

アスファルト混合物の混合特性に関する基礎的研究

田口 仁¹ ・ 帆苅浩三² ・ 大川秀雄³

¹正会員 工修 福田道路(株)技術研究所(〒959-04 新潟県西蒲原郡西川町大潟中之島 2031)

²正会員 工博 福田道路(株)技術研究所

³正会員 工博 新潟大学教授 工学部建設学科(〒950-21 新潟市五十嵐2の町 8050)

ミキサ混合におけるアスファルトの粘度を見積もるために、せん断速度に着目した粘度試験を実施した。試験は、ストレートアスファルトと3種類の改質アスファルトを用い、円すい-平板形回転粘度計によるせん断速度を変化させた粘度測定を実施した。測定結果から、液体としての粘度挙動を比較し、さらにアスファルト混合物製造時にミキサ内でアスファルトが受けるせん断速度を見積もって、そのせん断速度に応じたアスファルトの粘度-温度関係を求めた。その作図結果から、ミキサ内で生じるせん断速度を考慮した改質アスファルトの最適混合温度を推定すると、毛細管の粘度試験から求めた最適混合温度より20～30℃低温側になることがわかった。

Key Words : modified asphalt, optimum mixing temperature, shear rate, cone-and-plate viscometer

1. はじめに

アスファルト混合物の混合温度や締固め温度は、各々動粘度で180mm²/s, 300mm²/sとなる温度を一つの目安としている。しかし、改質アスファルト等を用いて混合温度、締固め温度が高くなる場合には、熱劣化を考慮して作業できる範囲で温度を設定する、としており明確な求め方を設定していない。実際の施工ではストレートアスファルトの場合より10～20℃高い温度を推奨していることが多く、大きな問題もなく施工できていることから「ストレートアスファルトの場合より10～20℃高い温度」が改質アスファルトを用いた場合の経験的な最適温度となっている。

本研究では経験的な最適温度を理論的に検証すること、舗装用アスファルトの統一した試験方法や評価方法の一つの手がかりを得ること¹⁾を目的として、高せん断速度下におけるアスファルトの粘度試験を実施した。高せん断速度に着目したのは、アスファルトが最適温度を決定する現行法粘度試験時に受けるせん断速度より、アスファルト混合物製造時にミキサ内で高いせん断速度を受けると推定したためである。さらにせん断速度を変化させたアスファルト単体での粘性挙動と、室内モデル混合試験および実プラントでの混合負荷の測定結果を比較することによって、アスファルト混合物の混合特性について考察した。

2. アスファルトの粘度試験とミキサ混合時のせん断速度

(1) アスファルトの粘性

アスファルトは粘性(viscosity)と弾性(elasticity)の2つの性質を併せ持つ粘弾性(viscoelasticity)物質であり、温度によってコンシステンシーが大きく変化する。また、液体の粘度測定²⁾では、同一温度および圧力のもとで、せん断速度またはせん断応力の大きさにかかわらず同じ粘度を示すものをニュートン液体、せん断速度またはせん断応力の大きさに応じて異なった粘度を示すものを非ニュートン液体としている。非ニュートン液体の見掛け粘度は測定するせん断速度によって異なるので、その流動特性を表すのにある一点のせん断速度の粘度では不十分であるという指摘³⁾もある。アスファルトは非ニュートン液体であるから、せん断速度を変化させて流動特性を調べることは、アスファルトの液体としての性質を評価するのに有用である。

(2) 現行法によるアスファルトの高温粘度測定

アスファルトの高温粘度(120～200℃)は、従来セイボルトフロール秒試験方法によって行われてきたが、毛細管粘度計による測定が一般的となってきている。高温用の毛細管粘度計はキャノン・フェンスケ不透明液用粘度計であり、対象とする試料の粘度によって毛細管の径を選択する。この粘度計を用

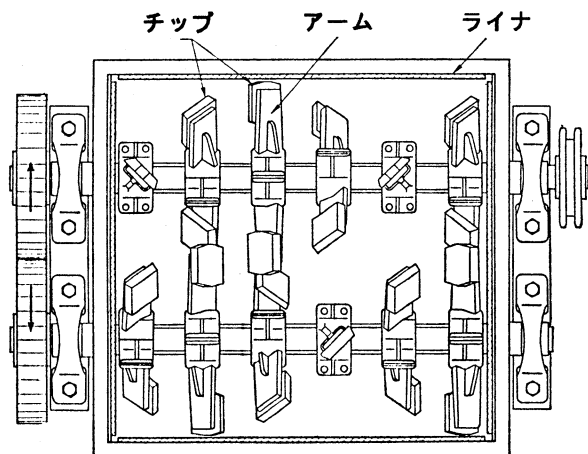


図-1 バッチミキサの一般的な構造

いた粘度測定時のせん断速度を見積もると 0.4～1.7[1/s]程度である。

また、SHRP計画において採用されたアスファルトの高温粘度測定は、せん断速度可変でレオロジー解析が可能なブルックフィールド回転粘度計である。SHRP計画でこの粘度計を採用したのは、この試験機がせん断速度可変でアスファルトのポンプ輸送、混合ならびに転圧時のせん断速度に対応させることができ、しかも同一サンプルで多くの温度点で試験が可能なことを評価したためである。ブルックフィールド回転粘度計は共軸二重円筒タイプである。ストレートアスファルトの場合、外筒の直径が19mm、内筒をSC4-27という直径11.75mmのスピンドルを使用し、温度135℃、20r.p.m.の回転速度で測定するのが一般的⁴⁾である。

(3) アスファルトプラントでの混合方式

最も多く設置されているバッチ式プラントのミキサは形状が軸方向に長く、小さな羽根が数多くラセン状に組み合わされている2軸式パグミル型が一般的である。図-1にバッチ式ミキサの構造を示す。この方式では、軸の上に骨材が持ち上げられた時に分散されてアスファルトと直接接触したり、軸下の骨材が反対側の軸によって移動させられてきた骨材とぶつかり合ってコーティング作用を行うことに重点を置いている。

アスファルト混合所便覧⁵⁾では、ミキサ内側に取り付けられたライナ（壁）と羽根先端（チップ）との間隔は一般に8～10mmであるが、20mm以上の間隔があくと良好な混合ができないと示しており、できるだけ狭くするのが望ましいようである。

