

# 常時微動計測に基づく RC 床を有する歴史的煉瓦造建築物の振動特性に関する研究 —九州大学箱崎キャンパス第一庁舎の事例—

姫野 健太

## 1. はじめに

歴史的煉瓦造建築物の耐震性能評価及び耐震補強計画において、当該建物の固有振動数等の振動特性を把握することは重要である。一方、常時微動計測は、非破壊で実施可能であるため、既存建物の耐震診断への活用が期待されている。

歴史的煉瓦造建築物の常時微動計測の事例は、木造の床・屋根を有する建築物を対象として例えば多幾山ら<sup>1)</sup>など報告されているが、RC 造の床・屋根を有する建築物では中井<sup>2)</sup>らの事例があるものの非常に少なく、特に多点計測を行っている事例は殆どみられない。

そこで、本研究では、耐震性能評価や補強方法の考案に資する基礎資料とするために、RC 床・屋根を有する九州大学箱崎キャンパス第三庁舎に引き続き<sup>3)</sup>、第一庁舎で実施した常時微動計測結果を報告する。

## 2. 調査対象建築物概要

対象建築物は、大正 14 年に建設された地上 2 階、塔屋 1 階の煉瓦造建築物である。図 1 に平面伏図、図 2 に対象建築物の軸組図を示す<sup>3)</sup>。対象建築物を構成する壁体は、無筋煉瓦造で、1 階から屋上階の床スラブと屋根は RC 造となっており、小梁と壁頂部の臥梁を有する RC 造である。X 方向(長手方向)は 66.6m、Y 方向(短手方向)は 26.1m の平面を有し、地上から塔屋までの高さは 12.4m である。外壁は壁厚が全ての階で 450mm、内壁も全ての階で 450mm である。対象建築物は基本的には左右対称である。ここで、今後の説明のために、調査対象建築物において、図の青色の部分をつウイング、赤色の部分をメインという名前で定義する。

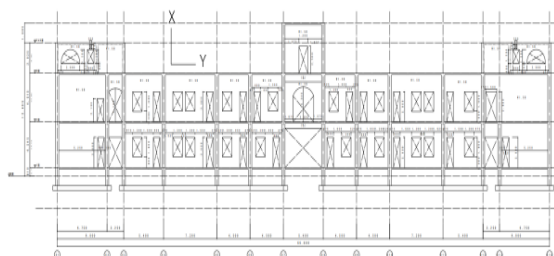
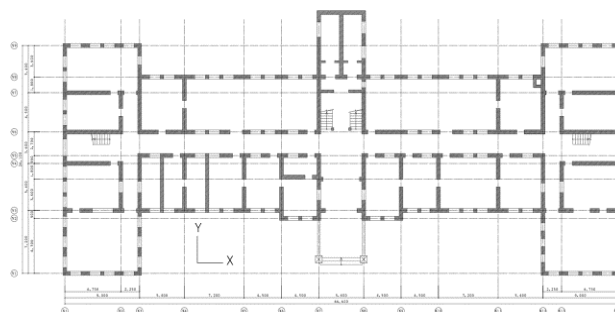


