

舗装用アスファルトの粘度の温度依存性と せん断速度依存性について

STUDIES ON THE DEPENDENCIES OF VISCOSITY ON TEMPERATURE AND RATE OF SHEAR IN ASPHALT CEMENTS

中島昭雄*・間山正一**・北郷新平***
By Akio Nakajima, Shoichi Mayama and Shinpei Kitago

1. 緒 論

最近のアスファルトならびに混合物に関する研究の世界的な動向¹⁾にもみられるように、アスファルトの基礎的な力学性状は、つねに気候、交通条件、混合物の力学性状、パフォーマンス、さらには舗装構造の解析ならびに施工性をふくむ舗装の力学体系のなかで論じられるべきものである。

このような観点からアスファルトのコンシステンシーに関する研究にも、従来の工学的手法にかわり、舗装の施工性、パフォーマンスなどにシミュレートした温度、せん断速度での絶対値の表現をとる研究手法が要求される。したがってこれまでよりもさらに基礎的な性状の研究が必要とされる。従来アスファルトのコンシステンシーを表わすものとして、工学的に針入度、軟化点、伸度などを使用しているが、これらのみから施工性、パフォーマンスとの関連を直接的に見出すことはかなり困難である。

1963年、Krom, Dornonら²⁾はアスファルトの合理的な分類法として、25°C 針入度にかわる 60°C の粘度による分類を提案した。さらに 1965年、アメリカの Bureau of Public Road (現 Federal Highway Administration) による国家計画では、混合物の設計のために、アスファルトの基礎的な物理、化学的性質を調べて本質的な機能性状を決めること、そしてこれらの性質を利用するためのパラメーターを見出すこと、さらにアスファルトのパフォーマンスと結びつくような最適仕様と試験方法を開発することなどがその緊急な目的とされている。これに関する基礎的な性状としては、アスファルトのレオロジー、耐久性、化学組成ならびにアスファ

ルト-骨材系における相互作用であるとしている³⁾。

このような要請のなかで筆者らは施工時からパフォーマンスに関する温度領域、せん断速度領域までを一貫させたコンシステンシー研究を行なった。

高温領域は主として施工性を対象とする温度領域であり、混合、転圧などの工程がふくまれる。

混合の機構のうちで最初の重要な過程は、アスファルトで骨材表面を十分に“ぬらす”ことであり、十分にぬれていなければ、はく離の可能性が生ずる。このぬれ(Wetting)に対してはアスファルトの粘度が最も大きな要因となる⁴⁾。通常効果的な混合粘度として 1~3 ポアズが示されており Krom²⁾ にも 200 センチストークスを提案している。この混合を合理的に行なうためには、混合時におけるアスファルトの力学的挙動を明確に把握することが必要となる。また混合粘度を得るための加熱作用は必然的にアスファルトの性状変化をもたらすので加熱安定性も同時に考慮されなければならないことはいうまでもない。

混合物の転圧時の最適温度は多くの因子によって支配され複雑であるが最も重要なものはやはり転圧温度におけるアスファルトの粘度であるとされている。通常利用される転圧時の粘度は 10~10³ ポアズと幅が広く、Kromら²⁾ によると 20000 センチストークスが示されている。この温度領域においては、アスファルトの種類によって、粘度は種々の異なるせん断速度依存性を示す可能性が多分にあり、これらの関係を明確にすることも重要である。

粘度は、高温領域では主として施工性に直接影響を与えるのに対し、アスファルトが舗設後比較的多く遭遇するような常温領域では、主として舗装の流動変形(ワダチ掘れなど)や疲労、応力緩和性状など、舗装のパフォーマンスに影響を与えるものである。

この温度領域においては、アスファルトの挙動は純粘性を示さないのが普通であり、したがってここでは流動

* 正会員 北海道大学助教授 工学部土木教室

** 正会員 セントラルコンサルタント(株)

*** 正会員 茨城県土木部

特性値としてどのような値をとるかによって流動曲線の取扱いが問題とされる。

これらの観点から本研究の主たる目的を次のようなものとした。

1) 舗装の施工ならびに舗装のパフォーマンスへの寄与を目的として、各種アスファルトについてニュートン粘性で示される領域と、非ニュートン粘性で示される領域を分離し、その境界温度を求める。

2) ニュートン粘性領域において、粘度の温度依存性を示す値として粘度指数, m を求める。この m 値と、軟化点より高温側での非ニュートン流動領域の広さとの相関を検討する。

3) 非ニュートン粘性の場合、見かけの粘度のせん断速度依存性を, Shear Susceptibility として定量的に表わし, これと 2) で求めた m 値との相関を求める。

さらに, せん断速度依存性と温度依存性を明らかにするために, 粘度—せん断速度関係に時間—温度換算法則の適用の可否を検討する。この場合 Williams-Landel-Ferry の経験式に最も適合する標準温度 T_s を求めこれについて考察を加えることとする。