表-1 計算に用いたミキサの諸元

項目	設定条件
ミキサの規模	1 ton/バッチ プラント
ブレードの先端径	710 mm
混合槽の内径	717 mm
軸回転数	56 rpm
周速 v	2.08 m/s
ブレードと槽の間隔	3.5 mm

(4) ミキサ混合時に受けるせん断速度の推定

ライナと羽根との間隔が大きくなると練り具合が悪くなることから考えて、少なくとも細骨材とアスファルトはこの間である程度のせん断作用を受けていると考えられる。そこでライナ、羽根、骨材との間でアスファルトがせん断作用を受けると仮定し、このときのせん断速度を見積もった。

表-1、表-2にせん断速度を見積もるときのミキサの設定条件と計算式を、図-2にそのときの概念図を示す。せん断速度は、ライナと羽根の間でアスファルトがせん断を受けるとすると600[1/s]程度、アスファルトが細骨材の間に0.05～0.1mmの膜として存在していると考えた場合2,000～4,000[1/s]程度と計算された。このせん断速度は現行法による粘度測定時に見積もった値よりかなり大きい。

3. 実験に用いた粘度試験装置と試験方法

(1) 試験装置

今回の実験に用いた粘度試験装置は円すいー平板形回転粘度計であり、せん断速度を可変できるものである。この円すいー平板形回転粘度計はハーケ社ロトビスコで、表-3に試験装置の概要、図-3に測定システム、図-4にコーン形状を示す。この測定システムは測定に必要な試料が少量でよく、洗浄を含む測定が短時間にできるのが特徴である。

(2) 試験方法

試験は試料約0.5gを円板上に採取し、任意の設定温度、一定のせん断速度履歴下で、せん断応力を測定した。せん断速度の履歴は、最高せん断速度まで15秒間に連続的に上昇させ、その後最高せん断速度を30秒間保持し、15秒間で下降させるものである。データのサンプリングは上昇の15秒間で10点、保持の30秒間で20点、下降の15秒間で10点とした。1回の粘度測定の所要時間は5～10分である。使用したコーンの直径は28mm、開き角度は1°である。以下に、せん断速度 D 、せん断応力 τ 、粘度 η の計算方法⁶⁾を示す。

表-2 ミキサ混合におけるせん断速度の計算

せん断作用の考え方	せん断速度(1/s) の計算式
①ライナと羽根によるせん断	$v/y = 2.08/0.0035 = 594$
②ライナと羽根によるせん断 (共軸二重円筒形回転粘度計の式を用いた場合)	$\frac{2\omega}{r^2 (1/R_1^2 - 1/R_0^2)} = 604$
③ライナと羽根と骨材によるせん断 (アスファルトが細骨材の間に0.05~0.1mmの膜として存在していると考えた場合)	$v/y = 2.08/0.001 = 2,080$ $v/y = 2.08/0.0005 = 4,160$

※②の式で ω : 角速度 [rad/s]
 r : 円筒の回転軸を中心とするその鉛直方向の距離で $R_1 \leq r \leq R_0$ [cm]

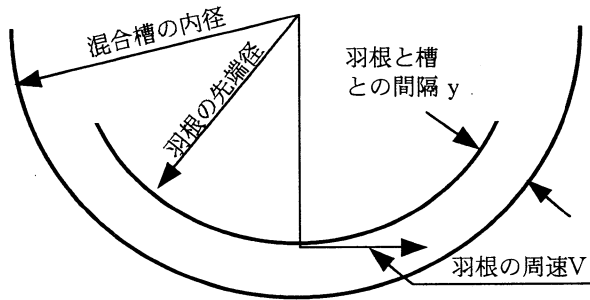


図-2 ライナと羽根の間でせん断を受ける場合の概念図

表-3 円すい-平板形回転粘度計の概要

せん断速度の測定範囲 [1/s]	せん断応力の測定範囲 [Pa]	粘度の測定範囲 [Pa・s]	温度コントローラ TP510
0.3 ~ 3,000	15 ~ 8,530	0.02 ~ 10,000	電熱コントロール 精度 $\pm 0.1^\circ\text{C}$ 最大 300°C

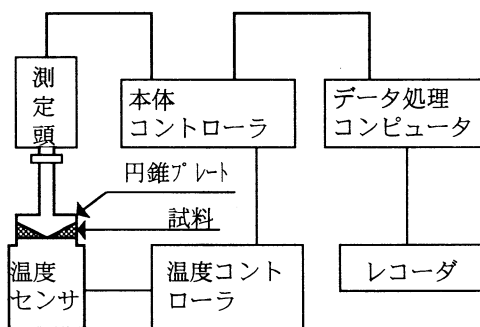


図-3 円すい-平板形回転粘度計の測定システム

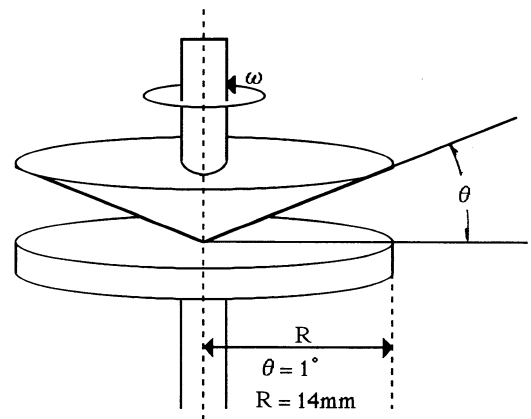


図-4 円すいプレートの形状

a) せん断速度 (ずり速度) D [1/s]

$$D = \frac{R\omega}{R \tan \theta} = \frac{\omega}{\tan \theta} \div \frac{\omega}{\theta} = \left(\frac{\pi}{30 \cdot \theta} \right) \cdot n \quad (1)$$

ここで, $\omega = 2\pi \cdot n / 60$

$$\tan \theta \div \theta$$

R : コーンの半径 [cm]

ω : 角速度 [rad/s]

n : ロータ回転数 [1/min]

θ : コーンの開き角 [rad]

コーン傾斜面のどの点でも, その点での角速度とコーンとプレートの間の距離の比が一定. よってせん断速度はコーンの中心部から外周部まで同じ値.

b) せん断応力 (ずり応力) τ [10^{-1}Pa]

$$\tau = \frac{3}{2\pi R^3} \cdot M \quad (2)$$

ここで, M : 円すい面に作用するトルク [$10^{-7}\text{N}\cdot\text{m}$]

c) 粘度 η [$10^{-1}\text{Pa}\cdot\text{s}$]

$$\eta = \frac{\tau}{D} = \frac{3\theta}{2\pi R^3} \cdot \frac{M}{\omega} \quad (3)$$

式(2)と式(3)において, R と θ を適当に変化させれば, トルク M あるいは粘度 η の測定範囲を拡大できることがわかる.

