

## 免震建築物に関する研究開発（その4）

—免震装置の解析モデルの違いが免震建築物全体に及ぼす影響について—

磯 貝 哲 也      三 藤 正 明

### 要 旨

本報告では、免震装置の解析モデルの違いが免震装置および免震建築物全体に及ぼす影響に関する地震応答解析について説明する。上部構造は弾性とし、免震装置の復元力特性は3種類の異ったモデルを採用した。最大応答値に関しては、免震装置の実験より得られた修正Bi-Linearと通常のBi-Linear、又は等価線形は良好な応答関係にあることがわかった。

### 1. まえがき

免震建築物の地震時の挙動予測には、一般的に時刻歴応答解析が用いられる。免震装置の解析モデルは実験結果から得られた修正Bi-linearが通常用いられる。ところが、修正Bi-linearでは時間さざみごとに運動方程式を解くため計算時間がかかることが予想される。従って、3次元問題を繰り返し解析する場合、精度は多少悪くとも計算時間が短い方法が望まれる。本報告は、上部構造を弾性として免震装置の復元力特性を通常のBi-linear、ひずみの大きさによって履歴ループが違う修正Bi-linear、等価線形の3種類にモデル化したものを使用して上部構造および免震装置の応答値に及ぼす影響について検討する。

### 2. 解析概要

#### 2.1 予備応答解析

免震装置の復元力特性を等価線形およびBi-Linearにモデル化する場合はあらかじめ免震装置の最大応答変位を予測する必要がある。そこで、図-1に示すような上部構造を1質点系に置き換えた解析モデルを使用して予備応答解析を実施した。解析条件として免震装置の復元力特性を修正Bi-Linearとし、減衰は免震装置の履歴減衰のみ考慮した。入力地震動の種類はEL CENTRO 1940 NSとしその最大振幅を50cm/secとした。予備応答解析より得られた免震装置の各面圧における応答値を図-2に示す。この図より設計面圧60kgf/cm<sup>2</sup>とした時の免震装置の水平変形を予測すると約21cmとなる。

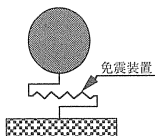


図-1 1質点系の解析モデル

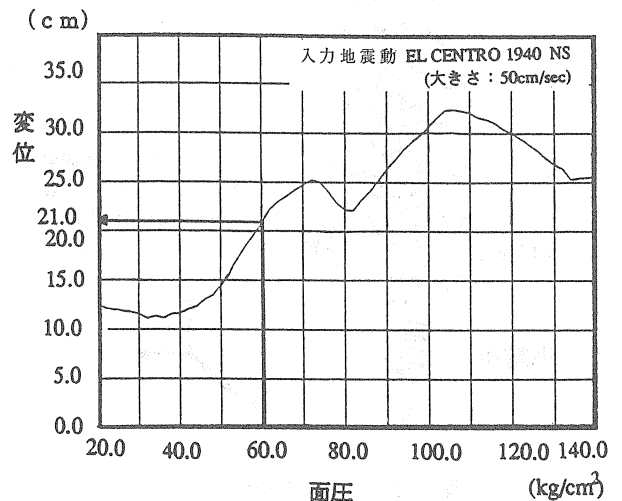


図-2 免震装置の最大応答変形  
(地震動の大きさ: 50cm/sec)

#### 2.2 解析概要

解析は那須技術研究所の免震棟<sup>1), 2)</sup>をモデル化して行われた。解析モデルは図-3に示すように、上部構造は弾性とし、各層は、X方向、Y方向および回転の3自由度を有しており、基礎はさらに鉛直ばねによるロッキングを含め5自由度とした。減衰は免震建築物全体で内部粘性系を仮定した初期剛性比例型とし、減衰定数は免震建築物全体の1次固有周期に対して2%とした。解析に用いる入力地震動はEL CENTRO 1940 NSの最大振幅を50cm/secに規準化し、入力方向は、Y方向のみとした。免震装置の復元力特性は表-1に示すように3種類に変化させ、免震装置および上部構造の影響について比較検討した。免震装置の最大応答せん断変形は2.1節の予備応答解析に

