

NR 系積層ゴム支承材せん断弾性係数に関する計算機実験

株式会社ブリヂストン 正会員 ○中村昌弘
株式会社ブリヂストン 正会員 潤田久也

1. 概要

兵庫県南部地震以降、積層ゴム支承材は橋梁の耐震強化に大きな役割を占め、その効果が積層ゴムのせん断性能によることは周知の事柄である。しかし、積層ゴムのせん断剛性が材料・形状・ゴム層数・鉛直荷重等要因の影響を受けることを知られてはいたが、定量化が難しくせん断性能に考慮されてはいなかった。本報では、これらの要因を理想化して扱える大変形有限要素法（FEM）を用い計算し、鉛直面圧と形状係数的にを絞りせん断剛性即ち、せん断弾性係数 G に対してどのように影響するか解析した。

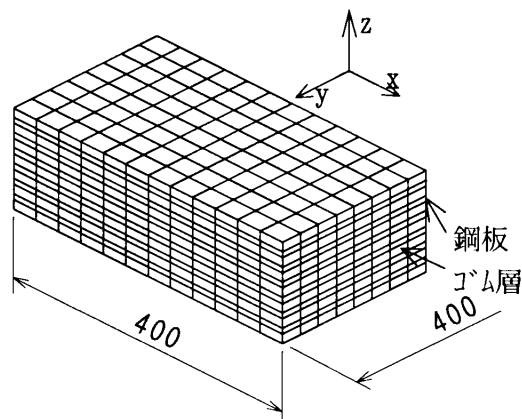


図-1 要素分割モデル図

2. 解析条件

(1) 解析モデル

ゴム層数 n 、ゴム層厚 t をパラメータとして、対象積層ゴム支承材サイズを $400\text{mm} \times 400\text{mm}$ とした。要素分割は、図-1 のようにし、8 節点アイソパラメトリック立体要素(分割数=ゴム 600/層、鋼板 200/層)とした。

ゴム材料は、Mooney 歪みエネルギー関数で表し、

$W = C_{10}/(I_1 - 3) + C_{01}/(I_2 - 3)$ 、 I_1 、 I_2 は歪み不変量、

$C_{10} = 0.392 \text{ MPa}$ 、 $C_{01} = 0.098 \text{ MPa}$ とした。

鋼板は、弾性率 $= 205939 \text{ MPa}$ ポアソン比 $= 0.3$ を用い解析を行った。使用プログラムは MARCK2000 である。

表-1 計算に用いた形状係数 S_2 の値

$n \backslash S_1$	5	6.25	8	8.33	10	12.5
3	6.67	8.33	10.67	11.11	13.33	16.67
4	5.00	6.25	8.00	8.33	10.00	12.50
5	4.00	5.00	6.40	6.67	8.00	10.00
6	3.33	4.17	5.33	5.56	6.67	8.33
7	2.86	3.57	4.57	4.76	5.71	7.14
8	2.50	3.13	4.00	4.17	5.00	6.25
9	2.22	2.78	3.56	3.70	4.44	5.56
10	2.00	2.50	3.20	3.33	4.00	5.00

(2) 形状係数 S_1, S_2 の定義

$S_1 = \text{支圧面積 (鋼板面積)} \div \text{自由側面積}$ 、

$S_2 = \text{変形方向辺長} \div \text{ゴム層総厚さ}$

(3) 解析パラメータ

解析パラメータは、形状係数 S_1 、 S_2 、ゴム層数 n 、鉛直面圧 p とした。一覧を表-1 に示す。解析は表中の網掛け部について行った。

3. 実機との比較

鉛直面圧 3.0 MPa 下の解析モデルと同サイズの実機積層ゴム支承材 ($400 \times 400 \times 16t \times 7 \text{ 層}$ $S_1 = 6.25$ $S_2 = 3.57$) と解析結果との比較を図-2 に示す。ゴムは解析条件と同じ NR 系 $G_{10} = 0.98 \text{ MPa}$ を採用した。鉛直面圧 3.0 MPa 下の実機試験結果と FEM 解析結果を比較すると良い一致を示している。

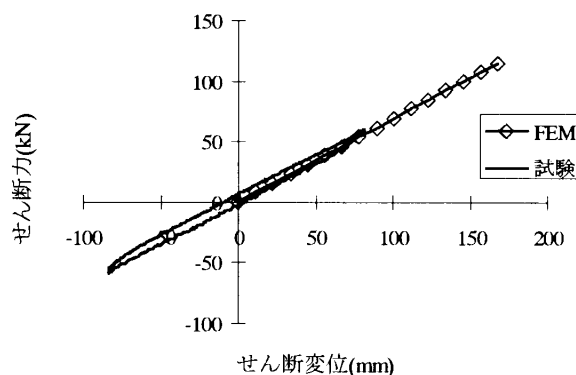


図-2 実機計算結果との比較 (3.0 MPa)

キーワード 積層ゴム、支承材、せん断弾性係数、形状係数、鉛直面圧、有限要素法

連絡先 〒244-8510 横浜市戸塚区柏尾町1番地 TEL:045-825-7589 FAX:045-825-7680

4. 結果・考察

- (1) せん断変位と荷重の関係より各歪みの割線剛性(歪み点の荷重と原点を結んだ傾き)をせん断弾性係数 G とし図-3に示す。図-3に示すように $p=0$ においては殆ど歪に依存していないが、面圧が増大するに従ってせん断歪が増加するとともに低下することから、せん断弾性係数が比較的線形な NR 系の歪依存性は、鉛直面圧の影響を受けるが大きいものではなく無視できるものである。
- (2) 歪による G の変化が概ね小さいため無視できるものとし、各面圧 p 下のせん断弾性係数 G を今回計算した歪み域内($\gamma=0.1\sim 1.5$)で平均化して、更に鉛直荷重の影響を見るために鉛直面圧 $p=0$ に対する比として無次元化した。形状係数との相関を表した例を図-4、5に示した。 $S_1=6.25$ でも $p=6.0$ MPa では $S_2=4$ の場合、約5%の低下となる。
- (3) 図-6に示すように $p=0$ において形状係数の積と鉛直面圧 $p=0$ におけるせん断弾性係数との関係は、値としては小さいが相関性が認められる。 $S_1 \cdot S_2$ が小さいほどせん断弾性係数が小さくなる。
- (4) 以上の結果を定量的に表現するために下記の定式化を行った。積層ゴムの座屈挙動を表現する Koh-Kelly の関係式¹⁾ ①、②式を基本に③式のように修正し、非線形最小2乗法により $\nu=1.725$ が得られた。

