

# 超々高層建物の振動計測による固有周期の評価

神原 浩 吉田 直人 富吉 雄太  
(技術研究所) (技術研究所) (技術研究所)

## Estimating the Natural Period of Super High-rise Buildings based on Vibration Measurements

Hiroshi Kambara, Naoto Yoshida and Yuta Tomiyoshi

東京都に建設された2棟の超高層建物について、振動特性を把握することを目的として微動を計測し、施工時から竣工後までの固有周期を調査した。施工時の固有周期はA街区では約23か月間に約4秒、B2街区では約18か月間に長辺方向が約3秒、短辺方向が約4秒増加した。竣工後の固有周期は設計周期の15%程度短い値であり、既往の研究で報告されている調査結果と大差がなかった。また、施工時の固有周期は、施工状況に応じて設計モデルの重量を修正すれば、施工高さが完成時の1/2程度以降において計測周期と設計周期の比が一定値に近づくことが分かった。

Microtremor measurements were conducted on two super high-rise buildings constructed in Tokyo to estimate the natural period from the time of construction to after completion. The natural period during construction increased by about 4 seconds during about 23 months in building A and by 3-4 seconds during about 18 months in building B2. The natural period at completion was about 15% shorter than the design period and did not differ significantly from values reported in previous studies. As for the natural period during construction, it was found that if the weight of the design model is modified according to the construction conditions, the ratio of the measured period to the design period approaches a constant value after about one-half the construction height at completion.

### 1. はじめに

高層建物の設計では地震時の構造安全性を動的な振動解析によって確認しているが、建設された建物の振動特性について報告された事例は少ない。これまでに微動計測や地震観測で得られた建物応答から固有周期や減衰が調査されており、微動から推定した固有周期は設計値より短いケースが多いことや、地震応答から推定した固有周期は揺れが大きいほど長くなる振幅依存性があることが報告されている<sup>例えば 1,2)</sup>。また、施工中の建物については、微動から推定した固有周期と施工高さの関係が調査され、固有周期は施工高さに比例して増加することが報告されている<sup>3),4)</sup>。本論文では、2023年に完成した超高層建物2棟の振動特性を確認するために微動計測を実施して、施工中から竣工後までの固有周期を推定し、設計値との対応を調査した結果について報告する。

### 2. 固有周期の調査方法

#### 2.1 対象建物

調査対象は写真-1に示す東京都に建設され2023年に完成した超高層建物2棟<sup>5)</sup>で、高さ300mを超える鉄骨造(柱はCFT)のオフィス(以降、A街区と記す)と高さ200mを超える鉄筋コンクリート造の住宅(以降、B2街区と記す)である。各建物



写真-1 調査対象建物(左:住宅, 右:オフィス)

の高さと設計周期を図-1に示す。図には、指定評価機関から公表されている超高層建築物の性能評価シートに記載された鉄骨造(S造)のうち制振構造181棟の設計周期 $T$ と建物高さ $H$ の比の平均値 $\theta$ と、鉄筋コンクリート造(RC造)のうち2000年以降の制振構造97棟の設計周期 $T$ と建物高さ $H$ の比の平均値 $\eta$ を示している。A街区は平面の縦と横の長さが同じで設計周期は両方向とも約7秒であり、鉄骨造の超高層建物の平均より1秒以上短い。マグニチュード8クラスの海溝型巨大地震では堆積平野の深い地下構造によって長周期成分が増幅され<sup>8)</sup>、首都圏では周期7秒以上の揺れが大きくなると考えられていることから<sup>9)</sup>、A街区では大地震による応答変形を抑えるために層剛性を高めて設計されている。B2街区は、平面の縦と横の長さが異なり、短辺方向と長辺方向の設計周期に1秒以上の差がある。短辺方向の設計周期は鉄筋コンクリート造の超高層建物の平均に近く、長辺方向は平均より短い。

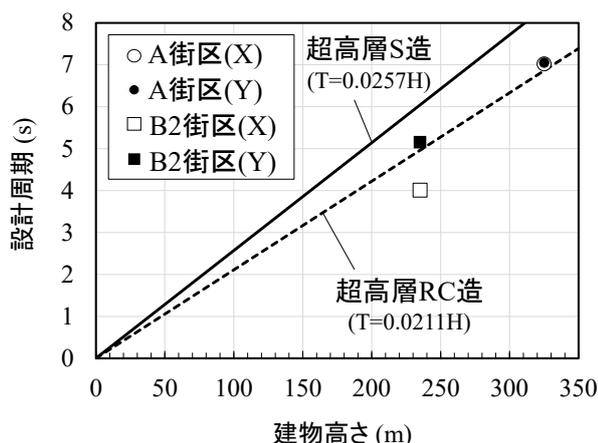


図-1 調査対象建物の高さ与设计周期

## 2.2 微動計測

施工時は、写真-2に示す計測装置(白山工業製:微動観測装置JU410)を用いて、以下に示す期間に微動を常時計測した。

A街区: 2021年8月6日~2023年6月29日

B2街区: 2022年1月21日~2023年8月2日

計測装置は電源(AC100V)を使用するため分電盤の近くに設置した。設置階は最上階に近い天井スラブが施工された階とし、施工が進むと上階に移動させた(表-1)。竣工後は地震観測装置を使用して毎日0:00から10分間の微動を記録した。



