

各種力学的性状のアスファルト量への依存性に関する研究

北 大 正 貞 ○ 河 島 克 美
新 湯 果 正 貞 土 山 和 夫
北 大 正 貞 菅 原 照 雄

1 まえがき

アスファルト混合物の力学的な性状の把握は、アスファルト舗装の構造設計、舗装構造の力学的なレスポンス、パフォーマンスなどにおいて主要なテーマであり、それは混合物に使用されるアスファルトの性状、量ならびに粒度組成、および環境条件によって大きく変化することが知られている。

アスファルト混合物の力学的な性状を主として上記で述べた観点より論ずる場合、検討されるべきものは次の4つである。

- (1) 混合物の破壊特性および強度
- (2) 層として構成された混合物の荷重分散性能
- (3) 変形特性
- (4) 力学的な性状の経年変化

これらの力学的な性状を支配する要因は種々あるが、本研究においては、アスファルト量の変化が上記の性状にいかなる影響を与えるかを明らかにしようとするものである。すなわち(1)に関しては圧ひずみ速度曲げ試験から得られる曲げ強度、破断ひずみ、破断時のスティフネス、(2)に関しては動的載荷試験から得られる複素弾性率、(3)に関してはホイールトラッキング試験ならびに曲げクリープ試験から得られる動安定度およびクリープコンプライアンスを用いて、アスファルト量の変化がこれらの力学的性状にいかなる影響を与えるかを検討した。

2 使用材料および混合物

使用混合物は骨材最大粒径13mmの密粒度アスファルトコンクリートおよびローランドアスファルトで、使用アスファルトは密粒度アスファルトコンクリートでは80/100 ストレートアスファルト (Pen. 89, RCB 48.0°C, PI. -0.4), ロールトアスファルトでは40/50 ストレートアスファルト (Pen. 50, RCB 54.0°C, PI. -0.3) である。なお各混合物の粒度組成は表-1に示す。

表-1 粒度組成

	ふるい目 (mm)	アスファルト コンクリート	ロールト アスファルト
通過 重量 百分率	13	100.0	100.0
	10	93.0	90.0
	7	77.0	55.0
	5	70.0	46.0
	2.5	50.0	46.0
	1.2	40.0	46.0
	0.6	30.0	40.0
	0.3	19.92	20.02
	0.15	9.10	9.96
	0.075	5.55	5.75
アスファルト量(%)		5.55	5.75

3 アスファルト量

本研究において用いたアスファルト量は、マーシャル試験の結果を参考に、2者の混合物のF/A(重量比)が1なる混合物を選び、そのときのアスファルト量を最適アスファルト量(O.A.C.)とした。さらに最適アスファルト量から各混合物共に±1.0%の範囲のものを用いた。最適アスファルト量は密粒度アスファルトコンクリートでは5.55%、ローランドアスファルトでは5.75%である。表-2は用いた試験法と混合物のアスファルト量との対応を示したものである。

表-2 各種試験とそれに対応するアスファルト量

試験法	アスファルトコンクリート					ロールトアスファルト				
	4.55	5.05	5.55	6.05	6.55	4.75	5.25	5.75	6.25	6.75
圧ひずみ速度曲げ試験	○		○		○	○		○		○
動的載荷試験	○		○		○	○		○		○
ホイールトラッキング試験	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
曲げクリープ試験	○		○		○	○		○		○

4 試験条件および供試体

4-1 試験条件

各種試験の試験条件および供試体寸法は表-3に示す。

4-2 供試体

アスファルトおよび骨材は20℃で加熱混合した後、所定の型枠に投入し、ローラーコンパクターを用いて転圧(30℃で転圧)する。ホイールトラッキング試験はこの供試体を用いた。他の試験に用いる供試体はこの試験機を用いてトラバースを行ない、混合物にこねかえし作用を与えた後、冷却し表-3に示す寸法に切り出したものである。

5 破壊特性

5-1 試験法ならびに解析法

定ひずみ速度曲げ試験は、両端単純支持(スパン長20cm)、中央集中荷重方式であり、この試験の解析は以下に示す弾性解を用いて各種破壊特性を計算した。

$$\sigma_b = \frac{3P_b l}{2ah}, \quad \epsilon_b = \frac{6h d_b}{l^2}, \quad S_b = \frac{P_b}{\epsilon_b}$$

σ_b : 曲げ強度(Kg/cm^2), ϵ_b : 破断ひずみ, S_b : 破断時のステイフネス(Kg/cm^2)

P_b : 破断時の荷重(Kg), l : スパン(cm), d_b : 破断時のたわみ(cm)

a : 供試体の幅(cm), h : 供試体の高さ(cm)

