

免震層の応答予測に用いる非線形粘性ダンパーのエネルギー評価法

- その1 バイリニア粘性型と非線形粘性型の等価則の確認 -

正会員 渡邊 信也\*1  
同 山崎 久雄\*2  
同 高山 峯夫\*3  
同 笠井 和彦\*4

免震構造 応答解析 オイルダンパー  
非線形粘性ダンパー 粘性要素の等価則

1. はじめに

免震装置のうち減衰機能を発揮するものとして、鋼製ダンパー、鉛製ダンパー、あるいは減衰性能を有した積層ゴムなどが代表的であるが、オイルダンパーや粘性ダンパーもこれに挙げられる<sup>1)</sup>。文献<sup>2)</sup>ではオイルダンパーの増設が変形や加速度応答の低減に有効と示され、これらダンパーが免震層に併用される機会も増すと思われる。

一方、免震構造の簡易な応答予測法として定着している包絡解析法<sup>3)</sup>はオイルダンパー等が考慮されたものでなく、告示設計法<sup>4)</sup>では応答値を陽に得ることができない。また、提案されている粘性ダンパーを含む応答予測法<sup>例えば5)6)</sup>についても実用化に至っているとは言い難い。

筆者らは、オイルダンパー等を併用した免震構造の実務的かつ簡便な応答予測法の提案をめざし、多くのケースのパラメトリック解析を行ってきた<sup>7)8)</sup>(解析モデルを図1に、ダンパーの減衰力-速度関係を図2に示す)。本報と次報でこれらの結果をもとに、免震層の応答予測を行うための非線形粘性ダンパーのエネルギー評価法を提案する。まず本報では、小川・笠井<sup>9)</sup>が制振用オイルダンパーに適用した非線形粘性要素への等価則が免震用オイルダンパーについても適用可能であることを確認する。この確認によりリリーフ機構をもつオイルダンパー(バイリニア粘性型)の特性を、平易な連続関数(速度の指数乗)で表せる非線形粘性型ダンパーのそれに一元化して扱うことができる。

2. バイリニア粘性要素と非線形粘性要素の等価則<sup>9)</sup>

小川・笠井<sup>9)</sup>はバイリニア粘性要素と非線形粘性要素の等価則として、最大速度での減衰力が等しいことと「骨格曲線面積」が等しいことの2条件より次式を導いている。

$$\begin{cases} C_N / C_B = V_{max}^{1-\kappa} \{p + (1-p) / \mu\} \\ \kappa = (p\mu^2 - p + 1) / \{p\mu^2 + (1-p)(2\mu - 1)\} \end{cases} \quad (1a,b)$$

ここに、 $C_B$ 、 $p$ 、 $\mu$  はバイリニア粘性要素の1次減衰係数、2次減衰係数比、リリーフ速度に対する最大速度比( $=V_{max}/V_R$ )であり、 $C_N$ 、 $\kappa$  は非線形粘性要素の減衰係数、指数値である( $C_B$ の単位は  $kN \cdot s/cm$ 、 $C_N$ は  $kN \cdot (s/cm)^\kappa$ )。

図2に示した代表的な免震用オイルダンパー<sup>1)</sup>の特性値( $p=0.0678$ 、 $\mu=4.69$ 、 $C_B=Q_{V150}/40$ 、 $Q_{V150}$ は150cm/sでの減衰力)を式(1)に適用すると、等価な非線形粘性要素の指数値 $\kappa$ は式(1b)より $\kappa=0.261$ となり、減衰係数 $C_N$ は式(1a)より $C_B$ に応じて求まる。 $Q_{V150}$ を $\alpha_V Mg$ で与え、 $\alpha_V$ を変化させたときの $Q_V$ - $V$ 関係と $C_B$ 、 $C_N$ の値を図3に示す。

