

I-13 地盤を考慮した免震構造物の地震応答解析（その2）

高知工業高等専門学校 建設システム工学科 吉川 正昭
 (株)サン土木コンサルタント 坂井 陽, 高知高専 小松 卓

1. はじめに

地震応答を制御する装置を備えた構造の実現には、(1)地震のエネルギー伝達経路の遮断 (2)地震動の同期帯と構造物の固有周期をはなす (3)非線形性を与えて非定常非共振系とする (4)制御力を付加する (5)エネルギー吸収機械を利用するなどが考えられる。免震構造は (1)を行うため、地震が伝わる地盤面と構造物の間に積層ゴムなどを挟んで地盤と切り離す。免震構造物と非免震構造物を取り上げ、兵庫県南部地震時に観測された神戸海洋気象台の地震波（極大地震）を用いて、構造物の被害を低減できる免震技術、特に地盤の振動をモデル化に入れた場合について地震応答解析を行い、考察を加えたので報告する。

2. 解析条件

対象構造物は図-2.1に示す地盤考慮したときとしていないときの免震・非免震の6階建とし、免震（積層ゴムと鋼棒製ダンパーを併用し、積層ゴムの復元力とダンパーの履歴吸収エネルギーを図-2.2に示すように組み合わせる。）を用いる。対象地盤は、直接基礎を設置できる良好な地盤でSwayバネ定数(K_s)とRockingバネ定数(K_r)をそれぞれ $1.0 \times 10^4 \text{tf/cm}$ 、 $1.0 \times 10^8 \text{tf} \cdot \text{cm/rad}$ とした。6階建RC構造物は図-2.3に示すようにひびわれ、降伏点を考慮したトリリニアモデル（武田モデル）を有する非線形復元力特性とした。

3. 解析方法

構造物に水平1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。

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

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

$\{x(t)\}$:地面に対する相対マトリクス $\ddot{y}(t)$:入力地震波

$$[M] = \begin{bmatrix} m_0 & 0 & \cdots & 0 & 0 \\ 0 & m_1 & & 0 & m_1 h_1 \\ \vdots & & \ddots & & \vdots \\ 0 & 0 & & m_7 & m_7 h_7 \\ 0 & m_1 h_1 & \cdots & m_7 h_7 & I_0 + \sum m_i h_i^2 \end{bmatrix} \quad \{x\} = \begin{bmatrix} x_0 \\ x_1 \\ \vdots \\ x_7 \\ \theta \end{bmatrix} \quad [K] = \begin{bmatrix} K_n + K_w & K_n & \cdots & K_n & 0 \\ K_n & K_n & \cdots & K_n & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ K_n & K_n & \cdots & K_n & 0 \\ 0 & 0 & \cdots & 0 & K_r \end{bmatrix} \quad [C] = \begin{bmatrix} c_1 + c_f & -c_1 & & 0 & 0 \\ -c_1 & c_1 + c_2 & -c_2 & & 0 \\ & -c_2 & \ddots & \ddots & \\ 0 & & \ddots & c_6 + c_7 & -c_7 \\ 0 & 0 & & -c_7 & c_7 \end{bmatrix}$$

用いた入力地震波は図-4.1（後述）に示す神戸海洋気象台(NS)の観測記録波を用い、最大入力加速度を100galに基準化し、継続時間を15秒とした。

4. 解析結果と考察

地盤を完全に剛体（完全固定）と考えて、免震層を有する基礎と6階建の構造物の応答加速度波形を図-4.1(a)に示し、地盤を沖積地盤と考えてSwayとRockingバネで置き換えた免震層を有する基礎と構造物各階の応答加速度波形を同図(b)に示して比較する。入力波形の卓越周期が完全固定の場合約0.7秒に対して構造物が約2秒とゆっくり揺れ、最上階は100galの入力に対し約97galと小さくなっていることがわかる。他の階も同様に免震層を介して同位相で揺れ、免震効果が良いことがわかる。一方、地盤を考慮する免震層より上にあがるにつれ応答値は小さくなるが、4階あたりから応答値が増幅し、最上階では133galと約1.3倍になる。Rocking挙動による影響がでてくると考えられる。

