ロッキング型免震・制震機構による上路式鋼アーチ橋の橋軸直角方向の耐震性能向上

○岐阜高専 正会員 奥村徹,名古屋工業大学 フェロー会員 後藤芳顯

1. <u>はじめに</u>: 上路式鋼アーチ橋では,橋軸直角方向の入力 地震に対して,転倒モーメントにより端柱やアーチリブの基部 に大きな正と負の反力が発生するため(図-1a)),柱基部ならび に支承に大きな損傷を生じることが問題となる.このような場 合に耐震性能を向上させる方法として,対傾構や下横構などの 通常のブレース部材に替えて座屈拘束ブレースなどの履歴型ダ ンパーを用いる方法¹⁾が検討されているが,高所作業の伴う既 設構造でのダンパーの設置,地震後に損傷を受けたダンパーの 交換や残留変形の矯正は必ずしも容易ではないと考えられる.

ここでは、上路式鋼アーチ橋の損傷メカニズムを考慮して、端 柱およびアーチリブ基部の浮き上がりを許容することで免震性 を付与し、さらに基部にダンパーを設置することで、制震性を与 えた図-1b)に示すロッキング型免震・制震機構²⁾を提案し、その 適用性について検討する.本免震・制震機構はダンパーを取り外 した状態でも死荷重に対しては機能を損なわないので、地震後の ダンパー交換作業において、死荷重作用下での交換が可能である. さらに、ダンパーは柱基部に設置されているため、制震ブレース などに較べ設置や交換作業が容易であると考えられる.アーチ橋 の死荷重が大きくないとダンパーに引張り残留変形が生じる場 合もあるがこの場合は、死荷重を追加することにより残留変形を 除くことも可能である.

2. 対象とするアーチ橋の基本モデル: ロッキング型免震・制 震機構を適用する上路式鋼アーチ橋モデルとして、図-2に示すア ーチ橋を選定する.数値解析には非線形有限要素解析ソフト ABAQUSを用いる.モデル化についてはRC床版の剛性を考慮し, 材料構成則として、鋼部材とダンパーについてはバイリニア移動 硬化則を用い、RC床版には道路橋示方書で与えられている非線 形の応力・ひずみ曲線を載荷曲線とする非弾性の構成則を用いる. 3. 耐震性能向上モデルとダンパーの設計: 図-2に示すアーチ 橋モデルに対して,端柱とアーチリブ基部の支承構造を変化させ ることにより、耐震性能向上を目指した3つのモデルを基本モデ ルとともに表-1に示す.ダンパーを設置する各耐震性能向上モデ ルでは、各ダンパーは図-3に示す配置のもとで、現実的に製作可 能と考えられる範囲で断面積と長さを設計変数としてアーチ橋 本体の履歴吸収エネルギー (RC床版も含む) を最小化するよう に滑降シンプレックス法を用いて設計を行った.ただし、制約条 件として,活荷重および風荷重に対してダンパーに生ずる応力は



表-1 免震・制震検討モデル

モデル名	端柱基部		アーチリブ基部	
	浮き上がり	ダンパー	浮き上がり	ダンパー
FIX (基本モデル)	×	×	×	×
FREE+BSD1	0	0	×	×
FREE+BSD2	0	0	0	0
FREE	0	×	0	×

許容応力度以下,かつ,レベル2地震動に対してはひずみが許容値¹⁾(最大ひずみ20 ϵ_y ,累積塑性ひずみ140 ϵ_y)をこえないものとする.

キーワード:アーチ橋,ロッキング,免震,制震,耐震性能向上 連絡先:〒501-0495 岐阜県本巣市 岐阜工業高等専門学校 Tel 058-320-1402



4. <u>ロッキング型免震・制震機構の適用</u>: 複合非線形時刻歴応答解析を行い,各免震・制震構造の橋軸直角方向のレベル 2 地震動に対する耐震性能向上効果について検討する.レベル2 地震波として,JR鷹取駅調整波・EW成分を用いる.減衰 は質量比例型(減衰定数*h*=0.03)を用いる.解析結果として,各免震・制震モデルの最大応答値を表-2にまとめる.

