

鋼上路式アーチ橋の耐震性向上に対する考察

パシフィックコンサルタンツ(株) 正会員 ○太田 あかね  
 パシフィックコンサルタンツ(株) フェロー 新井 雅之  
 パシフィックコンサルタンツ(株) 正会員 森崎 啓  
 九州大学大学院 フェロー 大塚 久哲

1. はじめに

既設アーチ橋の耐震補強対策において、主な課題の一つに橋軸直角方向地震時における支承部の上揚力が挙げられる。地震時慣性力による端支柱部のロッキング挙動に伴うものであるが、特に上路式アーチは支柱高が高いためこの問題が顕著となる。さらに、アーチアバット部ピン支承は構造上死荷重が大きくなることから支承の一括交換が困難であり、補強対策は支承周辺への補助的な装置の設置となり大幅な効果の発現が困難となる。このため耐震補強施工事例も少ないのが現状である。著者らは、鋼上路式アーチ橋を解析対象とした既往の研究において応答低減効果の研究を行い、以下の知見を文献1)にて公表している。

- ① 上路式アーチ橋の耐震安全性照査規定の提案(表-2)
- ② 上揚力低減効果の検証
  - 1) 端支柱対傾構部材の軸降伏ダンパーへの取替え
  - 2) 可動支承部に高減衰ダンパーの設置

各部材の応答低減は図れたものの支承上揚力は許容値内に収まらず今後の研究課題とするところであった。そこで、地震後に復旧が可能と考えられる範囲で一部支承の損傷を許容し、ピン支承部の損傷メカニズム(支承を構成する各部材の損傷要因と損傷過程)を明確にした上でこれを支承モデルに導入した解析を行った<sup>2)</sup>。さらに他の応答低減対策との効果的な組合せ解析により、最終的にピン支承、上部構造の各部位を所定の耐震性能以内に収める補強方法の提案を行った。

2. 解析モデルおよび耐震安全性照査規定

本研究で対象とした橋梁は、橋長 330m の鋼製上路式アーチ橋(スパンドレルブレースドアーチ橋)である。架設地盤は I 種、昭和 53 年及び昭和 55 年度の道路橋示方書に基づき設計された。図-1 に橋梁一般図、表-1 に支承条件を示す。下部工は P1, P2 橋脚がアーチアバット、P3 が張出式橋脚である。解析モデルでは、鋼部材および RC 床版はファイバー要素を用い、全ての部材を重心位置において独立したモデルとし、床版と補剛桁のスラブアンカーによる結合状況も非線形バネでモデル化した。各部材の耐震安全性照査規定を表-2 に示す。本研究では橋の重要度、部材の損傷形態に応じた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。

3. 現橋解析結果

キーワード 鋼上路式アーチ橋, 耐震性向上, ダンパー, ファイバーモデル

連絡先 〒819-0007 福岡市西区愛宕南 1-1-7 パシコン福岡ビル パシフィックコンサルタンツ株式会社 TEL 092-885-5011

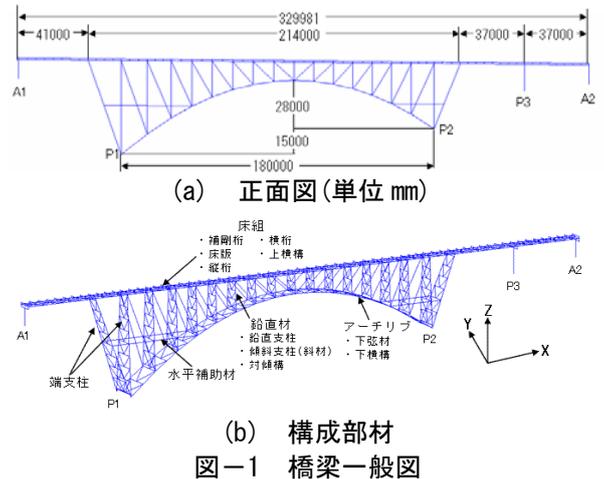


図-1 橋梁一般図

表-1 各支承線上の境界条件

支承タイプ	Dx	Dy	Dz	$\theta_x$	$\theta_y$	$\theta_z$
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

