

# 微動・強震観測及び大振幅加振実験に基づく中間階免震建物の振動特性に関する研究

名古屋大学 工学部 環境土木・建築学科  
建築学プログラム 飛田研究室 高井和巳

## 1. はじめに

免震建物は、建物内に免震装置を用いた水平剛性の小さな免震層を挟むことによって、上部構造を地盤から絶縁し、建物の応答を低減、被害の抑制をはかる建物である。ここで、構造物を基礎免震構造とした場合、クリアランスを確保するために基礎周辺を掘削する必要がある。都市部などの建物密集地域や傾斜地ではクリアランスの確保が困難であり、コスト面でも不利と言える。そこで、大規模な土工事が不必要となる中間階免震構造は非常に有効な手段であると考えられる。しかし、上部構造が比較的軽量であって、免震周期の設計に注意が必要なことや、下部構造の応答など、考慮することは多く、さらなる研究が必要である。

従って、現状の中間階免震構造の免震性能について把握し、情報を蓄積するために、傾斜地に立地し、中間階免震構造と長方形平面という特徴を持った実在建物の振動特性の分析を行う。

## 2. 対象建物・敷地の概要

対象建物は愛知県名古屋市中区に位置し、地域の医療・防災の中心地として、災害時における早期復旧が期待される。傾斜地に建ち、中間階免震・長方形平面という特徴を持つ実在免震建物である。詳細は表1に示す。また免震装置と加振用ジャッキの配置場所を図1に示し、建物概要を図2に示す。

表1 対象建物・敷地の概要

基礎構造	直接基礎（布基礎）	
階数	地上4階、地下2階（免震層は1階部分）	
構造種別	鉄筋コンクリート構造	
骨組形式	耐震壁付きラーメン構造	
床形式	コンクリートスラブ（在来工法）	
設計免震周期	3.1 秒（レベル1）	4.7 秒（レベル2）
免震層クリアランス	800 mm	
地盤卓越周期	2.92 秒	
軒高	17.10 m	敷地面積 34,537.55 m <sup>2</sup>
基準階の高さ	3.80 m	基準階面積 652.68 m <sup>2</sup>

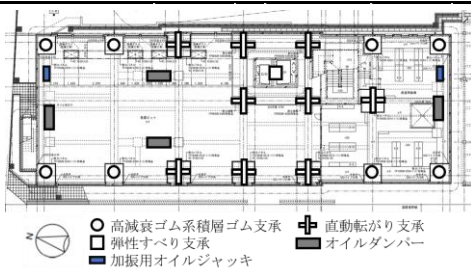
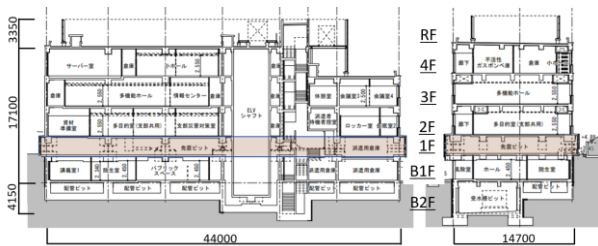


