

制震ダンパーのモデル化の相違による性能評価の違い

熊本大学 学生会員 ○西村 健
熊本大学 正会員 松田 泰治

オイレス工業株式会社
株式会社エイト日本技術開発
JIP テクノサイエンス株式会社

正会員 宇野 裕恵
正会員 宮本 宏一
正会員 柚木 浩一

1. はじめに

兵庫県南部地震以降、耐震性能を向上させるため、既設橋梁などに対して補強工事が行われるようになってきた。本研究では、耐震性能の向上に有効とされる制震ダンパーに着目した。

制震ダンパーには、大きく分けて履歴型ダンパーと速度依存性を有する粘性型ダンパーがあり、解析時にはそれぞれ抵抗力-変位、抵抗力-速度でモデル化が行われる。粘性型ダンパーの速度依存性は小さい場合はそれを無視し、抵抗力-変位でモデル化する場合が多い。本研究では、制震ダンパーのモデル化に関する知見を得るため、履歴型ダンパーを抵抗力-変位で、粘性型ダンパーを抵抗力-速度でモデル化し、二つのダンパーに同じ条件を与えて解析を行い、得られた値、その誤差などについて比較し、検討した。

2. ダンパーの設計

図-1 はダンパーを有する橋梁に用いた 1 質点系モデルである。このモデルでは、上部構造を質量 (M) の質点に置き換え、下部構造をダンパー (K_D 、C) と積層ゴム支承のせん断バネ (K_B) を組み合わせたもので評価している。

積層ゴム支承のせん断バネ K_B は、式(1)に従い、固有周期が 2 秒となるようし、減衰は 1%とする。

$$K = \frac{4\pi^2 M}{T^2} \quad \dots(1)$$

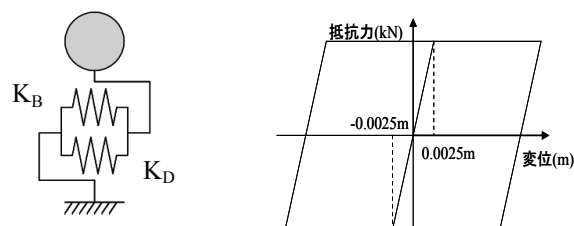
K : 積層ゴム支承のせん断バネ (KN/m)、 M : 質点の質量 ($M=W/g$, $W=10000\text{KN}$ と仮定)、 T : 固有周期 (sec)

制震ダンパーは、図-1 に示すように抵抗力-変位と抵抗力-速度の関係を定式化としてモデル化した。履歴型ダンパーの剛性 K_D の特性に関しては、完全弾塑性のせん断バネとし、初期剛性は質点の質量 M に対して弾塑性ダンパーのみで水平方向に支持したと仮定した場合の桁の固有周期が 1 秒となるバネ定数とした。粘性型ダンパーの粘性係数 C は、式(2)に従い、抵抗力-速度の関係では速度の累乗の特性を有するよう、各々設定した。

$$F = CV^\alpha \quad \dots(2)$$

F: 抵抗力、C: 粘性定数、V: 速度、 α : 各ダンパー性能に応じた指数

履歴型ダンパー(抵抗力-変位モデル)



粘性型ダンパー(抵抗力-速度モデル)

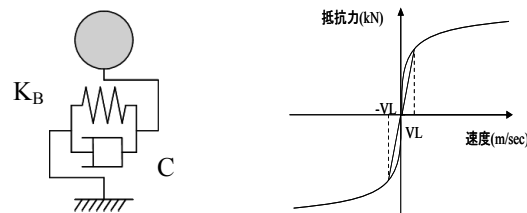


図-1 制震ダンパーのモデル化

3. 解析手法

解析は、汎用構造解析プログラムT-DAPⅢを用い、直接微分法(Nemark β $\beta=0.25$)で積分間隔を 0.001secで行った。また解析時に利用する値は表-1に示す。ダンパーの抵抗力は1000kNとした。

抵抗力-変位モデルは図-1で表され、剛性変化点を2.5mmで抵抗力となるようにし、1次勾配に対する2次勾配の剛性低下率を 1.0×10^{-5} とした。

抵抗力-速度モデルは図-1で表され、式(2)に表され、本研究では $\alpha=0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5$ とし、 C は $V=0.5\text{m/sec}$ で設定した。また、図-1の $-VL \sim VL$ の範囲は線形と仮定した。

表-1 制震ダンパーのモデル

	初期剛性(kN/m)	降伏変位 (m)	剛性低下率
履歴型	400000	0.0025	0.000001
	粘性定数(kN・s/m)	α	$VL(\text{m/s})$
粘性型($\alpha=0.1$)	1071.8	0.1	0.001
粘性型($\alpha=0.2$)	1148.7	0.2	0.001
粘性型($\alpha=0.3$)	1231.1	0.3	0.001
粘性型($\alpha=0.4$)	1319.5	0.4	0.001
粘性型($\alpha=0.5$)	1414.2	0.5	0.001

検討に用いた地震動は道路橋示方書 V 耐震設
編の標準波より Type I - I - 1 地震動、Type II - I - 1

地震動の2波を選択した。

4. 解析結果と考察

抵抗力を1000kNとして履歴型ダンパーと粘性型ダンパーを使用した場合の最大応答変位、最大加速度は表-2のような値が得られた。表-2より、最大応答変位の値に差異はない。しかし、Type I - I -1地震動入力時とType II - I -1地震動入力時では、 α の値が増大するほど加速度の値が減少していることがわかる。

