

## 地震時における免震建物の衝撃緩衝装置の力学特性に関する解析的検討

山梨大学 学生会員 ○清水裕介, 非会員 山田健也  
山梨大学大学院 正会員 吉田純司, 正会員 竹谷晃一

## 1. はじめに

1995 年兵庫県南部地震での構造物への甚大な被害を受け、免震構造を採用する建物が増加している<sup>1)</sup>。免震建物では、積層ゴム支承などの柔軟なデバイスで支持することにより建物を長周期化し、地震による慣性力を低減している。一方で、地面に対する免震建物の相対変位が大きくなることから、建物周辺の壁や隣接する非免震の建物との衝突の発生が懸念される。

本研究では、免震建物と周辺構造物との衝突が発生する際に衝撃を緩衝するための装置を対象とし、その適切な力学特性を数値解析により検討することを目的とする。

## 2. 免震建物と緩衝装置のモデル化

今回想定する免震建物は図-1 のような構造であり、地上 5 階建てで平面形状 30m×11m、高さ 19.85m の直方体形建物であり総重量は 1794[ton]であり、積層ゴム支承によって支持されている<sup>2)</sup>。解析を簡単にするため、建物を 1 質点でモデル化し、支承全体の復元力を線形バネとダッシュポット (Voigt モデル) でモデル化する。建物の質量を  $m$ 、支承のバネ定数を  $k$ 、ダッシュポットの粘性係数を  $c$  とおく。これらは、建物の固有周期が 2 [sec]、減衰比が 5% となるよう定めた。

次に、図-2 に示すように建物周囲に擁壁があり、そこに、粘弾性的性質を有する衝撃緩衝装置を取り付ける場合を想定する。具体的には、装置の力学特性を図-3 のような一般化 Maxwell モデルを想定し、そのうちバネ定数を  $k_i$  ( $i = 0, 1, \dots, n$ )、粘性係数を  $c_j$  ( $j = 1, 2, \dots, n$ ) とおいて、これらを求めるべき未知パラメータとする。

## 3. 自由落下による衝撃緩衝装置のパラメータ同定

ここでは、建物と同じ質量の質点を衝撃緩衝装置上に自由落下させ、その応答から装置のパラメータを同定する。具体的には、評価関数：

$$E = \frac{-v_L}{v_U} + 0.075 \times \frac{k_0 + \sum_{i=1}^n k_i}{k} \quad (1)$$

を定め、 $E$  を最小化する装置のバネ定数と粘性係数を実数値  $G A^3$  により探索する。ただし、 $v_U$  は速度応答の正側の最初のピーク値、 $v_L$  は速度応答の負側の最初のピーク値であり、装置を実際に自由落下させたときの標準的な速度応答で図-4 のようになる。すなわち、式(1)の右辺第 1 項では、負側の最初のピーク値を衝突時の速度で基準化したものを最小化しようと試みている。また、式(1)の右辺第 2 項は、先の右辺第 1 項を最小に

するパラメータのうち、装置の剛性が極端に大きくなるものを除外するために含めている一種のペナルティ項であり、0.075 は試行錯誤的に定めたペナルティ係数である。

## 4. 免震建物の地震応答解析

本文 3 節で同定した装置のバネ定数と粘性係数を用いて、免震建物の地震応答解析を行った。ただし、建物から衝撃緩衝装置までの距離は、積層ゴム支承のせん断ひずみが 150% である 279mm を想定し、擁壁までの距離はせん断ひずみ 250% である 465mm を想定した。解析では、1995 年兵庫県南部地震時に JR 鷹取駅で観測された実地震加速度記録 (NS 成分) を用いた。

図-5 に緩衝装置付きの壁ある場合と、剛体壁がある場合についての応答の比較を示す。図-5 から装置がある場合には、剛体壁のみの場合と比較して、スパイク的な応答が低減できていることがわかる。また、図-6 に、緩衝装置付きの壁ある場合と壁がない場合 (自由端) との応答の比較を示す。図-6 より、緩衝装置がある場合の方が応答を低減できていることがわかる。

## 5. まとめ

本研究では、免震建物が周囲の構造物と衝突する際に衝撃を緩衝する装置を対象として、その力学特性について解析的に検討した。まず、建物と同一質量の質点が緩衝装置に自由落下する場合を想定し、その際の応答から装置の適切な力学特性を算出するための評価関数を提案した。次に、評価関数を最小化する装置のパラメータを実数値  $G A$  により同定した。最後に免震建物の地震応答解析を行い、同定したパラメータの有効性を確認した。

今後の課題は、支承の復元力を精緻にモデル化してより現実的な地震応答解析を水平 2 方向で行い、装置の妥当性を確認し、さらに装置が実現可能であればプロトタイプを製作し、その有効性を模型実験などで確認する。

## 参考文献

- 1) <http://www.lib.kobe-u.ac.jp/directory/eqb/book/11-226/index.html>: 兵庫県南部地震における建物被害調査と保有耐震技術, 日本国土開発株式会社, 1995.
- 2) 国土交通省住宅局 他 編集: 免震建築物の技術基準解説及び計算例, 工学図書, 2001.
- 3) 秋山洋平, 永田祐一, 佐久間淳, 小野功, 小林重信: 適応的実数値交叉 AREX の提案と評価, 人工知能学会誌, 24 巻 6 号 A, pp.446-458, 2009.

