

携帯情報端末の内蔵センサを用いた簡易地震計の性能と建物モニタリングへの展開

正会員 ○平山義治^{*1} 正会員 飛田 潤^{*2}
正会員 福和伸夫^{*3}地震観測 強震観測 汎用強震計
加速度 変位 モニタリング

1. はじめに

音楽、ゲーム、動画撮影などに使用される普及型携帯情報端末には、端末の姿勢や動きを感知してソフトウェアに利用するための加速度センサが内蔵されている。これを用いて振動を観測し、端末のソフトウェアでデータ分析を行い、通信機能でサーバに転送して、さらにそれらのデータを活用するクラウドシステムを開発している(吉田他¹⁾)。これによれば多数地点の地震観測を容易に行いうる利点がある。ただし内蔵センサは小型の半導体型が多く、高精度の応答観測には必ずしも十分ではない。

本報告では実大試験体の振動台実験において、携帯情報端末を用いた簡易地震計による多点同時計測を行い、小型汎用強震計^{2),3)}などと比較して有効性を検証したものである。

2. 実験と計測の概要

今回の検討は、長周期地震動を受ける高層建物の地震時応答による建物機能保持・避難性・室内安全性に関するE-ディフェンス実験⁴⁾において実施したものである。試験体の写真を図1に示す。



図1 試験体

30 階建高層建物の上層階と下層階の応答を再現するよう、実大室内実験用の上層・下層と重量のみの中間層を積層ゴムで接続した形になっている。ここでは便宜上、下層階の実験室床を 1 階、天井裏を 2 階、中間の重量スラブ上を 3 階、上層階の実験室床を 4 階、その上の屋上階を 5 階と呼ぶ。また実験最終日には積層ゴム部分を固定して 5 階建の短周期建物相当の振動特性を持つ構造体として加振実験がなされた。したがって、周期の異なる高層建物と低層建物について、複数の特性の異なる入力に対する応答の観測結果を検討できることになる。

3. 計測の概要

簡易地震計は携帯情報端末(ここでは iPod)を用いた

もので、文献 1)と同一である。設置位置は、振動台上と各階の床位置であるが、1 階と 4 階の室内実験の床は避けて床下の鉄骨部材に設置した。また並列して小型汎用強震計も設置した。外観と設置状況を図 2 に示す。簡易地震計は携帯情報端末をプラスチック容器内にマジックテープで固定し、その容器を両面テープで試験体に接着した。汎用強震計は板に木ネジで固定し、板をボンドで試験体に接着した。



図2 汎用強震計(左)と簡易地震計(右)の設置状況

今回の設置状況では AC 電源の供給が難しいため、充電池による計測状況を確認した。ここで用いた携帯情報端末では、電源 ON 状態を維持した場合には内蔵電池で 5 時間程度しか動作しないため、各端末に携帯充電池を接続し、実験時間中に電気供給が維持されるようにした。もちろん、AC 電源が供給できれば連続稼動に支障はない。汎用小型強震計は有線 LAN で接続することで電源も供給しており、この点は無線 LAN に比較してすぐれている。

時刻同期はいずれも NTP を用いた。データ収録と回収については、汎用強震計は数日分の記録容量を持っているため連続データとして収録し、1 日の実験終了後に LAN 経由でまとめて回収した。簡易地震計については、収録記録のネットワーク経由での転送は行わず、スタンドアロン相当で運用した。起動はトリガのみ、端末に一度に記録できるデータ数は 30 個しかなく、毎回の実験終了後にデータを回収する時間が必要である。

トリガ設定レベルは、ノイズレベルが P-P 10gal 程度であることを考慮して、やや大きめの 50gal に設定した。

4. 取得されたデータ

実験は 3 日間行われた。表 1 に簡易地震計のデータ取得状況を示す⁴⁾。目標入力加速度と比較して、簡易地震計のトリガ設定はほぼ条件どおりに機能していたと考えられる。

表1 加振スケジュールと簡易地震計の記録状況

	目標加速度(gal)	基礎	2F			3F			屋上		
			中央	北東	南西	中央	梁	北東	南西	北西	南東
1日目											
ホワイトノイズ	50	-	○	-	-	○	○	-	-	-	-
JMA神戸波25%	200	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
西新宿本震50%	40	-	-	-	-	-	○	-	-	-	-
西新宿本震100%	80	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
西新宿余震150%	40	-	○	○	○	○	○	○	○	○	○
ホワイトノイズ	50	-	○	-	-	○	○	-	-	-	-
2日目											
ホワイトノイズ	50	-	○	-	-	○	○	-	-	-	-
西新宿余震75%	20	-	-	-	-	-	○	-	-	-	-
西新宿余震330%	100	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
ホワイトノイズ	50	-	○	-	-	○	○	-	-	-	-
3日目											
ホワイトノイズ	50	-	○	-	-	○	○	-	-	-	-
西新宿余震330%	100	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
JMA神戸波25%	200	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
JMA神戸波50%	400	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
JMA神戸波75%	600	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
ホワイトノイズ	50	-	○	-	-	○	○	-	-	-	-

5. 波形の比較とコヒーレンス

簡易地震計と汎用強震計の収録波形を比較・考察する。観測例として基礎部で記録された2日目の西新宿最大余震330%と3日目のJMA神戸25%の加速度波形と積分してもとめた変位波形を図3に示す。なお、汎用強震計の時刻同期は問題なかったが、簡易地震計では最大0.38秒のずれが見られたため、汎用強震計の波形と相関をとることにより、時刻ずれを補正した。

