

吹抜けを有する 5 階建て SRC 建物における振動特性に関する研究

常時微動	不整形平面	鉄骨鉄筋コンクリート造	1240144	牧野 滉平*
FFT	固有振動数	固有ベクトル	指導教員	鈴木 卓

1. はじめに

地震の多い我が国では、地震被害の予測・低減のために建物の耐震性能評価の高精度化が求められている。そのために常時微動計測などによる実建物の振動特性調査が行われている。一方で耐震性能評価のための構造解析では、剛床仮定により建物の各構面に応力が分配される。文献 1)では、細長い平面形状や吹抜けを有する建物において剛床仮定の成立し難いことが指摘されているものの、その成立条件に関する具体的な規定は存在しない。そのため、設計モデルと実建物との間で振動特性の差異が危惧される²⁾。

以上を背景として本研究では、剛床仮定の成立条件に資する基礎資料の取得を目的として長辺に長い吹抜けを有する 5 階建て鉄骨鉄筋コンクリート（以下、SRC）造建物を対象とした常時微動計測を実施した。本論文は、常時微動計測の概要および計測結果について述べる。

2. 常時微動計測

2.1 対象建物

対象建物は高知県香美市にある 1997 年 4 月に竣工された SRC 造地下 1 階、地上 5 階建ての学校施設である。長辺方向が EW、短辺方向が NS である。図 1 に建物の敷地³⁾を、図 2 に建物の 1 階平面および図 3 に短辺方向 X7 構面の立面をそれぞれ示す。建物の長辺×短辺長さは約 94×31m である。建物高さは約 22m であり、建物 4 階から短辺方向にセットバックしている。本建物は 2~5 階

にかけて長辺方向に長い吹抜けを有している。床スラブ厚は 150~200 mm である。図 2 中の X1, 3, 4, 9, 10 および 13 構面には連層耐震壁が設置されている。コンクリート設計基準強度は 24N/mm²である。主筋には SD345 が、せん断補強筋には SD295A がそれぞれ使用されている。

2.2 計測計画

常時微動計測は 2023 年 11 月 15 日の校内に人通りの少ない時間に実施した。計測に用いた加速度計はセイコーエプソン社製加速度計 M-A352 を内蔵したソナス社製 sonas x02 SUP-X-X2 である。加速度計は検出範囲±15G、分解能 0.059μG、ノイズ密度 0.2μG/Hz^{0.5}および出力レート 50~1,000Hz である。