キーワード: 免震建物, 衝撃緩衝装置, 衝突, 積層ゴム支承, 粘弾性モデル

〒400-8511 山梨県甲府市武田 4-3-11, TEL: 055-220-8521, e-mail: jyoshida@yamanashi.ac.jp

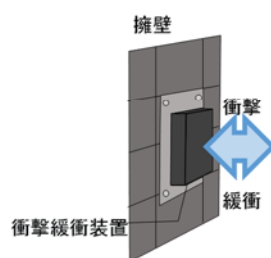


図-1 対象とする免震建物の概要

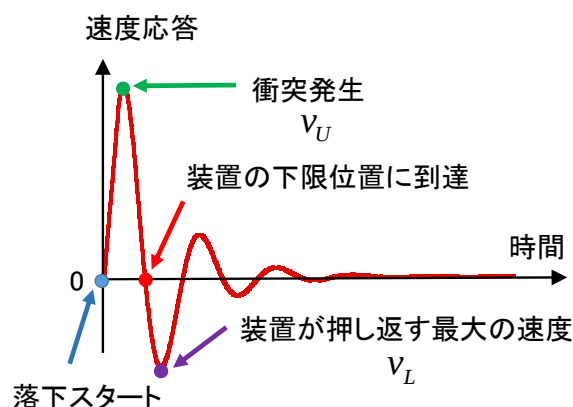
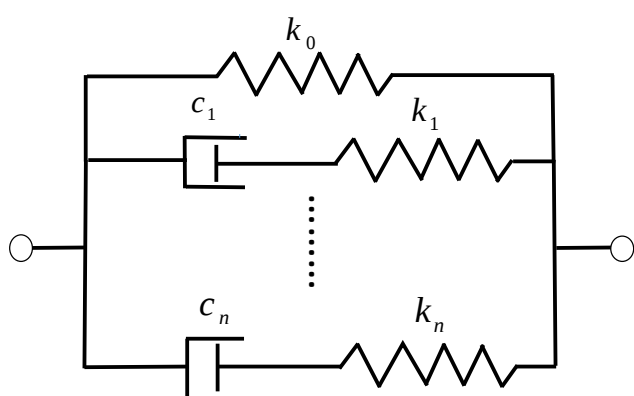


図-3 衝撃緩衝装置のモデル化で用いる一般化 Maxwell モデル

図-4 自由落下における速度の時刻歴応答

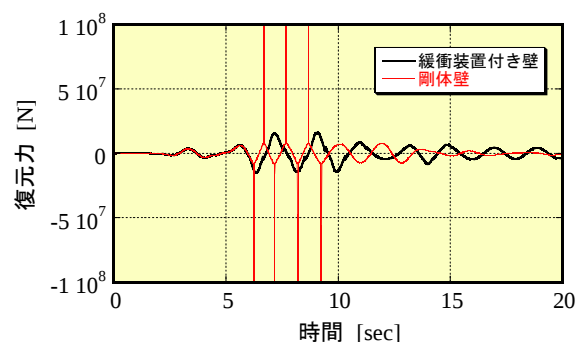
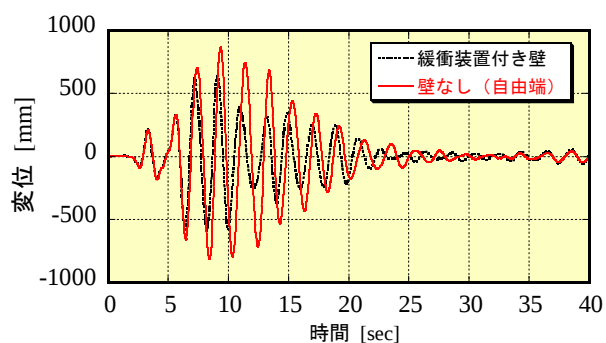
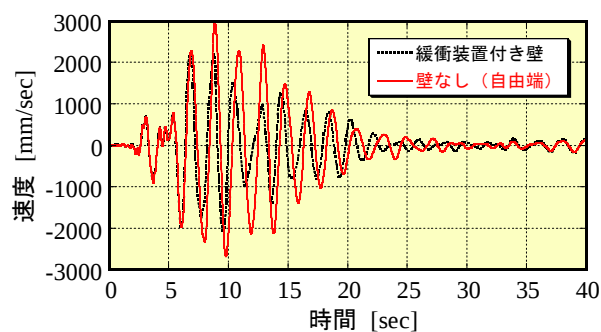


図-5 緩衝装置付き壁がある場合と剛体壁の場合における復元力の時刻歴応答の比較



(a) 変位応答



(b) 速度応答

図-6 緩衝装置付き壁がある場合と壁がない場合における免震建物の応答の比較