

免震性能の評価基準に関する研究

Study of Evaluation Criteria for Seismic Isolation Performance

嶋崎 守 (産技高専)

Mamoru SHIMAZAKI, Tokyo Metropolitan College of Industrial Technology
1-10-40, Higashi-oi, Shinagawa-ku, Tokyo 140-0011

1. はじめに

地震大国の日本では、地震による大きな被害を減らそうと様々な技術が発展してきている。しかし、1995年に発生した阪神・淡路大震災の死者数は6,000人以上、また2011年に発生した東日本大震災のそれは16,000人以上となった。地震によるその他の被害も多い。現在では、地震による被害を低減する免震構造が多くの建物等に採用されるようになった。従来から、免震構造における性能は、入力地震動の最大加速度と上部構造の応答加速度の最大値の比率で評価されるが、同じ免震構造であっても入力地震動によってその比率は異なるため、評価基準としてわかりにくい。そこで本研究では、免震構造の性能評価における新しい基準について提案する。

2. 免震性能の解析モデル

本研究で用いた免震構造の解析モデルを図1に示す。ここで m は上部構造の質量、 k は免震装置のばね定数、 c は付加減衰装置の粘性減衰係数、 x は上部構造と基礎との相対変位、 z は地震動の変位である。解析モデルから運動方程式は式(1)のようになる。

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = -m\ddot{z} \quad (1)$$

式(1)を固有円振動数 ω と減衰比 ζ を用いて書き換えると次式のようになる。

$$\ddot{x} + 2\zeta\omega\dot{x} + \omega^2x = -\ddot{z} \quad (2)$$

式(2)から、状態方程式は式(3)のようになる。

$$\begin{Bmatrix} \dot{x} \\ \dot{\dot{x}} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -\omega^2 & -2\zeta\omega \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} x \\ \dot{x} \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} 0 \\ -1 \end{Bmatrix} \ddot{z} \quad (3)$$

解析出力を地震動の加速度、上部構造の絶対加速度および基礎との相対変位とすると、出力方程式は式(4)のようになる。

$$\begin{Bmatrix} \ddot{z} \\ \ddot{x} + \ddot{z} \\ x \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ -\omega^2 & -2\zeta\omega \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} x \\ \dot{x} \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix} \ddot{z} \quad (4)$$

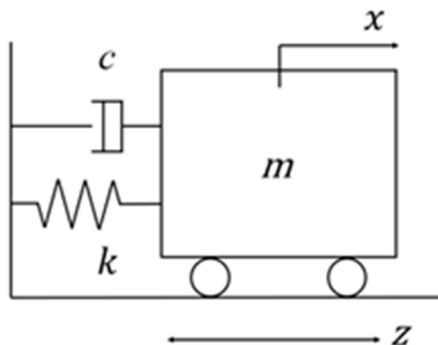
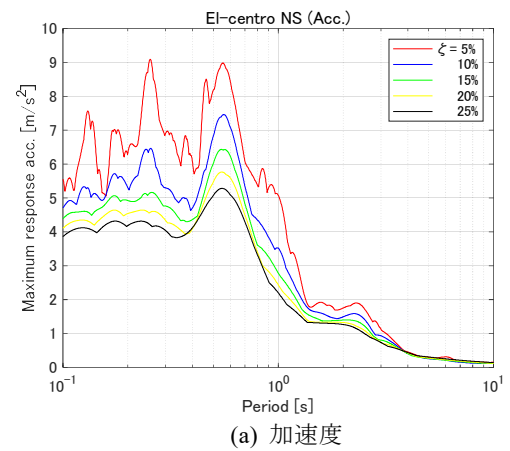


図1 解析モデル

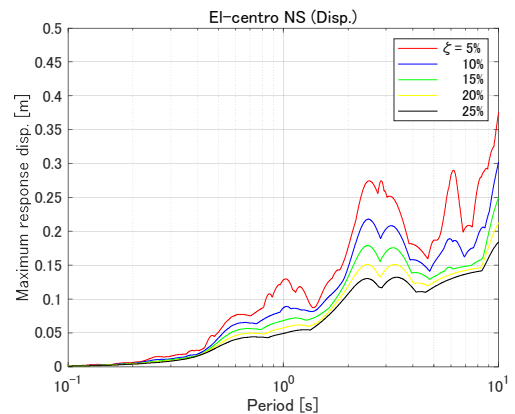
3. 予備解析

予備解析にあたって、まず、免震構造に適した現実的な固有振動数 $f (= \omega/2\pi)$ と減衰比 ζ を、応答スペクトルから決定する。ただし、入力地震動にはエルセントロ NS, JMA 神戸 NS, 八戸 EW の3つの地震波を用いた。

