

細長い平面形状と吹抜けを有する SRC 造建物の常時微動計測と構造解析モデルの比較

モード形
床ブレース置換

固有値解析
フーリエ振幅スペクトル

固有振動数
非剛床

1250146 別所 和真*
指導教員 鈴木 卓

1. はじめに

構造設計では、解析負荷を軽減するために建物の床の剛床が仮定される。しかし、吹抜け等により平面における床の欠損が大きい場合や建物平面形状が細長い場合では、剛床と仮定することにより設計者の意図しない変形を起こす可能性がある¹⁾。

剛床仮定を適用しない場合、床剛性の適切なモデル化が必要である。そのモデル化の一つに床のブレース置換がある²⁾。また、大きな吹抜けがある建物に対して多剛床モデルを検討する事例も存在する³⁾。しかし、細長い平面形状の実建物に対して常時微動計測およびブレース置換を用いた解析の応答を比較した研究事例は筆者らの調べた限りでは存在しない。

本研究では、床の変形を考慮した構造解析モデルの構築を目的として細長い平面形状と大きな吹抜けを有する 5 階建て鉄骨鉄筋コンクリート造（以下、SRC 造）建物の常時微動計測および当該建物の固有値解析を実施した。本報では、各層の平面全体を剛床としたモデルおよびブレース置換を施した多剛床モデルの解析および常時微動計測の固有値の比較を示す。

2. 常時微動計測

2.1 対象建物

対象建物は、1997 年 4 月に竣工された高知工科大学香美キャンパス内に建つ地下 1 階、地上 5 階 SRC 造の教育研究棟 B 棟である。建物長辺方向が EW、短辺方向が NS である。

図 1 に重心付近である X7 構面の断面、図 2 に 3 階平面をそれぞれ示す。長辺方向は 13 スパンの 96m、短辺方向は 3 スパンの 31m である。本建物は 2 階から 5 階にかけて長辺方向に長い吹抜けを有する。1 階を基準として 2 階南側は 2m、3 階南側は 4m、4 階南側は 11m および 4 階北側は 6m 程度短辺方向にセットバックしている。

表 1 建物の重量と床面積

	Floor				
	1	2	3	4	5
Weight (kN)	47,530	35,741	33,830	36,417	15,494
Area (m ²)	3,201	2,254	2,214	2,569	989
Weight / Area (kN / m ²)	14.8	15.9	15.3	14.2	15.7

表 1 に建物の重量と床面積を示す。コンクリートの設計基準強度は 24N/mm²、柱梁主筋は SD345、せん断補強筋は SD295A が使用されている。短辺方向には壁厚 250mm の耐震壁がある。図 2 に示すように X1, 3, 4, 9, 10, 13 構面に 1 階から 5 階までの連層耐震壁がある。X9, 10 構面の北側は 2 階から 5 階までの連層耐震壁となっている。

2.2 計測計画

計測に用いた加速度計はセイコーエプソン社製 3 軸加速度センサ「M-A352」である。加速度計の計測範囲は±15G、ノイズレベルは 0.2μG/Hz^{0.5}および分解能は 0.059μG である。

常時微動計測は、2024 年 6 月 19 日、10 時 25 分（Case 1）および同年 8 月 23 日、11 時 06 分（Case 2）の人通りの少ない時間帯に実施した。計測時間は各 15 分間とし、サンプリング周波数は 100Hz である。

図 1, 2 に加速度計の設置場所を示す。各 Case において 1 階の X7-Y3 付近および 3 階の X7-Y4 付近の床を共通の計測位置とした。Case 1 では、吹抜けにより分断された X7-Y4 位置（以後、北側）と X7-Y3 位置（以後、南側）の各階に加速度計を設置した。Case 2 では、3 階北側構面における長辺方向の 7 ヲ所（図 2 参照）に加速度計を設置した。観測波形は、近傍地盤成分を差し引き、0.1 から 10Hz のバンドパスフィルタを通過させた。

