

芝浦工業大学豊洲校舎(高層免震)における高密度地震観測記録から 得られた東北地方太平洋沖地震時の挙動と設計構造モデルの検証

東京大学大学院 学生員 山崎寿史 東京大学 フェロー 藤野陽三
東京大学 正会員 Dionysius Siringoringo 長崎大学 正会員 西川貴文
芝浦工業大学 正会員 紺野克昭

1. はじめに

芝浦工業大学豊洲キャンパスは7階建の教室棟と14階建の研究棟がL字に結合した不整形な免震構造物である。免震デバイスとしては天然ゴム系積層ゴムアイソレータ、弾性すべり支承、鋼製U型ダンパー、鉛ダンパーが計146基配置されている。建物の3方向加速度センサーが20台、3次元デジタル変位計が4台、感圧式変位計が3台、計27台という密な計測システム(図1)から得られた広汎なデータを用いて東北地方太平洋沖地震の前・中・後の地震応答を詳細に調べ、地震時の建物動特性と設計構造モデルの検証を行った。

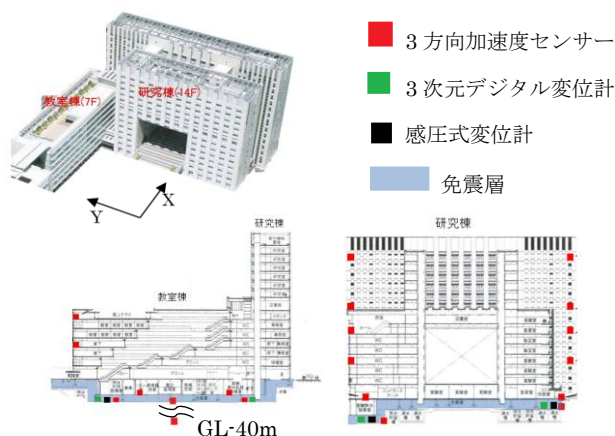
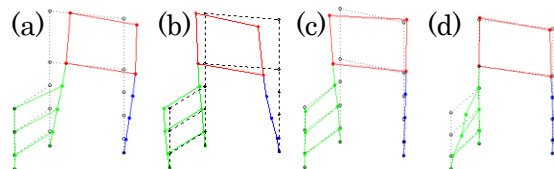


図1. センサーおよび免震層の位置⁶⁾

2. 地震時の建物動特性の変化

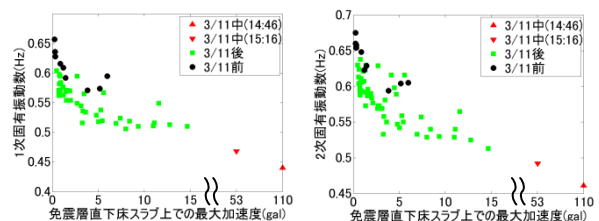
先に述べた計測システムで計測した2010年11月から2011年9月までの地震記録の内、94個の地震記録を用いてシステム同定を行い、固有振動数、減衰率の変化を調べた。同定手法としては、System Realization using Information Matrix(SRIM)¹⁾を用いた。

図2は、2011/3/9の比較的揺れの大きかった前震記録からSRIMを用いて同定した1～4次のモード形および固有振動数である。



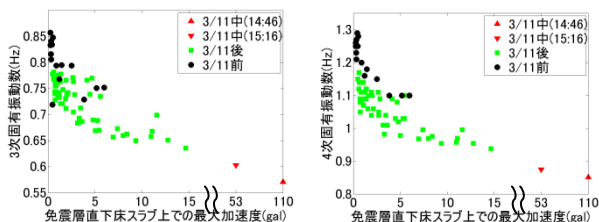
(a)1次 0.58Hz (b)2次 0.61Hz (c)3次 0.76Hz (d)4次 1.12Hz

