

上下免振住宅の耐震性

東京大学大学院生 学生員 野口 聡 GERB（株） 正 員 Binod K. Bhartia
 東京大学工学部教授 正 員 藤野 陽三 大成建設（株） 正 員 橋詰 尚慶
 大成建設（株） 正 員 長瀧 慶明

1. はじめに

地下鉄などから発生する交通振動による被害が問題となっている。この交通振動を遮断するための建物の床下への上下免振装置の設置は有効であり、その一例として鋼鉄製螺旋状ばねと液体粘弾性ダンパーを用いた基礎免振システムを建物の床下に設置して交通振動を遮断する研究が行われてきた。本研究では2階建て住宅を対象として、免振装置の剛性や粘性抵抗設計法を示し、上下免振住宅の耐震性を明らかにすることを目標として行った。

2. 免振装置に用いたばねとダンパーの特徴

用いるダンパーは3次元の液体粘弾性ダンパーであり、シリコンゲルなどの粘弾性液体を満たした桶状の容器中に摩擦抵抗をとるピストン状の棒が挿入されている。また粘性抵抗の値が入力波の振動数に依存し、振動数の増加に伴い粘性抵抗が大きく減少する。このため交通振動のような高い振動数成分を持つ振動に対しては減衰が小さく、地震動のような低い振動数成分に対しては減衰が大きくなり、この振動数依存性は交通振動と地震動の両者の遮断において有利に働く。またこの粘性抵抗の水平特性の鉛直特性に対する比の値はピストンの長さや本数、形状などを変えることである程度自由に変えることができる。

また、採用した鋼鉄製螺旋状ばねの水平剛性の鉛直剛性に対する比の値は0.2～1.2の範囲で変えることができる。

本研究で用いるダンパーはその振動応答の減衰率が入力振動の振動数に依存するが、その特性を表す式を以下の式1で表される整数次数の微分方程式で近似した。（図1）

$$F + \left(\frac{C_d}{k_p} + \frac{C_p}{k_p} + \frac{C_d}{k_d} \right) \dot{F} + \frac{C_d C_p}{k_d k_p} \ddot{F} = C_d \dot{x} + \frac{C_d}{k_p} \ddot{x} \quad (1)$$

ここでFはダンパーに加わる外力、xはダンパーの

変位を表す。また、Cd, Cp, Kd, Kpの4つの定数は定数であり、個々のダンパーによって決まる。

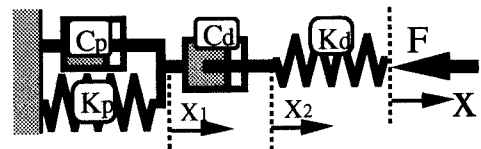


図1 粘弾性ダンパー4変数整数微分方程式モデル

3. 免振装置の設計の目標

（1）鉛直交通振動の十分な遮断、（2）免振装置変位応答の許容変位以下への抑制、（3）地震時水平加速度と1階の剪断力の減少、以上3条件を満たす免振装置の水平・鉛直各方向の固有振動数とモード減衰率の導出を免振装置の設計目標とした。

本研究で解析する2階建て住宅は、交通振動の15Hz以上の振動数成分の遮断という条件から、鉛直方向の固有振動数を5Hz以下・モード減衰を15%（本研究では3.5Hz, 15%）とし、これを前提に水平方向の固有振動数とモード減衰をそれぞれ変化させ、免振装置の最大変位が2cmを超えない範囲で最も効果的に地震動による応答、特に最上階の水平加速度や1階の剪断力が最小となるケースを最適な免振装置の剛性・粘性の値とすることにした。

4. 解析の方法と建物のモデル

解析は固有モード解析、振動応答スペクトル解析、時刻歴応答解析の3つを行った。スペクトル解析で振動応答が鋭敏でないことを確認し、鉛直方向に1水平方向を加えた2次元の線形時刻歴応答解析を行った。粘弾性ダンパーの振動数依存性を考慮し、運動学的に水平振動のみを3質点とし、垂直振動は建物全体を1つの剛体とした。また大地震を想定した時刻歴応答解析にはLevel2に補正したTaftを入力波として用いた。

次頁の図2の通り一般的な2階建ての住宅をモデル化した。まず免振装置の最大変位が許容値内であることの確認に建物の長辺方向と短辺方向の両方向の振動解析を行った結果、剪断力応答や加速度応答は短辺方向の方が大きかったが免振装置の最大応答は長辺方向が大きい応答を示し、かつ許容値を超えた。そのため今回の解析では、長辺方向の解析のみを行い、免振装置の最大変位が許容値に収まる値を探して、それを最適値とすることにした。

