

1. 背景と目的

近年、大きな被害が予想される南海トラフ巨大地震の発生が懸念されており地震への対策が必要とされる中で、免震建物の需要は増えていくことが予想される。そのことから、免震建物の振動特性を解明していくことは重要である。

名古屋大学の東山キャンパス内にある減災館は、不整形な平面を有した免震建物であるため建物がねじれ振動といった立体振動を起こす可能性があり、複雑な振動特性を有することが考えられる。

そこで本研究では、減災館(以下対象建物)を対象とし、対象建物で行った常時微動計測の記録と地震観測記録の分析を行い、不整形な免震建物の振動特性を把握するとともに振幅による振動特性の変化の検討をする。

2. 対象建物の概要と観測体制

2.1 対象建物の概要

対象建物は、2014年2月に竣工した地上5階+屋上実験室1階のRC造基礎免震建物であり、建物の設計固有周期は5.2秒に設定されている。基礎種別は直接基礎を採用しており、免震構造は基礎免震となっている。

対象敷地の地盤は、基礎底面から-3.5mのところまで地盤改良が行われている¹⁾。免震層には、免震部材として天然ゴム系積層ゴムアイソレーター5基、直動転がり支承9基、オイルダンパー8基が設置されている。対象建物には地震時や建物の振動実験時の加速度を記録するために加速度計が常設されている。図1、図2に本研究で用いた加速度計の配置を示す。

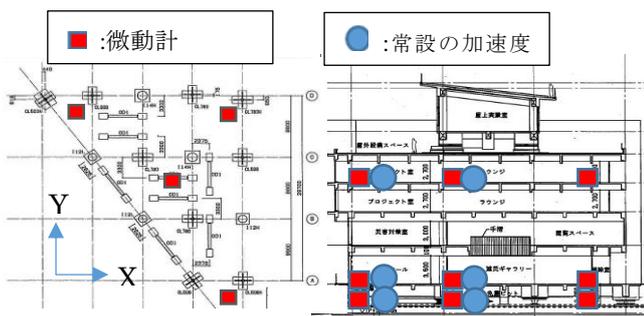


図1 免震層配置図

図2 加速度計配置図

2.2 常時微動計測の観測体制

常時微動計測では12個の加速度計を用いて建物の振動を計測した。免震層と1階と4階の各階の中央・北西・北東・南東の4点に加速度計を配置した。上下階の加速度計記録から建物での振動の増幅を見ることができ、同一平面の計測記録の比較から建物のねじれ振動について分析する。計測では図2の左右方向をX方向、上下方向をY方向とする。

3. 常時微動計測記録の分析

3.1 基本的な振動特性の分析

図4に加速度フーリエスペクトルを、図5に1階/基礎、4階/基礎、4階/1階の伝達関数を示す。フーリエスペクトル及び伝達関数から、X、Y方向ともに2.1Hzで卓越している。伝達関数の位相差、コヒーレンスから2.1Hzが並進1次固有周期であると考えられる。設計固有周期に比べると短い周期になっているのは、常時微動レベルの小振幅だと免震装置が設計で想定したほど動かないためと考えられる。また、上部建物/基礎の伝達関数と4階/1階の伝達関数の振幅が異なっており、免震層で振動の増幅が大きくなり、上部建物はほぼ剛体的であり、免震的な動きをしていることがわかる。

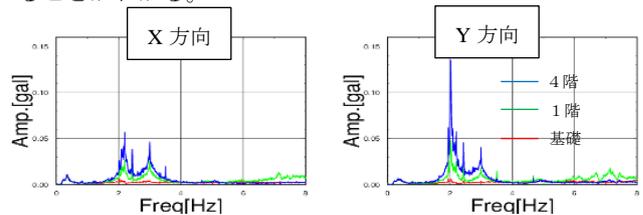


図3 加速度フーリエスペクトル

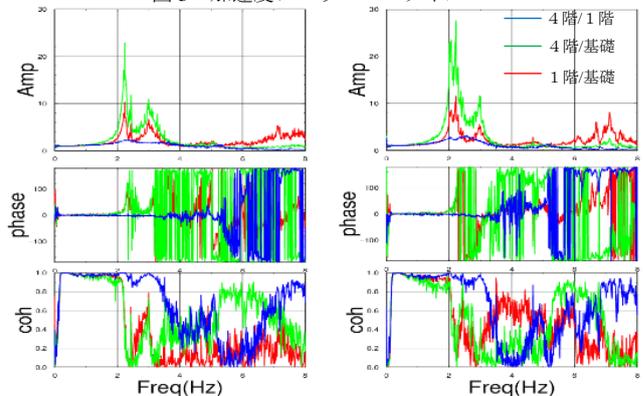


図4 北西地点の伝達関数、位相差、コヒーレンス

3.2 ねじれ振動の分析

対象建物のねじれ振動について分析する。そのために建物の同一平面に設置した2つの加速度計の記録の差を加速度計間の距離で除することで建物のねじれの回転角加速度を算出した。図5に北西-中央で算出したねじれの回転角加速度のフーリエスペクトルを、図6に1階/免震層、4階/免震層、4階/1階のねじれの回転角加速度による伝達関数を、図7に計測記録から作成した対象建物上から見たアニメーションの画像を示す。フーリエスペクトル及び上部建物/基礎の伝達関数では3Hzで卓越していることから、免震層のねじれの固有周期であることが考えられる。また、4階/1階の伝達関数では振幅が小さいことから、上部建物でのねじれ振動は小さい。また、2.1Hzで卓越して

