

1 背景と目的

免震建物は1983年に完成した「八千代台免震住宅」にはじまり、現在では40年弱が経過している。最近では庁舎や病院などの重要建物を中心に多数建設されており、今後、長期使用時や大地震の被災後の構造健全性評価、すなわち構造ヘルスマonitoringが必要になると考えられる。その際の性能評価手法や基礎データを検討するにあたり、実建物の観測や実験に基づく長期的な分析結果が重要であると言える。名古屋大学減災館（以下、対象建物は竣工から約8年が経過し、建物の動的特性を詳細に検討しうる観測体制の下、これまでに定期的な振動実験や常時微動計測を実施してきた。そこで本研究では、これまでに蓄積された観測記録の整理に加えて高密度の常時微動計測を実施し、詳細な振動特性の検討を通して、将来の被災時の対応や、長期的なメンテナンスにつながる特性の把握を試みる。

2 対象建物概要と観測体制

2.1 対象建物概要

対象建物は、2014年2月に竣工した地上4階＋屋上実験室1階建てのRC造基礎免震建物である。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基が設置されており、設計固有周期は5.2秒に設定されている。対象建物は油圧ジャッキで免震層に最大15cmの初期変位を与えることができる自由振動実験と、屋上の400tの質量を加振することによる強制振動実験を行うことが可能であり、竣工時から120回以上の自由振動実験、370回以上の強制振動実験が実施されてきた。対象建物には地震記録や加振実験記録の観測のために加速度計が常設されており、竣工当時から現在まで多くのデータの蓄積が可能となっている。常設の加速度計、相対変位計の配置を図1～図3に示す。

2.2 常時微動計測の観測体制

2021年11月7日1:00～1:30に、対象建物において高密度の常時微動計測を行った。各階の中央、北西、北東、南東の4ヶ所に加速度計を配置し、建物の並進やねじれ、立体振動について分析を行う。加速度計の配置を、図1、図2に示す。加速度計の東西、南北方向は図1に示す方向である。なお、自由振動実験記録の分析には、対象建物に常設された加速度計、相対変位計のデータを用いる。

3 常時微動記録の分析

3.1 並進・ねじれモードの振動特性

図4に建物中央の加速度フーリエスペクトル、図5に建物中央の伝達関数を示す。フーリエスペクトル、伝達関数ともに東西方向では2.2Hz、南北方向では2.0Hz付近にピークが見られ、伝達関数の位相差と、スペクトルのピークが上階ほど高くなっていることから、これらは並進1次モードの固有周期であると考えられる。図5の伝達関数の振幅倍率から免震層は動いているといえるが、上部構造の上階ほど加速度が大きく、地震時に想定されるような応答とは異なっている。しかし、2～3Hz付近では位相差が複雑な形を示しており、図6、図7のように考えると対象建物は元々加速度計を配置した方向から反時計回りに40度回転した方向に、並進方向が最も卓越する主軸があると考えられる。これは、対象建物の平面形状が三角形に近い不整形であることが原因と考えられる。図8は、建物の同一平面に設置した2点の計測点の加速度の差をとり、計測点間