(3) 試験条件

試験条件は試験温度を 120 から 220°C の範囲で 6 点, せん断速度を 250 [1/s] から 2700 [1/s] の範囲で 6 点設定した. また, 使用したアスファルトは一般に用いられているタイプの異なった 4 種類を選定した. 表-4 に試験条件を, 表-5 に使用アスファルトの性状を示す.

表-4 粘度試験の試験条件

項目	試験条件			
試験温度 (°C)	120, 140, 160, 180, 200, 220			
最高せん断速度 (1/s)	250, 500, 1000, 1500, 2000, 2700			
せん断速度の履歴	最高せん断速度まで15秒 (上昇) 最高せん断速度保持30秒 (保持) せん断速度0まで 15秒 (下降)			
使用アスファルト	スト7ス60/80、プレミックス改質Ⅱ型 プラントミックス改質Ⅱ型、高粘度改質			

表-5 使用アスファルトの性状

試験項目	スト7ス60/80	プレミックス	プラントミックス	高粘度改質
針入度 (°C)	69	56	46	43
軟化点 (°C)	48.5	63.0	65.0	84.5
60°C粘度(poise)	2,200	22,100	15,900	750,000
最適混合温度 (°C)	155	190	200	210

※最適混合温度は毛細管粘度試験による180cStの値

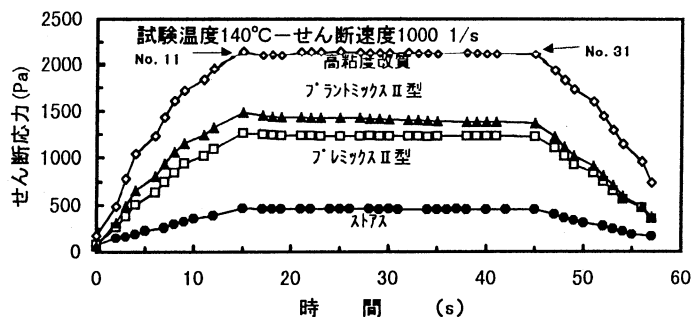


図-5 測定時間とせん断応力の測定例

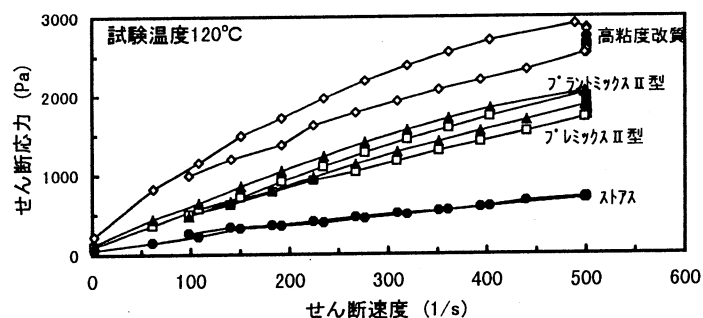


図-6 代表的な流動曲線

4. 円すい-平板形回転粘度計による粘度測定結果

(1) 基本的な特性

粘度試験から得られた測定結果は基本的な3つの特性、時間とせん断応力、せん断速度とせん断応力、せん断速度と見掛け粘度の関係で表すことができる。図-5に時間とせん断応力の関係の一例を示す。この図で示すように、測定開始から11番目のポイント(以下、No. 11)が最高せん断速度に達する点、31番目のポイント(以下、No. 31)が最高せん断速度を30秒保持した最後の点(下降の始点)となる。

(2) 上昇時と下降時の流動曲線

「JIS Z 8803⁻¹⁹⁹¹: 液体の粘度測定方法」では、せん断速度とせん断応力の関係を示す曲線を流動曲線として定義している。代表的な流動曲線として、図6に試験温度120°C、せん断速度500[1/s]の場合について示す。また表-6にBinghamの粘度式

$$\tau = \tau_0 + \eta \cdot D \quad (4)$$

τ :せん断応力

τ_0 :降伏値

D :せん断速度

を用いて直線回帰させた場合の傾き η を上昇時と下降時毎に示す。

せん断速度の上昇時より下降時の方が流動曲線

は直線的であり、その傾きは下降時の方が小さくなる傾向にある。またせん断速度を保持することにより、せん断応力の低下が見られる。この傾向は最高せん断速度が大きく、試験温度が低温側にあるほど、改質アスファルトにおいて顕著に見られる。

(3) 流動曲線におけるせん断速度と試験温度の影響

図-7, 8に、代表的な例としてストレートアスファルト(以下ストアスと略す)とプレミックスタイプ改質Ⅱ型アスファルト(以下プレミックスと略す)の最高せん断速度500, 1000, 2000[1/s]、試験温度120~220°Cにおける流動曲線を示す。

ストアスはせん断速度とせん断応力とがほぼ直線関係にあり、最高せん断速度による影響が少ない。このことから、ストアスは高温域では概ねニュートン流体とみなすことができる。

一方他の3種類の改質アスファルトでは、程度の差はあるものの160°C付近を境として異なる挙動を示している。試験温度160°C以上ではせん断速度とせん断応力は直線関係にあるが、160°C付近から低温側では明らかなチクソトロピー挙動を示す。このことから、160°C付近を境として高温側ではニュートン流体、低温側では非ニュートン流体とみなすことができる。

