

RC 建物を対象とした免震装置の性能ばらつきによる建物の応答分布に関する研究

正会員 ○宮内 智香*
同 水島 靖典**免震構造 免震装置 ばらつき
時刻歴応答解析 モンテカルロシミュレーション

1. はじめに

通常、免震構造の構造設計では免震装置の性能ばらつきを考慮し、設置する全免震装置の性能値がばらつきの範囲内で一斉に最大値あるいは最小値となるときにの応答を確認している¹⁾。しかし、全装置の性能値が一斉に最大値・最小値となる可能性は明らかになっていない。免震装置の製造ばらつきを考慮した先行研究として、性能ばらつきをもつ装置の配置が、応答変位に及ぼす影響に関する研究²⁾や、配置方法に遺伝的アルゴリズムを導入し、効率良くかつ安全に配置できる自動計算システムを開発する研究³⁾などが行われている。本研究ではモンテカルロシミュレーション(M.C.S)を用いて製造ばらつきを考慮した建物の時刻歴応答解析を繰り返し実行し、応答のヒストグラムと性能値の最大値・最小値から求められる応答値の関係について検討する。

2. 解析手法

本解析はRC造7階建て集合住宅の長辺方向を想定し、免震層と上部構造の各階を質点でモデル化した、8質点系モデルとした。上部構造の層間バネは、図3のようなバイリニアとして設定し、各質点の質量を約 $8.33 \times 10^5 \text{kg}$ 、各階の一次水平剛性を $1.52 \times 10^9 \text{N/m}$ から $3.68 \times 10^9 \text{N/m}$ 、折点荷重を $1.98 \times 10^6 \text{N}$ から $4.79 \times 10^6 \text{N}$ 、一次水平剛性と二次水平剛性の比を 1.68×10^{-1} と設定した。上部構造には一次固有周期に対して減衰率3.00%の瞬間剛性比例型減衰を設定した。免震装置は製品カタログ⁴⁾を参考に、1台当たり水平剛性 $7.46 \times 10^5 \text{N/m}$ の天然ゴム系積層ゴムを模した線形ばねを22個と、1台当たり減衰係数 $1.13 \times 10^6 \text{N} \cdot \text{sec/m}$ の免震用オイルダンパーを模したダッシュポットを3個用

いてモデル化した。モデルの一次固有周期は4.00秒となった。

本研究ではM.C.Sにより3つの地震動を用いて300万回(各地震動100万回)の繰り返し時刻歴応答解析を実行した。地震動にはelcentro_NS, Hachinohe_NS, Taft_EWを用いた。使用する各地震動は最大速度が 50cm/s となるようにスケールリングを行い、最大応答を示した10秒間を取り出して解析を実行した。全解析において、時間増分0.005秒間隔で $\beta=0.25$ のNewmark β 法を用いて解いた。応答解析にはOpenSees、開発環境にはPython3.9.4用い、無料ライブラリOpenSeespy3.9.7によりモデルの作成と解析の実行方法等について設定した。

3. 性能ばらつきの設定

本解析で想定した免震装置は、製造ばらつきが基準値から $\pm 10\%$ 内で製造されている⁴⁾。そのため、本解析では製造ばらつきを正規分布で表現し、製造ばらつき $\pm 10\%$ を標準偏差 $\pm 1\sigma$ 内に収め、そのうち $\pm 1\sigma$ 内の値のみを用いて設定した。なお、乱数はメルセンヌ・ツイスター法⁵⁾を用いて生成した。図4と図5は免震層に配置した全線形ばねの水平剛性、全ダッシュポットの減衰係数の和のヒストグラムである。図には全装置の性能値が基準値のとき、全装置の性能値が $\pm 10\%$ のときの値を示す。水平剛性は全装置の性能値が基準値のときの値とヒストグラムの $+3\sigma$ の値との比が3.66%となったが、減衰係数は9.17%となり、10%に近い値を示した。これは線形ばねとダッシュポットの設置個数に依存していると考えられる。