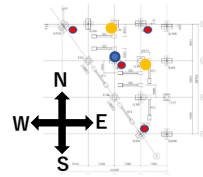


図1 免震層加速度計配置図

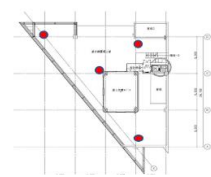


図2 屋上加速度計配置図

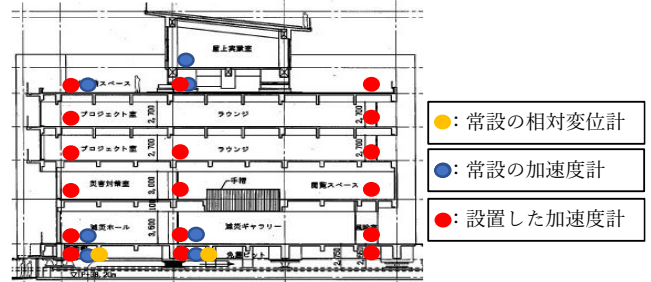


図3 南北方向断面図 加速度計配置

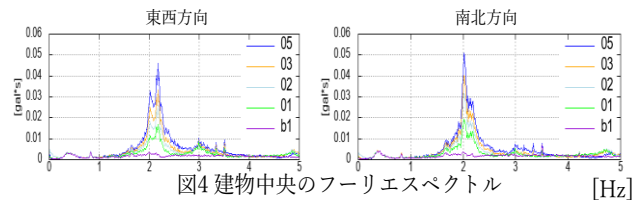


図4 建物中央のフーリエスペクトル

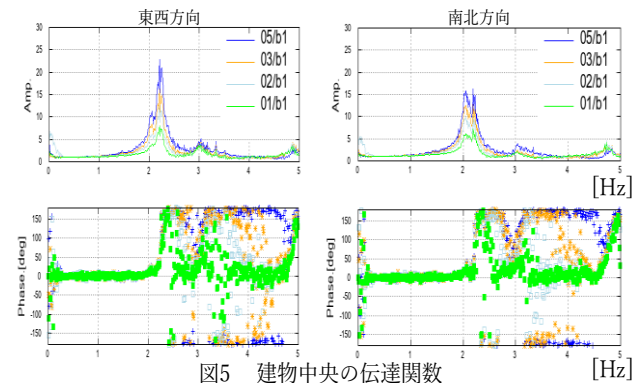


図5 建物中央の伝達関数

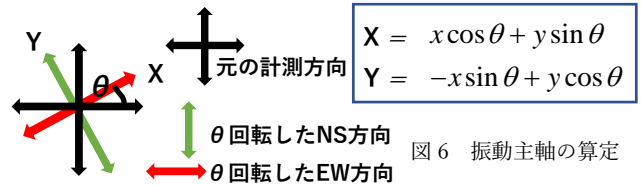


図6 振動主軸の算定

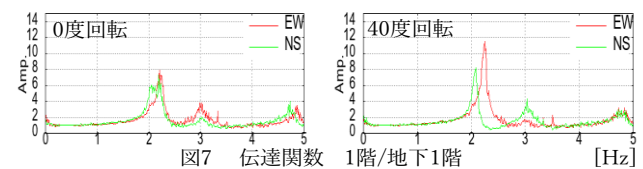


図7 伝達関数

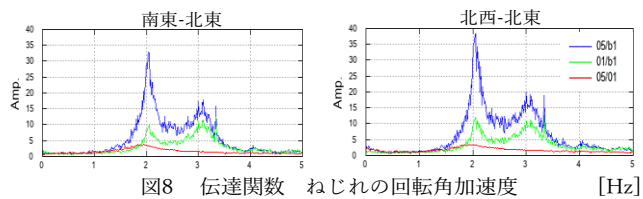


図8 伝達関数 ねじれの回転角加速度

の距離で除した2点の計測点の加速度の差をとり、計測点間の距離で除すことによって算出されるねじれの回転角加速度で、2.0 Hz 付近と 3.0 Hz 付近でピークが出ている。図6にあるように建物中央でもピークが大きい 2.0 Hz 付近の方は、ねじれを伴う並進振動の固有振動数、3.0 Hz の方は純ねじれ振動の固有振動数と考えられる。なお、図8の振幅倍率から、ねじれの増幅は上部構造よりも免震層で励起されており、これは上述のように対象建物が不整形で、偏心していることなどが原因と考えられる。

3.2 立体振動特性

図10は、それぞれのモードで変位が極大点となる時刻での計測点の位置をプロットしたものである。躯体完成時の並進固有振動数は 2.3Hz、2017年11月24日では 2.1Hz であり、2017年から2021年にかけては、並進、ねじれの固有振動数に変化は見られないが、躯体完成時と比較すると約 0.2Hz 長周期化しており、免震層の影響なのか、上部構造の影響なのかは今後検討を行う必要がある。

4 自由振動実験記録の分析

4.1 加速度波形とスペクトル特性

加速度記録は変動が大きく、ケース5とケース6などを比較すると、初期変位が大きいほど最大加速度も大きくなる傾向がある。また、初期変位の小さいケース1、ケース5などでは固有周期が短い、初期変位が大きいケース8などでは、固有周期も大きくなるのが分かる。ケース4とケース6などを比較すると、夏季と冬季での、気温の違いによる振動特性の違いはほとんど見られない。外気温では 25 度ほどの差があるが、免震層内部の気温差ではそれよりも小さい可能性が高い。竣工後の2年とそれ以降では実験時の初期変位が異なるため、それぞれで比較を行った。ケース3、6、8で図12のフーリエスペクトルを比較すると、2019年と2020年で固有周期に差はないものの、2016年と比較すると長周期化している。

4.2 変位波形によるシステム同定

温度依存性、振幅依存性に関しては 4.1 節と同様の結果が得られたが、経年による影響は、フィッティングでの分析と 4.1 の結果は逆となった。ケース3のようにフィッティング波形が自由振動開始時点で極大とならない場合などもあるため、今後はより詳細なモデルで検討する必要がある。また、減衰定数に関してはケース2とケース7などを比較してもわかるように、経年による特性の変化は見られなかった。設計時には減衰定数はおよそ 0.31 と想定されているが、今回分析を行った加振実験においては、0.64 ~ 0.84 とそれよりも大きい減衰定数の値となっている。これは一定の粘性減衰だけでは表せない、振幅依存性や摩擦減衰などの影響を受けていることが考えられる。

