# 建設段階の継続的観測に基づく三角形平面免震建物の振動特性に関する研究

名古屋大学工学部社会環境工学科建築学コース

#### 1. 背景と目的

南海トラフ巨大地震や首都直下地震の発生が懸念される 中、事業継続や建物内部の被害軽減をねらい免震構造を採 用する例が多い。このような状況を踏まえ、免震建物の振 動特性を把握することや設計通りの性能を満たしているか 検証することは重要である。本研究の対象建物は地域の災 害拠点をめざした免震重要施設であり、敷地の制約により 三角形平面を有している。常時微動計測や人力加振実験に より免震構造や平面形状の不整形性が振動特性に与える影 響を評価する。また、建設段階において計測を行うことで その変化を明らかにする。

## 2. 対象敷地・建物と観測体制の概要

対象建物は建設途中の地上4階+屋上実験室1階のRC造 基礎免震建物である(2013 年 3 月着工、2014 年 2 月竣工予 定)。敷地内では深さ 3.5m 程度まで機械式攪拌混合工法に よる地盤改良が行われた。対象建物は南北方向(Y方向)9.9m ×3 スパン、東西方向(X 方向)7.05m×4 スパンの三角形平面 を有する(図1)。天然ゴム系積層ゴムアイソレータ5基・転 がり支承(CLB)9基・オイルダンパー8基を使用し、免震層 の復元力を線形とした免震周期 5.2 秒の基礎免震としてい る。加えて、屋上には積層ゴム・CLB・アクチュエータを 介した実験室が設けられており、完成後にはこれを起振源 とした建物全体の振動実験を行うこともできる。





本研究では、地盤改良前後で常時微動計測と浅層レイリ

福和研究室 平野貴士

図 2)。計測には常時微動計測用サーボ型加速度計を使用し、 観測点は自由地盤・免震層中央・1 階中央・北角・最上階中 央を基本とした。各建設段階において計測することで、同 一地盤・基礎・免震装置・平面形状という条件下で建物高 さや質量と固有周期の関係を実証的に示すことができる。 計測時は、基礎免震層のオイルダンパーを設置せず、CLB のロックを外した状態である。この状態で設計固有周期が 現れると思われたが、実際にはそれより短周期であった。 これは、CLB の初期摩擦によって免震層の剛性が想定より 高いためと考えられ、本来の免震の特性は微動レベルでは 捉えきれていない。竣工後に予定されている急速解放ジャ ッキを用いた強制変位試験(10gal 程度)や屋上実験室を起振 源とした振動実験(数 gal)、さらに、継続的な地震観測を行 い、より振幅が大きい際の固有周期について検証を行う。

## 3. 地盤の震動特性

常時微動記録を用いて求めた H/V スペクトルを図 4 に示す。H/V スペクトルのピークが 0.3~0.4Hz にみられ、 地盤の卓越周期はおよそ3秒であることがわかる。対象建 物の設計固有周期は 5.2 秒であり、地盤の卓越周期と十分に 離れているため共振の可能性は低いと考えられる。



# 4.建物の基本的な振動特性 4.1.固有周期

各建設段階における TOP/免震層、1 階/免震層、TOP/1 階 の伝達関数から推定した固有振動数を表 2 にまとめた。ま た、各計測での TOP/免震層のフーリエスペクトル比を重ね 描いて建設に伴う変化について検討を行った(図5)。建設が 進むに従って固有振動数が低振動数化していくが、躯体完 成後でも0.43秒にとどまった。また、人力加振の結果にお いても同様の傾向にあることを確認した。

免震建物では主として免震層の剛性と建物全体の質量か ら固有周期が決まる。建設段階において免震層の剛性が一 定だと仮定すれば(1)式のようにi層建設段階の固有周期(T;) は質量(m;)の 1/2 乗に比例する関係になる。