図1 免振装置と加振用ジャッキの配置図



北-南 断面図

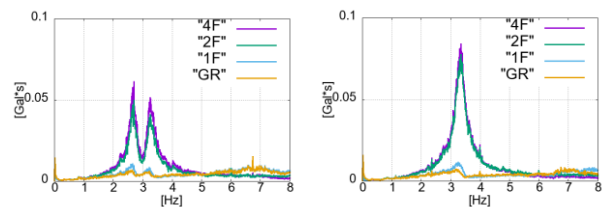
西-東 断面図

図2 対象建物の概要

## 3. 観測データに基づく振動特性の分析

### 3.1 常時微動記録に基づく振動特性の分析

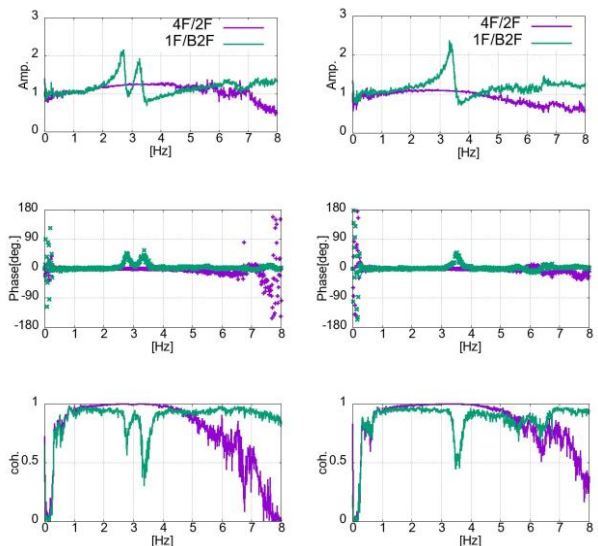
図3に常時微動計測記録から算出した加速度フーリエスペクトルを示す。免震層を介すことで、東西方向では2.7Hzと3.3Hz付近、南北方向では3.3Hz付近で固有振動数のピークが見られる。免震層上部の中央と南で観測されたデータから、2.7Hzはねじれ、3.3Hzはねじれを伴う並進振動をしていることを確認した。大振幅を想定した免震層の設計がされているために、微動時において、このような複雑な振動をしていることが考えられる。免震下部と上部それぞれに注目した伝達関数を図4に示す。上部構造では伝達関数がほぼ1であることから剛体的な動きをしている事が分かる。また、その傾向は長辺方向である南北方向により顕著に見られる。下部構造では免震層による固有振動数にて、伝達関数のピークが見られ、位相差が少ないことやコヒーレンスの低下から、上部構造の慣性力を受けていることが分かる。



(a)東西方向

(b)南北方向

図3 微動時における加速度フーリエスペクトル



(a)東西方向

(b)南北方向

図4 上部構造と下部構造の伝達関数

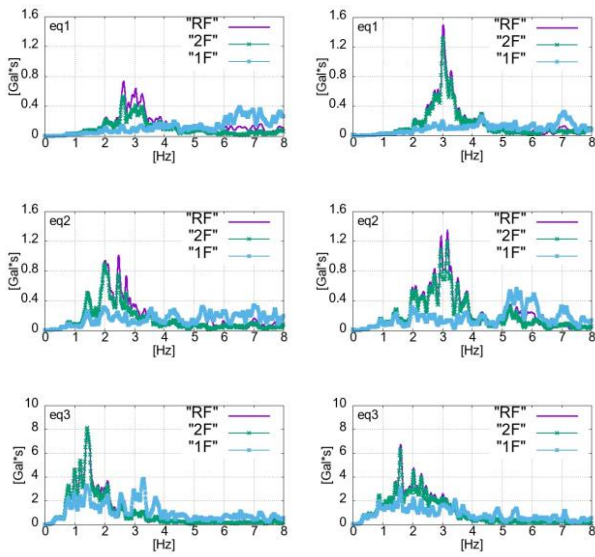
### 3.2 強震記録に基づく振動特性の分析

観測された地震の概要を表に示す。eq1,eq2に比べ、eq3は震源からの距離が離れている為に短周期成分が減衰し、長周期成分が優勢な強震記録が観測された。観測記録から算出した加速度フーリエスペクトルを図5に、RF/1Fの伝達関数を図6に示す。図か

ら,eq1,eq2 の微小な地震動でも若干の固有周期の長周期化が見られ,4 Hz 以上の高振動数の振動は免震層による損失が大きいことが分かる.eq3 の様な比較的大きな地震動ではより顕著にそれらの傾向が見られた.振幅依存による長周期化であると考えられるが,地震動の個性による影響も考えられる為,より複数の強震記録を用いて分析していきたい.

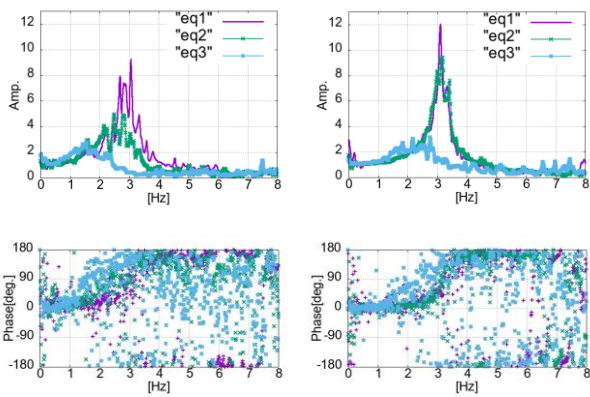
表2 観測された地震の概要

地震 No.	日付	震央位置	震央距離 [km]	震源深さ [km]	規模 [Mj]	震度
eq1	2020/8/10 17:17	愛知県西部	40	約40	3.4	1未満
eq2	2020/8/27 8:55	岐阜県美濃中西部	37	約10	3.9	1未満
eq3	2020/9/27 13:13	静岡県西部	84	約50	5.3	2