5-2 曲げ強度、破断ひずみ、破断時のステイフネス

図-1は密粒度アスファルトコンクリートの曲げ強度～温度曲線、破断ひずみ～温度曲線を示すものである。

曲げ強度～温度曲線はある温度において曲げ強度がピークを示す山形の曲線となり、ピークより低温側は脆性破壊領域、ピークより高温側は流動破壊領域、ピーク付近は転移領域である。

曲げ強度の値は各種破壊領域においてアスファルト量に依存している。すなわち脆性破壊領域ではアスファルト量4.55%の混合物と6.55%の混合物では約20 Kg/cm^2 の差があり、6.55%の混合物と5.55%の混合物では顕著な差が見られない。一方、流動破壊領域ではピーク時の曲げ強度と25℃の曲げ強度との差を比較するとアスファルト量の多い混合物ほどその差は大きい。

破断ひずみ～温度曲線は緩やかなS字で描き、この曲線の勾配が変化する点の温度は曲げ強度～温度曲線のピークを示す温度と対応している。低温領域および高温領域では破断ひずみはそれぞれ一定の値に近づく傾向にある。

アスファルト量の破断ひずみに対する影響は低温領域では

表-3 各種試験条件

試験法	試験条件
定ひずみ速度曲げ試験	供試体寸法 $2.5 \times 2.5 \times 25 \text{ cm}$ 温度 $-15 \sim 20^\circ \text{C}$ ひずみ速度 $6.25 \times 10^{-3} / \text{sec}$ (たわみ速度100 mm/min)
動的荷重試験	供試体寸法 $4 \times 4 \times 35 \text{ cm}$ 温度 $-10 \sim 20^\circ \text{C}$ 周波数 $0.1, 0.3, 0.5, 1.0, 3.0, 5.0, 10.0 \text{ Hz}$ たわみ 6.0×10^{-4}
曲げクリープ試験	供試体寸法 $2.5 \times 2.5 \times 25 \text{ cm}$ 温度 $5 \sim 30^\circ \text{C}$ 応力レベル アスファルトコンクリート $1/2 \sim 9.63 \text{ Kg/cm}^2$ ポルトランドセメント $0.40 \sim 9.85 \text{ Kg/cm}^2$
ホイールトラッキング試験	供試体寸法 $30 \times 30 \times 5 \text{ cm}$ 温度 45°C 荷重量 55.1 Kg 車輪走行速度 22 pass/min

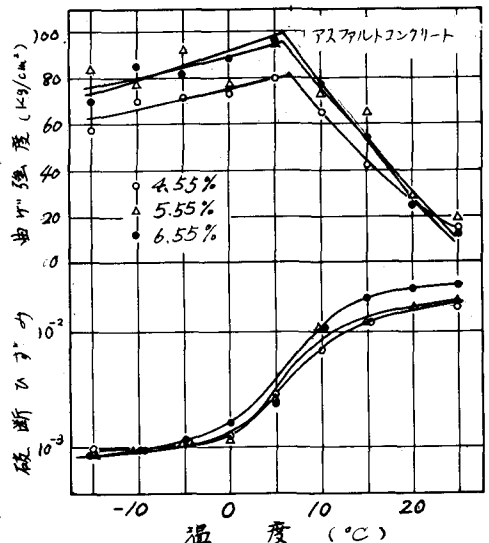


図-1 曲げ強度、破断ひずみと温度の関係

ほとんど見られず、高温領域で顕著である。すなわちアスファルト量 6.55% の混合物は、5.55% および 4.55% の混合物の破断ひずみの 40~50% 大である。

図-1 は密粒度アスファルトコンクリートの破断時のスティフネス～温度曲線を示す。

破断時のスティフネスは低温領域においてほぼ一定の値を示し、アスファルト量の変化による影響もほとんど見られないが、温度が高くなると共にその値は低下する。この破断時のスティフネスの低下の度合はアスファルト量に依存しているようにみえるが顕著でない。

曲げ強度、破断ひずみ、破断時のスティフネスは、ロールトアスファルトにおいても密粒度アスファルトコンクリートの場合と同傾向を示す。

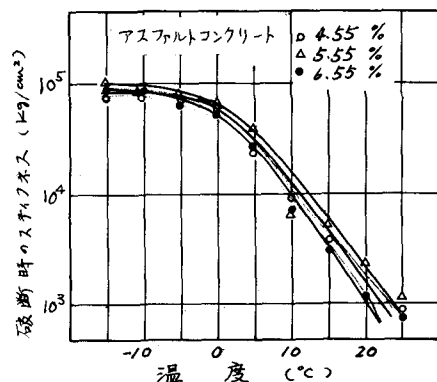


図-2 破断時のスティフネスと温度の関係

6 荷重分散性能

6-1 試験法ならびに解析法

アスファルト混合物の荷重分散性能を表現する複素弾性率 (Complex Modulus) を強制振動非共振法による動的載荷試験より求めた。試験に用いた動的載荷装置は電気、油圧サーボ機構により供試体に静的載荷および動的載荷 (任意波形) を行うための装置であり、油圧部、制御部、載荷部、記録部、温度制御部から構成される。