2.3 計測結果

サンプル数 4,096（40.96 秒）で重複率 0.5 の 42 波をフー

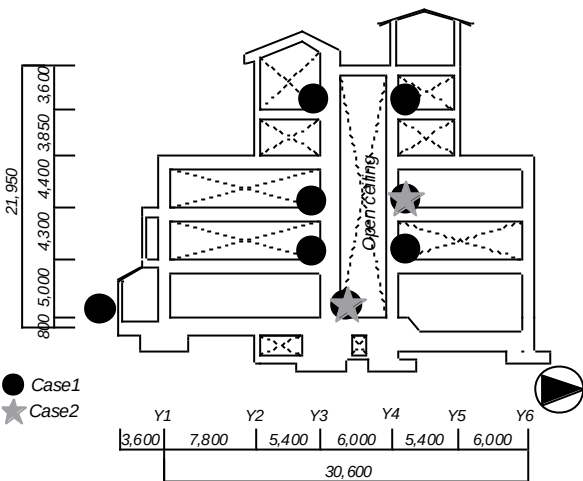


図 1 X7 構面断面

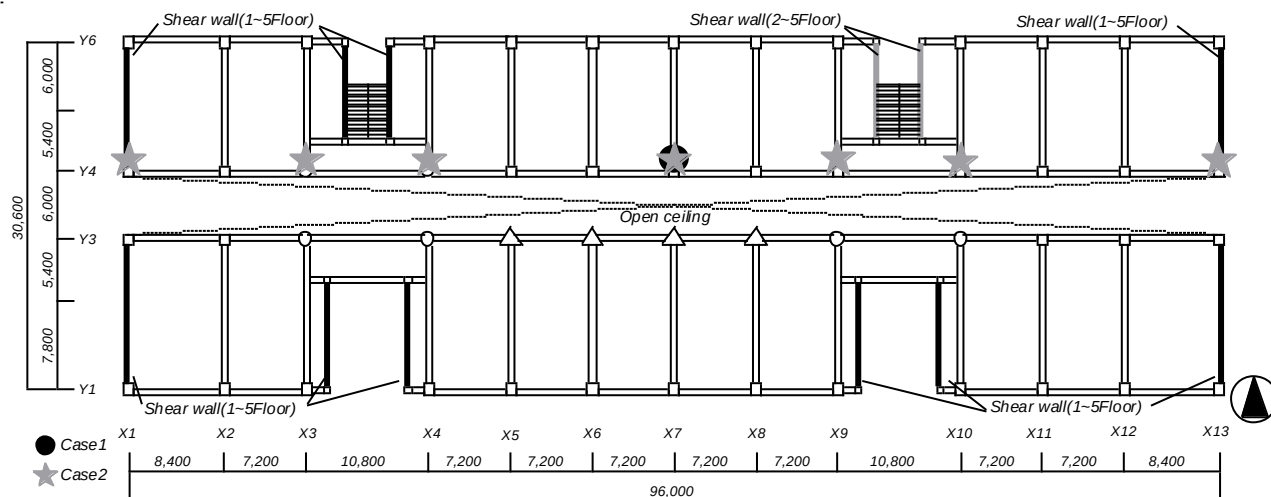


図2 3階平面

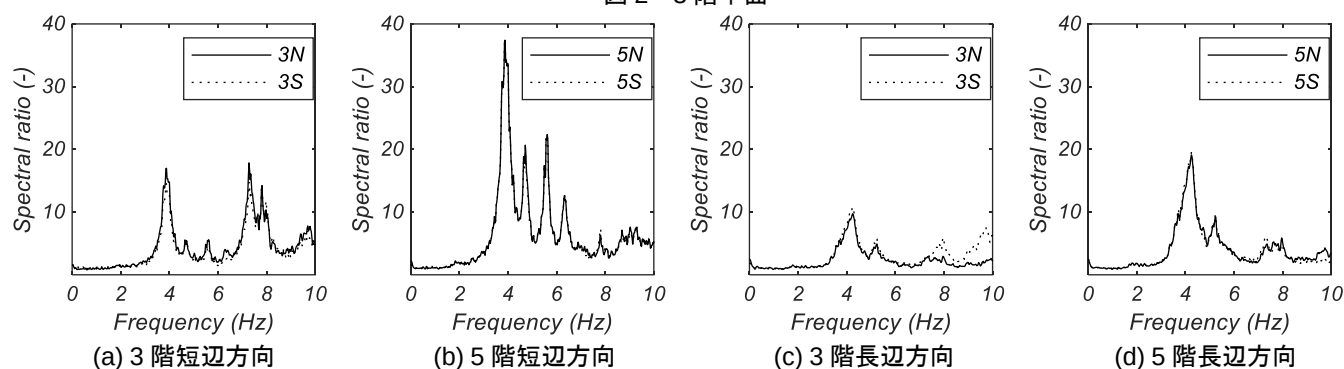


図3 各階および1階のフーリエ振幅スペクトル比

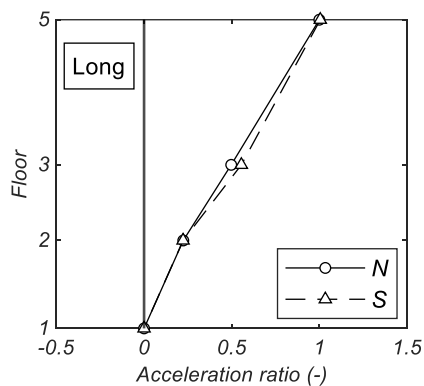
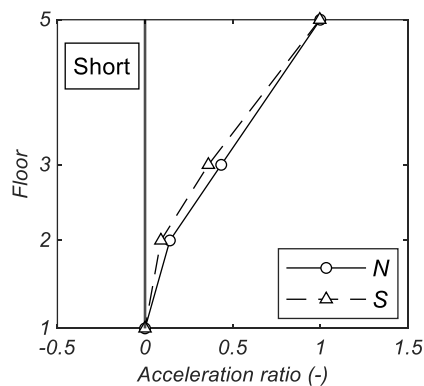


図4 北および南側の各階のモード分布 (Short : 3.9Hz, Long : 4.2Hz)

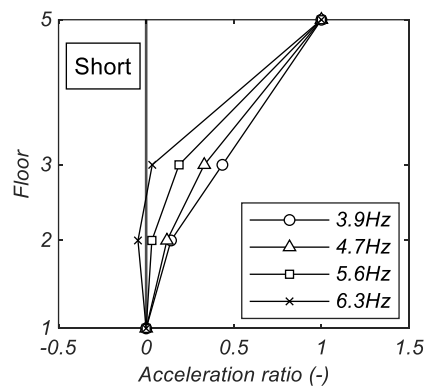


図5 北側各階のピーク帯モード分布

リエ変換し、その振幅スペクトルをアンサンブル平均した。図3に Case 1 における建物両側の各階/1階の振幅スペクトル比を、後述の表2に Case 1 より推定された各方向の1次固有振動数を示す。固有振動数は5点ピーク法を用いて決定した。

短辺方向をみると、吹抜けの北側と南側のスペクトル比に大きな差はみられなかった。3階および5階ともに3.9Hzにおいて明瞭なピークが認められ、この振動数が短辺方向の1次固有振動数と判断された。この他に3階では、7.3Hzに明瞭なピークがみられたのに対して、5階では4.7、5.6および6.3Hzにピークがみられた。

長辺方向をみると、3階の7Hz以上の振動数帯において

