土木学会第54回年次学術講演会（平成11年9月）

I－B61　微小振幅域まで考慮した免震用積層ゴム支承の復元力特性モデルの構築及びその多軸載荷状態への拡張

東京大学大学院 学生会員　武貞　聡　　東京大学大学院 学生会員　吉田　純司
東京大学大学院 正会員　阿部　雅人　　東京大学大学院 フェロー　藤野　陽三

1．はじめに

1995 年の兵庫県南部地震以降，免震用積層ゴム支承を用いた免震橋が急速に普及してきている．免震橋の主流は橋軸方向のみへの 1 方向免震であったが，近年橋軸直角方向にも免震を施した2方向免震橋が増加している．現在まで，高減衰積層ゴム支承の復元力モデルは種々提案されてきている．しかし，これらは多軸載荷状態への拡張が不可能であることに加え，交通振動の解析に重要となる微小振動時特性が再現できない．そこで本研究では，微小振動を含めて再現可能な，積層ゴム支承の復元力モデルの構築を行い，そのモデルを多軸載荷状態へ拡張する．さらに実験によってその有効性，精度を確認する．

2．積層ゴムの1方向モデルの構築

ベースとなるモデルには，従来用いられていた Bi-linear モデル，Ramberg-Ozgood モデルではなく，金属の弾塑性復元力モデルであり，3次元構成則への拡張ができる Ozdemir のモデル[1]を選んだ．Ozdemir のモデルで表現できない，積層ゴムの特性であるハードニング，剛性低下，粘性，振動数非依存性を表現できるようにモデルの拡張を行った．ハードニング，剛性低下は Ozdemir のモデルで定数であったパラメータを変位依存型に修正し，粘性及び振動数非依存性は図1のように Ozdemir のモデルに並列に Maxwell モデルを付与することにより誘導されるモデルを示す．

$$\left.\begin{aligned} F &= F_1 + F_2 \\ \dot{F}_1 &= \frac{F_y}{Y}\left\{\dot{U} - \left|\dot{U}\right|\left(\frac{F-S}{F_y}\right)^n\right\} \\ F_2 &= \eta\cdot\dot{U}_d = kU_s \end{aligned}\right\} \quad (1)$$

$$U = U_s + U_d \quad (2)$$

$$F_y = F_{y0}\left(1+\gamma\cdot\left|\frac{X}{Y}\right|^p\right) \quad (3)$$

$$\frac{S}{F_y} = \left(\alpha_0 - \beta\cdot\left|\frac{X_{max}}{Y}\right|^q\right)\cdot\left(\frac{U}{Y} - \frac{F}{F_y}\right) \quad (4)$$

F ：復元力
F_1 ：修正 Ozdemir ﾓﾃﾞﾙによる復元力
F_2 ：Maxwell ﾓﾃﾞﾙによる復元力
F_y：降伏荷重
Y ：降伏変位
U ：変位
$\dot{U}$ ：速度
S ：後背力（バックストレス）
U_d ：Maxwell ﾓﾃﾞﾙのダッシュポット変位
U_s ：Maxwell ﾓﾃﾞﾙのばね変位
F_{y0} ：初期降伏荷重
X_{max} ：最大変位
$n,p,q,\alpha_0,\beta,\gamma,\eta,k$ ：パラメータ

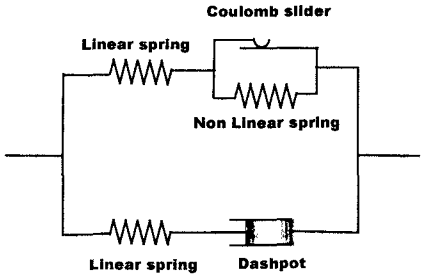

図1．積層ゴムの復元力モデル

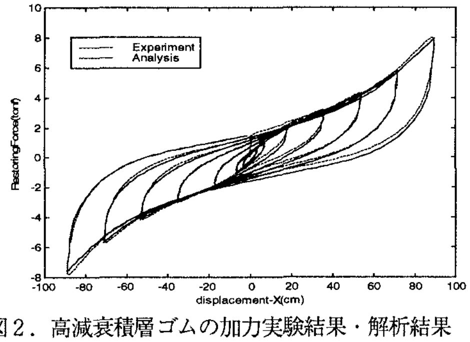

図2．高減衰積層ゴムの加力実験結果・解析結果

キーワード：免震，積層ゴム支承，Ozdemir，微小振動，復元力特性，多軸載荷状態
連絡先：〒113－8656　東京都文京区本郷７－３－１ 東京大学 TEL：03-3812-2111ex6099，Fax：03-5689-7292

このモデルは高減衰積層ゴムの場合だけでなく，天然積層ゴム，鉛プラグ入り積層ゴムの復元力も表現できる．

１０個ある本モデルのパラメータは，１方向漸増正弦波載荷実験結果により復元力の残差二乗和が最小になるように同定する．同定されたパラメータにより，復元力履歴を再現したものを図２に示した．

