

東北地方太平洋沖地震における芝浦工業大学豊洲校舎の地震記録

芝浦工業大学 正会員 紺野克昭 芝浦工業大学大学院 学生員 ○須山幸太郎
 長崎大学 正会員 西川貴文 東京大学 正会員 藤野 陽三
 ビーエムシー 正会員 阿部雅人

1. はじめに

芝浦工業大学豊洲キャンパスには、構造物、地盤内の計 24 箇所に 3 成分加速度センサー、構造物内の計 4 箇所に 3 次元デジタル変位計が設置され、高密度な地震観測システムが構築されている¹⁾。これらは校舎竣工年の 2005 年と 2010 年の 2 回に分けて整備された。今回は、この地震観測システムの概要を報告するとともに、2011 年 3 月 11 日の東北地方太平洋沖地震で得られた地震記録の簡単な解析結果を報告する。

2. 地震観測システムの概要

対象地(図 1)は埋立地である江東区豊洲に位置し、長辺が約 180m、短辺が約 110m、幅 30~50m の L 字型の連続した基礎スラブ上に 4 種類の免震装置(積層ゴムアイソレーター、同一体型鋼製 U 型ダンパー、鉛ダンパー、弾性すべり支承)が配置され、その上に交流棟、教室棟、研究棟が建造されている。交流棟は独立しているが教室棟と研究棟は結合している。対象構造物が支持層として埋没段丘礫層(洪積層)の上には、沖積層と埋立土が 35~45m 程度の厚さで堆積している。そのため、軟弱地盤上での免震装置の効果・性能を検討することを目的とし、2005 年の竣工時に、図 1 に示すように免震装置を挟むように免震装置の下側の基礎スラブ上に 5 基、上側の地下 1 階と地上 1 階に 7 基、および、建物から水平方向に約 6m 離れた地盤内(GL-1,-40m)に 2 基の計 14 基のサーボ型加速度センサー(SV-355T, 東京測振)が設置されている(図 1 の●印)。さらに、2010 年には上部構造の応答特性評価や構造物全体の維持管理、損傷評価などを目的に、上部構造に 10 基、基礎スラブ上に 1 基、地盤上に 1 基のサーボ型 LAN ネットワーク加速度センサー(CV-374, 東京測振)を設置している(図 1 の■印)。また、同時に教室棟と研究棟の免震層内にそれぞれ 2 基の変位計を設置している(図 1 の▼印)。地震記録は、加速度センサーと変位計については、これらと専用線で結ばれた 1 台の集録装置に保存される。一方、LAN ネットワーク加速度センサーは各センサー内に保存される。いずれも 100Hz サンプリングである。時刻校正は、集録装置については直接 GPS を用いて行っている。一方、ネットワークセンサーについては、GPS に接続している学内の NTP サーバーを用いて行っている。観測システムのより詳細については、参考文献 1) を参照されたい。

3. 東北地方太平洋沖地震の地震記録

集録装置の地震記録については、同装置の不調により、S 波到着後の 5 分間のみ記録している。各加速度センサーの地震記録から求まる計測震度は 4.2~5.9 で、最小値は地盤内 GL-40m で、最大値は教室棟 7 階で得られている。地盤内(GL-1m)および守衛小屋内では、それぞれ 5.0, 5.1 で、震度 5 強の地震動であった。

今回は、免震装置の上方と下方に設置された加速度センサー No.12 と No.5 に注目し、本震と前震、余震の記録を用いて免震層の特性について若干の検討を行ったので報告する。使用した地震の震央位置と諸元をそれぞれ図 2, 表 1 に示す。なお、図 2 中の枠線は本震の震源断層(450×200km)を示している²⁾。表 1 には、免震層上下の最大加速度値、2 乗平均平方根(RMS)を示しており、上下の比は本震で低減していることが分かる。

図 3 に変位計 D1 で得られた免震装置上下の水平面内の相対変位軌跡を示す。CH1 方向に 11cm、CH2 方向に 4.5cm と大きな相対変位が生じていたことが分かる。また、このときの周期は約 2.6 秒であった。ここで、CH1, CH2(図 1 中の矢印)は、校舎の短辺、長辺に沿っており、方位はそれぞれ N45° W, N45° E である。図 4 に本震における No.12, 5 の加速度波形記録を示す。図 5 に各地震の No.5 における加速度フーリエスペクトルを示す。スペクトルは S 波初動部(本震については主要動開始部)から 40.96 秒間の区間の波形に対し、バンド幅 0.2Hz の Parzen ウィンドウを用いて平滑化を行い求めている。3 つの前震、余震のスペクトルは同程度で、本震に較べてオーダーが 1~2 小さいことが分かる。図 6 には各地震における No.12 と No.5 のスペクトル比を示している。前震、余震の長周期側のピーク周期は 2 秒前後であるが、本震ではこのピークは長周期側に移動し、ピークも明瞭でなくなっていることが分かる。また、全体的に前震、余震で見られるピークは本震でも見られるが、振幅は小さく、長周期側に移動している傾向があることが分かる。

