

道路橋の耐震補強におけるダンパーの有効活用に関する研究

熊本大学大学院 学生会員 ○藤本 匡哉
 熊本大学大学院 正会員 松田 泰治

(株)エイト日本技術開発 正会員 宮本 宏一
 オイレス工業(株) 正会員 宇野 裕恵
 JIP テクノサイエンス(株) 正会員 柚木 浩一

1. はじめに

近年、既設橋梁の耐震補強において制震ダンパーを用いた耐震設計の事例が増加している。制震ダンパーは、単純な桁橋の補強検討によく使用されるものとして粘性型ダンパーと履歴型ダンパーの二種類があり、揺れの低減効果やコストなどにより単独、あるいは組み合わせで用いられている。既往の研究では、粘性型ダンパーと履歴型ダンパーを組み合わせた制震ダンパーにおいて、履歴型ダンパーを効率的に用いることのできる最適な割合について検討した¹⁾。本文では、それに加えて履歴型ダンパーの固有周期の影響について検討した内容を示す。

2. 制震ダンパーの性能設定

検討に用いる 1 質点系モデルを図-1 に示す。このモデルでは、上部構造を質量 M の質点に置き換え、下部構造を粘性型ダンパー(C)と履歴型ダンパー(K_D)と積層ゴム支承(K_B)を組み合わせたもので評価している。質点の重量は 1000kN とする。

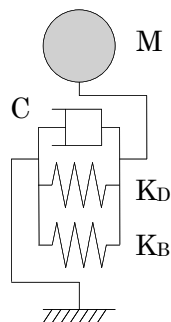


図-1 1 質点系モデル

制震ダンパーは、式(1)のように粘性型ダンパーと履歴型ダンパーの組み合わせで評価をし、任意の値 n を変化させることによって、粘性型ダンパーと履歴型ダンパーの抵抗力の分担率を定めた。従って、ある n に対しては式(2)で表わされるように粘性型ダンパーの抵抗力と履歴型ダンパーの抵抗力の比は一定となる。

$$F_{total} = F_V + F_{EP}$$

$$= nF_{total} + (1-n)F_{total} \quad (0 \leq n \leq 1) \quad (1)$$

$$\frac{F_{EP}}{F_V} = \frac{(1-n)}{n} \quad (2)$$

F_{total} : 制震ダンパーの抵抗力、 F_V : 粘性型ダンパーの抵抗力、 F_{EP} : 履歴型ダンパーの抵抗力
 n : 粘性型ダンパーの抵抗力に対する比率

粘性型ダンパーの抵抗力に関しては、式(3)で表され、ここでは $\alpha=0.1$ とし、 $V=1.0\text{m/sec}$ で設定した。

$$F_V = CV^\alpha \quad (3)$$

C : 粘性係数、V : 速度、 α : 速度の指数

履歴型ダンパーの抵抗力は式(4)で表され、完全弾塑性のせん断ばねとし、初期剛性 K_D は式(5)に従い、固有周期 T は1.0sec、0.5sec、0.25secのばねを設定した。

積層ゴム支承のせん断ばね定数 K_B の値は、固有周期 T を 1.0sec から 5.0sec まで 0.5sec 刻みでパラメトリックに変化させ、固有周期 T に対応して式(5)に従い各々設定した。また、減衰定数は 3% とした。

$$F_{EP} = K_D \cdot \delta y \quad (4)$$

$$K_D = K_B = \frac{4\pi^2 M}{T^2} \quad (5)$$

K_D : 履歴型ダンパーのせん断ばね定数、 δy : 降伏変位、
 K_B : 積層ゴム支承のせん断ばね定数、 T : 固有周期

3. 1 質点系モデルを用いた解析的検討

制震ダンパーの抵抗力を漸増させながら 1 質点系動的応答解析を繰り返し行い、得られた最大変位と目標変位の誤差が 1% 以内になった時点での値を目標変位に対する制震ダンパーの必要抵抗力とし、これを質点の重量で除した値を降伏震度とした。入力地震動は道路橋方書のタイプ I、I 種地盤用波形(Type I - I - 1)を用いた。履歴型ダンパーの固有周期が 1sec、0.5sec、0.25sec について、制震ダンパーの抵抗力を粘性型ダンパー 40%、履歴型ダンパー 60% に配分した場合での解析結果を図-2~4 に示す。履歴型ダンパーの固有周期を変化させたところ周期が短くなるほど降伏震度の値が小さくなっており、短周期の履歴型ダンパーを用いるほど効果的であるといえる。ただし、目標変位 0.3m 以上では履歴型ダンパーの固有周期を変化させても降伏震度の差異は見られず、固有周期の変化による影響は少ないため、特に制約条件とはならない。一方、目標変位 0.2m 以下という厳しい条件に設定した場合には、履歴型ダンパーの固有周期 1sec の結果では相対的

に降伏震度が大きい。それに対して固有周期 0.5sec、0.25sec では降伏震度が小さくなっており大きな差異はない。そのため、履歴型ダンパーの固有周期は 1sec よりも短周期に設定した方が良い。その上 0.25sec より 0.5sec の方が小さな剛性であるため、経済性を考慮すると 0.5sec を用いた方が有効であると考えられる。

