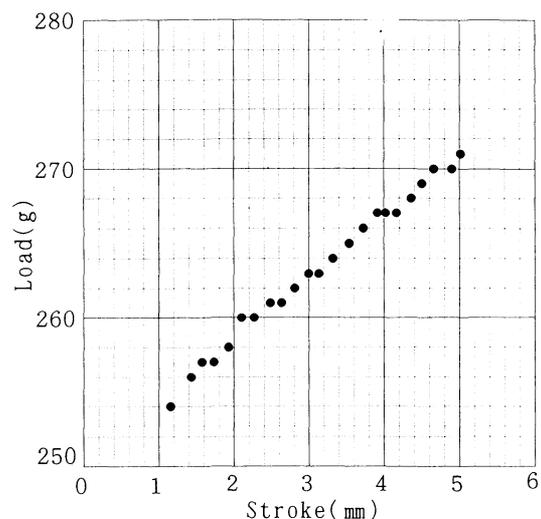


Fig. 2 The Relationship between Load and Stroke (steel only)

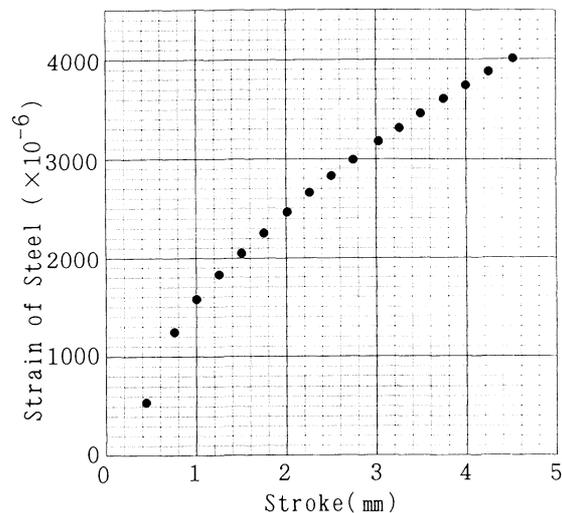


Fig. 3 The Relationship between Strain of Steel and Stroke

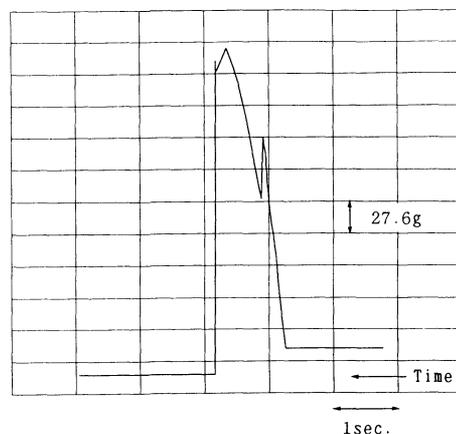


Fig. 4 Load-Time Relation Curve (before jig improvement)

に荷重が不連続的に増加している。アスファルトを塗布しない鋼板のみの場合でも同様に不連続的に荷重が増加した。これではアスファルトの強度を正確に測定しているとは言い難い。一方、ジグの溝幅を供試体の厚み程度に抑えて荷重を測定した結果は Fig. 5 に示す。この場合、荷重は連続的に増加している。この結果、フラースゼい化点試験は試験機のジグの形状に著しく影響を受けると考えられ、ジグの形状を改良することにより実験精度は向上すると思われる。本研究においては改良したジグを使用した。

4. 試験法

使用アスファルトは針入度級 80/100 のストレートアスファルト（針入度 90，軟化点 47.5°C，針入度指数 -0.4）である。

4.1 フラースゼい化点試験

試験方法は DIN U 6 に準拠した。温度制御はデジタル指示調節計を用い、温度は精度 $\pm 0.1^\circ\text{C}$ のデジタル温度計で測定した。従来の実験は冷媒に空気を使用し、試験管内の空气中にフラースゼい化点試験機を挿入し行う。本研究では冷媒に空気の代わりにメタノールを使用した。メタノールを使用したことにより試験管内の温度むらが小さくなり、実験の温度精度が向上した。

4.2 一定温度の曲げ試験

この試験は荷重が測定可能なフラースゼい化点試験機を用いて、供試体を試験機にセットし曲げた状態から一定速度で実験を開始し、一定温度におけるアスファルト単体の破壊強度、破壊時のひずみ等を測定する。記録機器の出力結果の一例を Fig. 6 に示す。曲げ試験は、フラースゼい化点温度より低い温度のメタノール中においてフラースゼい化点試験と同一のストローク速度で行う。ただし、実験は供試体のアスファルトの熱応力をほぼゼロにするためメタノール投入 1 分後に行う。アスファルト荷重を -25°C 以上で測定すると、メタノール投入約 1 分後には荷重がほとんどゼロとなりアスファルトの応力はこの時間でほぼ緩和していることが確認されている。