正弦的に変化するひずみで供試体を与えると、正弦的に変化する応力が得られる。複素弾性率 ($E^* = E' + iE''$) の大きき ($|E| = \sqrt{E'^2 + E''^2}$) は応力の振幅 (σ_0) とひずみの振幅 (ϵ_0) の比として求められ、それはスティフネスと同じものと考えられる。応力およびひずみは弾性解法によって計算し、供試体中央部縁部での最大応力 (σ_{max})、最大ひずみ (ϵ_{max}) は次式によって与えられる。

$$\sigma_{max} (kg/cm^2) = \frac{6Pl}{ah^2} \quad \epsilon_{max} = \frac{12hd}{3l^2 - 4d^2}$$

P: 荷重 (kg), l: スパン (30 cm), l_1 : 載荷部までの距離 (cm), d: 中央部でのたわみ (cm)

a: 供試体の幅 (cm), h: 供試体の高さ (cm)

任意の時間、温度に関し複素弾性率を求め、複素弾性率と時間との関係に時間-温度換算法則を適用してマスターカーブを作製し、そのとき移程度を求める。その結果測定領域よりも広い領域での複素弾性率を求めることが可能となる。

6-2 複素弾性率

図-3 は密粒度アスファルトコンクリートでアスファルト量を変化させたときの複素弾性率のマスターカーブを基準温度 5°C について示したものである。

アスファルト量の変化による複素弾性率の変化は短時間領域においてはほとんど見られず、長時間領域において顕著となる。すなわちアスファルト量の多い混合物は複素弾性率の低下は大きい。このことは長時間領域において荷重分散性能はアスファルト量が少ない

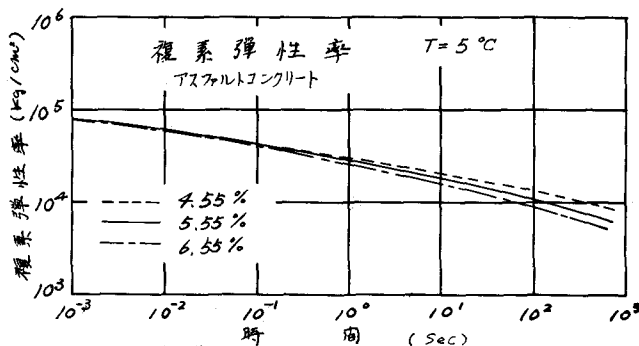


図-3 複素弾性率のマスターカーブ

い程度とされている。

7 変形抵抗性

アスファルト混合物の流動を伴う変形は、わたり掘れや波うち等の現象として道路舗装においても見られ、ダムおよび水路のフェイシングなどでは自重によらずれなどみられる。これらの現象は、繰返し荷重に基づく残留変形の蓄積、アスファルト混合物のクリープ性状から説明できる。アスファルト混合物の流動を伴う変形のうち、わたり掘れおよびクリープ現象に関し、力学的な性状の角度より検討する。

7-1 試験法および解析法

a) わたり掘れ

舗装体に生じるわたり掘れ現象はシミュレーション試験であるホイールトラッキング試験で再現し、この試験より、アスファルト混合物の繰返し荷重に基づく残留変形の蓄積の割合を求める。

ホイールトラッキング試験は供試体を試験機のテーブル上に固定し、その供試体上に輪荷重55/Kgのソリッドタイヤを42Pass/minで往復運動させ、このとき供試体中央部に生じたわだちの深さと時間との関係を求めるものである。この試験より繰返し荷重に基づく残留変形の蓄積の割合は記録された時間-変位曲線のほぼ直線的変化の部分から動的安定度(Pass/mm)なるもので表現する。さらにこの試験では、ニーディング作用(車輪と走行方向と直角な方向に20Pass/hrで往復させる。)後の混合物の動的安定度も検討している。