図 2 Y4 通り 軸組図

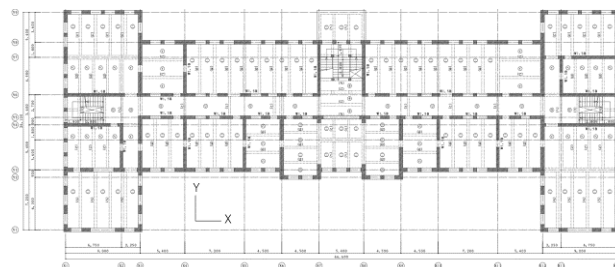
## 3. 常時微動計測

### 3.1 計測・解析方法

計測は水平 2 成分・鉛直 1 成分の加減衰加速度計を計 8 台用い、2021 年 11 月 14 日に実施した。それぞれの計測地点



(a) 1 階



(b) 2 階



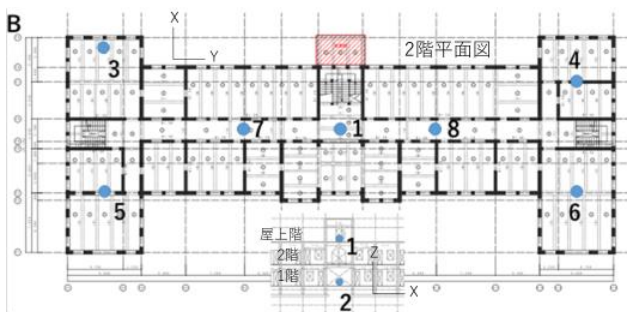
(c) 屋上

図 1 各階伏図

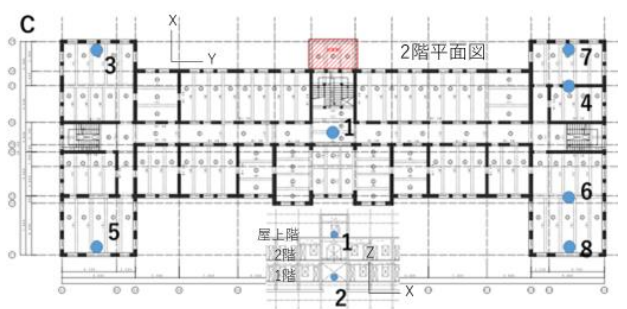
を図 3 に示す。

サンプリング周波数は 100Hz とし、1 回の計測は 15 分とし、A~D パターンのうち、D パターンのみ 50 分計測している。計測した加速度の時刻歴波形は 40.96 秒で分割し、ノイズの少ない部分を選択する。フーリエ変換後、アンサンブル平均を行い、バンド幅 0.2Hz の ParzenWindow により平滑化を行う。基準とする計測点で得られたフーリエスペクトルに対する、他計測点で得られたフーリエスペクトルとの比をとる。そして得られたフーリエスペクトル比と位相差スペクトルから、調査建築物における固有振動数と振動モードを定める。なお、振動モードを求めるにあたって、それぞれの計測点のフーリエスペクトル比を、計測機器 1 のフーリエスペクトル比で基準化する。基準化する際の方向について、建物

の X 方向の振動モードであれば計測機器 1 の X 方向で、建物の Y 方向の振動モードであれば計測機器 1 の Y 方向で基準化する。位相差については、計測機器 2 の位相に対する他の計測機器の位相で位相差を求めている。そして、振動モードを求める際、計測機器 1 の位相差と他の計測機器の位相差との差を取り、 $\pm 90^\circ$  を境に計測機器 1 と同位相か逆位相かを判断している。今回の計測では A~F の 6 つの計測パターンを実施している。A パターンは対面壁の振動の確認をするという目的、B パターンは平面での全体の振動特性の概要をつかむという目的、C パターンは長手方向のウイング部分の振動の詳細をつかむという目的、D パターンは短手方向のメイン部分の振動の詳細をつかむという目的、E パターンは短手方向のロッキングと 1 階床のメイン部分の振動を確認するという目的、F パターンは高さ方向での全体の振動特性の概要をつかむという目的がある。そのうち本論では B・C・F パターンについて述べる。図 3 では、青色の点が計測点、番号が計測機器を表している。B・C パターンで、計測機器 2 は 1 階、残りは全て屋上階に配置しているが、図 3 では 2 階壁の配置がわかるように 2 階の図面で表現している。



