

I-611

弾塑性系ダンパーの等価線形化手法に関する検討

東京電力㈱ 鈴木 英世 海津 信廣
 ㈱奥村組 ○有井 孝典 高橋 一成

1. まえがき

筆者らは、合理的な免震システムの確立を目指し、解析的研究¹⁾・免震装置の開発・振動台を用いた実験的研究²⁾を行ってきた。ここでは、振動台模型実験のうち鋼棒ダンパーを用いた実験結果の数値シミュレーションを実施し、免震システムの設計によく用いられる等価線形化手法について検討を行ったので報告する。

2. 実験概要

実験装置を図-1に示す。剛体的に挙動するように固定された鋼製ウェイトを4個の積層ゴムで支え、中央にダンパーを取付けた。用いた鋼棒ダンパーを図-2に示す。実験ケースは表-1の通りであり、ダンパーの物性値が異なる3ケースについて実施した。ケース2において、正弦波3波を入力し自由振動させた結果を図-3に示す。筆者らの今までの研究²⁾で、ヒステリシスは図-4に示すバイリニア型復元力曲線でモデル化でき、良い精度でシミュレートできることが確かめられている。シミュレートに用いた物性値を表-1に示す。

3. 等価線形化手法の検討

バイリニア型復元力曲線の等価剛性(keq)、等価減衰(heq)は、繰返し計算で求めた有効振幅 x_{eff} から式(1)(2)で求められる。ここで β は最大応答変位 x_{max} から有効振幅を求める係数(有効振幅係数と呼ぶ)であり、土の非線形性を考慮した解析では慣用的に2/3が用いられているが、明確な根拠のあるものではない。そこで、 β を変化させた等価線形解と実験結果を比較し、バイリニア型鋼棒ダンパーに適用できる β の値を検討した。図-5に3種類の入力波に対する、有効振幅係数と最大応答値の関係を示す。最大応答加速度では、ケース1, 3の場合は、 β を変化させてもほとんど応答値は変動しないが、ケース2の場合は β が小さくなると応答値が大きくなる傾向にある。これは第1剛性と第2剛性ととの比がケース1, 3に比べ大きく、 β の値により keq が大きく変化したためと思われる。いずれのケースにおいても、 $\beta=1.0$ の等価線形解は、実験結果と実用上十分な精度で一致していることがわかる。一方最大応答変位では、ケース1, 3の場合は β を小さくするにつれ応答値が低下するが、ケース2では逆の現象が生じている。実験結果を近似する β の値は加速度に比べ大きく変動し、適切な唯一の β を決定するのは困難と考えられる。応答変位については過小に評価する可能性はあるが、最大応答加速度では種々の条件下で良い精度で実験結果と一致することから、 $\beta=1.0$ の等価線形解析を用いることは設計上実用的と思われる。図-6にケース2のエルセントロ波300galを入力した時の応答波形の比較を示す。 $\beta=1.0$ では、最大応答付近は良く一致しているが、それ以後の応答が小さい領域では実験結果の方が等価線形解より大きく、高振動数成分が見られる。主要動後の高振動成分を表現するには、むしろ $\beta=0.5$ の方が良いと思われる。実験結果と等価線形解の応答波形の違いをさらにみるため、この応答波形の加速度応答スペクトル($h=0.05$)を求めた。比較を図-7に示す。同図より $T=0.7$ 秒以上ではいずれの場合も実験から求めた値と一致するが、 $T=0.7$ 秒以下では β の値により応答が異なり、 $\beta=1.0$ にすると床応答が過小に評価されることになる。

以上の結果から、バイリニア型の鋼棒ダンパーの等価線形解析において、有効振幅係数 $\beta=1.0$ を用いれば良い精度で最大応答加速度は評価できるが、最大応答変位と免震構造物の床応答は過小に評価される可能性のあることが明らかとなった。

参考文献

- 1) 鈴木・竹内：免震装置の最適設計に関する基礎検討，構造工学論文集，Vol.35A, 1989年3月
- 2) 鈴木・高橋：電力施設に適用する免震装置の実験的研究，第20回地震工学研究発表会，1989年7月

