

常時微動計測に基づく RC 造床・屋根を有する歴史的煉瓦造建築物の振動特性評価 -九州大学本部第一庁舎の事例-

櫻井 一真

1. はじめに

我が国には歴史的煉瓦造建築物が多く存在するが、中には RC 造床・屋根を有するものがある。RC 造床・屋根は木造床・屋根のものと比較して、煉瓦造壁体の頂部・脚部における面外方向への移動を拘束する。しかし、RC 造床・屋根を有する歴史的煉瓦造建築物についての振動特性を調べた事例は、常時微動計測を用いた中井ら¹⁾の研究があるものの非常に少なく、明らかになっていないことが多い。そこで、原ら²⁾は 2020 年に RC 造床・屋根を有する歴史的煉瓦造建築物である九州大学箱崎キャンパス第三庁舎で常時微動計測及び固有値解析を行った。続いて 2021 年に、同様の造りで第三庁舎に対して規模の大きい同キャンパス本部第一庁舎を対象とした常時微動計測を姫野ら³⁾が実施している。本研究では第一庁舎の常時微動計測を新たに追加して実施し、結果をもとに検討を行った内容を報告する。

2. 調査概要

2.1 調査対象建築物概要

対象建築物は、1925 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。概ね左右対称で H 形の平面形状をしている。図 1 に各階の平面伏図、図 2 に軸組図⁴⁾を示す。対象建築物を構成する壁体は無筋煉瓦造で、壁厚は 2 階内壁及び塔屋が 345mm、その他が 460mm となっている。2 階の床スラブ及び屋根スラブは RC 造で、小梁と一体となっており、壁頂部の臥梁も RC 造である。床厚は、図 3 に緑色で示した廊下部で 180mm、その他 130mm となっている。屋根の詳細断面図⁵⁾を図 3 に示す。1 階床スラブは RC 造と無筋コンクリート造であるが、場所の詳細や床厚については確認できない。また、今後の説明のため図 1 の (a) で示すように、左右の棟を「ウイング」と呼ぶ。

2.2 調査概要及び計測位置

計測は 2022 年 10 月 23 日に、水平 2 成分・鉛直 1 成分の過減衰加速度計 8 台を用いて実施した。計測器の配置パターンは A から D の 4 つであり、それぞれの計測器の配置を図 4 及び表 1 に示す。サンプリング周波数は 100Hz とし、1 回の計測時間は B パターンが 90 分で、その他が 30 分である。屋上階の中心に設置した計測器 3 は全てのパターンで計測している。A パタ