5. ばねを鉛直にしたときの解析結果

入力波に依存するが鉛直固有振動数3.6Hz、モード減衰率15%の条件下で1階の剪断力や最上階の加速度は長辺方向で約20～50%減少した。さらに水平固有振動数やモード減衰を変えると長辺方向の水平固有振動数の1次モードが2.53Hz、モード減衰が19.68%のときに入力振動に対するばねの鉛直変位の最大値が最大許容変位の2.0cmを超過した。このときの応答値を下の表1に示す。

6. 傾斜ばねの採用とその効果

先の解析では建物の端部に設置した4つのばねの鉛直変位の大部分が水平振動による建物の回転振動によるものであった。しかし、免振装置の剛性の値の水平方向の鉛直方向に対する比の値が1未満のときは建物の端部のばねを外側に傾斜させることで水平振動による回転振動を抑制できるので、鉛直変位の抑制のために利用することにした。

解析の結果、バネの傾斜による連成振動の抑制が鉛直変位の低減をもたらし、免振装置の変異を許容値以下に押さえることができた。このとき、免振装置の最大変位（相対変位）については水平／鉛直剛性比の値の減少とバネの傾斜の減少の両者が鉛直バネ変位の低減に寄与しているが、剪断力や2回の水平加速度についてはバネの傾斜のみが応答の低減に寄与していることは表1に示すとおりである。

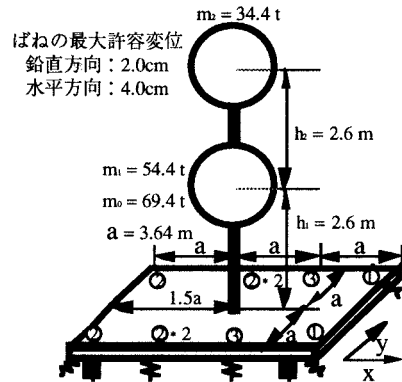
実際の大地震下における建物の振動応答を解析結果と比較・検討するための一例として、本年1月17日の神戸地震における神戸海洋気象台の振動記録を建物に入力し解析したところ、主水平方向が817.8gal、鉛直方向が332.2galという大きな振動外力に対しても免振装置は正常に作動することが示された。

7. 結論

全てのばねを鉛直に設置したときの振動応答は、鉛直回転振動の卓越によりばねの変位が許容値を超過した。しかし、今回の解析は非常に限られた免振装置の剛性・粘性の範囲においてではあったが、ばねを傾斜させることで鉛直回転振動と水平振動の練成を押さえることができ、鉛直回転振動の減少によってばねの変位が許容値以内に収束し、レベル2規模の大地震に対してもこの上下免振住宅が十分な耐震性能を発揮することを、示すことができた。また神戸海洋気象台の振動記録に対する応答も許容値以内に収束し、大地震に際しても免振住宅の安全性を示すことができた。

参考文献

- 1) N.Makris and M.C.Constantinou : " Spring-Viscous Damper Systems for combined Seismic and Vibration Isolation " Earthquake engineering and structural dynamics, vol.21, page649-664, 1992
- 2) Heiland.Dieter : " Base Isolation for Buildings by Vibration Control using Spring units and Viscodampers " International workshop on recent developments in base-isolation techniques for buildings, Tokyo, April , 1992
- 3) 橋詰 尚慶, 長瀬 慶明 他 : " スプリングとダンパーを用いた建築防振工法 (その1～その4) ", 日本建築学会大会学術講演梗概集 (東海) , page 813-820, 1994



	水平/鉛直剛性比	1.05	0.85	0.85	固定基礎
	ばね傾斜度	0°	0°	10°	
固有	鉛直固有振動数	Hz 3.587	3.587	3.585	—
有	鉛直モード減衰	% 15.05	15.05	15.06	—
解	水平1次振動数	Hz 2.575	2.552	2.542	7.117
析	水平1次減衰率	% 16.11	17.39	17.60	4.00
Ta	2階水平加速度	gal 647.4	647.4	628.3	1154
ft	1階剪断力	tf 47.54	47.54	45.77	77.96
応	鉛直ばね変位	cm 2.164	2.096	1.997	—
答	水平ばね変位	cm 0.725	0.811	1.082	—

	単位	taft	神戸
加速度	gal	628.3	817.7
剪断力	tf	45.77	74.09
鉛直ばね	cm	1.997	1.760
水平ばね	cm	1.082	2.591

表2 最適化された免振住宅のtaftレベル2
応答と神戸地震に対する応答