

免震建物の自由振動実験による免震装置特性の推定

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 高徳ちさと

1. 研究の目的と背景

南海トラフ巨大地震の発生確率が高いと叫ばれている今日、地震の直後にも機能を維持できる免震建物の需要は高まっている。

現在の免震建物の設計では、建物全体のモデル化により免震性能を評価している。そこで、実際の建物で免震装置の評価をすることで、免震建物の設計や製造に貢献することができると思う。

本論で対象にする「減災館」では、振動観測だけでなく振動実験も行う環境が整っている。本研究では、地震記録と振動実験による記録から、免震建物の応答を明らかにすることを1つの目的としている。また、振動特性と装置の性能の関係性を考察する。

2. 対象建物・観測体制・振動実験の概要

2.1 対象建物の概要

対象建物は2014年2月に竣工された直接基礎のRC造の建物である。基礎免震構造で、免震層には天然ゴム系積層ゴム、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。基礎免震層の免震装置の配置を図1に示す。建設地の地盤の卓越周期は3秒であるのに対し、対象建物の固有周期は5.2秒となっている。

2.2 観測体制の概要

対象建物には、加速度計7基、変位計4基、土圧計4基が設置されている。設置状況は図に示す。

2.3 振動実験の概要

対象建物では自由振動実験と強制振動実験を行うことができる。自由振動実験は、基礎免震層に設置されている油圧ジャッキで建物に変位を与え、ジャッキを開放することで自由振動を起こす。自由振動は東西方向にのみ起こすことができる。初期変位の最大値は130mmである。強制振動実験は、屋上免震層のアクチュエータによって、建物に強制振動を起こす。強制振動は東西方向、南北方向の2方向に起こすことができる。本論では主に自由振動実験について述べる。

3. 振動実験・地震観測記録に基づく対象建物の振動特性

3.1 ダンパーの交換に伴う振動実験の概要と応答

2020年2月28日から3月13日にかけて、ダンパー検査に関する問題があったため、対象建物のオイルダンパーの交換を行った。それに伴い、自由振動実験と強制振動実験を行った。ダンパーの本数を減らした状態、ダンパーの旧品と新品を共に設置した状態、ダンパーが新品のみ・旧品のみでの状態など、様々な状態においてそれぞれ振動実験を行い、特性を確認した。

3.2 対象建物で観測された地震記録

2020年9月27日、静岡県西部にて震源深さ約50km、マ

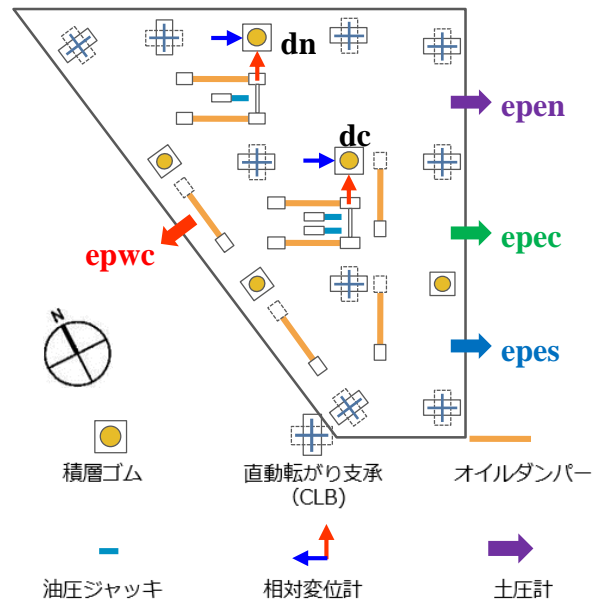


図1 基礎免震層の免震装置・観測体制

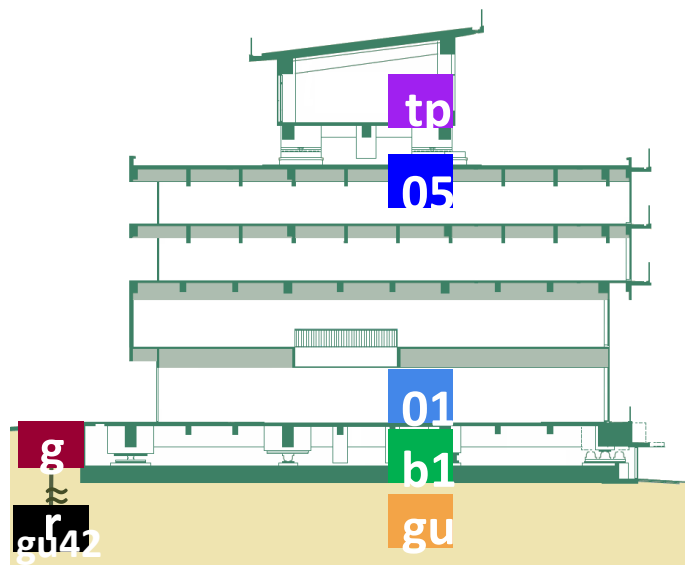


図2 加速度計の配置図



図3 基礎免震層の油圧ジャッキ

グニチュード 5.3 の地震が発生した。観測された震度は 2 だった。これまでに対象建物で観測した地震動はごく小さなものだったが、今回の地震動はそれらよりも大きなものだった。図 4 を見ると、上部構造での揺れが軽減されており、震度 2 程度の地震に対して有効だということがわかる。これからも、大きな地震での免震建物の有効性を確かめることが求められる。