写真-2 計測装置(左)と計測状況(右)

表-1 計測装置の設置階

A街区		B2街区	
期間	計測階	期間	計測階
2021/08/06~2021/09/24	12	2022/01/21~2022/04/12	4
2021/09/24~2021/11/05	22	2022/04/12~2022/06/07	9
2021/11/05~2021/12/14	22,34	2022/06/07~2022/08/08	12
2021/12/14~2022/01/21	22,41	2022/08/08~2022/10/12	20
2022/01/21~2022/03/09	22,48	2022/10/12~2022/12/01	31
2022/03/09~2022/06/07	51	2022/12/01~2022/12/20	40
2022/06/07~2022/08/08	57	2023/01/20~2023/03/15	42
2022/08/08~2022/10/12	61	2023/03/15~2022/06/08	42
2022/10/12~2023/06/08	64	2023/06/08~2023/07/24	49
2023/06/08~2023/06/29	7	2023/07/24~2023/08/02	54

## 2.3 固有周期の推定方法

建物の固有周期は、計測した加速度波形からフーリエ振幅スペクトルを計算し、そのピーク振動数から求めた。施工時はノイズの少ない毎日0:00から10分間のデータを使用した。施工時の加速度波形から計算したフーリエ振幅スペクトルの一例を図-2に示す。図はおおよそ1ヶ月ごとの計測値を示しており、1次固有振動数に相当するピークが時間の経過とともに低振動数側にずれていることが分かる。A街区では、一部の期間に計測装置を2カ所に設置したが、ピーク振動数はほぼ同じであるため、固有周期は上階の加速度波形から推定した。

## 3 施工時の固有周期

### 3.1 微動から推定した固有周期

微動から推定した施工時の固有周期(以下、計測周期と記す)を図-3に示す。図中に示す施工高さはスラブが施工された床の高さとした。

A街区の計測周期は、2021年8月から2023年6月までの約23か月間に、X方向が1.78秒から5.96秒、Y方向が1.86秒から6.01秒に増加した。躯体が完成し内装や設備の施工中であった計測終

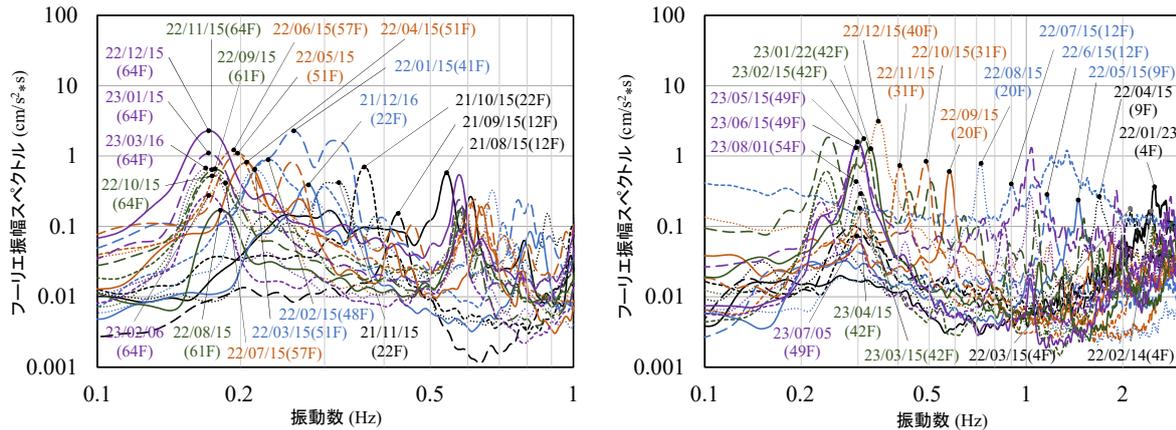


図-2 加速度波形から計算したフーリエ振幅スペクトルの一例(左：A街区，右：B2街区)

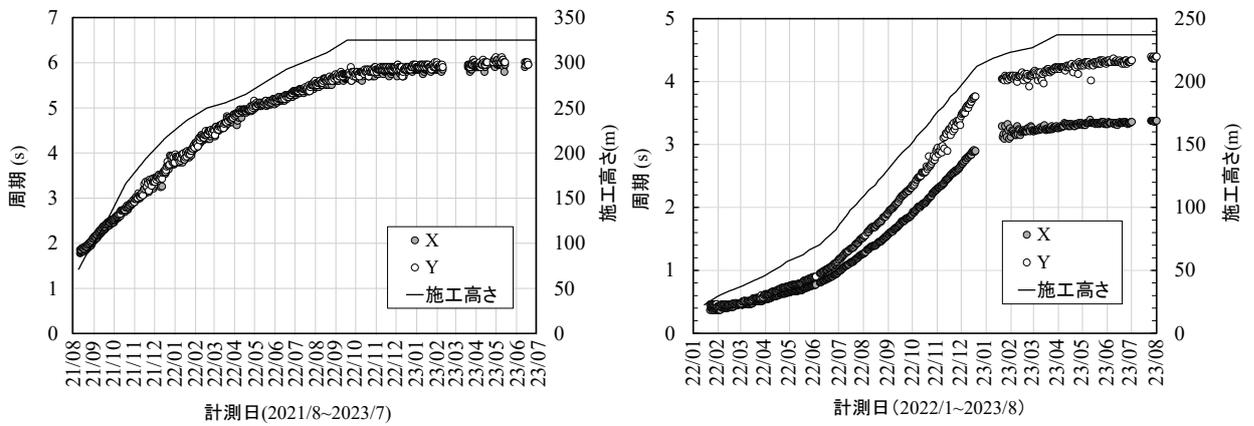


図-3 微動から推定した施工時の固有周期(左：A街区，右：B2街区)

