

506 粘弾性体の力学モデル構築に関する基礎研究

Basic Research for the Formulation of Dynamic Model with Viscoelastic Material

○学 高木 徹 (室蘭工大[院]) 正 齊当 建一 (室蘭工大) 正 松本 大樹 (室蘭工大)
学 片岡 広樹 (室蘭工大[院]) 学 小暮 久男 (室蘭工大) 学 香川 太輔 (室蘭工大)

Tetsu TAKAGI Kenichi SAITO Hiroki MATUMOTO
Hiroki KATAOKA Hisao KOGURE Taisuke KAGAWA

Muroran Institute of Technology, 27-1 Mizumoto cho Muroran-shi, Hokkaido, Japan

Key words: Viscoelastic material, Combination model, Complex modulus

1. 緒言

物質は質量, ばね性 (硬さ), 粘性, など様々な性質を持っている。そのため製品の開発時において設計した構造物がどのような動特性を持つかを予想するための数値計算を行う上では, ある程度単純化されたモデルを利用するしかない。こうしたモデルによって計算される特性には実機とは異なる特性を持つことがある。一例として, 機械の振動対策として防振ゴムが広く利用され, これらは接合部に用いられることが多い。しかし実物を評価した実験結果が, コンピュータ上で理論計算した結果に一致しないという問題がある。これはその防振ゴム, いわゆる粘弾性体の動特性がよくわからず, モデル化がうまく出来ていないために起こる問題である。これらの正確な動特性を把握することが, 計算の精度を上げる上で非常に重要なこととなる。

本研究では粘弾性体の動特性である動的弾性率, 損失係数等を実験により調べ, それらのデータを利用して, 複素弾性率の周波数特性を調べ, 数値解析上でのモデルを構築することを目的としている。

2. '古典的' 粘弾性体モデル

粘弾性挙動を単純化したモデルの多くは, 弾性要素と減衰要素を組み合わせることによって作られる。本研究では粘弾性体の周波数特性をモデル化するにあたり, 古典的粘弾性体モデルにおける, 標準要素の組み合わせモデルを用いる。

・2-1 正弦波振動による動的性質

一定の正弦的に加振される粘弾性体には, 応力 $P = P_0 \cos(\omega t)$ と, 位相遅れを伴うひずみ $x = x_0 \cos(\omega t + \delta)$ も共に正弦波で表され, その動的性質は次の式で表される。

$$\text{動的弾性率 } G_1 = |k^*| \cos \delta \quad \cdots (1)$$

$$\text{損失弾性率 } G_2 = |k^*| \sin \delta \quad \cdots (2)$$

ただし δ は位相差, $|k^*|$ は絶対ばね定数と呼び

$$|k^*| = P_0 / \chi_0 \quad \cdots (3)$$

と定義される。

また, 粘弾性体の減衰の大きさを表す量として, 損失弾性率 G_2 と動的弾性率性質 G_1 の比を損失係数と呼び, 以下のように表すことができる

$$\text{損失係数 } \eta = G_2 / G_1 = \tan \delta \quad \cdots (4)$$

また, 複素弾性率は以下の式に表される

$$k^* = G_1 + iG_2 \quad \cdots (5)$$

・2-2 標準要素の組み合わせモデル

古典的標準要素の組み合わせモデルは Fig.1 の様に表される。Fig.1 は7つの要素をもつ標準要素の組み合わせモデルで, 組み合わせ次第でいくつにも要素数は増やすことができる。また, その複素弾性率は一般に(6)式のように書かれる。(6)式の右辺の実部は動的弾性率 G_1 を表し, 虚部は損失弾性率 G_2 を表している。

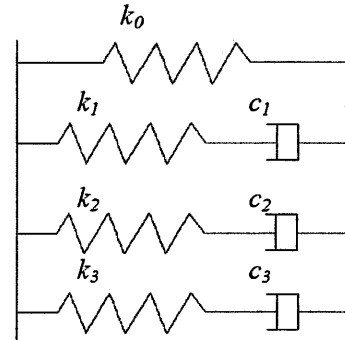


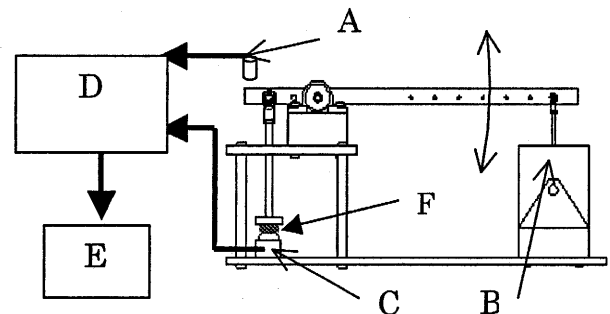
Fig.1 Combination model of standard element