(a)東西方向 (b)南北方向

図5 強震観測記録における加速度フーリエスペクトル



(a)東西方向 (b)南北方向

図6 RF/1Fの伝達関数

### 3.3 加振実験記録に基づく振動特性の分析

対象建物の免震階である1階の北端と南端にジャッキを設置し,上部構造を東に引っ張った後,解放することで,東西方向に加振を行った.加振実験の概要を表3に示す.免震装置や緩衝材の摩擦,オイルダンパーの働きによって残留変位が見られた.実験によって得られた1階,2階,R階の加速度波形を図7に示す.観測された加速度波形をフィッティングし,最小二乗法で求めた免震層

による固有振動数は0.35 Hz付近であり,微動時と比較して,明らかな長周期化が見られた.しかし,加振実験によって得られた加速度波形は残留変位の影響など単純な自由振動波形とは異なり,加振開始から刻々と特徴が変化している.フィッティング方法の検討が今後の課題に挙げられる.免震下部でも上部と逆に振動を観測しており,免震上部から免震装置を介しての慣性力を受けている事が分かる.1階のフーリエスペクトルでは10 Hz付近にピークを確認し,慣性力を受けた下部構造が固有振動数で振動をしていたと考えられる.

表3 加振実験の概要

実施日	変位	北側の残留変位	南側
2020/8/26	解放直後	34 mm	39 mm
	24時間後	24 mm	27 mm

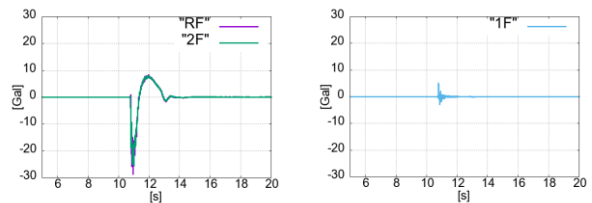


図7 加振実験による加速度波形 東西方向

### 4. 各観測記録の比較

微動記録と比較して,強震記録では微小な地震動でも固有周期の若干の長周期化,比較的大きな振幅を伴う地震動では顕著な長周期化が見られる.また,低周波数成分が免震層を介することで損失している.これらの傾向は南北方向より東西方向で顕著に見て取れる.加振実験記録では明らかな長周期化が確認できた.また,微動時に東西方向で観測された固有振動数の2つのピークは強震時と加振時では見られず,連成した振動をしていると考えられる.表4に各観測記録の最大加速度と固有振動数の関係を示す.

表4 最大加速度と固有振動数の関係

	最大加速度 [Gal]	固有振動数 [Hz]	
		東西方向	南北方向
常時微動	0.15	2.7 3.3	3.3
強震記録			
eq1	1.9	2.9	3.1
eq2	2.1	2.7	3.1
eq3	6.7	1.5	2.1
加振実験	32	0.35	—

### 5. まとめ

微動時において,ねじれを伴う並進のような複雑な振動をしており,方向によって異なった振動特性を示している.免震層の上下で振動特性の違いを確認した.免震層を介することで固有振動数での増幅を確認した.強震記録からは,微小規模の地震動でも若干の固有周期の長周期化がみられ,振幅によってはさらに長周期化することが明らかになった.低周波数成分の免震層を介することによる損失も確認した.加振実験記録からは,明らかな固有周期の長周期化が見られ,免震装置が動き,免震効果を發揮していると言える.また,下部構造において,上部と比較すると微少だが,ある振動数に振幅が集中している事が分かった.加振実験記録でも設計免震周期ほど長周期化しない結果となった.大地震の様な連続した大振幅を伴う振動での分析が今後の課題と言える.