３．１方向モデルの２方向への拡張

Ozdemir のモデルは３次元構成則[2]への拡張が容易に可能である．この構成則に１方向モデルと同様に修正を行ない，２方向モデルを導出した．２方向モデルのパラメータは積層ゴムの１方向モデルのパラメータと同一である．

$$F_x = F_{x1} + F_{x2} \quad (5)$$

$$F_y = F_{y1} + F_{y2} \quad (6)$$

$$\frac{\dot{F}_{x1}}{F_0} = \frac{\dot{\delta}_x}{\delta_0} - \frac{\sqrt{\dot{\delta}_x^{\,2}+\dot{\delta}_y^{\,2}}}{\delta_0}\left|\frac{\sqrt{(F_{x1}-b_x)^2+(F_{y1}-b_y)^2}}{F_0}\right|^{n-1}\frac{F_{x1}-b_x}{F_0} \quad (7)$$

$$\frac{\dot{F}_{y1}}{F_0} = \frac{\dot{\delta}_y}{\delta_0} - \frac{\sqrt{\dot{\delta}_x^{\,2}+\dot{\delta}_y^{\,2}}}{\delta_0}\left|\frac{\sqrt{(F_{x1}-b_x)^2+(F_{y1}-b_y)^2}}{F_0}\right|^{n-1}\frac{F_{y1}-b_y}{F_0} \quad (8)$$

$$F_{x2} = \eta\cdot\dot{\delta}_{xd} = k\cdot\delta_{xs} \quad (9)$$

$$F_{y2} = \eta\cdot\dot{\delta}_{yd} = k\cdot\delta_{ys} \quad (10)$$

$$\frac{b_x}{F_0} = \left(\frac{\delta_x}{\delta_0} - \frac{F_{x1}}{F_0}\right)\left(\alpha - \beta\left|\frac{\delta_{max}}{\delta_0}\right|^q\right) \quad (11)$$

$$\frac{b_y}{F_0} = \left(\frac{\delta_y}{\delta_0} - \frac{F_{y1}}{F_0}\right)\left(\alpha - \beta\left|\frac{\delta_{max}}{\delta_0}\right|^q\right) \quad (12)$$

$$F_0(\delta) = F_0(0)\left(1 + \left|\frac{\delta}{\delta_0}\right|^p\right) \quad (13)$$

$$\delta = \sqrt{\delta_x^{\,2} + \delta_y^{\,2}} \quad (14)$$

F_0：降伏荷重

δ_0：降伏変位

δ_x, δ_y：x 方向変位，y 方向変位

添字１は，修正 Ozdemir モデルによる復元力，２は Maxwell モデルによる復元力をあらわす．

大林組技術研究所で実施された高減衰積層ゴムの水平２方向８の字加力実験結果と１方向加力実験により同定されたパラメータによる解析結果を図３，図４に示す．

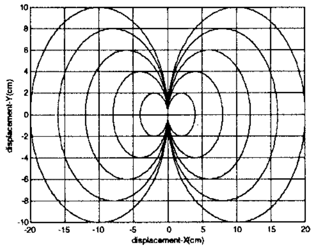

図３．変位のヒストリー図

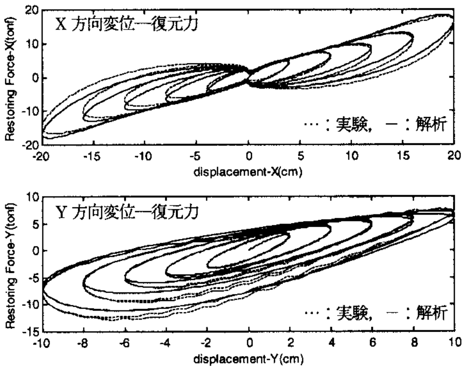

図４．２方向加力実験結果・解析結果

４．まとめ

本研究により，免震用積層ゴム支承の復元力モデルが比較的単純なモデルで微小振幅までカバーして正確に表現することが出来た．また，復元力の１方向モデルを理論的に２方向モデルに拡張し，そのモデルが積層ゴム支承の２方向特性をよく表現できることがわかった．今後は，積層ゴム支承の特徴である繰り返し加力による剛性低下等を表現するようにモデルを修正し，より正確なモデルにしていきたいと考える．

【謝辞】載荷実験に利用した積層ゴム支承の設計，製作をして頂いたブリジストン（株）の須藤氏，横浜ゴム（株）の遠藤氏，オイレス工業（株）の横河氏，川口金属工業（株）の鵜野氏，また２方向載荷実験データを提供して頂いた大林組（株）の杉山氏に謝意を表する．

【参考文献】１．E.J.Graesser and F.A.Cozarelli：A Multidimensional Hysteritic Model for Plastically Deforming Metals in Energy Absorbing Devices, Technical Report NCEER-91-0006, 1991.
２．Ozdemir Haluk：Nonlinear Transient Dynamic Analysis of Yielding Structures, 1987.