

免震装置の鉛直剛性低下を考慮した免震建築物の上下応答特性

1. はじめに

免震建築物は、1995年兵庫県南部地震以降にその有用性が広く認知され、中低層建物を中心に普及した。現在では、中低層建物だけでなく、高層建物など、様々な規模の免震建築物が存在する。一般的には、積層ゴムの鉛直剛性は引張と圧縮で異なる2直線で評価している。しかしながら、積層ゴムの鉛直剛性は、水平変形に依存することが知られており¹⁾、現在の設計において、その影響を考慮していないのが現状である。今後想定される巨大地震においては、免震層の水平変形が増大し、鉛直剛性が低下することが考えられる。

また、上下地震動による検討において、平成12年建設省告示第2009号第6²⁾では、免震装置の鉛直震度が0.3時の圧縮応力度が免震装置の材料強度を超えないこと、また-0.3時の圧縮応力度が0未満にならないように確認することが示されており、静的震度として検討することが規定されている³⁾。

そこで本研究では、免震装置の鉛直剛性低下を考慮した免震建築物の時刻歴応答解析を実施し、上下応答特性を把握することを目的とする。

2. 解析モデル

解析モデルは、最下層に免震層を設けた質点系モデルとし、3つのケースを設定する(以下、case1、case2、case3とする)。表1に建物諸元を示す。上部構造のみの弾性一次固有周期は、それぞれ1.6(s)、0.8(s)、0.4(s)とし、上部構造の水平剛性は、逆三角形分布であると仮定する。上部構造の鉛直剛性は、水平剛性の100倍とした。

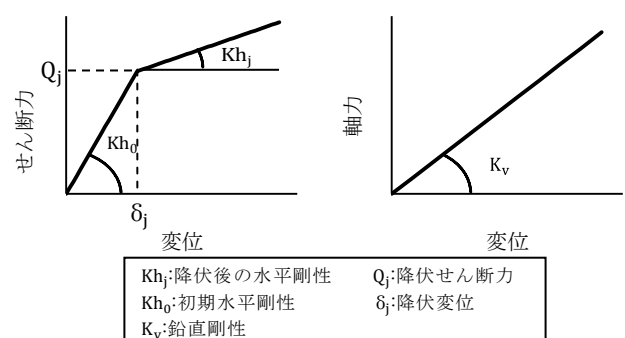
免震層の水平方向の復元力特性は、図1(a)に示す修正バイリニア型とする。免震層の固有周期は、上部構造を剛体とした1質点系の固有周期として定義し、それぞれ5(s)、5(s)、4(s)、降伏せん断力係数($Q_j/\sum W_i$)をそれぞれ0.04、0.05、0.05として、降伏後の水平剛性 Kh_j を算出する(ただし、 $\sum W_i$ は免震層より上部の総重量)⁴⁾。

初期水平剛性 Kh_0 は降伏後の水平剛性 Kh_j の13倍として算出する。減衰について、水平方向では上部構造を剛性比例型とし減衰定数を1%、免震層は0%とした。

鉛直方向の復元力特性は、図1(b)に示す線形とする。免震層の鉛直剛性 K_v は初期水平剛性 Kh_0 の310倍として与え、100%、80%、60%、50%、40%と低下させる。また、鉛直方向では上部構造をモード一定型とし減衰定数を1%、免震層は0%とした。

表1 建物諸元

| | case1 | case2 | case3 |
|------------|-----------------------|---------------------|---------|
| 用途 | 倉庫・工場 | 病院 | 庁舎 |
| 構造種別 | S造 | RC造 | |
| 平面規模 | 100m×50m | 60m×60m | 40m×80m |
| 階数 | 4階+免震層 | 10階+免震層 | 6階+免震層 |
| 階高(建物部分) | 7m | 3.5m | |
| 階高(免震層) | 2.5m | | |
| 単位面積当たりの重量 | 12.5kN/m ² | 15kN/m ² | |



