

粘性流動性状に基づくアスファルトの低温性能 評価方法に関する研究

張 肖寧¹・唐 伯明²・高橋 修³

¹中国ハルビン建築大学 交通学院 教授 (中国ハルビン)

²正会員 長岡技術科学大学 環境・建設系 助教授 (〒940-21 新潟県長岡市上富岡町 1603-1)

³正会員 長岡技術科学大学 環境・建設系 助手 (〒940-21 新潟県長岡市上富岡町 1603-1)

本研究は、アスファルトの低温時の粘性流動を直接測定するサンドイッチ式粘度測定装置を開発し、アスファルト舗装の温度ひび割れに対する抵抗性を、アスファルトの低温粘度から評価しようと試みるものである。従来からのアスファルト低温性能評価方法であるフラス脆化点試験、低温伸度試験などと比べて、サンドイッチ式粘度測定装置は、物理的メカニズムが明瞭であり、アスファルトの低温時の粘度を直接測定することが可能である。実際に中国で用いられている7種類のアスファルトの評価結果から、本装置は実際のアスファルト舗装の低温性状を評価できることが確認された。

Key Words: asphalt, low temperature property, sandwich sliding plate viscometer

1. はじめに

アスファルト舗装の低温クラック発生率はアスファルトの低温性能に依存する。従来のアスファルト低温性能評価方法として、フラス脆化点試験、低温伸度試験などが挙げられるが^{1,3)}、その物理的な根拠が不明であったり、測定精度が低いなどの原因によって、世界中の研究機関は新しいアスファルト低温性能評価方法を開発する努力を続けている^{2,6)}。

アスファルトの低温性状を予測する方法としては、感温性指標と針入度値を利用するものが多く使われ、Robertson, W. D. の提案した P. I. と針入度よりクラック発生温度を予測するノモグラフがその代表的なものである^{3,4)}。この方法は、アスファルトの低温時の性状を、常温状態で実測されたデータから計算によって求めるもので、実測値と一致するかどうか判断が難しい。一方、アスファルトの低温レオロジー性状を直接測定する方法がいくつか開発されているが、測定装置が高価であることや操作が面倒であることにより、あまり普及していない。

アスファルトの低温時の性能を測定する方法としては、基本的に次のような点を満足すべきであると考えられている。

1) 物理的メカニズムが明瞭であること。

2) 測定値はアスファルトの低温時の性状を評価できるものであること。

3) 新しい装置による評価値は、従来のアスファルト低温性状評価方法によるものと一致し、実際の舗装の低温性能を反映するものであること。

4) 装置の構造が簡単で、操作が簡便であり、測定誤差が小さいものであること。

本研究では、上述した点を考慮して、アスファルトの低温時の粘性流動を直接測定するサンドイッチ式粘度測定装置を開発した。この装置は構造が簡単で、操作が容易である。中国で使用している7種類のアスファルトに対する測定結果から低温時の粘度が小さいアスファルトを用いるほど温度ひびわれ発生の小さい舗装となることがわかった⁵⁾。本装置を用いた方法は従来の評価方法より合理的であり、その実用性も評価できる。

2. サンドイッチ式粘度測定装置

(1) 粘度測定装置の選択

アスファルトは粘性体であり、しかも温度によって粘度は変化する。アスファルトに対する従来の粘度測定方法には、表-1に示すようなものがある。いずれの測定方法も常温時の粘度を測定するもので、

表-1 アスファルトの粘度測定装置および適用範囲

機 種	適 用 範 囲
毛管式粘度計	60℃以上のアスファルトの粘度測定 ⁹⁾
回転式粘度計	レイノルズ数が1900以下、測定温度が軟化点以上(ASTM-D-4402)
落下式粘度計	測定温度が軟化点から0℃以上、アスファルト粘度が103pa・s以下(JIS-Z-8803)
円錐式粘度計	アスファルト粘度が中、低レベル ¹³⁾
W式平板粘度測定装置	測定温度が軟化点から0℃以上(Shell)

