

# 常時微動計測に基づく非構造部材が鉄骨建築物の 振動特性に及ぼす影響に関する調査研究

小林 礼奈\*・渡壁 守正\*\*

(平成30年11月1日受付)

## A Study on Effect of Non-Structural Components for Vibration Behavior of Steel Building Based on Microtremor Measurements

Reina KOBAYASHI and Morimasa WATAKABE

(Received Nov. 1, 2018)

### Abstract

Serious damage to non-structural components such as ALC walls, ceilings and windows was reported after the 2011 earthquake off the Pacific coast of Tohoku. However, it is thought that the stiffness buildings is effect of the stiffness and strength of non-structural elements as well as only structural skeletons. In this study, We observed microtremors of the 3-story steel building in the case of only structural skeletons and the case of inserting non-structural components, and compared the dynamic characteristics derived from of microtremors. Also, the effect of non-structural components for total behavior of the steel building in deliberated. As a result, it is confirmed that the torsional component is primary in the case of only structural skeletons, and is not primacy in the case of inserting non-structural components.

Based on it, effective data that facilitated a numerical model of building for studying the effect of non-structural components on buildings duaring large earthquakes are derived.

**Key Words:** steel building, non-structural components, microtremor measurements, vibration behavior

### 1. はじめに

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震をはじめ多くの大規模地震により ALC 壁、天井、窓など非構造部材の損傷、落下等の被害事例が多く報告されている<sup>1)</sup>。地震の被害からも、非構造部材の被害額、建築機能に及ぼす影響、居住者に与える心理的・肉体的影響は構造部材の被害と同様に大きく深刻なものである。非構造部材が及ぼす被害の原因として、非構造部材は、躯体構造の耐震設計に際して、その影響が無視できるものとして、耐震要素から除外して考える部材として位置付けられているからであ

る<sup>2)</sup>。そのため、最近の建物では、主に非構造部材に被害が多く見られる。しかし、非構造部材が入ることによって構造躯体のみの状態に比べ建物の剛性は上昇し、また非構造部材が損傷することで、建物応答への揺れエネルギーを吸収し構造躯体に及ぼす損傷を軽減させた可能性があると考えられる。中小規模の鉄骨造建築物を例とし、非構造部材が構造骨組みの剛性および耐力に対して無視できないほど大きな影響を与えることが報告されている<sup>3)</sup>。しかし、定量的に評価した論文はさほど多くはない。

本研究は、鉄骨造建築物の間仕切り壁や ALC 壁など外壁材の非構造部材に着目し、それらが建物全体の挙動にどの

\* 広島工業大学大学院工学系研究科環境学専攻

\*\* 広島工業大学環境学部建築デザイン学科

ような影響を与えているかを明らかにするため、昨年より本学で建設が進められている新生命学部棟27号館を対象に常時微動計測を実施した。得られた計測記録を分析することで、非構造部材の有無が建物の振動特性に及ぼす影響について明らかにする。

## 2. 対象建物及び計測概要

### 2.1 対象建物の概要

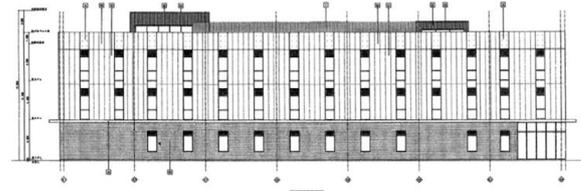
対象建物の概要及び外観写真を表1及び写真1にそれぞれ示す。新生命学部棟27号館は、56.97 m×28.20 mで整形な平面形状であり、屋根は陸屋根である。塔屋は2箇所存在している。外周部への突出物は、2階1.2 m程度の底を有する鉄骨造3階建ての建物である。図1に南側立面図と2階平面図を示す。架構形式は、X、Y方向ともラーメン構造である。柱はBCR295、STK490、大梁はSN400B、SN490B材、柱梁接合部は通しダイヤフラムSN490C材を用いている。小梁・間柱等はSS400、STKR400を用いている。柱脚は露出型弾性固定柱脚工法（認定品）で、各階床は、コンクリートスラブとなっている<sup>4)</sup>。

