

高密度地震観測に基づく免震建物の振動特性に関する研究 ～名古屋大学病院中央診療棟の場合～

名古屋大学工学部社会環境工学科建築学コース
福和研究室 広野衣美

1. はじめに

兵庫県南部地震以降、耐震性能に対する社会の要請は、人命の保護のみならず、経済損失や地震後の機能損失の防止をも目的とするようになってきた。本研究の対象建物である名古屋大学病院医学部付属病院中央診療棟も、病院機能の中で中枢を担う施設であり、地震発生時においても高度医療機能を確保する必要がある。

免震建物は、建物の振動性状を人為的に制御したものであり、竣工後の建物の振動性状について検討することは意義のあることである。また、設計時の性能の確認と設計で考慮されていない特性の検出、大地震時の性能の変化や継続使用の可否の判断、ヘルスマニタリングなどの観点からも、免震建物の高密度の強震観測の果たす役割は大きい。本論文では高密度強震観測で蓄積されたデータの分析ツールを作成するとともに、詳細な検討を行った。

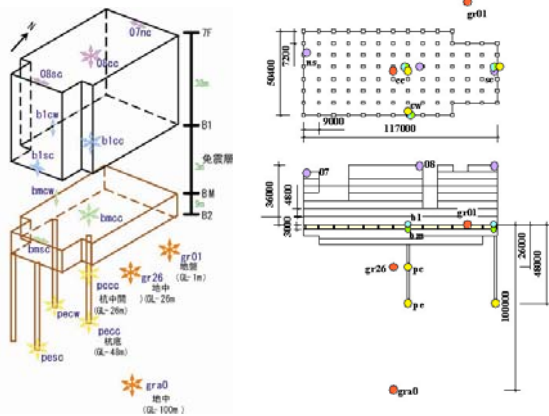
2. 対象建物及び強震観測概要

対象建物は名古屋市昭和区に位置する鉄骨鉄筋コンクリート造、地上7階・地下2階建の免震建物である。免震層は地下1階と地下2階の間に設けられており、免震装置には積層ゴムに天然ゴム系積層ゴムと鉛プラグ入り積層ゴム、減衰装置にオイルダンパーが採用されている。免震の初期周期は1.49秒、割線周期は4.52秒となっている。基礎は杭基礎を採用しており、GL-45.3mの海部・弥富累層を支持層としている。地盤の卓越周期は3.5秒である。表1に建物概要を示す。

建物中央と端部に水平成分を配置することでねじれの影響が、上下成分を配置することでロッキングの影響が確認できる。また、地表と地中に配置することで、地盤増幅の確認も可能となる。このよ

表1 建物概要

面積	積 建築面積: 5,911㎡ 延べ面積: 43,936㎡ 基準階面積: 5,759㎡
階数	地上: 7階 地下: 2階(免震層を含まず)
高さ	建築物高さ: GL+33.82m 基準階階高: 4.30m 基礎底深さ: GL-16.75m
基礎	杭基礎(場所打ち鋼管コンクリート拡底杭・アースドリル工法)
構造上の特徴	免震層をB1階床下に設けた中間層免震
骨組み形式種別	上部構造: 構造種別 鉄骨鉄筋コンクリート造 骨組形式 B1階・PH階: 耐震壁付ラーメン構造 1階～7階: 純ラーメン構造
	下部構造: 構造種別 鉄筋コンクリート造 骨組形式 耐力壁付ラーメン構造
地盤卓越周期	3.5秒
免震周期	初期周期: 1.487秒 割線周期: 4.519秒



(a) 鳥瞰図 (b) 平面・立面図
図1 強震観測点

うなことから、図1のように高密度に強震観測点が配置されており、水平成分24ch、上下成分13chのデータが得られる。

2005年6月2日から2007年1月5日までに21の地震記録が得られている。ここでは主に、2005年12月24日に発生した愛知県西部の地震(震源距離44.5km、震源深さ43m、Mag.4.8)の記録を参考として取り上げていく。この地震における、建物Top中央と地盤地表のEW方向の加速度波形と加速度フーリエスペクトルを図2に示す。

3. 振動性状分析ツール

高密度観測をしていても、一般的な波形やスペクトルなどの分析では、建物の地震挙動を把握するのは難しい。そこで、Flash(Adobe社)を使用した振動性状分析ツールを新たに作成した。これは、観測点位置に変位データを読み込み、時刻歴で振動させるものである。入力データにバンドパスフィルタを施すことにより、抽出したい振動数範囲アニメーションを容易に作成することができ、立体的な振動モードを確認できる。このアニメーションを見ることにより、地震時の建物の時刻歴挙動の理解が深まり、新たな現象の解明への足がかりとなる。図3に作成したツールの概観を示す。