$$k^* = k(1 + i\eta)$$

$$= \left(k_0 + \frac{\omega^2 k_1 c_1^2}{k_1^2 + \omega^2 c_1^2} + \frac{\omega^2 k_2 c_2^2}{k_2^2 + \omega^2 c_2^2} + \cdots \right) + i \left(\frac{\omega c_1 k_1^2}{k_1^2 + \omega^2 c_1^2} + \frac{\omega c_2 k_2^2}{k_2^2 + \omega^2 c_2^2} + \cdots \right) \quad \cdots (6)$$

3. 実験装置及び実験方法

実験装置の概念図を Fig.2 に示す。本実験は非共振法に基づいて実験を行う。試料に加える外力 (応力または変位) の振幅は常に同値とし, 共振を避けることに十分注意をする。試料をロードセル C の上部に取り付け, 加振器 B に加振する周波数を入力し, 試料に対する応力とひずみをロードセル C とレーザー変位計 A で 10Hz ごとに計測器 D で計測し, E の PC に記録する。また, 加振する波形は正弦波として行う。試料は, 固化した接着剤を用いている。正確な粘弾性体の動特性が得られるように, 試料をロードセルとピストン部の間から離れないように圧縮される形で設置する。



A: Laser Displacement Sensor B: Excitation Machine
C: Load cell D: Measuring instrument
E: Personal Computer F: Test piece

Fig.2 Experimental apparatus

(6)式の k_0 は周波数の依存性が無いため、静的なばね定数であることが予想されるので、本実験では静的なばね定数を予め実験により求め、その値を使うことにする。

以上の実験方法及び考えを元に、粘弾性体の周波数特性をどの程度まで標準要素の組み合わせモデルで表現出来るかを検討する。パラメータの数は考える要素の数により異なってくるが、前述の動的性質 G_1, G_2, η を元に、組み合わせモデルの要素数を適当に変化させ、得られた実験データに適した要素数を考えると共にパラメータ k_n, c_n を推定する。

4. 実験結果及び考察

Fig.3 及び Fig.4 は高さ 5.5mm 縦 8.5mm 横 20mm に固化した接着剤を実験条件の室温、圧縮力を一定として設置し、10Hz~100Hz の範囲まで加振実験を行った結果をプロットしたものである。それぞれのプロット点は、実験により得られた応力とひずみの時間波形のデータから算出した動的性質である。周波数が高くなるにつれて、全体的に値が大きくなっていく傾向にあることがわかった。動的弾性率に関しては、約 40Hz~50Hz を境に、ほぼ値に変動がないことがわかった。損失係数に関しては、周波数に比例した形で値が大きくなることがわかった。

Fig.3 及び Fig.4 に示した曲線は、Fig.1 のような古典的粘弾性モデルの複素弾性率のパラメータを先ほどの動的性質のプロット点を元に、最小二乗法により推定して計算した結果である。実験によりデータを得た 10Hz~100Hz の範囲では、7要素モデルが適度に表現できているのが見て取れる。7要素よりも多くの要素数でモデル化したものと比べてみると、推定するパラメータにこそ変化はあるものの、全体的にモデル化による曲線の変化はまったく見られなかった。要素数が3ないし5つにしてみたものと比べても、7つの要素数が一番効果的にこの弾性体を表現出来ているものと考えられる。

5. 結言

本研究で得られた成果を以下に述べる。

- (1) 100Hz 以下の周波数領域において、弾性要素と粘性要素との組み合わせによって、モデル化が可能である。よって、必要な領域の粘弾性体の周波数特性は、古典的な粘弾性体のモデルでもある程度の精度で対応が可能と見られる。
- (2) 今回用いた粘弾性体に限っては、古典的な粘弾性体のモデルを考える際に、要素の数は多くても7つ程度が最適である。