### 2.2 常時微動計測の概要

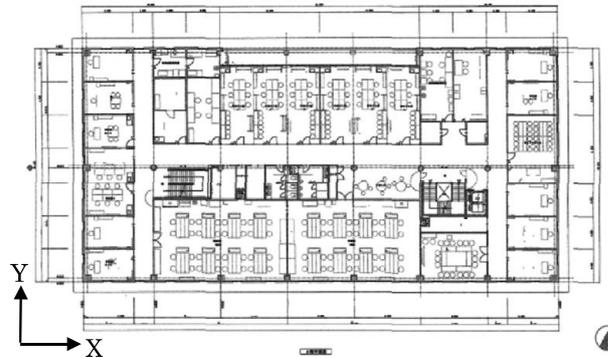
常時微動計測は1階～R階の各階床上に加速度計を設置し、建物の長辺方向（X方向）、短辺方向（Y方向）の鉛直方向並進2方向とねじれ方向に関して計測を行った。計測は非構造部材が建物全体に及ぼす影響を調べるため、第一

回目は、構造躯体のみの時、第二回目は、非構造部材を取り付けた後の竣工後に実施した。

計測は、サンプリング周波数を200Hz、計測時間を各ケース30分間とした。加速度センサはリオン製LS-10を使用し、加速度センサの数は5セット用意した。加速度センサは、建物中央の柱付近に設置した。センサ設置状況、計測拠点及び非構造部材取り付け前後の様子を写真2～写真7にそれぞれ示す。



(a) 南側立面図



(b) 2階平面図

図1 対象建物の概要

表1 建物概要

建築物名	広島工業大学新生命学部棟27号館
建物階数	地上3階 地下1階 塔屋1階
構造・架構種別	S造・ラーメン構造
延べ床面積	4,803.33 m <sup>2</sup>
建築面積	1,644.51 m <sup>2</sup>
建物高さ	17.05 m（建築基準法上）
軒の高さ	16.56 m（建築基準法上）
基礎底部の深さ	GL-2.50（フーチング底）
支持深さ	GL-10 m～16 m



写真1 広島工業大学新生命学部棟27号館



写真2 測定拠点



写真3 LS-10C（加速度計）

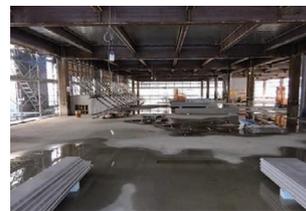


写真4 建物内部（躯体のみ）



写真5 建物内部（非構造あり）



写真6 屋上（躯体のみ）



写真7 屋上（非構造あり）

構造躯体のみ（第一回常時微動計測）のセンサの設置場所を図2に示す。青い●印は鉛直方向並進振動計測時、赤い○印はねじれ振動計測時のセンサ配置をそれぞれ図中に示す。また階数に対するチャンネル（以下CH）表を、表2に示す。本研究では、長辺方向をX方向、短辺方向をY方向、としている。非構造部材あり（第二回常時微動計測）のセンサ設置場所およびCH表は、図2および表2とほぼ同様であるため、紙面の都合上割愛する。

分析は常時微動計測記録より求めたフーリエスペクトルおよび、1階に対する2階～3階のフーリエスペクトル比を求める。そのフーリエスペクトル比の1次ピーク、2次ピークなどから、建物の長辺方向（X方向）や短辺方向（Y方向）の卓越振動数をそれぞれ読み取った。

