

## 強震計と光ファイバセンサによる鋼構造試験体の地震応答と損傷の評価

### その1 限定された機材・観測体制での強震観測記録の利用

正会員 ○平田悠貴<sup>\*1</sup> 同 飛田 潤<sup>\*2</sup>  
同 福和伸夫<sup>\*3</sup>

強震計	鋼構造	応答
固有振動数	モード形	同定

#### 1. はじめに

近い将来の大規模地震災害において、なるべく多数の建物の地震応答特性を記録し、かつ構造の損傷状況に関する客観的な評価をすることが必要である。そのためには、極力一般的かつ簡易な観測体制でどの程度のモニタリング情報が得られるかを明らかにすることが必要となる。

そこで本論では、E ディフェンスで実施された鋼構造高層建物の応答／損傷確認の実験<sup>①</sup>において、3 種類の一般的な強震計、常時微動計、光ファイバセンサなどを独自に設置して観測を行い、得られた記録を用いて建物の応答や損傷の評価の可能性を検討する。

その1では、配置点数や機器精度などに制約があるごく一般的な強震観測体制を想定した検討を行う。

#### 2. 実験と計測の概要

##### 2.1 試験体と観測機材の概要

本論で対象とする実大振動実験の試験体概要と計測点配置を図1に示す。長周期地震動に対する初期の高層建物の挙動把握を目的とし、地上 21 階 (81m) の建物を想定して、1~4 階は実大で作成、5 階以上を 4 階ごとにコンクリート集約スラブと積層ゴム・ダンパーに置換している<sup>②</sup>。

使用した強震計は、①普及型強震計（サーボ加速度計）、②機器更新により廃棄された旧型地震計（K-NET95 強震計、サーボ加速度計）、③小型・廉価型強震計（半導体センサ加速度計）で、いずれも単独の筐体にセンサ・収録部・電源などを収めており、連動はしていない。加振時のセンサ配置は文献<sup>②</sup>に詳しい。ここでは費用をあまりかけない観測体制で観測点が少ない状況を想定し、1 階・5 階・最上階の平面中央近くの各 1 台の記録のみを用いて分析する。また詳細な振動特性確認のため、動コイル型の常時微動計を用いた臨時観測（夜間）も実施している。

##### 2.2 加振・計測スケジュール

実験は 2008 年 3 月 17~21 日に行われた。実験スケジュールを図2 に示す。加振ケースは、巨大地震による長周期地震動を想定し、関東地震を想定した首都圏地震動（気象庁波）、東海地震を想定した首都圏地震動（東扇島波）、東海・東南海地震を想定した名古屋の地震動（三の丸波）などが用いられた。また地震波加振の前後には、振動特性の変化を調べるために大小 2 段階のホワイトノイズ加振が行われた。一連の実験の最終日（3/21）には、三の丸波 100% 加振が行われ、2~4 層の張間方向で梁フラン

ジ溶接部が 1 箇所ずつ破断した。その後、三の丸波 100% の平行方向のみの加振を 2 回行い、平行方向の 2・4 層各 1 箇所、3 層 2 箇所で梁フランジ溶接部が破断した。

これらの加振実験とは別に、夜間に常時微動観測を行っている。ただし試験体の都合で、初日の加振前の常時微動記録は得られていない。結果として、分析に使用する記録は、図2 右側に記号番号で示したように、最終日の三の丸波加振で構造体に損傷が生じた記録とその前後のホワイトノイズ加振の記録、そして実験期間を通じて夜間に計測された常時微動記録である。

##### 3. 3 種類の強震計で得られた記録の特性比較

先に述べた 3 種類の強震計の観測精度や特性などを、観測記録の比較から検討する。図3 は三の丸波加振の際の観測スペクトルの比較である。これより、振幅がある程度大きければ、地震計による差はほとんどないことがわかる。一方、振幅が小さい波形、あるいは小さい周波数帯域については分解能の差が現れ、普及型の強震計①に比べて廉価型の強震計③では、水平動の長周期側と短周期側のノイズレベルが大きく、上下動ではさらに影響が大きいことがわかる。