参考文献

- (1) David I.G.Jones, Handbook of Viscoelastic Vibration Damping, 丸善株式会社, 2003
- (2) 後藤, 平井, 花井, レオロジーとその応用, 共立出版株式会社, 1962
- (3) 日本ゴム協会編, ゴム試験法, 日本ゴム協会, 1998
- (4) 日本鉄道車輪工業会, 防振ゴム, 現代工学社, 1955

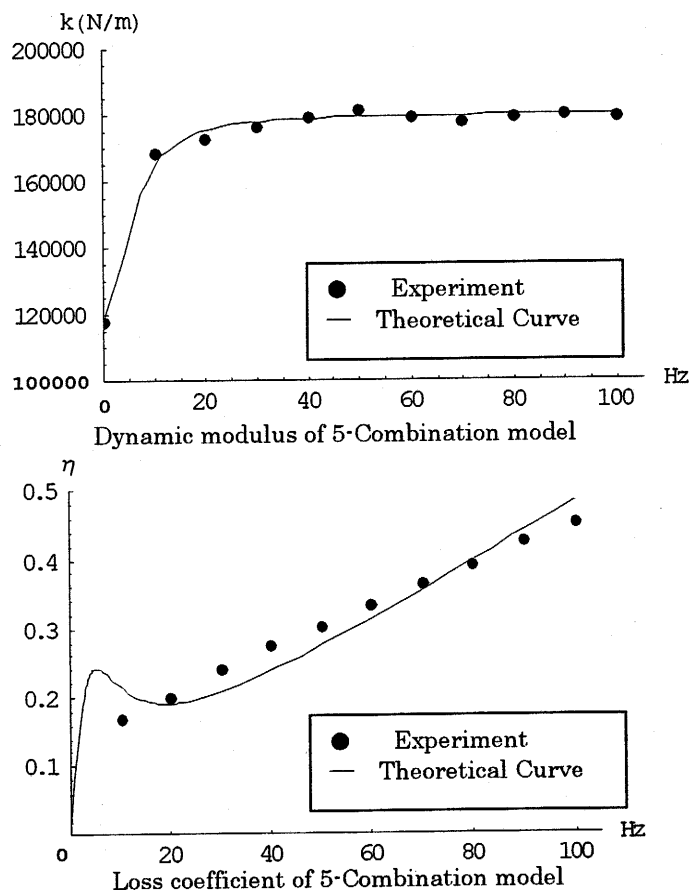


Fig. 3 5-Combination model

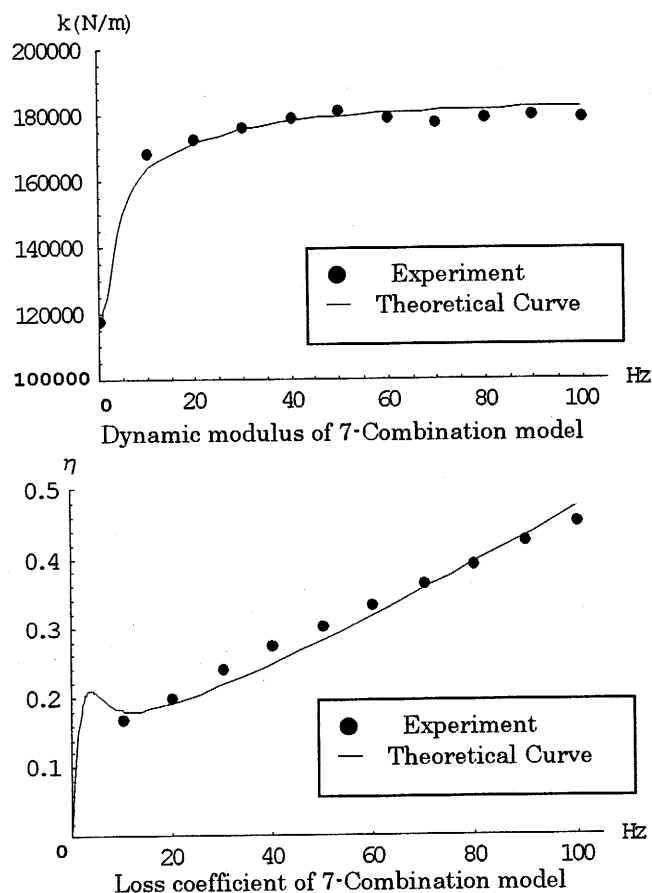


Fig. 4 7-Combination model