

## 7) - 3 強震観測に基づく免震・制振建物の振動特性評価

### 【安全・安心】

#### Evaluation of Dynamic Characteristics of Isolated Building and High-rise Building with Dampers Based on Strong Motion Records

(研究開発期間 令和元～3年度)

国際地震工学センター 伊藤 麻衣  
International Institute of Seismology and ITO Mai  
Earthquake Engineering

Dynamic characteristics of four isolated buildings and a building with dampers were evaluated using strong motion observation data recorded by Building Research Institute. The natural frequency and damping ratio had amplitude-dependency for all buildings. The natural frequency dropped right after a strong earthquake, but it increased to the original value within a year after the earthquake, therefore the characteristics of isolation devices and dampers have not changed for nearly 20 years. In addition, the performance of isolated buildings was verified through simulation analysis.

#### 【研究開発の目的及び経過】

免震構造や制振構造は、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。しかし、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、設計時に想定した免震効果や制振効果が得られない可能性がある。

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。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。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、長期に渡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・制振建物を対象に、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。

#### 【研究開発の内容】

建築研究所が強震観測を行っている免震建物4棟および制振建物1棟を対象に振動特性評価を行った。

##### (1) 応答低減効果の検証

特定の強震観測記録を用いて、対象建物の免震・制振による応答低減効果を検証した。また、地震応答中の固有振動数と減衰定数の変動を分析した。

##### (2) 経年特性変化の分析

観測開始時から現在までの強震観測記録を用いて、建物の固有振動数と減衰定数を同定し、地震を何度も繰り返し受けた際の建物の特性変化を評価した。

##### (3) 解析による地震応答の検証

建物設計時のモデルを用いて時刻歴応答解析を行い、強震観測データと比較することで、建物の地震応答を検証した。

#### 【研究開発の結果】

対象建物は、釧路市に建つ9階建て免震建物A、八戸市に建つ10階建て免震建物B、つくば市に建つ10階建て免震建物C、東京都内に建つ11階建て免震建物D、東京都内に建つ21階建て制振建物Eとした。表1に建物概要と設置されている免震・制振装置の種類を示す。

表1 建物概要

| 建物  | 階数  | 構造形式        | 免震・制振装置                      |
|-----|-----|-------------|------------------------------|
| 免震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       |
| 免震B | 10F | 鉄骨鉄筋コンクリート造 | 鉛プラグ入り積層ゴム                   |
| 免震C | 10F | 鉄骨造         | 天然ゴム系積層ゴム、弾性すべり支承、鉛ダンパー      |
| 免震D | 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 |
| 制振E | 21F | 鉄骨造         | 粘性体制振壁、極軟鋼制振壁                |

表2 使用した強震記録

| 建物   | 観測期間            | 加速度計の位置    |
|------|-----------------|------------|
| 免震 A | 2000.9-2021.10  | 9F<br>B1F  |
| 免震 B | 2000.10-2016.11 | 10F<br>B1F |
| 免震 C | 2017.10-2021.11 | 10F<br>B1F |
| 免震 D | 2003.8-2022.3   | 11F<br>B2F |
| 制振 E | 2003.5-2020.2   | 21F<br>B4F |

### (1) 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 では 2021 年福島県沖地震、免震建物 D および制振建物 E では 2011 年の東北地方太平洋沖地震の記録を用いた。免震建物において、免震層上の加速度は建物基部の加速度と比較し、35%~55%低下していることから、免震による加速度の応答低減効果が確認できた。また制振建物 E では、地震の最中に減衰定数が 1%から 5%程度に増大した。

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 7mm、免震建物 D は 51mm で、設計許容変位と比べ十分小さい。

### (2) 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固有振動数と減衰定数の同定を行った。表 2 に観測期間と使用した加速度計の設置位置を示す。同定には震度 2 以上の地震動で観測された加速度記録を用いた。

図 1 に分析結果の一例として免震建物 A の結果を示す。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。2003 年の十勝沖地震より前、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約 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近づくことがわかった。その他の全ての建物においても、免震建物 A と同様に、固有振動数と減衰定数の振幅依存性が確認できた。また、免震建物 B, D, 制振建物 E では、(1) で示した最大加速度が記録された地震動を境に固有振動数が 5%~10%低下したが、その後回復傾向を示しており、免震建物 A と同様の結果となった。これは、大地震の際に変形の増大によ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たことで、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や制振部材に特性変化は生じていないことが確認できた。免震建物 C では、観測期間が短くそれほど大きな地震を受けていないため、固有振動数の変動はほぼ見られなかった。減衰定数は、すべての建物において、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。

### (3) 解析による地震応答の検証

免震建物 A および免震建物 C 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 2 に免震建物 A における免震層変位の比較を示す。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。免震建物 C でも同様の結果が得られた。

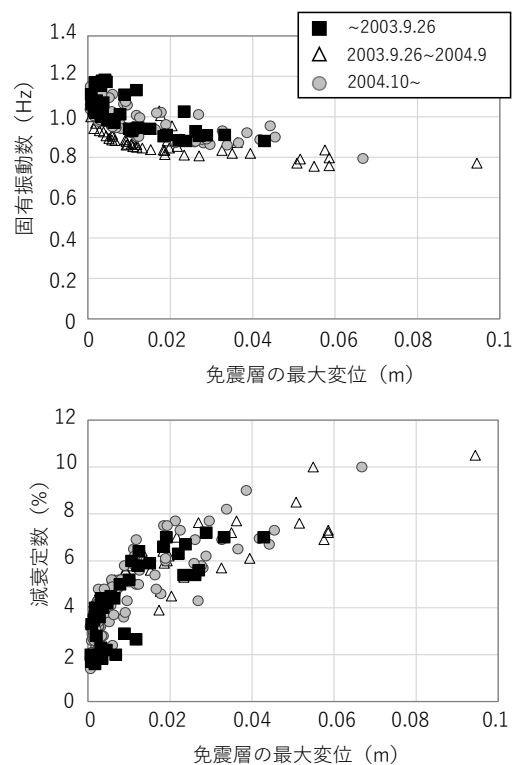


図 1 固有振動数、減衰定数の振幅依存性

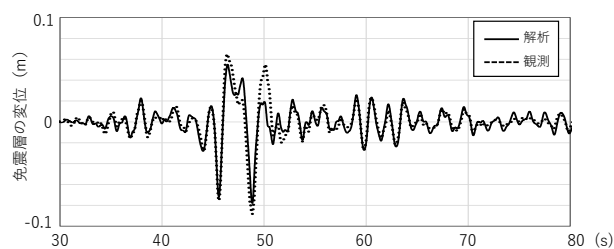


図 2 解析結果と強震観測記録の比較