

上路式鋼アーチ橋の耐震補強対策に対する検討

九州大学大学院 学生会員 ○野原 秀彰 パシフィックコンサルタンツ(株) 正会員 太田 あかね
九州大学大学院 フェロー 大塚 久哲 伊藤忠テクノソリューションズ(株) 正会員 馬淵 倉一

1. はじめに

兵庫県南部地震以降、緊急輸送道路や重要幹線道路に位置する既設橋梁に対して耐震補強工事が進められているが、アーチ橋のような大規模橋梁においては高度な解析、設計、施工技術等が要求されるため施工事例が少ないのが現状である。今後は大規模長大橋梁の地震時における性能照査方法の確立、及び耐震補強技術の向上が重要な課題であるといえる。本研究では、鋼アーチ橋の中でも検証事例の少ない上路式鋼アーチ橋に着目し、当該橋梁に有効な耐震補強案を検討した。

2. 対象橋梁及び解析モデル

本研究の対象橋梁は、橋長 330mのスパンドレルブレースドアーチ橋である。図-1 に橋梁一般図、表-1 に各支承線上の境界条件を示す。支承の境界条件は、A1,A2,P3 支承のみ橋軸方向自由、すべての支承で橋軸直角方向回りの曲げを自由とした。鋼材及びRC 床版はσ-ε 関係を用いるファイバー要素で、RC 橋脚はM-φ 関係を用いる3次元骨組要素でモデル化した。

3. 照査方法¹⁾²⁾

本研究ではより詳細な照査を行うために、上部工を主要部材と二次部材に分類した。主要部材はその部材が損傷した場合に、橋梁全体系の崩壊に繋がるような部材であり、鋼材の許容ひずみとして $2\varepsilon_y$ を採用した。二次部材は橋梁全体系の崩壊には直接的には繋がらない、主要部材への応力伝達や補助的な役割を果たす部材であり、鋼材の許容ひずみとして、最大荷重の95%時のひずみ(ε_{95})を採用した。その他に関しては表-2 に示す。

4. 解析結果

4.1 解析条件

解析条件を表-2 に示す。解析手法は直接積分法のNewMark β 法(β=1/4)を用いた。入力地震波は T2-1-1 波でこれを橋軸直角方向に入力した。応答解析時間は30 秒である。減衰はレイリー減衰を用い、1 次と4 次モードを用いて減衰パラメータを決定した。

4.2 現況解析結果

本研究で対象とした上路式鋼アーチ橋の耐震安全性を評価するために、まず現況解析を実施した。結果的に上部工は床版、アーチリブ、端支柱など7 種類の部材が耐力不足となった、表-4 に示すように、すべて

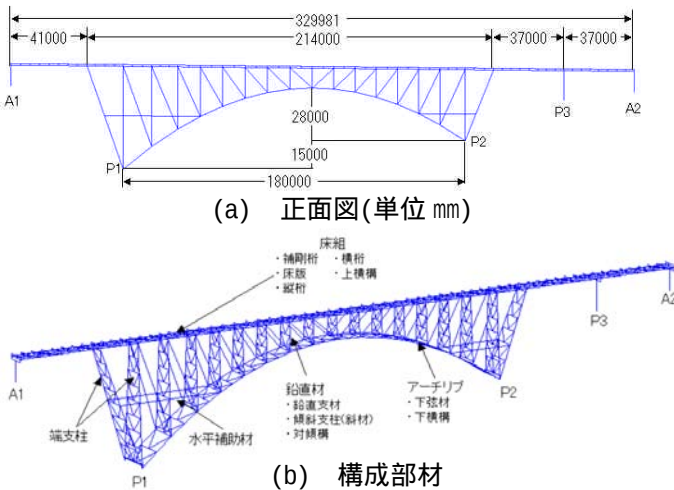


図-1 橋梁一般図
表-1 各支承線上の境界条件

	支承タイプ	Dx	Dy	Dz	θx	θy	θz
A1	可動・固定 支承	M	F	F	F	M	F
P3		M	F	F	F	M	F
A2		M	F	F	F	M	F
P1	ピン支承	F	F	F	F	M	F
P2		F	F	F	F	M	F

*M：自由、F：固定

表-2 耐震安全性照査規定

客部材		照査指標	許容値
上部工	主要部材	床版	鉄筋降伏以内
	補剛桁、アーチリブ、端支柱、支柱	軸力と曲げを同時に受ける部材	$2\varepsilon_y$
	二次部材	斜材、横桁	ε_{95}
	縦桁	軸力と曲げを同時に受ける部材	弾性横ねじれ座屈モーメント
	上横構、下横構、下横支材、対傾構、水平補助材	曲げ部材	座屈荷重
橋脚		P3橋脚(RC橋脚)	許容曲率、せん断耐力、許容残留変位に対する照査
支承		固定可動支承、ピン支承	移動量、上揚力、水平力に対する照査
付加モデル		スラブアンカー	最大荷重に対する照査

表-3 解析条件

地盤種別	種地盤
入力地震波	Type (それぞれ標準波3波)
入力方向	橋軸直角方向
解析手法	直接積分法
数値積分手法	ニューマークのβ法
積分時間間隔	0.01秒
減衰タイプ	レイリー減衰(1次と4次を採用)
地域区分	C2=1.0
材料非線形	鋼材,RC床版 ファイバーモデル
	P3橋脚 M-φモデル(修正武田モデル)

キーワード 上路式鋼アーチ橋 耐震補強対策 ファイバー要素 スパンドレルブレースド
連絡先 〒819-0395 福岡県福岡市西区元岡 744 九州大学大学院 TEL092-802-7803

