

汎用強震計による鋼構造試験体の地震応答と変位計測

正会員 ○平山義治^{*1} 正会員 飛田 潤^{*2}
正会員 福和伸夫^{*3} 正会員 長江拓也^{*4}

強震計 鋼構造 応答
立体振動特性 変位 損傷

1. はじめに

大規模な地震が発生した際に建築物の健全性を早期に把握するためには、建物応答や構造損傷を観測し評価する必要がある。その際に安価な汎用強震計が利用できれば効果的であり、この種の強震計の有効性を把握しておくことが必要である。本論では 2009 年 9 月～10 月に行われた E ディフェンスにおける鋼構造高層建築物の振動試験¹⁾において、静電容量式加速度センサによるネットワーク接続型の小型汎用地震計を多点に展開して観測し、建物応答や構造損傷の評価がどの程度できるかを検討した。

2. 実験と計測の概要

実大振動実験は、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」の中で行われた。試験体の全体図、汎用強震計の位置とレファレンスとして使用した防災科研設置の変位計の位置を図 1 に示す。汎用強震計は▲印で示しており、全部で 30 箇所である。

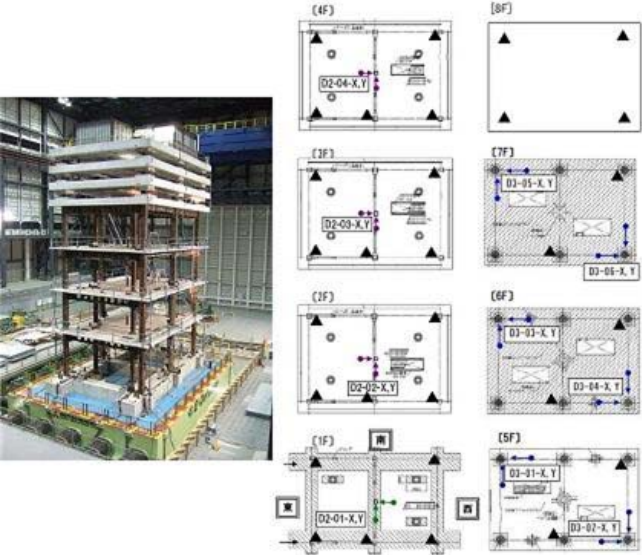


図 1 試験体全体図と、変位計及び強震計設置図

本論で使用した汎用強震計(白山工業製 SU103)の加速度センサは、ノイズレベルが約 0.1gal であり、温度特性はあまり良くないものの、周波数特性は 10Hz から 0.1Hz 程度の範囲で平坦、1500gal 程度まで直線性がある。各地震計は LAN で接続され、操作、データ伝送、NTP (Network

Time Protocol)による時刻同期、および電源供給を受けている。観測点を多点に展開することにより、詳細な立体振動の動画の作成が可能であり、床面の回転やねじれ、フレームの変形を容易に観察することができる。なお、本論で分析に使用した実験データは、梁が破断した実験が行われた 2009 年 10 月 2 日の名古屋三の丸波及びホワイトノイズによる加振のケースである。

3. 強震計から求めた変位と変位計データとの比較

汎用強震計の性能を把握するために、観測記録を積分して作成した変位波形と、変位計データとの比較を行った。加速度から変位への計算は、波形データをフーリエ変換し、0.05Hz-0.3Hz 間および 25Hz-50Hz 間が直線の台形型のバンドパスフィルタをかけ、周波数の各値を $-\omega^2$ で割ったのちに逆変換することにより求めた。汎用強震計と変位計のデータの間では時刻が同期されていないため、両者のずれが一番小さくなるように時刻あわせをした。両者の波形を図 2 に重ねて示す。これは、桁方向の 2・3 層に破断が観測された最初の三の丸波入力ケースの 7 階の変位の例である。黒線が積分した変位、灰線が変位計の変位である。

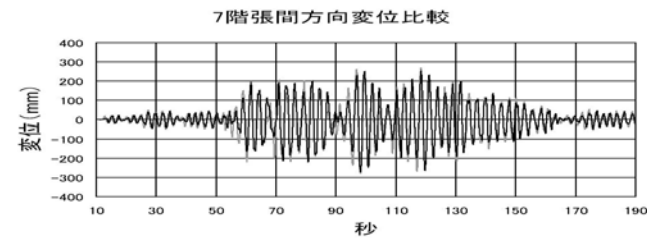


図 2 7 階の変位波形の比較

この波形のスペクトルを図 3 に示す。左側が加速度を積分した変位、右側が変位計による変位のフーリエスペクトルで、横軸は振動数である。スペクトル領域でも良く一致していることがわかる。

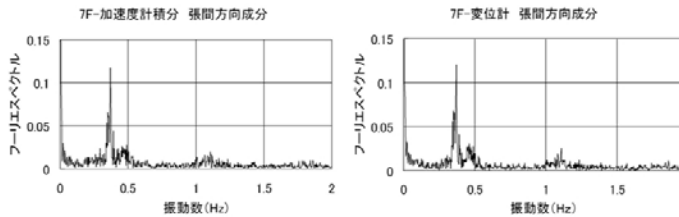


図 3 変位スペクトルの比較

このような計算を 30 箇所すべての強震計記録で行い、加速度を積分した変位と、変位計データを同時に表示した動画を作成した。そのスナップを図 4 に示す。図の左側に、対応する三の丸波加振ケースの試験体の挙動をデジタルカメラで撮影した映像を挿入し、右側は加速度を積分した変位による動画と、変位計による変位データの動画を重ねて表示している。右側の数字は各階の層間変形角である。実写動画とアニメーションの動きを同期させた動画は発表時に提示する予定である。



