

観測データを用いた免震建物の東北地方太平洋沖地震前後における構造特性変化の分析

横浜国立大学 学生会員 ○藤井 浩子
 横浜国立大学 正会員 西尾 真由子
 横浜国立大学 フェロー 藤野 陽三

1. はじめに

免震構造は、地震力のエネルギーを装置や特定の層で吸収し、上部構造に伝えないようにすることで損傷や倒壊を回避する技術であり、実構造への適用が進んでいる。本研究で対象とする高層非対称免震構造物（芝浦工業大学豊洲キャンパス研究棟・教室棟）では、長期観測データの取得が行われている。既往研究における解析¹⁾により、2011年3月11日の東北地方太平洋沖地震（以下、本震）によって免震効果が機能し上部構造が並進する1次モードとともに、上部構造のねじれを含む2次と3次モードも励起され、その振動特性が地震後に回復していないことが示された。また、数値モデルによる検証により²⁾、大きな地震時にも上部構造の剛性などのパラメータが、応答性状に影響を与えることが示された。そこで本研究では、この非対称免震建物の本震前後での構造特性の変動を明らかにすることを目的として、長期観測データの分析を行った。

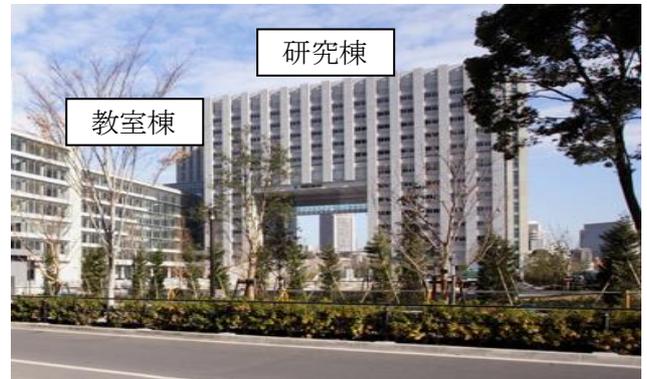
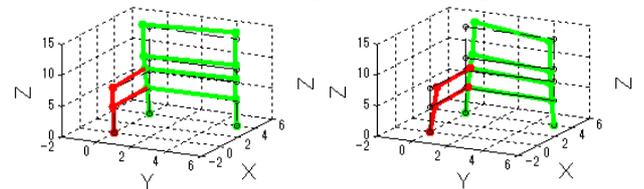
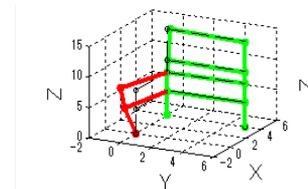


図1 対象免震建物の外観

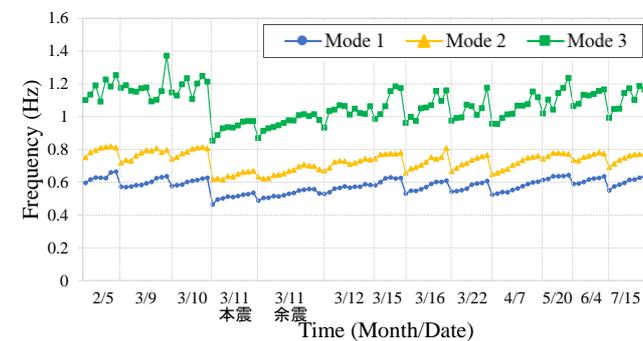


(a) 1次モード(0.46Hz) (b) 2次モード(0.58Hz)

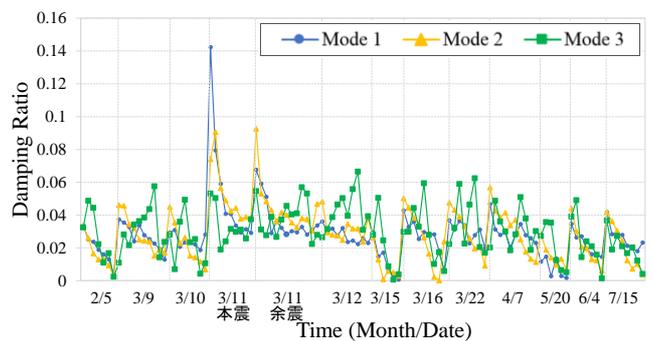


(c) 3次モード(0.87Hz)

図2 東北地方太平洋沖地震応答データから同定された固有振動数とモード形



(a) 固有振動数



(b) 減衰比

図3 約半年間の長期振動特性の時系列変化

図2に、本震のデータから同定された、1-3次モードを示す。このとき上部構造のねじれを含む2,3次モードが卓越していたことを、本検証でも把握した。その上で、本震前後を含む約半年間のデータに対してシステム