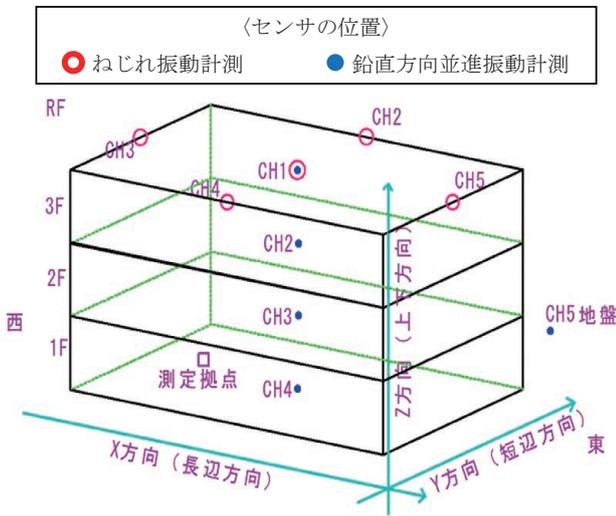


図2 構造躯体のみセンサ配置箇所

表2 構造躯体の測定階と計測方向  
(a) 鉛直方向並進計測

測定階	軸方向	CH 番号
地盤	x, y	5
1 F	x, y	4
2 F	x, y	3
3 F	x, y	2
RF	x, y	1

(b) ねじれ計測

測定階	軸方向	CH 番号
RF 東側	y	5
RF 西側	y	4
RF 南側	x	3
RF 北側	x	2
RF 中央	x, y	1

### 3. 計測記録 及び分析結果

構造躯体と非構造部材取り付け後での振動特性の抽出に関しては、1階に対する2階、3階それぞれのフーリエスペクトル比の卓越振動数より共振振動数を求め推定した。図3、図4に、構造躯体が立ち上がった際に計測した1階から屋上階までの常時微動の加速度波形とそれらのフーリエスペクトルの例をそれぞれ示す。フーリエスペクトル結果から、短辺方向の1次ピーク、2次ピークを読み取ることができる。また、1階から上層階へと増幅する傾向がはっきりと確認できる。この結果から、これらの計測記録は比較的安定した記録と考えられる。

構造躯体のみの鉛直方向並進振動計測の記録に関して長辺方向、短辺方向で求めたフーリエスペクトル比を図5、図6にそれぞれ示す。図5から短辺方向の1次固有振動数は2.29 Hz、図6より、長辺方向の1次固有振動数は2.35

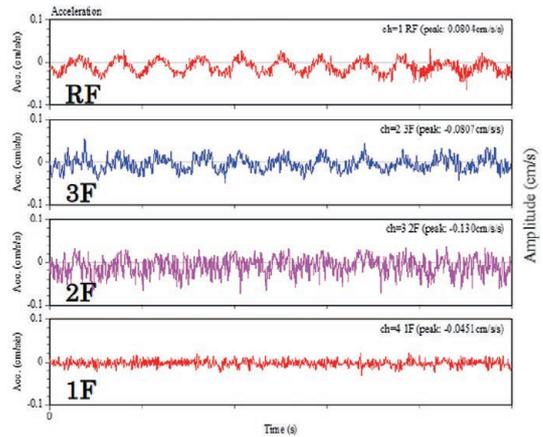


図3 構造躯体のみの加速度波形の一例  
鉛直方向並進（短辺方向）

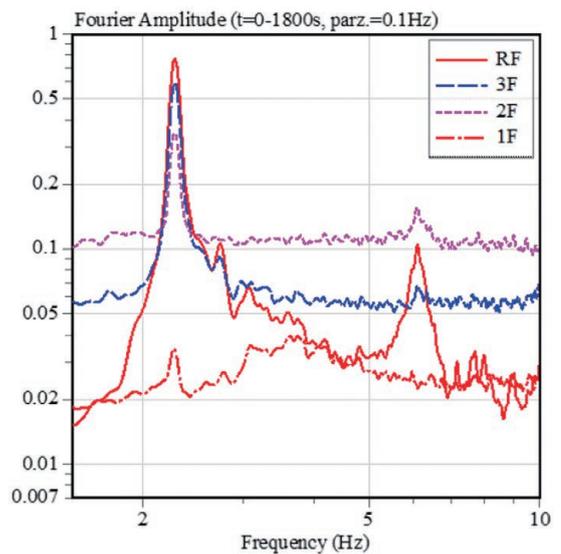


図4 構造躯体のみのフーリエスペクトルの一例  
鉛直方向並進（短辺方向）

Hzと確認できる。また、図6で示す構造躯体のみのスペクトル比には、長辺方向の1次固有振動数のピーク値の近傍に2.8 Hzのピーク値が表れている。この固有振動数はねじれの影響によるものと考えられる。

計測した実建物は東西に長い長方形であることから図7で示すようにねじれ易いと考えられる。ねじれの測定の際に建物の中央部に配置したセンサ（CH1）とよりねじれの影響が出ると考えられる端部に配置したセンサ（CH5）を比較することができる。そのフーリエスペクトル結果を図8、図9にそれぞれ併せ示す。図8より端部（CH5）のフーリエスペクトルに2つのピーク値が現れていることから2つ目のピーク値はねじれの影響でできたものであることが分かる。