了時の計測周期は、両方向とも設計周期より15%程度短い値であった。計測周期の増分は、トラス構造の53階が施工された2022年3月頃までが大きく約7か月で2.8秒、その後、躯体が完成した2022年9月頃までの約6か月で1.0秒程度、躯体が完成した後は約10か月で0.3秒程度であった。

B2街区の計測周期は、2022年1月から2023年8月までの約18か月間に、X方向が0.37秒から3.38秒、Y方向が0.46秒から4.4秒に増加した。躯体が完成し内装や設備の施工中であった計測終了時の計測周期は、A街区と同様に設計周期の15%程度短い値であった。計測周期の増分は、計測開始から2022年6月までの約4.5か月間で0.5秒(X)、0.55秒(Y)程度、2022年12月までの約6か月で2秒(X)、2.7秒(Y)程

度、躯体が完成した2023年4月までの約3.5か月で0.4秒(X)、0.5秒(Y)程度、躯体完成後から計測終了までの約4か月で0.1秒(X)、0.17秒(Y)程度であった。なお、計測周期の増分は方向によって異なるが、設計周期に対する比で見ると大差はなかった。

施工高さとの関係を図-4に示す。2棟とも計測周期は施工高さに応じて増加しているが、

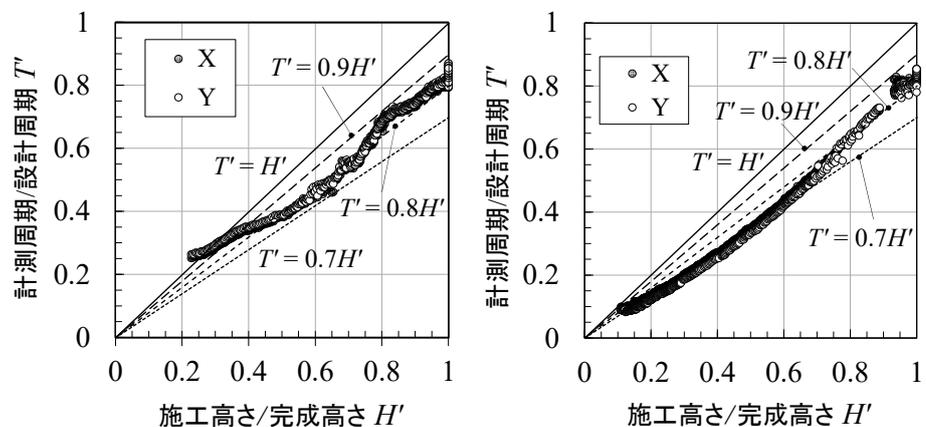


図-4 施工高さとの関係(左：A街区，右：B2街区)

施工高さと計測周期の関係は直線で表されない。A 街区ではグラフの傾きの変化が大きく、床スラブより先行して施工された柱・梁の鉄骨を施工高さに含めていないため、完成高さの 1/3 程度までは計測周期が相対的に大きい。また、トラス構造である 53 階に相当する完成高さ 0.8 付近で傾きが変化している。

### 3.2 設計モデルとの対応

#### 3.2.1 検討方法

施工時の計測周期と施工状況に応じて修正した設計モデルの固有周期との対応について検討する。ここでは、設計モデルとして質点系の振動モデルを用い、施工状況を反映するために施工されていない階の質点を除き、各階の重量と剛性を表-2 に示す 3 ケースで表して固有周期を計算し、計測周期と比較した。修正モデル 1 と修正モデル 2 では施工階を天井スラブが施工された階までとした。修正モデル 3 では、各階の重量を施工状況に応じて躯体、外装、内装の重量から定め、各階の剛性

表-2 設計モデルの重量および剛性の修正方法

	重量	剛性
修正モデル1	設計値	設計値
修正モデル2	設計値の固定荷重	設計値
修正モデル3	施工状況に応じた値	施工状況に応じた値

表-3 A 街区の設計モデルの補正方法

	重量に含める部位							剛性 補正 係数	
	躯体					外装	内装		施工 材料
	柱	大梁	耐震壁	アレス	スラブ				
A.躯体(スラブ除)	○	○	○	○	○				0.7
B.躯体	○	○	○	○	○				1
C.躯体+外装	○	○	○	○	○	○			1
D.躯体+外装+施工材料	○	○	○	○	○	○	○		1
E.躯体+外装+内装	○	○	○	○	○	○	○		1

(備考)