低温時の粘度測定に対応できない。特に-20℃以下の低温時のアスファルトの粘度測定に対応するものはない。Shell社が開発したW式平板粘度測定装置は、高粘度のアスファルトに適用できる。しかし、その装置の欠点は、供試体の両平板に挟まれるアスファルト試料膜の厚さが、0.05~0.07mmで作成が難しいことである。また、荷重を掛けるとねじりモーメントが生じるため、測定精度が保障されない。そのため、アメリカのASTMは1986年にこの試験方法の採用を停止した。

W式平板粘度測定装置の利点は、その物理的なメカニズムが明瞭なことである。本研究では、W式平板粘度測定装置の欠点を解決するために、サンドイッチ式粘度測定装置を開発した。

(2) サンドイッチ式粘度測定装置の原理

サンドイッチ式粘度測定装置の供試体は、図-1に示すように、3枚の20×30×6.5mmの金属板と、厚さ2mmのアスファルト試料を組み合わせたものである。試料膜の厚さは2mmであり、W式の0.05mmより試料の作成が容易であることと、外側の金属板が固定されており、中間の板が移動するため、荷重を掛けたときのねじりモーメントが避けられ、測定精度が向上する。試験に使用する金属製平板は精密に加工されたもので、ブロックゲージと電気式ダイヤルゲージを用いて厚さを測定しておく。精度は0.01mmである。平板とアスファルトを少し暖め、試料を作製した後冷却し、合計厚を測定する。

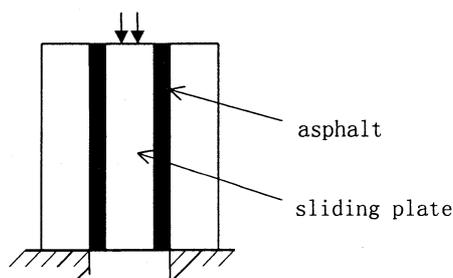


図-1 サンドイッチ式粘度測定装置の原理

荷重によるアスファルトのせん断ひずみ速度 $\dot{\gamma}$ は、図-1に示すように、次式で表せる。

$$\dot{\gamma}_{t,T} = \frac{X_{t,T}}{\Delta} \quad (1)$$

ここで、Tは測定時のアスファルトの温度、tは測定時間である。また、 Δ はアスファルト試料の厚さ、Xは荷重による変位速度である。よって、アスファルトの粘度 η は次のように得られる。

$$\eta = \frac{\tau}{\dot{\gamma}} \quad (2)$$

ここに、せん断応力 $\tau = \frac{P}{2A}$

A: アスファルトのせん断面積。

その結果、各せん断ひずみ速度におけるアスファルトの粘度は、荷重Pを変化させることによって測定することができる。両側のアスファルト試料の厚さが異なる場合でも、それぞれのひずみ速度がアスファルトの粘性係数に対応したものとなり矛盾は生じない。従来のW式平板粘度測定装置に比べて、板の面積が2倍になり、試料の厚さが両側の合計になったと考えてもよい。

サンドイッチ式粘度測定装置は、変位センサーと荷重棒等で構成されている。Fujikum Rubber Works LTD製のSMC気圧装置を用いて載荷する。各センサーの測定精度は、荷重が±0.001kgf、温度が±0.01℃、変位が±0.0002mmである。

3. アスファルトの低温時の粘度測定

(1) 見かけ粘度

道路用アスファルトは、低温時の性状が非ニュートン性を示し、せん断応力とせん断ひずみ速度の関係は非線形で、粘度とせん断ひずみ速度の関係は次

式で表される。

$$\eta = \frac{\tau}{\dot{\gamma}^C} \quad (3)$$

ここに、 C はパラメータであり、粘度 η は、見かけ粘度と呼ばれている。

温度が一定の場合、測定荷重を変化させることによって、各荷重レベルにおけるアスファルトのせん断応力とせん断ひずみ速度が測定される。これらの測定結果を両対数座標にプロットすれば、アスファルトのせん断応力 τ とせん断ひずみ速度 $\dot{\gamma}$ の関係として傾き C の直線が得られる。