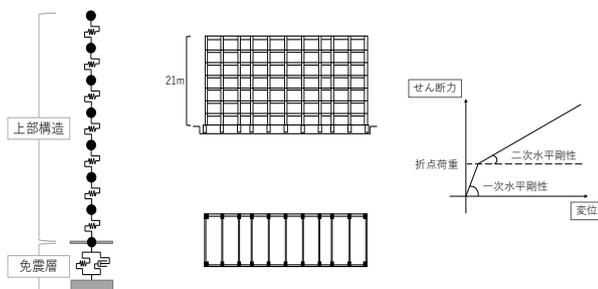


図1 モデル

図2 建物イメージ
軸組図・伏図図3 上部構造の
復元力特性

図4 水平剛性ヒストグラム

図5 減衰係数ヒストグラム

3. 解析結果

3.1 免震層最大変位

図6から図8にM.C.Sで得られた各地震動の免震層最大変位のヒストグラムを示す。図に(水平剛性, 減衰係数)が(標準値, 標準値)、(+10%, +10%)、(-10%, -10%)、(+10%, -10%)、(-10%, +10%)のときの応答値を示す。M.C.Sにより得られたヒストグラムの+3σの値は性能値の最大値・最小値から求めた最大応答値より小さくなった。(標準値, 標準値)と性能値の最大値・最小値から算出した最大応答値の比、+3σの値の各々の比に着目すると、本研究では、Elcentroの前者の比が6.71%、後者の比が2.32%となった。

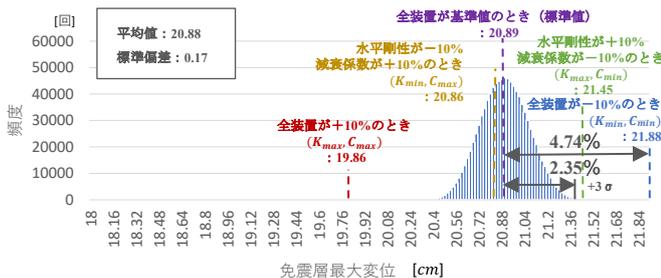


図6 Hachinohe 免震層最大変位

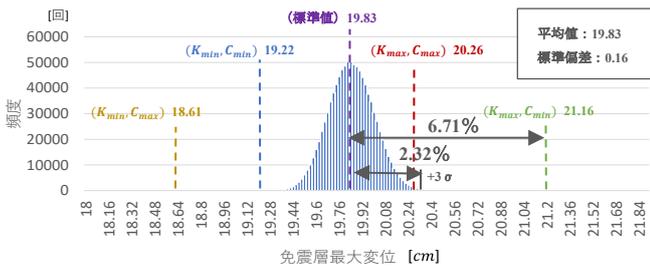


図7 Elcentro 免震層最大変位

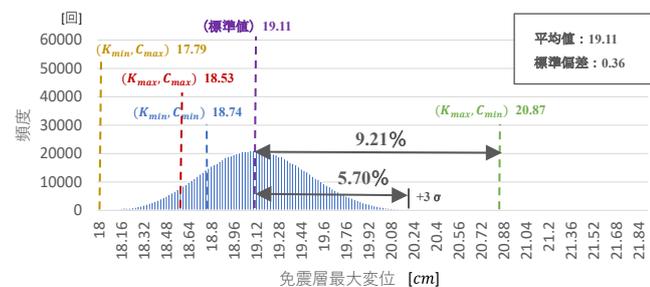


図8 Taft 免震層最大変位

3.2 上部構造の最大層間変形角

図9から図11にM.C.Sで得られた各地震動の上部構造最大層間変形角のヒストグラムを示す。図6から図8と同様、性能値の最大値・最小値から得られた応答値を示す。M.C.Sにより得られたヒストグラムの+3σの値は性能値の最大値・最小値から求めた最大応答値より小さくなった。(標準値, 標準値)と性能値の最大値・最小値から算出した最大応答値の比、+3σの値の各々の比に着目すると、本研究では Taft の前者の比が 10.33%、後者の比が 3.02% となった。

