

免震建物における上部構造塑性化の傾向  
免震・耐震構造及び変形エネルギー一定則の比較

Tendency of Plasticity on Superstructure of Base isolated building

Comparison of Deformation Energy Conservation Rule between Earthquake resistant building and Base isolated building

○増澤拓也<sup>3</sup>, 古橋剛<sup>1</sup>, 野村大輔<sup>2</sup>

\*Takuya Masuzawa<sup>3</sup>, Takeshi Furuhashi<sup>1</sup>, Daisuke Nomura<sup>2</sup>

This paper shows tendency of plasticity on superstructures of base isolated buildings. In this study, we make level2 ground motion waveforms criterions to analyze and compare of deformation-energy-conservation-rule between base isolated models and earthquake-resistant models. And we consider results of comparisons in eigenvalues.

1. はじめに

免震建物の上部構造は極めて稀な(以下レベル 2)地震動に対して短期許容応力度以内、または弾性限以内で設計されるのが一般的である。この基準に対し、経済性の理由から弾性限界付近での設計がなされることがある。そのため、設計想定以上の地震動入力の際に、上部構造が塑性化することは十分に考えられる。構造体の塑性化については、耐震構造の保有耐力設計では、変形エネルギー一定則が仮定され塑性後の挙動が考慮されているが、免震上部構造は塑性後の挙動が考慮されていない。

そこで本研究では、免震上部構造の塑性後の挙動を把握することを目的とし、変形エネルギー一定則を基準とした塑性率の観点で耐震構造と比較し検討を行う。

2. 検討モデル

免震モデルを Figure1a)、耐震モデルを Figure1b)に示す。免震・耐震モデルの上部構造は固有周期 0.5[s], 1.0[s], 1.5[s], 2.0[s]の 4 つのモデルを用いる。上部構造は弾性限変形を除く諸元を同一とし、減衰は剛性比例型で 1%付与、2次剛性は初期剛性の 1/100 とする。弾性限変形は 4 節の検討方法で設定する。免震層諸元は塑性周期 4[s], 初期剛性は 2次剛性の 10 倍とし、降伏せん断力は建物重量の 3%とする。なお免震層の粘性減衰はないものとする。各諸元を Table1 に示す。

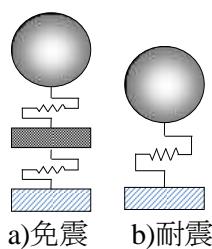


Figure 1 Model

Table 1 Model parameter  
a)免震・耐震モデル上部構造

固有周期 [s]	質量 [ton]	減衰係数 [kN·s/m]	初期剛性 [kN/m]
0.5	500	125.66	78956.84
1.0		62.83	19739.21
1.5		41.89	8772.98
2.0		31.42	4934.80

b)免震層

塑性周期 [s]	質量 [ton]	減衰係数 [kN·s/m]	初期剛性 [kN/m]
4.0	100	0	14804.41

3. 入力地震動

入力地震動は、El Centro 1940 NS, Hachinohe 1968 NS, TAFT 1952 EW, JMA KOBE 1995 NS, BCJ-L2 及び柏崎で 2007 年に観測された新潟県中越沖地震の K-NET 波形(以下 Kashiwazaki 2007 NS)の 6 波を用いる。Figure2 に各地震動の応答スペクトルを示す。本研究では 2 節検討モデルで設定した免震モデルに対して上部構造を弾性と仮定し地震動を入力した際、免震層変位が 40cm となるように倍率を基準化する。これは、各地震動をレベル 2 と同程度の規模に基準化することを目的としている。基準化した倍率を Table2 に示す。