基づいて100%と仮定した。免震装置の復元力特性をBi-Linearにモデル化する時の各変曲点は、せん断ひずみ100%の修正Bi-Linearの履歴則（ブリヂストンの提唱のもの）により設定した。同様に、免震装置の復元力特性を等価線形にモデル化する場合にせん断ひずみ100%の等価剛性とその時の修正Bi-Linearの履歴則により求めた等価粘性減衰定数を算定し、解析時に内部粘性減衰として評価した。

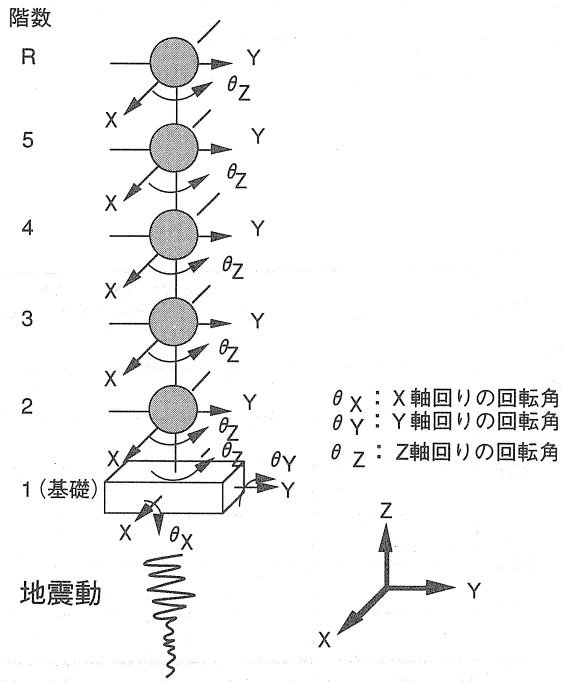


図-3 解析モデル

表-1 解析の組み合わせ

復元力 ケース	上部構造の復元力	免震装置の復元力
ケース1	弾性	修正 Bi-Linear
ケース2	弾性	Bi-Linear
ケース3	弾性	等価線形

3. 解析結果

3.1 固有値解析結果

上部構造のみの固有周期を表-2に示す。各ケース毎の固有周期を表-3に示す。なお免震装置の初期剛性を修正Bi-Linearとする時の固有値解析に使用する剛性は免震装置のせん断ひずみ10%時の等価剛性として算出した。固有周期は免震装置のモデル化によってかなり違いがでている。

表-2 上部構造の固有周期 (秒)

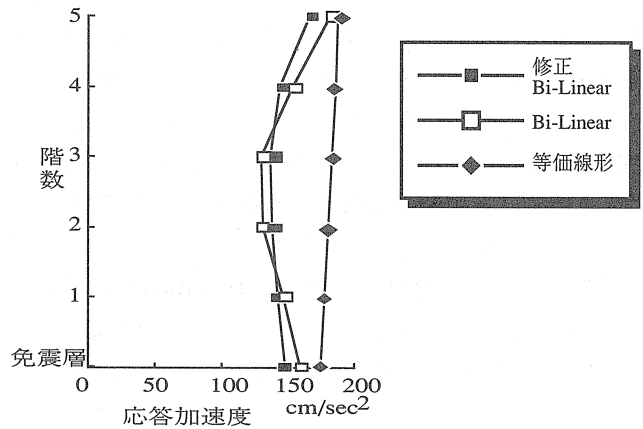
項目 \ 次数	1次	2次	3次
固有周期	0.596	0.522	0.208

表-3 各ケース毎の建築物全体の固有周期 (秒)

