

東京工業大学 正員 渡辺 隆
 “ 正員 ○姫野 賢治
 東京都 小林 英樹

1. まえがき

アスファルト舗装が外力の作用下でどのような応力を受け変形するかという問題を解析する手法として、現在、Burmister による線形弾性多層理論が広く用いられているが、アスファルト混合物は応力とひずみの関係が時間に依存するため、これを弾性係数というただ1つのパラメータで説明しようとするのは相当困難であって、線形弾性体と考えるよりはむしろ、弾性と粘性の両方の性質を持った物質、すなわち、粘弾性体として解析すべきであろうと考えられる。Huang 及び Moavenzadeh, Ashton は、「対応原理」という概念を用いて多層理論の構成方程式に線形粘弾性理論を導入し、さらに、Elliott はこれを移動荷重の問題にまで拡張しているが、いずれも、アスファルト混合物に対してどのようなレオロジー方程式が適当であるかという問題については触れていない。本研究では、アスファルト混合物として密粒度アスコン(13)を用いて線形粘弾性理論の適用性及びその限界を検討した。

2. 線形粘弾性理論

線形粘弾性体とは、応力 σ とひずみ ϵ の関係がパラメータ α_k, β_l を用いて、

$$\sum_{k=0}^m \alpha_k \frac{d^k \sigma}{dt^k} = \sum_{l=0}^n \beta_l \frac{d^l \epsilon}{dt^l} \quad (\alpha_0 = 1)$$

と表わされる物質をいい、Hooke の法則に従う線形弾性体や線形粘性体 (Newton 流体) も特別な場合としてこれに含まれる。また、バネとダッシュポットを種々に組み合わせたモデルの応力とひずみの関係も上式を用いて表わすことができる。ここでは $\beta_0 = 0$ かつ $m=n$ という特別な場合について解析を行ったが、この条件は $2m$ 個のパラメータを持つ粘弾性流体を表わし、一般化 Maxwell モデルや、退化した要素を持つ一般化 Voigt モデルと同一である。

粘弾性体のクリープコンプライアンス $J(t)$ とは、一定の応力を加え続けた場合のひずみ $\epsilon(t)$ と応力 σ_0 の比として、また、緩和弾性率 $\gamma(t)$ とは、一定のひずみを与え続けた場合の応力 $\sigma(t)$ とひずみ ϵ_0 の比として、ともに時間の関数として定義されるが、線形粘弾性体では時間に関する Laplace 平面上で両者の間に $\bar{J}(s) \cdot \bar{\gamma}(s) = 1/s^2$ という簡単な関係があるため、一方から他方を容易に求めることができる。本研究では、ひずみ制御による一軸試験を行い、緩和弾性率を考えて解析を進めた。

3. 実験条件

本研究では、厚さ 10 cm のホイールトラック試験用の供試体をほぼ 80 mm 四方の断面になるように切り出し、締め固め方向に約 1 時間にわたって載荷した。供試体に瞬時に一定ひずみを与えることは困難であることから、図-1 に示すよ

条件	温度 (°C)	バインダーの種類	ϵ_0 (%)	t (SEC)	載荷
①	60	60/80	0.1	7	圧縮
②	30	60/80	0.5	20	“
③	30	150/200	1.0	40	“
④	30	20/40	1.0	40	“
⑤	0	60/80	0.5	36	“
⑥	30	60/80	0.5	40	引張

