

## 長大トラス橋に設置した軸降伏型制震ダンパーの動特性を考慮した解析による 応答変化に関する一考察

九州大学大学院 学生会員 ○井手 将一      九州大学大学院 正会員 梶田 幸秀  
 阪神高速道路株式会社 正会員 八ツ元 仁      九州大学大学院 正会員 崔 準祐

### 1. はじめに

橋梁構造物の耐震補強の目的で、近年制震ダンパーを採用する事例が増えつつある。こうした補強設計を行う際は、一般に制震ダンパーの性能検証試験等に基づいて作成した解析モデルを用いているが、過去に実施した振動台実験では既往の設計モデルとバラツキが生じており、ダンパーの動特性が確認されている<sup>1)</sup>。そこで本研究では、こうしたダンパーの動特性が橋梁の地震応答に及ぼす影響を解析的に解明することを目的とし、軸降伏型制震ダンパー（以後、ダンパー）を用いて耐震補強を試みた仮想の長大トラス橋を対象に、制震ダンパーの動特性を考慮したパラメトリック解析を行った。

### 2. 解析モデルの概要と解析条件

本検討で対象とした橋梁の概略図を図-1に示す。橋梁形式は3径間ゲルバートラス橋であり、全長1000m、中央径間長500m、最大主構高70mである。ダンパーはP2、P3主塔基部付近でそれぞれ7箇所を設置しており、P3付近のダンパーの位置を図-2に示す。各部のモデル化については、上下弦材、鉛直材、斜材をファイバー要素、支承部を線形ばね要素、ダンパーを非線形トラス要素とした。

本パラメトリック解析では、文献1)を参考にし、ダンパーのモデルに対して4つの応力-ひずみ関係を作成することとした。文献1)によれば、軸降伏型ダンパーを用いて動的加振を行った場合、単体試験や従来の解析モデルに比べダンパーの履歴形状が大きく膨らむ形となり、動特性が大きく現れている。そこで本解析では、ダンパーの基本的な性能試験に基づいて作成された従来のモデルをモデル1とし、文献1)の振動台実験結果に基づき、モデル1から2次剛性を6.7倍に大きくしたモデルをモデル2、モデル1から降伏耐力を1.6倍にしたモデルをモデル3、初期剛性をモデル1の1.5倍とし、降伏耐力、2次剛性はモデル1と同じにしたモデルをモデル4とした。ダンパーの検討モデルを図-3に、それぞれの特性値を表-1に示す。

減衰は Rayleigh 減衰を用い、積分時間間隔は0.01秒とした。入力地震動は、道路橋示方書・同解説V耐震設計編<sup>2)</sup>に示されている設計地震動タイプI-III-1を用い、橋軸直角方向に入力した。

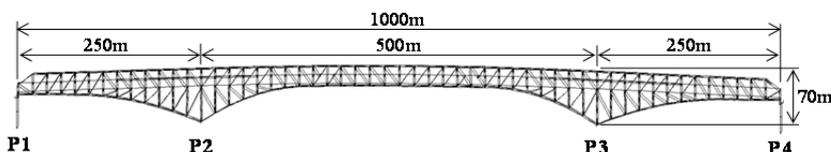


図-1 対象橋梁の概略図

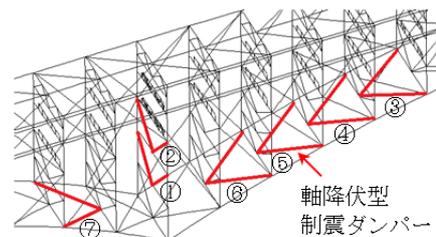


図-2 P3 付近のダンパーの位置

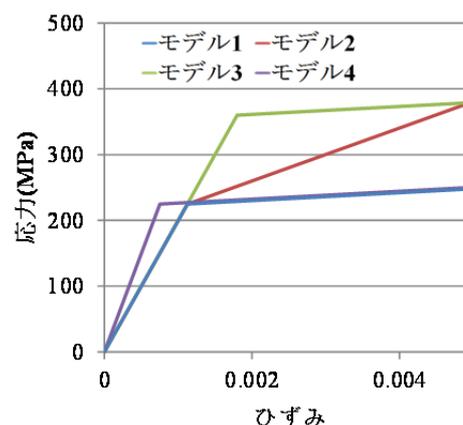


図-3 ダンパーの解析モデル

表-1 各検討モデルにおけるダンパーの特性値

	降伏応力(MPa)	降伏ひずみ	初期剛性(MPa)	二次剛性(MPa)	剛性比
モデル1	225	0.00113	2.00E+05	6.00E+03	0.030
モデル2	225	0.00113	2.00E+05	4.02E+04	0.201
モデル3	360	0.00180	2.00E+05	6.00E+03	0.030
モデル4	225	0.00075	3.00E+05	6.00E+03	0.020

キーワード 長大トラス橋, 制震ダンパー, 動特性, 地震応答解析

連絡先 〒819-0395 福岡県福岡市西区元岡 744 番地 TEL 092-802-3374

### 3. 解析結果

#### 3.1 ダンパーの履歴応答の変化

ダンパーの中で最も応答が大きくなった図-2 に示すダンパー⑦の履歴応答を図-4 に、各モデルにおいてダンパーの最大変位、最大荷重、累積エネルギーと、モデル1の結果に対する各応答の比率を表-2 に示す。モデル2のダンパーの応答をモデル1と比較すると、最大変位は約42%小さく、最大荷重は約26%大きかった。このことから、2次剛性の変化はダンパーの最大変位、最大荷重に大きな影響を及ぼすと考えられる。この影響でモデル2の累積エネルギーはモデル1に比べ54%小さくなった。モデル3のダンパーの応答をモデル1と比較すると、最大変位は約64%小さく、最大荷重は約42%大きかった。このことから、降伏荷重の変化もダンパーの応答、特に変位に大きな影響を及ぼすと考えられる。また、モデル3のダンパーは、降伏後それほど塑性変形していないため、累積エネルギーは小さくなった。モデル4とモデル1の比較では、大きな変化はみられず、初期剛性の変化がダンパーの応答に及ぼす影響は小さいと考えられる。