$$G = G_{p=0} \left\{ 1 - \left(\frac{\sigma}{\sigma_{cr}} \right)^2 \right\} \quad (1)$$

$$\frac{\sigma}{\sigma_{cr}} = \frac{P}{G_{10} \cdot S_1 \cdot S_2} \quad (2)$$

$$G = G_{p=0} \left\{ 1 - \left(\frac{P}{G_{10}} \right)^\nu \left(\frac{1}{S_1 \cdot S_2} \right)^2 \right\} \quad (3)$$

図-4,5には関係式による推定値も示した。③式より得られたせん断弾性係数比を図-5、6に実線、破線、一点鎖線としてそれぞれ $p=3, 6, 9$ MPa に対応させた。ほぼすべての形状係数において FEM 結果と良く一致している。

5. まとめ

NR系積層ゴム支承材せん断弾性係数 G は、形状係数(S_1 、 S_2)、鉛直面圧の影響を受ける。特に形状係数が小さく、且つ鉛直面圧が大きいときその傾向が顕著となる。従って、積層ゴム支承材のせん断性能は形状係数(S_1 、 S_2)鉛直荷重(鉛直面圧)も考慮して評価されねばならない。

参考文献:

- 1) Koh, C. G., and Kelly, J.M.(1986). "Effects of axial load on elastomeric bearings" UCB/EERC-86/12, Earthquake Engrg. Res. Ctr., University of California, Berkeley, Calif

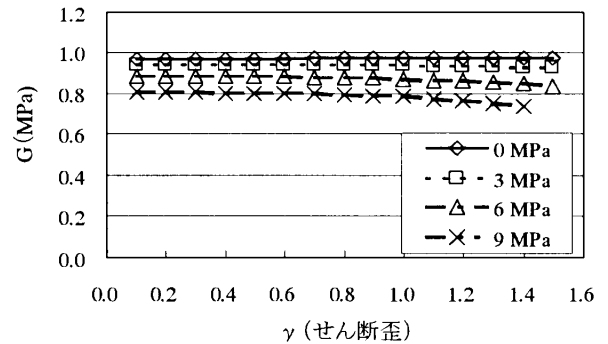


図-3 FEM計算による $G-\gamma$
($400 \times 400 \times 16 \times 10$ 層 $S_1=6.25, S_2=2.5$)

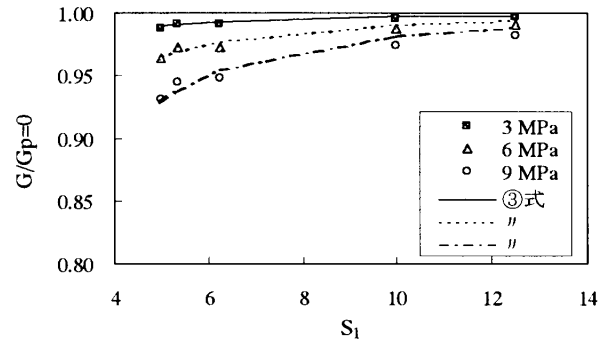


図-4 FEMと③式計算値比較
 $G/G_{p=0}-S_1$ ($S_2=5$)

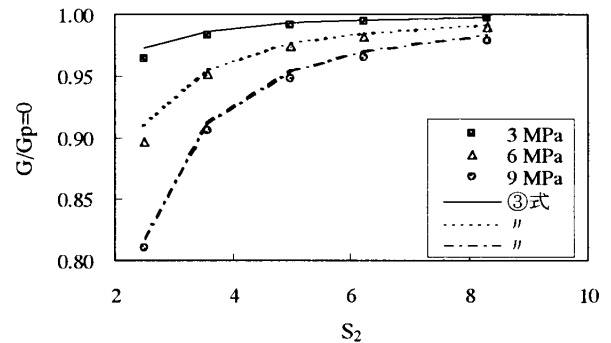


図-5 FEMと③式計算値比較
 $G/G_{p=0}-S_2$ ($S_1=6.25$)

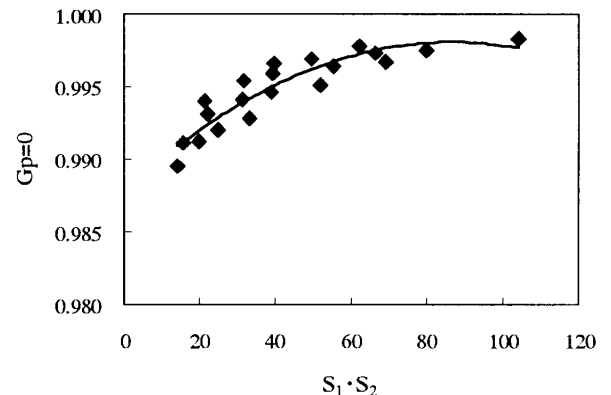


図-6 せん断弾性係数 $G_{p=0}$ と $S_1 \cdot S_2$