4.3 応力緩和試験

実験は主にフラースゼい化点温度より高温のメタノール中で行った。供試体を試験機に装着し、供試体の熱応力がゼロになるまで放置し、その後供試体が破壊しないように一定速度である一定ひずみを加え、その後経過時間毎に荷重を測定する。荷重値は、デジタル荷重計と接続されている記録機器から読みとる。出力結果の一例を Fig. 7 に示す。しかし、本研究に使用したアスファルトは少量なため初期荷重が若干小さく、測定温度が変化しても長時間領域における緩和弾性率が Van der Poel の Nomograph から求めた弾性係数と著しく異なった。このため実験精度についても今後検討する必要があると考えられる。

本研究では、アスファルトの応力緩和試験が少量の材料で簡便にできる可能性があることを示す。

5. 結果および考察

5.1 フラースゼい化点試験

本研究に使用したアスファルトのフラースゼい化点温度はジ

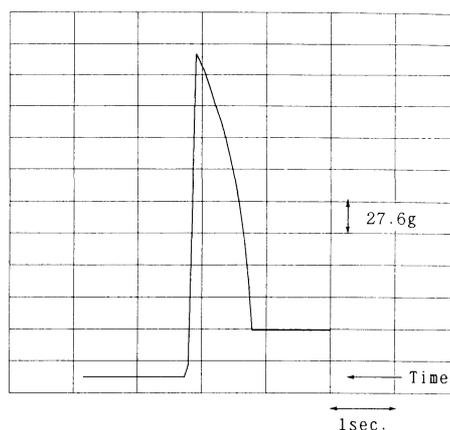


Fig. 5 Load-Time Relation Curve (after jig improvement)

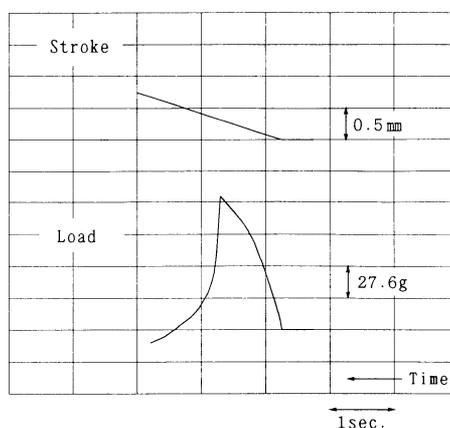


Fig. 6 Load-Time, Stroke-Time Relation Curves on the Bending Test (-19°C)

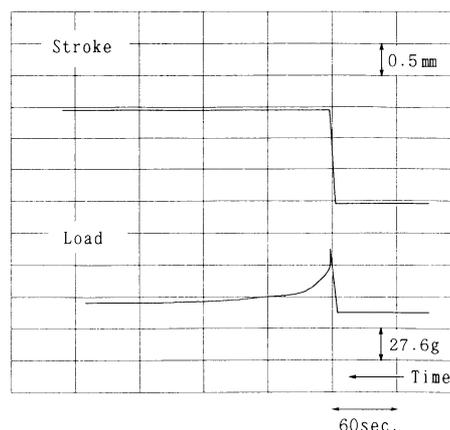


Fig. 7 Load-Time, Stroke-Time Relation Curves on the Stress Relaxation Test (-5°C)

グ改良後 $-12 \pm 1^\circ\text{C}$ になった。この結果はジグを改良する前の精度の $\pm 2^\circ\text{C}$ より改善されたと考えられる。

5.2 一定温度の曲げ試験

実験温度は、フラースゼい化点温度を基準温度と考え、それより低温で行った。破壊強度の実験結果は Fig. 8 に示す。温度が -25°C から上昇するに伴い明らかに破壊強度は減少する傾向にある。 -25°C においては破壊強度は最大で約 3.2 MPa である。

破壊時の弾性係数の実験結果は Fig. 9 に示す。弾性係数は -15°C では約 110 MPa, 平均 107 MPa となり、温度が低下するに伴い上昇し -25°C では約 1,200~1,300 MPa, 平均 1,266 MPa となった。Van der Poel の Nomograph から求めた -15°C の弾性係数は約 200 MPa, -25°C のそれは約 700 MPa であるから、これらの実測値は Nomograph のそれと比較すると -15°C では約 0.5 倍, -25°C では約 1.8 倍であった。原因については検討中である。