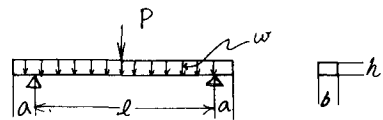
b) クリープ現象

曲げクリープ試験は、四端単純支持(スパン長20cm)、中央集中載荷方式を採用し、これより時間-変位曲線を求める。このときのなすみと応力の比としてクリープコンプライアンス(J(t))は示されるものである。応力およびひずみは弾性解法により次式で与えられる。

$$\sigma_0 (\text{kg/cm}^2) = \frac{3 \left(\frac{w l^2}{4} - w a^2 + \frac{P l}{2} \right)}{b h^2}$$

$$\varepsilon(t) = \frac{24 h d(t) (2 p l + w l^2 - 4 w a^2)}{8 p l^3 + w l - 24 w a^2 l^2}$$

$$J(t) (\text{cm}^2/\text{kg}) = \frac{\varepsilon(t)}{\sigma_0}$$



$d(t)$: 下向き量(cm)

7-2 動的安定度

図-4は動的安定度とアスファルト量との関係を示すものである。

動的安定度は、アスファルト量の増加に伴いその値は低下する傾向にあるが、あるアスファルト量を境にしてその低下が著しくなる。

トラバースによるニーディング作用の効果は、密粒度アスファルトコンクリートにおいて顕著であり、アスファルト量の少ない混合物ほどその効果は大である。

7-3 クリープコンプライアンス

図-5はアスファルト量5.55%の密粒度アスファ

ルトコンクリートに関し、各温度におけるクリープコンプライアンスと時間の関係および、10°Cを基準温度としてそのマスターカーブを示したものである。

クリープコンプライアンスの値は温度の上昇に伴い増加し、温度差25°Cで約100倍なる値を示している。す

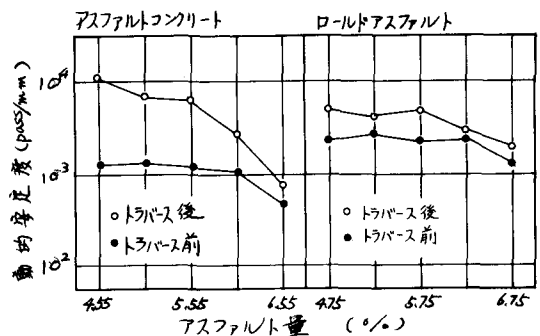


図-4 動的安定度とアスファルト量との関係

なめちアスファルト混合物の変形抵抗は温度により大きく異なることを示している。

表-5はアスファルト量が2.0%の変化を1としたときのクリープコンプライアンスの各値を載荷時間 10^3 secにおいて比較したものである。

クリープコンプライアンスの値は温度の上昇およびアスファルト量の増加と共に増加し、その割合は混合物の配合に強く依存する。高温領域においてはその傾向が顕著である。

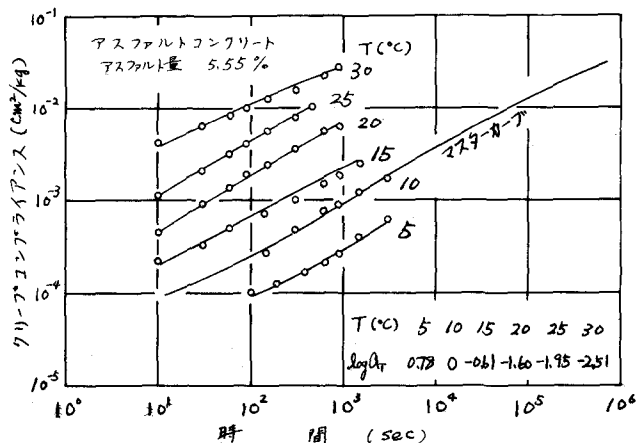


図-5 クリープコンプライアンスと時間との関係

8 結 論

1) 曲げ強度は低温領域においてアスファルト量に大きく依存し、破断ひずみ、破断時のスティフネスは高温領域でアスファルト量に依存する。

2) 荷重分散性能の一支配因子である複素弾性率のアスファルト量に対する依存度は短時間領域より長時間領域の方が大である。

3) アスファルト混合物の変形抵抗としての動的安定度およびクリープコンプライアンスはその混合物中のアスファルト量に依存し、高温領域ほどその影響は大である。

4) ニーディング作用によりアスファルト層の集動抵抗性は増大し、その程度はアスファルト量が少ないほど大である。

表-4 時間 10^3 secにおけるクリープコンプライアンス

	アスファルト量 (%)	温 度 (°C)	
		10	30
密粒状 アスファルト コンクリート	4.55	1.4×10^{-3}	2.8×10^{-2}
	6.55	2.3×10^{-3}	5.0×10^{-2}
	6.55 / 4.55	1.6	1.8
ロールト アスファルト	4.75	9.8×10^{-4}	2.7×10^{-2}
	6.75	1.2×10^{-3}	5.5×10^{-2}
	6.75 / 4.75	1.2	2.0

なお本研究に際し、(株)富士興産アスファルトの佐藤英之氏の御協力を得た。ここに厚く感謝の意を表すものである。