表-6 Binghamの粘度式 $\tau = \tau_0 + \eta \cdot D$ を用いた解析結果

試験 温度 ℃	最高せん 断速度 1/s	ストアス				プレミックス			
		上昇時		下降時		上昇時		下降時	
		τ_0	η	τ_0	η	τ_0	η	τ_0	η
120	250	45.20	1.246	75.60	1.086	73.75	4.327	104.5	3.743
	500	88.78	1.265	163.0	1.103	140.0	3.945	221.8	3.028
	1,000	82.46	1.194	67.54	1.175	384.3	2.929	368.6	2.237
	1,500	126.3	1.181	156.9	1.087	531.9	2.606	652.6	1.900
	2,000	93.56	1.102	91.77	1.017	825.9	2.230	930.3	1.473
	2,700	169.6	1.114	149.7	1.026	1356	1.679	495.9	1.081
140	250	139.2	0.5866	161.7	0.4282	56.68	1.798	148.0	1.298
	500	88.11	0.4349	108.9	0.3675	127.1	1.484	174.7	1.252
	1,000	81.51	0.3892	86.55	0.3620	133.7	1.211	172.2	1.071
	1,500	64.93	0.3859	100.6	0.3581	236.0	1.251	313.2	1.016
	2,000	109.9	0.3704	107.2	0.3654	245.1	0.9920	280.0	0.8778
	2,700	95.74	0.3659	57.49	0.3625	349.1	0.8771	410.3	0.7907
160	250	91.28	0.1565	96.03	0.0977	50.70	0.8614	150.6	0.5179
	500	79.75	0.0998	69.54	0.1289	39.40	0.7089	60.44	0.6623
	1,000	90.62	0.1225	47.21	0.1651	56.58	0.6804	124.8	0.5816
	1,500	86.39	0.1502	45.75	0.1634	191.6	0.6037	215.0	0.5702
	2,000	99.08	0.1556	79.53	0.1537	114.1	0.5810	175.5	0.5165
	2,700	96.12	0.1481	24.15	0.1679	97.98	0.5679	160.9	0.5003

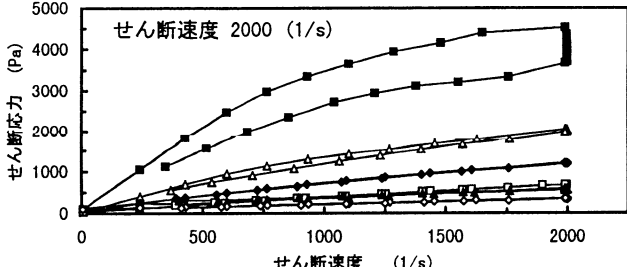
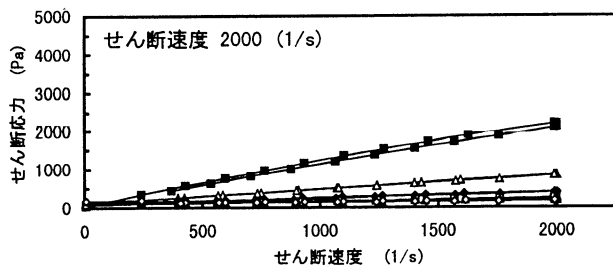
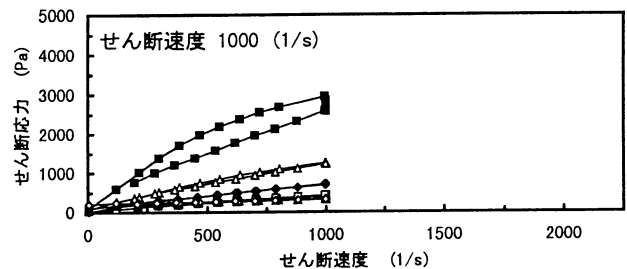
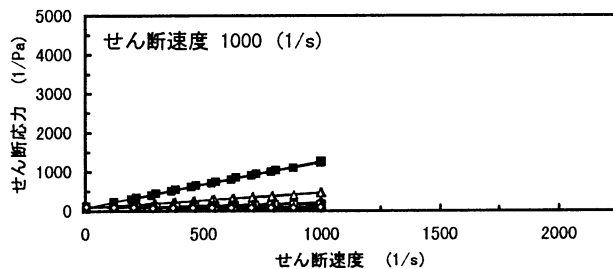
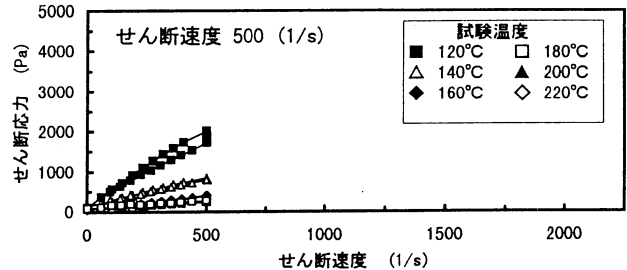
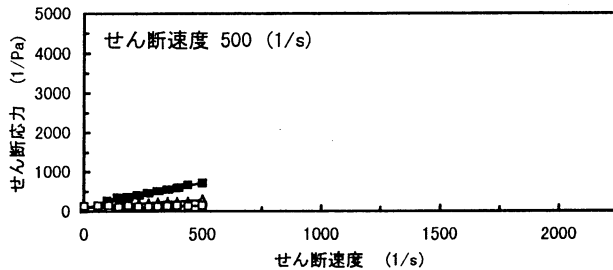


図-7 せん断速度と試験温度を変えたストアスの流動曲線

図-8 せん断速度と試験温度を変えたプレミックスの流動曲線

(4) 流動曲線からの混合温度の推定

図-9 に Bingham の粘度式を用いて直線回帰させて求めた上昇時の粘度 η と温度との関係を、図-10 に上昇時のせん断応力とせん断速度の関係を両対数軸表示したものをせん断速度毎に示す。

図-9 に示すように、粘度 η は温度が高く最高せん断速度が大きいほど小さくなる。せん断速度を増す

ことによって低下する粘度 η のせん断速度依存性は、ストアスでは今回の設定温度範囲ではほとんどみられない。一方改質アスファルトでは 160~180℃ 付近に収束点がみられる。このことは、改質アスファルトの場合、粘度 η の収束点以上に温度を上げても粘度の低下が少ないことを意味する。アスファル