計測時間は 30 分×4 回、サンプリング周波数は 100Hz である。表 1 に加速度計の設置状況を示す。各 Case に



図 1 建物の敷地

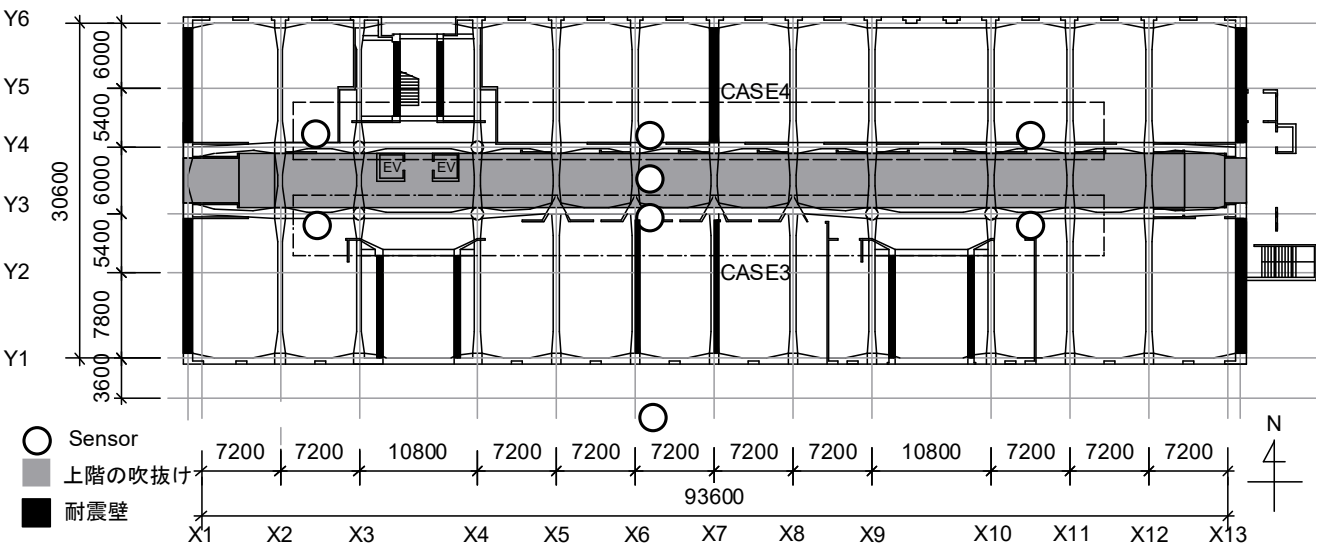


図 2 1 階平面

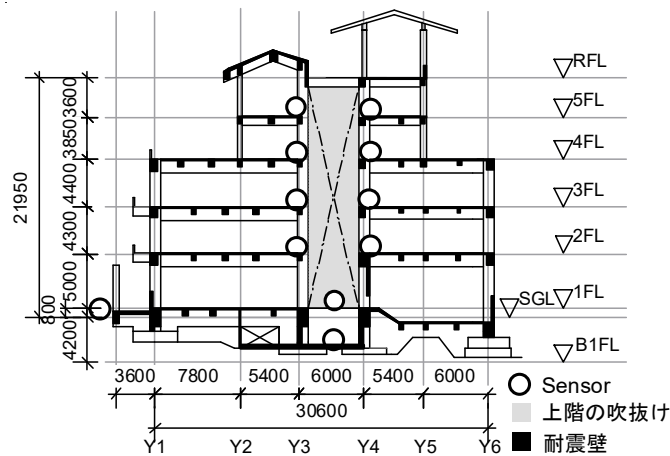


図 3 短辺方向 X7 構面の立面

表 1 加速度計の設置状況				
Case	1	2	3	4
Start time	9:55	10:45	11:45	12:50
Location	N-S	Both	Both	North
	E-W	Mid	Mid	All
5F	○	○	All	All
4F	-	○	-	-
3F	○	○	All	All
2F	○	-	-	-
1F/B1F/NG	○			

