

## I-4 耐震信頼性評価手法による S 構造物のリスク算定と免震時の解析

高知高専建設システム工学科 吉川 正昭

高知高専専攻科建設工学専攻 ○森本 洋史

### 1. はじめに

地震リスクマネジメントは建物が供用期間中に受ける地震被害を考慮して、予想被害額を地震リスクとして求める、すなわち地震リスクを定量的な情報として記述し、費用効率の高い対策を選定するための、支援ツールといえる。ここでは、地震リスクマネジメント SRM(Seismic Risk Management)<sup>1)</sup> について、既往の手法(信頼性理論)をまとめ、次いで、地震リスクマネジメント手法を用いて、対象地域を高知県、構造形式を S 構造とし、地上階数(3 階、8 階)と地盤特性(1 種地盤、3 種地盤)を変えて損失被害額を算出し、比較検討した。その結果、耐震構造より免震構造の方が優れていることが分かった。そこで、積層ゴム、鋼棒ダンパー、鉛ダンパーを用いた 8 階建免震 S 構造物の地震応答解析<sup>2)~3)</sup>を行い、検討を加えた。

### 2. 地震リスクマネジメントの方法

地震リスクマネジメントは、i)リスクの識別と分析を行い、損失の大きさと発生確率を評価する。

ii)リスクを低減する方策を検討し、リスク低減の未処理分に対して保有か転嫁か、それとも回避かの方針を立てる。iii)方策の実行。の 3 つの段階から構成される。

### 3. 解析条件

Table1 解析条件(対象地域・対象構造物・地盤特性・想定地震)

Table1 に示すように、対象地域を高知県、対象構造物を 3 階 S 造と 8 階 S 造の 2 種類とする。地盤は 1 種地盤と 3 種地盤の 2 種類とし、想定地震を来たるべき南海地震クラスとした。構造形式は現行基準に適合した耐震構造 A、現行基準より躯体耐力と剛性を 20%増した耐震構造 B、お免震構造の 3 タイプとした。また、構造物の耐用年数は 50 年とする。

| 対象地域  | 高知                                                               |                                                                                             |
|-------|------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|
| 対象構造物 | 構造形式：S 構造<br>地上階数：3 階/8 階<br>基準床面積：600 m <sup>2</sup>            | 述べ床面積：1800 m <sup>2</sup> 、2400 m <sup>2</sup><br>建物特性：各階の相対変形量は 1.0 とする<br>耐力情報：すべて標準値を用いる |
| 地盤特性  | 1 種(堅固)地盤と 3 種(軟弱)地盤について比較                                       |                                                                                             |
| 想定地震  | 過去の地震レベル：兵庫県南部地震クラス (M=7.2,R=0.6Km)<br>想定地震：南海地震 (M=8.4,R=100km) |                                                                                             |

### 4. 解析結果

解析結果として、初期建設費と地震リスク、およびライフサイクルコスト、そして想定地震(M=8.4・R=100km)での地震リスク評価についてまとめた。その結果を Table2 に示す。

Table2 解析結果(初期建設費・地震リスク・ライフサイクルコストおよび想定地震でのリスク) (億円)

| 検討ケース | 初期建設費 |      |      | 地震リスク |     |     | ライフサイクルコスト |     |    | 想定地震でのリスク  |      |     |      |     |    |
|-------|-------|------|------|-------|-----|-----|------------|-----|----|------------|------|-----|------|-----|----|
|       |       |      |      |       |     |     |            |     |    | 兵庫県南部地震クラス |      |     | 想定地震 |     |    |
|       | 耐 A   | 耐 B  | 免震   | 耐 A   | 耐 B | 免震  | 耐 A        | 耐 B | 免震 | 耐 A        | 耐 B  | 免震  | 耐 A  | 耐 B | 免震 |
| ケース 1 | 5.1   | 5.4  | 6.5  | 0.3   | 0.2 | 0.1 | 23         | 23  | 23 | 3.6        | 2.9  | 0.6 | 0.4  | 0.2 | 0  |
| ケース 2 | 6.1   | 6.4  | 6.5  | 1.1   | 0.6 | 0.1 | 24         | 24  | 23 | 6.1        | 4.9  | 1.3 | 1.5  | 0.7 | 0  |
| ケース 3 | 11.4  | 11.7 | 11.9 | 0.8   | 0.5 | 0.1 | 58         | 58  | 58 | 7.6        | 6.1  | 1.6 | 1.0  | 0.5 | 0  |
| ケース 4 | 11.4  | 11.7 | 11.9 | 1.8   | 0.9 | 0.1 | 59         | 59  | 58 | 13.9       | 10.4 | 3.2 | 2.3  | 0.9 | 0  |

耐 A：耐震構造 A 耐 B：耐震構造 B 免震：免震構造

### 5. 地震リスクマネジメントに対する考察

- 耐震構造が上がるほど初期投資は高くなるが、ライフサイクルコスト、地震リスクは小さくなる。
- 1 種地盤は 3 種地盤に比べ地震リスクが半減し、堅固な地盤の方が地震リスクは小さい。
- 建造物の規模が大きくなると、地震リスクやライフサイクルコストが大きくなる。
- 想定南海地震(海溝型地震)と兵庫県南部地震(直下型激震巨大地震)による地震リスクを、現行基準の耐震構造 A、耐力と剛性 20%増しの耐震構造 B、免震構造のそれぞれで比較すると、免震構造の地震リスクが想