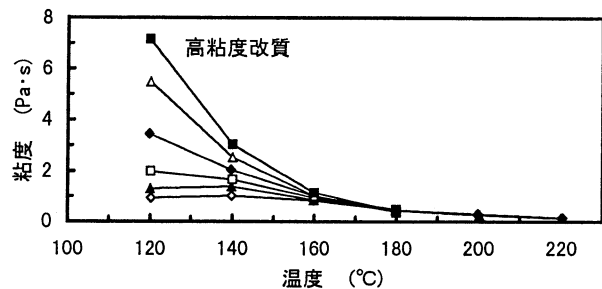
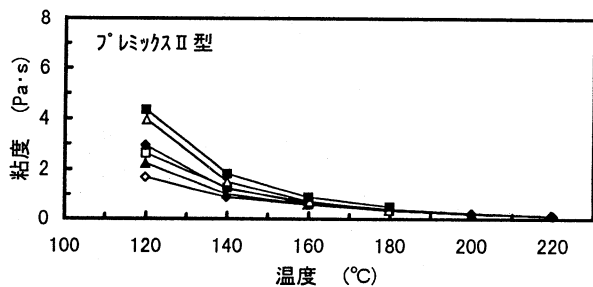
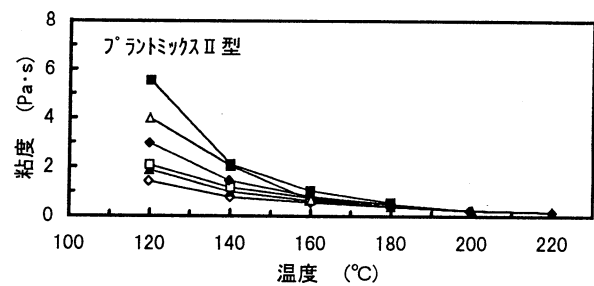
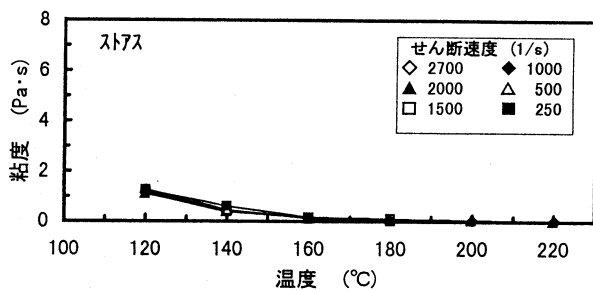


図-9 Binghamの粘度式を用いて求めたせん断速度毎の粘度 η と温度の関係（上昇時）

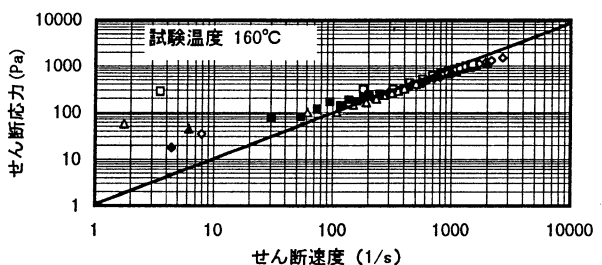
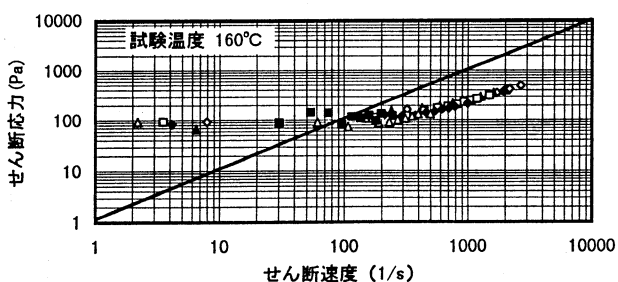
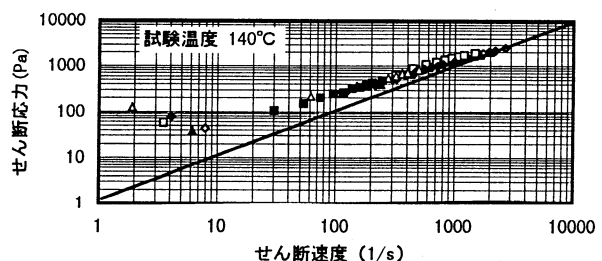
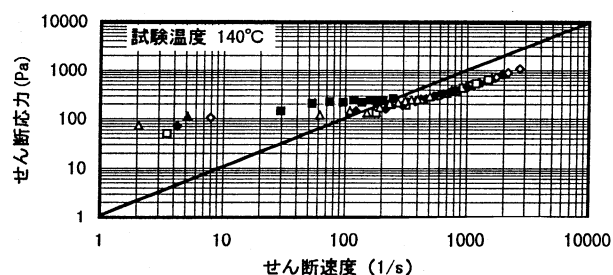
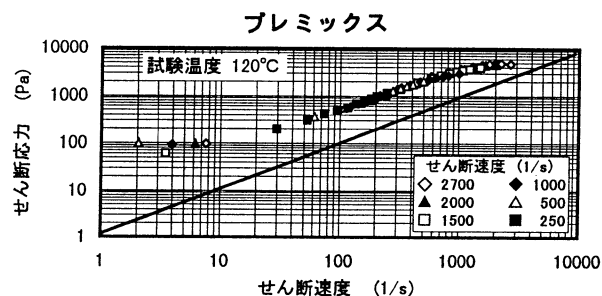
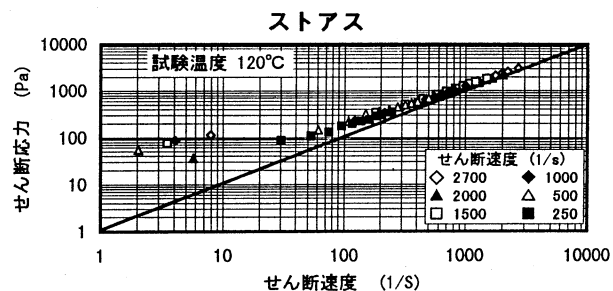


図-10 上昇時のせん断応力とせん断速度の関係（流動曲線を両対数軸表示）

は温度を上げれば上げるほど熱劣化を招き、耐久性の悪いものになってしまう。単に熱劣化の少ない、この粘度低下の収束点だけで最適温度を考えると、改質アスファルトの混合温度は 160～180℃付近となる。

図-10 より、せん断速度とせん断応力との関係が

両対数軸上で 1 : 1 の直線に漸近する温度はストアスでは 120℃付近、改質アスファルトでは 140～150℃付近である。せん断応力とせん断速度の関係が 1 : 1 の直線に漸近する温度で比較すると、ストアスと改質アスファルトには約 20～30℃に相当する粘度差があることになる。

