

芝浦工業大学豊洲校舎における地震観測と構造物の回転応答

芝浦工業大学

学生会員

○高橋

英臣

芝浦工業大学

正 会 員

紺野

克昭

東京大学

正 会 員

西川

貴文

東京大学

正 会 員

藤野

陽三

1. はじめに

芝浦工業大学豊洲校舎(2005年9月竣工)は、図1に示すように、地上7階の交流棟(高さ31.2m)、教室棟(同31.2m)と地上14階の研究棟(同67.5m)の3棟からなる。いずれも上部構造はCFT構造を用いた鉄骨造である。また、地下には免震層があり、基礎免震として4種類の免震部材(鉛ダンパー、積層ゴムアイソレーター、積層ゴムアイソレーター一体型鋼製U型ダンパー、弾性すべり支承)が配置されている。なお、各棟の免震層は、段差はあるものの基礎スラブとして連続している。

一方、豊洲校舎のある豊洲地区は、明治・大正期に隅田川河口改良工事の浚渫土を用いて埋め立てられたのが始まりとされ、昭和12年頃に完了した埋立地である。豊洲校舎が支持層とした埋設段丘礫層(洪積層)の上には、下位から沖積層である7号地層、有楽町層と埋立土が堆積しており、これらの厚さは35~45mと非常に厚く、当該構造物は軟弱地盤上の構造物といえる。

豊洲校舎では、軟弱地盤上での免震装置の効果・性能を検討するために、図2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台、上側の地下1階および地上1階に7台、および、建物から水平方向に5.6m離れた地盤内(GL-1mとGL-40m)に2台の計14台のサーボ型加速度計が設置されている。いずれも東京測振社製で、建物内の12台の加速度計はSV-355Tを、地盤内の2台はSA-355CTを使用し、100Hzサンプリングで記録されている。本地震観測システムは2005年7月29日に稼働している。

図2から分かるように豊洲校舎は長大である。したがって、得られた地震記録は、長大構造物の多い土木構造物に対しても有益な情報を与えると思われる。長大構造物の問題として、入力波の位相差による構造物の回転運動の励起が挙げられる。本研究では、2010年4月1日時点で、最も大きな変位応答を示した2007年7月16日新潟県中越沖地震($M_{JMA}=6.8$)を対象に、水平面内での回転応答を検討したので報告する。

2. 2007年新潟県中越沖地震での観測記録の概要

表1に加速度記録の各成分の最大値と計測震度を示す。また、表中には加速度波形を周波数領域で積分して求めた変位波形の最大値も示している。なお、積分の際には、長周期成分のノイズを除去するため、コーナ振動数0.1Hz、遮断振動数0.05Hzのローカットフィルターを使用している。表1から水平動の加速度最大値は免震装置の下側では6.6~9.5galに分布しているのに対し、上側では10.1~17.5galと2倍程度に増幅され



図1 芝浦工業大学豊洲校

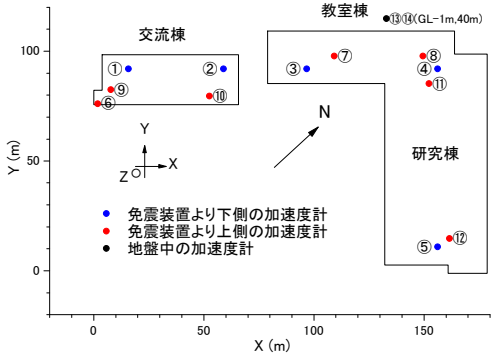


図2 加速度計の設置位置

表1 各地震計の最大振幅と計測震度

No.	加速度最大値 (gal)			変位最大値 (cm)			計測震度
	Y	X	Z	Y	X	Z	
1	7.50	8.30	2.41	2.42	3.79	0.73	2.63
2	7.10	8.14	2.47	2.37	3.78	0.89	2.63
3	6.67	8.18	2.30	2.32	3.85	0.75	2.63
4	7.35	8.11	2.98	2.34	3.69	0.76	2.63
5	7.66	9.50	2.18	2.23	3.85	0.75	2.75
6	16.25	11.97	2.64	2.53	3.86	0.72	2.97
7	12.38	16.32	2.25	2.40	3.97	0.75	3.08
8	11.07	16.36	3.17	2.40	3.97	0.74	3.11
9	14.22	11.96	2.37	2.45	3.87	0.74	2.95
10	10.14	12.09	2.69	2.42	3.88	0.74	2.85
11	11.27	17.49	3.54	2.40	3.97	0.75	3.12
12	11.50	13.53	2.31	2.39	3.88	0.75	3.10
13	9.36	7.77	3.69	2.37	3.59	0.76	2.62
14	4.49	6.08	2.13	2.01	3.29	0.70	2.30