3. 最大応答による検証

オイルダンパーをそのままバイリニア粘性要素とした場合と式(1)の等価則により非線形粘性要素とした場合の最大変位等を比較する。解析は免震周期 $T_f$ を3,5,7秒とし、履歴(弾塑性)ダンパーの降伏せん断力係数 $\alpha_p$ を1,3,5,7%とした組合せに対しオイルダンパーの導入量を示す $\alpha_v$ を0~7%まで連続に変化させて行った。入力地震波はBCJL2とJMA神戸NSである。

図4はBCJL2での最大変位の比較、図5はJMA神戸NSでの最大変位および図6はBCJL2での最大せん断力係数の比較である。図5図6は一部のケースであるがいずれもよく一致している(最大速度は50~120cm/sに分布したが、そのまま150cm/sを等価則に適用)。一方、図7はBCJL2の振幅を0.2倍としたときの最大変位で、非線形粘性要素の応答が小さい。これは図3より低速度域での $Q_V$ の差異によると考えられ、50cm/sを等価則に適用すると改善する。

4. まとめ

極めて稀に発生する地震動レベルのBCJL2とJMA神戸NSについて、式(1)のバイリニア粘性型と非線形粘性型の等価則が免震用オイルダンパーでも適用できることを確認した。これによりオイルダンパーを含む流体系ダンパーは、減衰力が速度の指数乗に比例する非線形粘性要素として扱うことができる。ただし地震動レベルが小さな場合には等価則を適用する最大速度を適切に与える必要がある。次報では非線形粘性要素のエネルギー評価について検討する。

