

1 1. 名古屋の超高層建築物における常時微動測定 と振動解析による固有値の比較検証に関する研究

正木和明・白木悠真・田頭庄三

1. はじめに

1.1 背景

東海地区において、海溝型巨大地震（東海・東南海地震等）が発生した際の地盤固有周期は約 1 ～ 10 秒と予想されている。一方、堆積地盤である濃尾平野に建設された高層建築物においては硬質地盤に建設された建築物よりさらに長周期となり、実際の固有周期は約 1 ～ 5 秒となるので、共振による建物被害の可能性は大きくなる。

高層建築物を設計する際には、代表的な地震波に対して動的解析を行うことにより健全性を確認しているが、経済的な設計を行うほど将来的な変動に対しての余裕度が小さくなる可能性はある。そこで、竣工後の建築物において常時微動測定と構造計算により振動特性の比較を行い、その差分理由を追究することは有意義であると考えられる。よって、本研究においては竣工約 10 年を経過した超高層建築物において検証を行うものとする。

1.2 研究目的

本研究対象の建築物に対して常時微動測定を行い、現時点での振動特性を把握する。一方、設計図からモデル化を行い構造計算により振動特性を把握する。両者を比較することにより差分量の把握そして差分理由を追究することとする。

1.3 研究方法

対象建築物の現時点における振動特性を正確に把握するために、建物内に地震計を設置して常時微動測定を行い、フーリエ解析により固有周期を算出する。

一方、解析による振動特性を把握するために、設計図から建築物全体を忠実に再現した 3 次元モデルを作成し、構造計算（応力解析及び振動解析）により固有周期を算出する。そして、差分量を把握した後に設計条件を変更して常時微動測定の性状に近づく比較モデルの再現を試みて、差分理由の追究を行う。

研究フローを図 1 に示す。

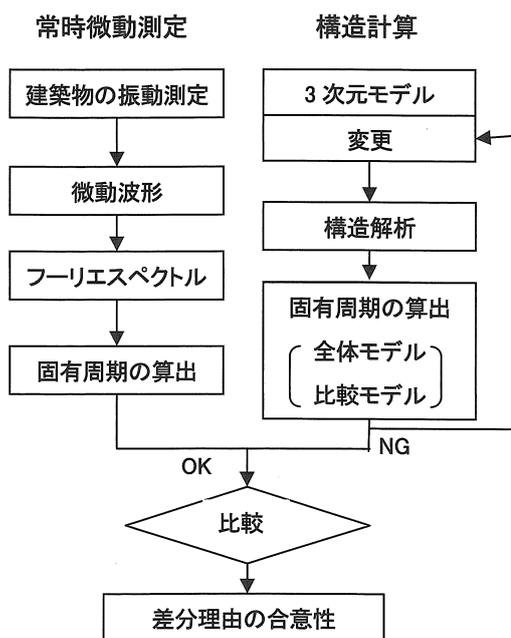


図1 研究フロー



写真1 対象超高層建築物

2. 建物概要

建築面積 : 3,400㎡
高さ : 134.5 m (地下 21.4 m)
規模 : 地下 4 階、地上 31 階
構造 高層棟 : S 造 (一部 CFT)
低層棟 : SRC 造及び S 造 (一部 CFT)
地下部 : SRC 造, S 造及び RC 造 (一部 CFT)
竣工 : 1999 年 3 月

3. 常時微動

3.1 測定方法

地下 4 階、1 階、10 階、31 階に地震計 (速度計) を設置した。1 階を地震計の常設階とし、もう 1 台を 31 階、10 階、地下 4 階というように移動して測定を行った。

3 ケースの測定時間は、最上階 (31 階) を計測する際は 30 分とし、10 階と地下 4 階では 10 分とした。サンプリング周波数は 100Hz で行い、水平 2 成分及び上下方向の 3 成分を測定した。なお、地震計の時刻は GPS で同期した。図 2、3 に地震計の設置位置を赤丸で示す。

表1 測定方法

| | 1 階 | B4 階 | 10 階 | 31 階 | 時間 |
|-----|-----|------|------|------|------|
| 1回目 | ○ | | | ○ | 30 分 |
| 2回目 | ○ | | ○ | | 10 分 |
| 3回目 | ○ | ○ | | | 10 分 |

3.2 測定機器

測定機器は地震計 (速度計) および記録器を 2 セット用意した。

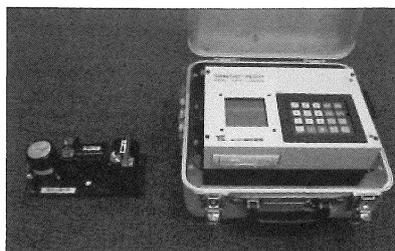


写真2 地震計(左)と記録器(右)