これらの研究の対象としたアスファルトは, ストレートアスファルトのみではなく, 現在わが国で試験段階にあるアスファルトまた一部利用されている添加物により性状変化を与えたものなどを網羅した。同時に一部薄膜加熱試験後の試料をも含めることとした。

2. 粘度の測定法

舗装用アスファルトの粘度は, 混合時の 1~3 ポアズから脆性破壊が生ずるような低温時の 4×10^9 ポアズ⁹⁾ (フラス脆化点) 程度までの非常に広い範囲の値をとる。このように広範囲の粘度を決定するために現在まで種々の手法が開発されてきているが, 従来の工学的粘度計ではその多くが明確なせん断速度を示さず本研究の目的には必ずしも適切ではない。また絶対粘度を測定するために現在用いられている単一機種種の粘度計によっては広い温度範囲をカバーすることはほとんど不可能である。

本研究では絶対粘度の測定手法のうちレオロジー性状の解明が可能であり, かつ広い温度範囲で測定できる粘度計として次の 2 種の機器をえらび高温領域と常温領域のおのおので使い分けた。それらは

- 1) 高温領域では, Rotating Coaxial Cylinder Viscometer
- 2) 常温領域では, Sliding Plate Microviscometer

1) はアスファルトの高温領域の粘度測定に対してま

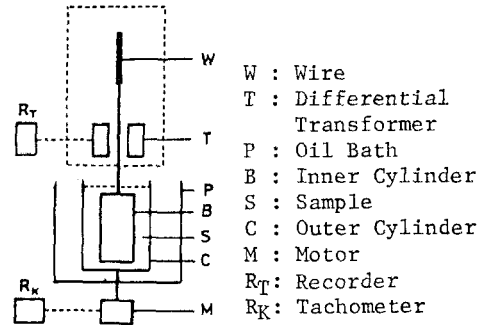


図-1 同心円筒回転型粘度計

だ利用例の少ないものでありその原理は図-1 に示すような同心円筒回転型である。

2) は R.L. Griffin⁹⁾らによって最初に採用されたものである。常温領域においてアスファルトの粘度を絶対単位で測定する迅速な方法であり, 試料が少量で済み, かつ精度が高いことから, 耐候性, 加熱安定性, 温度-粘度関係, 粘度のせん断速度依存性などの研究に広く利用されている。

せん断速度範囲, 粘度範囲, アスファルトについて測定できる最高, 最低温度は表-1 のとおりである。

表-1 せん断速度, 粘度, 温度の測定範囲

	Rotating Coaxial Cylinder Viscometer	Sliding Plate Microviscometer
Rate of Shear (sec ⁻¹)	$1.5 \times 10^{-1} \sim 2.9 \times 10^2$	$1.0 \times 10^{-4} \sim 1.0 \times 10^{-1}$
Viscosity (poise)	$3.0 \times 10^{-1} \sim 4.0 \times 10^3$	$1.0 \times 10^3 \sim 1.0 \times 10^9$
Temperature (°C)	40~200	5~55

これら 2 種の粘度計の併用によって得られるせん断速度範囲は, ほぼ連続して $1 \times 10^{-4} \sim 2.9 \times 10^2 \text{ sec}^{-1}$ となり, 温度範囲は 5~200°C をカバーすることができる。

なおアスファルトの軟化点は $(1.0 \sim 1.5) \times 10^4$ ポアズ程度であり, 軟化点近傍の性状を両機種から求めることができる。

3. アスファルトセメント

研究の主たる対象はストレートアスファルトであるが前述のように各種アスファルトをも含めた。ここで筆者らはその製法や添加物の影響などに関しては特に検討の対象とはしなかった。これらをもストレートアスファルトと同一レベルで検討することによって施工性やパフォーマンスについてそれらの適用性を明らかにすること, 研究の一手段としてアスファルトの性状分布をより, 拡大させることに主たる目的をおいた。たとえば, P.I. についてはストレートアスファルトでは通常 $-1.0 \sim +1.0$ 程度であるが, ここでは $-1.0 \sim +5.3$ までのものを対象としている。

