

# 建物被害判定のための建物振動モニタリングシステムの構築

[研究代表者] 横田 崇 (工学部土木工学科)  
 [共同研究者] 倉橋 奨 (工学部土木工学科)  
 落合鋭充 ((株)エーアイシステムサービス)

## 研究成果の概要

地震発生後早期に建築構造物の健全性や損傷度等を評価することは、建物の使用可否や耐震補強の必要性を判断するために重要である。建物の損傷度の評価を行う手法として王他 (2013) は、常時微動記録を用いた逆重畳法に基づく層間せん断波伝播速度を測定する手法を提案している。この手法は、対象建物の最上階と最下階の地震計で観測された常時微動記録から建物内の上昇波と下降波を抽出し、その伝播時間を階数高さから除することでせん断波伝播速度を推定するものである。建物が被災するとせん断波速度は小さくなると予想されることから、建物の被災前と被災後のせん断波速度の変化を調べることにより、その建物の損傷度が評価できることが期待される。また、最上階と最下階に地震計を設置すると、直下型地震に対応したワーニングシステムや、あらかじめ算出した建物の伝達関数から最下階から最上階の揺れを推定する長周期地震動に対応したワーニングシステムへの活用も期待できる。

本研究にて、愛知工業大学内の旧本部棟に繋がる時計台 (高さ 35m) の最上階階と最下階に株式会社エイツー社製の小型地震計を設置した。最上階および最下階の地震計は、PoE 対応の有線 LAN により旧本部棟 2 階 (玄関前) に設置されたハブに繋がれており、wifi ルーターを経由して学内 LAN に接続され、地域防災研究センターのサーバにリアルタイムで保存されるシステムである。

本システムにより、2020 年 5 月 13 日 13 時 13 分に発生した M5.3 の岐阜県の地震動が観測された。最上階の記録は、屋上階は 1 階の観測記録と比較して、大きく震動し、かつ、周期的な震動が長く続いていることが分かった。主要動部分 (35 秒から 40 秒) の振幅比 (屋上階/1 階) は約 3 倍、後続波部分 (60 秒から 70 秒) の振幅比は約 5 倍であり、後続波部分の方が振幅比は大きい。長く続く周期的な震動の継続時間は 100 秒を超え、その周期は約 1.3Hz (周期: 0.77 秒) で、これは常時微動から推定される時計台の固有周期と一致している。

**研究分野:** 地震学・防災情報学 研究代表者の専門分野

**キーワード:** 建物被害判定、建物振動モニタリングシステム、常時微動、地震観測

## 1. 研究開始当初の背景

地震発生後早期に建築構造物の健全性や損傷度等を評価することは、建物の使用可否や耐震補強の必要性を判断するために重要である。建物の損傷度の評価を行う手法として王他 (2013) は、常時微動記録を用いた逆重畳法に基づく層間せん断波伝播速度を測定する手法を提案している。この手法は、対象建物の最上階と最下階の地震計で観測された常時微動記録から建物内の上昇波と下降波を抽出し、その伝播時間を階数高さから除することでせん断波伝播速度を推定するものである。図 1

に微動記録から抽出された上昇波と下降波の事例を示す。建物が被災するとせん断波速度は小さくなると予想されることから、建物の被災前と被災後のせん断波速度の変化を調べることにより、その建物の損傷度が評価できることが期待される。ただし、この手法による損傷度評価は、予め健全な状態の建物のせん断波速度を推定しておく必要がある。

なお、最上階と最下階に地震計を設置すると、直下型地震に対応したワーニングシステムや、あらかじめ算出した建物の伝達関数から最下階から最上階の揺れを推

定する長周期地震動に対応したワーニングシステムへの活用も期待できる。

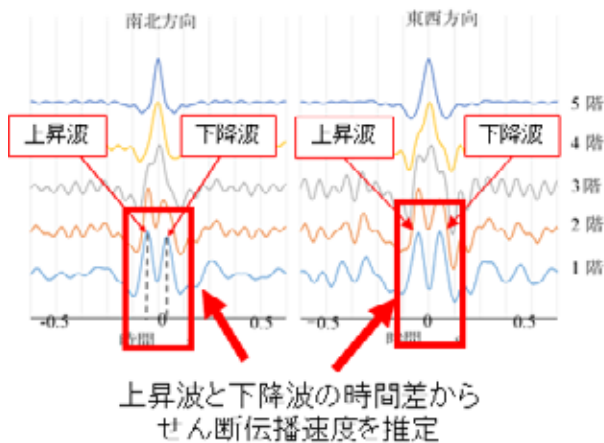


図1 常時微動から算出される逆重畳波の一例。上昇波と下降波の時間差からせん断伝播速度を推定する。

## 2. 研究の目的

本研究では、対象建物の最上階と最下階で観測した常時微動記録を用いた、建物被害判定のための建物振動モニタリングシステムの構築することを目的としている。具体的には、愛知工業大学の時計台を対象として、最上階と最下階に簡易地震計を設置し、常時微動観測システムを構築する。また、その記録から建物せん断伝播速度を逐次的に計算するシステムを構築する。