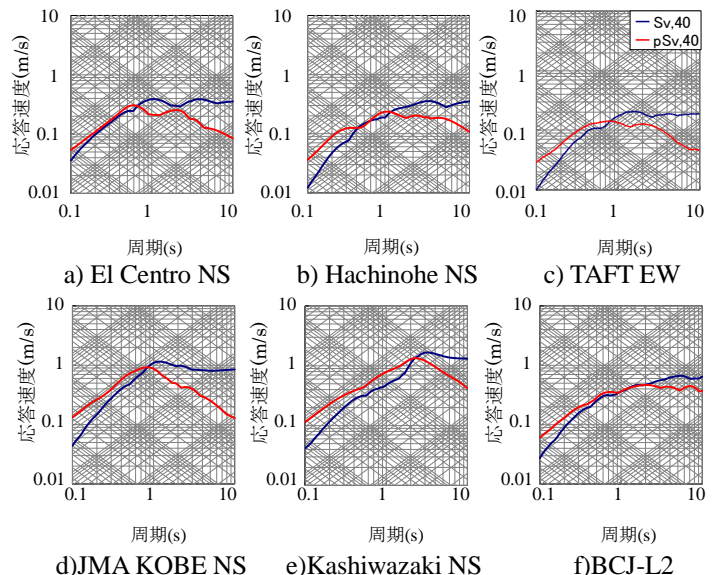


Figure 2 Response Spectra

Table 2 Magnifications of ground motion waveforms

地震動倍率	固有周期[s]			
	0.5	1.0	1.5	2.0
El Centro NS	2.14	2.45	2.80	3.05
Hachinohe NS	2.19	2.28	2.32	2.66
JMA KOBE NS	1.57	1.64	1.86	1.60
TAFT EW	5.20	5.45	5.55	5.73
Kashiwazaki NS	0.40	0.43	0.48	0.62
BCJ-L2	1.07	1.10	1.12	1.19

#### 4. 検討方法

想定以上の地震動入力時の免震・耐震上部構造の塑性後の応答を以下の 3 つの手順により検討する。

- ①前節で設定したレベル 2 規模の基準化地震動を入力し免震・耐震モデルの上部構造塑性率が 1 となる様に弾性限界変形を設定する。設定した結果を Table3 に示す。
- ②設定したモデルに対して基準化地震動の 1 倍～2 倍の入力を 0.1 倍刻みで加え、塑性率の変動を確認する。
- ③変形エネルギー一定則により求まる地震動倍率と塑性率の関係を表す曲線に対し、下側の領域を安全側、上側の領域を危険側とし、解析結果を比較する。

Table 3 Elastic limit deformation

弾性限界変形[m]	免震モデル 固有周期[s]				耐震モデル 固有周期[s]			
	0.5	1.0	1.5	2.0	0.5	1.0	1.5	2.0
El Centro NS	0.009	0.043	0.100	0.140	0.145	0.450	0.410	0.810
Hachinohe NS	0.009	0.036	0.078	0.156	0.060	0.390	0.155	0.850
JMA KOBE NS	0.010	0.048	0.115	0.175	0.300	0.730	1.190	0.730
TAFT EW	0.010	0.040	0.095	0.141	0.157	0.320	0.570	0.650
Kashiwazaki NS	0.009	0.038	0.074	0.166	0.043	0.170	0.290	0.960
BCJ-L2	0.009	0.042	0.088	0.170	0.160	0.260	0.500	0.680