また図9で示すように非構造部材を入れることによってねじれ成分が小さくなる結果となった。常時微動計測であ

るが、非構造部材の剛性の変化が明瞭に寄与していることが分かる。これは非構造部材ありではねじれ成分が見かけ上隠れているように見えるが大地震時に非構造部材が損傷した場合、そのねじれ成分と共振するような入力地震動が建物に作用すると、大きくねじれる可能性があるかと推察できる。

1階のフーリエスペクトルに対するR階のフーリエスペクトルの比を求め、鉛直方向並進振動の短辺方向と長辺方

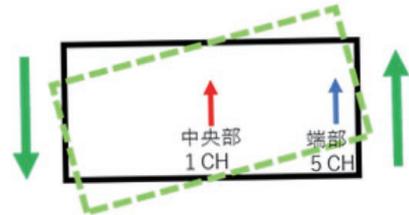


図7 ねじれ振動測定のセンサ位置

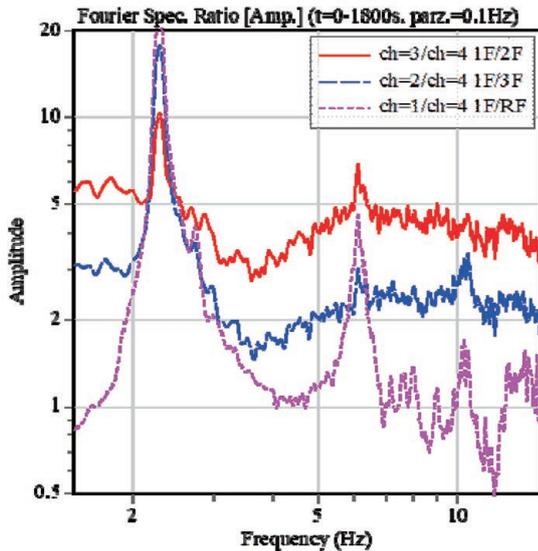


図5 構造躯体のみのスペクトル比（短辺方向）

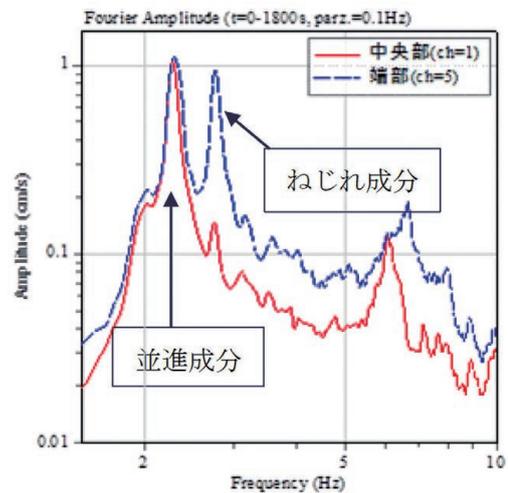


図8 構造躯体のみのねじれ振動測定  
建物中央部（CH1）と端部（CH5）比較

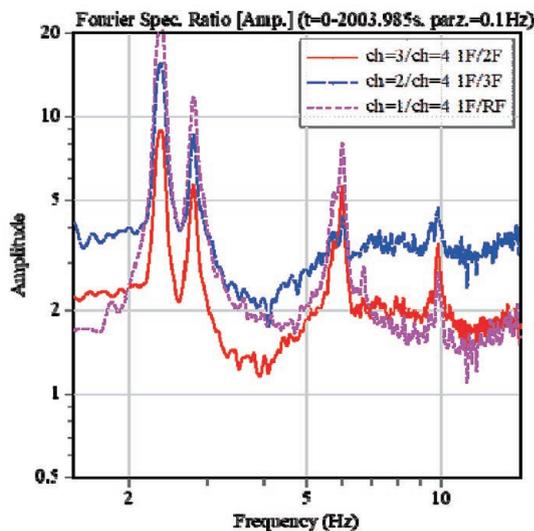


図6 構造躯体のみのスペクトル比（長辺方向）