(a) 水平方向 (b) 鉛直方向

図1 免震層の復元力特性

入力地震波は、1968年十勝沖地震の位相を用いた上下動告示波(以下、K-HACHIとする)、1995年兵庫県南部地震の位相を用いた上下動告示波(以下、K-KOBEとする)、乱數位相を用いた上下動告示波(以下、K-RANSとする)の3告示地震波と1940年El Centro地震の上下動(以下、El Centroとする)、1952年Taft地震の上下動(以下、Taftとする)、1968年十勝沖地震の上下動(以下、Hachinoheとする)、1995年兵庫県南部地震の上下動(以下、Kobeとする)の4観測地震波を本モデルに入力する。ただし、観測波は水平地震動の最大速度振幅を50(cm/s)に基準化した上下動を入力する。

数値解析にはNewmark- β 法($\beta=1/4$)を用い、時間刻みは0.0001秒とした。

3. 解析結果

3.1 免震装置の鉛直剛性の低下と加速度増幅の関係

免震装置の鉛直剛性を低下させたときの、各ケースにおける免震層の加速度増幅 α を図2(a)~(c)に示す。加速度増幅 α については、免震層の最大応答加速度 $|a_{max}|$ を最大入力加速度 $|a_{0max}|$ で除した(1)式で評価する。

$$\alpha = \frac{|a_{max}|}{|a_{0max}|} \quad (1)$$

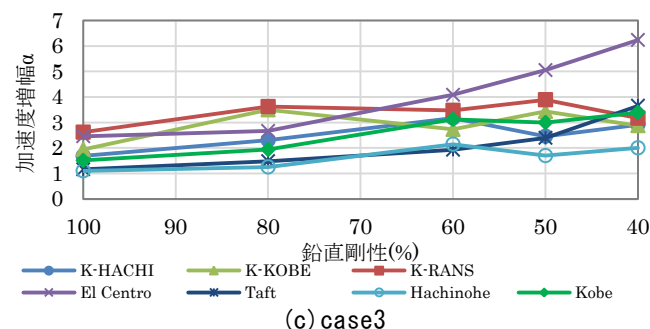
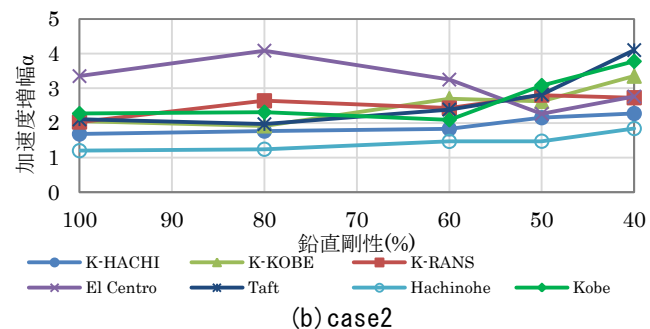
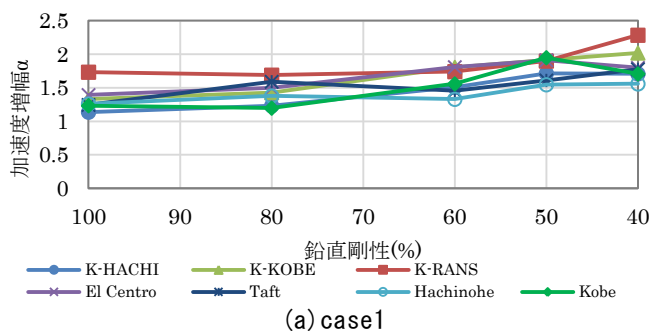