定地震では0となり、耐震構造より優れている。

## 6. 免震を用いた地震応答解析

### 6.1 入力地震波

入力地震波は、2003年に発生した十勝沖地震のEW方向における観測地震波と、南海地震を想定して作成した模擬地震波を用いた。観測地震の地震波形とフーリエスペクトル、パワースペクトルを Fig.1、模擬地震の地震波形とフーリエスペクトル、パワースペクトルを Fig.2 に示す。

### 6.2 解析対象構造物

本解析での対象構造物は、免震の8階建S構造とし、免震装置(積層ゴム、鋼棒ダンパー、鉛ダンパー)を用いたモデルで解析を行った。解析に用いたモデル図を Fig.3 に示す。同図に、各階の高さ、質量を示す。

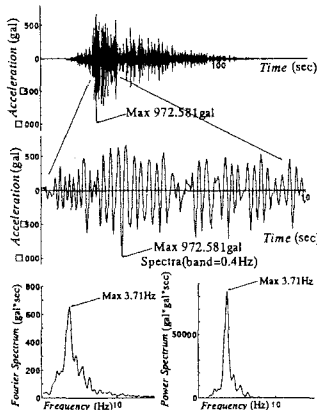


Fig.1 Observation Earthquake

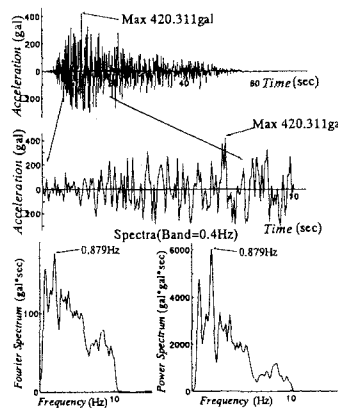


Fig.2 Simulation Earthquake

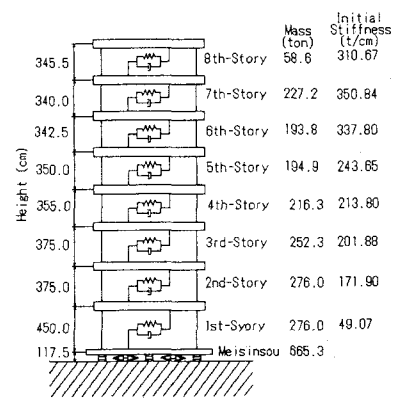


Fig.3 免震を用いたモデル図

### 6.3 解析方法

構造物に水平一方向の地震動が作用する場合の振動方程式は式(1)となる。

$$[M]\{\ddot{x}(t)\} + [C]\{\dot{x}(t)\} + [K]\{x(t)\} = -[M]\ddot{y}(t) \quad (1)$$

$[M]$ : 質量マトリックス  $[C]$ : 減衰マトリックス  $[K]$ : 剛性マトリックス

$\{x(t)\}$ : 地面に対する相対変位マトリックス  $\ddot{y}(t)$ : 地動加速度

$$[M] = \begin{bmatrix} m_8 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & m_7 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \cdots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \cdots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & m_1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & m_f \end{bmatrix} \quad \{x\} = \begin{bmatrix} x_8 \\ x_7 \\ \vdots \\ x_1 \\ x_f \end{bmatrix} \quad [K] = \begin{bmatrix} k_8 & -k_8 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -k_8 & k_8+k_7 & -k_7 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -k_7 & \cdots & \cdots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \cdots & \cdots & -k_2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -k_2 & k_2+k_1 & -k_1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -k_1 & k_1+k_f \end{bmatrix} \quad [C] = \begin{bmatrix} c_8 & -c_8 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -c_8 & c_8+c_7 & -c_7 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -c_7 & \cdots & \cdots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \cdots & \cdots & -c_2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -c_2 & c_2+c_1 & -c_1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -c_1 & c_1+c_f \end{bmatrix}$$

### 6.4 解析結果と考察

最大応答加速度は全層において模擬地震波を入力した場合の方が短周期地震動である観測地震波を入力した場合の約2～3倍となる。応答変位においても、観測地震波を入力した場合の最大変位が9.8cmであるのに対し模擬地震波を入力した場合の最大変位は95cmと約10倍と大きくなっている。このことから、免震構造物は、短周期地震動に対して効果があり、長周期成分が卓越しているゆっくりと揺れる地震動に対しては、逆に共振してよく揺れることが分かった。

## 7. 今後の課題

構造形式をRCとし、地震リスクの解析を行う。さらに、地震時の入力エネルギーや吸収エネルギーに関する問題や、地盤を考慮した場合の免震の地震応答解析に取り組みたい。

参考文献 1) 星谷 勝: 小特集 地震リスクマネジメント

2) 吉川正昭, 濱田英樹: 免震構造物の地震応答解析, 土木学会四国支部技術研究発表会講演概要集, pp.52～53, 2001.5.

3) 吉川正昭, 楠裕規: 免震系構造物の地震応答解析(その2), 土木学会四国支部技術研究発表会講演概要集, pp.3～4, 2003.5