

## 木造免震住宅の実大振動実験

## その9 応答解析に基づく考察とまとめ

正会員○三宅辰哉\*1 正会員 花井 勉\*2

正会員 平野 茂\*3 正会員 深堀美英\*4

正会員 大橋好光\*5 正会員 坂本 功\*6

## 1. はじめに

前述のように、本試験体のような滑り系免震建物では、直交するXY軸上における免震装置の復元力が相互に独立でない。したがって、水平1方向入力による応答量と2方向入力における同方向の応答量は、同方向の入力波が同一であっても異なると思われ。

前報(その8)では応答解析方法を示した。本報(その9)では第1期、第4期および第6期の試験体に対応する振動モデルを用いた応答解析値に基づいて、2方向入力の影響および偏心の影響について考察する。また、最後に本論(その1~9)の総括を行う。

## 2. 水平2方向入力の影響

水平2方向入力時の入力および応答変位の平面履歴から定まる入力包絡線・入力主軸および応答包絡線・応答主軸を「その3」、「その4」で定義した。水平2方向入力時の入力加速度のX,Y成分を任意方向軸上に投影し、両者の和をとってその軸上成分の時刻歴を求め、それを入力としてその軸方向の応答変位を求める。その最大・最小値を軸上にプロットし、軸を回転することでXY平面上に閉じた図形が描かれる。これを1方向応答包絡線と称する。図9.1に応答の平面履歴、応答包絡線および1方向応答包絡線を例示する。振動モデルは第1期と第6期の試験体に対応するものである。一つの軸は包絡線と2点で交差し、その2点と原点の距離のうち大きいほうをその軸角度 $\theta_a$ に対する包絡値とする。図9.2には $\theta_a$ と包絡値

の関係を示す。ただし、入力は速度を対象としており、入力包絡値はその最大値で除し、応答包絡値 $\Delta_{e2}$ と1方向応答包絡値 $\Delta_{e1}$ は $\Delta_{e2}$ の最大値で除してある。同図によれば、いずれの包絡値も最大となる軸角度はほぼ同一であり、 $\Delta_{e2}$ と $\Delta_{e1}$ の最大値はほぼ一致している。

次に、 $\Delta_{e2}$ に対する $\Delta_{e1}$ の比率 $\lambda_{12} = \Delta_{e1} / \Delta_{e2}$ と応答主軸角 $\theta_R$ に対する軸角度 $\theta_a$ の相対値 $\theta_{ar} = \theta_a - \theta_R$ の関係を図9.3に示す。入力波は表3.1に示す5種類の地震波および低減率を考慮しないKobe, Art22, Art23の計8種類の地震波とした。 $\theta_{ar} = 0$ 近傍では $\lambda_{12}$ は概ね1である。すなわち応答主軸近傍では1方向加振と2方向加振による最大応答変位はほぼ一致する。 $\theta_{ar} = 0$ から離れるにつれて $\lambda_{12}$ は低下する傾向にあり、 $\theta_{ar} = \pm 90^\circ$ 近傍では $\lambda_{12}$ が0.5を下回る場合がある。

図9.4には各解析ごとの $\Delta_{e2}$ の最大値 $\Delta_{e2,max}$ に対する $\Delta_{e1}$ の比率 $\lambda_1 = \Delta_{e1} / \Delta_{e2,max}$ と入力速度の主軸角 $\theta_{SV}$ に対する軸角度 $\theta_a$ の相対値 $\theta_{av} = \theta_a - \theta_{SV}$ の関係を示す。 $\theta_{av} = 0$ における $\lambda_1$ は概ね0.9から1.1の範囲にあり、水平2方向成分を持つ地震動による最大応答値を速度の主軸方向成分を用いた1方向入力による最大応答値として予測してもその誤差は少ないことが分かる。