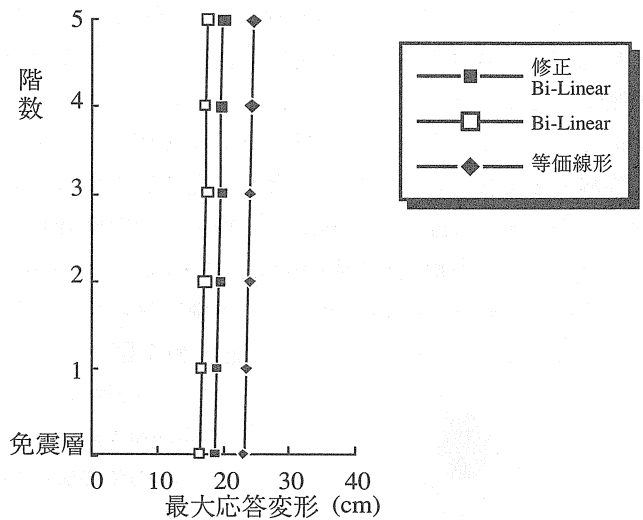
固有周期 ケース	1次	2次	3次
ケース1	1.57	1.55	1.29
ケース2	1.31	1.28	1.07
ケース3	2.42	1.99	0.38

3.2 応答解析結果

最大応答値を図-4、免震層の時刻歴応答加速度を図-5、ケース1およびケース2の免震装置の履歴ループを図-6に、入力エネルギーを図-7に示す。