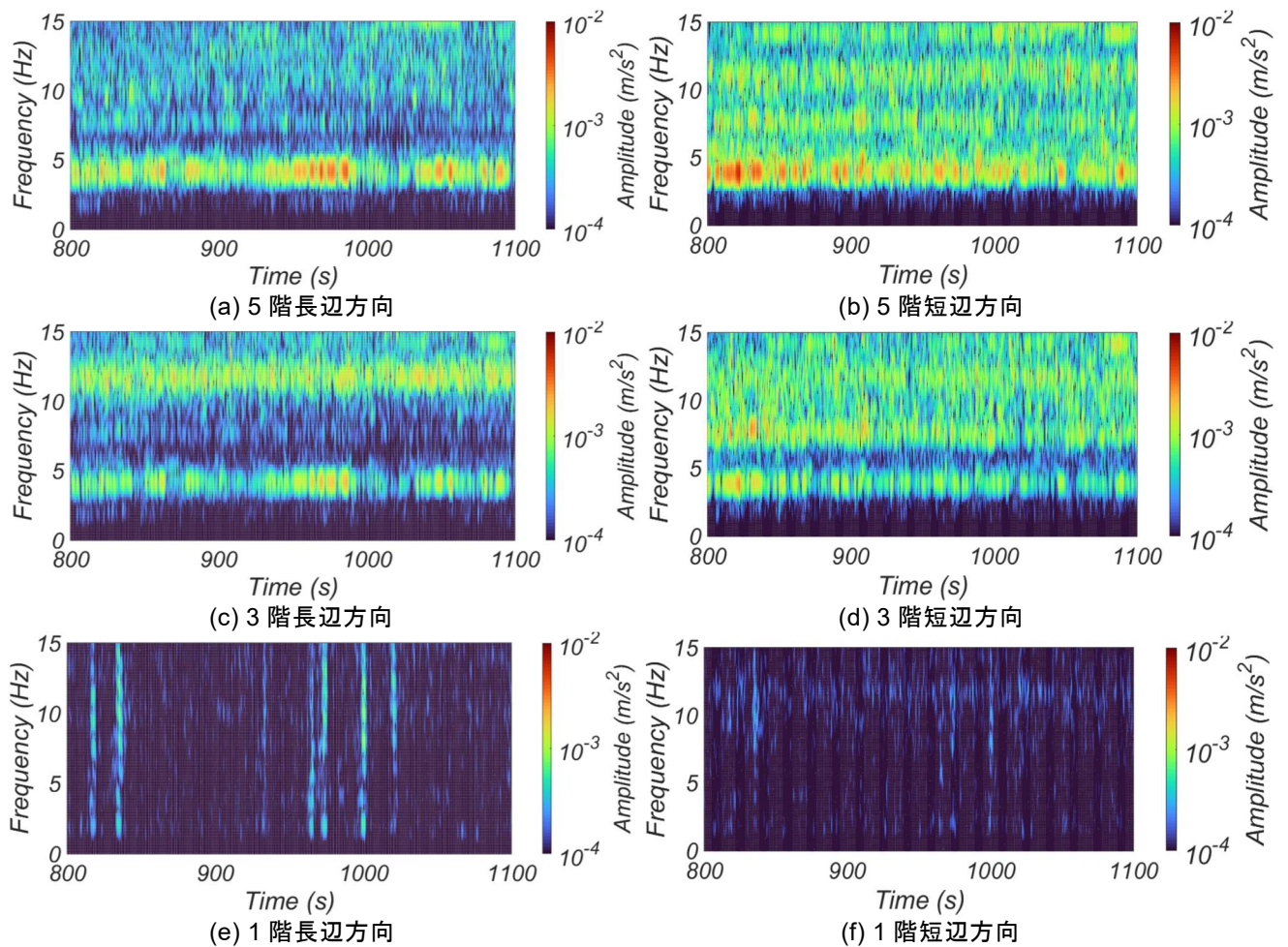


図 4 振幅スペクトログラム

において近傍地盤（NG），地下 1 階および 1 階の計測は共通とした。Case 1, 2 では，吹抜けにより分断された建物北側と南側の高さ方向に加速度計を設置した。Case 3, 4 では，3 階および 5 階における建物長辺方向の 3 か所に加速度計を設置した。計測波形には，1～25Hz のバンドパスフィルタ（10 次のバターワース）を適用した。

3. 解析結果
3.1 振幅スペクトログラム

図 4 に Case 1 で得られた波形を短時間フーリエ変換（Han 窓，窓長 2⁹ 個，重複率 75%）により得られた振幅スペクトログラムを示す。
長辺および短辺ともに 3 階および 5 階において 4Hz 付近に高い振幅が認められた。長辺方向の 3 階では，12Hz 付近にも高い振幅が確認された。しかし，短辺方向では，