## 3. 偏心の影響

重心位置における免震層の最大変形については第2期と第4期にほとんど差が無く、偏心の影響は小さいが、免震構造物では一般に、揺れ応答量がわずかな偏心で増

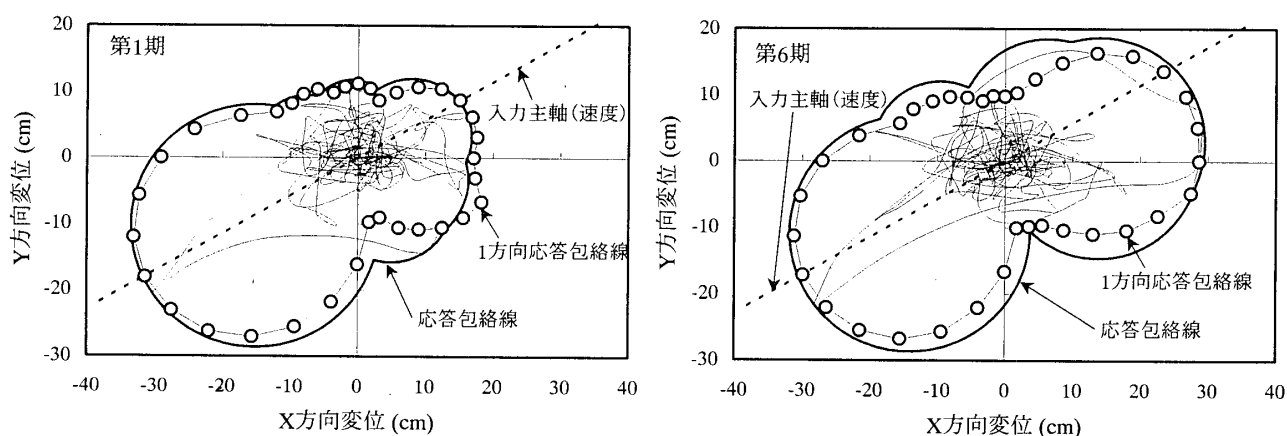


図9.1 応答平面履歴と包絡線(入力波: Art22)

An Experiment of Base-Isolated Wooden House  
Part 9 Study based on response analysis and conclusion

MIYAKE Tatsuya et al.

大し得る。「その5」と同様に、重心位置における免震層のY方向最大変形 $\Delta_{yc}$ に対するX0,X3通りのY方向最大変形 $\Delta_{ye}$ の比率 $\lambda_{ce} = \Delta_{ye} / \Delta_{yc}$ を第4期の各入力波に対して求め、 $\Delta_{yc}$ との関係を図9.5に示す。同図には「その5」で求めたCQC法によるモード解析値を細線で示してある。 $a_{kx}$ はモード解析時に仮定した滑り支承のY方向剛性に対するX方向剛性の比率である。モード解析値と応答解析値は概ね一致し、 $a_{kx}$ を5としたモード解析値が応答解析値を安全側に包含している。

図9.5には実験による $\lambda_{ce}$ を◆印で併記した。 $\Delta_{yc}$ が10cmを上回る領域では解析値は実験値に対して過小評価になっており、上部架構の転倒モーメントによる滑り支承の摩擦力の変動がその一因として考えられる。

#### 4. まとめ

本論(その1~9)では積層ゴム支承・滑り支承併用の木造免震住宅を試験体とした実大振動実験の結果に基づいて基本的な免震性能の評価を行うとともに、滑り系免震建物特有の地震応答性状に関して考察した。結果は以下のように要約される。

- 1) 入力最大速度が100kineに達する極限的地震動に対して免震層の最大変形は約40cmであったが、免震層と上部架構の損傷および建物内部什器の被害は一切認められなかった。最大層せん断力係数は第1層で0.1~0.25、第2層で0.15~0.28であり、本試験体は免震建物としての必要性能を満足している。
- 2) 免震層の水平方向応答変形に対する上下動の影響は無視できる。
- 3) 応答主軸と入力速度の主軸の方向は概ね一致し、水平2方向入力による免震層の最大応答変形は入力主軸方向の水平1方向入力による値にほぼ一致する。
- 4) CQC法を用いたモード解析によって予測される振れ応答による免震層の変形増大率は応答解析値に良く一致する。しかし実験値はモード解析値および応答解析値に対して大きくなる場合があり、今後検討を要する。
- 5) 本論の応答解析法では重心位置の免震層変形量について解析値は実験値に良く一致する。しかし層せん断力と振れ応答の影響についてはやや過小評価となる。その原因の一つとして上部架構の転倒モーメントによる滑り支承の摩擦力の変動が考えられ、これを考慮することで予測精度が改善されると予想される。
- 6) 免震層の過大な水平変形を防止するためのストッパーおよび風圧力による水平変形を防止するための対風トリガについてはいずれも初期の性能を満足している。ただしストッパーについては応答値の予測方法を今後確立する必要がある。