入力と吸収のエネルギーの応答特性結果を図-4.2に示す。同図は地盤考慮していない場合の慣性エネルギー(①)、減衰エネルギー(②)、鋼棒ダンパーの吸収エネルギー、積層ゴムの履歴エネルギー(③)、吸収エネルギー(①+②+③)、入力エネルギー(④)の各部分の最大値を示す。他の構造物に比べ免震層でエネルギーの吸収が行われていることがわかる。同図に併記した(●■◆▲▼×)は地盤考慮した場合の各エネルギーの時刻歴を示す。同図のEPS(⑤)は入力エネルギーから吸収消費されたエネルギー(①+②+③)を引いた値を

示している。Sway、Rocking運動により $0.11\text{f}\cdot\text{cm}$ 、 $0.1\times 10^{-5}\text{f}\cdot\text{cm}$ の吸収エネルギーがあるが省略した。

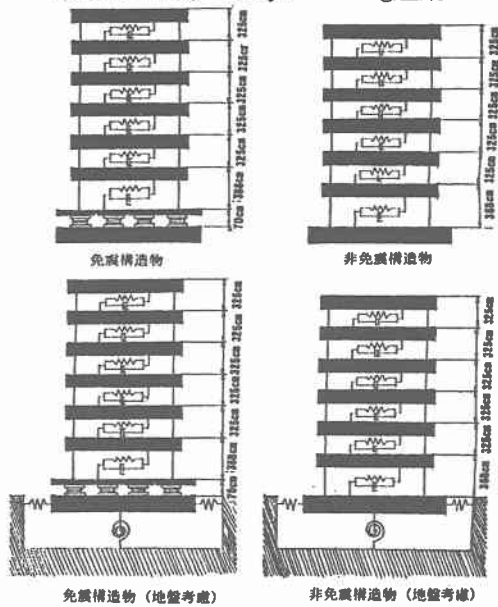


図-2.1 対象モデル

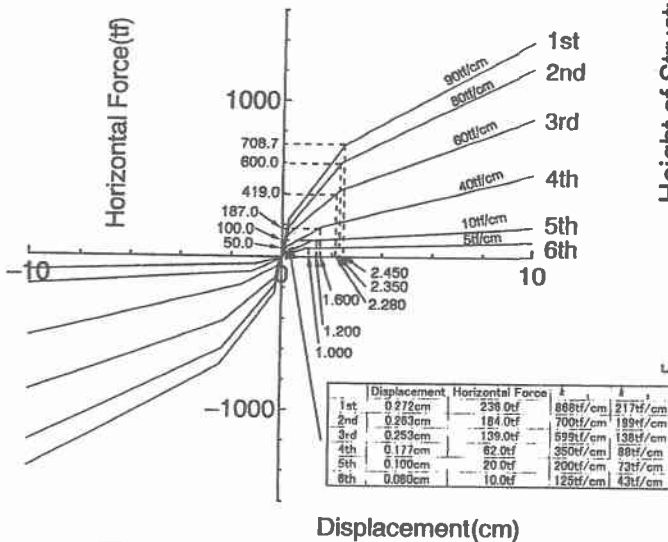
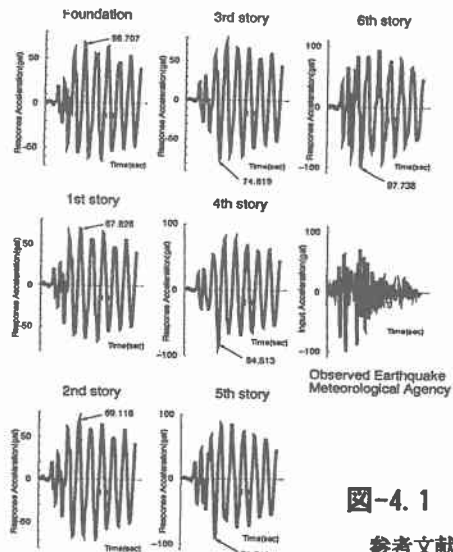