図2にエルセントロ NS の加速度応答スペクトルと変位応答スペクトルを示す。固有周期 $T (=1/f)$ が長いほど応答加速度は小さくなり、逆に応答変位は大きくなる傾向にある。また、固有周期 T が短いほど応答加速度は大きくなり、逆に応答変位は小さくなる傾向にあることがわかる。一方、減衰比 ζ が大きいほど応答加速度と応答変位が小さくなり、逆に減衰比 ζ が小さいほどそれらは大きくなる傾向にある。これらの傾向は他の入力地震動についても同様となった。以上から、現実的に実現可能なパラメータとして、固有振動数を $f=0.5\text{Hz}$ 、減衰比を $\zeta=20\%$ と決定し、免震性能の解析を行った。図3にその結果を示す。エルセントロ NS と JMA 神戸 NS の場合は入力地震動の最大加速度に



(a) 加速度



(b) 変位

図2 エルセントロ NS の応答スペクトル

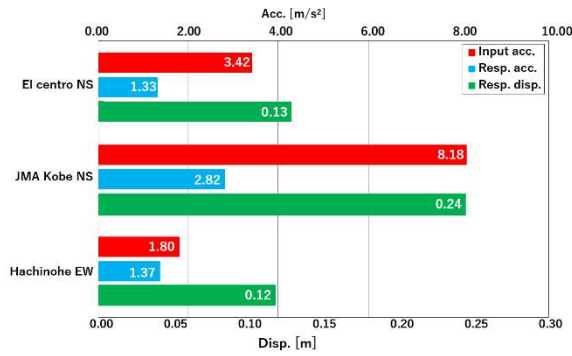


図 3 固有振動数 $f=0.5\text{Hz}$ 、減衰比 $\zeta=20\%$ の免震性能

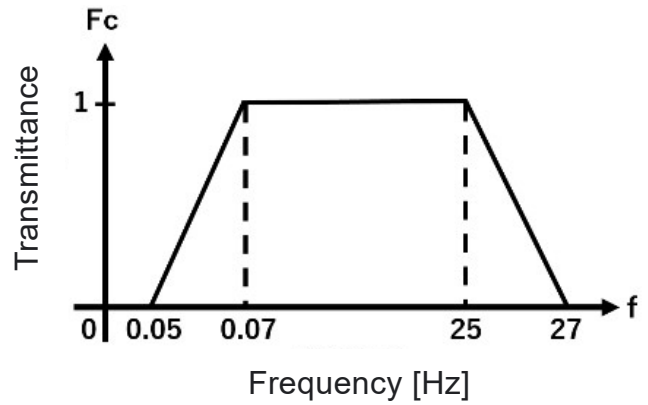
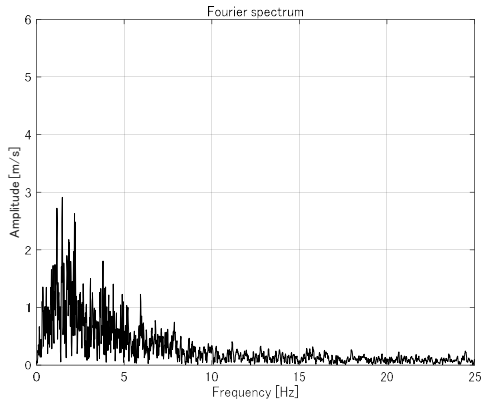


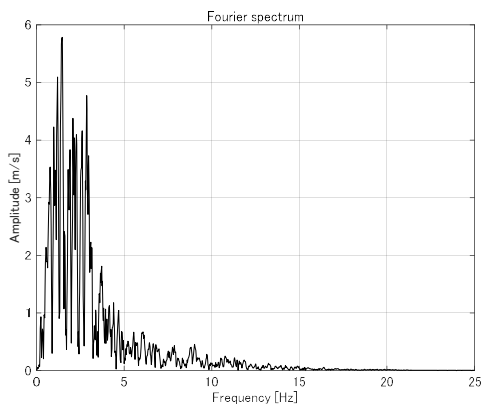
図 5 Ormsby フィルタ

表 1 入力地震動の最大加速度と最大速度

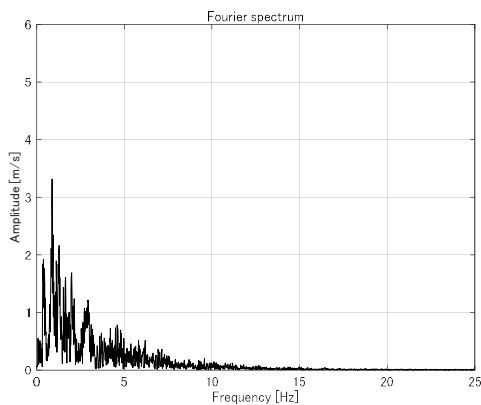
	Max. acc. [m/s ²]	Max. vel. [m/s]
El centro NS	3.42	0.371
JMA Kobe NS	8.18	0.916
Hachinohe EW	1.80	0.375



