

# 強震観測に基づく免震建物の振動特性評価

国際地震工学センター 主任研究員 伊藤 麻衣

## I はじめに

免震構造は、建築物の構造安全性だけでなく、機能維持にも有効な手段としてすでに広く普及している。竣工から 20 年以上経つ免震建物も多くあり、経過年数による劣化やこれまで作用した地震に伴う部材の損傷等により建物の振動特性が変化している可能性がある。しかし、設計時に想定された免震効果が現在も得られるかどうかは十分に研究されていない。

建築研究所では、1957 年から建築物と地盤を対象とした強震観測を行っており、これまで多くの記録を蓄積している<sup>1)</sup>。特に 2011 年東北地方太平洋沖地震では、多数の建物で貴重な強震記録が得られ、その分析結果がいくつか報告されている<sup>2)</sup>。それらは地震動作用中の振動特性の変動について考察した報告が多く、長期にわたって建物の振動特性を評価した研究は少ない。

そこで本研究では、建築研究所が長年強震観測を行っている免震建物 4 棟を対象に、振動記録を用いて地震時の応答低減効果および長期的な振動特性の変化を調査し、現時点での建物の保有性能を明らかにすることを目的とする。

## II 対象建物と強震観測記録

対象建物は、釧路市に建つ 9 階建て基礎免震の建物 A、八戸市に建つ 10 階建て基礎免震の建物 B、東京都内に建つ 11 階建て基礎免震の建物 C、4 階に免震層を持つ 36 階建て中間階免震構造の建物 D の 4 棟とした。表 1 に建物概要を、表 2 に分析対象とした観測期間および使用した加速度計の位置を示す。

表 1 建物概要

建物	階数	構造形式	免震装置
A	9F	鉄骨鉄筋コンクリート造	天然ゴム系積層ゴム、鉛ダンパー、鋼棒ダンパー
B	10F	鉄骨鉄筋コンクリート造	鉛プラグ入り積層ゴム
C	11F	鉄骨鉄筋コンクリート造	天然ゴム系積層ゴム、鉛プラグ入り積層ゴム、オイルダンパー
D	36F	鉄筋コンクリート造	天然ゴム系積層ゴム、鉛プラグ入り積層ゴム

表 2 使用した強震記録

建物	観測期間	加速度計の位置
A	2000.9-2021.10	9F, 1F, B1F, GL
B	2000.10-2016.11	10F, 1F, B1F, GL
C	2003.8-2022.3	11F, B1F, B2F
D	2011.3-2021.11	36F, 4F, M4F, 1F, GL

## III 応答低減効果の検証

観測期間中に最大の加速度が記録された地震動のデータを用いて、建物の応答低減効果を検証した。免震建物 A では 2003 年の十勝沖地震、免震建物 B では 2008 年の岩手県沿岸地震、免震建物 C と D では 2011 年東北地方太平洋沖地震の記録を用いた。図 1 に最大加速度の分布を示す。免震層上の加速度は建物基部の加速度と比較し、34~54%低減していることから、免震による加速度の応答低減効果が確認できた。

なお、免震層の最大変形は、免震建物 A は 96mm、免震建物 B は 20mm、免震建物 C は 51mm、免震建物 D は 160mm で、設計許容変位と比べて十分小さかった。

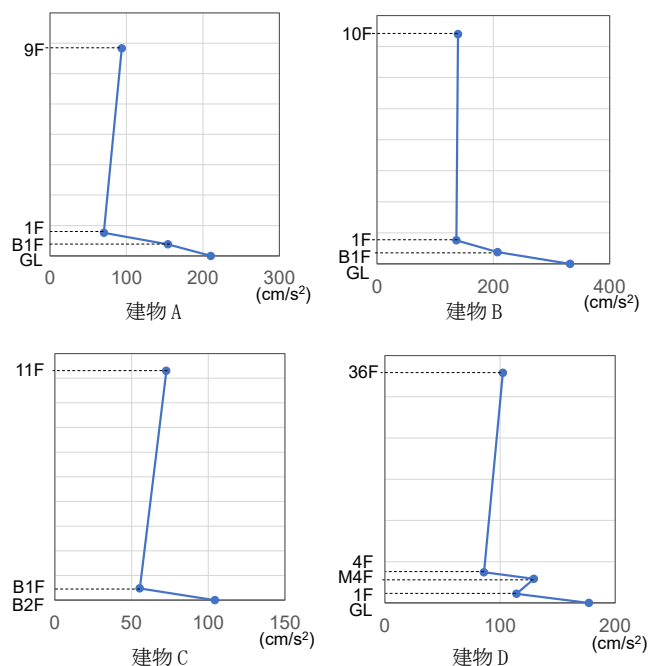


図 1 最大加速度の分布

#### IV 経年特性変化の調査

入力を建物基部の加速度，出力を最上階の加速度とした ARX モデルによるモード同定法で建物の固有振動数と減衰定数の同定を行った。同定には，表 2 に示す観測期間において震度 2 以上の地震動で観測された加速度記録を用いた。

図 2 に分析結果を示す。全ての建物において，応答振幅が大きくなるにつれて固有振動数は減少し，減衰定数は増加するという振幅依存性が確認できた。また，最大の加速度が記録された地震動よりも前，地震後 1 年間，それ以降の固有振動数の振幅依存性を比較すると，地震を境に固有振動数が 5~15%低下したが，その後徐々に増加し，約 1 年後には地震前と同等の値に戻ることがわかった。これは，大地震の際に変形の増大によ