図-2.3 構造物の非線形復元力特性



(a) 地盤剛体

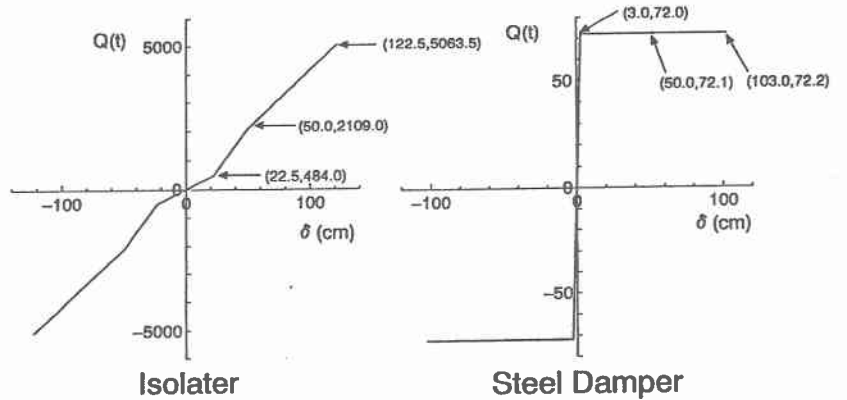


図-2.2 積層ゴムの復元力とダンパーの履歴吸収エネルギー

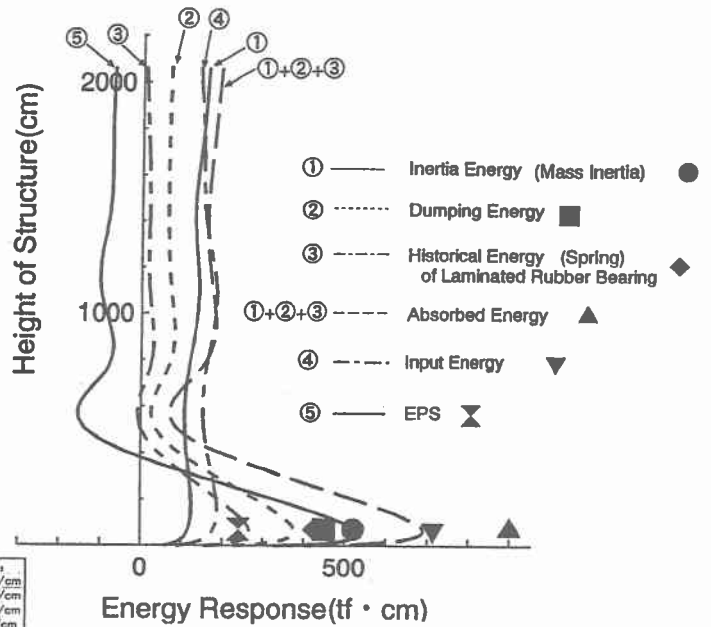
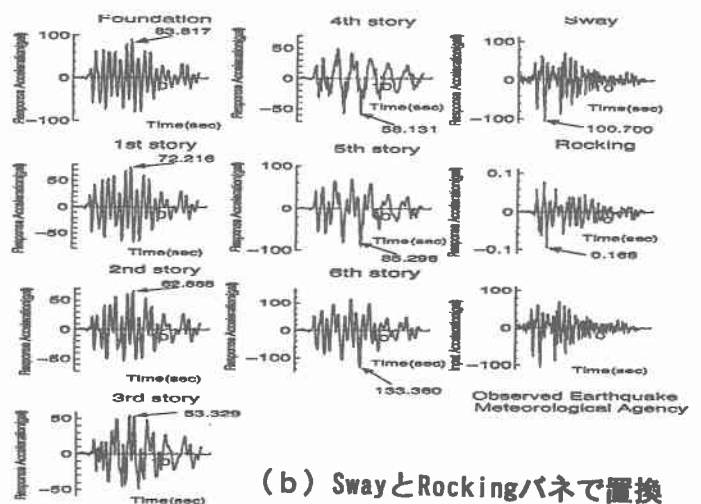


図-4.2 入力と吸収エネルギー



(b) SwayとRockingバネで置換

図-4.1 応答加速度の時刻歴波形

参考文献

- 1) 吉川正昭, 梶平健一: 積層ゴムを用いた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, 1998.5.
- 2) Masaaki YOSIKAWA et al.: Active Control of Seismic Response of Structure by Mass Diver System, 1st World Conference on Structural Control, PP.FP1-33~FP1-44, 1994.8.