キーワード：免震構造，非対称，システム同定，モード形，伝達関数，構造特性

連絡先：〒240-8501 横浜市保土ヶ谷区常盤台79-5 TEL 045-339-4243 FAX 045-348-4565

同定を行い、長期的な固有振動数と減衰比の推移を示したものが、図3である。使用したデータは、本震時を含む2011年2月5日から7月15日までの約半年間の強震時のデータである。ここでは、各地震を50秒毎の領域に区切り、1回の地震の中での変動も分析した。本震時には、免震機能の発現によって全てのモードで固有振動数が大きく低下し、減衰比が大きく上昇している。長期的な変動をみると、1次固有振動数は、半年間で時間の経過とともに本震前の値に概ね回復したが、2次3次固有振動数では、半年間経過しても本震前の値まで回復していないことが確認された。このような変動の要因としては、免震層であればゴム支承にみられる Mullin's effect や免震装置の損傷などが考えられるが、2次3次モードで考慮すべき上部構造では、非構造部材などにおける全体的な剛性低下などが考えられる。そこで、上部構造・免震層のそれぞれでの構造特性変化を明らかにするため、上部構造内での伝達関数、および免震層での等価剛性の時系列変化を、次に検証した。

3. 伝達関数による上部構造のパラメータ変動の分析

上部構造の各階の各センサ箇所を取得された加速度データを用いて、各センサ間での伝達関数の推移から、位置情報を含む構造特性の時系列変化を調べた。図4(a)は、研究棟1階-9階間のデータの伝達関数(X方向)で、本震前(2011年2月5日)、本震、本震後(2011年7月15日)を比較している。この図から、特に2次モードにあたる0.6Hz付近のピークが、本震前まで戻りきっていないことがわかる。この箇所は、2次モードのモード変位がねじれによって最も大きくなる箇所であり、本震での剛性低下の可能性が考えられた。また、図4(b)は、3次モードにおいてモード変位が大きい教室棟1階-4階間の伝達関数(Y方向)であり、ここでも0.9Hz付近のピークが戻りきっていないことから、同様の考察が得られた。以上の結果により、上部構造においても励起されたモードで大きな変位を示す箇所では本震による剛性低下が生じている可能性を、伝達関数の推移から考察できた。

4. 等価剛性による免震層のパラメータ変動の分析

免震層の等価剛性は、観測データの中の免震層相対変位と免震層直上での加速度を用いることで、免震層での荷重-変位履歴に相当するプロット図5(a)のように求め、等価剛性に相当する傾き(図中赤線)を導出した。この傾きの本震前後での時系列変化を図5(b)に示す。この結果から、免震層では、本震により相当等価剛性が低下するが、半年間経過すると、ほぼ本震前の特性に回復することが確認された。

5. 結論

本研究では、対象免震建物において、本震時を含む約半年間の観測データの伝達関数および等価剛性評価により、構造特性変動を分析した。その結果、免震層での特性はほぼ回復している一方で、本震で励起された上部構造モードで大きなモード変位となる箇所では、剛性低下している可能性を示した。システム同定結果で本震後の固有振動数が2次3次モードで回復しなかったことが、上部構造の剛性低下によることを示唆しており、非対称免震建物では大地震時に免震機能が発揮されても、上部構造の構造特性変化に留意する必要性を示した。

参考文献

1) Siringoringo D. M. and Fujino Y., Long-term seismic monitoring of base-isolated building with emphasis on serviceability assessment, Earthquake Engineering & Structural Dynamics, Vol.44, 637-655, 2014.
 2) 黒田璃紗, 西尾真由子, 藤野陽三, 地震応答観測データと数値モデル感度解析による非対称免震構造の地震応答性状分析, 第14回日本地震工学シンポジウム, 2014.

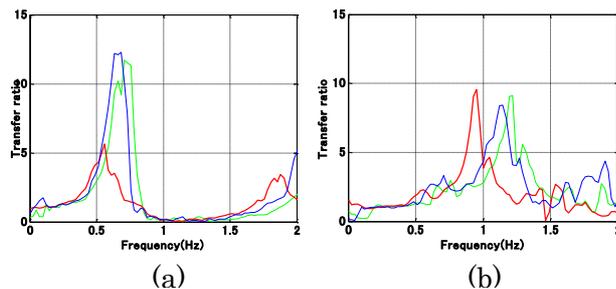
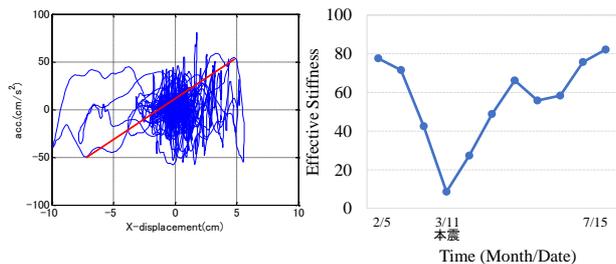


図4 伝達関数の本震前後での変化：(a)研究棟1-9階 (b)教室棟1-4階 (緑：本震前2011/2/5、赤：本震、青：本震後2011/7/15)



(a) 免震層変位-加速度プロット (b) 等価剛性の推移
 図5 免震層特性の変化