主なアスファルトの一般性状を表-2 に示す (以下図

表-2 アスファルトの性状

Asphalt	No.	Pen.	T _{R&B} (°C)	P.I.	T _{c=1} (0.05 sec ⁻¹) (°C)	m	T _s (°C)	Viscosity at T _s (poise)
Straight Asphalt (St. As.)	1	50	54.0	-0.3	80	3.448	47.0	7.9×10 ⁴
	2	69	48.2	-0.9	75	3.173	42.8	1.3×10 ⁵
	3	85	47.1	-0.6	70	3.360	40.0	1.0×10 ⁵
	4	105	44.0	-1.0	70	3.519	37.5	8.9×10 ⁴
	5	45	52.8	-0.7	90	3.409	41.4	1.1×10 ⁵
	6	61	53.3	+0.1	80	3.323	41.4	1.3×10 ⁵
	7	89	46.8	-0.6	80	3.294	32.6	1.3×10 ⁵
	8	102	44.6	-0.9	80	3.425	34.1	1.3×10 ⁵
Catalytic Semi-blown Asphalt (Cat. As.)	9	48	68.4	+2.5	170	2.326	49.1	1.2×10 ⁶
	10	61	58.8	+1.3	140	2.479	45.8	4.9×10 ⁵
	11	81	53.0	+0.8	100	2.907	28.9	4.4×10 ⁵
Straight Asphalt with Plastic (St. As. +Pl.)	12	94	46.5	-0.5	70	3.170	35.5	1.1×10 ⁵
	13	87	53.9	+1.3	90	2.957	49.5	9.1×10 ⁴
	14	91	48.6	0.0	80	3.234	42.8	1.1×10 ⁵
Straight Asphalt with S.B.R. (St. As. +SBR)	15	72	50.3	-0.2	70	3.124	35.0	2.2×10 ⁵
	16	70	53.0	+0.4	90	2.524	33.0	6.3×10 ⁴
	17	70	60.0	+2.0	140	—	31.9	1.0×10 ⁵

中に示される番号は本表に示される番号である。

4. 研究結果

本研究により得られた結果は次のとおりである。

(1) アスファルトの流動曲線とその取扱い

一般にせん断応力-せん断速度を算術目盛でプロットしたレオロジーダイアグラムをかくと、ニュートン粘性であれば原点を通る直線で示され、粘性係数として $\eta = S/D$ が求められる。原点を通らない場合は非ニュートン流体であり、その流動曲線の形状がレオロジー的取扱いの対象となる。すなわち、粘性係数なる絶対的なものではなく、見かけの粘度を流動特性として考察する必要がある。本研究では次のような値を用いて検討を試みた。

- 1) Bingham Body とみなして $\eta = (S - S_0)/D$
- 2) 一定せん断速度における S/D
- 3) 仕事量一定における S/D

ここで η : 粘度, ポアズ

S : せん断応力, dyne/cm²

S_0 : 降伏値, dyne/cm²

D : せん断速度, sec⁻¹

などである。

1) はブローンアスファルトやアスファルト・フィラー系などに適用されることが多い。

2) せん断速度として Griffin ら⁶⁾ は、 5×10^{-2} sec⁻¹ をえらんでいる。本研究では施工性、パフォーマンスへの適用を考慮して広いせん断速度範囲で粘度を求めた。

3) は Romberg⁷⁾ らによって示されたものであ

り、アスファルトのコンシステンシー、単位体積当たりの一定仕事量における S/D を絶対単位で表わすものである。仕事量は $S \times D$ で表わされ、Romberg らは 1000 erg/(sec·cm³) の値をとっている。本研究の結果によれば、両機種によって求められたレオロジーダイアグラム上で $S \times D = 1000$ erg/(sec·cm³) の値をとり得ることが確かめられた。

これらの取扱いと並行してさらに複合流動度についても検討を加えた。

レオロジーダイアグラムで、せん断応力-せん断速度を両対数上

でプロットするとすべてのアスファルトについてはほぼ直線が得られる。すなわち、

$$M = \frac{S}{D^c}$$

ここで S : せん断応力, dyne/cm²

D : せん断速度, sec⁻¹

c : $4 \log S/D \log D$

M : 粘度, ポアズ

となる。この式は Romberg, Traxler⁸⁾ らによって示されたニュートン流体と非ニュートン流体に対する一般式である。式中の c が複合流動度とよばれるものである。アスファルトがニュートン流体であるとき $c=1$ であり、 M は粘性係数を示す。非ニュートン流体であるときは c は 1 より小さな値を示す。したがって c 値によって材料の複合流動の程度を定量的に表現することができる。