4. 最大値からみる増幅特性

観測記録には、長周期が優勢な地震動や短周期が優勢な地震動などさまざまなものが含まれている。そこで、簡易的に振動数領域での増幅特性についての検討を行う。ここでは地震動の卓越振動数を表す指標として、地表最大加速度(PGA)と地表最大速度(PGV)の比から算出した等価卓越振動数(PGA/PGV/2π)と、地表最大速度(PGV)と地表最大変位(PGD)の比から算出した等価卓越振動数(PGV/PGD/2π)を用いる。図2に等価卓越振動数と増幅度の関係を示す。図2(a)は建物Topと免震上(以下b1)、図2(b)は免震上と免震下(以下bm)、図2(c)は免震下と地盤地表、図2(d)は地盤地表と地中-100mにおける最大加速度と最大速度の比を、方向ごとに地震動の

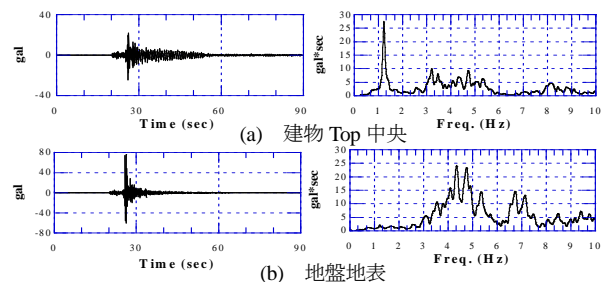


図2 2005.12.24 愛知県西部地震のEW方向の加速度波形(右)と加速度フーリエスペクトル(左)

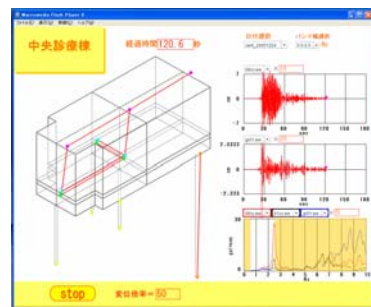


図3 Flash画面

卓越振動数と比較したものである。図3の地震記録のフーリエスペクトル比の平均とそれぞれ比較してみると、増幅度が大きくなっている振動数帯域とフーリエスペクトル比のピークが現れている振動数帯と対応している。

5. 伝達関数

地盤地表、免震層下中央・西端、免震層上中央・南端・西端、建物 Top 中央の7点の結果から伝達関数を算出した。図4に2005年12月24日愛知県西部の地震における、地盤-建物連成系(Top/GL)、基礎のスウェイのみを固定した基礎固定系(Top/bm)、基礎のスウェイとロッキングを固定した基礎固定系(Top/(bm+H₁θ₁))、免震層の水平変位のみを固定した系(Top/b1)、免震層の水平変位とロッキングを固定した系(Top/(b1+H₂θ₂))のEW方向、NS方向の伝達関数を示す。Top/GLとTop/bmを比較することでスウェイの影響が、Top/bmとTop/(bm+H₁θ₁)及びTop/b1とTop/(b1+H₂θ₂)を比較することでロッキングの影響が抽出できる。図4から、EW方向、NS方向ともに、基礎のスウェイ、ロッキング、免震層のロッキングの影響がほとんどないことが確認できる。また、Top/(bm+H₁θ₁)とTop/b1を比較すると、1.5Hz付近のピーク位置にずれが明瞭に認められる。このことから、EW方向、NS方向ともに、免震層が水平方向に変形していることが分かる。

6. 振動モード

図3に示したフーリエスペクトル比の平均をみると、EW方向、NS方向ともにTop/bmは1.5Hz付近に、また、b1/bmは3Hz付近にピークがあることが確認できる。1.5Hz付近のピークは1次モードと予想できたが、3Hz付近のピークは要因が不明瞭であった。そこで、3で紹介した振動性状分析ツールを用い確認したところ、図5(b)で示すような逆せん断型のモード形であることが確認された。図5は2005年12月24日愛知県西部の地震について、(a)は1-1.5Hz、(b)は3-3.5Hzの範囲の変位より推定したモード図である。

7. ねじれ振動

ねじれの影響を確認するために、建物 Top では南北端と中央の2倍のEW成分の和の1/4を並進成分、南北端のEW成分の差の1/2をねじれ成分、南北端のEW成分の和と中央の2倍の差の1/4を弓形成分とした。また、免震上と免震下では、南端と中央のEW成分の和の1/2を並進成分、南端と中央の差をねじれ成分とした。図6に2005年12月24日の愛知県西部の地震の並進・ねじれ・弓形成分のフーリエスペクトルとモード図を示す。フーリエスペクトルから、並進成分の固有振動数とねじれ成分の固有振動数が近接していることが分かる。ねじれ成分、並進成分ともに建物 Top での影響が大きい。また、弓形成分は5Hz付近が固有振動数であることが分かる。この弓形成分はすべての地震で見られるわけではなく、高振動数成分が優勢な地震で確認されている。