3.3 測定結果

31 階および 10 階の微動波形を図 4 に示す。10 階に比べ 31 階の振幅は大きく、建物の固有振動も明確に読み取れる。

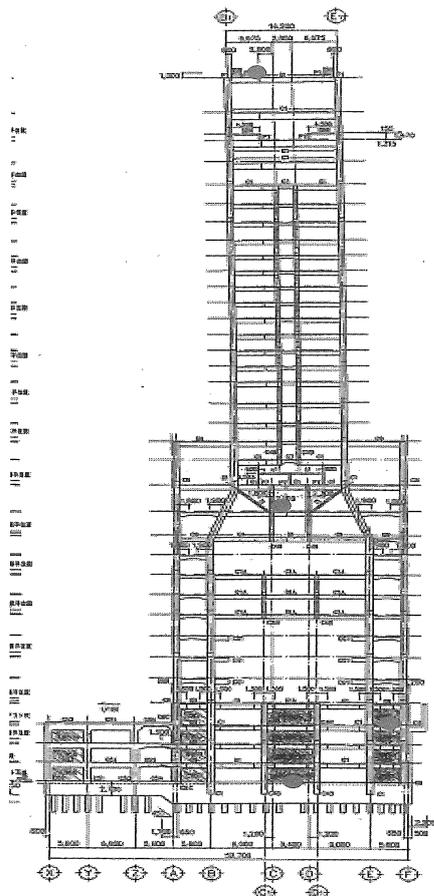


図2 軸組図(NS方向)

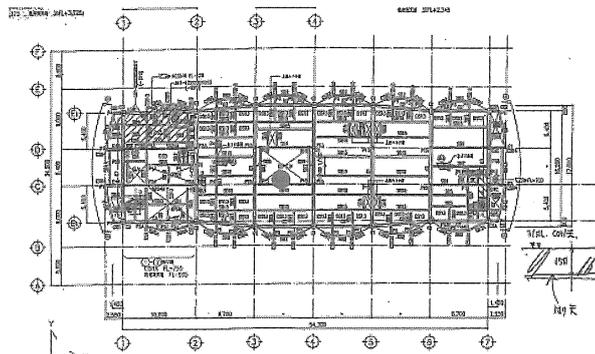


図3 伏図(31階)

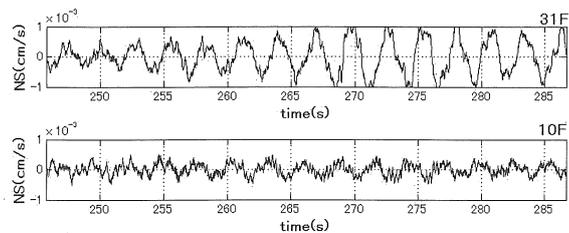


図4 常時微動波形(NS方向、31F、10F)

3.4 フーリエスペクトル

各階の微動波形から算定したフーリエスペクトルの一例を図5に示す。フーリエスペクトルには1次、2次、3次のピークが見られる。それらから得られた固有周波数および固有周期を表2に示す。

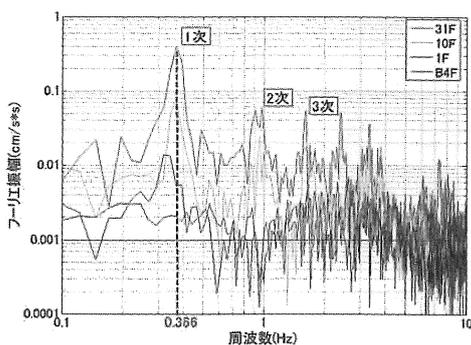


図5 フーリエスペクトル(NS方向)

表2 モード別固有周波数・固有周期

| | 1次 | 2次 | 3次 |
|-----------|------|------|------|
| 固有周波数(Hz) | 0.36 | 0.95 | 1.62 |
| 固有周期(s) | 2.70 | 1.05 | 0.62 |

4. 解析

4.1 モデル化

設計図から建築物全体を忠実に再現した3次元モデル(全体モデル)を作成した。ただし、主架構(柱、大梁・小梁、床、壁)のみを考慮し、簡略化するために基礎は杭バネではなく基礎固定とした。構造計算プログラムは一貫プログラムであり、断面算定および保有耐力を行った後に、別プログラムにて固有値解析を実施した。使用プログラムは、ユニオンシステム㈱の Super Build/SS3 および Dynamic PRO である。

