

伝達マトリックス法を用いた積層ゴムの力学特性評価法に関する研究

九州大学工学部 ○学生員 高山 智宏
九州大学工学部 正 員 松田 泰治
日本大学理工学部 正 員 塩尻 弘雄

1. まえがき

近年のゴム鋼板の接着技術の向上により免震用の積層ゴムの開発・実用化がなされている。積層ゴムの力学特性は主として載荷実験により確かめられているが、設計にあたっては精度が高く簡易な評価式が望まれる。ここでは伝達マトリックス法を用い、幾何学的非線形と材料非線形および粘性減衰を考慮して評価できる手法の開発を行い、本手法を用いて積層ゴム全体の荷重と変形の関係を算定し、既往の実験結果との比較により手法の妥当性を検証した。

2. 解析手法

本解析法は鋼板に挟まれたゴム一層の変形を仮定して、伝達マトリックス法により多層の積層ゴムの解析を行うものである。ゴムの変形はせん断と曲げおよび軸方向変形を考慮し、内部鋼板は剛と仮定した。ゴムの粘性減衰と材料物性の非線形性はせん断方向についてのみ考慮し、その他の材料物性は線形とした。

図-1に示すような鋼板に挟まれたゴムの下端面中央のA点と上端面中央のB点における力の釣合を考慮し $M_B = M_A - \Delta y \cdot Q - \Delta x \cdot P$ とおける。A点及びB点における平均回転角 ϕ_m 方向のせん断力 T_m とせん断変位 $\Delta \gamma$ より

$$T_m = P \cdot \sin \phi_m + Q \cdot \cos \phi_m$$

$$T_m = \frac{G(\gamma, f) \cdot A_r}{t_r} \cdot \Delta \gamma + \frac{\mu(f) \cdot A_r}{t_r} \cdot \dot{\Delta \gamma}$$

γ : ゴム一層あたりの平均せん断ひずみ

f : 加振振動数

t_r : ゴム一層厚

また、 ϕ_m 直角方向の軸力 N_m と軸方向相対変位 Δs より

$$N_m = Q \cdot \sin \phi_m - P \cdot \cos \phi_m$$

$$N_m = \frac{E_c \cdot A_r}{t_r} \cdot \Delta s$$

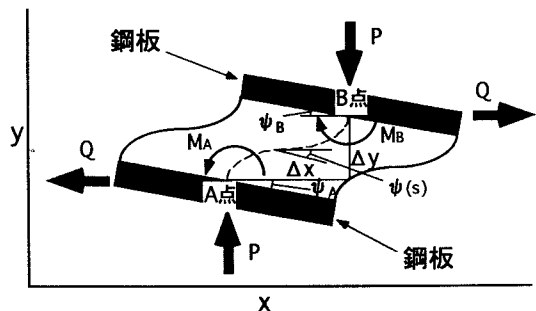
ゴム一層内の任意の点 s におけるゴムの回転角を ϕ とすると軸方向ひずみは以下ようになる。

$$\varepsilon_n = \frac{\Delta s}{t_r} - \frac{d\phi}{ds} \cdot n$$

n : ゴム層数

こうした関係式と積層ゴムの形状と荷重の関係から

中央点でのモーメント M_m が0になるように収束計算を行って積層ゴムの変形時の挙動を求める。なお、以下では積層ゴムのひずみとは変位をゴム総厚で除したものをいう。



P : y 方向軸力 (圧縮正)

Q : x 方向せん断力 (右正)

M_A, M_B : A点およびB点におけるモーメント

ψ_A, ψ_B : A点およびB点における回転角

Δx : x 方向のゴム層内変位

Δy : y 方向のゴム層内変位

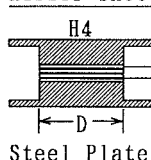
$\psi(s)$: 任意の点 s における回転角

図-1 ゴム一層における荷重と変形の関係

3. 解析結果

本解析手法の妥当性等を確認するため既往の実験結果との比較検討を行った。検討対象は図-2に示す高減衰積層ゴムの載荷試験結果²⁾である。積層ゴムの解析に使用した物性値は表-1のとおりである。せん断弾性係数 G は実験結果より0.01Hz加振時の履歴を多項式(5次式)近似して基準となる $G(\gamma)$ を定め、0.01Hz、0.5Hz時の等価剛性比より割り増し係数を決めて振動数により線形補間した。等価粘性減衰定数 h_h についても0.01Hzと0.5Hz時の値を振動数により線形補間した。0.01Hz時、0.5Hz時のせん断ひずみとせん断応力の関係をそれぞれ図-3、4に、他の振動数を含む解析結果を図-5に示す。図-4より、0.5Hzの場合においても解析結果が実験結果とほぼ一致していることがわかる。図-6に0.01Hz、0.5Hz時のせん断ひずみと鉛直ひずみの関係を示す。両振動数とも、実験結果と解析結果の定性的傾向は一致したが、定量

的に差異が生じている。

試験体	H 4	
直径 D(mm)	209	
ゴム厚 t _r (mm)	10.5	
ゴム層数 n	4	
鋼板厚 t _s (mm)	4.4	
1次形状係数 S ₁	4.98	
2次形状係数 S ₂	4.98	Steel Plate