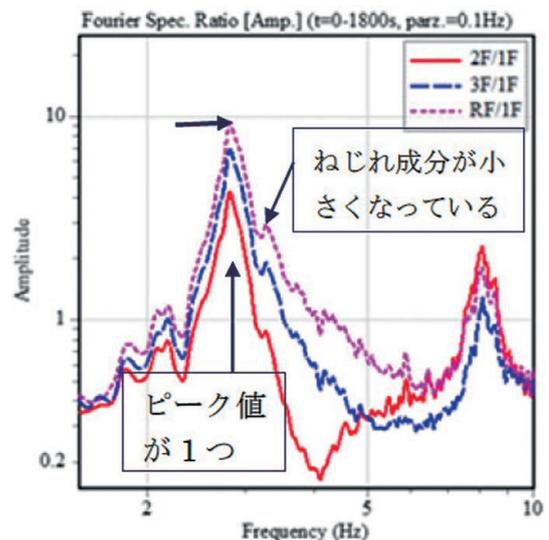


図9 非構造部材ありのスペクトル比（長辺方向）

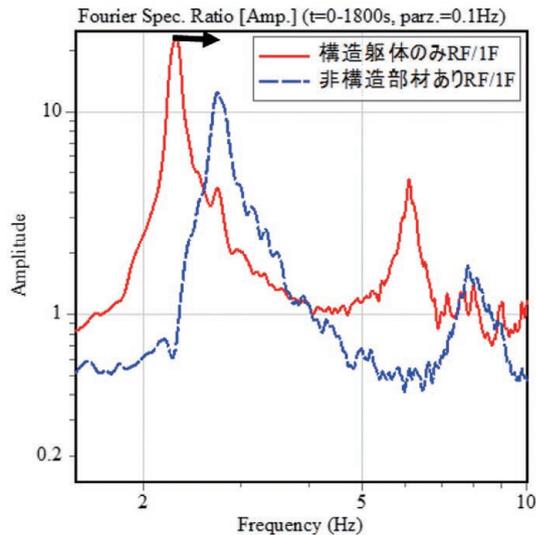


図10 構造躯体のみと非構造部材あり  
スペクトル比の比較 短辺方向 (RF/1F)

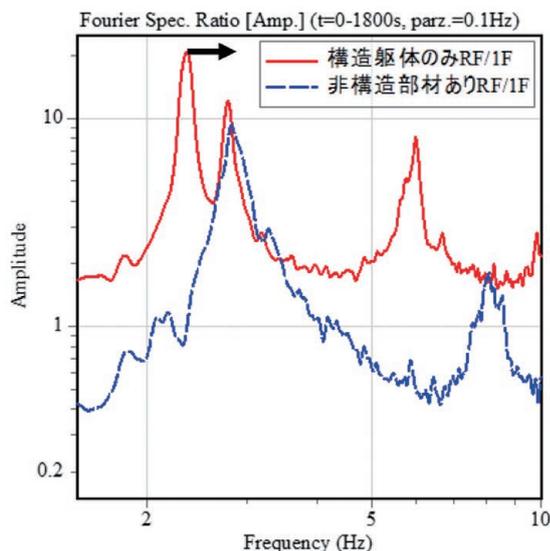


図11 構造躯体のみと非構造部材あり  
スペクトル比の比較 長辺方向 (RF/1F)

表3 固有振動数

モード	(イ) 構造躯体のみ (Hz)	(ロ) 非構造あり (Hz)	(ロ/イ) 増大率 (倍)	
				短辺方向
短辺方向	1次	2.29	2.73	1.19
短辺方向	2次	6.10	7.80	1.28
長辺方向	1次	2.35	2.82	1.20
長辺方向	2次	5.99	8.80	1.35
ねじれ	1次	2.71	2.80	1.03

表4 減衰定数 (RF/1F)

モード	構造躯体のみ	非構造部材あり	
短辺方向	1次	2.20%	3.20%
短辺方向	2次	2.27%	3.20%
長辺方向	1次	2.40%	3.80%
長辺方向	2次	2.00%	3.30%