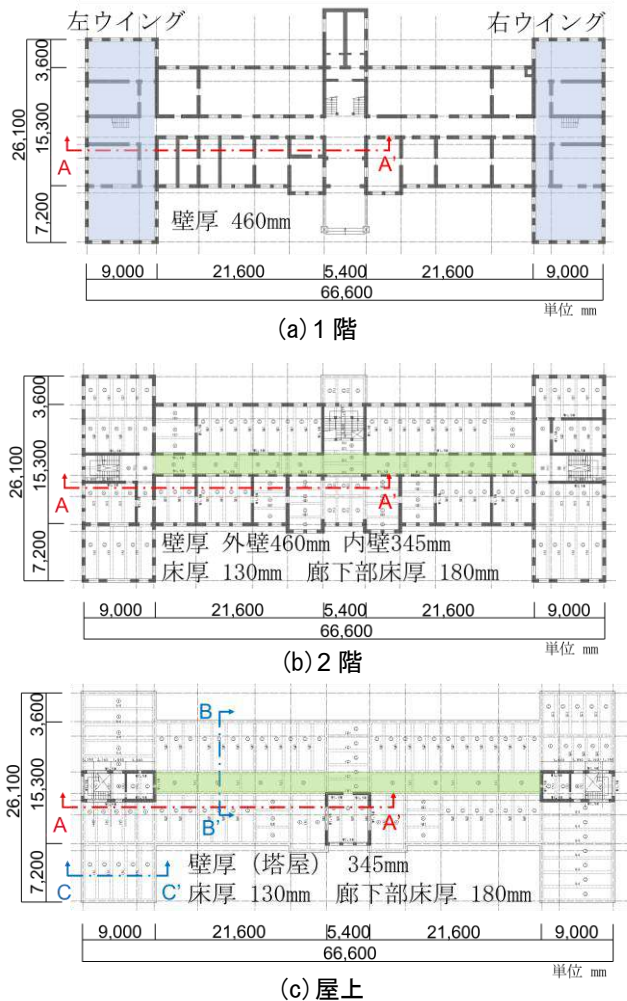


図 1 各階平面図⁴⁾

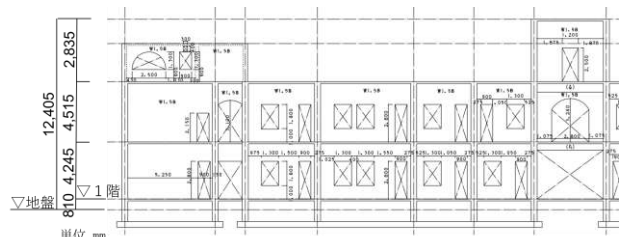
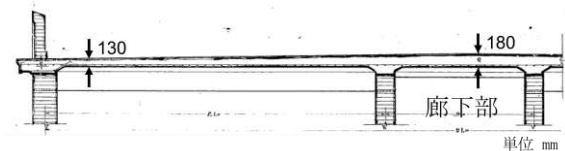
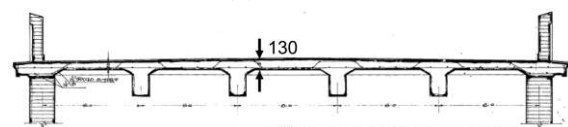


図 2 A-A' 断面軸組図⁴⁾



(a) B-B'



(b) C-C'

図 3 詳細断面図⁵⁾

表 1 配置パターン

		計測器配置番号																			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
配置パターン	A	○	○	○	○	○	○	○	○	○											
	B	○	○	○	○	○					○	○									○
	C	○	○	○									○	○	○	○					○
	D	○	○	○													○	○	○	○	○

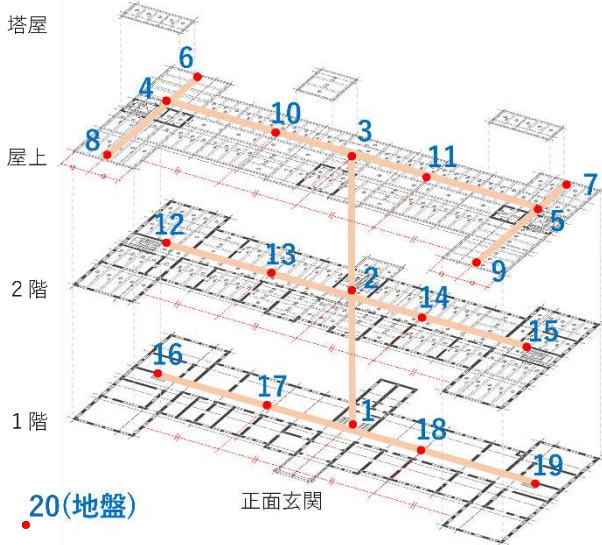


図 4 計測器配置

ーンはウイングの長手方向の振動特性を得ることを目的に、左右のウイングに短手方向に並べて配置する。B・C・Dパターンはそれぞれ屋上・2階・1階のRC床全体の短手方向の振動特性を得ることを目的に、建物全体に長手方向に並べて配置する。また、Bパターンの屋上は左右ウイングの塔屋を避けるため、A・Bパターンの計測器1と2は、C・Dパターンの計測器1と2より、1.5m建物後方にずらしている。ただし、このずらした距離は建物の規模を考慮すると短いため、その影響は小さいと考え、以降の分析では考慮しない。なお、B・C・Dパターンは計測器3で盛替えを行っている。