表-7 せん断速度の増加+保持による粘度低下

単位: Pa・s

種別	120 °C	140 °C	160 °C	180 °C	200 °C
ストラス	0.25+0.07 (0.32)	0.67+0.01 (0.68)	0.31+ 0 (0.31)	0.30+ 0 (0.30)	0.05+ 0 (0.05)
プレミックス	2.80+0.49 (3.29)	1.01+0.01 (1.02)	0.42+0.02 (0.44)	0.16+ 0 (0.16)	0.07+ 0 (0.07)
プラントミックス	4.04+0.32 (4.36)	1.54+ 0 (1.54)	0.78+0.03 (0.81)	0.47+0.04 (0.50)	0.04+ 0 (0.04)
高粘度改質	6.29+0.58 (6.87)	2.18+0.24 (2.42)	0.55+ 0 (0.55)	0.51+ 0 (0.51)	0.07+ 0 (0.07)

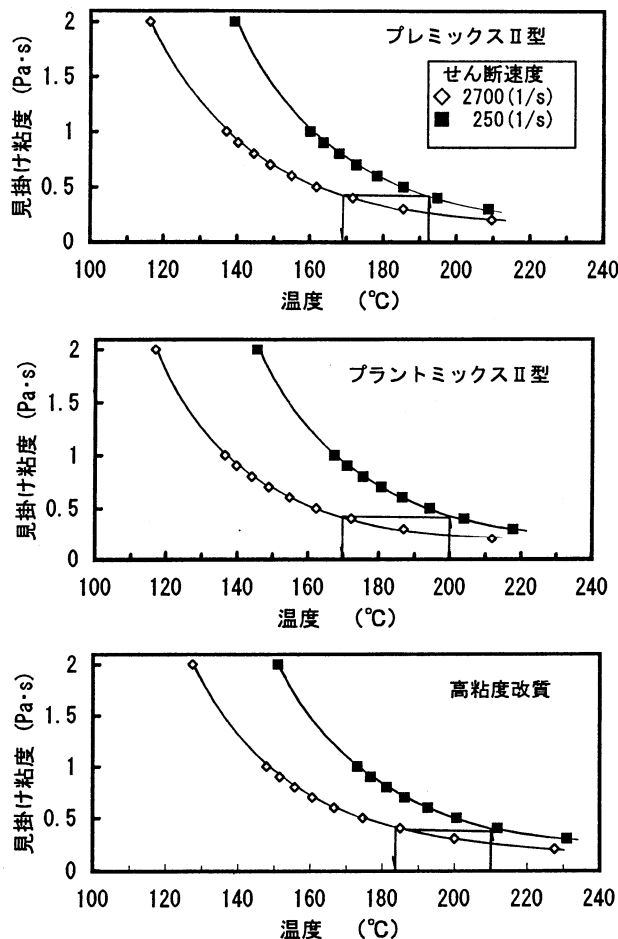


図-11 せん断速度を考慮した最適混合温度の作図例

(5) せん断速度の増加と保持による粘度の低下

表-7 に、せん断速度の増加と保持による粘度低下の計算結果を示す。ここでせん断速度の増加による粘度低下はせん断速度 2,700[1/s]の No. 11 の粘度とせん断速度 250[1/s]の No. 11 の粘度の差から求めた。せん断速度保持による粘度低下はせん断速度 2,700[1/s]における No. 11 と No. 31 の粘度の差から求めた。

せん断速度による粘度低下は、せん断速度保持の場合よりせん断速度増加による方が大きい。トータルの粘度低下は、ストアスより改質アスファルトの方が大きく、試験温度が低温側になるほど大きい。せん断速度を考慮した場合の低下粘度を温度に換算することによって、ストアスと同程度となる混合温度、締固め温度の推定が可能であると考えた。

5. ミキサ混合を考慮した場合の最適混合温度の推定

円すいー平板形回転粘度計による粘度測定結果より、特に改質アスファルトでは同一温度であってもせん断速度の違いによって粘度が異なることがわかった。そこで今回の測定データを用いて、現行法におけるアスファルトの粘度をせん断速度の小さい場合の粘度-温度関係、ミキサ混合におけるアスファルトの粘度をせん断速度の大きい場合の粘度-温度関係と仮定して、最適混合温度を推定した。以下に計算に用いた仮定を示す。

- ・現行法の粘度試験の粘度を最高せん断速度 250[1/s]での値とする。
- ・ミキサ混合における粘度を最高せん断速度 2700[1/s]での値とする。
- ・ミキサ混合時の粘度低下は、せん断速度を 250[1/s]から 2700[1/s]に増加することと、せん断速度を 30 秒間保持したことによるものとする。つまり、
粘度低下=(せん断速度増加)+(せん断速度保持)とする。
- ・毛細管粘度試験より求めた最適混合温度を最高せん断速度 250[1/s]の粘度-温度曲線上にプロットし、この粘度と等しくなる点を最高せん断速度 2700[1/s]の粘度-温度曲線上に求める。この点の温度をミキサ混合を考慮した場合の最適混合温度とする。

最高せん断速度 250[1/s]の No. 11 と、最高せん断速度 2700[1/s]の No. 31 における温度と見掛け粘度の関係を図-11 に描き、この図より最適混合温度を推定した。作図した結果、ミキサによるせん断速度を考慮した最適混合温度は、改質Ⅱ型のプレミックスとプラントミックスの場合 170℃付近に、高粘度改質アスファルト（以下、高粘度改質と略す）の場合 180～185℃付近となった。

せん断速度を仮定して、ミキサ混合を考慮した最適混合温度を求めると、毛細管粘度試験から求めた値より 20～30℃低温側になった。表-8 に各粘度試験法におけるせん断速度と最適混合温度の推定結果を示す。

表-8 各粘度試験法における最適混合温度とせん断速度

アスファルト種別	最適混合温度 (°C)			測定時のせん断速度 (1/s)		
	毛細管法	ミキサ混合	温度差	毛細管粘度計	円すい-平板回転粘度計	B型回転粘度計
ブレックス	190	169	21	0.4~0.7	250 ~ 2,700	19~95
プラントックス	200	170	30			
高粘度改質	210	183	27			