(1) 損傷: 基本モデルにおいて端柱基部に-29.9 ε_yもの大きな損傷が生じているが、端柱基部の浮き上がりを許容した3 つのモデルでは端柱基部の損傷が大きく低減されており、特にFREE+BSD2とFREEでは無損傷となっている.しかしながら、 アーチリブの浮き上がりを拘束しているFREE+BSD1ではアーチリブや下横構の損傷が基本モデルよりも増加しており有効 ではない.FREEにおいて補剛桁に損傷がみられるのは、支承部の浮き上がりによりアーチ橋の水平方向剛性が大きく低下し、 桁部分の曲げ変形が大きくなったためである.結果として、端柱とアーチリブ基部にダンパーを設置したFREE+BSD2では アーチ橋本体の鋼部材をすべて無損傷にとどめている.アーチ橋本体の履歴吸収エネルギーについてもFREE+BSD2が最も 小さく、RC床版の材料非線形性によるもののみであり、基本モデルに対して1%以下となっている.これらのことから、端 柱とともにアーチリブ基部へ本免震・制震機構を導入するFREE+BSD2が最も有効な免震・制震構造であると考えられる.

(2) 補剛桁中央部の水平応答変位: ダンパーを設置しないFREEでは、基本モデルFIXと較べて桁中央部の水平応答変位が 約75%増加するのに対して、ダンパーを設置したFREE+BSD2では15%程度の増加に抑えられており、浮き上がり量をダンパ ーで制御することの有効性が確認できる. ロッキング挙動を許容した場合、剛体回転に伴う路面の傾斜が懸念されるが、 FREE+BSD2では基本モデルの最大応答値とほとんど変わらず、3.0%程度の勾配が発生するのみである. また、桁中央部の 水平応答加速度については、基本モデルよりも低減される.

(3) 基部反力と浮き上がり変位: 端柱基部の浮き上がりを許容したいずれのモデルについても端柱基部の垂直反力,水平 反力は基本モデルと較べ,大きく低減している.アーチリブ基部の垂直反力と水平反力については,この部分の浮き上がり を許容したFREE+BSD2やFREEでは基本モデルに対して低減がみられるが,アーチリブ基部の浮き上がりを拘束した FREE+BSD1では基本モデルよりも増加している.浮き上がり変位については、ダンパーを付与しないFREEでは13cm程度生 ずるのに対し、ダンパーを設置したFREE+BSD2ではこの値がほぼ半減する.端柱基部では死荷重による軸力よりもダンパ ーの降伏軸力が大きいため、支承部に残留浮き上がり変位が生ずる構造となっている.しかしながら、その大きさは FREE+BSD2で2mm程度である.

5. まとめ: 設置,交換作業が比較的容易なロッキング型免震・制震機構を上路式鋼アーチ橋へ適用し,耐震性能向上効果について数値解析により詳細に検討した.端柱とアーチリブ基部の両方へロッキング型免震・制震機構を設置することで, レベル2地震動に対して,応答変位の増加を抑えつつ,アーチ橋本体を無損傷にとどめた.

【参考文献】

- 1) 宇佐美勉, 葛漢彬, 日沖賢治, 路志浩, 河野豪: 制震ダンパーによるアーチ橋の耐震性向上-橋軸直角方向地震動に対する検討-, 土 木学会論文集, No.766/I-68, pp.245-261, 2004.
- 2) 後藤芳顯,奥村徹:ロッキング挙動を利用した免震・制震機構の橋梁への適用について一上路式鋼アーチ橋を対象として一,第9回地震時保有耐力法に基づく橋梁等構造の耐震設計に関するシンポジウム講演論文集, pp.423-430, 2006.