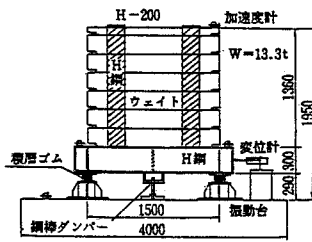


図-1 試験装置

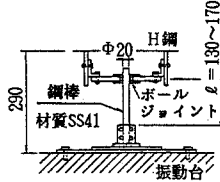


図-2 鋼棒ダンパーの構造

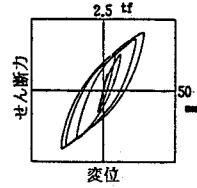
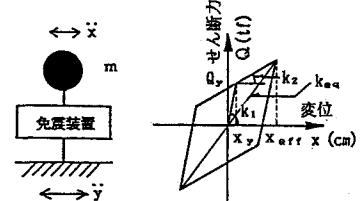


図-3 自由振動のヒステリシス

表-1 ダンパーの物性値

	ケース1	ケース2	ケース3
	$\ell = 13\text{cm}$ 1本	$\ell = 13\text{cm}$ 2本	$\ell = 17\text{cm}$ 1本
k_1 (t/cm)	1.00	1.91	0.88
k_z (t/cm)	0.37	0.39	0.37
x_y (cm)	0.55	0.56	0.60
q_y ($=Q_y/W$)	0.04	0.08	0.04

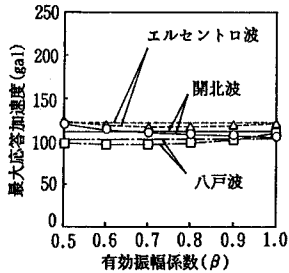


$$h_{eq} = \frac{2}{\pi} \cdot \frac{1 - k_z/k_1}{1 + k_z/k_1 \cdot (\mu - 1)} \cdot \frac{\mu - 1}{\mu} \quad (1)$$

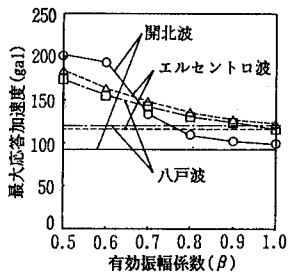
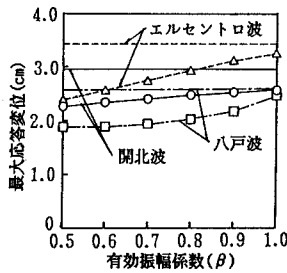
$$k_{eq} = \frac{\mu}{k_1 + k_z(\mu - 1)} \quad (2)$$

$$x_{eff} = \beta \cdot x_{max} \quad \mu = x_{eff}/x_y$$

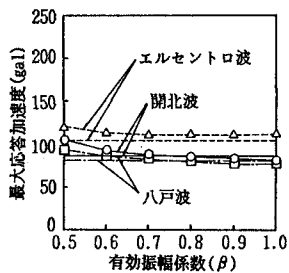
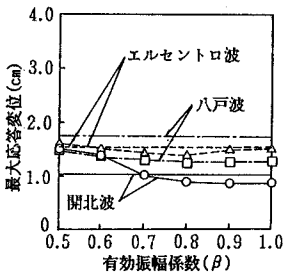
図-4 解析モデル



a) ケース1



b) ケース2



c) ケース3

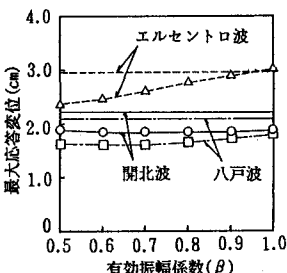


図-5 有効振幅係数と応答値との関係

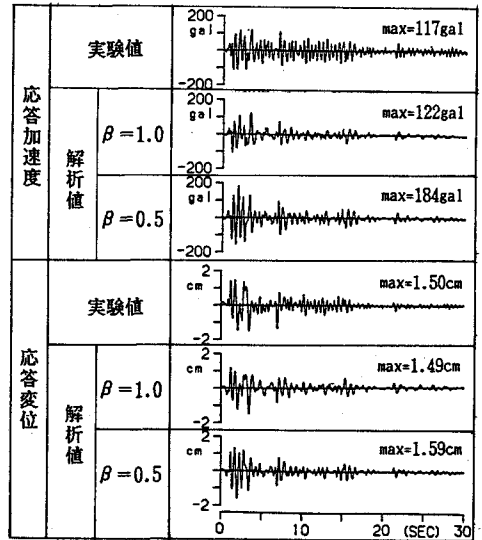


図-6 応答波形の比較
(ケース2 エルセントロ300gal入力)

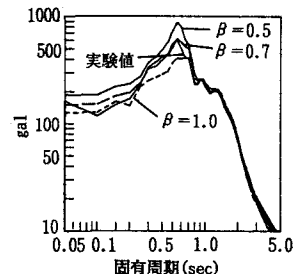


図-7 加速度応答スペクトル(ケース2)