

東京電力(株) 正員 鈴木 英世 海津 信廣
(株) 奥村組 正員○高橋 一成 有井 孝典

1. まえがき

筆者らは、電力施設の耐震性能を高める方法のひとつとして、免震装置の導入を検討しており、これまでに免震装置の最適設計に関する基礎検討を行い、構造物の応答を最小にする免震装置の最適物性値を把握した。¹⁾ 今回は、解析で求めた最適物性値の実現を目指して、免震用ダンパーを開発するとともに、基本的特性を把握するため、振動台模型実験を行ったのでその結果について報告する。

2. 模型概要

振動台実験に使用した模型と計測器の配置を図-1に示す。試験体は重量約13.3tonfの鋼製ウエイトで構成されており、ほぼ剛体として挙動するようにH形鋼で固定されている。積層ゴムは試験体の四隅に配置し、ダンパーとして粘性ダンパーと鋼棒ダンパーを用い、中央に取りつけた。適用した相似律を表-1に示す。積層ゴムの面圧が実機と1:1になるようにしている。

実験に使用した積層ゴムは天然ゴムを主体としたものであり、諸元は表-2に示すとおりである。粘性ダンパーを図-2に示す。円板と受け皿及び粘性体で構成されたせん断型ダンパーである。鋼棒ダンパーを図-3に示す。鋼棒とボールジョイントからなり、変形に応じて鋼棒が抜け出すように工夫されている。両ダンパーとも予め単独試験を行い、解析上得られた最適物性値¹⁾を満足するように設定されている。粘性ダンパーの減衰定数 h は0.2程度、鋼棒ダンパーの降伏震度 q_y (降伏荷重/試験体重量)が0.04程度である。

3. 実験結果

正弦波3波を入力し自由振動させた結果を、図-4、図-5に示す。時刻歴波形を見ると、積層ゴムだけの場合に比べ、ダンパーによりエネルギーが吸収され早く振動が収まっている。また鋼棒ダンパーの場合は、小振幅では鋼棒が弾性領域であり減衰が小さく、粘性ダンパーに比べ残留振動が残っている。ヒステリシスを見ると、積層ゴムは減衰が小さく線形のパネでモデル化できること、粘性ダンパーは振幅に関係無く滑らかな復元力特性を有すること、鋼棒ダンパーは一次勾配と二次勾配を持つバイリニア形にモデル化できることが判る。

水平方向及び鉛直方向正弦波加振の共振曲線を図-6(a)・(b)に示す。水平方向では、積層ゴムだけの場合に比べダンパーを取りつけることにより、応答倍率が30%程度に低下しており、ダンパーが有効に働いていることが判る。鋼棒ダンパーを付加した場合、一次勾配を持つことで共振振動数が1.2Hzと高くなっている。また粘性ダンパーを付加した場合も1.3Hzとなっており、この原因として、変位に伴って円板の周囲に粘性体が盛り上がること、粘性体の粘弾性的な特性等が影響しているものと考えられる。鉛直方向の共振振動数は約17Hzと高く、共振振動数・応答倍率共ダンパーの有無に関係なくほぼ一定である。鉛直方向の振動には、ダンパーはほとんど影響を与えないことがわかる。

地震波入力例としてエルセントロ波を入力した応答波形を、図-7に示す。応答波形は、入力波の持っている高振動数成分がカットされ、低振動数が卓越しており、ダンパーによる大きな差異は見られない。応答加速度・変位とも、ダンパーにより大きく低減されている。

4. あとがき

振動台模型実験を行った結果、解析上得られていた各種ダンパーの特性を実験で確かめることができた。また摩擦型ダンパー・高減衰ゴムを使った実験も実施しており、今後実験結果の数値シミュレーションを行い、さらに詳細に検討していく予定である。粘性体の開発に当たって協力して頂いた出光興産(株)の関係各位に謝意を表します。