- ・躯体の部位別重量は構造計算書による
- ・外装は単位面積当たりの重量を1500N/m<sup>2</sup>として面積に応じて計算
- ・内装は固定荷重から躯体と外装の重量を除いた値
- ・施工材料の単位床面積当たりの重量を100kg/m<sup>2</sup>と仮定
- ・各階の剛性はスラブがないときは0.7倍、外装があるときは1.03倍と仮定

表-4 B2 街区の設計モデルの補正方法

		施工状況に応じた重量と剛性の補正係数						
		躯体	施工 材料 (積載)	外装	内装1 (耐火 間仕切)	内装2 (壁LGS)	内装3 (天井 ・他)	完成
重量	固定荷重	0.88		0.03	0.02	0.02	0.02	
	積載荷重		1		-0.2	-0.2	-0.2	-0.4
剛性		1		0.01	0.01			

(備考)

- ・固定荷重は躯体と非構造部材の割合を各階で一律に仮定した
- ・施工材料(積載)は100kg/m<sup>2</sup>と仮定し内装工事が進むにつれて低減

は床スラブや外装の有無に応じて設計値を補正して表した。

#### 3.2.2 修正モデルの固有周期

施工状況を反映した設計モデルを A 街区は月ごと、B2 街区は各階の躯体完成日ごとに定めて固有周期を計算した。A 街区については、各階の工事が次の A から E の順に進むと考えて、施工記録から月ごとに施工状況が A~E となっている最上階を図-5 のように定めた。

- A：躯体(スラブを除く)
- B：躯体
- C：躯体+外装
- D：躯体+外装+積載(施工材料)
- E：躯体+外装+内装

修正モデル 3 の各階の重量は、施工状況に応じて表-3 に示す部位の重量から定めた。また、各階の剛性は床スラブがない場合は設計値の 0.7 倍、外装がある場合は 1.03 倍とした。なお、積載荷重は施工材料の重量を想定し、重量を 100kg/m<sup>2</sup> とした。

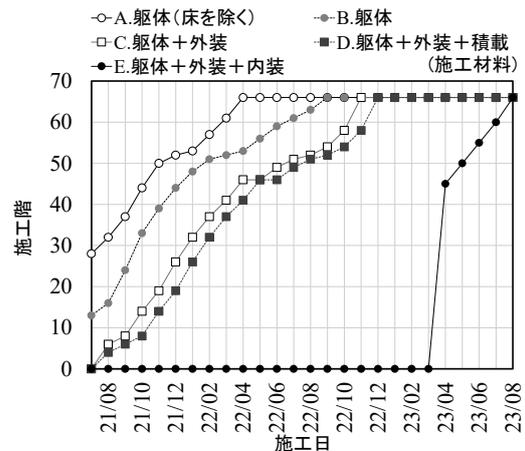


図-5 A 街区の施工状況

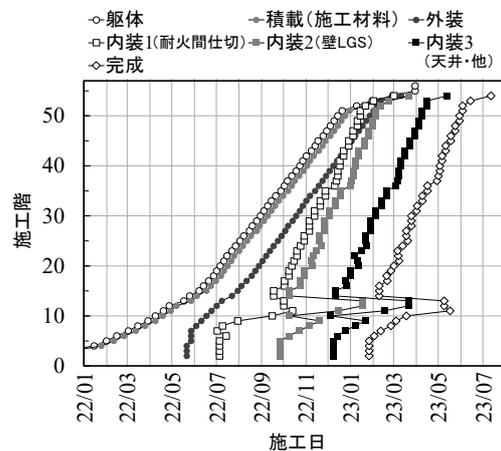


図-6 B2 街区の施工状況

B2街区については施工状況を各階の躯体、外装、内装の完成時期で表し、施工記録から図-6のように定めた。内装については工事期間が長い耐火間仕切、壁 LGS、天井・他の3つの部位に分けた。修正モデル3の各階の重量は施工状況に応じて表-4に示す数値で設計モデルの固定荷重を補正して表した。また、各階の剛性は外装および耐火間仕切が完成していた場合はそれぞれ設計値の1%を加えた。

施工状況に応じて修正した設計モデルの固有周期(以降、設計周期と記す)を図-7および図-8に示す。施工高さ与设计周期の関係は、図-4に示す施工高さで計測周期の関係と同様に、原点を通る直線では表されない。

### 3.2.3 計測周期与设计周期の対応

計測周期与设计周期の比を図-9および図-10に示す。計測周期は1日ごとに求めているが、施工状況を反映した設計モデルの固有周期は1日ごとに求めていないため、その間の固有周期は一定の割合で増加すると考えて、線形補間により定めて計測周期との比を求めた。

A街区の計測周期与设计周期の比は、修正モデル1と修正モデル2ではばらつきが大きい、修正モデル3では0.9前後の範囲におさまっている。修正モデル1と修正モデル2では、床スラブに先行して施工された柱・梁を考慮していないため、

施工高さが低い時期ほど設計モデルの重量が実際より小さく、設計周期が計測周期より小さい値となっている。計測周期与设计周期の比のばらつきは、施工高さが完成高さの1/2以降でも修正モデル1や修正モデル2より修正モデル3の方が小さいことから、建物重量を施工状況に応じて修正することによって設計周期が計測周期に近づくことが分かる。