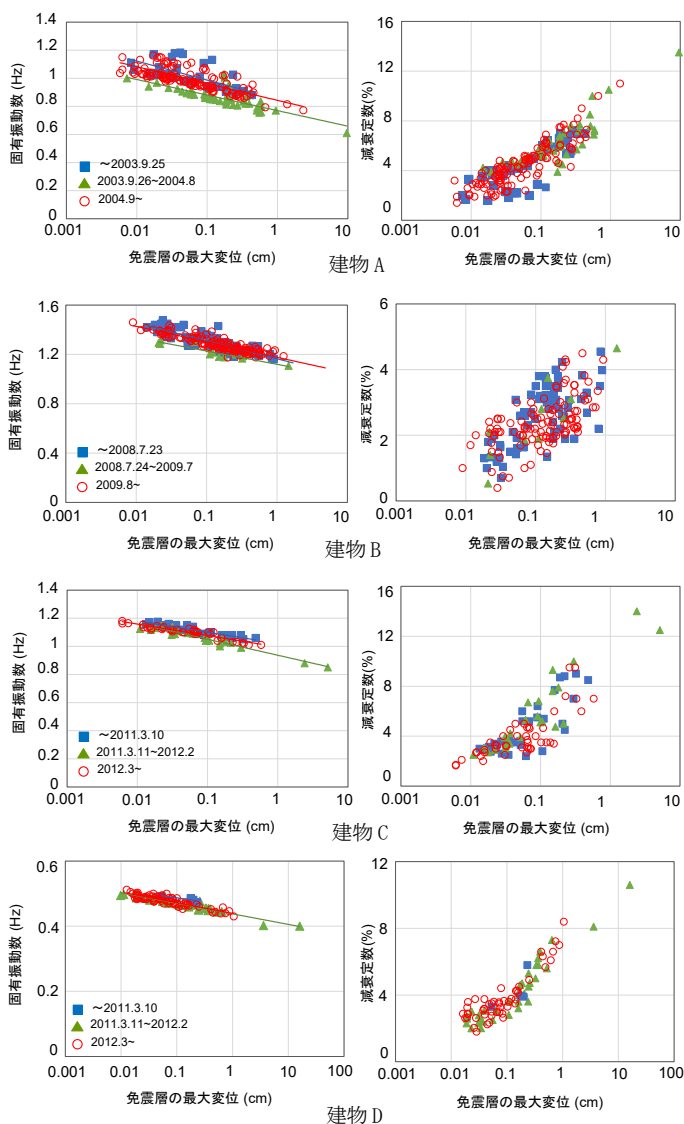


図 2 固有振動数と減衰定数の振幅依存性

り免震部材の境界部や 2 次部材等の固定度が低下したことで，固有振動数が一時的に低下したが，余震が収まると再び固着し始め，固有振動数が回復傾向を示したと推察される。この結果より，20 年近くにわたる観測期間中に免震部材に特性変化は生じていないことが確認できた。減衰定数は，固有振動数と比較しばらつきが大きく，地震前後での違いは明瞭ではなかった。

#### V 解析による地震応答の検証

2003 年十勝沖地震の際の免震建物 A を対象に，設計時のモデルを用いて時刻歴応答解析を実施し，強震観測記録と比較した。図 3 に免震層変位，および 1 階と 9 階の加速度の比較を示す。解析結果は観測記録と概ね一致し，設計で想定した免震建物の挙動が妥当であることが確認できた。

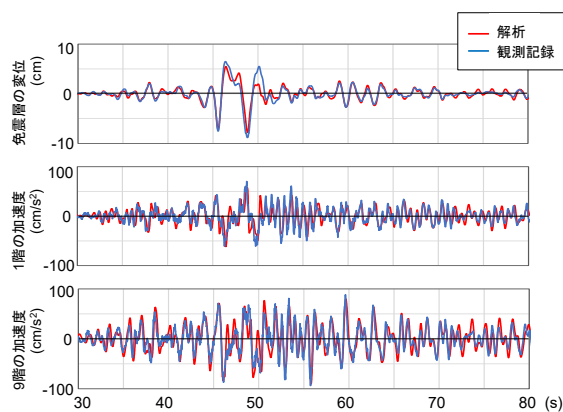


図 3 解析と強震記録の比較

#### VI まとめ

建築研究所が強震観測を行っている免震建物 4 棟を対象に，振動記録を用いて地震時の応答低減効果および長期的な振動特性の変化を調査した。その結果，以下の知見を得た。

- 1) 観測期間中に最大の加速度が記録された地震動において，免震層上の加速度は建物基部より 34~54%低減しており，免震による加速度の低減効果が確認できた。
- 2) 応答振幅が大きくなるにつれて固有振動数は減少し，減衰定数は増加するという振幅依存性が確認できた。
- 3) 最大の地震動を境に固有振動数が 5~15%低下したが，1 年後には地震前と同等の値に近づいた。
- 4) 解析と強震観測記録は概ね一致し，設計で想定した免震建物の挙動が妥当であることが確認できた。

参考文献：1) 建築研究所強震観測網 HP <http://smo.kenken.go.jp> 2), 3) 建築研究所：建築研究資料 No.135, No. 138, 2012