この記録から伝達関数を求めたときの精度に関して図4 で検討している。①~③でほぼ同様の特性で、除算となる伝達関数でも十分な精度があるが、小振幅の記録／帯域で分解能の制約を受ける場合には注意が必要である。

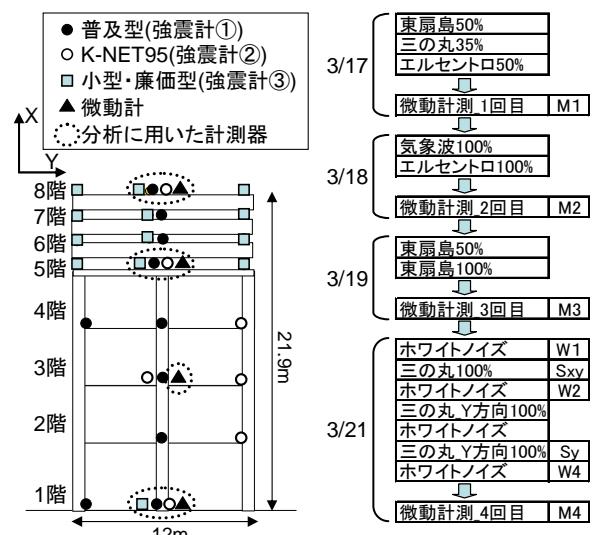


図1 試験体概要・計測点配置 図2 加振・計測のスケジュール

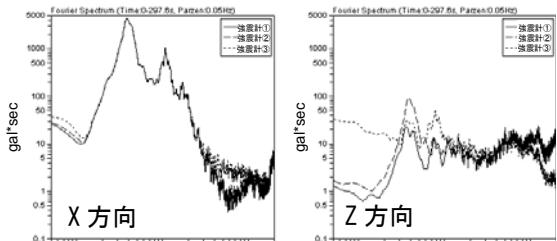


図3 地震計によるスペクトルの差（三の丸波加振時の屋上）

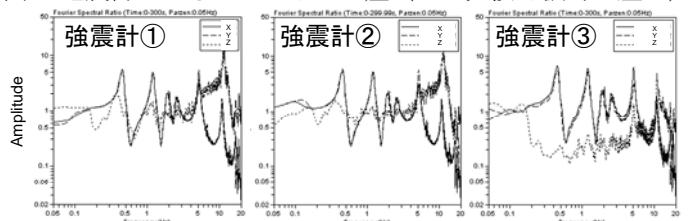


図4 地震計による伝達関数の差（三の丸波加振時の屋上/1階）

#### 4. 観測結果による振動特性評価とその変化

##### 4.1 特性の推定法

観測記録から固有振動特性を同定するために、線形多モード系のフィッティングを行っている。本法は、建物内の複数箇所で時刻同期されていない記録が得られた場合でも、時間ずれも含めて推定パラメータとすることに対応でき、スタンダードアロン強震計の記録活用に適している。一方、常時微動では原則 60 分のデータを収録してアンサンブル平均により伝達関数を求めるとともに、上階の観測点の記録に RD 法を適用して減衰を求めている。

##### 4.2 固有振動特性の変化

常時微動およびホワイトノイズ加振・地震動加振記録から求めた固有振動数の変化を図 5 に示す。常時微動から、複数回の大レベル加振を受けて固有振動数が低下する過程が明確に読み取れる。しかし低下幅は大きな損傷を生じたあとの 4 回目でも 2~5% 程度である。加振時との比較では振幅依存性が明確に現れており、ホワイトノイズ加振では約 10~15%、地震動加振で約 20~25% 程度、常時微動での固有振動数から低下している。しかし、損傷による低下幅は数%で、実建物での検出は容易ではない。