(a) B パターン

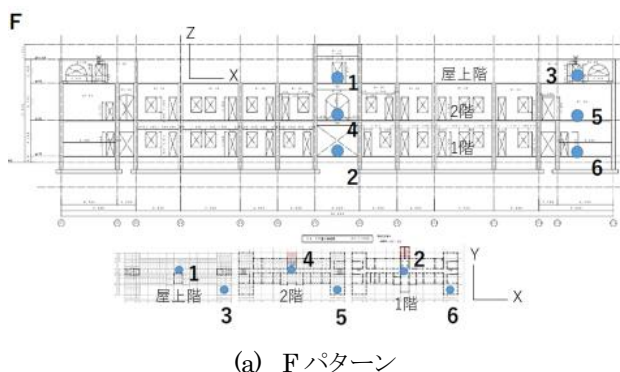


(b) C パターン

### 3.2 計測結果

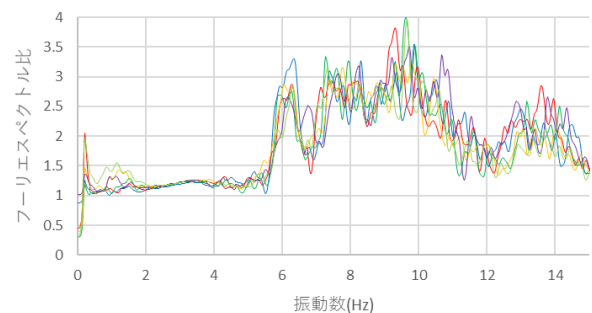
常時微動計測で得られた各計測パターンで共通した、屋上階の計測機器 1 の X 方向と Y 方向のフーリエスペクトル比を図 4 に示す。図 4(a),(b)より、X 方向は、卓越振動数が明瞭には確認できない。Y 方向は、5.9Hz から 6.3Hz の範囲に卓越振動数が確認できる。この振動数を対象建物の Y 方向の 1 次固有振動数とする。ここで、5.9Hz~6.3Hz の範囲で 1 次固有振動数が定まった、Y 方向の振動モードを図 5 に示す。

図 5 から、Y 方向において、この対象建築物は一体となり、剛床的な振動をしていることがわかる。

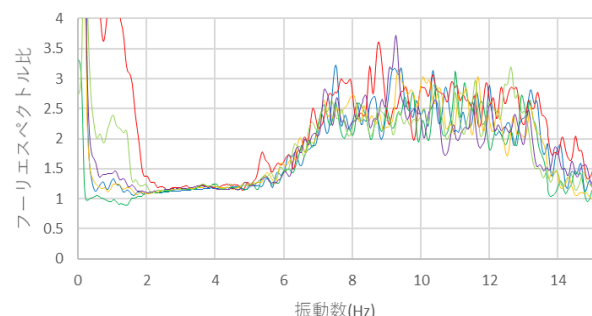


(a) F パターン

図 3 計測パターンと設置位置

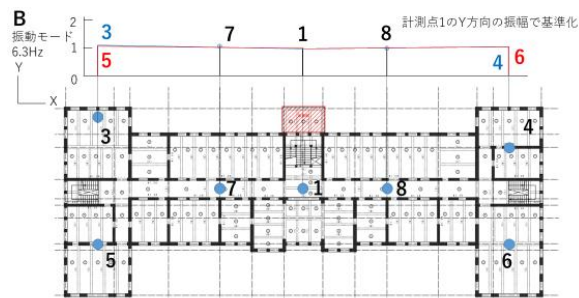


(a) Y 方向



(b) X 方向

図 4 フーリエスペクトル比



(a) B パターン

また、F パターンの 1,2,4 の振動モードを見ることで、X 方向の 1 次固有振動数を確認する。ここで、図 4 より X 方向は 7.0Hz~14.0Hz を 4 分割し、各範囲での最も大きなピー