B2街区の計測周期与设计周期の比は、施工高さが完成高さの1/3以降になると一定の値に近づき、その値は修正モデル1と修正モデル2が約0.8、修正モデル3が約0.85であった。A街区と同様に、建物重量を施工状況に応じて修正することによって設計周期が計測周期に近づくが、計測周期与设计周期の比のばらつきについては修正モデルによる差は小さい。これは、B2街区はRC造であり、建物重量に占める躯体の割合が高く、非構造部材の重量や積載荷重を施工状況に応じて修正しても固有周期の変動は小さいためと考えられる。

## 4. 竣工後の固有周期

地震観測装置で計測した微動から推定した固有周期を建物竣工後の2023年12月から2024年9月について図-11に示す。地震観測では建物の複数の階に地震計を設置して加速度を計測しているが、A街区では53階、B2街区では47階の記録

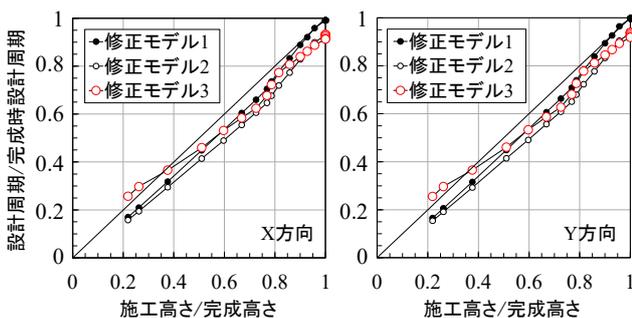


図-7 A街区の修正モデルの固有周期

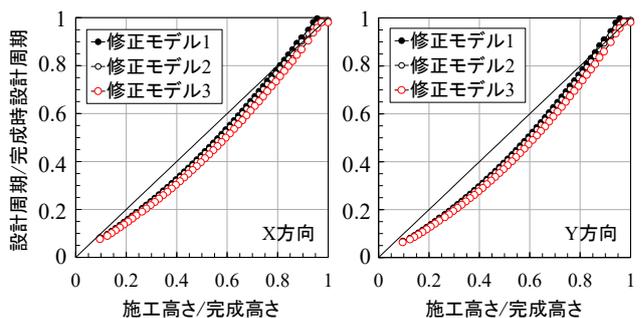


図-8 B2街区の修正モデルの固有周期

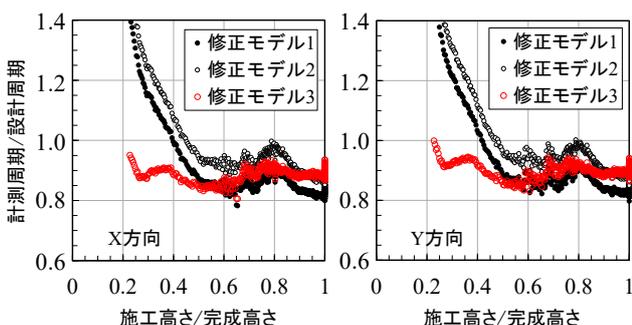


図-9 A街区の計測周期与设计周期の比

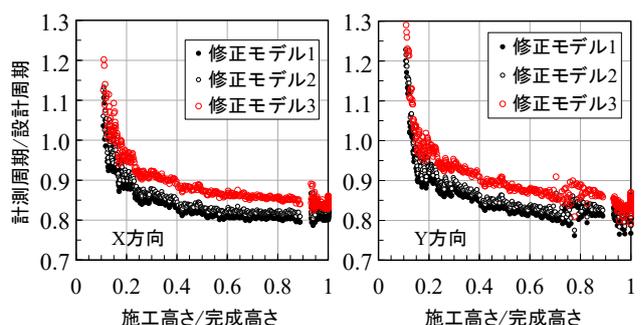


図-10 B2街区の計測周期与设计周期の比

を用いた。図には 2024 年能登半島地震の建物応答から推定した建物周期を含めている。なお、能登半島地震の建物周期は基礎に対する上階のフーリエスペクトル比のピーク振動数から求めた。

A 街区の竣工後の固有周期は、能登半島地震前は両方向とも約 6 秒であり、施工前( $T_x=5.96$ 、 $T_y=6.01$ )と大差はないが、能登半島地震後は両方向とも 0.2 秒程度伸びている。B2 街区も同様であり、能登半島地震前は X 方向が 3.4 秒、Y 方向が 4.4 秒で竣工前( $T_x=3.38$ 、 $T_y=4.4$ )に近い値を示しているが、能登半島地震後は 0.1 秒程度伸びている。図-12 に示すように、能登半島地震では、

A 街区は建物頂部(PHF)で  $20\text{cm/s}^2$  以上、B2 街区は 54 階で約  $20\text{cm/s}^2$  の加速度が観測されており、外装材など層剛性に影響する非構造部材の取付部がなじんで周期が伸びたと考えられる。同図には基礎で観測された地震動を入力として設計モデルを用いて各階の応答を計算した結果を示している。設計モデルの固有周期は計測周期と異なるが、能登半島地震については、揺れの大きさと経時特性は設計モデルにより概ね再現できる。