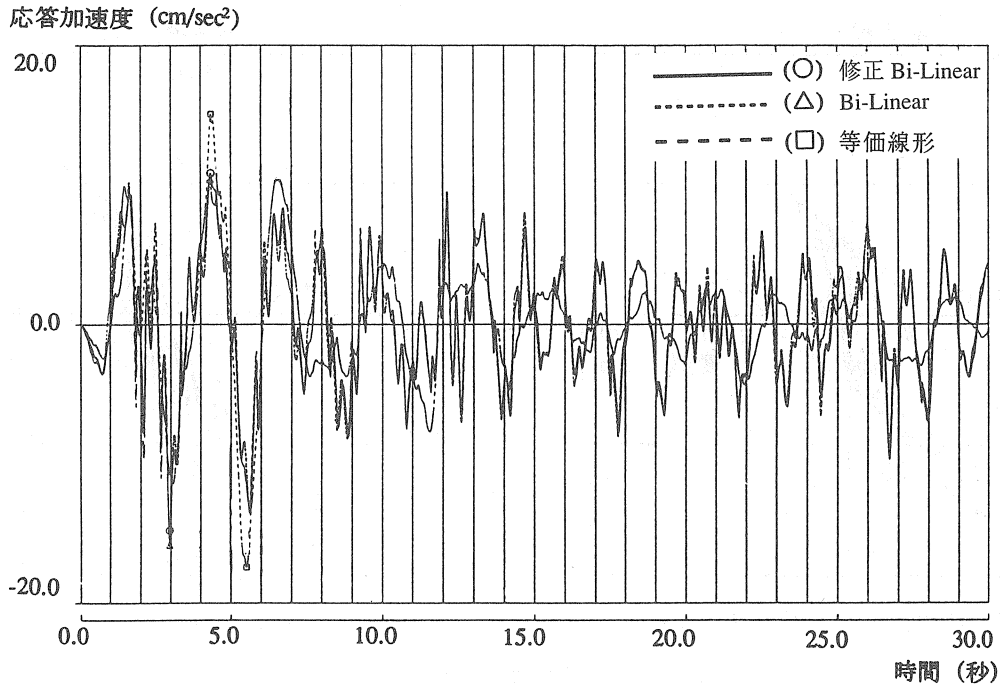


(a)最大応答加速度

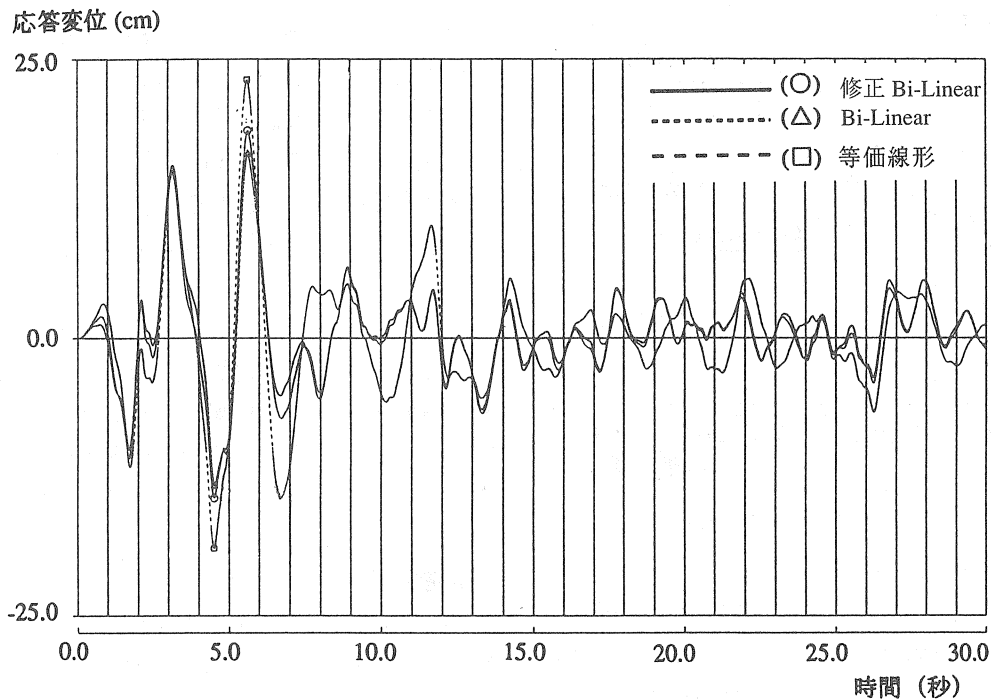


(b)最大応答変位

図-4 最大応答値



(a) 加速度応答波形 (地震動の大きさ50cm/sec)



(b) 変位応答波形 (地震動の大きさ50cm/sec)

