

京都大学大学院工学研究科 学生員 ○中村 美友
 京都大学大学院工学研究科 正会員 松本 理佐

正会員 杉浦 邦征
 正会員 安 琳

1. はじめに

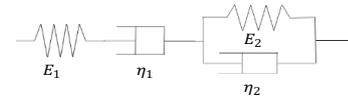
道路構造物の維持管理上、アスファルト舗装の劣化(わだちぼれ等)は大きな問題である。また、鋼床版上のアスファルト舗装が劣化すると、荷重が鋼床版に直接かかり鋼床版の損傷が進行する可能性が考えられる。このようなアスファルト舗装の劣化の要因の一つとして、アスファルトが粘弾性特性をもち、夏期の高温時に粘性の性質を示すことが知られている。そこで、様々な改質アスファルトが開発されている。しかし、アスファルトの粘性に係わる機械的性質は十分に理解されていないのが現状である。

本論文では、改質アスファルトの一つであるエポキシアスファルトの粘弾性特性を明らかにすることを目的とする。そこで、エポキシアスファルトの粘弾性モデルを仮定し、動的載荷試験・応力緩和試験との結果の比較を行い、その妥当性を検討する。さらに、舗装材料として一般的に用いられるストレートアスファルトと比較を行う。

2. 粘弾性モデルの仮定

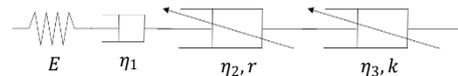
粘弾性モデルはバネとダッシュポットを用いて表現される。アスファルトの粘弾性モデルは、図1に示すBurger'sモデルを用いることが多い。通常のダッシュポットでは、応力はひずみの1階微分であるひずみ速度に依存する。一方、応力がひずみの分数階微分に依存すると定義されるアベルダッシュポットを用いて、粘弾性を表現することがある。アベルダッシュポットを用いたFDM-4モデル¹⁾は、粘弾性特性を表現するために用いられることがある(図2)。そこで本論文では、Burger'sモデルとFDM-4モデルを用いて、アスファルトの粘弾性特性の再現を行った。図1, 2には、それぞれBurger'sモデル, FDM-4モデルの構成則を示している。

3. 実験



$$\text{構成則} \quad \frac{\eta_2}{E_1} \frac{d^2 \sigma}{dt^2} + \left(1 + \frac{E_2}{E_1} + \frac{\eta_2}{\eta_1}\right) \frac{d\sigma}{dt} + \frac{E_2}{\eta_1} \sigma = \eta_2 \frac{d^2 \varepsilon}{dt^2} + E_2 \frac{d\varepsilon}{dt}$$

図1 Burger'sモデル



$$\text{構成則} \quad \sigma(t) \left(E + \eta_1 \frac{d}{dt} + \eta_2 D^r + \eta_3 D^k \right) = E \eta_1 \frac{d}{dt} \eta_2 D^r \eta_3 D^k \varepsilon(t) \quad (0 \leq r, k \leq 1)$$

図2 FDM-4モデル

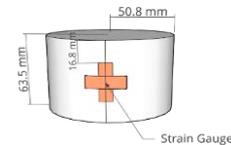


図3 試験体寸法 (寸法単位: mm)

3.1 試験体

試験には、マーシャル安定度試験と同様の円柱形の試験体を用いた(図3)。試験体には、ゲージ長30[mm]のひずみゲージを、図3に示すように90°C間隔で設置した。

3.2 試験方法

動的載荷試験の試験条件は、載荷応力を $P = P_0 \sin(2\pi f)$ ($P_0 = 1, 0.5$ [N/mm²]), 周波数を0.1~20[Hz]の間、試験温度を室温と40°Cとした。応力緩和試験の試験条件は、120秒間、一定変位を1.35[mm]を与えた。なお、試験温度は室温(20°C)と40°Cとした。

3.3 実験結果及び考察

3.3.1 動的載荷試験

周波数と複素弾性係数、周波数と位相差の関係を図4, 5に示す。図4, 5より、20°Cの場合、ストレートアスファルト、エポキシアスファルトともに、周波数が低くなると複素弾性係数は小さくなり、応力とひずみの位相差は大きくなった。

