

第 I 部門 鋼アーチ橋の地震応答解析結果に制震ダンパーのモデル化が与える影響

京都大学大学院工学研究科 学生員 ○金原 大樹

京都大学大学院工学研究科 正会員 植村 佳大

京都大学大学院工学研究科 正会員 高橋 良和

1. 背景及び目的

橋梁への制震ダンパーの適切な設置は、効率的な地震時応答の低減施策となる。設計の実務や既往研究において、制震ダンパーの耐震効果は主に制震ダンパーを含めた橋梁の動的解析を行うことで確かめられてきた。しかしその中で制震ダンパーやその取付部に関して簡易化されたモデルが一般的に使用されており、その簡易化の妥当性を網羅的に検討することが求められている。

そこで本研究では、制震ダンパーとその周辺部に対して複数の観点から異なるモデルを作成し、橋梁全体系のモデルの応答を比較した。

2. 制震ダンパーおよびその周辺部のモデル化

1. に述べたように、実務や既往研究の地震応答解析においては簡易化された制震ダンパーのモデルが使用されている。具体的には、橋梁のモデル内の制震ダンパー設置位置に、バイリニアのバネ要素を配置する手法である。このモデルに対し、より実現象に即したモデル化をする上での観点として、取付部の変形（剛性）やダンパー本体の履歴則が挙げられる。本研究ではこれらの観点に関して異なるモデルを作成した。なお、制震ダンパーの各パラメータは容量 1500kN のシリンダー型粘性ダンパーをもとに設定した。ダンパー本体の荷重-変位関係に関するパラメータは各ケースで共通であり、初期剛性 k_1 が 600kN/mm、2次剛性 k_2 が初期剛性の 10^{-5} 倍、降伏荷重 F が 1500kN である。

(1) 取付部の変形

本研究では、2種類のモデルを作成した。1つ目は簡易化されたモデルであり、取付部を剛と仮定した（陽にはモデル化しない）ものである。2つ目は、より現実を即した、取付部の実剛性を反映した線形バネをダンパー本体の要素に直列配置したモデルである。取付部の剛性は、容量 1500kN のシリンダー型ダンパー取付部を

対象とした有限要素解析を行った澤田らの既往研究をもとに、351kN/mm とした。

(2) ダンパー本体の履歴則

シリンダー型粘性ダンパーの抵抗力 F は以下の式で表される。

$$F = Cv^\alpha \quad (1)$$

ここに、 C は減衰定数[kN/(sec/mm) $^\alpha$]、 v はシリンダー型ダンパーの変形速度である。本研究では、簡易化されたモデルとして、バイリニアの荷重-変位関係をもつ非線形バネのもの（バイリニア型）と、より現実に即したモデルとして、抵抗力が式(1)で表されるもの（速度累乗型）を作成した。速度累乗型において減衰定数 C は 1607.7kN/(sec/mm) $^\alpha$ 、速度指数 α は 0.1 とした。なお、 α が小さい場合、速度がゼロ近傍の区間において収束計算がしづらくなることが知られている。そのため取付部の剛性を反映させた線形バネを直列配置したマクスウェルモデルとした。

3. 対象橋梁および解析概要

(1) 対象橋梁

対象橋梁は、秋田県仙北市の木滝沢橋（全長 152.0m、支間割が 38.6m, 90.0m, 23.4m の 3 径間連続鋼補剛アーチ桁橋（鋼ランガー））である。シリンダー型粘性ダンパーが橋台の各支承部に 1 基の計 4 基設置され、また補剛桁とアーチ部を結ぶ鉛直材には座屈拘束ブレースも取り付けられている。また、橋台部に可動支承、アーチ基部に固定支承が設けられている。

(2) 解析モデル

本研究では、鋼アーチ橋の全体系モデルを作成した（図-1）。アーチリブ、アーチ横構、補剛桁横構、アーチ部の両端にある鉛直材の斜材は線形トラス要素、それ以外の部材は弾性梁要素でモデル化した。部材はすべて鋼材であり、その弾性係数は 200kN/mm 2 とした。また可動支承は鉛直方向にのみ剛、それ以外の方向に

