水平2方向載荷された免震ゴム支承の復元力特性および解析モデルの一検討

京都大学工学研究科	正会員	○党	紀

- 京都大学工学研究科 正会員 五十嵐 晃
 - 株式会社奥村組 正会員 伊東 俊彦
 - 京都大学大学院 学生員 村越 雄太

1. はじめに

橋軸方向および橋軸直角方向の2方向の免震効果を同時に期待し、サイドブロック等でゴム支承の変形方向 を1方向に拘束しない免震橋の事例は、現在広く見られるようになっているが、そうした免震橋の耐震設計に おいて、ゴム支承の復元力特性のモデル化には、1方向の変位-復元力関係をバイリニアモデルで定め、直交 する2つの方向個々に適用する方法が用いられている。2方向の相関を考慮した変位-復元力関係のモデルを 用いることがより望ましいと考えられるが、そうした2方向復元力モデルのレベル2地震動に対する耐震設計 照査への適用性を実験的に検証した研究は乏しいのが現状である。そこで本研究では、レベル2地震動入力相 当の条件を想定したゴム支承試験体の2方向載荷実験および2方向ハイブリッド実験を実施するとともに、既 存の2方向復元力モデルによる時刻歴応答解析との比較を行い、ゴム支承のレベル2地震動入力時相当の大ひ ずみ領域における2方向復元力モデルの適用性を検討した。

2. 検討対象2方向復元力モデル

2方向の変位-復元力関係の相関を考慮した代表的な復元力モデルとして, Multiple Shear Spring (MSS) モデルと Park らのモデル¹⁾の2種類に着目した.

(1) MSS モデル:水平面内に複数の非線形せん断ばねを等角度間隔 で配置したモデルである(図-1).本研究ではばねの数を8本とし, 各ばねにはバイリニア型の非線形特性を持たせた.

(2) Park らのモデル: Bouc-Wen モデルを2方向に拡張したもので、
 履歴特性を表現する微分方程式で定められる変数 Z_x, Z_yを用いて2
 方向復元力を算出する.

$$\begin{cases} F_x \\ F_y \end{cases} = \alpha K_1 \begin{cases} \delta_x \\ \delta_y \end{cases} + (1 - \alpha) K_1 \begin{cases} Z_x \\ Z_y \end{cases}$$
[1]
$$A\dot{\delta}_x - \beta |\dot{\delta}_x Z_x| Z_x - \gamma \dot{\delta}_x Z_x^2 - \beta |\dot{\delta}_x Z_y| Z_x - \gamma \dot{\delta}_y Z_x Z_y$$
[2]

$$Z_{x} = A\delta_{x} - \beta |\delta_{x}Z_{x}| Z_{x} - \gamma \delta_{x}Z_{x}^{2} - \beta |\delta_{y}Z_{y}| Z_{x} - \gamma \delta_{y}Z_{x}Z_{y}$$

$$Z_{y} = A\delta_{y} - \beta |\delta_{y}Z_{y}| Z_{y} - \gamma \delta_{y}Z_{y}^{2} - \beta |\delta_{x}Z_{x}| Z_{y} - \gamma \delta_{x}Z_{x}Z_{y}$$

ここに, F_x , F_y : x, y方向の復元力, δ_x , δ_y : x, y方向の変位, K_1 : 初期剛性, α : 2 次剛性比, A, β , γ : 履歴パラメータである.

実験の概要

(1) ゴム支承試験体:G10 超高減衰ゴム支承(HDR-S)2体を用いた.
 図・2 に試験体の平面図を示す. 平面寸法は 160×160mm, ゴム総厚は 40mm である.

(2) 実験装置:図-3 に示す,3次元6自由度試験装置を用い,一定 面圧 6MPa の条件下で水平2方向に変位制御で載荷を行った.

(3) 2方向載荷試験:半径がせん断ひずみ 225%に対応する変位の

円形軌跡での載荷、中心から頂点までがせん断ひずみ175%に対応する変位の正方形軌跡での載荷の2種類の

[3]

キーワード 免震,高減衰ゴム支承,ハイブリッド実験,水平2方向,地震応答

連絡先 〒615-8540 京都市西京区京都大学桂 京都大学 社会基盤工学 構造ダイナミックス TEL075-383-3246

 $\boxed{249 - 11}$

図-2 試験体の平面図

-395

水平2方向載荷実験を行った.

(4) 水平2方向ハイブリッド実験:免震橋のゴム支承が支持する上部構造を質量 392tの1質点で表現し橋脚の変形を無視した2次元1質点系を対象とし、兵庫県南部地震 JR 鷹取駅記録、神戸 JMA 記録の水平2成分を入力として2方向ハイブリッド実験を実施した.ゴム支承の相似率は5とした.

4. 実験結果および復元力モデルとの比較

(1) 2方向載荷試験:X軸,Y軸の各々における復元カー 変位履歴曲線として結果を表示したものを,図・4(円形軌 跡載荷),図・5(正方形軌跡載荷)に示す.特に円形軌跡 のケースでは,実験と復元カモデルの相違が著しく,バ イリニアモデル,MSSモデル,Parkらのモデルの間の 相違よりもはるかに大きい.これは,円形軌跡載荷での せん断ひずみの大きさ 225%が正方形軌跡載荷での大き さ最大175%よりも大きいことも一因となっている. (2)水平2方向ハイブリッド実験:X軸,Y軸の各々に おける復元カー変位履歴曲線として結果を表示したもの を,図・6(JRT記録),図・7(JMA記録)に示す.各解 析結果は変形の小さい領域では復元力を過大に評価して いるのに対し,逆に変形量が大きい領域では過小評価と なっている.大せん断ひずみ領域における乖離は,概ね

175%を超える大ひずみ領域で顕著となるゴム支承のハ

ードニングを伴う挙動の影響が原因として考えられる. 一方,最大応答変位に関しては,実験結果と比べた誤差範 囲は 10%~30%程度であり,静的載荷実験結果と復元力 モデルからの復元力の相違から推測されるほど予測とし ての有用性が失われているわけではない.2方向の相関を 考慮しない1方向バイリニアモデルと比べ,相関を考慮し た復元カモデルは実験結果に見られる変位-復元力関係 の局所的な特徴をより妥当に表現している.ただし,復元 カモデルによる差は大きいものではない.鷹取記録を入力 に用いた場合はJMA記録の場合よりも最大応答変位の誤 差が小さいが,復元カモデルにより計算される2方向総履 歴吸収エネルギーの実験との差も小さいことが明らかと なっており,評価にあたって着目すべき点と考えられる.

ゴム支承の復元力履歴モデルにおいて2方向復元力特 性をより高い精度で表現するとともに,有用性の高い応答 評価を得るためには,特に2方向ひずみに依存したハード 反カ フレーム 載荷 ブロッタ 反力フレーム 反力床





図-7 JMA 記録波入力での復元力-変位履歴曲線

ニングの発生領域での挙動に対応したモデルとする必要があると考えられる.

参考文献

1) Y.J.Park et al. (1986) Random vibration of hysteretic systems under bidirectional ground motions, EESD, 14, 543-557