図2. 2011/3/9の地震記録から同定したモード形



(a)1次固有振動数の変化

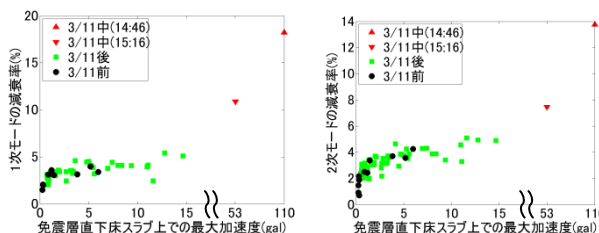
(b)2次固有振動数の変化



(c)3次固有振動数の変化

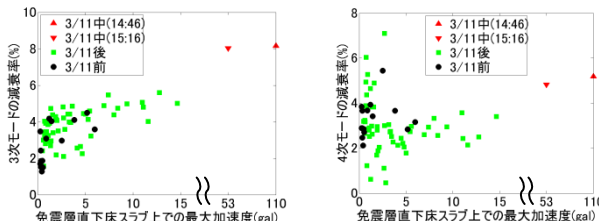
(d)4次固有振動数の変化

図3. 固有振動数(1～4次)と免震層最大加速度の関係



(a)1次モード減衰率の変化

(b)2次モード減衰率の変化



(c)3次モード減衰率の変化

(d)4次モード減衰率の変化

図4. モード減衰率(1～4次)と免震層最大加速度の関係

キーワード 高密度地震観測, 免震構造, 東北地方太平洋沖地震

連絡先 〒113-8656 文京区本郷7-3-1, TEL03-5841-7497, yamasaki@bridge.t.u-tokyo.ac.jp

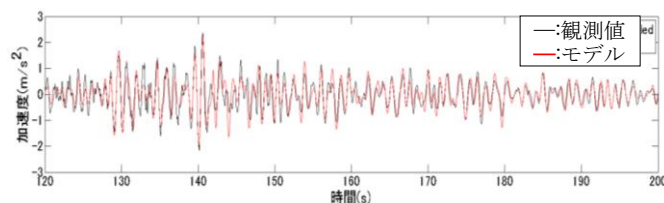
同様に他の地震記録に関しても1~4次モードを同定し、免震層直下で観測した地震波の最大加速度との関係について調べた。結果を図3、図4に示す。図3、図4から、最大加速度が非常に小さい5gal程度までの地震に対して1~4次全ての固有振動数が振幅に比例して15~20%と大きく減少し、減衰についても1~3次の減衰率が大きく増加していることが分かる。特に、3月11日14時46分に発生した本震および同15時16分に発生した最大余震時には固有振動数はさらに大きく低下し、1次モードの減衰率は20%近くまで増加している。また、同程度の最大加速度を持つ地震に関して本震の発生前と後の地震で固有振動数を比較した場合、本震後の方がわずかに低い値を示していることが分かる。

5. 設計構造モデルの検証

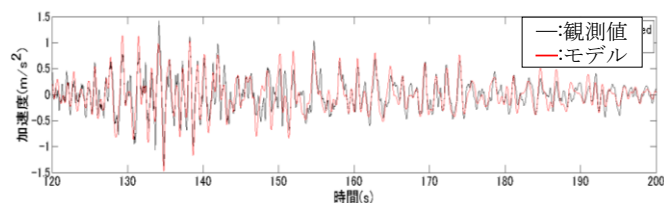
設計構造モデルは、図5に示すように各階1質点、並進2自由度、回転1自由度の計81自由度を持つ振れ振動形でモデル化を行った。また、免震層に設置された免震デバイスはそれぞれ個別にMulti Shear Springバイリニアモデル²⁾(図6)を用いた。剛性・質量・減衰比の値は設計値を使用した。以上の仮定に基づいて設計構造モデルを構築し、本震時に免震層直下床スラブ上で観測された地震加速度を入力地震波として上部構造の応答に関してモデルと観測値の比較を行った。結果を図7に示す。

図5. 設計構造モデル

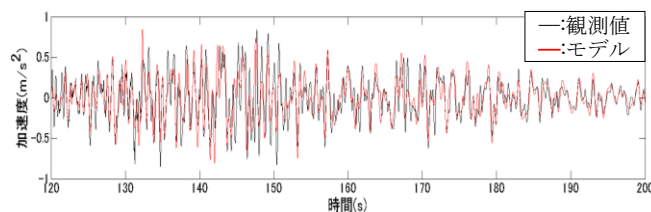
図6. MSS モデル



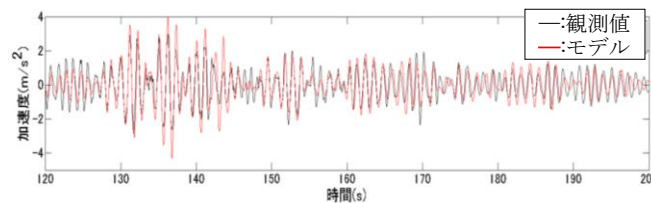
(a) 研究棟 14 階 X 方向



(b) 研究棟 14 階 Y 方向



(c) 教室棟 7 階 X 方向



(d) 教室棟 7 階 Y 方向

図7.本震時(2011/3/11 14:46)の建物の実観測応答とモデル解析値の比較結果

図7から、各棟最上階においてX・Y両方向ともに位相・振幅に関して概ねモデルと観測値が合致しており、設計構造モデルの妥当性が確認できる。

6. まとめ

本報では、高層免震建物である芝浦工業大学豊洲キャンパスの高密度モニタリング記録から得られた広汎なデータを用いて建物の地震時動特性および設計構造モデルの検証を行った。

システム同定を行った結果、固有振動数、減衰率、モード振幅に関して地震波の振幅依存性を確認した。特に固有振動数は、最大加速度5gal程度の小さな地震に対して約15%程度低下した。また、本震時には免震装置がよく作動し、減衰率は最大約18%程度と非常に大きな値を示した。さらに、設計構造モデルを構築し東北地方太平洋沖地震時の実観測応答と比較したところ、良い合致を示し、設計構造モデルの妥当性を示した。

謝辞：本研究は科学技術振興機構CRESTプログラム（代表 藤野陽三）で行ったものである。ここに感謝いたします。

参考文献

- 1) Dionysius M. Siringoringo, Yozo Fujino : Observed dynamic performance of the Yokohama-Bay Bridge from system identification using seismic records, Structural control and health monitoring, 13, 2006, pp226-244,
- 2) 免震構造協会：水平2方向加力時の高減衰ゴム系積層ゴム支承の性状について - 応答特性 -
http://www.jssi.or.jp/information/detail/HDR2dir_2.pdf, 2010.7