

免振支承を有する構造物における地震入力エネルギーの分担率

京都大学工学部 正員 家村浩和
大成建設(株) 正員○塚原悌信

1. まえがき

近年になって、注目を集めている免震構造物における地震入力エネルギーとその分担率を、弾塑性時刻歴応答解析によりシミュレーションし、耐震安全性に関する考察を行った。さらに、具体的な免震支承を対象とし、エネルギー分担率の観点から各免震支承の効果を検討した。

2. 構造物のモデル化¹⁾

本研究では、鉄筋コンクリート高架橋の桁部・支承部・橋脚部・基礎部をFig.1,2のようにモデル化した。数値モデルの決定にあたっては次の事項に留意した。

- (1) 質量は、鉄筋コンクリートの単位体積重量を $2.5(t/m^3)$ として算出・換算する。
- (2) 一次剛性は簡単に単純ばりと考えることにより近似的に算出・換算する。
- (4) 降伏変位・弾塑性傾斜率は適当な値を定めて与えるものとする。

3. 数値計算の結果

免震支承の中から鉛プラグ入り積層ゴム支承と高減衰積層ゴム支承を考え、実際に線形加速度法を用いて数値計算を行った結果を示す。

なお、入力地震波には、八戸NS記録を用いた。

Fig.1のモデルにおいて、質量は第1層より0.36, 0.21, 0.10, 0.74($t \cdot sec^2/cm$)、剛性は500, 230, 230, 300(t/cm)、粘性減衰定数0.20, 0.05, 0.05, 0.02とし、降伏変位・弾塑性傾斜率はすべての層で1.0(cm)、0.95とした。免震支承を用いる場合はFig.2のようにモデル化し第4層の降伏変位・弾塑性傾斜率・剛性を免震支承に合わせて変化した。

まず、免震支承を用いない場合の入力エネルギーの分担率をFig.3に示した。ただし、 E :総入力エネルギー、 E_i :各層への入力エネルギー、 W_{ci} :粘性吸収エネルギー、 W_{hi} :塑性歪エネルギーとする。

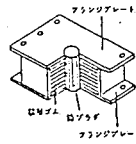


Fig.4 LRB

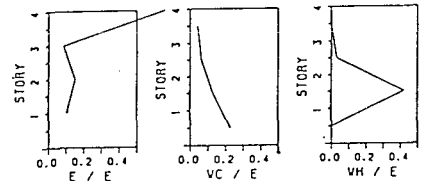


Fig.3 Share of Energy Ratio

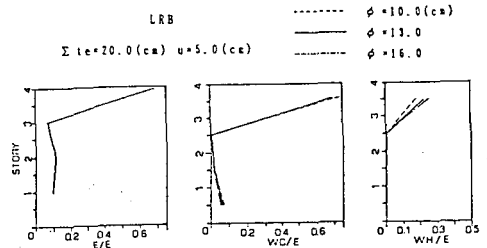


Fig.5 Share of Energy Ratio

次に、Fig.4で示される鉛プラグ入り積層ゴム支承を用いた場合を考える。ここでは、設計変位5.0(cm)、ゴム層厚20.0(cm)のものを考えたときの入力エネルギーの分担率をFig.5示した。さらに、Fig.6で示される高減衰積層ゴム支承を用いた場合を考える。ここでは、設計変位として5.0(cm)、ゴム層厚10.0, 15.0, 20.0(cm)、降伏変位として1.0(cm)のものを考えたときの入力エネルギーの分担率をFig.7に示した。