5 まとめ

RC造4階建ての基礎免震建物について、常時微動計測記録から、免震層の変位に対して上部構造の影響が大きい状況の詳細な分析を行い、不整形な上部構造の特徴的な振動特性とその変化を検討した。対象建物の特徴である常設の大振幅振動実験設備を活かして、継続的に実施された多数回の自由振動実験記録を分析し、免震の特性を検討した。結果として、特に免震固有周期の明確な振幅依存性が確認されており、設計時の値や小振幅時の観測値とも比較検討を行った。また、約7年間の変化や気温の影響なども検討したが、固有周期や減衰定数には明確な差異が見られなかった。今後はより詳細な免震装置特性を考慮したシステム同定を試みる。以上の結果から、上部構造を含む免震建物の特性把握の基礎資料が蓄積されれば、被災時や長期使用時の特性変化をとらえた構造ヘルスマニタリングにつながると考えられる。

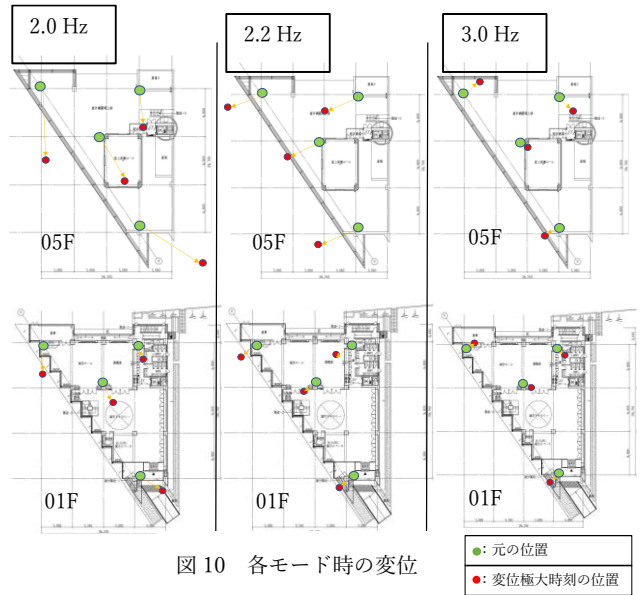


図10 各モード時の変位

ケース	実験日時 年/月/日	初期変位 [mm]	1階最大加速度 [gal]
1	2014/05/23	68.1	45.30
2	2015/12/09	86.3	18.49
3	2016/03/15	110.1	35.19
4	2019/02/25	111.2	26.99
5	2019/05/26	69.6	13.90
6	2019/07/27	111.7	25.3
7	2020/03/13	110.9	30.96
8	2020/08/25	120.5	32.30

表1 自由振動実験記録

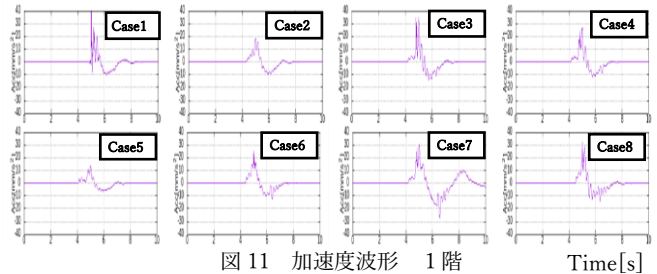


図11 加速度波形 1階

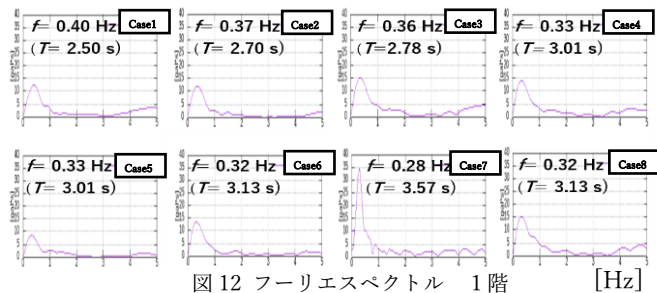


図12 フーリエスペクトル 1階

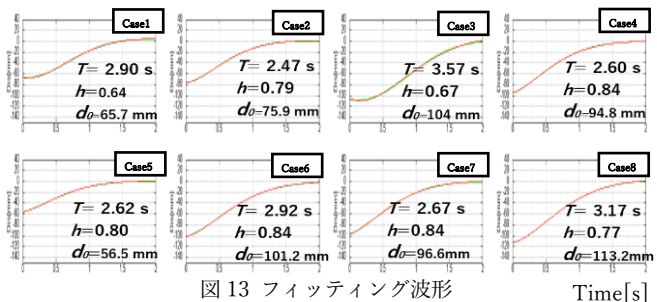


図13 フィッティング波形