南北のスペクトル比に差異がみられるものの、3階のそれ以外の振動数帯および5階において大きな差異は認められなかった。3階および5階ともに4.2Hzに明瞭なピークが認められ、この振動数が長辺方向の1次固有振動数と判断された。

図4に Case 1 における1次モードにおける北および南側の各階モード分布を、図5に短辺方向のピークにおける各階モード分布を示す。モード分布は観測波形から1階成分を差し引き、卓越振動数(短辺3.91Hz, 長辺4.22Hz)を中心とする $\pm 0.25\text{Hz}$ のバンドパスフィルタを適用した加速度波形において5階北側が最大となる時刻の値を各計測結果から取り出したものであり、各位置/5階北側のX7構面の加

速度比で示している。図 4 における短辺方向の 2 から 3 階および長辺方向の 3 階で若干の差がみられるものの、モード分布の形状は概ね対応している。また、図 5 では短辺方向における 3.9Hz のモード分布と同傾向のモード分布が確認された。

図 6 に Case 2 における 3 階北側のモード分布を示す。モード形状は図 4 と同じ手法で算出した。X7-X10 構面の間でピークとする山なりのモード分布が観察された。

3. 固有値解析

3.1 モデル化

モデル化は文献 1)および 4)を基に作成している。解析モデルは 3 次元モデルとし、地上階のみをモデル化した。柱・梁部材は鉄筋・鉄骨による剛性増大を考慮した線材に置換した。耐震壁は面外剛性を無視した壁エレメントに置換した。袖壁・腰壁・垂れ壁は取りつく部材の剛性を増大させることで考慮した。剛域は接合部の縁から部材のせいひの 1/4 倍の長さ入った位置までとした²⁾。1 階柱脚の節点をピン支