参考文献 1) 鈴木・竹内他:免震装置の最適設計に関する基礎検討, 構造工学論文集, Vol. 35A, 1989年3月。

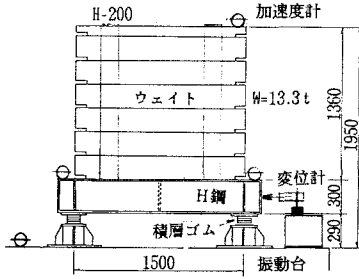


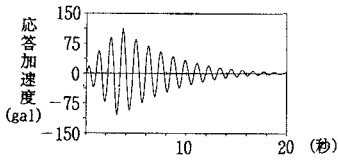
図-1 試験装置

表-1 相似律

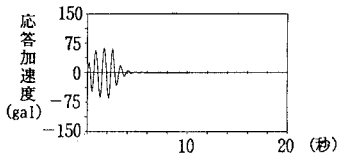
	縮尺モデル	実物
長さ	$L_m = L_p/3$	L_p
時間	$T_m = T_p/\sqrt{3}$	T_p
変位	$\delta_m = \delta_p/3$	δ_p
加速度	$\alpha_m = \alpha_p$	α_p
振動数	$f_m = \sqrt{3} f_p$	f_p
鉛直力	$P_m = P_p/9$	P_p
面圧	1.0	1.0

表-2 積層ゴム諸元

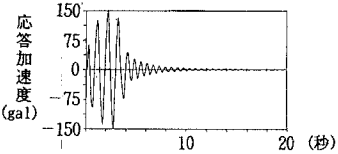
直径	$\phi = 100\text{mm}$
ゴム厚	$t = 2.5\text{mm} \times 14\text{層} = 35\text{mm}$
鉄板	$t = 1.2\text{mm} \times 13\text{層} = 15.6\text{mm}$
せん断バネ定数	91 kgf/cm
圧縮バネ定数	40000 kgf/cm



(a) 積層ゴム



(b) 積層ゴム+粘性ダンパー



(c) 積層ゴム+鋼棒ダンパー

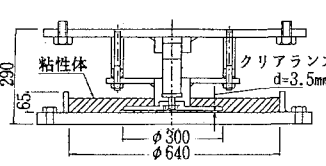


図-2 粘性ダンパーの構造

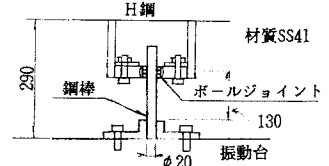


図-3 鋼棒ダンパーの構造

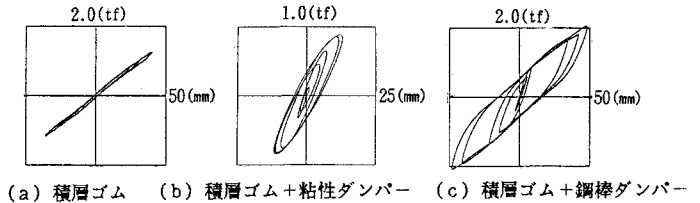
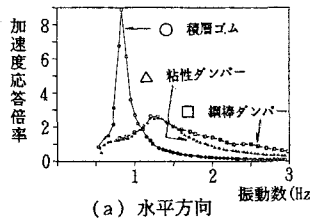


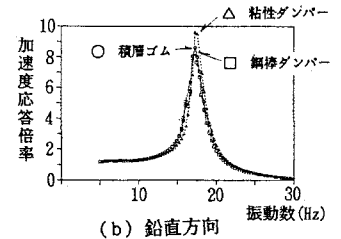
図-5 自由振動のヒステリシス

図-4 自由振動の時刻歴波形

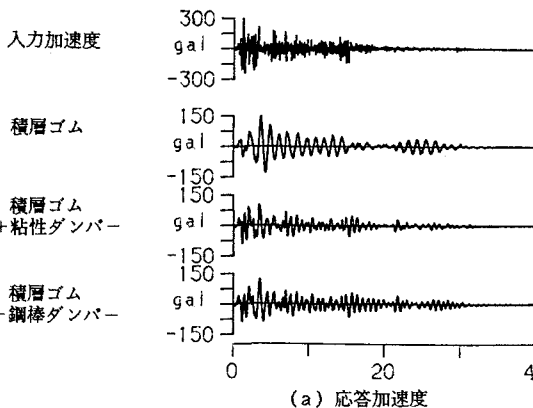
図-6 共振曲線



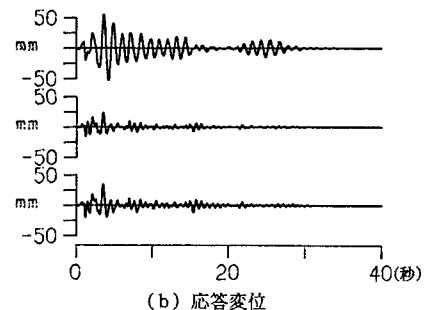
(a) 水平方向



(b) 鉛直方向



(a) 応答加速度



(b) 応答変位

図-7 応答波形（エルセントロ波 300gal入力）