#### $T_i = \alpha \sqrt{m_i}$ α:係数 (1)

計測により得られた固有周期と質量の 1/2 乗の関係を図 6 <sup>2.10Hz 2本</sup>に示す。屋上スラブ打設までは、両方向とも固有周期と質 <sup>2.25Hz 2本|</sup>量の 1/2 乗との相関がみられる。しかし、屋上スラブ打設以 降にその関係が薄れる。屋上スラブ打設時と躯体完成時で 一波探査を(図3)、建物の建設段階において躯体工事が1階は、免震装置を介して屋上実験室が打設されたことによる 分進むごとに常時微動計測と人力加振実験を行った(表 1・ 質量変化があるが、固有振動数に大きな変化がみられない。

既往の研究では、RC 造建物の固有周期と建物高さは ペクトルの振幅から、上部建物及び免震層の双方でねじれ *T*=0.015*H*の関係にあることが示されている<sup>1)</sup>。図6の横軸 を建物高さ(H)で書き換えたものを図7に示す。躯体完成時 を除き、建物高さと固有周期の変化の割合は概ね T=0.015H の関係となるが、原点を通る直線とはならず、全体的に長



図6 固有周期と質量の1/2乗との関係 図7 固有周期と建物高さとの関係 表2 各建設段階における固有振動数と1階スラブ打設時との質量比・周期比

建設段階	TOP/免震層		1階/免震層		TOP/1階		「啠르바	固有周期比	
	Х	Y	Х	Y	Х	Y	√ 貝里比	Х	Y
1階スラブまで打設	6.2	5.2	6.2	5.2			1	1	
2階スラブまで打設	4.7	4.2	4.8	4.2	8.2	8.0	1.32	1.29	1.24
3階スラブまで打設	3.8	3.2	3.8	3.2	6.9	6.2	1.58	1.63	1.6
4階スラブまで打設	3.2	3.0	3.2	2.9	6.0	5.8	1.79	1.94	1.79
屋上スラブまで打設	2.3	2.3	2.4	2.4	6.1	6.3	2.06	2.58	2.17
躯体完成1回目	2.3	2.3	2.3	2.3	5.3	5.7	2.08	2.70	2.20
躯体完成2回目	2.3	2.3	2.3	2.3	5.6	5.7	2.08	2.70	2.20

## 4.2. 振動主軸

図8は各計測において、X方向加振をした際の加振時(加 振開始から停止まで)及び自由振動時(加振停止から微動状 態に戻るまで)の変位オービットを重ね描いたものである。 加振振動数近傍でバンドパスフィルタを施している。加振 時や自由振動時に加振方向でない方向に振動している様子 が確認された。

CLB の初期摩擦等により、当初より設定している XY 軸 とは異なる主軸が存在する可能性がある。図9に検討方法 の概要を示す。図10は屋上スラブ打設時の計測における1 階/免震層と TOP/1 階のフーリエスペクトル比である。加速 度計を右手系で考えて Z 軸回りに-5°回転させると、TOP/1 階と1階/免震層ともに2方向のフーリエスペクトル比が概 ね一致するため、屋上スラブ打設時の振動の主軸は XY 軸 に対して Z 軸回りに 40°回転した軸であると考えられる。 各建設段階について同様の検討を行うと表3のようになり、 建設に伴い主軸が変化していることがわかった。

## 5. 建物の立体振動特性

免震建物では、ねじれ振動が励起されると擁壁とのクリ アランスが減少する恐れがあり、免震層でのねじれの検討 は重要である。同一階の北角観測点と中央観測点の差をセ ンサー間距離で除し、ねじれ回転角を算出し、躯体完成後 のねじれ回転角のフーリエスペクトルを求めた(図 11)。ス が生じていることが確認された。本計測では、オイルダン パーが設置されてない状態であり、設置後にも同様の計測 を行い免震層でのねじれについて検討する必要がある。

### 6. まとめ

本研究では、建設段階における免震建物の計測を一層ご とに行い、建設に伴う固有振動数の変化をとらえることが できた。CLB の摩擦等により免震層の剛性が想定より高く なっているため、竣工後に強制変位試験・起振実験や継続 的な地震観測を行うことでより振幅が大きい際の免震性能 の検証を行う。



参考文献 日本建築学会:建築物の減衰,2000