

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 $\sigma - \epsilon$ 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 $2\epsilon_y$ 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 ($\beta=1/4$) 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 次モードを採用した。

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り、下部工では橋脚そのものが耐力不足となった。また、表-4 に示すように、すべての

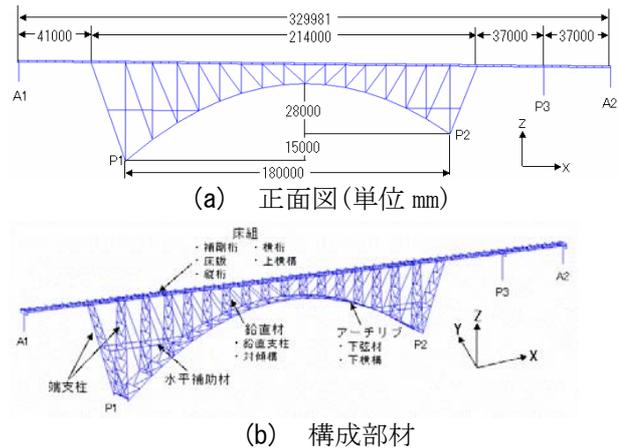


図-1 橋梁一般図

表-1 各支承線上の境界条件

支承タイプ	Dx	Dy	Dz	θ_x	θ_y	θ_z
A1	M	F	F	F	M	F
P3	M	F	F	F	M	F
A2	M	F	F	F	M	F
P1	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

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

表-3 解析条件

地盤種別	I種地盤
入力地震波	Type I, II (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	Cz=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)

表-4 支承上揚力現況解析結果

	発生値Pa	上限値Pmax	判定	
	(kN)	(kN)		Pa/Pmax
A1橋台	3742	150	OUT	24.9
P1橋脚	15850	5000	OUT	3.2
P2橋脚	22856	5000	OUT	4.6
P3橋脚	3573	400	OUT	8.9
A2橋台	5732	200	OUT	28.7

支承で耐力不足となった。これらから、支承上揚力低減に注目して、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) 補剛桁における最大応答変位の比較

各ケースの補剛桁における最大応答変位を図-3 に示す。この結果から、CASE2-1,3 以外は応答変位低減に有効である。特に CASE1,4 が上部構造の応答変位低減効果があり、当然のことながら組み合わせケース (CASE5) はさらに効果が大きい。CASE3 によれば、P3 橋脚を増厚したのみでは上部構造への影響がほとんどないことがわかった。

(2) アーチリブにおける最大応答変位の比較

各ケースのアーチリブにおける最大応答変位を図-4 に示す。補剛桁の場合と同様に、CASE2-1,3 以外は応答変位低減に有効である。アーチリブに関しても、組み合わせケース (CASE5) が応答低減に一番効果があった。橋軸直角方向加震であるため、橋軸ダンパーより橋軸直角ダンパーの方が応答変位低減に有効であった。

(3) 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。支承上揚力に関しても、組み合わせケース (CASE5) が応答低減に一番有効である。P1, P2 支承では 45~25%, P3 橋脚では 10%以下に低減している。しかし、応答値低減により効果的であった CASE5 でも A1, A2 支承で依然として耐力不足となっており、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-5 各補強案の概要

ケース	補強策	補強の概要
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 座屈プレスダンパー
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

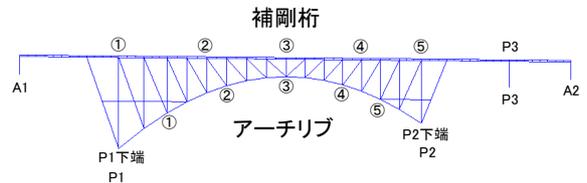


図-2 着目箇所

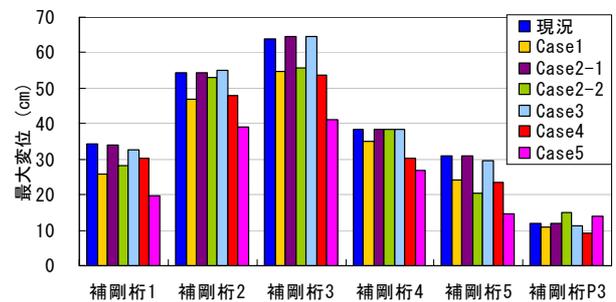


図-3 補剛桁の最大応答変位

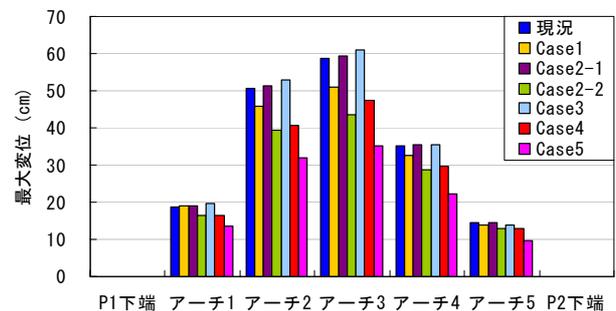


図-4 アーチリブの最大応答変位

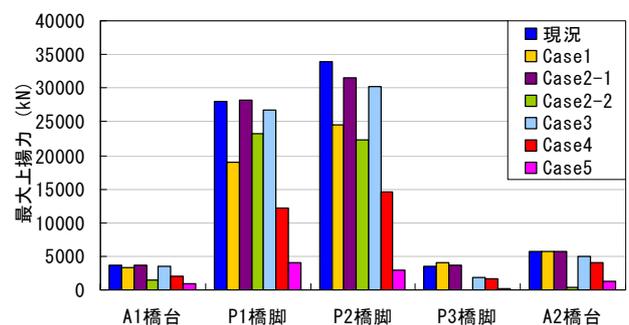


図-5 支承上揚力