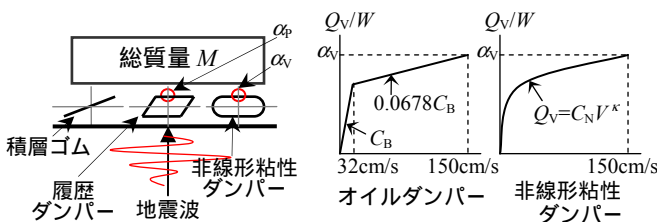


図1 解析モデル

図2 減衰力-速度関係

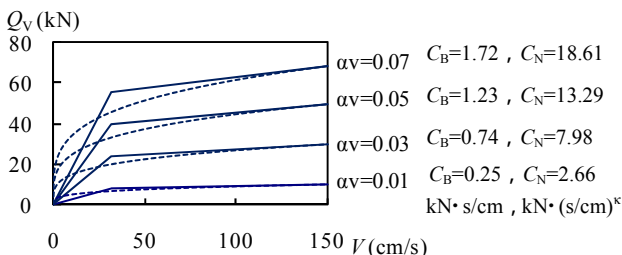


図3 Q-V関係の比較、実線=オイルダンパー、点線=非線形粘性ダンパー、質量は $M=1kN \cdot s^2/cm$ とした

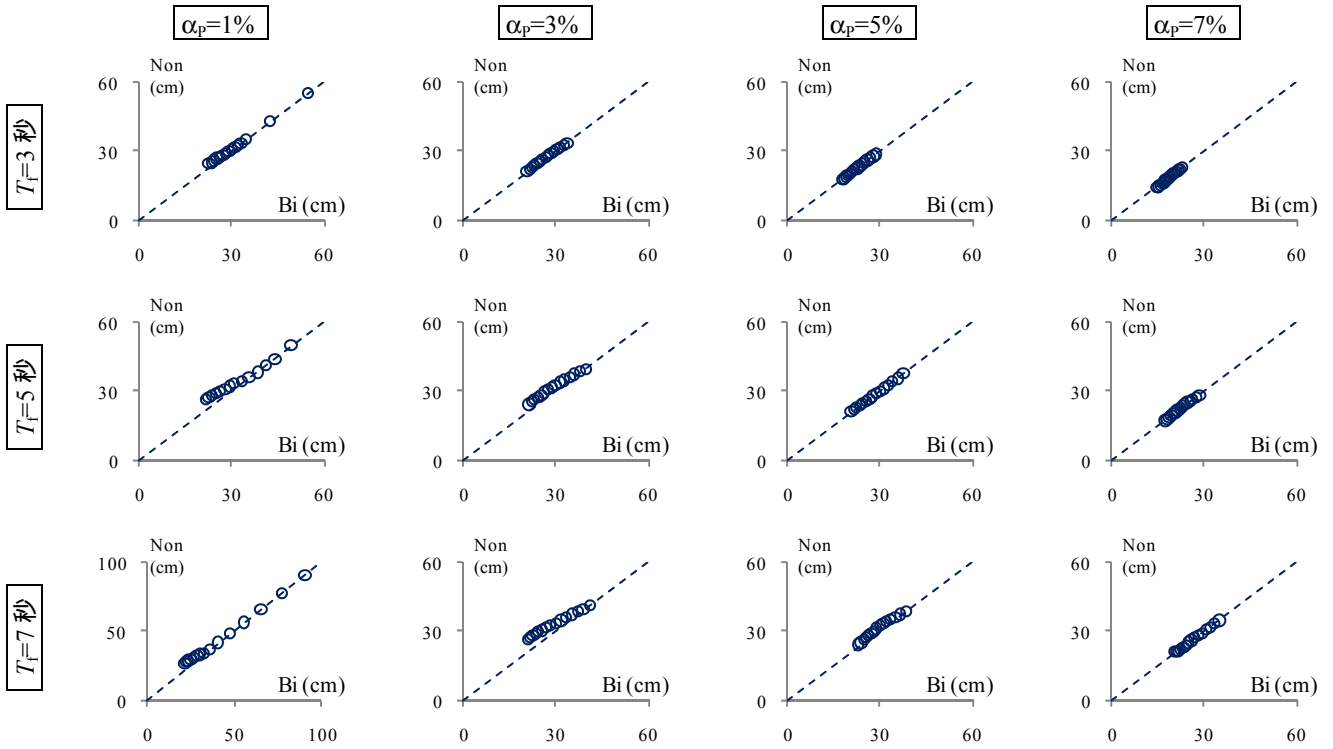


図4 BCJL2に対するバイリニア粘性要素 (Bi) とそれに等価な非線形粘性要素 (Non) の最大変位の比較

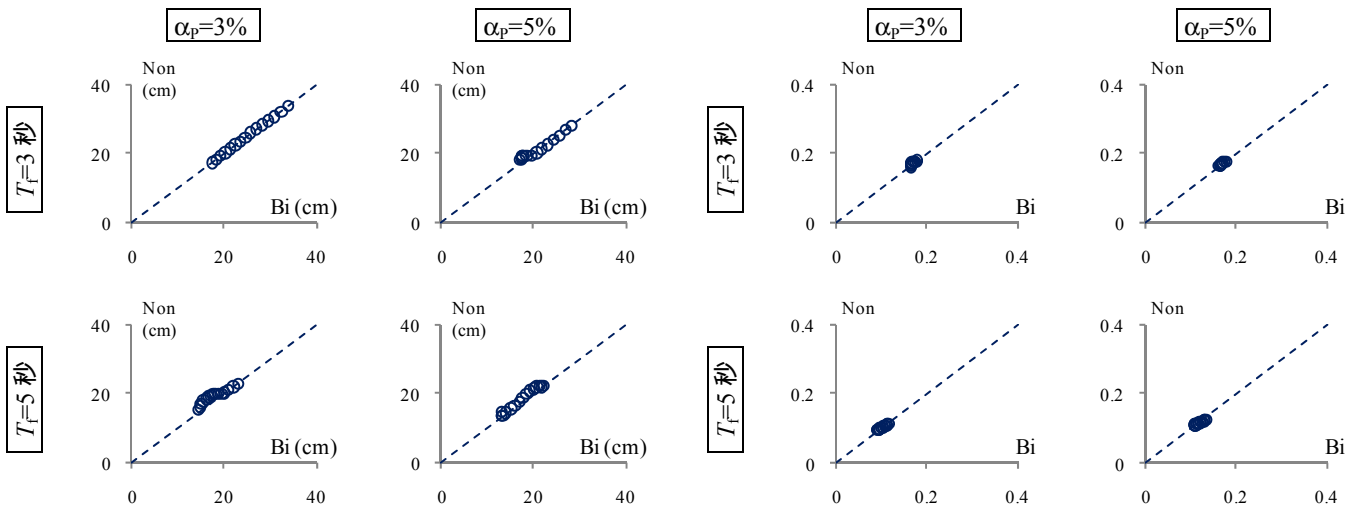


図5 JMA 神戸 NS に対する最大変位の比較

図6 BCJL2に対するせん断力係数の比較

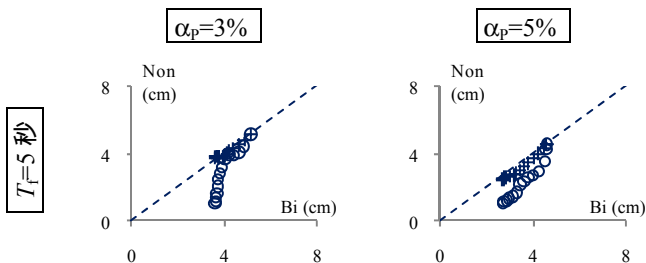


図7 BCJL2 x 0.2 に対する最大変位の比較, + は最大速度を 50cm/s として等価則を適用した結果を用いた場合

- 2) 日本建築学会: 長周期地震動と建築物の耐震性, P.257, 2007.12
- 3) 高山峯夫ほか: 4秒免震への道, 理工図書, 1997.8
- 4) 国土交通省国土技術政策総合研究所ほか: 免震建築物の技術基準解説及び計算例とその解説, 2005.10
- 5) 東野さやか, 北村春幸: 粘性ダンパーを付与した免震構造のエネルギーの釣合に基づく応答評価法, 日本建築学会構造系論文集 第588号, pp.79-86, 2005.2