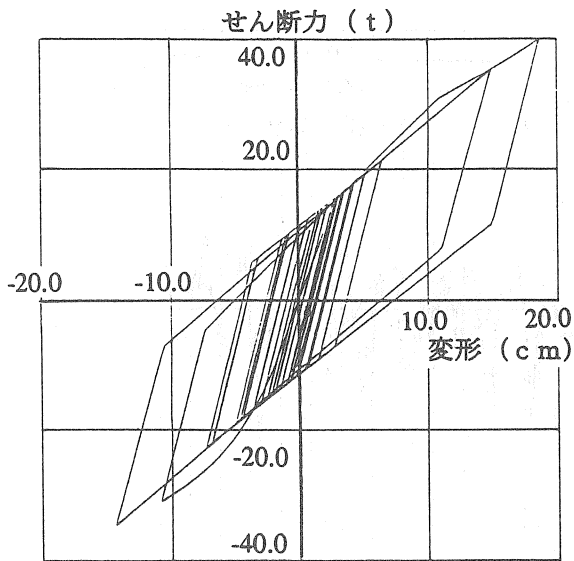
図-5 免震装置の応答時刻歴波形

結果として以下のことが得られた。

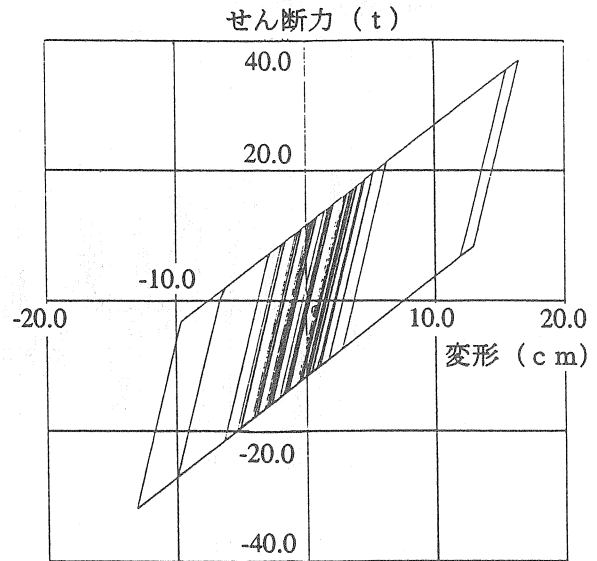
①図-4より応答加速度はケース1とケース2は良い対応関係にある。一方、ケース3は他の2ケースに比べて大き目の値を示しているが、設計的には概ね満足する結果が得られているものと判断される。応答変位も同様の傾向が見られる。

②図-5より最大値の発生時刻までの加速度および変位はケース1、ケース2、ケース3とも良く対応しているが、最大値発生以後の履歴はケース1、ケース2とが良く対応しているのに比べ、ケース3は、やや異っている。

③図-6より免震装置の履歴ループの形状は修正Bi-Linear、Bi-Linearともよく似ている。



(a) 免震装置の履歴ループ (修正 Bi-Linear)



(b) 免震装置の履歴ループ (Bi-Linear)

図-6 免震装置の履歴特性

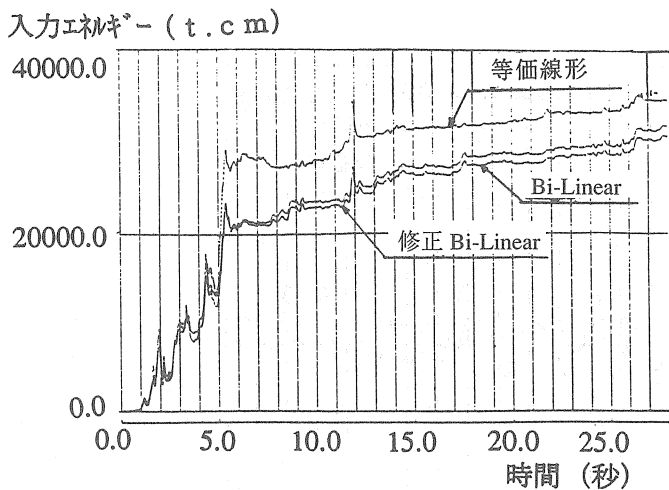


図-7 入力エネルギーの時刻歴

④図-7よりケース1、ケース2、ケース3とも履歴形状は良く似ているものの全体の入力エネルギーはケース3がもっとも大きくなっている。特に継続時間5秒以降に差を生じているものの終了時の入力エネルギー量から判断すれば大差のない結果となった。また、ケース1、ケース2は最大入力エネルギー発生時点までも良く対応していた。

#### 4. まとめ

免震装置の復元力特性の違いが免震装置および免震建築物全体の応答値におよぼす影響について検討した。その結果、以下の事が解った。

- ①免震装置の最大値のみを求めるのであれば、免震装置のモデル化を等価線形、修正Bi-Linear、Bi-Linear何れにしても大差ない結果が得られる。
- ②免震装置の最大値をあらかじめ予想し、その点における復元力特性を修正Bi-linear型の履歴則に従いBi-linearのモデル化を行えば免震装置および建築物全体の最大値を良く再現し、免震装置については、時刻歴とも良く再現している。

今後は、種々の実地震動を用い、その最大値を変化させた解析を行い、立体解析による応答値とここで用いた簡略モデルによる応答値の違い等を検討して行く予定である。

#### 参考文献

- 1) 磯貝哲也、三藤正明、五十嵐信一、清水欽也、免震建築物に関する研究(その1)、免震建築物の設計および解析、五洋建設技術研究年報、VOL. 23、1993
- 2) 磯貝哲也、三藤正明、免震建築物に関する研究(その3)、免震棟、非免震棟の応答比較シミュレーション、五洋建設技術研究年報、VOL. 24、1994