非ニュートン流体としてのアスファルトの粘度は、せん断応力あるいはせん断ひずみ速度の関数であり、見かけ粘度はせん断応力あるいはせん断ひずみ速度に依存する。そのため、アスファルトの粘度を検討するには、基準条件が必要となる。基準条件におけるアスファルトの見掛け粘度を代表値とする。代表

値の決定方法は、主に次の3種類がある⁵⁾。

1) せん断ひずみ速度 $\dot{\gamma} = 5 \times 10^{-2} / \text{s}$ 時の見かけ粘度を代表値とする。

2) せん断応力 $\tau = 5 \times 10^4 \text{Pa}$ 時の見かけ粘度を代表値とする。

3) 消費エネルギー $\tau \cdot \dot{\gamma} = 100 \text{J} / (\text{s} \cdot \text{m}^3)$ 時の見かけ粘度を代表値とする。

本研究では、消費エネルギーが 100J になる時の粘度をアスファルトの見掛け粘度とする。

(2) 実験用材料

本研究では、中国で使用されており、その低温性能がよく知られている7種類 (KLM, HXL, LHE, LAL, MMN, SJS, SLI) の中国産アスファルトを使用した。これまでの実績によると、KLM と HXL は、舗装用アスファルトとしての性能が非常に良い。それに対して、SJS, SLI はやや不足である。7種類のアスファルトの通常試験の結果を表2に示す。