いるのは、ねじれ振動と並進振動の連成によるものと考えられる。

X 方向

Y 方向

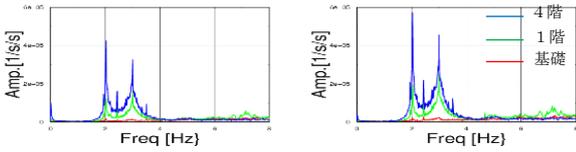


図5 ねじれの回転角加速度のフーリエスペクトル

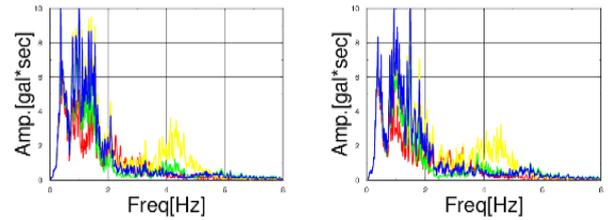


図8 加速度フーリエスペクトル

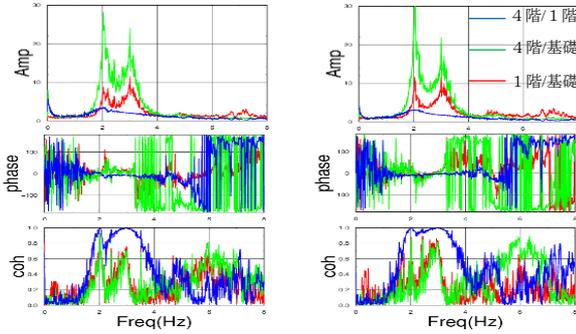


図6 ねじれの回転角加速度の伝達関数

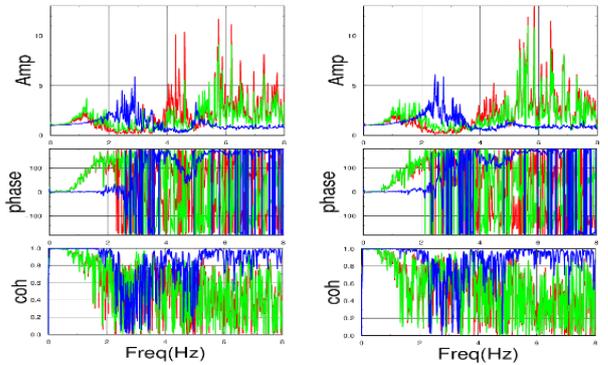


図9 中央地点の伝達関数、位相差、コヒーレンス

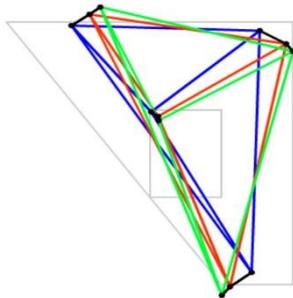


図7 建物のアニメーションの画像(上視点)

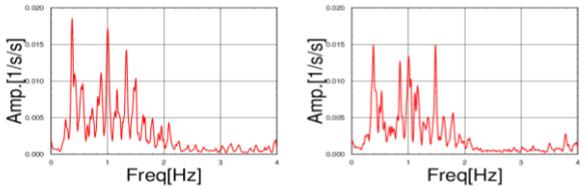


図10 ねじれの回転角加速度のフーリエスペクトル

4. 地震観測記録の分析

2016年4月1日に三重県南東沖で発生した地震の観測記録の分析を行った。図8に観測記録より得られた加速度波形のフーリエスペクトルを、図9に1階/基礎、5階/基礎、5階/1階の伝達関数を示す。フーリエスペクトルからは、0.37Hzで卓越しており、これは敷地の深部地盤の卓越周期によるものだと考えられる。建物の1次固有振動数は1~1.8Hzであると考えられる。1階/基礎と5階/基礎の伝達関数では1.2Hzで卓越しており、位相差やコヒーレンスから、建物の1次固有振動数であると考えられる。5階/1階の伝達関数は2.88Hzで卓越していることがわかる。このことから、免震建物全体の固有周期は上部建物の固有周期に比べ長く、免震としての効果を発揮している。読み取った固有周期が設計固有周期に達していないのは地震の振幅が小さかったためと考えられる。

図10に1階のねじれの回転角加速度のフーリエスペクトルを示す。ねじれの回転角加速度のフーリエスペクトルでは、0.37Hzの深部地盤の卓越周期でピークがあり、1~1.5Hzでも卓越している。明確な卓越周期が読み取れないために、ねじれの卓越によるものかの判断が難しい。

5. 微動記録と地震観測記録の比較

常時微動記録で建物の並進振動の1次固有振動数は2.1Hzであるのに対し、地震観測記録では1.2Hzとなり、地震記録の方が建物の固有周期が長くなっているのがわかる。また、伝達関数の固有振動数での振幅が、常時微動計測記録より地震観測記録の方が小さくなっており、建物の応答が低減され、免震の効果が発揮されていることがわかる。これは、地震時の方が入力が大きく、免震層がより動いたからだと考えられる。

ねじれ振動は、地震記録に関しては明確なピークは見られなかったが、どちらの記録でも免震層でねじれが起きていることがわかる。ねじれ振動も地震記録の固有周期の方が短くなっている。

6. まとめ

常時微動計測記録と地震観測記録を分析し、免震建物の振動特性の検討を行った。常時微動のような小振幅であっても対象建物は免震建物としての振動特性を示すことがわかった。免震層でねじれ振動が起きていることを確認した。振幅の大きい地震記録の方が、並進、ねじれ振動の固有周期は長くなることを確認した。