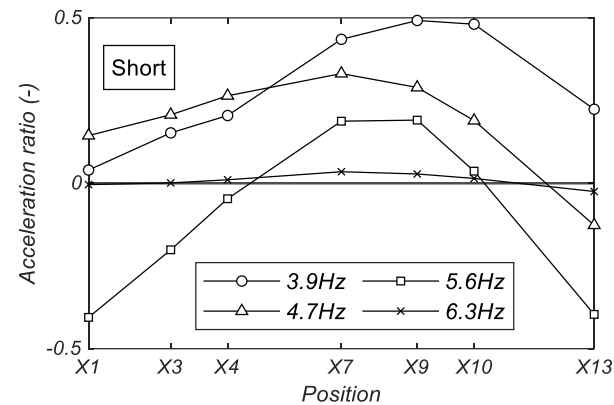


図 6 3 階北側モード分布

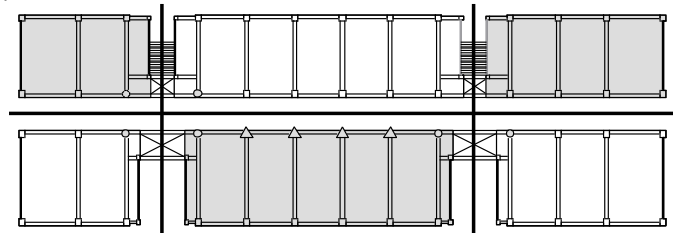


図 7 剛床の分け方

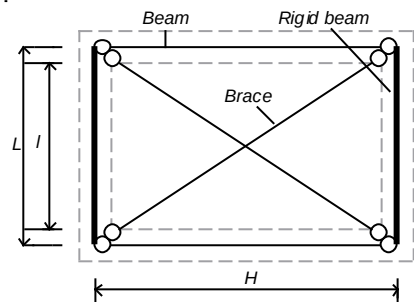


図 8 ブレース置換方法

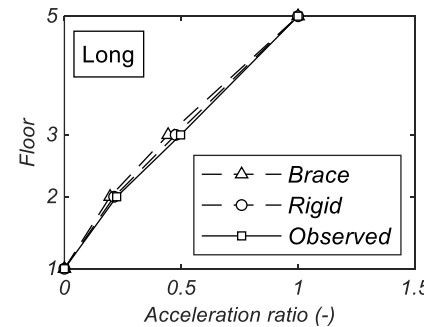
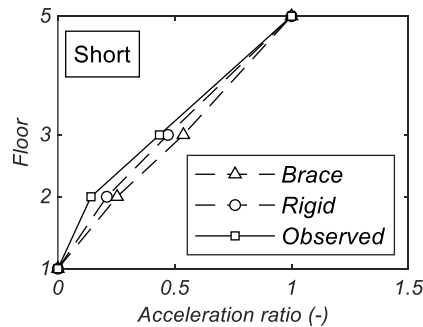


図 9 解析および計測の各階のモード分布

点とした。

固定荷重として部材重量、機械重量および仕上げ材重量を与えた。積載荷重は地震用積載荷重を与えた。

本報では、床の変形状態を考慮するために 2 つのモデルを作成した。1 つ目のモデル（剛床モデルと称す）では、同一層の床をすべて剛床仮定のもとで同一変形であるものと仮定した。

2 つ目のモデル（ブレースモデルと称す）では、図 7 に示すように階段により床の幅が狭くなっている箇所および吹抜けを境に多剛床を仮定した。また、多剛床の間の床の変形を図 8 に示すブレース置換により考慮した。ブレース置換では、短辺方向の変形に対してモデル化を行った。ブレースの軸剛性は床のせん断剛性と等価として式(1)より算定した。ブレース南北両側の梁の軸断面積は梁を含むスラブコンクリート全体の曲げ剛性に一致させるために式(2)に従い算定した。

$$A_b = \frac{Gt}{2\kappa E_c H L} \left(\sqrt{H^2 + L^2} \right)^3 \quad (1)$$

$$A_c = A_0 + \frac{tl^3}{6L^2} \quad (2)$$

ここで、 A_b ：ブレース 1 本の断面積、 G ：せん断弾性係数、 A_c ：置換後の梁の断面積、 A_0 ：置換前の梁の断面積、 t ：床厚、 H ：床の高さ、 L ：床両側の梁の中心間の距離、 l ：床の内法幅、 κ ：せん断形状係数 (≈ 1.2)、 E_c ：コンクリートのヤング係数である。