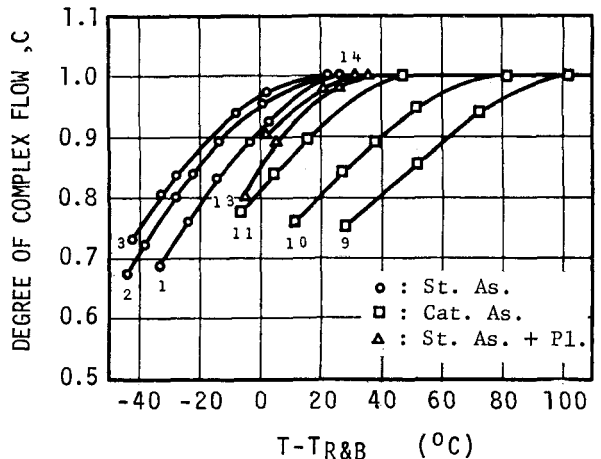


図-2 複合流動度と $(T - T_{R\&B})$ の関係

(2) 複合流動度ならびに $c=1$ となる温度, $T_{c=1}$ について

各種アスファルトの、せん断速度 $5 \times 10^{-2} \text{ sec}^{-1}$ における複合流動度を図-2 に示す。この結果からすべてのアスファルトの複合流動度は高温においてはすべて1であり純粘性流体とみなすことができる。温度が低くなるにしたがって1より小さな値となり純粘性体からずれてくることわかる。この複合流動度が1になる温度を $T_{c=1}$ と定義することとする。 $T_{c=1}$ は複合流動度曲線から求められる温度であるが、これも表-2 5項にあわせ示してある。この結果は明らかにアスファルトの種類により複合流動度に大きな差があることを示している。ストレートアスファルト (P.I. $-1.0 \sim 0.1$) では約 $70 \sim 90^\circ\text{C}$ であるが他のアスファルト (P.I. $+0.8 \sim +2.5$) では約 $100 \sim 170^\circ\text{C}$ と非常に高い温度を示すものもみられた。

$T_{c=1}$ における粘度は、実験の結果によればすべてのアスファルトについて約 $1 \times 10^4 \sim 7 \times 10^2$ ポアズの範囲にあり、かなり分散していることがわかる。

いま混合温度を 1~3 ポアズの粘度を示す温度と仮定すると、ここにあげたすべてのアスファルトの混合温度は $T_{c=1}$ 以上の温度となり、粘度の大小とは関係なくニュートン流体としての挙動を示す。したがってせん断速度を考慮する必要はなく、粘度は温度だけで決められる。

また転圧温度を、粘度 $10 \sim 10^3$ ポアズの範囲内でえらぶときは、アスファルトによってニュートンのものと、非ニュートンの挙動を示すものがある。非ニュートンの場合には、転圧のときせん断速度依存性がローラの重量、転圧回数、走行速度などに影響をおよぼすことになる。

(3) 粘度のせん断速度依存性

非ニュートンの挙動を示す場合、見かけの粘度はせん断速度に依存する。その関係はたとえば図-3 に示すようなものである。複合流動度, c が流動曲線から求めたせん断速度依存性であるのに対して、見かけの粘度のせん断速度依存性を定量的に表わすものとして、せん断速度が $5 \times 10^{-2} \sim 1 \times 10^{-1} \text{ sec}^{-1}$ における $|d \log \eta / d \log D|$ を、Shear Susceptibility として用いた。この値の大きいものはせん断速度依存性が大きいことを示す。

温度と Shear Susceptibility との関係を図-4 に示す。

低温になるほどせん断速度依存性が大きく、高温になるにつれて小さくなり、 $T_{c=1}$ でいうまで

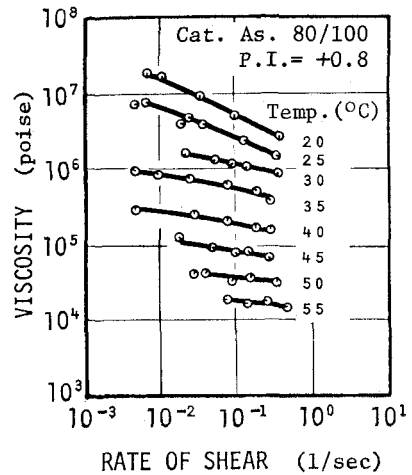


図-3 粘度のせん断速度依存性

もなく Shear Susceptibility は0となる。

アスファルトの P.I. と Shear Susceptibility の関係についてみると、図-4 においてストレートアスファルト (1, 2, 3) の P.I. は $-0.3 \sim -0.9$ を示しせん断速度依存性は小さく、Catalytic Semi-blown Asphalt (9, 10, 11) のように P.I. が $+0.8 \sim +2.5$ と大きなものでは依存性が大きいという結果が一応示されているが、すべてのアスファルトを含めてマイクロにみると問題があるようである。このことからすれば P.I. は粘度研究におけるパラメーターとしては限界があるものと思われる。

(4) 粘度の温度依存性

筆者らは従来アスファルトの P.I. をアスファルトおよびアスファルト混合物の粘弾性状を示すパラメーターとして用いてきた。Shell グループによって与えられた P.I. 概念は Stiffness 論とともにアスファルト研究にとって大きな基礎をなしていることは否定できない。しか

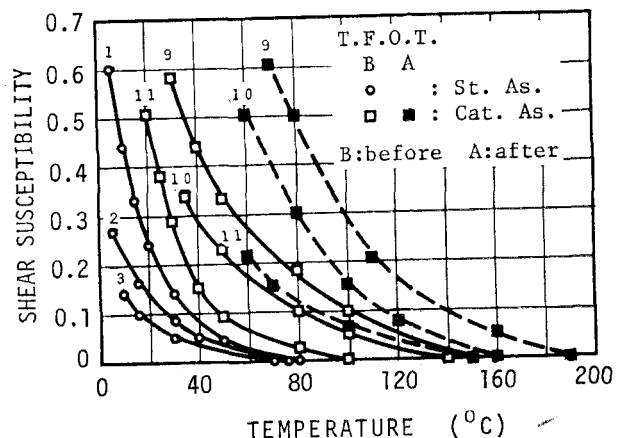


図-4 Shear Susceptibility と温度の関係

し笠原・菅原⁹⁾ はアスファルト混合物の性状を論ずるなかで、P.I. なる指数はストレートアスファルトについては、比較的力学性状についての指標となり得るが他の添加物を含むようなアスファルトについては議論の余地が出てくると指摘している。しかし、これに代る指標を現在もたないので本研究においては試みに石油、潤滑油工業でよく利用されている Walther 式の粘度指数 m で処理を行ない P.I. の問題点を検討することとした。