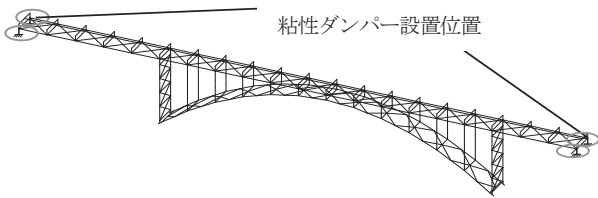


図-1 橋梁モデル図及び粘性ダンパー設置位置

関しては剛性を持たないバネ要素，固定支承は橋軸直角軸まわりの回転方向にのみ剛性を持たず，それ以外を剛としたバネ要素でモデル化した．なお，本研究において座屈拘束ブレースのモデル化は行っていない．橋梁モデルの妥当性は，固有値解析を行い，その結果を耐震補強時に作成された報告書の結果と比較することで検証した．

(3) 解析条件

入力地震動は，道路橋示方書²⁾にて規定される標準波Ⅱ-I-1を用いた．なお，制震ダンパーに十分に大きな変形が生じた際の地震応答を検討するため，入力倍率を1.5倍とした．入力方向は橋軸方向とした．

4. 解析結果

(1) 取付部の剛性

取付部の変形を考慮したモデルの方が，取付部を剛としたモデルよりも橋梁全体で大きな橋軸方向最大応答変位を示した(図-2)．すなわち，取付部を剛とする簡易化は制震ダンパーの設置による橋梁全体系の地震応答低減効果を過大に評価していることが分かった．これは取付部の変形による制震ダンパー本体の変形量の減少と，それに伴うエネルギー吸収性能の低減を考慮できていないことが原因であると考えられる．

(2) ダンパー本体の履歴則

制震ダンパー本体の履歴則を速度累乗型としたモデルの方が，大きな橋軸方向最大応答変位を示した(図-3)．しかしこの結果には，履歴モデルの差が与えた影響よりも，取付部の剛性を考慮した影響が大きく反映されていたと考えられる．

5. まとめ

制震ダンパーとその周辺部に対してより現実に即したモデルは，簡易化されたモデルと比べて異なる変位応答を示した．よって制震ダンパーのモデル化に関する知見を得た．

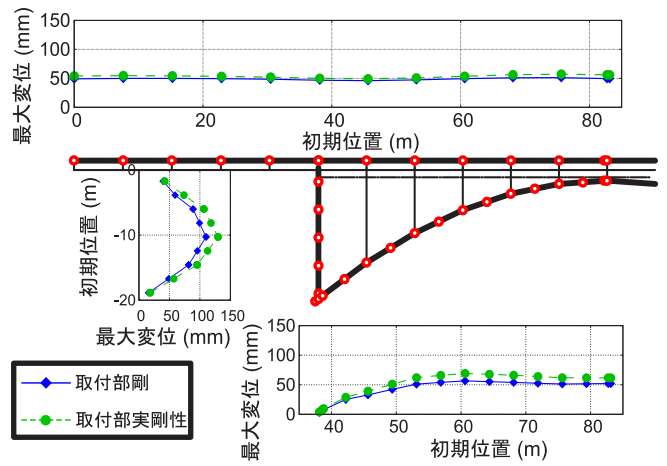


図-2 橋軸方向最大応答（取付部の剛性）

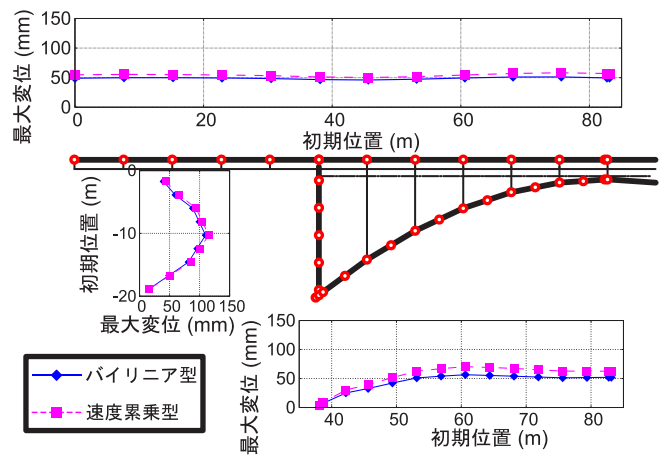


図-3 橋軸方向最大応答（ダンパー本体の履歴則）

謝辞：本研究の一部は国土交通省の道路政策の質の向上に資する技術研究開発「制振ダンパーを有する橋梁における三次元ダンパー部材抵抗と橋全体系応答性状の把握」と，科学研究費補助金基盤研究(B)25K01316の助成を受けて実施した．謝意を表します．

参考文献

- 1) 澤田あおい，植村佳大，高橋良和：橋梁用制震ダンパー取付部の裏面補強効果に関する有限要素解析，第28回橋梁等の耐震設計シンポジウム，2025
- 2) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 V 耐震計編，2017.