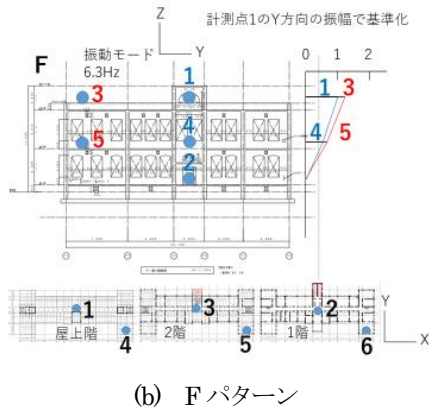


図5 振動モード Y方向

クの振動数での振動モードを示すことで挙動を確認している。Fパターンのフーリエスペクトル比と、計測により得られた計測機器 1,2,4 の振動モードを図 6,7 に示す。振動モードを求めるにあたって、図 7 では計測機器 1 で基準化した振動モードを示している。7.0Hz~14.0Hz を 4 分割したうちの、各範囲の振動モードを示しており、7.0Hz~8.75Hz の振動モード、8.75Hz~10.50Hz の範囲の振動モード、10.50Hz~12.25Hz の範囲の振動モード、12.25Hz~14.0Hz の範囲の振動モードを示している。ここで、この振動モードだけでは判断するのが難しいため、対象建築物の平面での全体振動特性の概要をつかむことを目的としている、B パターンの振動モードを確認してみる。そして、F パターンと同様の手法で B パターンの振動モードも図 7(b) に示す。また、対象建築物の長手方向のウイング部分の振動の詳細をつかむことを目的としている、C パターンの振動モードも確認してみる。これも F パターンと同様の手法で、振動モードを図 7(c) に示す。F パターンからわかることとして、この対象建築物においてメインではある程度一体となって振動していることが挙げられる。一方で、B・C パターンからわかることとして、ウイングについて、ウイングが湾曲していたり、ウイングが回転していたりと様々な振動をしている。

また、それらの振動の 1 次固有振動数が近い値になっていることで、振動モードが複雑になっており、1 次固有振動数が明瞭にならなかったと考えられる。

また、ここで、F パターンから、1 階床でのメインとウイングの波の入力を見る。

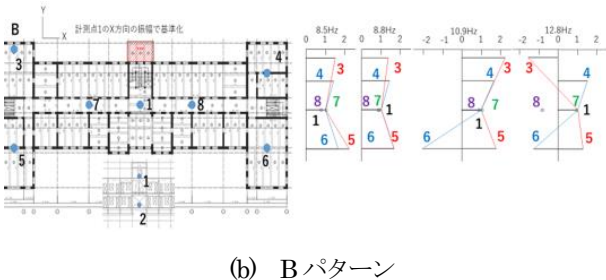


図6 フーリエスペクトル比 Fパターン

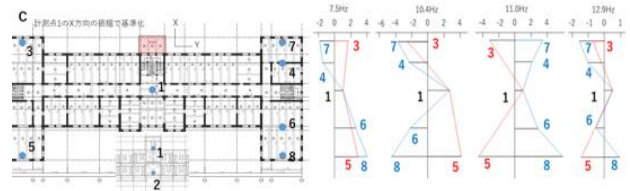


図7 振動モード X方向

そもそも対象建築物のメインとウイングの 1 階床で同時刻の波の入力のフーリエ振幅に大きな差があれば、屋上階でのメインとウイングの振動にも影響が出てしまい、それらの振動のフーリエ振幅を 1 階の計測機器 2 のフーリエ振幅で割って、フーリエスペクトル比を算出しているという設定に問題があるということになる。まずは、F パターンの計測機器 2 と計測機器 6 のフーリエスペクトル比を確認する。これを図 8 に示す。

ここで、計測機器2と計測機器6のフーリエスペクトル比が1.0付近であれば問題ないが、この図ではフーリエスペクトル比がかなり大きくなってしまっている。この時点で、計測機器2と計測機器6の入力に差があり、これが影響しているという可能性が生じた。ただし、この段階ではあくまで比であり、分母となる計測機器2の入力の値が小さく、実際のフーリエ振幅の差による影響よりも大きめに表現されている可能性があるため、計測機器2と計測機器6のフーリエ振幅を確認する。Fパターンの計測機器2と計測機器6のフーリエ振幅を図9に示す。図9からわかることとして、Y方向のフーリエ振幅では計測機器2と計測機器6で大きな差はないが、X方向のフーリエ振幅では、4.0Hzより大きい範囲で特に差が大きくなっていることがわかる。今回、X方向の振動モードで扱った7.0Hz~14.0Hzの範囲では、やはり計測機器2と計測機器6でフーリエ振幅に大きな差がある。よってX方向においては、そもそも波の入力となる1階の時点で、対象建築物のメインとウイングで差があったと考えられる。