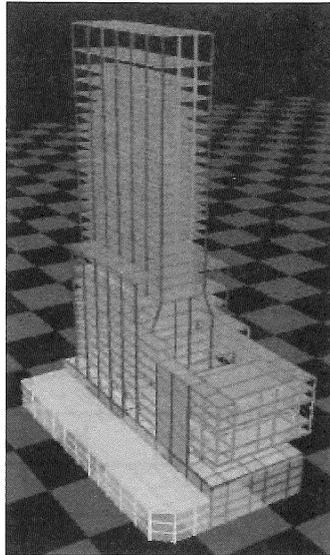


図6 3次元モデル(全体モデル)

4.2 解析ケース

(i) 全体モデル (ケース 10)

設計図から建物全体を忠実に再現した3次元モデル。

(ii) 比較モデル (ケース 11 ~ 14)

常時微動と全体モデルの固有周期において差分を検証するために、考えられる変動要素 (地下埋込み、地上部、地下部、低層棟、積載荷重) を考慮し直したモデル。

表3 解析ケース

| | ケース | 柱・梁・床 | | | 壁(w) | | LL (積載荷重) | 地下埋込み | 地上部 | 地下部 | 低層棟 | 杭 |
|----|-----|--------------|--------------|----|------|-----------------|--------------|-------|-----|-----|-----|---|
| | | DL (固定荷重) | DL (固定荷重) | 剛性 | | | | | | | | |
| 全体 | 10 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | × |
| 比較 | 11 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | × | ○ | ○ | ○ | ○ | × |
| | 12 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | × | ○ | ○ | × |
| | 13 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | × | × |
| | 14 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ ^{*1} | ○ | ○ | ○ | ○ | × | × |

注: *1は積載荷重2倍を示す。

5. 比較

常時微動と解析 (全体モデルおよび比較モデル) の固有周期に対し比較を行う。NS 方向及び EW 方向の 1 次、2 次、3 次モードそれぞれの固有周期を表 4-1、表 4-2 に示す。

(1) 1 次モードに注目する。NS 方向に対しては、常時微動の固有周期は全体モデルに比べて、約 14% 程度大きい。比較モデル 11 ~ 13 ではあまり改善が見られないが積載荷重を 2 倍にしたモデル 14 では 3% と改善された。

(2) E W方向に対しても、N S方向とほぼ同じ結果が得られた。

表4-1 固有周期比較(NS方向)

(単位:秒)

| モード | 常時微動 | 全体モデル 10 | 比較モデル | | | |
|-----|------|-------------|------------|------------|------------|------------|
| | | | 11 | 12 | 13 | 14 |
| 1次 | 2.70 | 2.35(0.87) | 2.35(0.87) | 2.38(0.88) | 2.49(0.92) | 2.64(0.97) |
| 2次 | 1.05 | 1.08(1.03) | 1.08(1.03) | 1.14(1.09) | 1.16(1.10) | 1.21(1.15) |
| 3次 | 0.62 | 0.73(1.18) | 0.73(1.18) | 0.74(1.19) | 0.73(1.18) | 0.77(1.24) |

注: ()は常時微動に対する割合を意味する。

表4-2 固有周期比較(EW方向)

(単位:秒)

| モード | 常時微動 | 全体モデル 10 | 比較モデル | | | |
|-----|------|-------------|------------|------------|------------|------------|
| | | | 11 | 12 | 13 | 14 |
| 1次 | 2.93 | 2.53(0.86) | 2.53(0.86) | 2.61(0.89) | 2.78(0.95) | 2.95(1.01) |
| 2次 | 1.31 | 1.08(0.82) | 1.08(0.82) | 1.17(0.89) | 1.19(0.91) | 1.25(0.95) |
| 3次 | 0.67 | 0.69(1.03) | 0.69(1.03) | 0.74(1.10) | 0.71(1.06) | 0.75(1.12) |

注: ()は常時微動に対する割合を意味する。

6. まとめ

常時微動の測定結果及び各解析結果の比較より以下のことが分かった。

- 1) 常時微動の固有周期は解析結果より 14%大きい。
- 2) 振動解析モデルの固有周期は設計条件を変更することにより、常時微動の固有周期に合致させることは可能である。
- 3) 今回の検証においては、地埋込み及び地下部の影響は見受けられなかった。
- 4) 低層棟により建物全体としての挙動に対し剛性が付加されているということが確認できた。
- 5) 剛性低下と積載荷重の変化を考慮する（方策として積載荷重を2倍にする）と両者は一致する。
- 6) 常時微動の固有周期のほうが解析よりも大きかったことから杭バネの影響が考えられる。

参考文献

- 1) 日本建築学会：建築構造物の振動実験
- 2) 大崎順彦：新・地震動のスペクトル解析入門（鹿島出版会）
- 3) 田頭庄三、正木和明、入倉孝次郎、倉橋奨：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会梗概集 21283 2009