2.3 解析方法

本研究は、常時微動計測からフーリエスペクトル比とフーリエ位相差スペクトルを算出し、スペクトル比のピークにおける振動モードで建物の振動特性を評価する。以下に算出方法の詳細を説明する。フーリエスペクトル比 $H(\omega)$ とフーリエ位相差スペクトル $\varphi(\omega)$ の算出式を(1)式と(2)式に示す。

$$H(\omega) = \frac{\sqrt{Y(\omega) * \overline{Y(\omega)}}}{\sqrt{X(\omega) * \overline{X(\omega)}}} \quad (1)$$

$$\varphi(\omega) = \tan^{-1} \left[-\frac{\text{Im}(X(\omega) * \overline{Y(\omega)})}{\text{Re}(X(\omega) * \overline{Y(\omega)})} \right] \quad (2)$$

以降、これらをそれぞれスペクトル比、位相差スペクトルと呼ぶ。2点の常時微動計測結果を入力及び出

力と定義する。2点で計測して得られた時刻歴加速度波形を入力は $x(t)$ 、出力は $y(t)$ とし、それぞれ40.96秒間で分割する。この際、20.48秒間を重複させる。分割した区間の波形のうち明らかにノイズがみられる区間を選択・除去し、各区間を高速フーリエ変換することで時間分割したフーリエスペクトル $X(\omega)$ 及び $Y(\omega)$ を得る。これよりパワースペクトル及びクロススペクトルを算出する。時間分割した入力のパワースペクトルは $X(\omega) * \overline{X(\omega)}$ 、出力のパワースペクトルは $Y(\omega) * \overline{Y(\omega)}$ 、クロススペクトルは $X(\omega) * \overline{Y(\omega)}$ と表される。時間分割した入力及び出力のパワースペクトル及びクロススペクトルについて、アンサンブル平均とバンド幅0.2HzのParzen Windowによる平滑化処理を行う。(1)式と(2)式に処理された入力及び出力のパワースペクトル及びクロススペクトルが代入される。なお、入力は計測点1で統一する。

次に振動モードの算出方法を説明する。振動数 ω における各計測点の振動モード値は、フーリエ振幅 $A(\omega)$ 及び位相差 $\varphi(\omega)$ より算出される。各計測点の振動モード値 $V(\omega)$ を(3)式に示す。

$$V(\omega) = \frac{A(\omega)}{A_n(\omega)} * \cos(\varphi_n(\omega) - \varphi(\omega)) \quad (3)$$

正規化点は全計測点のうち、フーリエ振幅が最大となる点とする。 $A_n(\omega)$ 及び $\varphi_n(\omega)$ は正規化点のフーリエ振幅及び位相差である。正規化点の振動モード値は $V_n(\omega) = 1$ となる。各点と正規化点との位相差の余弦をとり、正規化点のフーリエ振幅 $A_n(\omega)$ で除すことで(3)式が得られる。それぞれの計測点での振動モード値をプロットし、繋げたものを振動モードとした。この振動モードで、正規化した計測点の振幅が最大となる時刻の建物の形状を見る。

3. 解析結果

3.1 高さ方向のスペクトル比と位相差スペクトル

建物の中央における高さ方向の振動特性として、2階(計測点2)と屋上(計測点3)のスペクトル比及び位相差スペクトルを図5に示す。屋上と2階とも6.2Hz付近と7.3Hz付近にスペクトル比のピークがみられる。9.8Hz付近では、スペクトル比のピークは屋上のみみにみられる。6.2Hz付近と7.3Hz付近ではピークが現れているが、1階と屋上の位相差が小さい。屋上の位相差は9.6Hz付近でおよそ 90° となった。2階は位相差がおよそ $\pm 90^\circ$ になる振動数は存在しないという結果となった。スペクトル比及び位相差スペクトルのみから建物の固有振動数を判断することは困難である。