※毛細管法の最適混合温度は、キャノソーフェンスケ不透明液用粘度計を用いて粘度が $180\text{mm}^2/\text{s}$ となる温度

※ミキサ混合の最適混合温度は、円すい-平板形回転粘度計を用いて本文中の仮定を設けて求めた温度

※B型回転粘度計のせん断速度は参考に示したものであり、共軸二重円筒形回転粘度計タイプなので、外筒の末端の影響がなく長い円筒と仮定して計算した

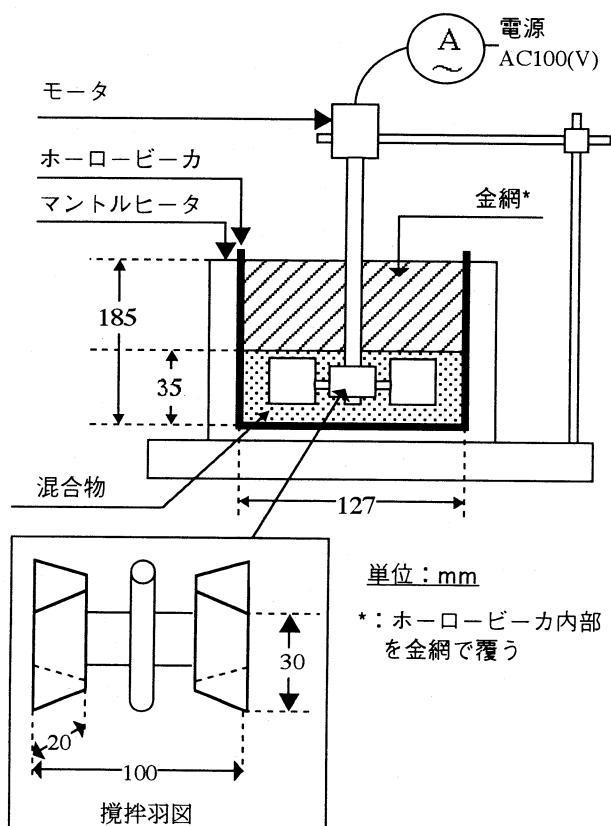


図-12 モデル混合試験に用いた試験装置

(1) 試験方法

図-12 にモデル混合試験に用いた試験装置を示す。混合槽には2リットルのホーロービーカーを用い、その周囲をマントルヒータで加温して設定温度を保持できるようにした。混合物の練り混ぜには図のような攪拌羽を用い、60r. p. m. の回転数で混合した。表-9 にモデル混合試験の試験条件を示す。混合物粒度のうち2.5mm 通過量は15~45%の範囲で10%刻みに4種類設定した。2.5mm 通過量が15%の配合は排水性舗装用混合物の標準粒度に相当し、45%のものは密粒度アスコンに相当する。粗骨材は8~5mmを使用した。F/Aはアスファルト量に対する石粉量の比を表すもので、1.0程度が一般的である。

アスファルトの種類はストアスと高粘度改質の2種類とした。また混合温度はストアスを150°C一定、高粘度改質を140~200°Cの範囲で20°C刻みに4種類設定した。

試験は予め混合しておいた混合物を試験混合槽に800g投入し、各混合時間における単位時間当たりの電力消費量[Wh]を測定した。各混合条件における電力消費量は、混合時の電力消費量から無負荷状態の消費電力量を減じた値とした。

(2) 試験結果

図-13 にモデル混合試験結果を示す。図はストアスを用いた2.5mm 通過量45%の密粒度アスコンの消費電力量を基準とし、これに対する電力消費量比として表した。

混合物粒度のうち2.5mm 通過量の影響をみると、粗骨材量が増加して2.5mm 通過量が少なくなるにつれて電力消費量比は小さくなった。ストアスを用いた2.5mm 通過量15%の排水性舗装用混合物の電力消費量比は密粒度アスコンの約87%を示した。

6. モデル混合試験

モデル混合試験は混合物の粒度およびアスファルトの種類が混合に与える影響を調べるために実施した。ここでは混合時の小型ミキサの消費電力量を測定することによって混合負荷を比較した。この試験はせん断速度、混合温度、アスファルトの粘度を直接評価するのとはなっていないが、アスファルト単体での粘度評価と、プラントでの混合を考察するために補足的に実施した。

表-9 モデル混合試験の試験条件

配合 No	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩
2.5mm通過量%	15	20	35	45			15			
F/A	1.0			1.4	1.8	1.0				
混合温度 °c	150						140	160	180	200
7.5mm種類	ストアス						高粘度改質			

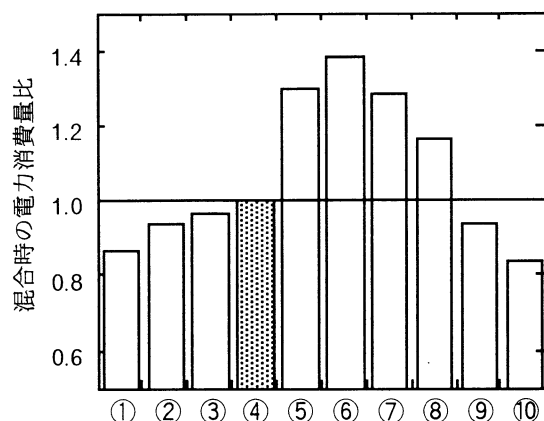


図-13 モデル混合試験における配合と電力消費量比の関係

またF/Aの増加にともなって電力消費量比は大きくなり、F/Aが1.4で約30%、1.8で約40%の増加となった。このように混合物粒度が混合負荷に及ぼす影響として、細骨材や石粉等の細粒分の影響が大きく、排水性舗装用混合物のように細粒分の少ない混合物の混合負荷は小さいことがわかった。

アスファルトの種類と混合温度の影響をみると、排水性舗装用混合物ではあるが、高粘度改質の電力消費量比がストアスと同程度になるのは180～200℃となる。また高粘度改質を用いた排水性舗装用混合物の電力消費量比が、基準とした密粒度アスコンと同程度の値を示す混合温度を求めると、160～180℃の範囲となる。