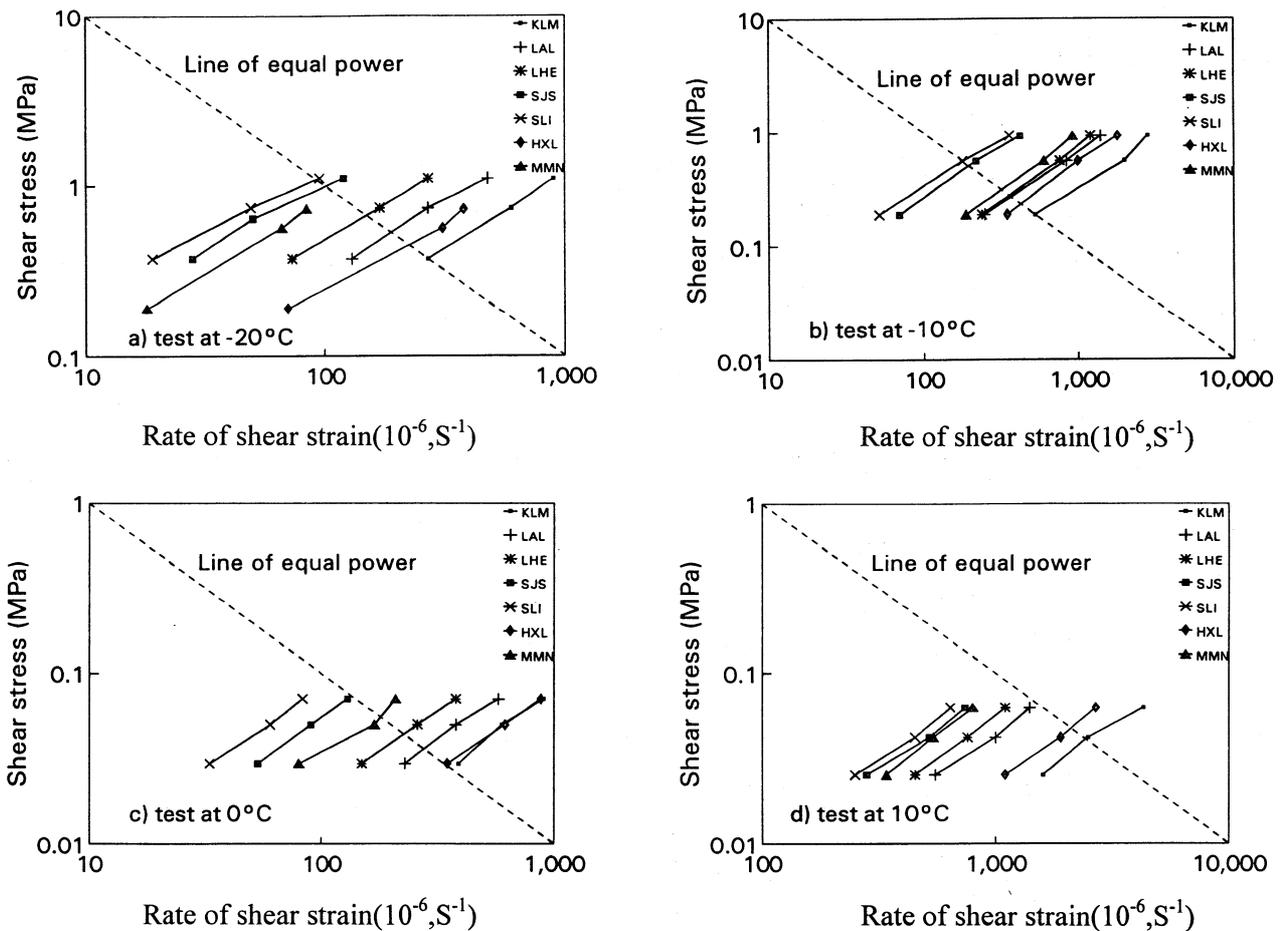


図-2 7種類のアスファルトの粘度測定結果

表2 7種類のアスファルトの通常試験の結果

試験項目	KLM	HXL	LAL	LHE	MMN	SJS	SLI
針入度(100g, 5sec, 25°C)	89	92	82	138	81	97	96
伸度(cm) 25°C	>100	>100	>100	>100	>100	96.5	62.5
15°C	>100	>100	>100	>100	>100	81.0	34.8
軟化点(°C)	47.8	45.7	48.7	43.0	48.5	49.6	47.0
フラース脆化点(°C)	-15.0	-19.0	-16.8	-16.8	-13.0	-14.8	-16.8

表-3 7種類のアスファルトの粘度測定結果

アスファルトの種類		KLM	HXL	LHE	LAL	MMN	SJS	SLI
実測見掛け粘度 (MPa. s)	10°C	15.7	23.9	40.6	45.0	85.1	82.2	96.7
	0°C	79.4	86.9	129	112	321	600	822
	-10°C	320	732	829	778	1050	2500	2950
	-20°C	1460	2040	2740	2090	8000	8640	12500
実測針入度指数 P. I. m 値		-0.04	-0.15	-1.57	-0.68	-1.05	-1.10	-1.59
		0.062	0.062	0.064	0.062	0.063	0.073	0.080

(3) 測定結果

本研究では、-20°C、-10°C、0°C、10°Cにおける7種類のアスファルトの粘性流動性状を測定した。測定結果を図-2に示す。両対数座標におけるせん断ひずみ速度とせん断応力は相関が良く、式(3)に一致しており、測定結果の信頼性が示されている。これらの結果より、温度が異なると、アスファルトのせん断応力とせん断ひずみ速度の関係を示す直線の傾き、すなわち複合流動度Cが変化することがわかる。また、アスファルトの種類が変わっても、複合流動度Cが変化することが示されている。複合流動度Cと温度との関係を図-3に示す。

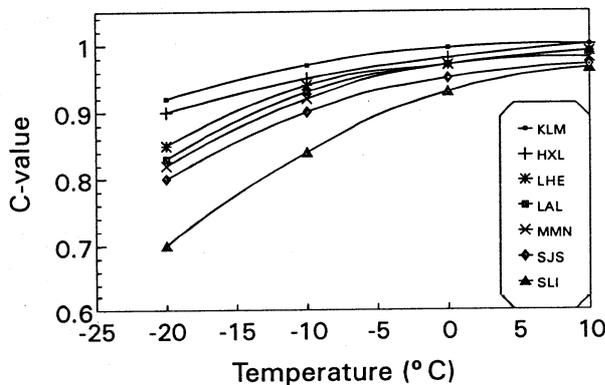


図-3 7種類のアスファルトの複合流動度

図-3より温度が10°C以下になると、複合流動度が1より小さくなり、非ニュートン性状を呈することがわかる。温度が高いほど、複合流動度が1に近く

なり、流動性状がニュートン流体に近くなる。一般的

に、アスファルトの複合流動値が大きいほど、アスファルトの低温性状がよいと考えられている。図-3に示す結果から、KLM、HXLの低温性状が最も良く、SLIとSJSの低温性状が最も悪いことが分かった。