3.2 ピーク振動数における振動モード

次に、屋上の5つの計測点（計測点3、4、5、10、11）のスペクトル比を図6に示す。ピークは各計測点で多数みられるが、スペクトル比のピークは計測点ごとに振動数が一部異なっている。計測器4と5は左右のウイングに設置したもので、計測器10と11は屋上の中央と左右のウイングの中間点に設置したものであるが、計測器4と5及び計測器10と11でスペクトル比の形が似る結果となった。図6で多数のピークから、ピーク振動数として矢印で示す4.03Hz、6.23Hz、7.42Hz、9.74Hzを選択し、そのピーク振動数の振動モードを描く。選択した4つの振動数は、入力した計測点の直上にある計測点3にみられるピーク振動数（6.23Hz、7.42Hz、9.74Hz）に加えて、左のウイング（計測点10）にみられるピーク振動数（4.03Hz）である。

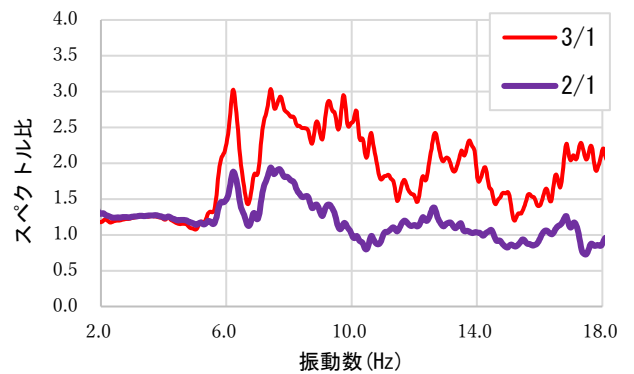
検討するピーク振動数における振動モードを、図7では建物中央の高さ方向の振動モードを短手方向の水平変位について、図8は短手方向について屋上・2階・1階の床全体の振動モードを、長手方向について屋上の左右ウイングの振動モードを描いている。

4.03Hzは、ウイングのスペクトル比のみにピークが現れており、屋上と1階の振動モードより、床がねじれながら並進振動しているようなモードになっているが、2階は並進振動のみのモードとなっている。

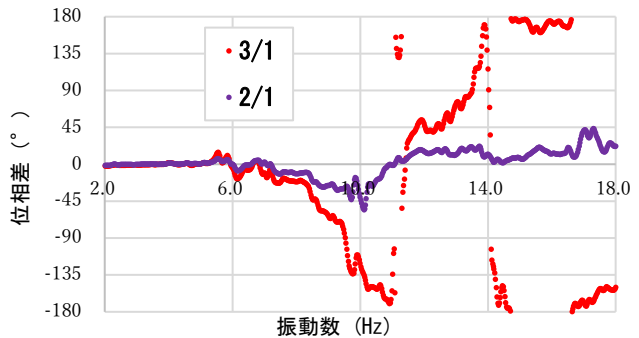
6.2Hzは、スペクトル比にみられるピークはどの計測点でもほとんど一致して表れており、それぞれの振動モードで直線かつ軸に平行になっており、建物全体で並進振動するモードであることが確認できる。7.42Hzは、屋上と2階の振動モードから、左ウイング（計測点4、12）のみ位相が異なる挙動をするモードとなっており、計測点4は隣の計測点10に対してほとんど逆位相で、計測点12も隣の計測点13に対して位相差が大きく表れている。9.74Hzは、屋上では並進振動モードがみられるが、2階は中央の計測点2のみ位相が異なり、1階は右ウイングの計測点19のみ位相が異なっている。また、1階と屋上の位相差は右ウイング（計測点5、19）のみ同位相となっており、その他の点ではほとんど逆位相となっている。

4. まとめ

RC造床・屋根を有する煉瓦造で第三庁舎より規模の大きい第一庁舎を対象として常時微動計測を行った。計測結果をもとにスペクトル比・位相差スペクトル及びピーク振動数における振動モードを算出した。これらの結果から、第一庁舎の振動特性について得られた