図 4 立体振動の動画のスナップショット

4. 層間変形一層せん断力の関係

桁行方向の梁端に破断が生じた三の丸波加振ケースにおいて、上下の階の変位波形の差から層間変形を求め、層せん断力との関係を描いた (図 5)。層せん断力は、建物の重量を合計 1000t、上部縮約層は各 200t として、上階の応答加速度の積の和で計算している。4 層では層間変形の片振幅は約 5cm であるが、縮約層の 5 階では片振幅で 25cm 程度変形している。さらに層間変形が 5cm 程度を超えたところで初期剛性とは傾きが異なるループが見られる。この結果は、同時に計測を行った他の強震計による結果²⁾³⁾と整合的であり、本論で使用した強震計でも高層建築物の振動観測に十分使用可能であると考えられる。

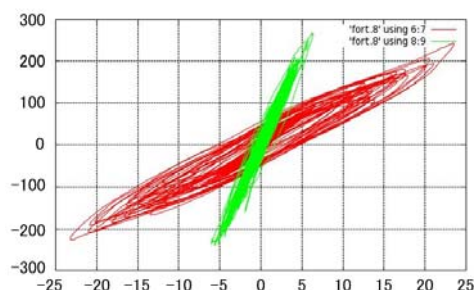


図 5 4 層及び 5 層での層間変形一層せん断力の関係
横軸は層間変形(cm)、縦軸は層せん断力(t)

5. 固有振動特性の変化

梁端に破断を生じた三の丸波入力の場合で、加振実験前後での周波数特性の違いを見るために、実験前後のホワイトノイズ加振、及び三の丸波加振で求めた固有振動特性の変化を図 6 に示す。それぞれ 10 月 2 日午後に実施された、破断後 2 回の張間方向成分のみの加振を含む 5 回のデータを使用した。

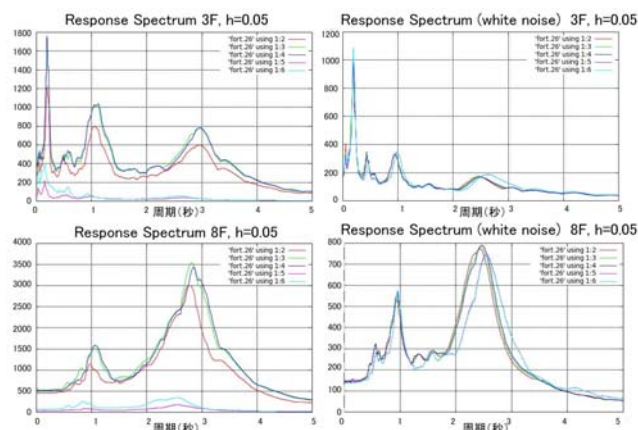


図 6 固有周期を横軸にとった応答スペクトル。左が三の丸波、右がホワイトノイズ。上段が 3 階、下段が 8 階。いずれも桁行方向成分のみ表示。

低層階では周期の短い高次のモード、高層階では周期の長い 1 次モードが卓越していることがわかる。また、実験するにつれ、固有周期のピークが若干ながら長い方向にシフトしていることがわかる。その割合は数%である。

6. 破断の発生や箇所を推定

破断のあった低層階での変位波形は、試験体で大きな音がする前から、特に上下動成分に変化が見られる。この成分に着目することにより、破断時刻の推定ができる可能性がある。今後は、破断の正確な時刻と位置を考慮して、改めて検討を行いたい。

7. まとめ

汎用強震計を多点に展開した試験体の観測を行い、加速度から変位を求め、変位計との比較や層間変形、固有周期の変化などの検証を行った。静電容量センサを使った加速度計でも、大地震時における超高層ビルの振動を十分測定できることがわかった。

参考文献

- 1) 長江拓也ほか：高層建物の耐震性能を検証する大規模実験システムの構築—E-ディフェンス震動台実験、日本建築学会構造系論文集、N0.640、pp.1163-1171、2009.6
- 2) 平田悠貴、飛田潤、福和伸夫：加速度計の記録に基づく高層建物の層間変形と損傷の評価、日本建築学会東海支部研究報告書、N0.48、225-228、2010.2
- 3) 平田悠貴、飛田潤、福和伸夫、長江拓也：一般的な強震計を用いた高層建物試験体の層の履歴特性の推定と損傷評価、日本建築学会大会(投稿中)、2010.

*1 白山工業株式会社・博士 (理学)

*2 名古屋大学環境学研究科准教授・工博

*3 名古屋大学環境学研究科教授・工博

*4 防災科学技術研究所・博士 (工学)

*1 Hakusan Corporation, Dr.Sci.

*2 Assoc. Prof., Graduate School of Environmental Studies, Nagoya Univ., Dr.Eng.

*3 Prof., Graduate School of Environmental Studies, Nagoya Univ., Dr.Eng.

*4 NIED, Dr.Eng.