純粘性領域である $T_{c=1}$ 以上の温度—粘度関係から粘度指数 m を次式により求めた。

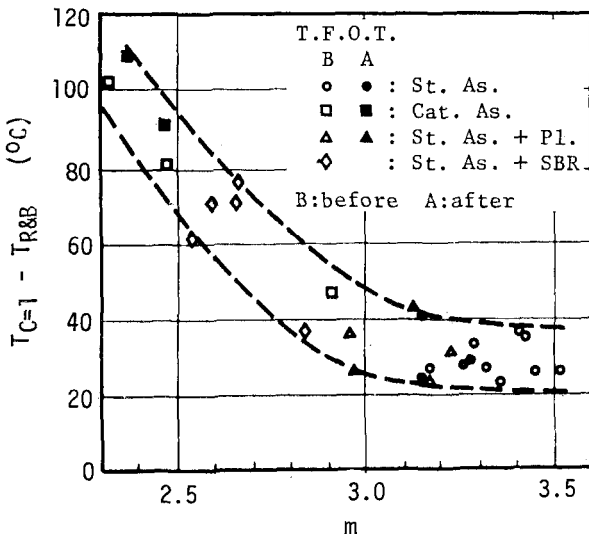
$$m = \frac{\log \log \eta_{T_1} - \log \log \eta_{T_2}}{\log T_2 - \log T_1}$$

ここで $\eta_{T_1} = T_1$ における粘度, センチポアズ
 $\eta_{T_2} = T_2$ における粘度, センチポアズ
 $T_1, T_2 =$ 絶対温度, °K

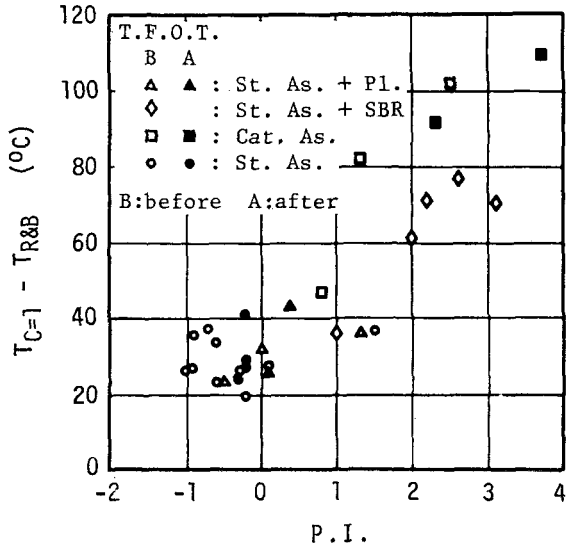
したがって m 値は純粘性領域における粘度の依存性を示すものである。このようにして求めた m 値もまた表—2, 6 項に示されている。

ここで m 値がアスファルトの粘弾性状を示すパラメーターとして適切であるか否かを検討する目的で m 値に求めた $T_{c=1}$ および Shear Susceptibility との相関を検討した。

m 値と $(T_{c=1} - T_{R\&B})$ の関係を図—5 に示した。ストレートアスファルトでは m 値は 3.1~3.5 であるが, Catalytic Semi-blown Asphalt, S.B.R. 添加アスファルトでは 2.3~3.2 と小さな値を示し感温性の低下がみられる。また $T_{c=1}$ と $T_{R\&B}$ の温度差は拡大されることが示されている。P.I. をパラメーターとしたときは 図—6 に示すようになり, P.I. の大きなアスファルトはこの温度差は広くなるというマクロな相関はみられ



図—5 m 値と $(T_{c=1} - T_{R\&B})$ の関係



図—6 P.I. と $(T_{c=1} - T_{R\&B})$ の関係

るがマイクロには m 値の場合よりもばらつきが大きいことがわかる。

次に m 値と Shear Susceptibility の関係は 図—7 に示すようなものになる。純粘性領域における感温性を示す m 値と, 60°C におけるせん断速度依存性との間にはほぼ直線的な相関がみとめられる。なおストレートアスファルトはすべて 60°C では Shear Susceptibility の値はきわめて小さい。