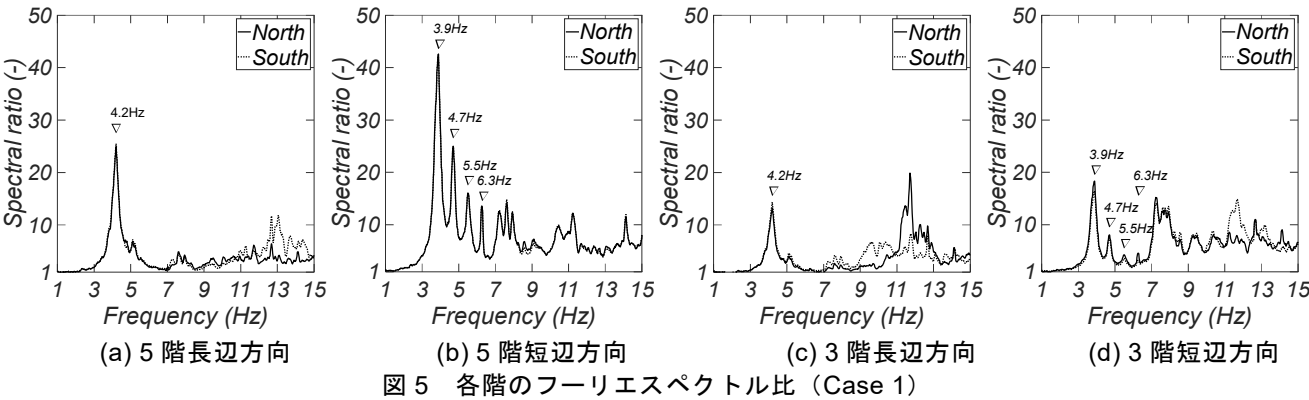


図 5 各階のフーリエスペクトル比 (Case 1)

表 2 固有振動数および減衰定数

Mode	Direction	Frequency (Hz)	Period (s)	Damping ratio (%)
1st	Transverse	3.88	0.258	3.48
2nd	Longitudinal	4.20	0.238	3.04
3rd	Transverse	4.69	0.213	2.13
4th	Transverse	5.49	0.182	2.00
5th	Transverse	6.25	0.160	0.96
6th	Torsion	7.62	0.131	1.25

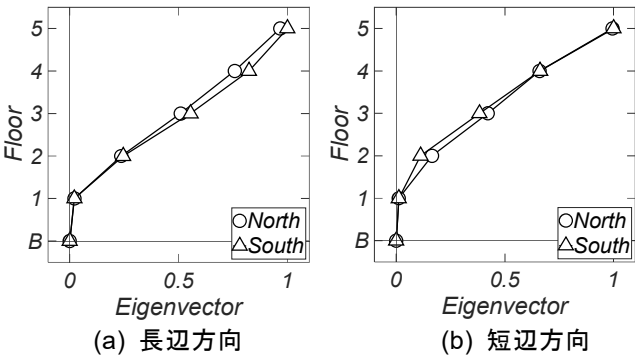


図 6 1 次モードの固有ベクトル分布 (Case 1, 2 の平均)

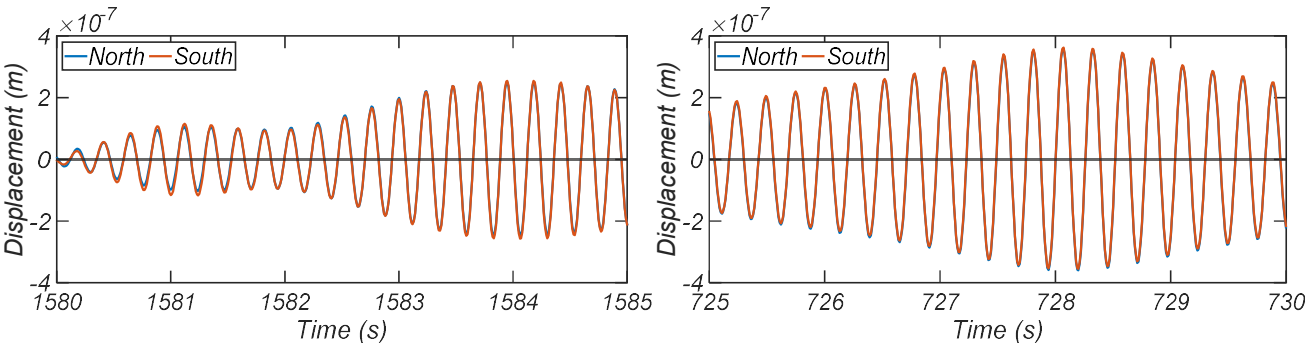


図 7 Case 1 の 1 次モードの変位波形 (左側：長辺方向, 右側：短辺方向)