設計周期と微動から推定した固有周期の比を既往の研究<sup>10)~24)</sup>と比較して図-13 に示す。高さ 200m 以上の事例は少ないが、設計周期 3 秒以上

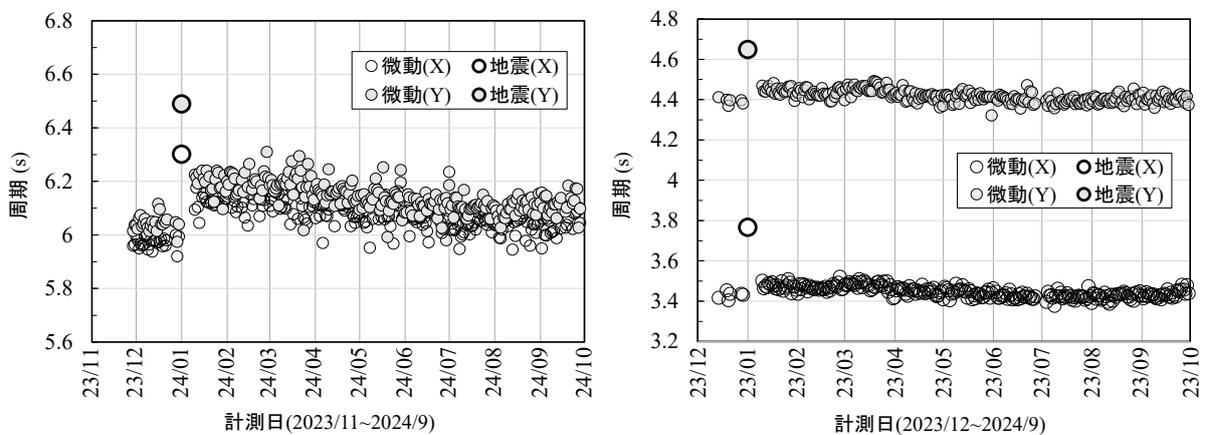
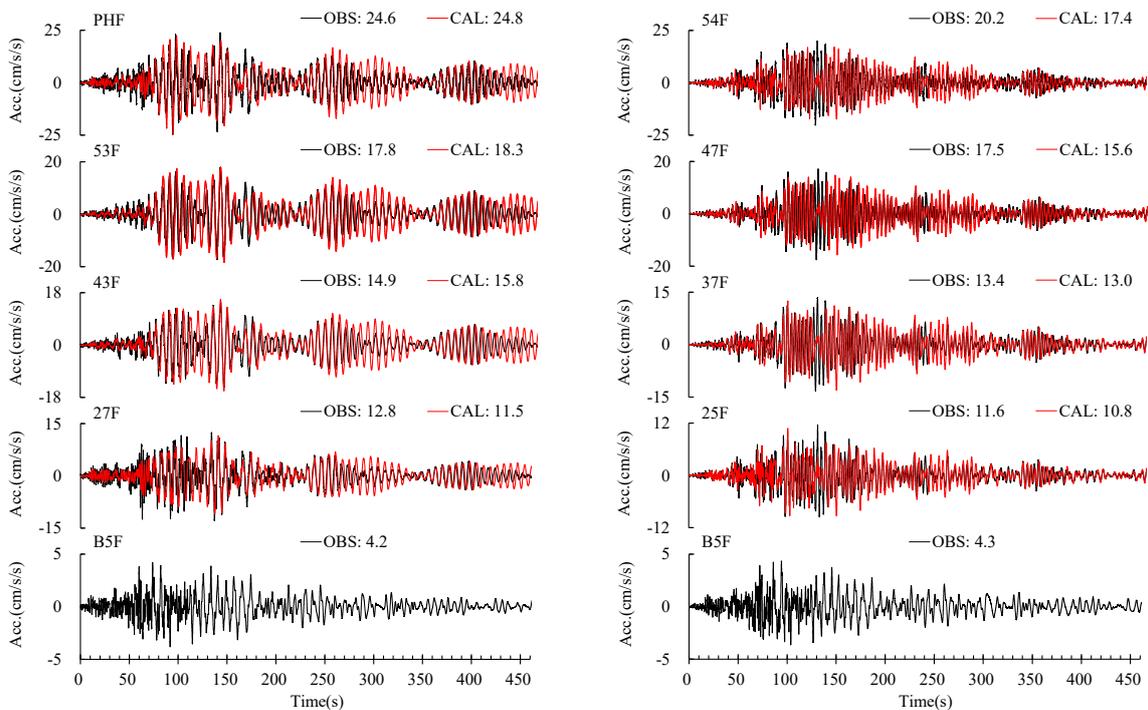