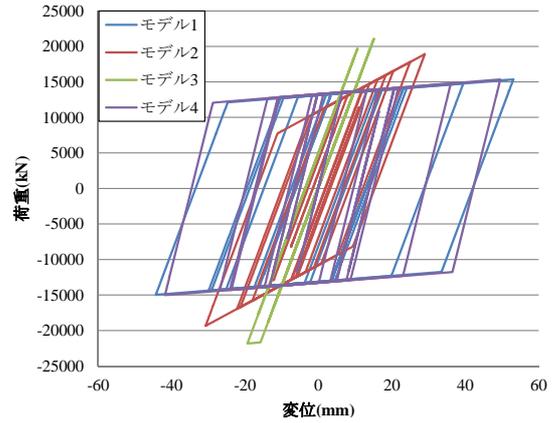


図-4 ダンパー⑦の履歴応答

表-2 ダンパー⑦の最大応答値の比較

	モデル1	モデル2	モデル3	モデル4
最大変位(mm)	53.1	30.7	19.4	49.5
最大荷重(kN)	15348	19339	21821	15335
累積エネルギー(kN・m)	5697	2648	100	5888
モデル1の結果に対する比率	最大変位	0.58	0.36	0.93
	最大荷重	1.26	1.42	1.00
	累積エネルギー	0.46	0.02	1.03

#### 3.2 ダンパーの周辺要素の応答変化

図-5 に示す要素の最大軸ひずみのモデル1に対する応答比率を図-6 に示す。モデル4は、着目した全ての要素でモデル1との差は3%以内となったため、初期剛性の変化が周辺要素に与える影響は小さいと考えられる。下弦材はダンパー⑦付近でもモデル1との差は5%もないため、ダンパーのモデル化の違いが下弦材に与える影響は小さいと考えられる。鉛直材、下支材・下路横桁は、ダンパー付近の要素①～④において応答比率に変化みられており、鉛直材③は約40%、下支材・下路横桁②は約20%大きくなった。一方、下横構においては、要素①～⑨において10%～15%程度の応答比率の増加が見られており、他部材に比べ比較的広い範囲で応答変化が確認された。これらのことから、ダンパーの履歴モデルが本橋に及ぼす影響は、着目部材によってその度合いが異なることがわかった。

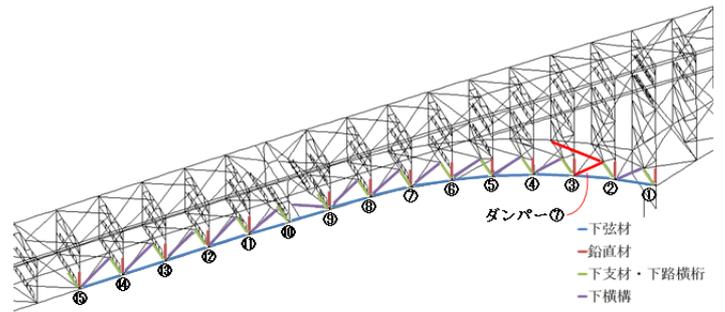


図-5 着目要素

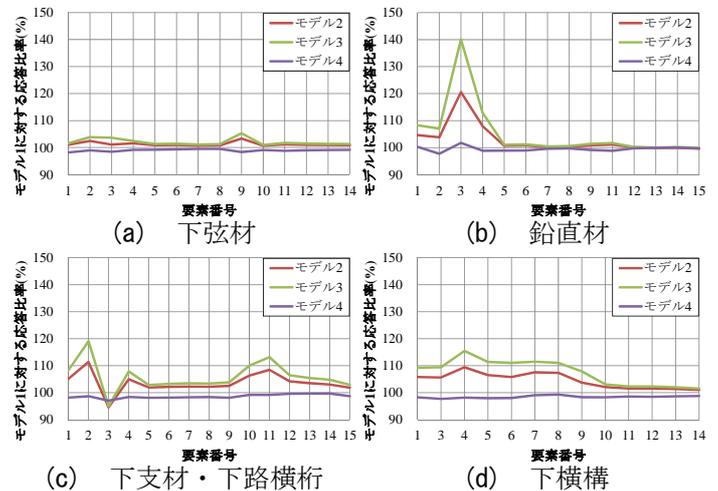


図-6 最大軸ひずみのモデル1に対する応答比率

### 4. まとめ

本パラメトリック解析により、制震ダンパーの動特性を考慮することで、ダンパーやダンパーの周辺部材の地震時応答が変化することが確認された。制震ダンパーを用いて橋梁の耐震設計を行う際は、ダンパーの動特性を適切に考慮する必要がある。

#### 参考文献

- 1) 独立行政法人土木研究所：橋梁に用いる制震ダンパーの性能検証法及び設計法に関する共同研究報告書（その1 制震ダンパーの動的挙動に関する振動台加振実験），2012。
- 2) (社)日本道路協会：道路橋示方書・同解説V耐震設計編，2002。