## 3. 研究の方法

### (1) 建物の常時微動観測システムの構築

愛知工業大学内の建物の最上階と最下階に小型地震計を設置し、常時微動観測を実施する。観測記録は、学内 LAN 経由で地域防災研究センターのサーバにリアルタイムでデータが転送する。

### (2) せん断波速度算出システムの開発

得られた常時微動記録を逐次（または数秒・数分おきに）的に、観測波形、パワースペクトル、逆重畳波が算出されるアルゴリズムを構築する。

## 4. 研究成果

### (1) 建物の常時微動観測システムの構築

愛知工業大学内の旧本部棟に繋がる時計台(高さ 35m)の最上階と最下階に株式会社エイツー社製の小型地震計を設置した。地震計の設置概要図を図 2 に示す。地震

計設置の高さは、最上階は 33m、最下階は 1 階（地表）である。

図 3 に地震観測システム概要を示す。最上階および最下階の地震計は、PoE 対応の有線 LAN により旧本部棟 2 階（玄関前）に設置されたハブに繋がれている。さらに wifi ルーターを経由して学内 LAN に接続され、地域防災研究センターのサーバにリアルタイムで保存される。



図2 地震計設置概要図および設置写真

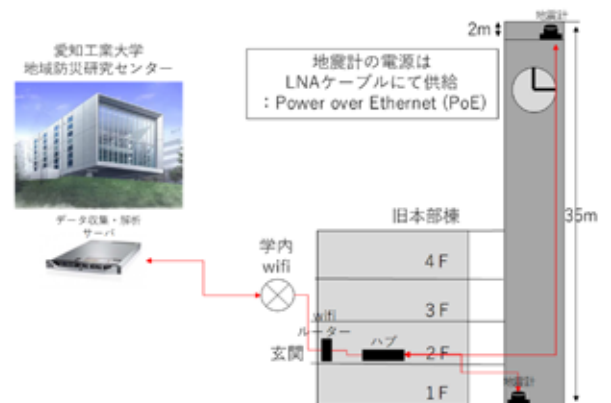


図3 地震観測のシステム概要図

### (2) 観測記録例

#### ① 常時微動記録

図 4 に 2020 年 5 月 19 日 13 時 06 分～13 時 07 分までの NS 成分の観測記録を示す。上段が最上階、下段が 1 階の記録（常時微動）である。また、図 5 にそれぞれのフーリエスペクトルを示す。常時微動については、最上階と 1 階の記録の振幅はほとんど変わらないが、最上階はやや周期的な波形が読み取れる。フーリエスペクトルの結果より、この周波数は約 1.3Hz（周期：約 0.77 秒）で時計台の固有周期と推定される。

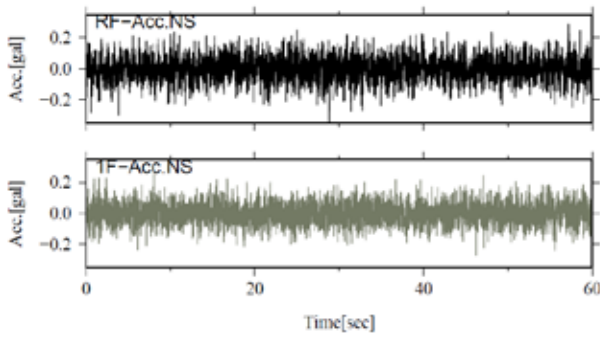


図4 常時微動観測記録(上段:最上階、下段:1階)

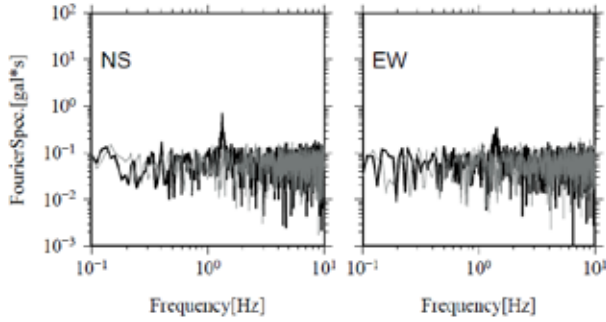


図5 最上階(黒)と1階(灰)の常時微動観測記録のフーリエスペクトル。(右図:NS成分、左図:EW成分)