表-1 実験条件

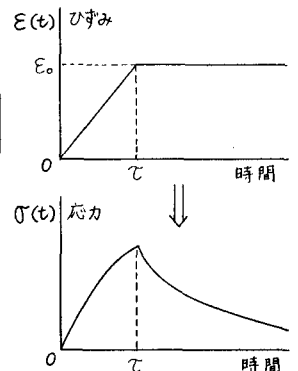


図-1 応力緩和試験

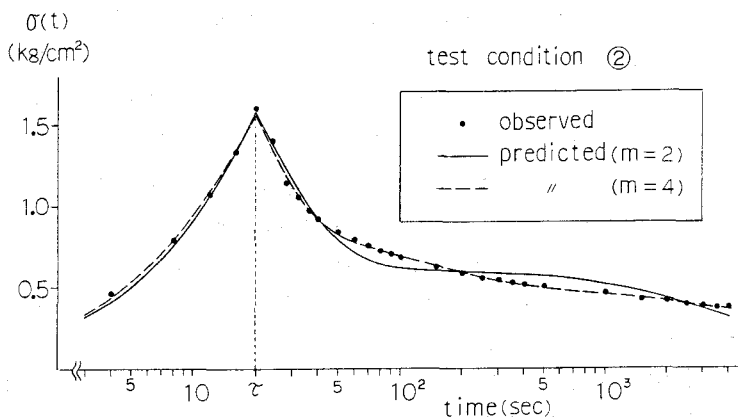
うに段階的にひずみ $\varepsilon(t)$ を加え、これに対応する荷重をロードセルにより検出して応力を求めた。なお、表-1に6通りの試験条件を示す。

4. 解析方法

線形粘弾性体に時間とともに変化するひずみ $\varepsilon(t)$ を加えた場合、対応する応力は緩和弾性率を用いて、

$$\sigma(t) = \varepsilon(t) Y(0) + \int_0^t \varepsilon(t') \frac{dY(t-t')}{d(t-t')} dt'$$

として求めることができる。この式の $Y(t)$ に含まれる $2m$ 個のパラメータ $\alpha_k, \beta_l (k, l=1, 2, \dots, m)$ は実験結果に最もよく合うように最小2乗法により求めることができるが、このとき得られる正規方程式は未知数であるパラメータについて非線形な $2m$ 元の連立方程式となるため、これを解くためには大型の計算機が必要となろう。



5. 結果と考察

図-2に、表-1 ②の条件下

図-2 線形粘弾性理論の適用例

で行った実験に対するモデルの適用例、表-2に、各条件について、 $m=2$ の場合の解析結果から求まる Burger モデルでのパラメータと初期弾性係数 $Y(0)$ を、また図-3には、緩和弾性率の時間的な減少傾向を示す。

条件	E_1 (kg/cm ²)	E_2 (kg/cm ²)	η_1 (kg·sec/cm ²) ($\times 10^3$)	η_2 (kg·sec/cm ²)	$Y(0)$ (kg/cm ²)
①	372	116	86	53	246
②	330	150	760	6716	441
③	113	216	949	14250	113
④	1867	1459	2447	230600	1867
⑤	1354	1809	5019	420400	1354
⑥	207	63	27	3845	207

表-2 Burger モデルの定数及び初期弾性係数

これらから、アスファルト混合物の粘弾性的特質として、(1) 与えるひずみが1%程度以内ならば、線形粘弾性理論は個々の実験結果に対してかなりよくあてはまり、簡単な4要素流体 ($m=2$) の場合でも応力緩和現象をかなり説明することができること、(2) 高温時には初期弾性係数は小さく、弾性率は載荷直後に急激な減少をするのに対し、低温時にはこの逆の傾向を示すこと、(3) 引張時は圧縮時に比べて初期弾性係数は半分程度であって、しかも時間の経過とともに急激に低下し、この減少率は温度の上昇による場合よりも大きいこと、などをあげることができるであろう。

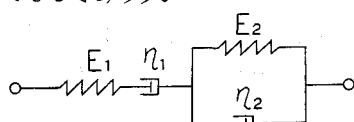


図-4 Burger モデル

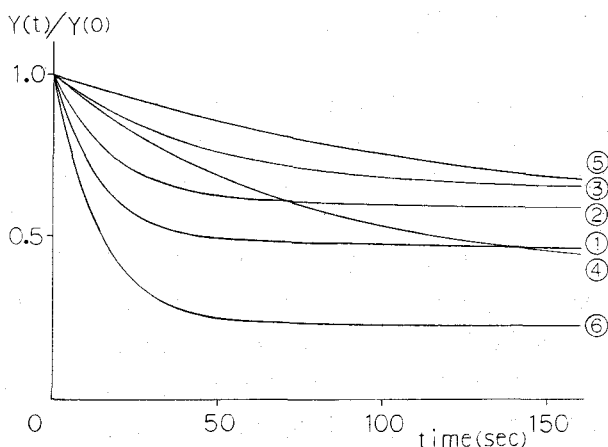


図-3 緩和弾性率の時間的変化