(5) 加熱試験後の $T_{c=1}$, m について

加熱試験法としては, A.S.T.M. Thin Film Oven Test (図中では T.F.O.T. とした) を採用した。

加熱試験後の $T_{c=1}$, m 値は表—3, 5 項, 6 項に示すとおりである。

$T_{c=1}$ についてみると加熱前より約 10~20°C 高温側へ移動するが m 値については加熱前後で大きな変化は認められない。したがって加熱は粘度の絶対値の上昇をもたらすが温度依存性の変化をもたらすものではない。

Shear Susceptibility はストレートアスファルトについては加熱前後で大きな変化はなく, 加熱前の図の曲線にほぼ重なる。Catalytic Semi-blown Asphalt では 図—4 に示すように加熱前に比べ大きな依存性を示している。

(6) アスファルトの粘度—せん断速度に対する時間—温度換算則の適合性

高分子のレオロジーに関する研究においては, 種々の無定形高分子物質の粘弾性に対して, 時間—温度換算則が適用されることが確かめられている。ア

スファルトは種々の高分子量の炭化水素から成り立つものであるから、この法則の適用が可能であることが予測

される。しかし単一な物質ではなく、それらがコロイド構造をもっていること、また添加物を含むものもあること

から粘度に対する適合性の検討はアスファルトのレオロジー研究において意義をもつものである。和田¹⁰⁾、阪上¹¹⁾らによる基礎的な研究もあるが本研究では各種の舗装用アスファルトについて常温、高温領域を通じて得られた多くの実験結果を用いて適合性を検討した。

換算に際しては各試験温度についての粘度—せん断速度曲線を両対数上にプロットし、次にこれらの曲線を基準温度の粘度—せん断速度曲線の方に45°にシフトさせる方法をとった。ここでは基準温度を100°Cにえらんでいる。

この操作によって、すべてのアスファルトについて、その十数本の粘度—せん断速度曲線から1本の連続した合成曲線が得られた。この合成曲線は $10^{-2} \sim 10^5 \text{ sec}^{-1}$ のせん断速度領域をカバーしている。このようにして求めたマスターカーブの例を、3種のアスファルトについて図-8に示した。このようにしてせん断速度範囲を大きく拡大することが可能となる。

また Williams, Landel, Ferry¹²⁾により物質に固有の標準温度 T_s を基準温度にとれば、一般の無定形高分子物質については次のいわゆる W.L.F. 式が成り立つとされている。

$$\log a_T = \frac{-c_1(T - T_s)}{c_2 + T - T_s}$$

$$a_T = \frac{\eta_T}{\eta_{T_s}}$$

ここで $c_1 = 8.86$

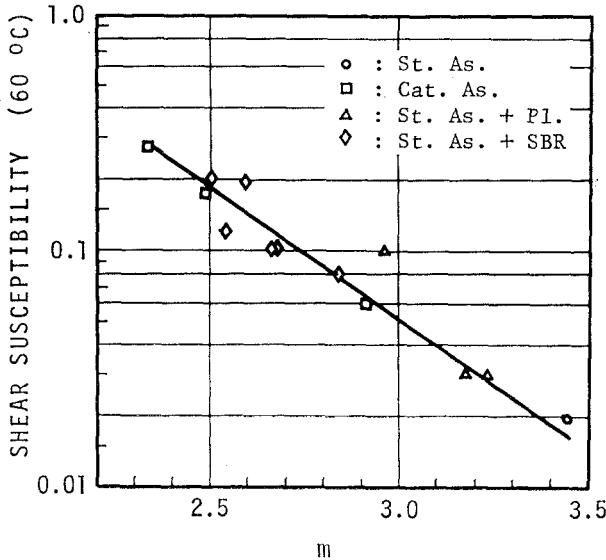


図-7 m 値と Shear Susceptibility (60°C) の関係

表-3 アスファルトの性状 (加熱試験後)

Asphalt	No.	Pen.	$T_{R\&B}$ (°C)	P.I.	$T_{c=1}$ (0.05 sec ⁻¹) (°C)	m	T_s (°C)	Viscosity at T_s (poise)
Straight Asphalt (St. As.)	1	30	59.8	-0.2	100	3.158	56.6	7.4×10^4
	2	39	56.3	-0.3	80	3.148	48.5	1.2×10^5
	3	57	52.7	-0.2	80	3.257	42.5	1.1×10^5
	4	70	50.8	-0.2	80	3.282	41.4	1.0×10^5
Catalytic Semi-blown Asphalt (Cat. As.)	9	38	80.6	+3.7	190	2.370	60.3	1.2×10^5
	10	44	68.5	+2.3	160	2.471	55.0	4.6×10^5
	11	58	61.6	+1.7	150	2.811	49.5	2.3×10^5
Straight Asphalt with Plastic (St. As. + Pl.)	12	57	54.2	+0.1	80	2.967	46.4	7.4×10^4
	13	62	82.8	+5.3	90	3.123	56.0	1.6×10^5
	14	51	56.6	+0.4	100	3.130	44.9	1.7×10^5
Straight Asphalt with S.B.R. (St. As. + SBR)	15	50	53.6	-0.3	70	—	46.3	3.2×10^4
	16	59	55.0	+0.4	90	—	33.9	7.9×10^4
	17	55	57.1	+0.7	140	—	35.3	7.1×10^5