#### 5. 解析結果

耐震・免震モデルの解析結果及び変形エネルギー一定則の地震動倍率と塑性率の関係を Figure3 に示す。

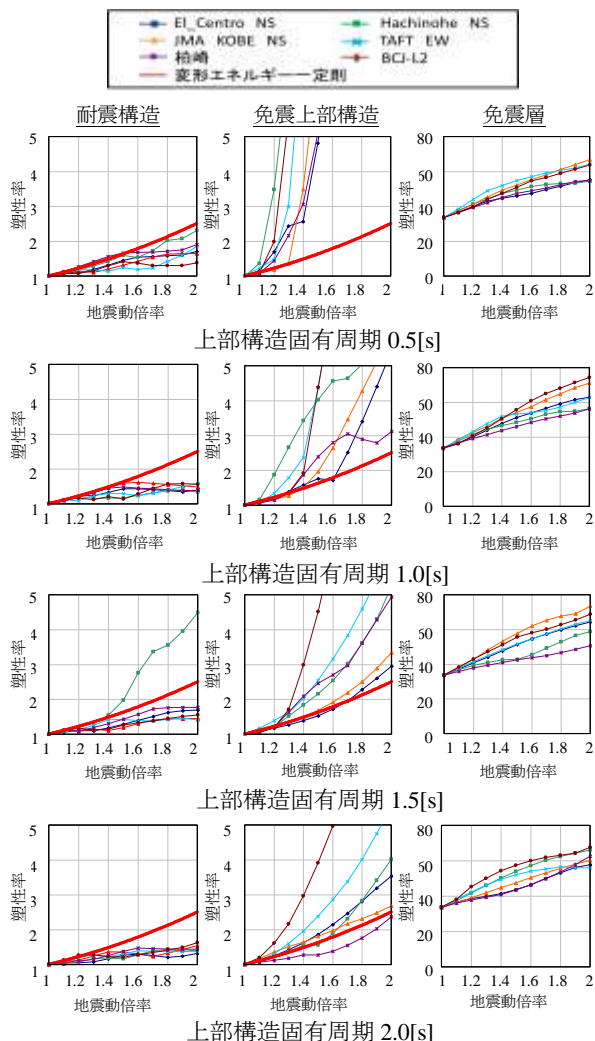


Figure 3 Relations between magnifications of ground motion waveforms and plasticity rates

Figure3 より、全ての固有周期で耐震モデルは概ね安全側、免震モデル上部構造は、概ね危険側の応答を示した。また、耐震・免震モデル共に上部構造の固有周期が短いほど塑性化の進行が速い結果となった。

現行の耐震基準では、耐震構造の RC 造はレベル 2 地震動の 0.3 倍程度の入力で降伏を許容している。ここで、レベル 2 地震動の 0.3 倍入力で塑性化を始めるモデルを、塑性化の傾向が顕著な Figure3 の上部構造固有周期 0.5[s]を用いて設定し検討する。検討方法は 4 節と同様である。解析結果を Figure4 に示す。

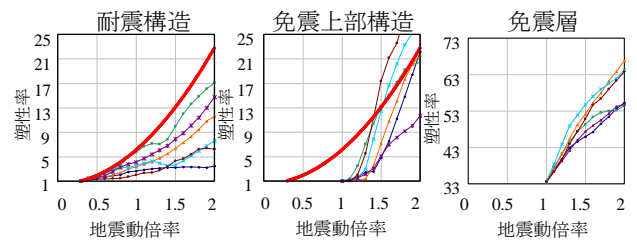


Figure 4 Relations between magnifications of ground motion waveforms and plasticity rates

Figure4 においても免震モデルの塑性化の進行が速く、ほぼ全ての地震動において地震動倍率 1.5 倍付近で応答塑性率が耐震モデルよりも大きくなった。

次に、免震構造の BCJ-L2 基準化地震動の 1 倍、2 倍入力の刺激関数図と、免震・耐震上部構造の周期と減衰の関係の推移を Figure5, 6 に示し固有値から考察する。

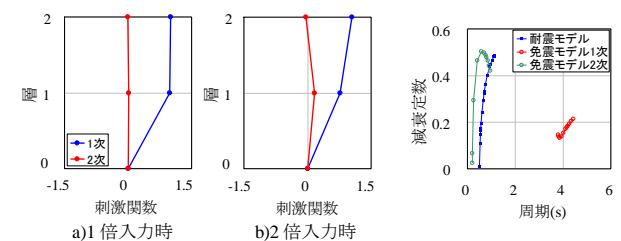


Figure 5 Participation function of base isolated building

Figure5 より 1 次の刺激関数は免震層が減少し上部構造が増加している。また、Figure6 より減衰定数は耐震構造で約 50%と大きく増加している一方で、免震モデル 1 次はあまり増加していない。以上のことから、免震上部構造の塑性化の進行が速くなったと言える。

#### 6. まとめ

免震建物においては、上部構造が塑性化を始めると耐震構造と比較して塑性化の進行が速い。また、両構造の降伏点の違いを考慮してもレベル 2 地震動の 1.5 倍程度の入力から応答塑性率が大きくなる。以上から、免震の上部構造の塑性化は好ましくなく、レベル 2 地震動に対して余裕を持った設計を行う必要がある。

#### 【参考文献】

- 1)石丸辰治:応答性能に基づく「対震設計」入門,彰国社,2004