4.固有振動数と減衰定数の応答波形からの推定

4.1 1 自由度モデルによるフィッティング

自由振動の方程式の解は、

$$x(t) = e^{-h\omega t} (d_0 \cos \sqrt{1-h^2}\omega t + \frac{v_0+h\omega d_0}{\sqrt{1-h^2}} \sin \sqrt{1-h^2}\omega t) \quad \text{式 (1)}$$

と書ける。この式と推定値の差の 2 乗を求め、波形全体で積分した値が最も小さくなる初期変位、初期速度、減衰定数、角振動数を求める。

4.2 推定されたパラメータ

ダンパーの本数が同じであれば (図 5)、性能はほぼ同じであった。すなわち、新品のダンパーと旧品のダンパーの性能に大きな差はなかった。

ダンパーを設置せずに自由振動実験を行うと (図 6)、減衰が小さくなると同時に、推定値と実測値 (図 5, 6 ともに紫が実測値で緑が推定値) にずれが生じた。これは、式 (1) が摩擦の項を考慮していないからだと考えられる。また、固有周期や減衰定数は、振幅に依存するため、式 1 の定数のモデルでは表現できないからだと考えられる。

4.3 波形を分割しての推定

ダンパーを設置せず、初期変位を 100 mm としたときの実験での変位波形をもとに、波形を分割してパラメータを推定した。波形全体を細かく刻むにつれて、推定値と実測値の差が小さくなっている。また、分割して推定すると、時刻が進むにつれて減衰定数が大きくなる傾向がある。これは、積層ゴムと直動転がり支承の減衰力や摩擦力が効いているためだと考えられる。

5.結論

地震観測記録から、震度 2 程度の軽微な地震に対しても、免震装置の効果があることが分かった。

ダンパー交換に伴う自由振動実験から、新品と旧品のダンパーの性能に大きな差は見られなかった。また、振動実験の後半では直動転がり支承と積層ゴムの減衰力や摩擦力が効果を発揮していることが分かった。

これからは、強制振動実験の結果の解析や、モデルのさらなる精度の向上が必要である。

参考文献

- (2.1) 日建設計：名古屋大学 (東山) 減災連携研究拠点施設構造設計概要書, 2012
- (3.2) 気象庁ホームページ

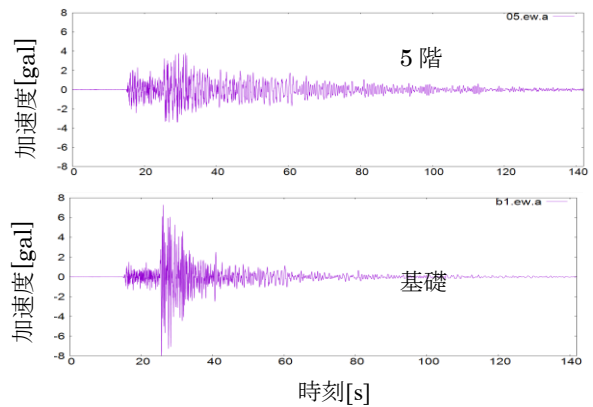


図 4 地震で観測された東西方向の加速度波形

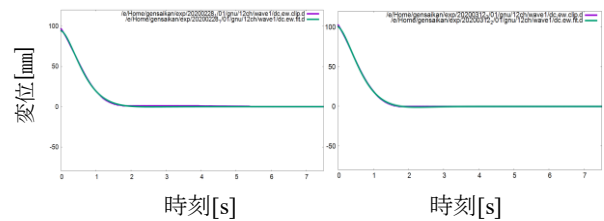


図 5 ダンパー 8 本のときの自由振動実験の変位波形 (左すべてダンパー旧品, 右すべてダンパー新品)

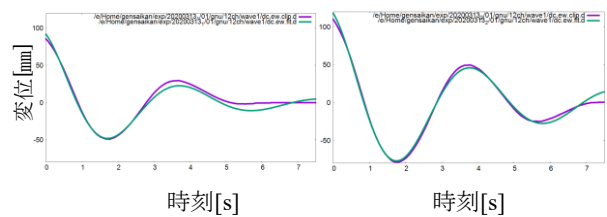
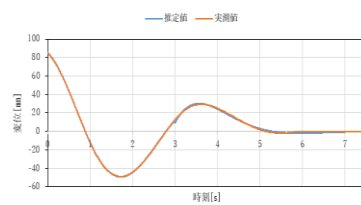
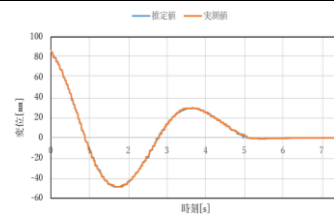


図 6 ダンパー 0 本の時の自由振動実験の変位波形 (左初期変位 100 mm, 右 130 mm)



区間	周期[s]	減衰定数
0s から 3s	3.74	0.183
3s から 7.5s	3.64	0.651



区間	周期[s]	減衰定数
0s から 2.5s	3.74	0.184
2.5s から 5s	4.21	0.349
5s から 7.5s	1.86	0.72

図 7 波形を分割して推定した変位波形とパラメータ