8. まとめ

新たな立体振動性状分析ツールを作成したことは、地震時の建物の挙動を理解することにも大変役に立った。今回までに観測された地震では、免震装置は初期剛性範囲であり、免震層の影響があまり見られなかった。今後さらに観測を続け、より多くのデータを蓄積するとともに、分析ツールを生かしながら更なる検討を行っていきたい。また、隣接して建設が予定されている外来診療棟との比較を通して、免震設計の違いが応答性状に与える影響を分析していきたい。

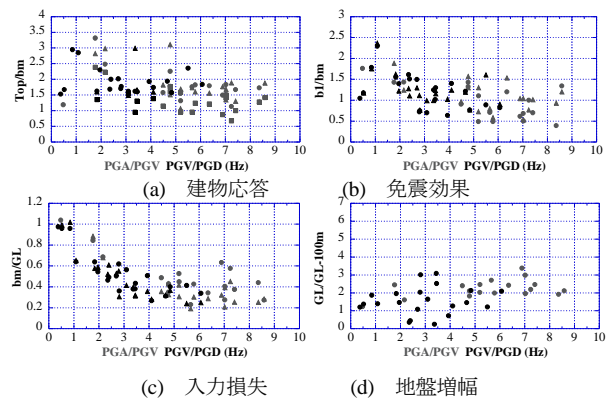


図2 EW方向の等価卓越振動数と増幅特性

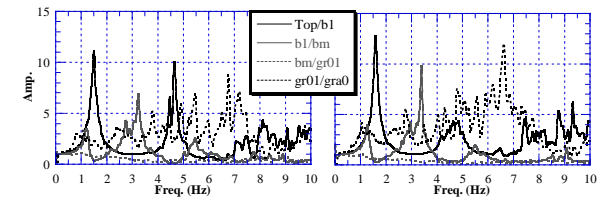


図3 地震記録のフーリエスペクトル比の平均 EW方向(右)とNS方向(左)

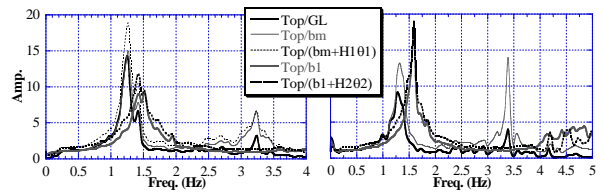


図4 2005.12.24 愛知県西部地震の伝達関数 EW方向(右)とNS方向(左)

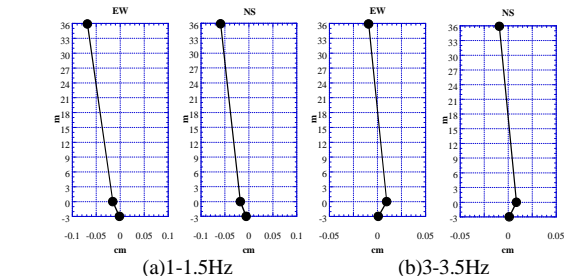


図5 2005.12.24 愛知県西部地震の変位より推定したモード図

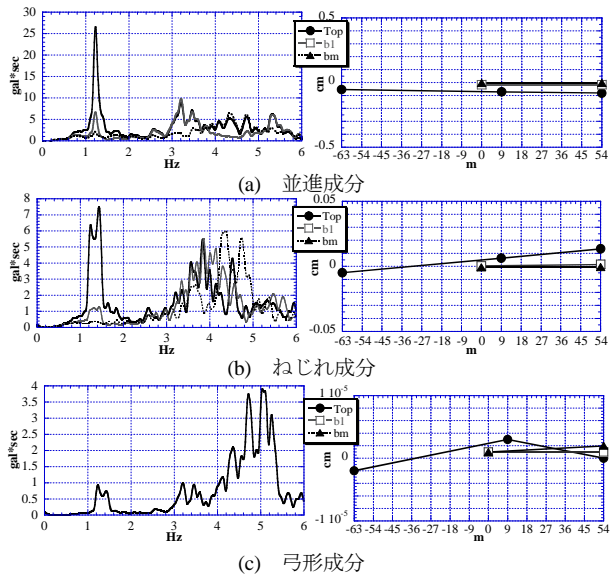


図6 愛知県西部の地震の並進・ねじれ・弓形成分のフーリエスペクトル(右)とモード図(左)