各温度における7種類のアスファルトの粘度の測定結果を表-3に示す。アスファルトの低温ひび割れに対する抵抗能力は、その低温時の粘度で表せると考えられている。アスファルトの低温粘度が小さいほど、アスファルトの低温時の変形能力が大きく、クリープ性能も良くなる。それによって、アスファルト混合物の低温クラック発生率は少なくなる。表-3に示す結果から、7種類のアスファルトの低温性状は、見かけ粘度で評価すれば、KLM>HXL>LHE>LAL>MMN>SJS>SLIとなる。この結果は、実際の舗装の供用結果と一致する。温度ひびわれに対する抵抗性を粘度のみで評価することはできないが、粘度は重要な評価指標の一つであるといえる。

表-3に示すm値は、アスファルトの粘度の関数(loglog粘度)と温度の関数(log温度)との関係の傾きであり、アスファルト粘度の感温性を表す指数とされている。表-3に示すm値と針入度指数P. I.との間には、ある程度の相関が認められる。

上述した結果から、見かけ粘度を、アスファルトの低温性状を評価する指標として使用することが可能であると言える。また、本研究に使用したアスファルトの感温性の範囲なら、0°Cにおける見かけ粘度

とその温度以下の見かけ粘度の大きさの順序が入れ替わることはない。したがって、測定方法の簡便さを考慮して、温度 0℃における見かけ粘度をアスファルトの低温性状評価指数とすることを提案したい。

(4) 他の評価指数との比較

アスファルトの見かけ粘度によるアスファルトの低温性状の評価結果の信頼性を考察するために、アスファルトのフラース脆化点の実測値と計算値、

SHRP 法によるクリープ試験温度、そして本文が提案した見かけ粘度および実際の舗装の調査結果などを表-4 にまとめて、比較した。表-4 において、計算フラース脆化点とは、アスファルトの実測針入度指数から舗装試験法便覧に基づいて計算したものである⁹⁾。この結果より、提案した 0℃におけるアスファルトの見かけ粘度は、他の指標と大きく矛盾することはなく、実際の舗装の温度ひびわれに対する耐久性ともよく対応している。

表-4 7種類のアスファルトの低温性能測定結果

アスファルトの種類	KLM	HXL	LHE	LAL	MMN	SJS	SLI
針入度 (25℃ 100g 5sec)	89	92	138	82	81	97	96
実測フラース脆化点 (℃)	-15.0	-19.0	-16.8	-16.8	-13.0	-14.8	-16.8
計算フラース脆化点 (℃)	-24.1	-20.0	-15.3	-16.5	-14.6	-14.7	-11.0
SHRP クリープ試験温度(BBR 法℃)	-18	-18	-18	-12	-12	-12	-12
0℃における見掛け粘度 (MPa.s)	79.4	86.9	129	112	321	600	822
舗装調査よりの低温性能評価	良	良	中	中	中	悪	悪

表-5 アスファルト混合物の配合

ふるいの目の寸法 (mm)	16	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
通過百分率の中間値 (%)	100	96	79	58	45	33	24	17	12	6

4. アスファルト混合物の低温性状の評価

アスファルト舗装の性能は、主にアスファルト混合物の力学性能に依存する。アスファルト混合物の低温性能の評価は、一般に、温度 0℃におけるアスファルト混合物のクリープ試験を用いて行われている。応力が 1MPa におけるアスファルト混合物のクリープ速度は、その低温性能の評価指数とされている^{5,6)}。クリープ速度が速いほど、アスファルト混合物の応力緩和の能力が高く、低温時のクランク抵抗能力が高い。

本研究では、7種類のアスファルトを用いてアスファルト混合物の供試体を作った。アスファルト混合物の配合を表-5 に示す。混合物に対する間接引張りクリープ試験を行って (10~20℃)、一定速度における変形曲線からアスファルト混合物の見かけ粘度を求めた。アスファルトの見かけ粘度とアスファルト混合物の見かけ粘度との関係を図-4 に示す。この結果より、アスファルト及びアスファルト混合物の粘度には良い相関があることが分かった。また、提案する評価方法の合理性が明らかになった。