キーワード 地震観測, 免震装置, 軟弱地盤, 回転応答, アニメーション

連絡先 〒135-8548 江東区豊洲 3-7-5 芝浦工業大学 地震防災研究室 TEL 03-5859-8357

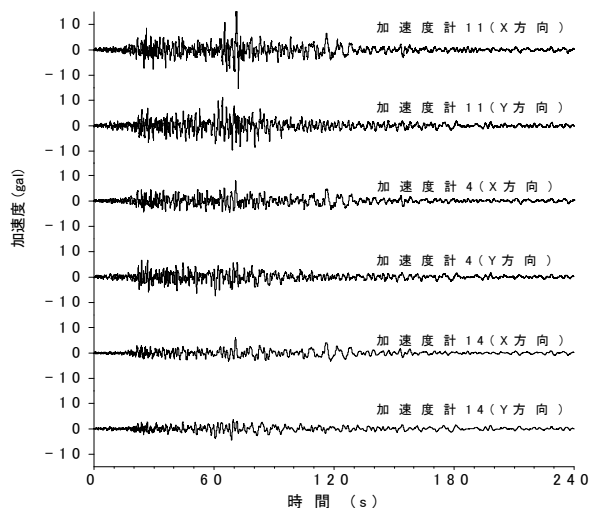


図3 加速度記録の例

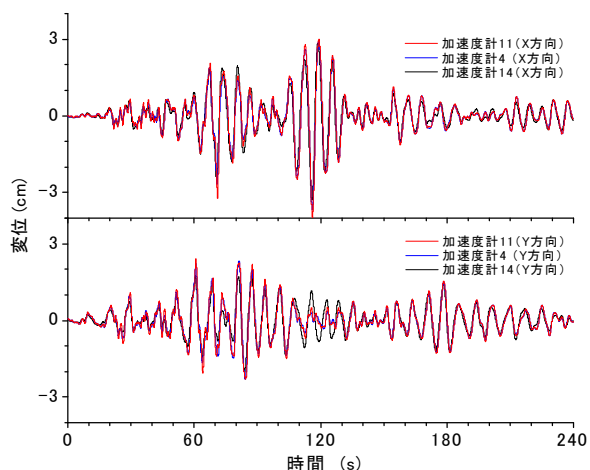
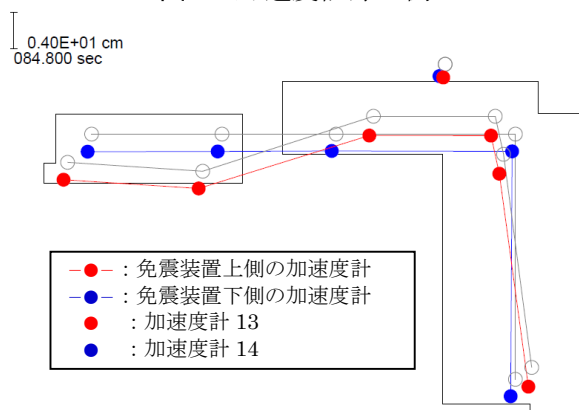
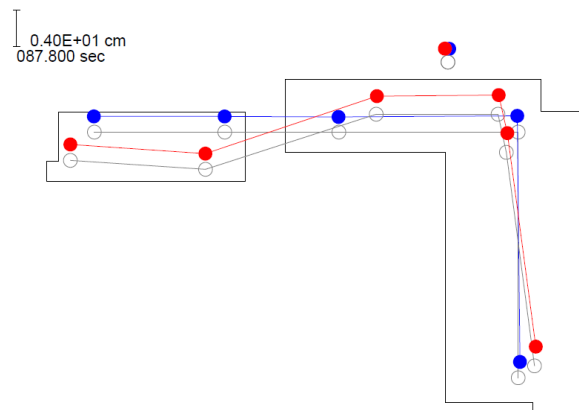


図4 変位波形の例

図5 変位応答のスナップショット ($t=84.8$ 秒)図6 変位応答のスナップショット ($t=87.8$ 秒)

ていることが分かる。一方、水平動の変位最大値は免震装置の下側では2.2～3.9cm、上側でも2.4～4.0cmとほぼ同程度の振幅となっていることが分かる。図3に地震計14, 4, 11の水平動の加速度波形を示す。波形の特徴は同方向であれば全体的に類似しており、上層の地震計ほど振幅が大きくなっていることが分かる。図4に同地震計の変位波形を示す。同図から、3地震計の変位波形は、わずかな差異は見られるがほぼ同振幅で応答していることが分かる。これは、変位波形の卓越成分が周期6～7秒の長周期の表面波であるため、深さ方向の振幅分布において、地表面付近とGL-40mとはあまり違いがなかったためと考えられる。

3. アニメーションで見る構造物の回転応答

図4より変位応答は表面波によるものと推察される。したがって、地盤の水平方向に位相差が発生し、長大構造物においては、回転応答が発生することが予想される。そこで、回転応答を検討するため、0.2秒間隔で変位応答のスナップショットのファイルを作り、最後に、これらを結合させてGIFアニメーションファイルを作成した。図5, 6に時刻 $t=84.8, 87.8$ 秒におけるスナップショットを示す。なお、図5, 6中の灰色の線は、 $t=0$ 秒における加速度計の初期位置を示している。アニメーションからは、基礎スラブ、上部構造の第一層スラブは剛体的に挙動していること、基礎スラブ、第一層スラブには若干の回転応答が見られ、また、両スラブ間の相対的な回転応答も見られること、などが分かった。なお、これらのアニメーションは、次のURL (<http://www.eq.db.shibaura-it.ac.jp/>) で公開している。

現在、CREST (科学技術振興機構) の研究課題「都市基盤の災害事故リスクの監視マネジメント (代表 藤野陽三)」の一環で、免震層にデジタル式変位計4基、上部構造などにネットワーク型加速度計12基の設置などを進めている。今後は、上部構造を含めた、地震時の回転応答について検討していく予定である。

謝辞: GIFアニメは明星大教授年縄巧氏のプログラムを元に作成しました。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に大変お世話になりました。本研究の一部は、CRESTの助成を受けています。記して、感謝申し上げます。