3 階および 5 階ともに高振幅を維持する傾向が確認された。一方の 1 階では、長辺および短辺ともに顕著な振幅の発生は認められなかった。

3.2 建物高さ方向の解析結果

フィルタリング処理を施した加速度波形をオーバーラップ率 0.5 でサンプル数 2^{12} 個の 88 波に分割し、得られた各波形のフーリエスペクトルをアンサンブル平均した。図 5 に Case 1 における建物両側の各階/1 階のフーリエスペクトル比を、表 2 に Case 1, 2 より得られた各方向の固有振動数、固有周期および減衰定数を示す。固有振動数は 5 点ピーク法、減衰定数は $1/\sqrt{2}$ 法を用いて推定した。

長辺方向では、北および南側の各階ともに 4.2Hz にピークがみられた。また、5 階では 12Hz、3 階では 9Hz 以上の振動数において、北と南側のスペクトル比に若干の差が認められた。一方の短辺方向では、3.9、4.7、5.5 および 6.3Hz にピークがみられた。また、5 階では北と南側のスペクトル比に顕著な差は確認されなかったものの、3

階では 12Hz 付近で北と南側のスペクトル比に差がみられた。

図 6 に北および南側における 1 次モードの固有ベクトル分布を示す。固有ベクトルは卓越振動数（長辺 4.2Hz、短辺 3.9Hz）を中心とする狭帯域バンドパスフィルターを適用した変位波形において北側 5 階が最大値となる時刻の値である。同図は Case 1 および 2 で得られたベクトルの平均値である。長辺方向では 3~5 階で、短辺方向では 2~3 階において北と南側のベクトルに若干の差が認められるものの、分布形はほぼ一致している。

図 7 に北および南側における 5 階の 1 次モード変位波形を示す。同図は各方向における変位応答の最大値が記録された時刻付近を示している。北および南側ともに応答変位およびその位相は概ね一致している。