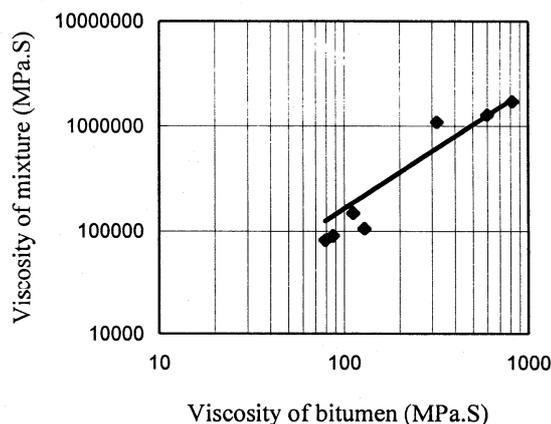


図-4 アスファルト及びアスファルト混合物の見掛け粘度

5. 結論

本研究は、アスファルトの低温時の粘性流動を直接測定できるサンドイッチ式粘度測定装置を開発し

た。サンドイッチ式粘度測定装置は、物理的メカニズムが明瞭であり、測定値が明確に物理的な意味を持つ。現時点では、低温時のアスファルトの粘度を測定できる唯一の装置である。本装置を用いて、中国でよく使われている7種類の舗装用アスファルトの低温性状を評価した。その結果、本方法によるアスファルトの低温時の粘度が小さいほど、実際の舗装の低温性状は良好であった。

参考文献

- 1) AASHTO, TP1-93, 1993.
- 2) AASHTO, TP3-93, 1993.
- 3) W. D. Robertson, Selection of Paving Asphalt Cements for low Temperature Service, Paving in Cold Areas, Vol. 1, Mini Workshop 3, Canada-Japan Science and Technology Consultation, 1987.
- 4) Duanyi Wang, Some Low Temperature Properties of Asphalt Cements and Mixtures Used in the Lament Test Road in ALBERTA, Paving in Cold Areas, Canada-Japan Science and Technology Consultation, 1993.
- 5) 中国交通部公路科学研究所：道路瀝青及瀝青混合料路用性能的研究，研究報告集，1995年。
- 6) SHRP : M-005, 1993.
- 7) 松野三郎，南雲貞夫，山之口浩：アスファルト舗装に関する試験，建設図書，1983年9月。
- 8) 日本道路協会：アスファルト舗装要綱，1992年。
- 9) 日本道路協会：舗装試験法便覧，1988年。
- 10) 張 肖寧，唐 伯明，高橋 修：アスファルト舗装の温度ひび割れ発生率とその影響要因に関する研究，第1回舗装工学講演会講演論文集，1996年12月。
- 11) Gaw, W. J., Burgess, R. A. Young, F. D. Steanne: Test Road Performance after five years and laboratory predictions of low temperature performances, Proceedings of the Canadian Technical Asphalt Association, 1974.
- 12) 張 肖寧，潭 憶秋：瀝青混合料低温抗裂性能評価方法的研究，中国公路学報，Vol6, No.1, 1993年。
- 13) 田口仁，帆苺浩三，大川秀雄：ミキサ混合物におけるアスファルト粘度の考え方。舗装 Vol. 30, No. 6, 1995.

EVALUATION OF ASPHALT LOW TEMPERATURE PROPERTY USING SLIDING PLATE VISCOMETER

Xiaoning ZHANG, Boming Tang and Osamu TAKAHASHI

Low temperature cracking is a significant failure of asphalt pavements in cold regions, which is mainly depended on asphalt characteristics. Using the sandwich sliding plate viscometer developed in this study, the low temperature viscosity of seven kinds of currently used asphalt is evaluated. By comparison with the conventional evaluation method, for example, Fraass breaking point test and low temperature ductility test, the more distinct mechanistic model and precise measurements of the sliding plate viscometer have been demonstrated. Meanwhile, the influence of bitumen viscosity on asphalt mixture viscosity is also investigated.