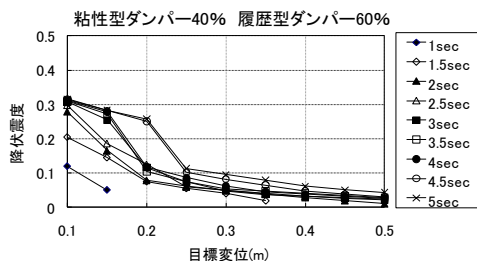


図-2 履歴型ダンパーの固有周期 1sec

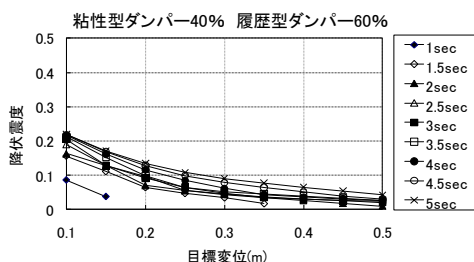


図-3 履歴型ダンパーの固有周期 0.5sec

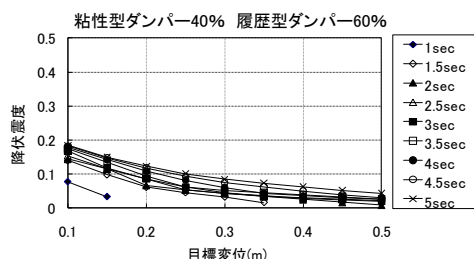


図-4 履歴型ダンパーの固有周期 0.25sec

4. 既設橋梁耐震補強への適用性評価

2. で示したダンパー性能設定方法の既設橋梁耐震補強への適用性を、昭和 55 年道路橋示方書に従い設計された 4 径間連続鋼板桁橋を対象に検討する。上部工全重量に対して目標とする固有周期を満足する積層ゴム支承のせん断バネを求め、各橋脚の鉛直反力比に応じて、A1 : P1 : P2 : P3 : A2 = 1 : 2.5 : 2.5 : 2.5 : 1 と配分した。一方、粘性型ダンパーの減衰特性は、上部工全重量に対して粘性型ダンパーの降伏震度を乗じて算出した。履歴型ダンパーの減衰特性は、上部工全重量に対してダンパーの初期剛性を用いて計算した固有周期が 0.5sec となるような、完全弾塑性のせん断ばねでモデル化した。積層ゴム支承のせん断ばね定数は、履歴型ダンパーと同様にして固有周期を 3sec に設定した。なお、2. で述べたダンパーの剛性は抵抗力の割合に応じて粘性型ダンパーと履歴型ダンパーに配分した。

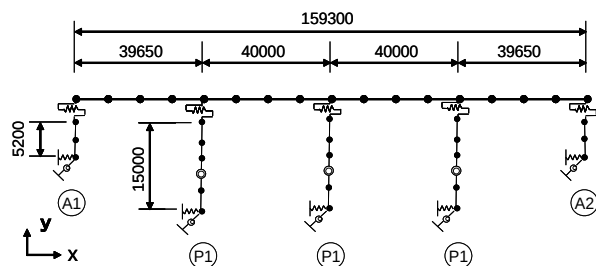


図-5 検討対象橋梁の全体系モデル

1 質点系モデルの解析結果をもとに、上記で設定したダンパーを有する全体系モデルに対して汎用動的解析ソフト TDAPⅢを用いて動的応答解析を行い、1 質点系モデルと全体系モデルとの比較検討を行った。一例として履歴型ダンパーの固有周期 0.5sec についての時刻歴応答を図-6 に示した。最大応答変位の誤差は 9.6%程度となり、1 質点系モデルと全体系モデルの応答変位は、ほぼ同様の挙動を示した。このことから、変位を制御するために履歴型ダンパーの固有周期を変化させることは効果的であり、どの程度に設定するかによって適切に判断する必要があると考えられる。

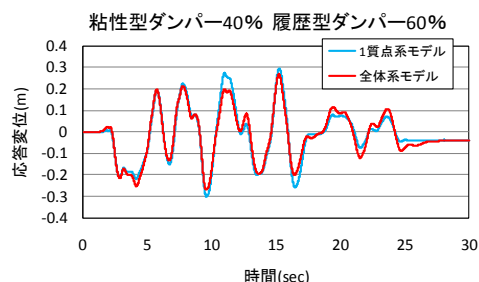


図-6 固有周期 3.0sec、目標変位 0.3m の応答変位

5. まとめ

1 質点系モデルによる応答解析の結果に基づき、粘性型ダンパーと履歴型ダンパーを組み合わせた制震ダンパーにおいて、履歴型ダンパーの固有周期の影響についての検討を行うとともに、対象橋梁を例にその評価法の適用性を検証した。目標変位 0.3m に抑えるには、固有周期の影響はあまりないため 1sec 以下で設定すると応答が目標変位以内に収まる。目標変位 0.2m に抑えるには、0.5sec よりも短周期ではあまり降伏震度の差異がないため 0.5sec 以下で設定をすると応答が目標変位以内に収まる。また、上記の設定で全体系モデルの応答変位は 0.271m となり、0.3m 以内に収まった。

参考文献

- 1) 藤本匡哉 他：粘性型ダンパーと履歴型ダンパーの性能評価，第13回日本地震工学シンポジウム論文集，pp. 1506-1513，2010. 11