4. まとめ

本報では、埋立地の軟弱地盤上に免震構造を有する構造物の高密度地震観測システムを紹介した。また、東北地方太平洋沖地震で得られた加速度記録を基に、免震装置上下のスペクトル比が前震、余震のそれに較べて、スペクトル比の値は小さくなり、ピーク周期も伸びる傾向が見られたことを示した。

キーワード 地震観測, 免震構造, 東北地方太平洋沖地震

連絡先 〒135-8548 江東区豊洲 3-7-5, Tel 03-5859-8357, konno@sic.shibaura-it.ac.jp

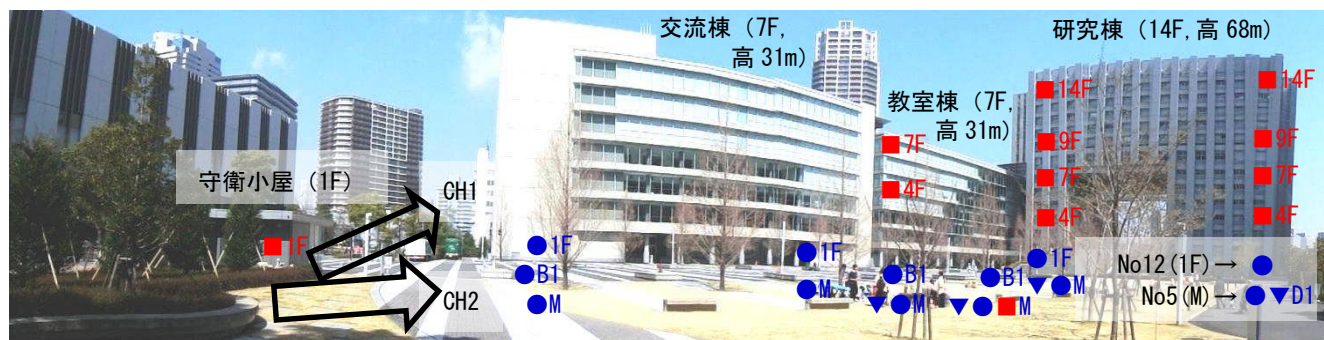


図1 地震観測機器の位置 (●加速度センサー, ▼デジタル変位計, ■LAN ネットワーク加速度センサー; M=免震層の基礎スラブ上)

表1 解析に使用した本震と前震、余震の諸元

EQ	発生 月日時	深さ km	M_J	震央地域名	震央距 離 km	最大加速度*(上段) RMS** (下段)
本震	3/11/14:46	24	9.0	東北地方 太平洋沖	380	132.2/118.2 (1.12) 42.5/42.2 (1.01)
1	3/09/11:45	8	7.3	三陸沖	429	6.9/5.9 (1.17) 2.6/2.3 (1.13)
2	3/22/18:19	10	6.3	福島県沖	270	7.3/5.4 (1.35) 2.3/2.0 (1.17)
3	3/19/18:57	20	6.1	茨城県北部	141	14.1/11.2 (1.26) 3.9/2.9 (1.36)

*水平2成分合成値(gal). 数値は加速度センサーNo.12/No.5の値, ()内の数値はこれらの比. **水平2成分の2乗平均平方根(RMS). 数値は加速度センサーNo.12/No.5の値, ()内の数値はこれらの比.