図 6 の減衰定数については、振幅が大きくなるほど大きい値となり、損傷を生じた地震波加振では最大 8% 程度となった。次数や方向による傾向は明確ではない。

モード形について本来の階数の表示にして図 7 に示す。左列は損傷の過程での変化、右列は 2 方向の損傷が生じた加振の比較を意図している。全体に差は小さいが、損傷を生じた低層の変化は高次モードで顕著な傾向がある。

##### 5.まとめ

E ディフェンス実験で様々なセンサにより構造物の地震応答と損傷の評価を検討し、限定された機材による一般的な強震観測体制で評価できる特性を明らかにした。

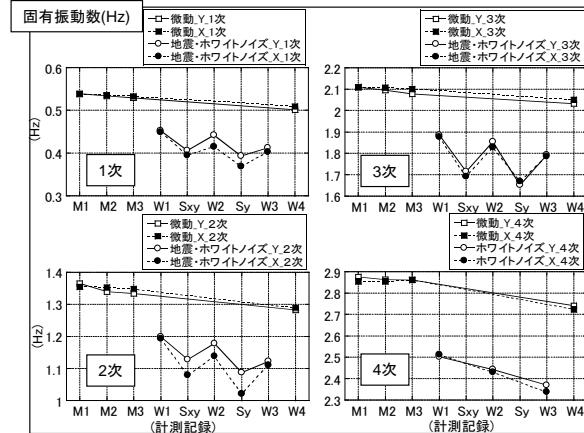


図5 実験期間中の固有振動数の変化

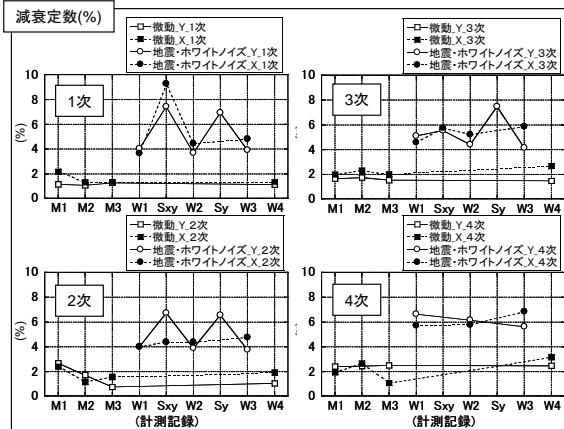


図6 実験期間中の減衰定数の変化

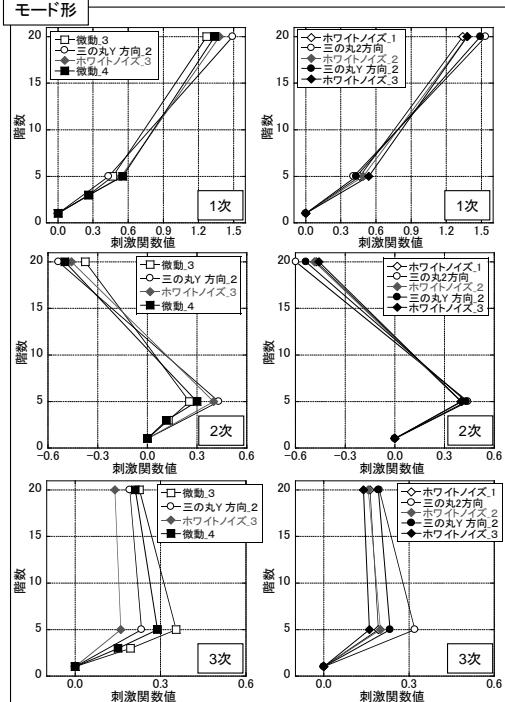


図7 モード形の変化

##### 参考文献

- 1) 井上貴仁、長江拓也ら：高層建物の耐震性評価に関する E-ディフェンス実験、その 1~6、建築学会大会、C-1、823-832、873-874、2008
- 2) 飛田潤、福和伸夫：同上、その 10、C-1、881-882、2008

\*1 名古屋大学大学院・大学院生

\*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

\*1 Graduate Student, Nagoya Univ.

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

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