表-2 制震ダンパーの最大、最小応答変位

Type I - I -1	最大応答変位(m)	時間(sec)	最大加速度(m/s ²)	時間(sec)
履歴型	0.165	9.43	2.84	9.43
粘性型($\alpha=0.1$)	0.188	9.43	2.47	9.38
粘性型($\alpha=0.2$)	0.167	6.91	2.43	9.36
粘性型($\alpha=0.3$)	0.168	9.43	2.38	9.35
粘性型($\alpha=0.4$)	0.167	9.34	2.33	9.34
粘性型($\alpha=0.5$)	0.166	9.44	2.29	9.33

Type II - I -1	最大応答変位(m)	時間(sec)	最大加速度(m/s ²)	時間(sec)
履歴型	0.17	6.91	2.81	6.91
粘性型($\alpha=0.1$)	0.185	6.91	2.5	6.86
粘性型($\alpha=0.2$)	0.167	6.91	2.41	6.84
粘性型($\alpha=0.3$)	0.166	6.91	2.34	6.8
粘性型($\alpha=0.4$)	0.17	6.91	2.29	6.77
粘性型($\alpha=0.5$)	0.169	6.91	2.25	6.76

Type I - I -1地震動入力時の制震ダンパーの応答変位の時刻歴は図-2で表されているが、 α の値が増大するほど、粘性型ダンパーの時刻歴は履歴型ダンパーから離れていく傾向にある。図-3はType I - I -1地震動入力時の制震ダンパーの加速度の時刻歴を表している。表-2より最大加速度の差異はあるが、図-2ではどの時刻歴でも同じように描かれている。ただし、 $\alpha=0.3, 0.5$ は加速度の時刻歴が滑らかである。

表-2と図-2より、履歴型ダンパーと粘性型ダンパーの差異は α の値が増大するほど増大する傾向にある。これは α の値が小さくなるほど、抵抗力-速度のモデルがバイリニア型のモデルに近づくためであると考えられる。

Type II - I -1地震動入力時の制震ダンパーの応答変位の時刻歴は図-4で表されている。Type I - I -1地震動入力時とは異なり、履歴型ダンパーと粘性型ダンパーが $\alpha=0.1, 0.3, 0.5$ のどの値でもそれぞれのグラフはほぼ一致し、最大応答変位の値に差異はほとんどなかった。図-5は、Type II - I -1地震動入力時の制震ダンパーの加速度の時刻歴を表しており、Type I - I -1地震動と同様に、最大加速度に多少差異はあるものの、同じような時刻歴を描いている。

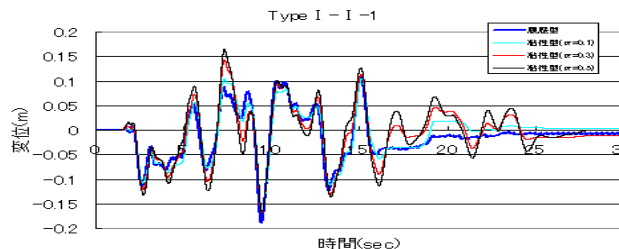


図-2 Type I - I -1 地震動入力時の制震ダンパーの応答変位の時刻歴

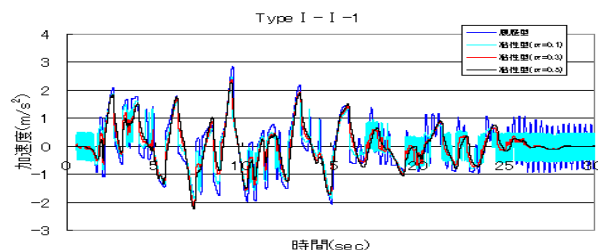


図-3 Type I - I -1 地震動入力時の制震ダンパーの加速度の時刻歴

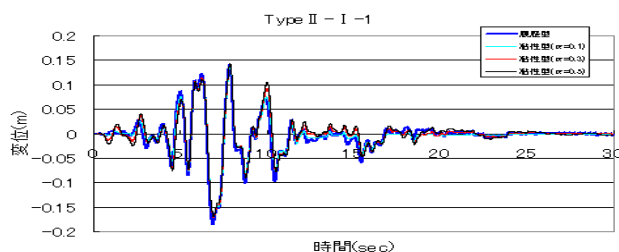


図-4 Type II - I -1地震動の入力時の制震ダンパーの応答変位の時刻歴

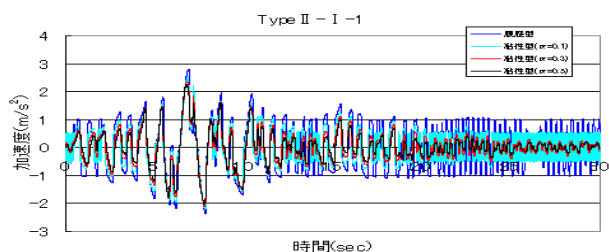


図-5 Type II - I -1 地震動入力時の制震ダンパーの加速度の時刻歴

5. まとめ

本研究では抵抗力-変位関係でモデル化した場合と抵抗力-速度関係でモデル化した場合の応答を比較、検討した。その結果、 α の値が増大するほど、抵抗力-変位のモデルと抵抗力-速度のモデルで解析した場合の得られる変位の誤差は増大すると考えられる。制震ダンパーを評価する際には抵抗力-速度のモデルで解析することが望ましい。

参考文献

- 1) 柚木浩一、松田泰治、宇野裕恵、宮本宏一：制震ダンパーのモデル化の違いによる応答値の一考察、第30回地震工学研究発表会、2-0019,2009.5