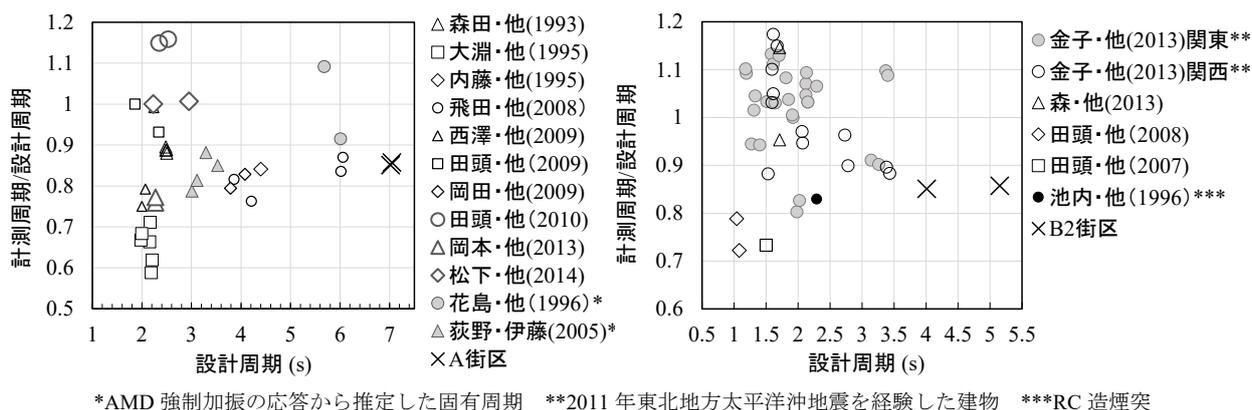
図-11 竣工後の固有周期(左：A 街区，右：B2 街区)



(a) A 街区

(b) B2 街区

図-12 2024 年能登半島地震による地震応答の観測記録(黒線)と計算結果(赤線)



\*AMD 強制加振の応答から推定した固有周期 \*\*2011年東北地方太平洋沖地震を経験した建物 \*\*\*RC 造煙突

図-13 竣工後の計測周期と設計周期の比(左：S造，右：RC造)

の超高層建物では計測周期と設計周期の比が鉄骨造で0.8~0.9、鉄筋コンクリート造で0.9程度を示しており、A街区やB2街区と大差がないことが分かる。なお、既往の研究では計測周期と設計周期の比が1を超えた事例があるが、設計周期が約5.5秒の鉄骨造については、建設地点の地盤が軟弱であり、地盤を含めたモデルで表すとその固有周期が計測周期に近づくと説明されている<sup>18)</sup>。また、設計周期が約3.5秒の鉄筋コンクリート造については、2011年東北地方太平洋沖地震を経験したあとの固有周期であり<sup>20)</sup>、地震の影響で周期が伸びたと考えられる。

能登半島地震の建物応答から推定した建物周期は微動から推定した建物周期より長く、その差はA街区で0.3~0.5秒、B2街区で0.3~0.4秒であったが、設計周期と比較すると5~10%程度短い。建物応答から推定した建物周期は振幅依存性があることが知られており、鹿嶋<sup>2)</sup>は15~23階建ての鉄骨造5棟について、多数の地震記録から求めた基礎と頂部の最大変形角 $\theta_{max}$ と建物周期 $T$ の関係が次式で近似できることを示している。

$$T = a_1 + a_2 \cdot \log_{10}\theta_{max} \quad (1)$$

ここに $a_1$ 、 $a_2$ は定数であり調査建物ごとに値が推定されている。鉄骨造5棟のそれぞれについて推定された(1)式は、最大変形角 $\theta_{max}$ が10倍になると固有周期が5%程度増加することを表しており、A街区も同じ傾向を示すと考えると、最大応答が能登半島地震の10倍程度になる地震において計測周期が設計周期に近づくことになる。なお、能登半島地震におけるA街区の最大変形角 $\theta_{max}$ は、基礎(B5F)と上層階(53階)の加速度波形を積分し

た変位波形から求めると約 $6.0 \times 10^{-4}$ であり、鹿嶋<sup>2)</sup>が調査した建物の最大変形角の範囲に含まれる。

## 5. おわりに

東京都に建設された2棟の超高層建物の振動特性を把握することを目的として微動を計測し、施工時から竣工後までの固有周期を調査した。施工時の固有周期は、鉄骨造のA街区では2021年8月7日から2023年6月29日までに1.78~5.96秒(X方向)、1.86~6.01秒(Y方向)、鉄筋コンクリート造のB2街区では2022年1月22日から2023年8月2日までに0.37~3.38秒(X方向)、0.46~4.4秒(Y方向)に変動し、竣工後の固有周期は施工前と大きな差はなかったが、2024年能登半島地震の後にはA街区は約0.2秒、B2街区は約0.1秒伸びたことが確認できた。竣工後の固有周期は設計周期の15%程度短い値であり、既往の研究で報告されている値と大差がなかった。また、施工時の固有周期は、施工状況に応じて設計モデルの重量を修正すれば、施工高さが完成時の1/2程度以降において計測周期と設計周期の比が一定値に近づくことが分かった。このことから、施工高さが完成時の1/2程度以降における固有周期を微動から推定すれば竣工後の固有周期をおおよそ予測できると考えられる。

