

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基礎的研究

九州大学工学部 正員 松田 泰治 ○学生員 高山 智宏
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積層ゴムの開発・実用化がなされるようになり、積層ゴムは免震構造等に広く用いられている。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。ここでは免震構造物に使用されている積層ゴムの力学特性の中で重要な水平ばね定数の幾何学的非線形とせん断変形にともなうゴムの沈下を考慮し、さらにゴムの粘性減衰までを考慮して評価できる手法の開発を行った。ここでは本手法を用いて積層ゴム全体の荷重-変形の関係を算定し、既往の実験結果²⁾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を用いて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及び軸方向変形を考慮し、内部鋼板は剛、材料物性は全て線形と仮定した。

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点に於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

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

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

また、 ϕ_m 直角方向の軸力 N_m と軸方向相対変位 Δs より

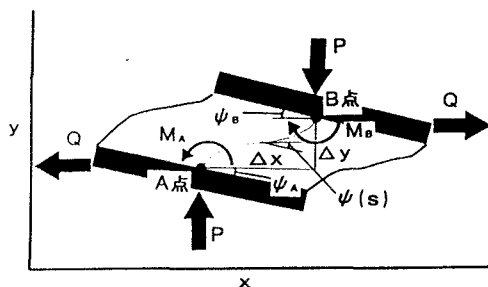
$$N_m = Q \cdot \sin \phi_m - P \cdot \cos \phi_m$$

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

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になる。

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

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。



P : y 方向軸力 (圧縮正)

Q : x 方向せん断力 (右正)

M_A, M_B : A点及びB点に於けるモーメント

ψ_A, ψ_B : A点及びB点に於ける回転角

Δx : x 方向のゴム層内変位

Δy : y 方向のゴム層内変位

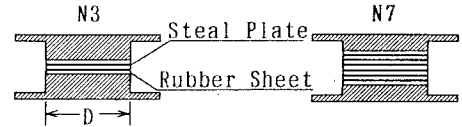
$\psi(s)$: 任意の点 s に於ける回転角

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に示す厚肉積層ゴム(天然ゴム)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(物性値は曲げ変形の出にくいN3の試験データをもとに定めた)。試験体N7のせん断ひずみ-せん断応力の実験結果と解析結果をそれぞれ図-3, 4に、試験体N3とN7のせん断ひずみ-鉛直ひずみの実験値と解析値の比較を図-5, 6に示す。図-3, 4より、せん断ひずみ-せん断応力の解析結果は鉛直応力が 0 kgf/cm^2 では実験結果とほぼ合致したが、鉛直応力が大きくなるにつれせん断剛性を大きく評価している。また、せん断ひずみ-鉛直ひずみは実験結果によれば、せん断ひずみの増加につれて鉛直ひずみが急激に増加している。解析結果はN3においては実験値と

定量的にもほぼ一致しているが、N7ではひずみが大きくなるにつれ解析値が実験値よりも大きく下回っている。



試験体	N 3	N 7
直径 D(mm)	209	209
ゴム厚 t _r (mm)	10.5	10.5
ゴム層数 n	3	7
鋼板厚 t _s (mm)	4.4	4.4
1次形状係数 S ₁	4.98	4.98
2次形状係数 S ₂	6.63	2.84

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 _o	22.4 kgf/cm ²
ゴムのせん断弾性係数G	4.548
体積弾性係数E _∞	10890 kgf/cm ²
ゴムの硬さによる補正係数κ	0.85
等価粘性減衰定数h _H	1.187
圧縮に対する見かけの縦弾性係数E _{a,pc} $E_{a,pc} = E_o(1 + 2 \cdot \kappa \cdot S_1^2)$	
圧縮性を考慮した圧縮に対する縦弾性係数E _c $E_c = \frac{E_{a,pc} \cdot E_{\infty}}{E_{a,pc} + E_{\infty}}$	
曲げに対する見かけの縦弾性係数E _{a,pb} $E_{a,pb} = E_o(1 + 0.667 \cdot \kappa \cdot S_2^2)$	
圧縮性を考慮した曲げに対する縦弾性係数E _b $E_b = \frac{E_{a,pb} \cdot E_{\infty}}{E_{a,pb} + E_{\infty}}$	

4. 考察及びまとめ

試験体N7のせん断ひずみ－せん断応力、及びせん断ひずみ－鉛直ひずみの実験結果と解析結果で差異が生じた原因は、S₂が小さく曲げ変形が卓越し、縦弾性係数の材料非線形性の影響がでたためと考えられる。今後こうした材料物性の非線形性や高減衰積層ゴムの解析にも対応していくため解析手法の精度向上をはかる。

〈参考文献〉

- 1) 松田泰治・塩尻弘雄：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) 松田泰治・矢花修一・大鳥靖樹・石田勝彦：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

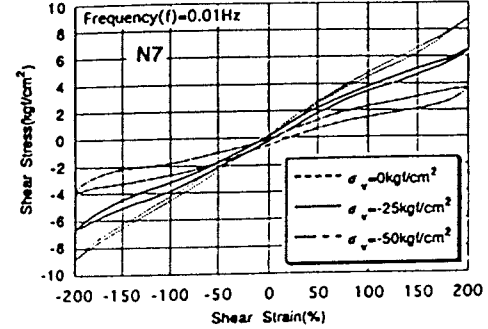


図-3 せん断ひずみ－せん断応力 (N7, 実験値)

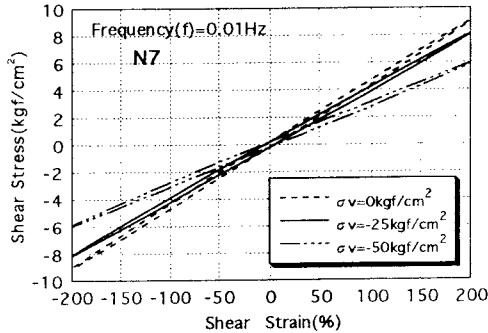


図-4 せん断ひずみ－せん断応力 (N7, 解析値)

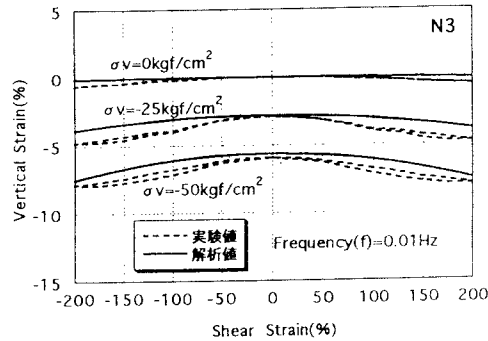


図-5 せん断ひずみ－鉛直ひずみ (N3)

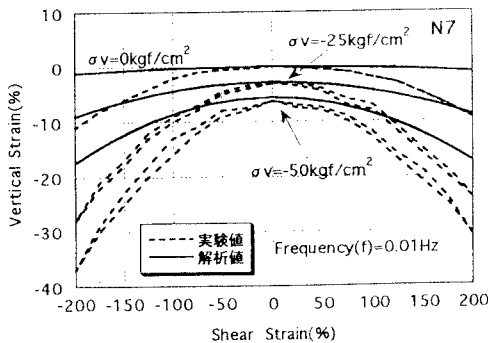


図-6 せん断ひずみ－鉛直ひずみ (N7)