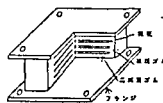


Fig.6 HDR

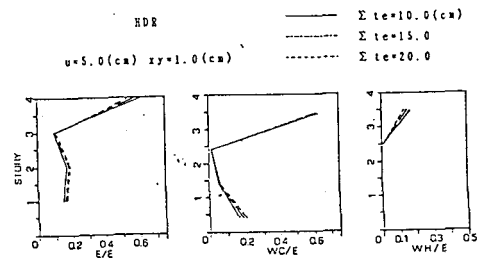


Fig.7 Share of Energy Ratio

4. 考察と結論

(1) 入力エネルギーの分担率からみた考察：入力エネルギーの分担率を見ると、免震支承を用いない場合は、第2層（橋脚部分）に塑性歪エネルギーが集中しており、粘性吸収エネルギーは第1層（基礎部分）が大きくなっている。免震支承を用いた場合、用いない場合と比べて見ると、入力エネルギーの分担率にはさほどの違いはみられないが、粘性吸収エネルギーと塑性歪エネルギーの分担率に大きな違いがみられ、特に塑性歪エネルギーにおいてその影響がうかがえる。免震支承を用いない場合の塑性歪エネルギー量は1460.5(t・cm)であり、ほとんどが第2層で受け持たれている。免震支承を用いた場合を考えると、塑性歪エネルギー量は、鉛プラグ入り積層ゴム支承では免震支承部分で822.2～1333.9(t・cm)、平均1093.7(t・cm)・26%前後の総入力エネルギーを受け持ち、基礎・橋脚部分ではほとんど0に近いことがわかり、高減衰積層ゴム支承では211.4～834.9(t・cm)、平均413.6(t・cm)・15%前後の総入力エネルギーを受け持ち、鉛プラグ入り積層ゴム支承と同じく基礎・橋脚部分ではほとんど0に近いことがわかる。

(2) 応答値からみた考察：Fig 8に示される絶対応答加速度を見てみると、基礎部分と上部構造の絶対応答加速度の最大値は、平均して基礎部分では10～40%程減少されており、上部構造では75～85%も減少されていることがわかる。

(3) 鉛プラグ入り積層ゴム支承と高減衰積層ゴム支承の比較：鉛プラグ入り積層ゴム支承と高減衰積層ゴム支承を用いた場合を比べると、入力エネルギーの分担率にはさほどの違いは見られない。しかし、総入力エネルギーは、高減衰積層ゴム支承では13%前後減少され、一方、鉛プラグ入り積層ゴム支承では、総入力エネルギーの減少はみられず、高減衰積層ゴム支承を用いた場合の方が総入力エネルギーを減少できるという結果になっている。また、総入力エネルギーに対して、免震支承の粘性吸収エネルギー・塑性歪エネルギーが受け持つと考えられるエネルギー量は、鉛プラグ入り積層ゴム支承では90%前後、高減衰積層ゴム支承では75%前後に達すると考えられ、鉛プラグ入り積層ゴム支承の方がエネルギーを分担する効果が大きいと考えられる。

さらに、鉛プラグ入り積層ゴム支承と高減衰積層ゴム支承を詳しく比べてみると、鉛プラグ入り積層ゴム支承では塑性歪エネルギーの粘性吸収エネルギーに対する比が65%前後であるのに対し、高減衰積層ゴム支承では77%前後となっている。

このことから、高減衰積層ゴム支承の方は主に粘性吸収エネルギーによって地震入力エネルギーを分担していると考えられる。これは、各免震支承の特性値によるものと考えられるが、主な原因として剛性の違いが考えられる。高減衰積層ゴム支承は、水平方向には柔らかいせん断剛性を持っておりFig 9に示されるようにその復元力特性の違いが現れており、高減衰積層ゴム支承の方は鉛プラグ入り積層ゴム支承に比べ履歴曲線が厚みのないものとなっている。

(1)～(3)を通じて、各免震支承が受け持つ塑性歪エネルギー量や、絶対応答加速度の最大値は入力地震波によって減少の割合が違うものの、量や大きさにはさほどの違いはみられず安定した効果が得られると期待される。

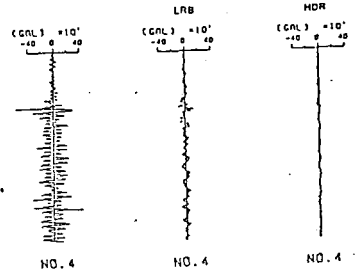


Fig. 8 Structural Response

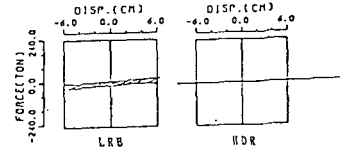


Fig. 9 Hysteresis Loop

参考文献：1)道路橋の免震設計法ガイドライン（案）（免震装置を有する道路橋の耐震設計研究報告書），阪神高速道路公団（財）国土開発技術センター，平成1.3