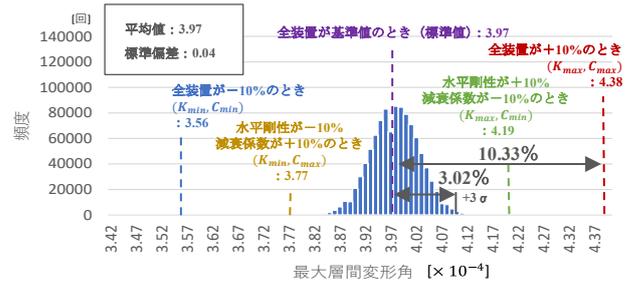


図9 Taft の上部構造最大層間変形角

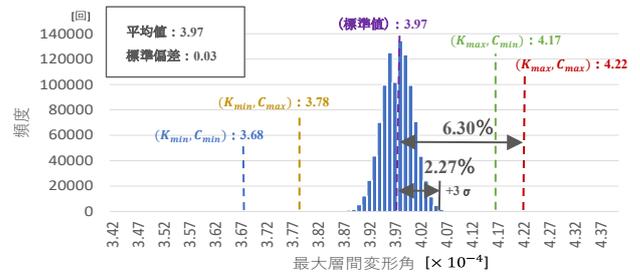


図10 Hachinohe の上部構造最大層間変形角

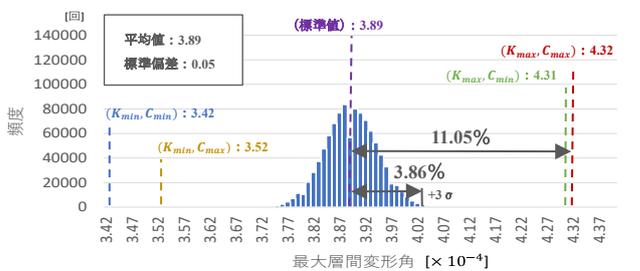


図11 Elcentro の上部構造最大層間変形角

4. 結論

免震装置の性能ばらつきによる建物応答のヒストグラムの+3σの値と性能値の最大値・最小値から求められる応答値を比較した。全結果においてM.C.Sにより得られたヒストグラムの+3σの値は性能値の最大値・最小値から求めた最大応答値より小さくなった。

今後の課題として、免震装置の種類や個数の変更、製造ばらつきの与え方の変更、上部構造の特性の変更など、十分なパラメトリックスタディを行い、より詳細に免震構造の建物応答について明らかにしていく必要がある。

参考文献

- 1) 一般社団法人日本免震構造協会(JSSI)：免震構造部材の基本から設計・施工まで(第2版)、オーム社、2022年2月25日
- 2) 牛尾直史、小林正人：製造ばらつきを持つ免震部材の配置が地震応答に及ぼす影響、日本建築学会大会学術講演梗概集、2016年8月
- 3) 酒井直己、山崎久雄、渡邊信也等：免震装置の全数検査後の特性を反映した配置シミュレーション、日本建築学会大会学術講演梗概集、2017年8月
- 4) ブリヂストン社：建築免震用積層ゴム製品仕様一覧 2021vol.1、Bridgestone Corporation、2021年6月20日
- 5) 株式会社川金コアテック：KYM 免震オイルダンパー
- 6) M.Matsumoto、T.Nishimura：MersenneTwister:A623-dimensionally equidistributed uniform pseudorandom number generator、ACM Trans. On Modeling and Computer Simulation Vol.8、pp.3-30、No.1、January、1998

*兵庫県立大学大学院減災復興政策研究科 博士前期課程

*Grad. Sch. of Disaster Resilience and Governance, Univ. of Hyogo

**神戸大学大学院 工学研究科 准教授 博士(工学)

**Assoc. Prof., Grad. Sch. of Engineering, Kobe University, Dr. Eng.