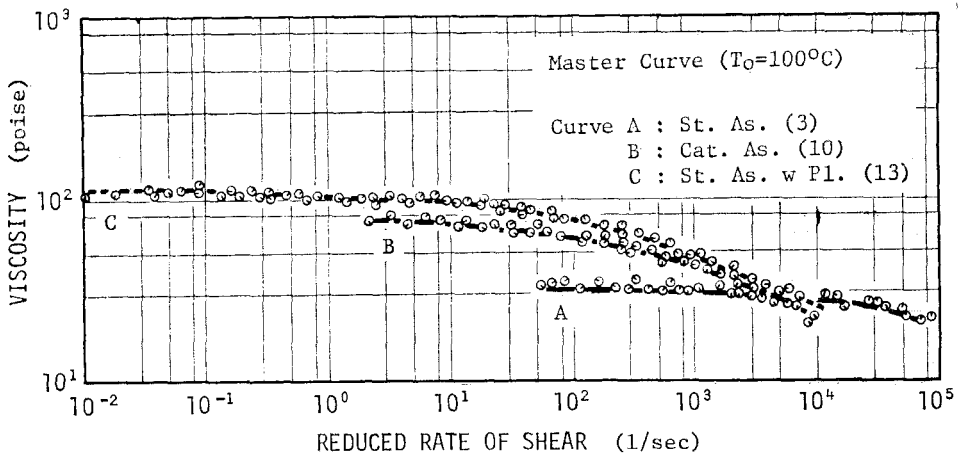


図-8 粘度—せん断速度のマスターカーブ

$$c_2 = 101.6$$

η_T : T における粘度, ポアズ

η_{T_s} : T_s における粘度, ポアズ

本研究では, アスファルトについて固有な T_s が明確に求められるか, またこの T_s はたとえば等粘度温度という標準温度であるか否かについて検討を試みた。

上式を変形すれば, $T_s = f(T, \eta_T, \eta_{T_s})$ となる。ここで η_T を与えれば, 各測定温度における関数値およびその標準偏差が求められる。 η_{T_s} をパラメーターとしてこの標準偏差が最小の関数値を求めれば, これが W.L.F. 式における T_s であり, 同時に η_{T_s} も求められる。計算は北大大型計算機センター FACOM 230-60 を用いて行なっている。

このようにして求めた T_s も表-2, 7項に示されている。また T_s における粘度は8項に示した。これらの結果によれば T_s は軟化点より低い値を示している。 T_s における粘度は, ストレートアスファルトでは, ほぼ $(1.0 \sim 1.3) \times 10^6$ ポアズとみてよく等コンシステンシー温度とみられるが, Catalytic Semi-blown Asphalt や S.B.R. 添加アスファルトなどでは必ずしもストレートアスファルトと同じ粘度を示していない。

加熱後のアスファルトの T_s は表-3, 7項に示すように加熱前より大きな値を示している。その T_s における粘度についてみると, ストレートアスファルトでは加熱前とほぼ同じ値を示しているが他のアスファルトでは加熱前と同様必ずしも等コンシステンシーを示さない。

この T_s を用いて $\log a_T$ を $(T - T_s)$ に対してプロットすると図-9 に示すような結果が得られた。

なおこの T_s に関してはまだ検討すべき点が多く今後

の研究の発展が期待される。しかし少なくとも本研究においてアスファルトをレオロジー理論の適用が可能な物質として取扱うことの妥当性は確認されたとみてよいであろう。

5. 結 論

本研究の結果を要約すれば次のとおりである。

(1) 複合流動度をパラメーターとして, $T_{c=1}$ なる温度を求めた結果, $T_{c=1}$ はアスファルトによって大きく異なることが見出された。また $T_{c=1}$ における粘度と, 混合粘度および転圧粘度をそれぞれ比較することにより, 混合, 転圧時のアスファルトがニュートン挙動を示すか否かを把握できることが明らかになった。

(2) $T_{c=1}$ より高温における粘度の温度依存性を表わすものとして粘度指数 m を求めた。これをパラメーターとして $(T_{c=1} - T_{R\&B})$ との相関をみると, 絶対的とはいえないがかなりの相関がみられた。

P.I. との相関についてみるとマクロには相関があるがミクロにみると議論の余地が残されていることが明らかになった。

しかし, ストレートアスファルトにおいては, P.I. の利用は 0°C 以下の低温から 100°C を超える領域においてパラメーターとして利用してさして問題はないであろうと思われる。したがって一般的には混合物の性状を論ずるなど工学的な目的には有用なものとなる。

(3) 非ニュートンの場合は, 粘度のせん断速度依存性を定量的に表わすものとして, せん断速度 $5 \times 10^{-2} \sim 1 \times 10^{-1} \text{ sec}^{-1}$ における粘度—せん断速度曲線の勾配を Shear Susceptibility として求めた。