図2 解析に使用した本震と前震、余震の震央位置

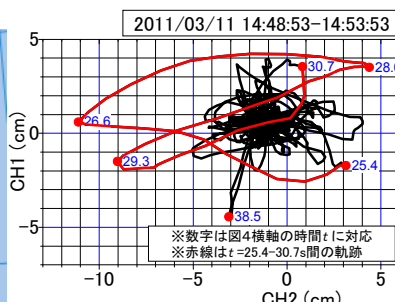


図3 変位計D1の水平面内の粒子軌跡

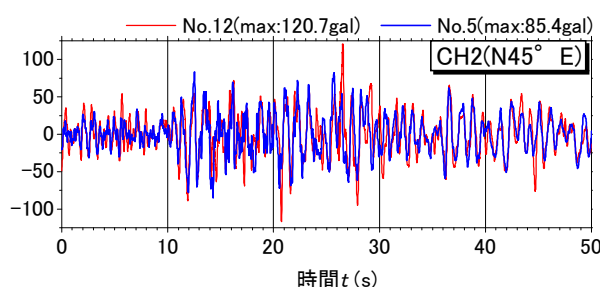
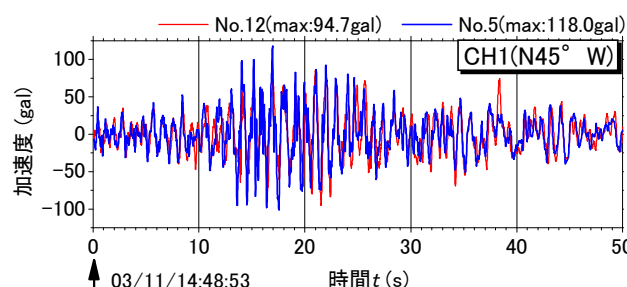


図4 本震におけるNo.12(免震層上一階)とNo.5(免震層の基礎スラブ上)の水平2方向の加速度記録(主要動部)

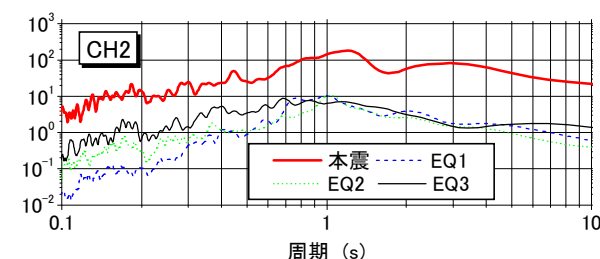
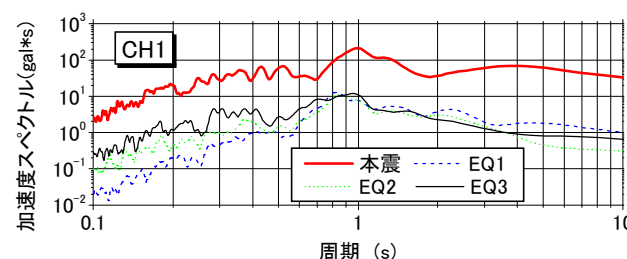


図5 各地震におけるNo.5の加速度フーリエスペクトル

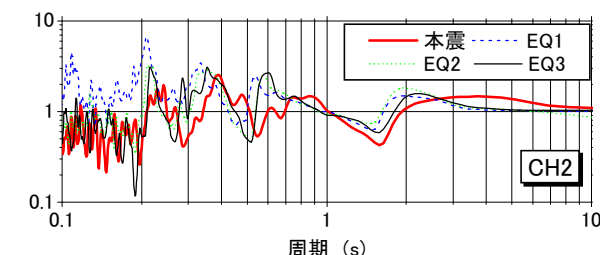
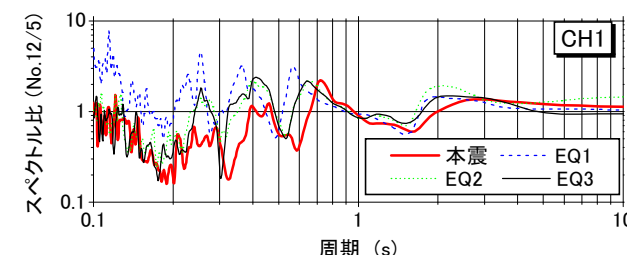


図6 各地震におけるNo.12とNo.5の加速度フーリエスペクトル比

謝辞: 地震観測システムに関して、(株)東京測振 石井誠寿氏、芝浦工大施設課の方々大変お世話になりました。本研究の一部は科学技術振興機構CREST(研究代表: 藤野陽三)の助成を受けています。記して感謝申し上げます。

参考文献: 1) 芝浦工業大学豊洲校舎(免震構造)における地震観測(暫定版)HP: <http://www.eq.db.shibaura-it.ac.jp/Mensin/index.shtml>,
2) 八木勇治: 2011年3月11日東北一太平洋沿岸地震(暫定 Ver3) HP: <http://www.geol.tsukuba.ac.jp/~yagi-y/EQ/Tohoku/>