の支承で耐力不足となった．これから，支承上揚力低減に着目して，補強対策を検討した．

4.3 補強対策結果

本研究では表-5 に示す 5 種類の補強案を考えた．CASE1 では床版重量を 2/3 に低減し，CASE2 では A1,A2,P3 橋脚の支承部にダンパーを設置した．CASE3 では P3 橋脚の増厚を行い，CASE4 では端支柱対傾構(斜材部)にダンパーを設置した．図-2 に示す補剛桁とアーチリブの着目箇所に着目して，現況解析結果と，補強対策結果を比較し，各案の補強効果と有効性を検討した．

(1) 支承上揚力への効果

各ケースの上揚力低減効果を図-5 に示す．可動支承部(A1,P3,A2)では CASE2-2 が上揚力低減に有効であり，ピン支承部(P1,P2)では CASE4 が有効である．それらを組み合わせた CASE5 が応答低減に一番有効である．しかし，効果的な補強案を組み合わせた CASE5 でも P3 支承以外で耐力不足となっている．また，床版軽量化が施工上困難であることが懸念される．そこで，床版軽量化による効果を効果的なダンパー設置により置き換えることを考えた．

(2) 床版軽量化に変わる補強案と応答低減効果

床版軽量化による応答低減効果をダンパー設置により補うため，補強案 CASE6 を新たに考えた．CASE6 のダンパー設置箇所を図-4 に示す．CASE5 と異なる点は，端支柱対傾構ダンパーをより効果的な上部へ設置し，ダンパー数を減らしたこと．そして床版軽量化を，アーチリブにおいて応答低減に効果的であった，アーチリブ端部下横構へのダンパー設置へと変えたことである．図-5 に CASE6 の応答低減効果を示す．P3 支承以外は，CASE6 の方が応答低減に貢献しているが，支承部が依然として耐力不足となっている．床版軽量化による効果を効果的なダンパー設置により十分補うことができたが，支承に耐力不足箇所が把握できるため，今後支承自体の補強対策が必要である．

5. まとめ

対象橋梁の耐震性能を把握した後，支承上揚力低減対策として各補強案を検討したところ，効果的な補強案を組み合わせた CASE5 が一番有効であった．しかし，依然として支承に耐力不足箇所が見られるため，今後支承の補強対策を検討する予定である．また，応答低減対策の具体化や，概算工事費を詰めていく必要がある．

参考文献

- 1) 土木学会鋼構造委員会；鋼構造物の耐震解析用ベンチマークと耐震設計法の高度化，2000．4．
- 2) 社団法人日本道路協会；道路橋示方書・同解説，2002．3．

表-4 支承上揚力現況解析結果

	応答値Pmax (kN)	上限値Pa (kN)	判定 (Pmax/Pa)
A1支承	3742	150	24.9
P1支承	15850	5000	3.2
P2支承	22856	5000	4.6
P3支承	3573	400	8.9
A2支承	5732	200	28.7

表-5 各補強案の概要

CASE1	床版軽量化	床版重量を2/3に低減
CASE2	CASE2-1 橋軸ダンパー CASE2-2 直角ダンパー	支承部に履歴摩擦型ダンパー 設置箇所：A1橋台，P3橋脚，A2橋台
CASE3	橋脚の増厚	初降伏モーメントで約2倍程度の耐力増
CASE4	端支柱ダンパー	端支柱部に低降伏点鋼を芯材とする 座屈ブレスダンパー
CASE5	組み合わせケース (CASE1+CASE2-2+CASE4)	CASE1～4のうち支承上揚力の応答低減に 効果的な補強法を組み合わせ

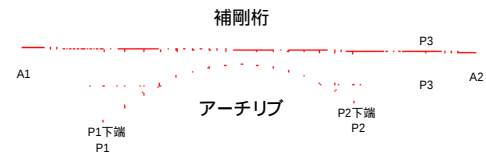


図-2 着目箇所

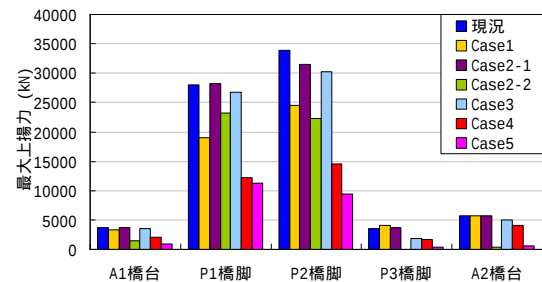
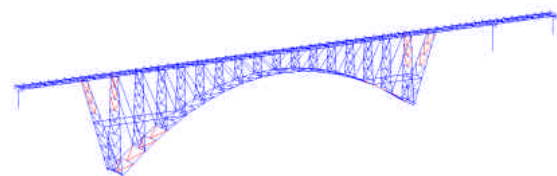


図-3 支承上揚力



【Case5】 端支柱対傾構(全て)+床版軽量化+支承ダンパー(直角)

【Case6】 端支柱対傾構(上部)+下横構+支承ダンパー(直角)

図-4 Case6のダンパー設置箇所

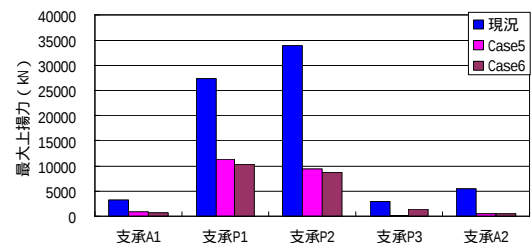


図-5 床版軽量化に変わる効果