6. 結 語

以上で得られた結論を要約すると以下の通りである。

- 1) 荷重-時間曲線に及ぼすジグの影響を少なくするには、ジグの溝幅を供試体の厚さとほぼ同一にする必要がある。
- 2) 本装置は少量のアスファルトで低温領域における破壊強度や破壊時の弾性係数等を求めることができる。
- 3) 低温領域におけるアスファルト単体の破壊強度は温度がフラースゼい化点温度より低下するに伴い若干増加する。
- 4) 低温領域における破壊時の弾性係数は温度が低下するに伴い増加し、この値は -25°C で Van der Poel の Nomograph のその約 1.8 倍である。

以上より低温領域におけるアスファルトの破壊強度の大きさや、破壊時の弾性係数等が明らかにされた。

今後このような装置の特徴をいかすと、アスファルトの質の比較が簡単に行われると思われる。

References

- 1) Moriyoshi, A., Takahashi, M., Zhang Xiao Ning, *Sekiyu Gakkaishi*, **30**, (4), 273 (1987).
- 2) Moriyoshi, A., Kawamura, K., Kaku, T., *Dobokugakkai Hokkaido-shibu Ronbunshu*, (48), 973 (1992).
- 3) Sasaki, K., Kawamura, K., Shibata, S., Mizushima, T., *Hokkaido Kaihatsukyoku Dobokukenkyujo Geppou*, (5), 10 (1990).
- 4) Watanabe, N., "Kyouryou Kougaku", (1987), p. 402-406.
- 5) Moriyoshi, A., Kawamura, K., *Sekiyu Gakkaishi*, **35**, (4), 353 (1992).

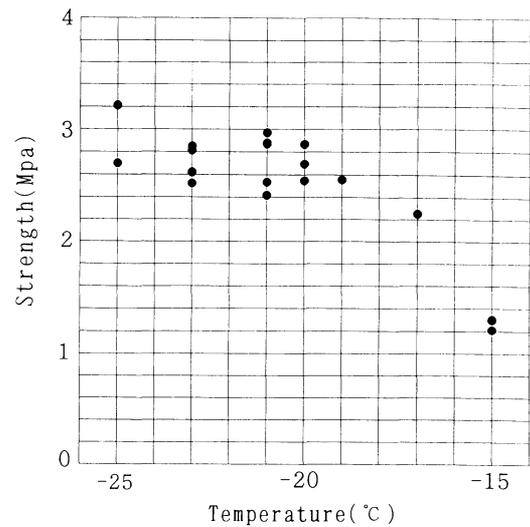


Fig. 8 The Relationship between Strength of Asphalt and Temperature

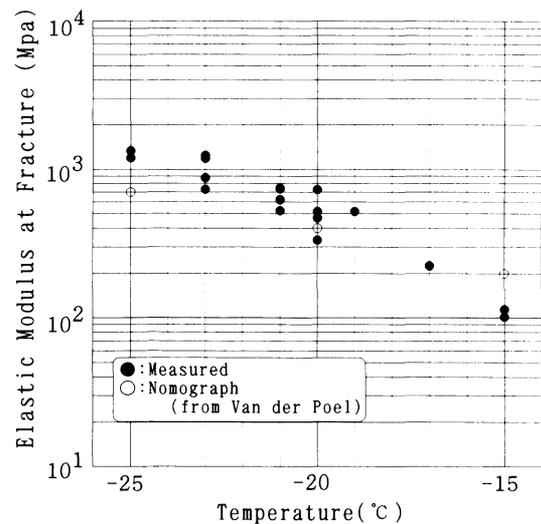


Fig. 9 The Relationship between Elastic Modulus at Fracture and Temperature

Summary**A New Test Method for Measuring Asphalt Properties at Low Temperatures**

Akihiro MORIYOSHI and Kazumasa KAWAMURA

Faculty of Engineering, Hokkaido University, Nishi 8, Kita 13, Kita-ku, Sapporo 060

For measuring mechanical properties of asphalts at low temperatures, the Fraass breaking point test is available; but the results obtained therefrom are often erratic, and only the fracture temperatures can be measured.

The authors have developed a new machine, which can measure the load by improving the Fraass breaking point test machine, and Fraass breaking point tests have been also performed.

This paper describes the results of flexural bending

tests for asphalt at low temperatures. The asphalt was painted on a steel plate and used as the specimen.

Asphalt strength, strain at fracture, and elastic modulus at fracture, at various temperatures were measured; also stress relaxation test were performed.

In this study, it is concluded that: the results of the Fraass breaking point test and flexural bending test depend upon the shape of machine's jig. The strength and the elastic modulus at fracture of asphalt increased with decrease in temperature.

.....

Keywords

Low temperature, Asphalt property, Fraass breaking point test, Flexural bending test