(a) スペクトル比



(b) 位相差スペクトル

図5 高さ方向のスペクトル比と位相差スペクトル

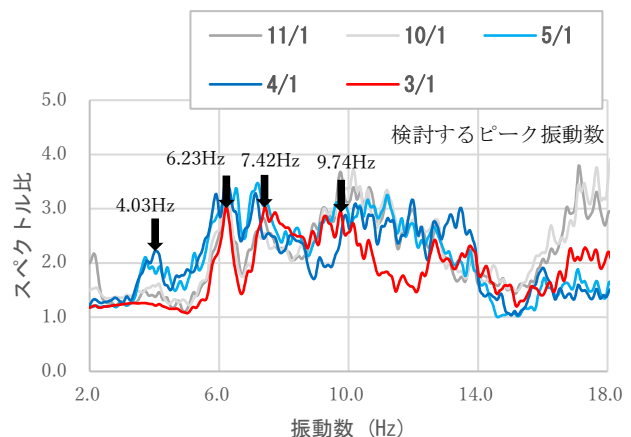


図6 屋上各点のスペクトル比

知見を以下に示す。

- ・建物中央高さ方向のスペクトル比でみられる6.23Hz、7.42Hzのピークは位相差が小さい。
- ・各計測点でのスペクトル比から多数のピーク振動数が得られた。
- ・複数のピーク振動数において、ねじれ及び並進振動する振動モードや、同一階の計測点において1点のみ位相が大きく異なる振動モードが存在し、各ピーク振動数で異なる振動モードとなった。

規模が大きくH形である平面形状が、このような特性の要因である可能性として挙げられる。

参考文献

- 1) 中井理恵ら：京都旧技術資料館の耐震診断と補強 その1 日本建築学会大会学術講演梗概集 2012年9月
- 2) 原慶太ら：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.

- 3) 姫野健太ら：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
- 4) 九州大学箱崎キャンパス第一庁舎伏図・原図
- 5) 九州大学本部第一庁舎 新築設計図