(a) エルセントロ NS



(b) JMA 神戸 NS



(c) 八戸 EW

図 4 入力地震動のフーリエスペクトル

対する上部構造の応答加速度が半分程度となり、かつ、相対変位も数 10cm 程度に抑えられており、良好な免震性能を発揮していることがわかる。しかし、八戸 EW の場合、エルセントロ NS と比較すると入力地震動の最大加速度が半分程度であるが、上部構造の応答加速度と応答変位はエルセントロ NS の場合と同程度であり、免震性能が低い。

図 4 に各入力地震動のフーリエスペクトルを示す。エルセントロ NS、JMA 神戸 NS は 1~3Hz の周波数帯域が他の周波数帯域と比較して卓越しており、八戸 EW は 0.5~1.5Hz の周波数帯域が卓越している。八戸 EW の免震性能が十分に得られなかった要因の一つとして、系の固有振動数が $f=0.5\text{Hz}$ であるためと考えられる。

4. 免震性能の新しい評価基準

4.1 入力地震動の速度推定

予備解析により、系の固有振動数を $f=0.5\text{Hz}$ 、減衰比を $\zeta=20\%$ と決定し免震性能の解析を行った結果、エルセントロ NS および JMA 神戸 NS に対しては良好な免震性能を発揮したが、八戸 EW に対しては免震性能が低いという結果となった。免震性能に入力地震動の速度が関係していると思われる。そこで入力地震動の加速度データから速度を推定した。推定にあたっては図 5 に示す Ormsby フィルタ⁽¹⁾を用いた。表 1 に各入力地震動の最大加速度と最大速度を示す。

4.2 入力地震動の速度基準による免震性能の評価

Ormsby フィルタを用いて入力地震動の速度を推定したため、ここでは免震性能を従来の加速度基準（最大入力加速度を $5.0\text{[m/s}^2\text{]}$ に基準化）と本研究で提案する速度基準

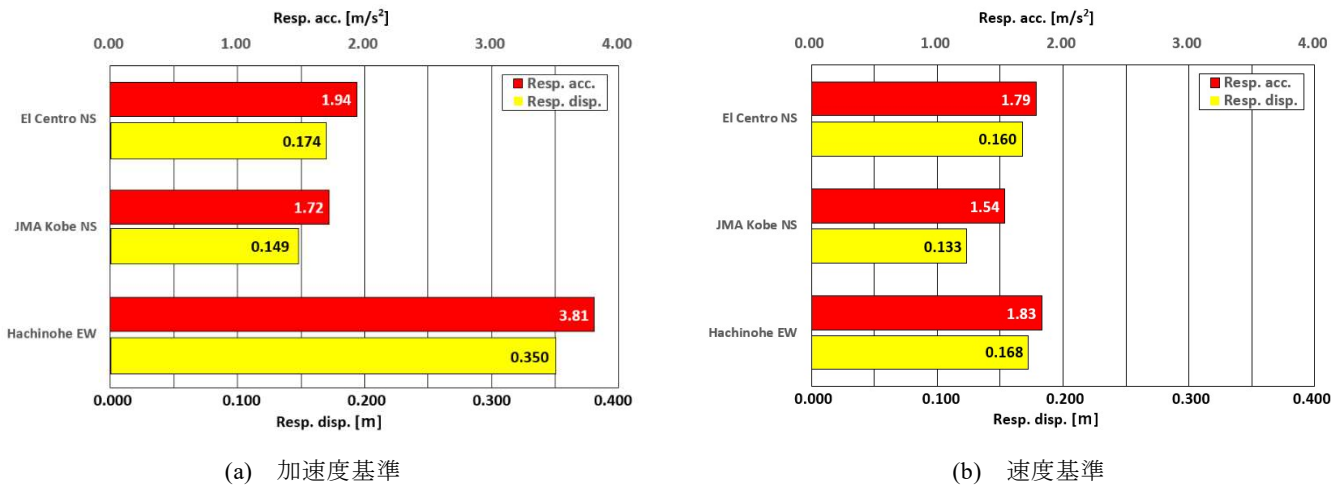


図6 免震性能

(最大入力速度を $0.5[m/s]$ に基準化) で評価した. 図6にその結果を示す. 従来の加速度基準では, 入力地震動によって応答加速度と応答変位が大きく異なる. しかし, 速度基準では概ね応答が揃っており, 免震性能の評価基準としてより適していると思われる.

5. おわりに

本研究では, 免震構造の性能評価における新しい基準について検討した. その結果, 現実的に実現可能な系のパラメータとして, 固有振動数を $f=0.5Hz$, 減衰比を $\zeta=20\%$ と決定し, 従来の加速度基準と本研究で提案した速度基準で免

震性能を評価した. その結果, 従来の加速度基準では, 入力地震動によって応答加速度と応答変位が大きく異なるが, 本研究で新たに提案した速度基準では, 応答加速度および応答変位ともに概ね揃っており, 免震性能の評価基準としてより適していると思われる.

参考文献

- (1) Trifunac, M.D. and Anderson, J.G., "Preliminary Empirical Models for Scaling Absolute Acceleration Spectra", Report No. CE77-03, Department of Civil Engineering, University of Southern California(1977)