3.2 計測と解析の比較

各解析モデルの固有値解析から得られた 1 次固有振動数を表 2 に、両解析モデルおよび常時微動計測の各階のモード分布を図 9 に示す。

剛床モデルの振動数は常時微動計測のものと比べて短辺

表 2 1 次固有振動数

Unit: Hz		Direction	
		Short	Long
Observed		3.91	4.22
Analysis	Rigid model	4.36	3.64
	Brace model	4.33	3.37
Analysis / Observed	Rigid model	1.11	0.86
	Brace model	1.12	0.80

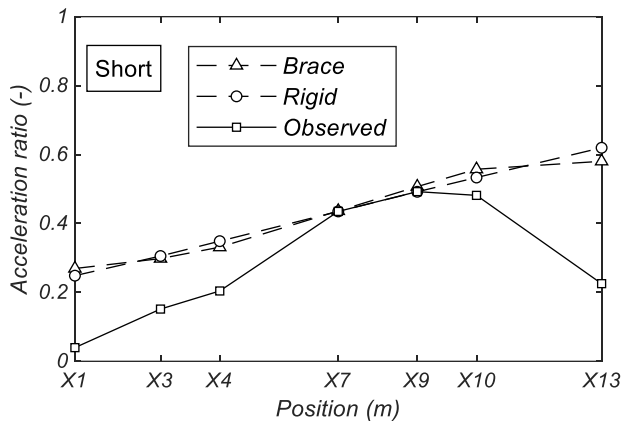


図 10 3 階北側のモード分布



(a) X9-X10 間の 3 階の床



(b) 写真(a)の床の裏面ひび割れ
写真 1 3 階北側のひび割れ

方向では 11% 高く、長辺方向では 14% 低かった。ブレースモデルの振動数は常時微動計測のものとは比べて短辺方向では 12% 高く、長辺方向では 20% 低かった。剛床モデルの方がブレースモデルに比べて長辺方向の振動数が 8% 高い。

図 9 の計測および解析のモード分布は 3 階北側 X7 構面の値であり、5 階の値を 1 としたものである。

短辺方向の計測では、2 階で分布の折れ曲がり確認されるのに対して、両モデルでは直線的な分布性状が認められた。長辺方向では計測と両モデルの分布形状は概ね一致している。

図 10 に両解析モデルおよび常時微動計測から得られた 3 階北側の短辺方向モード分布を示す。剛床モデルでは直線型の分布となっているのに対してブレースモデルでは X10 構面において分布の折れ曲がり認められた。しかしながら、計測と両モデルの分布形状に大きな差異が認められた。この一因として X9-X10 構面間の床に生じたひび割れの影響が推察される。写真 1 に X9-X10 間の 3 階床に生じたひび割れを示す。当該位置および 2 階 (4 階は化粧材で確認不可) には、ひび割れの発生が認められた。ひび割れの影響は固有値解析に直接考慮できないことから、今後の検討課題としたい。

4. まとめ

本研究では、5 階建て SRC 造建物を対象とした常時微動計測、剛床モデルおよびブレースモデルで固有値解析を実施した。本報から得られた知見を以下に示す。

- 1) 吹抜けにより分断された構面のモード分布およびフーリエスペクトル比に大きな差異は認められなかった。
- 2) 階段により床の配置されていない箇所付近をピークとした短辺方向のモード形状が確認された。
- 3) 剛床モデルおよびブレース置換モデルの 1 次固有振動数は常時微動計測のものとは比べて、短辺方向では 10% 程度高く、長辺方向では剛床モデルが 15% 程度、ブレースモデルが 20% 程度低かった。
- 4) ブレース置換モデルにおける短辺方向の床の変形分布は常時微動計測のものとは比べて変形分布の勾配が緩やかであった。これは、対象建物において床の欠損箇所付近に確認されたひび割れを考慮していないことに起因するものと考えられた。

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) トリヴェディ・シュバーン：剛床仮定が成立しない建物における床版のモデル化手法に関する検討，日本建築学会北海道支部研究報告書，構造 I，pp. 185-186，2022.07
- 3) 萩原一，小磯利博，岡野創，鈴木芳隆，斉藤大樹：非剛床建物の設計上の取り扱いに関する検討：(その 3) 非剛床建物への偏心率規定の適用に関する検討，日本建築学会大会学術講演梗概集（関東），構造 I，pp. 135-136，2011.07
- 4) 株式会社構造システム：任意形状立体フレームの弾塑性解析プログラム SNAP Ver.8 テクニカルマニュアル，2020.11