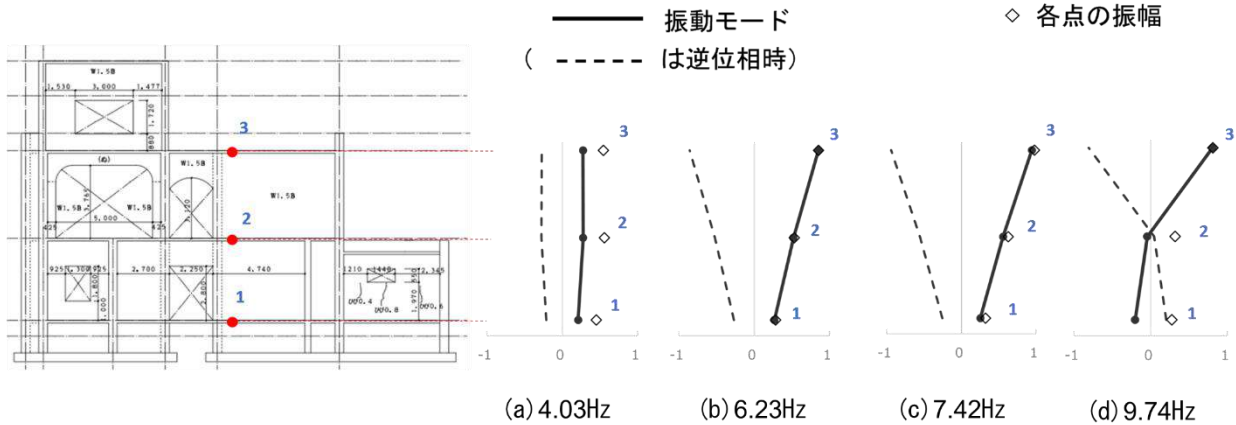


図7 ピーク振動数における振動モード（高さ方向）

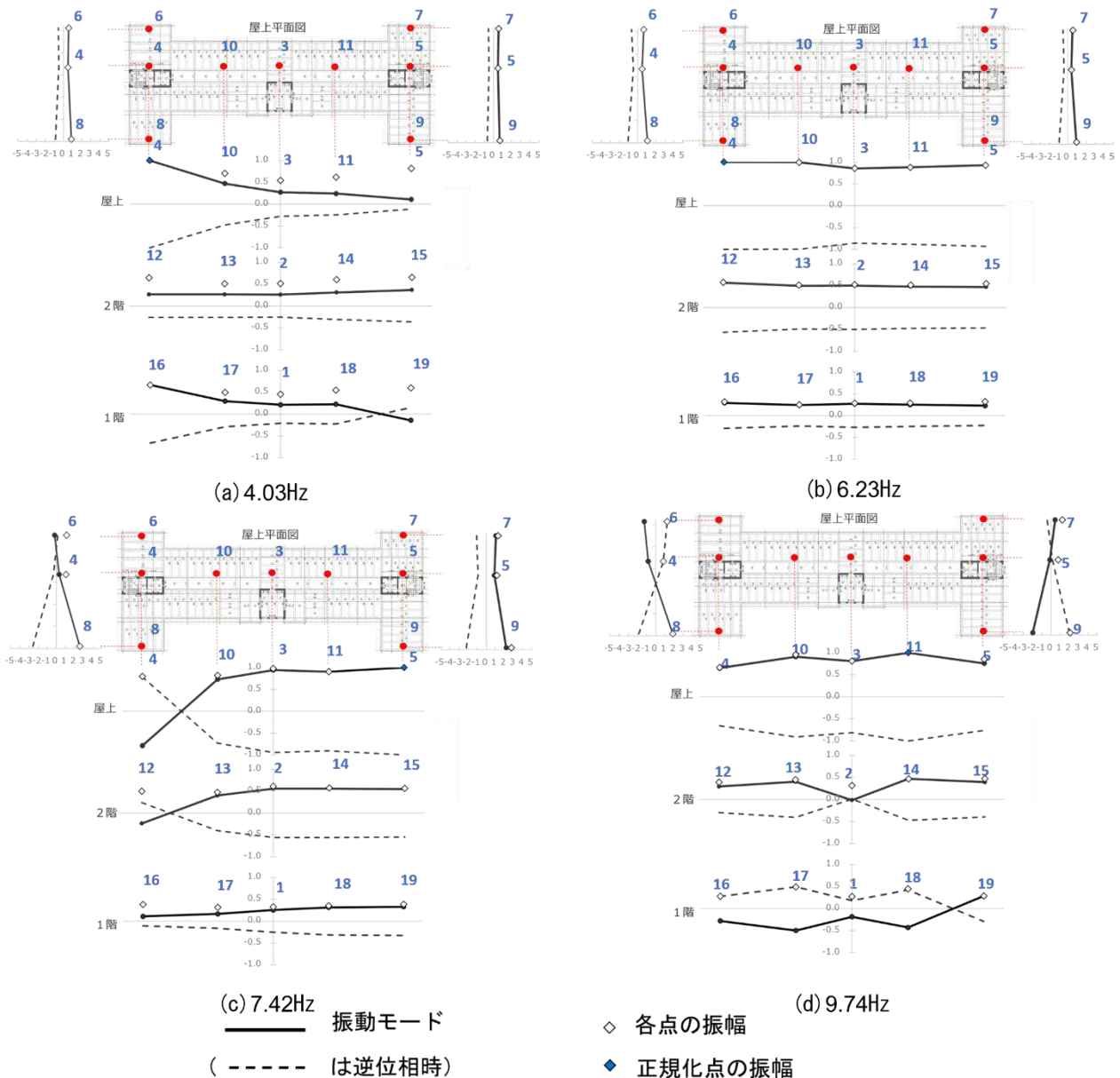


図8 ピーク振動数における振動モード（水平方向）