- 6) 秦一平, 石丸辰治, 長谷川純: 非線形粘性ダンパーと弾塑性ダンパーを併用した系の応答性能設計手法, 日本建築学会構造系論文集 第617号, pp.47-54, 2007.7
- 7) 酒井直己, 山崎久雄, 高山峯夫, 渡邊信也: 非線形粘性ダンパーの増設量に伴う免震層の応答の変化 その1, 日本建築学会大会学術講演梗概集(東北), pp.905-906, 2009.8
- 8) 浪田裕之, 山崎久雄, 高山峯夫, 石鍋雄一郎: 非線形粘性ダンパーの増設量に伴う免震層の応答の変化 その2, 日本建築学会大会学術講演梗概集(東北), pp.907-908, 2009.8
- 9) 小川良典, 笠井和彦: バイリニア粘性要素と非線形粘性要素の等価則, 日本建築学会大会学術講演梗概集(中国), pp.503-504, 2008.9

参考文献

- 1) 日本免震構造協会: 免震部材標準品リスト 2009, pp.643-722

- \*1 NTT ファシリティーズ総合研究所 構造技術本部
- \*2 ユニオンシステム(株) 振動解析総合推進室
- \*3 福岡大学 工学部建築学科教授・工博
- \*4 東京工業大学 建築物物理研究センター 教授・Ph.D.

- \*1 NTT FACILITIES RESEARCH INSTITUTE Inc
- \*2 UNION SYSTEM INC. Dynamic Analysis Research Complex
- \*3 Prof., Fukuoka University, Faculty of Engineering, Dr.Eng.
- \*4 .Prof., Struct. Eng. Research Center, Tokyo Institute of Technology, Ph.D