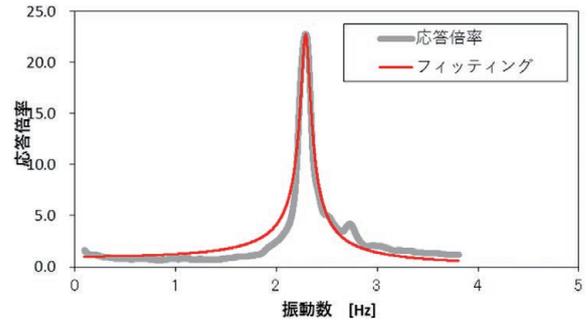


図12 構造躯体のみ1次フィッティング 短辺方向 (RF/1F)

向の非構造部材の有無を比較して図10, 図11に示す。図10, 図11の1次, 2次ピークから読み取った結果を表3に各条件ごとにまとめて示す。図中の赤色の実線のスペクトル比が構造躯体のみ, 青色の破線のスペクトル比が非構造部材ありの分析結果を示す。表3より1次, 2次ともにピーク値の位置がずれ, 非構造部材ありの1次固有振動数は長辺方向, 短辺方向ともに構造躯体のみに比べて約20%大きいことがわかる。この結果は, 非構造部材の剛性の上昇によるものだと考えられる。また2次固有振動数の増大率は28~35%と1次固有振動数の場合よりも大きくなっていることも確認できる。そのため非構造部材は1次固有振動数よりも2次固有振動数に大きく影響していることが確認できた。

また図10, 図11のスペクトル比に1自由度系の応答倍率をフィッティングする方法により各減衰定数を求めた。モード減衰定数を表4, 構造躯体のみの短辺方向の1次フィッティング (RF/1F) 結果の一例を図12に示す。短辺方向の1次減衰定数は構造躯体のみが2.20%, 非構造部材ありが3.20%と推定できる。長辺方向の1次減衰定数は構造躯体のみが2.40%, 非構造部材ありが3.80%と推定できる。

#### 4. まとめ

新生命学部棟27号館を対象として常時微動計測を実施し, 非構造部材の有無について建物振動特性を分析し比較検討を行った。非構造部材の有無が鉄骨造建築物の振動特性に与える影響について定量的に把握することができ, 検討結果は大地震時での建物応答モデル構築や健全性の検討に有効活用できる基礎資料を得ることができた。得られた知見を以下に示す。

- 1) 長辺方向並進振動測定 of データを分析し非構造部材の有無を比較した結果, 構造躯体のみの場合はねじれ成分が卓越して現れていることが確認できた。また, 非構造部材を取り付けた場合にはねじれ成分の卓越はほとんど見られないことが確認できた。
- 2) 非構造部材を取り付けた後での計測結果からは, 1次

固有振動数は構造躯体のみに比べて約20%大きくなり、非構造部材の取り付けが剛性の上昇に繋がったものと確認できた。また、2次固有振動数は増大率が28～35%と1次固有振動数への影響より大きいことも確認できた。

3) 非構造部材の有無に関する減衰への影響は、固有振動数の比較で示した剛性変化の差ほどは現れなかった。

今回の実測は、鉄骨造建築物の非構造部材の有無が振動特性に及ぼす影響について実測した一例に過ぎない。今後は、新生命学部棟27号館に類似した建物形状についても計測を実施し、データを蓄積して基本的な振動特性を詳細に調査する必要がある。さらに、蓄積したデータを基に建物の応答解析モデルを構築し地震時挙動に関する検討も行う予定である。

## 謝 辞

常時微動計測に用いた計測機器は戸田建設株式会社に多大なるご協力をいただきました。株式会社フジタには現場

計測にあたり快く対応していただきました。常時微動計測の実測においては渡壁ゼミの3、4年生(2017年度卒、2018年度卒)にご協力いただきました。心より感謝申し上げます。また解析には国立研究開発法人建築研究所のviewwaveソフトを使用させていただきました。さらに、本研究は公益財団法人古川技術振興財団の支援を受けました。併せて感謝の意を表します。

## 文 献

- 1) 寺本隆幸：ALC 間仕切の被害から見る今後の課題，建築技術，pp. 156-159，2012.6
- 2) 日本建築学会 非構造部材の耐震設計指針・同解説および耐震設計・施工要領（1985）
- 3) 福本早苗：鉄骨造建築物の地震応答に及ぼす非構造部材の制震効果に関する研究（1997）
- 4) 株式会社フジタ 広島工業大学（仮称）生命学部棟新築工事構造計算書（2016）