図2 免震層の加速度増幅

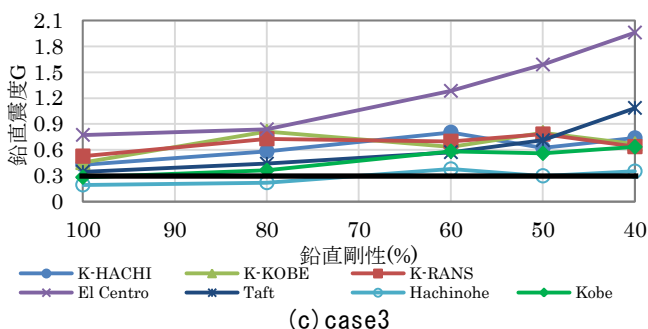
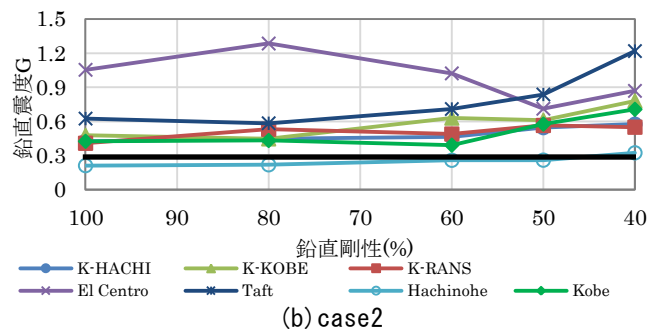
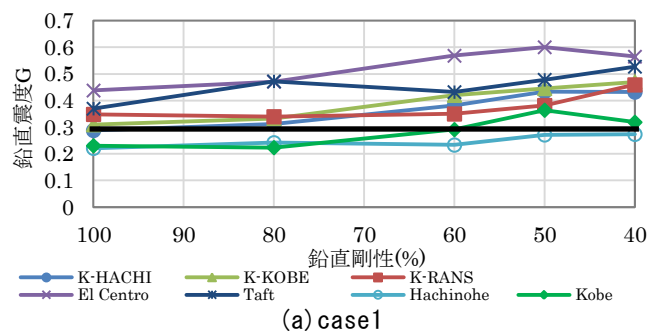


図3 免震層の鉛直震度

図2より、本モデルでは、免震装置の鉛直剛性を低下させると、ほとんどの地震波で加速度増幅は増加する結果となった。

3.2 免震装置の鉛直剛性の低下と鉛直震度の関係

免震装置の鉛直剛性を低下させたときの、各ケースにおける免震層の鉛直震度 G を図3(a)~(c)に示す。鉛直震度 G については、免震層の最大応答加速度 $|a_{max}|$ を重力加速度 g (9.8m/s^2) で除した(2)式を用いて評価する⁵⁾。

$$G = \frac{|a_{max}|}{g} \quad (2)$$

図3より、本モデルでは、免震装置の鉛直剛性を低下させると、ほとんどの地震波で鉛直震度が増加する結果となった。基準となる鉛直震度 0.3 を下回ったのは、鉛直剛性を低下させていない場合(100%時)、case1 では K-HACHI、Hachinohe、Kobe、case2 では Hachinohe、case3 では Hachinohe、Kobe となった。全てのケースにおいて鉛直震度 0.3 を下回ったのは Hachinohe のみであった。これら3地震波以外では鉛直剛性を低下させていない場合、鉛直震度が 0.3 を上回る結果となった。

また、免震装置の鉛直剛性を低下させると、さらに鉛直震度は 0.3 を上回る結果となった。

4. まとめ

本研究では、免震装置の鉛直剛性低下を考慮した免震建築物の時刻歴応答解析を行い、上下応答特性を把握した。その結果、本モデルでは、免震装置の鉛直剛性を低下させると加速度増幅と鉛直震度ともに増加することが分かった。また、鉛直剛性 100%の時でも基準とした鉛直震度 0.3 をほとんどの地震波で上回り、鉛直剛性を低下させるとさらに鉛直震度は増加することが分かった。地震が発生する際、水平動(NS、EW方向)と上下動は同時に発生するため、水平動と上下動を同時に入力した場合の鉛直震度の評価が、今後の課題であると考えられる。

参考文献

- 瓜生満、西川孝夫：免震用積層ゴム、変形及び限界特性に関する研究(せん断変形下における水平及び鉛直方向特性について)、日本建築学会構造系論文集、第479号 pp.119-128, 1996
- 平成12年建設省告示第2009号
- 泉洋輔：建物と地盤の動的相互作用を考慮した免震建物の地震時上下動応答、呉工業高等専門学校研究報告、第73号, 2011
- 白山敦子、山下忠道、井上豊：地盤と動的相互作用が中間層免震構造物の地震時挙動に及ぼす影響、構造工学論文集、日本建築学会、Vol.51B pp.247-254, 2005
- 柴田昭徳著：最新耐震構造解析第3版、森北出版、p.297

(白山研究室)