7. アスファルトプラントにおける混合負荷

モデル混合試験結果から、混合物粒度が混合負荷に大きく影響を与えることがわかった。ここでは実際のアスファルトプラントにおけるミキサ負荷として、ミキサ電流値をクランプ式電流計によって測定した結果を示す。混合負荷は混合時のミキサ電流値を補正せず、そのまま用いた。

図-14 に実際のアスファルトプラント(1バッチ2トン練り)における混合温度と混合負荷の関係を示す。測定に用いた混合物の種類はいずれも最大粒径が

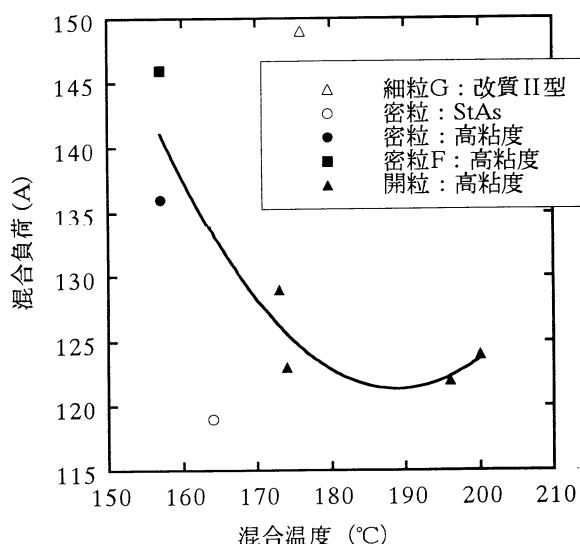


図-14 アスファルトプラントにおける混合温度と混合負荷の関係

13mmで、高粘度改質を用いた排水性舗装用混合物、高粘度改質およびストアスを用いた密粒度アスコン、改質II型を用いた細粒度ギャップアスコン(2.5mm通過量55%, F/A=1.6)である。

混合温度の低下にともなって混合負荷も上昇する傾向はみられるが、上昇の程度はモデル混合試験にみられた混合負荷の上昇と比較して小さい。これはミキサ機構や混合物が受けるせん断作用の程度がモデル混合試験装置と実際のアスファルトプラントはかなり異なっているためである。

混合物種類については、排水性舗装用混合物の混合負荷よりも密粒度アスコン、細粒度アスコンの方が大きく、モデル混合試験と同様に細粒分の多い混合物の混合負荷が大きいことが確認できた。

アスファルトの種類については、全体としてみればストアスより改質アスファルトの混合負荷が大きい。しかし、混合温度157℃の高粘度改質を用いた密粒度アスコンより、混合温度176℃の改質II型を用いた細粒度ギャップアスコンの混合負荷が大きいように、アスファルトの種類よりも混合物粒度の影響の方が大きいことが想定される。このことは従来の粘度試験による温度-粘度関係をそのままミキサでの混合温度条件として適用することに多少問題あることを示している。ただし、混合が可能であっても、温度によっては骨材表面の濡れが異なり、混合物性状に影響を与える可能性はある。その点を確認する必要があるが、高せん断速度下のアスファルト単体の粘度試験やミキサ負荷測定結果から判断して、160～180℃付近を改質アスファルトの混合温度の目安として考えることは妥当であろう。

8. 結論

本研究で得られた結論を以下にまとめて示す。

- 1) アスファルトは高温域 (120~200℃) において、与えるせん断速度によって見掛け粘度は異なり、せん断速度が大きいほど見掛け粘度は低下する。
- 2) 高温域において、ストレートアスファルトは概ねニュートン流体とみなせる。その粘度の変化はせん断速度の影響がほとんどなく、単に温度のみに依存する。改質アスファルトの場合、160℃付近を境として高温側ではニュートン流体、低温側では非ニュートン流体とみなすことができ、低温側では非ニュートン流体特有のチクソトロピー的挙動を示す。
- 3) Bingham の粘度式を用いて、上昇時のせん断速度と粘度の関係を解析した結果、粘度 η は温度が高くせん断速度が大きいほど小さくなる。せん断速度の値にかかわらず粘度 η がほぼ一定となる収束点は、改質アスファルトでは 160~180℃付近となる。単に熱劣化の少ない、この粘度低下の収束点だけで最適温度を考えると、改質アスファルトの混合温度は 160~180℃付近となる。
- 4) ミキサ混合で生じるせん断速度を考慮して改質アスファルトの最適混合温度を推定すると、毛細管粘度試験から求めた最適混合温度より 20~30℃低温側になる。

5) 室内でのモデル混合試験やアスファルトプラントでの混合負荷測定の結果、アスファルトの種類よりも混合物粒度の方が混合し易さに与える影響が大きい。

6) せん断速度を考慮した粘度試験や、ミキサ混合負荷測定結果から、改質アスファルトの最適混合温度は「ストレートアスファルトの場合より 10~20℃高い温度」とした経験的な最適温度に一致する。

参考文献

- 1) 片脇清士：舗装用バインダーに関する試験方法について、アスファルト, Vol. 37, No. 181, pp. 1-7, 1994.
- 2) (財) 日本規格協会：液体の粘度—測定方法 JIS Z 8803-1991, pp. 1, 1991.
- 3) 深田栄一：粘稠物質のレオロジー, 高分子, Vol. 19, pp. 240-242, 1960.
- 4) 片脇ほか：SHRP アスファルト試験操作の手引, 土木研究所資料第 3257 号, 資 1-3-1, 1994.
- 5) (社) 日本道路協会：アスファルト混合所便覧, pp. 28, 1979.
- 6) 高分子学会レオロジー委員会編：レオロジー測定法, 共立出版, pp. 18-20, 1965.
- 7) 田口仁, 帆苅浩三, 大川秀雄：ミキサ混合におけるアスファルト粘度の考え方, 舗装, Vol. 30, No. 6, pp. 8-15, 1995.

FOUNDMENTAL STUDY ON MIXING OF ASPHALT MIXTURE

Hitoshi TAGUCHI, Kozo HOKARI, Hideo OHKAWA

We noted the shear rate of the viscosity test to calculate viscosity of asphalt on mixing. We measured viscosity of one straight asphalt and three modified asphalts with cone-and-plate viscometer changing shear rate. It is compared with the behavior of the liquid and the viscosity-temperature relation. The optimum mixing temperature of asphalt under the high shear rate is lower 20 or 30 degrees than one measured by the capillary tube viscometer.