②地震動記録

2020年5月19日13時13分に岐阜県飛騨地方でM5.3の地震が発生し、本システムにて観測および記録がなされた。図6および図7にそれぞれNS成分およびEW成分の観測記録を、図8にフーリエスペクトルを示す。屋上階は1階の観測記録と比較して、大きく震動し、かつ、周期的な震動が長く続いていることがわかる。NS成分の主要動部分(35秒から50秒)の振幅比(屋上階/1階)は約3倍、後続波部分(50秒から70秒)の振幅比は約5倍であり、後続波部分の方が振幅比は大きい。長く続く周期的な震動の継続時間は100秒を超え、その周期は、フーリエスペクトルから約1.3Hz(周期:0.77秒)であり、常時微動の卓越周期と同じであり、時計台の固有周期と考えられる。

なお、中高層構造物では、主要動後の長く続く後続波が被害に影響を与えることが指摘されている。今回観測された地震動を含め、いくつかの地震動記録から最上階と1階との伝達関数を精度よく推定できれば、巨大地震時の最上階での揺れの予測に活用できると考えられる。なお、現在の観測システムは100Hzサンプリングで実施している。建物のせん断波速度の算出には800~1000Hzでの観測システムが必要で、現在調整を行っている。

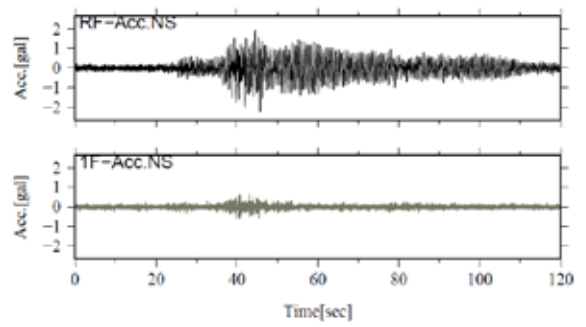


図6 NS成分地震観測記録(上段:最上階、下段:1階)

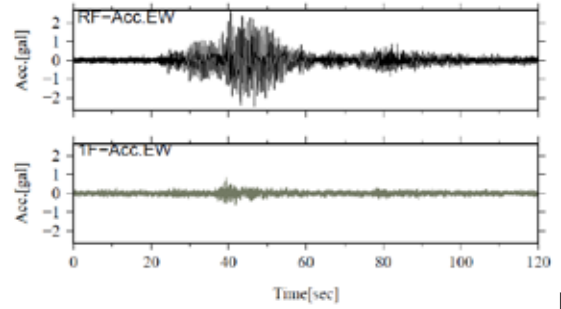


図7

7 EW成分地震観測記録(上段:最上階、下段:1階)

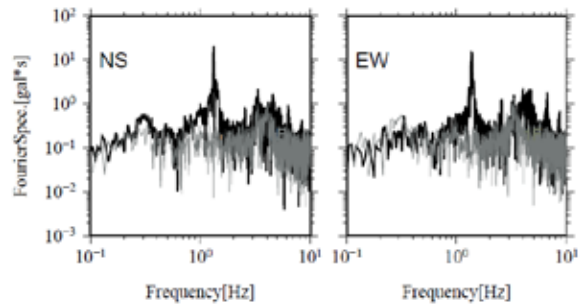


図8 最上階(黒)と1階(灰)の地震観測記録のフーリエスペクトル(右図:NS成分、左図:EW成分)

5. まとめ

地震後の早期建物損傷度の評価手法の適用のために、愛知工業大学内の時計台の最上階と1階に地震計を設置するとともに、観測システム、解析システムの構築を行った。常時微動、地震記録の収集および描画ができることを確認した。また、記録から時計台の固有周期は0.77秒であると推測できた。今後、建物のせん断波速度の算出を引き続き進めていく予定である。

参考文献

王欣, 正木和明, 入倉孝次郎: 常時微動を用いた被災建物の層間せん断波速度の測定, 日本地震工学会論文集, 13(2)特集号, 22-36, 2013.

謝辞: 本研究は、2019年度愛知工業大学総合技術研究所プロジェクト共同研究Bの助成により実施しました。ここに記して感謝申し上げます。