また、この結果から、X方向の1次固有振動数を明確に決定することは難しく、剛床的な振動をしているかどうかは判断できないと考えられる。

## 5. まとめ

本論では、比較的大規模で不整形な平面形状を有し、床・屋根がRC造の煉瓦造建築物である第一庁舎について常時微動計測を多点観測した結果を述べた。計測結果より求めた1階床に対する2階床、屋上の計測点のフーリエスペクトル比と振動モードから、以下の知見が得られた。

- ・短手方向（Y方向）は、フーリエスペクトル比で5.9Hz~6.3Hzに卓越がみられ、当該周波数領域における振動モードは、中央の棟では概ね並進振動しており剛床的な挙動をしている。

- ・長手方向（X方向）は、Y方向に対して複雑な振動性状をしており、フーリエスペクトル比で凡そ7Hz~14Hzの広範囲に卓越がみられた。各振動数域の振動モード形状がそれぞれ異なっていることから、この方向について、剛床的な振動をしているかどうかは判断できない。原因としてH形の不整形な平面形状が振動性状を複雑化していることが示唆された。

## 謝辞

調査の実施に際しては、技術職員の皆様及び蜷川研究室の皆様にご多大なるご協力をいただきました。ここに記して感謝いたします。

### 【参考文献】

1) 多幾山法子：歴史的煉瓦造建築物の無補強壁の面外方

向振動特性の評価 日本建築学会構造系論文集 第77巻 673号 2012年3月

- 2) 中井理恵ら：京都旧技術資料館の耐震診断と補強 その1 建物概要、診断結果、補強計画および常時微動測定結果 日本建築学会大会学術講演梗概集 2012年9月
- 3) 原慶太, 南部恭広, 蜷川利彦：常時微動計測に基づく九州大学本部第三庁舎の振動特性の把握, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 2021.9.
- 4) 九州大学箱崎キャンパス第一庁舎伏図・原因

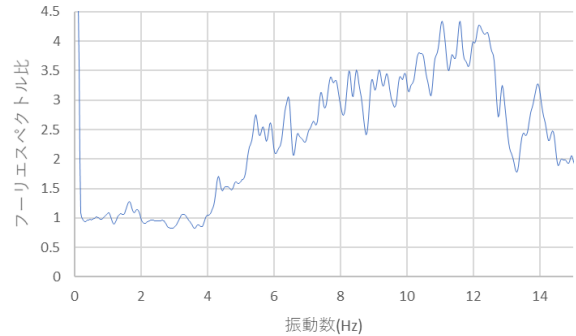
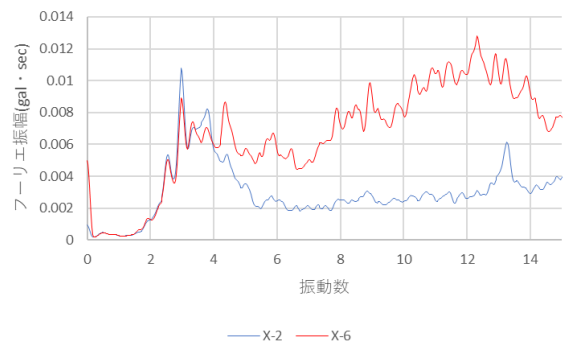
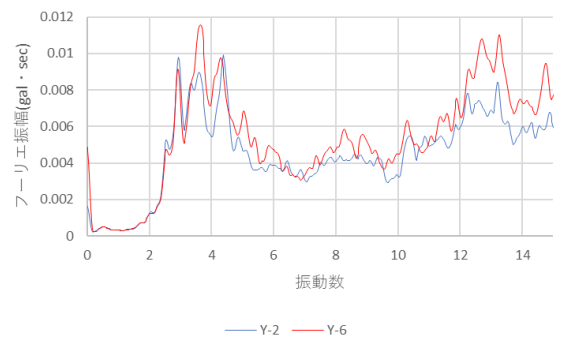


図8 フーリエスペクトル比 X6/X2



(a) X方向



(b) Y方向

図9 フーリエ振幅