Shear Susceptibility (60°C) と m 値との間には, ほぼ直線的な関係が見出された。

(4) すべてのアスファルトについて, 粘度—せん断速度の間に時間—温度換算則が適用されることが確かめられた。この適用によって, せん断速度の範囲を大きく拡大することが可能となる。

(5) アスファルトの T_s を適当にえらば, W.L.F. 式に適合することが確かめられた。 T_s における粘度についてみると, ストレートアスファルトではほぼ $(1.0 \sim 1.3) \times 10^6$ ポアズを示し, 等コンシステンシー温度とみてよいであろう。しかし Blown Asphalt や添加物系アスファルトでは必ずしも等粘度を示さない。これらについてはさらに検討の要がある。

なお本研究では従来多く提案された温度—粘度関係式についても詳細な検討を行なったが, ここではすべて省略した。また図についても多くのものが得られているが

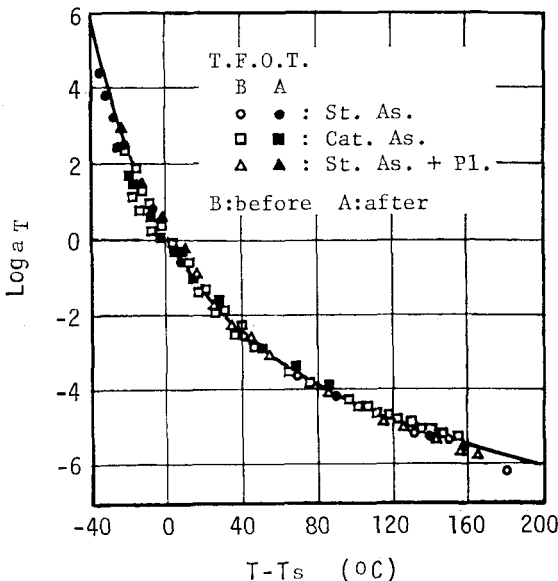


図-9 アスファルトの $\log a_T - (T - T_s)$ 曲線

代表的なもののみをえらんだものである。これらについては機会をみて発表したい。

本研究は北海道大学 菅原照雄教授の指導のもとに筆者ら3名が平井延次らとともに行なってきた粘度研究の成果であり、とりまとめには上島壯、森吉昭博が討議に加わったものである。また、文部省科学研究費の交付を受けて行なったものであることを付記する。

付記：本研究に用いた同心円筒回転型粘度計の詳細については参考文献 13) に示されている。

参 考 文 献

- 1) 菅原照雄：アスファルトの研究に関する最近の動向，石油学会誌，第 11 卷第 9 号，1968.
- 2) Krom, C.J., G.M. Dormon : Performance Requirements for Road Bitumens and their Expression in Specifications. World Petrol. Congr., Proc., Sixth, Frankfurt. 1963. Section VI, paper No. 14.
- 3) Proceedings : Highway Conference on Research and Development of Quality Control and Acceptance Specifications using Advanced Technology., Vol. 2, Asphalt Technology, Bureau of Public Roads, April, 1965.
- 4) Mathews, D.H. : Adhesion in Bituminous Road Materials. J. Inst. Petroleum, 1958, **44**, 423
- 5) Rigden, P.J., A.R. Lee : The Brittle Fracture of Tars and Bitumens. J. Appl. Chem., 3, February, 1953.
- 6) Griffin, R.L., T.K. Miles, C.J. Penthers and W.C. Simpson : Sliding-plate Microviscometer for Rapid Measurement of Asphalt Viscosity in Absolute Units. A.S.T.M. Special Technical Publication No. 212, Philadelphia, Pa. 1957.
- 7) Romberg, J.W., R.N. Traxler : Rheological Properties of Asphalt. I.E.C., Sept. 1944.
- 8) Romberg, J.W., R.N. Traxler : Rheology of Asphalt. J. Colloid Science 2, 33, 1947.
- 9) 笠原 篤・菅原照雄：アスファルトの性状とアスファルト合材の力学的性状の関係について，石油学会誌，第 15 卷，第 11 号，1972.
- 10) Wada, Y. and Hirose, H. : Rheology of Asphalt Mixtures and other Bituminous Materials, 応用物理，第 30 卷，第 1 号，1961.
- 11) 阪上信次：アスファルトならびに結晶性パラフィンおよびステアリン酸塩類を添加したアスファルトのレオロジー的性質，材料，第 12 卷，第 116 号，1963.
- 12) Williams, M.L., R.F. Landel, J.D. Ferry : The Temperature Dependence of Relaxation Mechanisms in Amorphous Polymers and other Glass-forming Liquids. J. Am. Chem. Soc., Vol. 77, 1955.
- 13) 菅原照雄：アスファルト関係研究機器について，アスファルト，第 15 卷，第 85 号，昭和 47 年 6 月。

(1972. 6.15・受付)