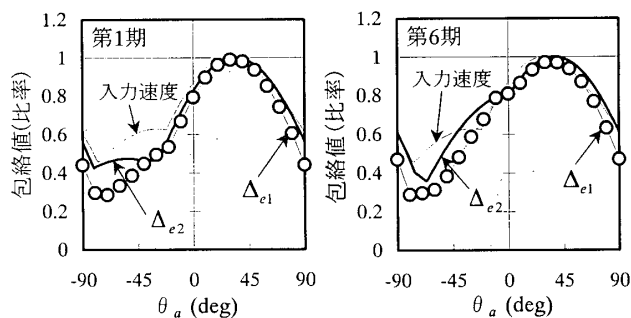


図 9.2 軸角度と包絡値の関係

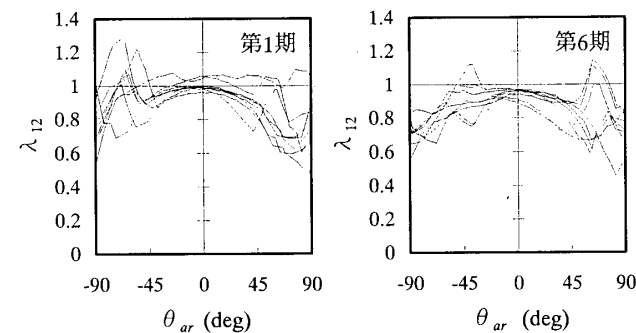


図 9.3  $\lambda_{12}$ - $\theta_{ar}$  関係

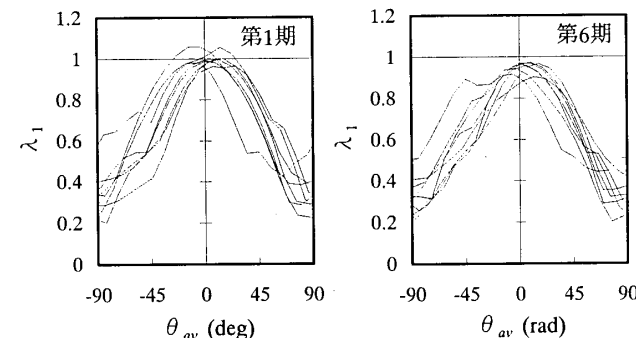


図 9.4  $\lambda_1$ - $\theta_{av}$  関係

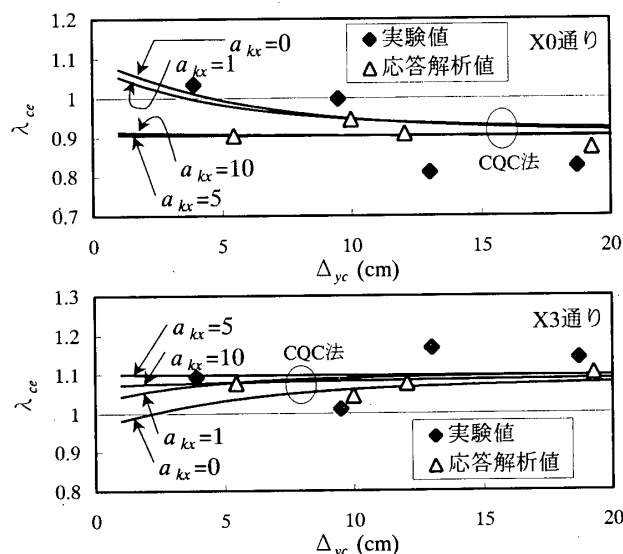


図 9.5 偏心による応答変形の増大率

\*1 (株)日本システム設計・工博 Nihon System Sekkei Co., Dr. Eng. \*4 (株)ブリヂストン・工博 Bridgestone Co., Dr. Eng.  
 \*2 (株)日本システム設計 Nihon System Sekkei Co. \*5 東京大学 助手・工博 Research Assist., The Univ. of Tokyo, Dr. Eng.  
 \*3 (株)一条工務店 Ichijo Housing Company Co., Ltd. \*6 東京大学 教授・工博 Prof., The Univ. of Tokyo, Dr. Eng.