S₁ = 拘束加圧面積 / 自由表面積 (ゴム一層あたり)
S₂ = 直径 / ゴムの全層厚

図-2 積層ゴムの形状

表-1 解析に用いた物性値

ゴムの縦弾性係数 E ₀	78.77 kgf/cm ²
ゴムのせん断弾性係数 G(γ, 0.01Hz)	4.41 - 4.93γ + 6.95γ ² - 4.47γ ³ + 1.11γ ⁴ kgf/cm ²
G(γ, f) = G(γ, 0.01Hz) · (0.99 + 0.67f)	
体積弾性係数 E _∞	15000 kgf/cm ²
ゴム硬度による補正係数 κ	0.50
等価粘性減衰定数 h _H	0.01Hz 0.140 0.5 Hz 0.166
圧縮に対する見かけの縦弾性係数 E _{apc} $E_{apc} = E_0(1 + 2 \cdot \kappa \cdot S_1^2)$ 圧縮性を考慮した圧縮に対する縦弾性係数 E _c $E_c = \frac{E_{apc} \cdot E_\infty}{E_{apc} + E_\infty}$ 曲げに対する見かけの縦弾性係数 E _{apb} $E_{apb} = E_0(1 + 0.667 \cdot \kappa \cdot S_2^2)$ 圧縮性を考慮した曲げに対する縦弾性係数 E _b $E_b = \frac{E_{apb} \cdot E_\infty}{E_{apb} + E_\infty}$	

4. まとめ

せん断方向の材料非線形と粘性減衰を考慮することで、動的载荷時の高減衰積層ゴムのせん断ひずみ-せん断応力の履歴の評価が可能であることが確認された。せん断弾性係数および粘性減衰定数の決定にあたっては、载荷試験結果から求めたが、より客観的な定式化のために材料試験法の確立が望まれる。今後、鉛直方向のゴムの粘性減衰や縦弾性係数の非線形性等を考慮し、解析手法の精度向上をはかる。
(参考文献)

- 1) 松田・塩尻：伝達マトリックス法による積層ゴムの簡易解析，日本建築学会構造工学論文集Vol. 39B，1993年3月
- 2) 松田 他：厚肉積層ゴムの力学特性に関する実験的研究，第9回 日本地震工学シンポジウム論文集 第2分冊，1994年12月

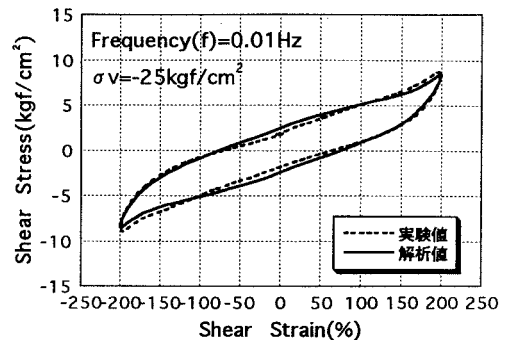


図-3 せん断ひずみ-せん断応力(0.01Hz)

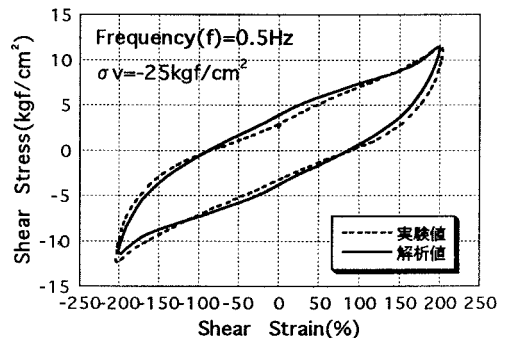


図-4 せん断ひずみ-せん断応力(0.5Hz)

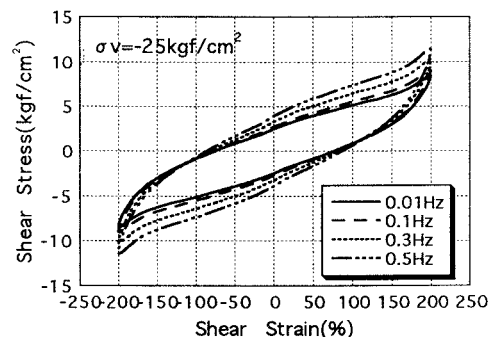


図-5 せん断ひずみ-せん断応力 (解析値)

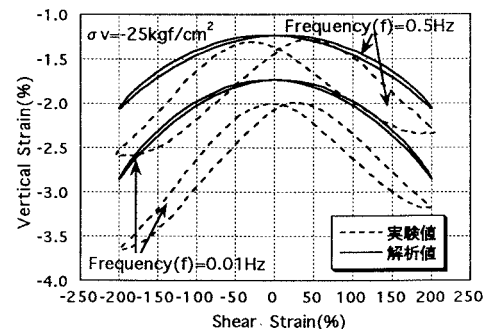


図-6 せん断ひずみ-鉛直ひずみ