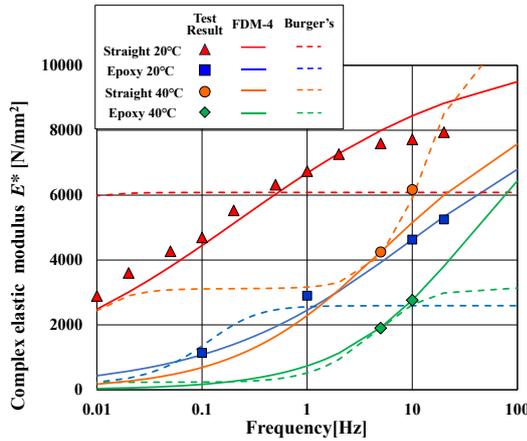


図4 複素弾性係数の周波数依存性

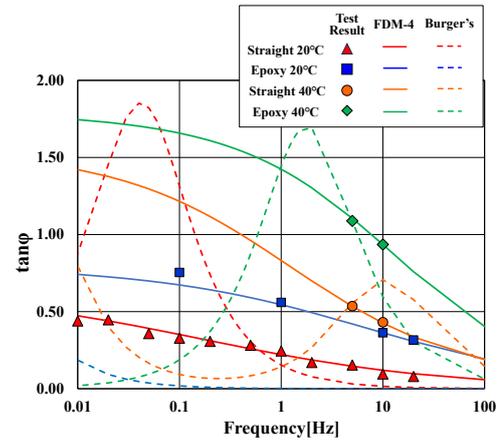


図5 応力とひずみの位相差の周波数依存性

また、ストレートアスファルトと比較し、エポキシアスファルトは複素弾性係数が大きく、位相差が小さくなった。これらの特徴は、40°Cの場合も同様であった。また、20°Cと40°Cを比較すると、温度が上昇するにしたがって、複素弾性係数は小さくなり、位相差は大きくなった。

以上より、ストレートアスファルトと比較しエポキシアスファルトは弾性体としての特性が強いことがわかる。また、ストレートアスファルト・エポキシアスファルトともに、温度が高いほど、粘性体としての特徴が強くなるといえる。

3.3.2 応力緩和試験

応力緩和係数(応力をひずみで除した値)の時間変化を図6に示す。図6からわかるように、エポキシアスファルトの方がストレートアスファルトより剛性が高い。また、20°Cと40°Cを比較すると、40°Cの方が応力緩和係数は小さく、温度が高くなると剛性も低下することが分かる。

ここで、前述のBurger'sモデル・FDM-4モデルの構成式から、応力緩和の関係式と複素弾性係数、位相差を弾性係数・粘性係数を用いて導出した。実験値と構成則による計算値の誤差が最小になるように、エクセルのソルバー機能を用いて、係数の決定を行った。

図4~6より、FDM-4モデルの方がより実験結果に一致した。また、FDM-4モデルの分数微分の項を表1に示す。値を比較すると、エポキシアスファルトの方が値が小さく、弾性に近いといえる。また、20°Cと40°Cを比較すると、温度が高くなると、分数微分の項は大きくなり、粘性体としての性質が強くなることが確認でき

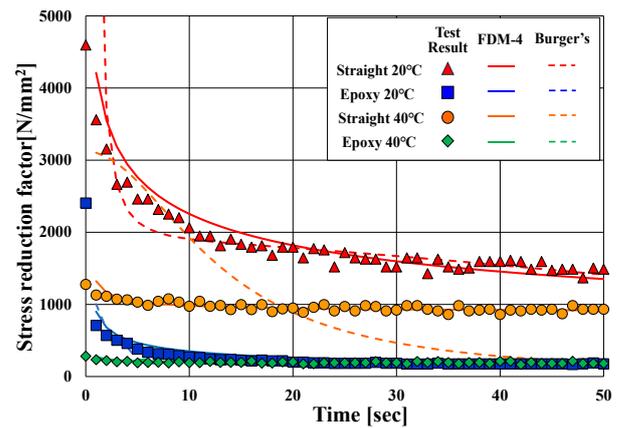


図6 応力緩和係数の時間変化

表1 FDM-4モデルの係数の比較

	E	η_1	η_2	r	η_3	k
	[N/mm ²]	[N·s/mm ²]	[N·s /mm ²]		[N·s /mm ²]	
Straight 20°C	1.80×10 ⁴	1.76×10 ⁶	1.81×10 ⁴	2.14×10 ⁻⁵	1.45×10 ³	0.423
Epoxy 20°C	1.05×10 ⁴	7.16×10 ⁷	1.10×10 ⁶	0.158	8.61×10 ³	0.363
Straight 40°C	9.98×10 ³	9.02×10 ¹⁰	4.03×10 ³	0.375	2.42×10 ²	0.678
Epoxy 40°C	1.10×10 ⁴	1.75×10 ⁹	7.40×10 ³	0.221	1.05×10 ³	0.635

た。

4. まとめ

本論文では、動的载荷試験の結果からアスファルトが温度と速度に依存して変形することを確認した。また粘弾性モデルについて、20°C、40°Cともに従来のBurger'sモデルよりFDM-4モデルの方がアスファルトの粘弾性特性をよく表現できることが分かった。

参考文献

1) Yunan Xu, Liyan Shan, Shuang Tian : Fractional Derivative Viscoelastic Response Model for Asphalt Binders, Journal of Materials in Civil Engineering, DOI : 10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0002716, 2019.6