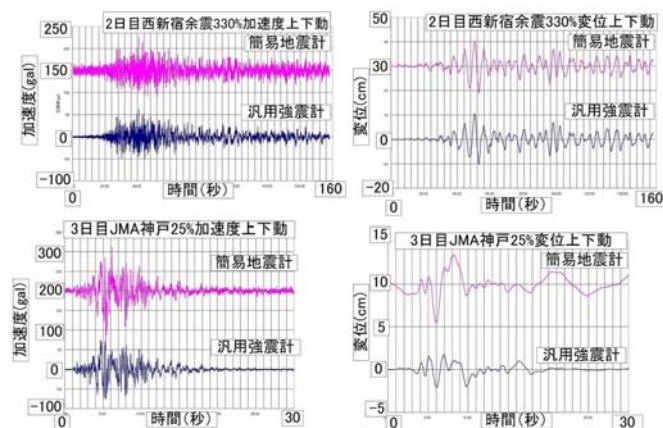


図3 基礎に設置した簡易地震計(赤)と汎用強震計(青)の上下動成分の加速度波形と積分した変位波形

簡易地震計と汎用強震計の加速度波形は、ほぼ一致している。しかし、簡易地震計は特に上下動成分のノイズレベルが大きい傾向があり、ある程度以上の振幅でないと精度が十分ではないと推察される。変位波形については、西新宿余震波入力時では波形、最大値ともによく一致しているが、JMA神戸波入力時では相違が見られる。これはパルス状入力では大きな変位が生じる場合は、広帯域で高い精度が必要であり、十分な計測ができなかったことに対応している。長周期の応答を対象とすれば、変位・相関変形の検出による損傷モニタリングも可能性がある。

次に簡易地震計と汎用強震計の南北成分のコヒーレンスを図4に示す。概ね0.1Hzから5Hzまで一致しているが、長周期側と6~7Hzで相関が低いことも分かる。上下動は水平動よりも高周波数側で一致がよくない。これは、簡易地震計は高周波成分にノイズを多く含んでいるためと考えられる。

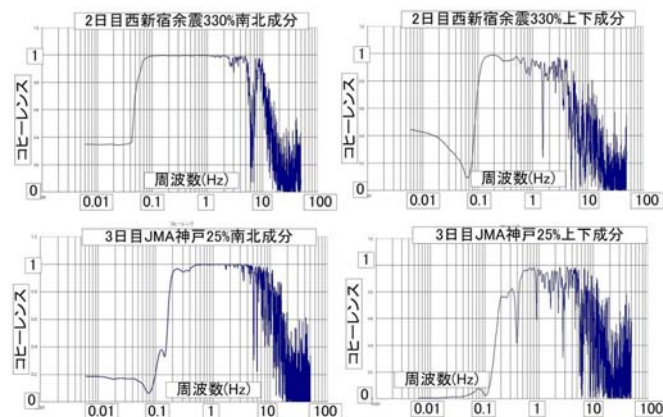


図4 簡易地震計と汎用強震計のコヒーレンス

6. まとめと課題

以上より、構造損傷や室内被害が出るような大きな地震の計測について、波形観測や計測震度などは簡易地震計による計測で十分であると考えられる。また変位の精度から層間変形角などの評価も可能である。ただし、簡易地震計でNTPによる時刻同期設定にもかかわらず、若干の時刻ずれが生じた。このため、時刻同期の処理が必要な場合がある。

ノイズレベルに関する問題は、モニタリングで小振幅の記録を蓄積する場合は影響が大きい。本報の実験よりトリガレベルを下げ、19階建建物に設置し、汎用強震計と並べて自然地震でテストを重ねている。

謝辞

本報告の実験は、首都直下地震防災・減災特別プロジェクト「都市施設の耐震性評価・機能確保に関する研究(2)長周期地震動による被害軽減対策の研究開発」の一環で実施されたものである。プロジェクトを実施した(独)防災科学技術研究所の関係各位に記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 吉田稔、藤原広行：i 地震クラウドシステムを用いた建物の地震応答観測網、日本建築学会大会学術講演梗概集(関東)、B-2、pp.939-940、2011.8
- 2) 平山義治、飛田潤、福和伸夫、長江拓也：汎用強震計による鋼構造試験体の地震応答と変位計測、日本建築学会大会学術講演梗概集(北陸)、B-2、pp.69-70、2010.8
- 3) 平山義治、飛田潤、長江拓也、福和伸夫：ネットワーク接続小型地震計の多点同時観測による高層建物試験体の損傷検出、日本建築学会大会学術講演梗概集(関東)、B-2、pp.439-440、2011.8
- 4) 吉澤睦博ほか、地震時の室内被害による建物機能損失に関する実験的研究(その1)日本建築学会大会学術講演梗概集(関東)、B-2、2012.9

*1 白山工業・博士(理学)

*2 名古屋大学災害対策室教授・工博

*3 名古屋大学減災連携研究センター教授・工博

*1 Hakusan Corporation, Dr.Sci.

*2 Prof., Disaster Management Office, Nagoya Univ., Dr.Eng.

*3 Prof., Disaster Mitigation Research Center, Nagoya Univ., Dr.Eng.