3.3 建物平面方向の解析結果

図 8 に建物北側 (Case 4) における長辺方向および短辺方向各位置の各階/1 階のフーリエスペクトル比を示す。

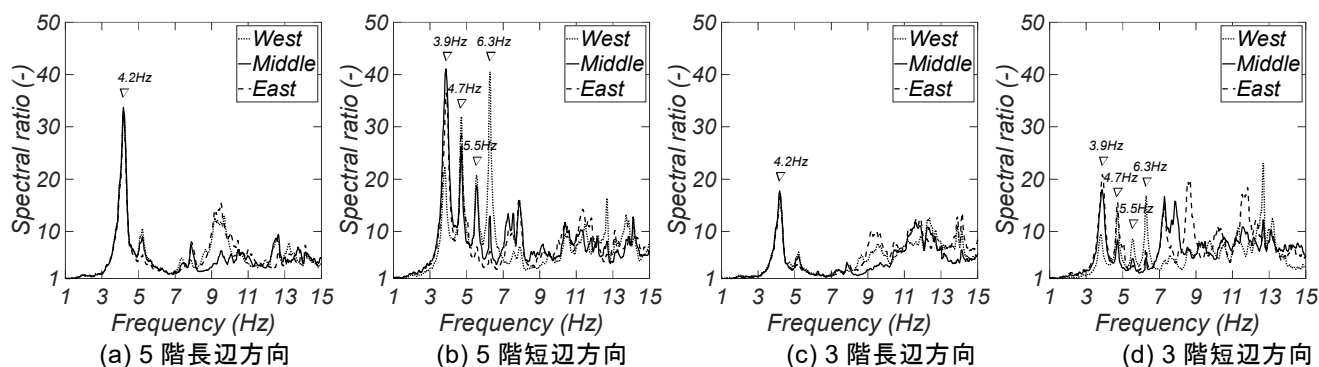


図8 建物北側 (Case 4) における各階/1階のフーリエスペクトル比

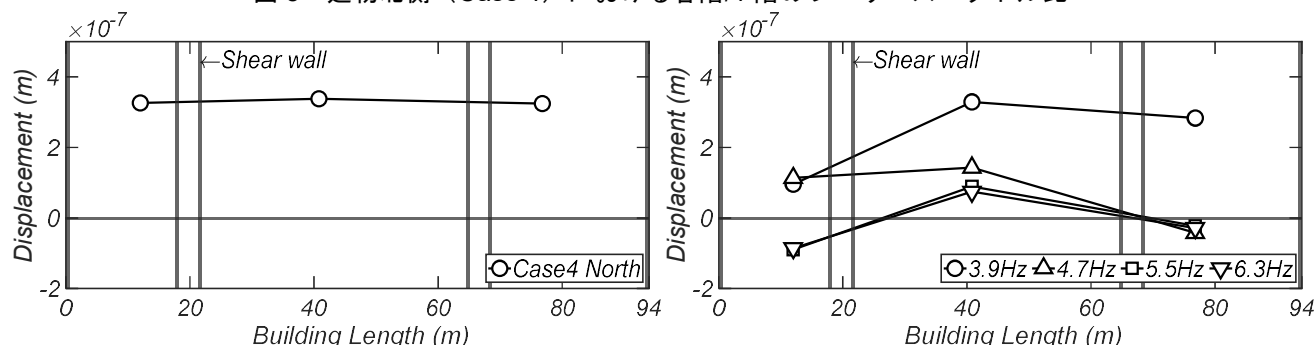


図9 建物北側の5階長辺方向における変位分布 (左側: 長辺変位, 右側: 短辺変位)

長辺方向では、各階ともに各位置のスペクトル比は概ね一致している。また、各階ともに8Hz以上の振動数において、各位置のスペクトル比に若干の差がみられた。一方の短辺方向では、各階ともに各位置のスペクトル比にばらつきがみられた。

図9に建物5階北側長辺方向における変位分布を示す。変位は卓越振動数(長辺 4.2Hz, 短辺 3.9, 4.7, 5.5, 6.3Hz)を中心に3.2節の手法により算定した。変位は5階中央の最大変位時の値を示している。同図には短辺方向の連層耐震壁を太線で示している。

長辺方向では、建物5階各所の長辺方向の変位分布はほぼ一致している。短辺方向では、西側、中央および東側の変位に顕著な差が認められ、これが図5および8の短辺方向におけるフーリエスペクトル比に示すように1次振動数付近に生じた複数のピークの要因と判断された。これらのことから、本計測建物では、短辺方向に耐震壁を有しているものの、剛床と仮定されない可能性がある。

4. まとめ

本研究では、長辺方向に長い吹抜けを有する5階建て鉄骨鉄筋コンクリート造建物の常時微動計測を行った。本論文より得られた知見を以下に示す。

- 1) 建物中心付近では、吹抜け両側における低周波領域のフーリエスペクトル比、1次モードの高さ方向ベクトル分布および5階の応答変位波形に大きな差異は認められなかった。
- 2) 建物長辺方向の建物3階および5階の変位分布は、概ね一致する傾向が認められた。
- 3) 建物短辺方向では、建物5階中央の変位が最も大きく、長辺両端の変位に顕著な差が確認された。

参考文献

- 1) 日本建築学会：鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説，2018
- 2) DAO DUY AN, 岩崎良二, 高田毅士：吹き抜けのある階を有する建物の振動特性に関する研究，日本建築学会関東支部研究報告集，pp.217-220, 2004
- 3) 出典：国土地理院，計測対象地（地理院タイルを加工して作成）