## 謝辞

本検討で使用した設計情報は森ビル株式会社殿に提供していただきました。

<参考文献>

- 1) 池田芳樹, 倉田真宏: “鉄骨造高層建物の固有振動数とモード減衰の振幅依存性と相関性”, 京都大学防災研究所年報, 第63号B, 2020
- 2) 鹿嶋俊英: “強震記録の分析に基づく鉄骨造高層建物の振動特性の変動の考察”, 日本建築学会大会学術講演梗概集(構造II), pp.923-924, 2016
- 3) 飛田潤, 福和伸夫, 松井政樹, 小島宏章: “建設時の継続的な振動観測に基づく高層建物の振動特性”, 日本建築学会構造系論文集, No.625, pp.391-398, 2008
- 4) 河登健太郎, 岩間和博, 青木秀敏, 宿里勝信, 石井優衣, 張景耀, 青木孝義: “混合構造物の施工過程における固有周期の変化についてその4類似の混合構造物に対する検討”, 日本建築学会大会学術講演梗概集(構造II), pp.339-340, 2020
- 5) 森ビル株式会社: 虎ノ門・麻布台プロジェクトファクトブック, [https://www.mori.co.jp/img/article/190822\\_1.pdf](https://www.mori.co.jp/img/article/190822_1.pdf) (2024.10.30)
- 6) 平野愛子, 内藤隼人, 富田耕基, 石川裕次: “日本の超高層CFT造建物の歴史的動向およびデータ分析”, 日本建築学会大会学術講演梗概集(構造III), pp.1447-1448, 2018
- 7) 毎田悠承, 蒔田峻介, 仁科智貴, 和泉信之: “耐震, 制振, 免震構造に分類した既存超高層RC造建築物の構造特性”, 日本建築学会技術報告集, No.56, pp.171-176, 2018
- 8) 中央防災会議「東南海・南海地震等に関する専門調査会」: “長周期地震動の卓越周期と深部地盤の固有周期”, 2008
- 9) 東京消防庁: “長周期地震動等に対する高層階の室内安全対策”, 平成23年度長周期地震動等に対する高層階の室内安全対策専門委員会報告書, pp.48-81, 2012
- 10) 森田高市, 神田順, 岩崎良二: “微動計測による高層建物の高次モード振動特性の評価”, 日本建築学会大会学術講演梗概集B, 構造I, 897-898, 1993
- 11) 大淵敏行, 辻英一: “鉄骨造建築物の固有周期と実測値”, 日本建築学会大会学術講演梗概集(B-2, 構造II), pp.913-914, 1995
- 12) 内藤幸雄, 北村春幸, 山崎淳, 石橋敏久: “常時微動と地震観測による聖路加ガーデン高層建物の振動特性”, 日本建築学会関東支部研究報告集(構造系), No.65, pp.141-144, 1995
- 13) 西澤崇雄, 大野富男, 飛田潤, 福和伸夫: “不整形超高層建物の構造ヘルスマonitoringのための建物重量評価”, 日本建築学会大会学術講演梗概集(構造II), pp.717-718, 2009
- 14) 田頭庄三, 正木和明, 入倉孝次郎, 倉橋熒: “超高層建築物の固有周期における常時微動測定と設計値との差分に関する研究”, 日本建築学会大会学術講演梗概集(B-2), pp.565-566, 2009
- 15) 田頭庄三, 正木和明, 入倉孝次郎, 倉橋熒: “超高層建築物の固有周期における常時微動測定と設計値との差分に関する研究”, 日本建築学会大会学術講演梗概集(B-2), pp.27-28, 2010
- 16) 岡本佳久, 赤澤隆士, 山田真澄, 大西良広, 林康裕: “連続地震観測記録に基づく超高層建物の振動特性評価”, 日本建築学会技術報告集, No.41, pp.59-64, 2013
- 17) 松下卓矢, 西澤崇雄, 飛田潤, 福和伸夫: “実験・強震観測に基づく超高層建物の振動特性”, 日本建築学会東海支部研究報告集, No.52, pp.241-244, 2014
- 18) 花島晃, 陶器浩一, 塚越治夫: “埋立地に建つ高さ256mの高層建築物の振動特性”, 日本建築学会技術報告集, No.2, pp.95-98, 1996
- 19) 荻野雅士, 伊藤優: “付加質量機構と粘性減衰機構を併用した高層建物の振動特性”, 日本建築学会大会学術講演梗概集(B-2), pp.907-908, 2005
- 20) 金子知宣, 永野正行, 上林宏敏, 肥田剛典, 田沼毅彦: “微動観測に基づく超高層鉄筋コンクリート建物の強震時における動特性変化量推定の可能性(その1)”, 日本建築学会大会学術講演梗概集(構造II), pp.587-588, 2013
- 21) 森明日香, 曾我和正, 隈澤文俊: “30階建てRC造建物の地震応答特性(その2)”, 日本建築学会大会学術講演梗概集(構造II), pp.631-632, 2013
- 22) 田頭庄三, 正木和明, 入倉孝次郎, 倉橋熒: “常時微動による高層住宅振動測定結果に関する研究”, 日本建築学会大会学術講演梗概集(B-2), pp.597-598, 2007
- 23) 田頭庄三, 正木和明, 入倉孝次郎, 倉橋熒: “高層住宅の固有周期における常時微動測定と設計値との差分に関する研究”, 日本建築学会大会学術講演梗概集(B-2), pp.155-156, 2008
- 24) 池内俊之, 小林正則, 大藤信雄, 前田昇: “超高RC構造物における地震時の固有周期の変動に関する考察”, 日本建築学会大会学術講演梗概集(構造II), pp.681-682, 1996