I	上部工	各部材		照査指標	許容値
		主要部材	補剛桁、アーチリブ、端支柱、鉛直支柱	軸力と曲げを同時に受ける部材	$2\epsilon_y$
I	上部工	二次部材	床版	軸力と曲げを同時に受ける部材	鉄筋引張強度以内
			斜材、横桁	受ける部材	$\epsilon_u$
		縦桁	曲げ部材	弾性横ねじれ座屈モーメント	
II	橋脚	上横構、下横構、下横支材、対傾構、水平補助材	軸力部材	座屈荷重	
		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	
III	支承	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	

表-3 現橋解析結果 (支承上揚力)

	発生値Pa (kN)	上限値Pmax (kN)	判定	
			照査	Pa/Pmax
A1 橋台	3742	150	OUT	24.9
P1 橋脚	28021	5000	OUT	5.6
P2 橋脚	33888	5000	OUT	6.8
P3 橋脚	3573	400	OUT	8.9
A2 橋台	5732	200	OUT	28.7

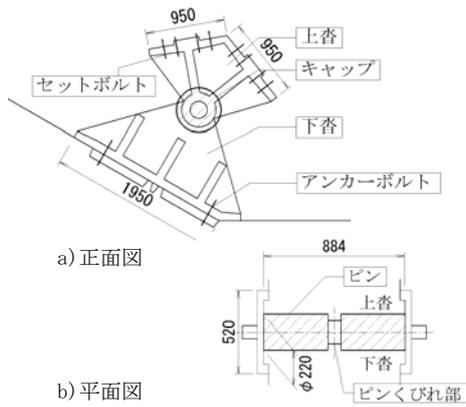
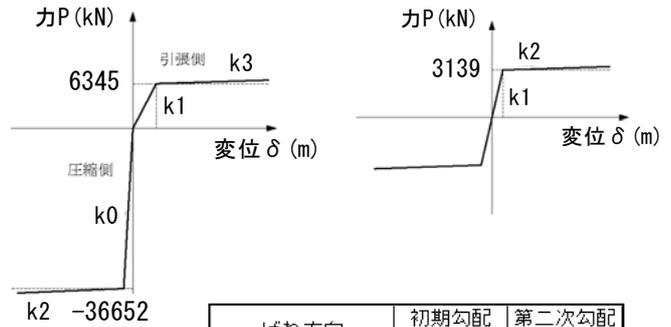


図-2 ピン支承部概要図



ばね方向		初期勾配 (kN/m)	第二次勾配 (kN/m)
鉛直方向	圧縮側	k0 1.6×10 <sup>8</sup>	k2 k0/200
	引張り側	k1 5.4×10 <sup>6</sup>	k3 k1/50
橋軸方向・直角方向		k1 3.9×10 <sup>6</sup>	k2 k2/100

図-3 P1, P2 支承の骨格曲線

表-4 各補強案の概要

CASE1	ダンパー設置(可動支承部直角方向)	履歴摩擦型ダンパー
CASE2	P3橋脚補強	初降伏曲げで2倍程度の耐力増
CASE3	ダンパー設置(端支柱)	低降伏点鋼を用いた座屈部レースダンパー
CASE4	ダンパー設置(下横構)	

現況解析結果を表-3, 6 に示す. 上部工は床版, アーチリブ, 端支柱など部材が耐力不足となり, 支承上揚力に対して大きく耐力不足となった.

#### 4. ピン支承モデル化

ピン支承部の概要図を図-2 に, 支承履歴曲線を図-3 に示す. 支承モデルは, 支承部の鉛直方向, 橋軸方向, 橋軸直角方向の降伏点を考慮した非線形ばねとしてモデル化した. 各方向の降伏荷重は, 支承を構成する全部材の各方向における降伏荷重を算出し, その中から最弱降伏荷重を抽出してこれを折れ点とするバイリニアモデルとした. 支承上揚力に対して上杓側セットボルトの塑性化を許容し, 引張限界伸び(16%)に達しないことを確認した.

#### 5. 耐震性向上検討結果

表-4 に, 今回適用した応答低減対策 4 案を示す. 端支柱および下横構ダンパー設置箇所は, 小数で効果的な設置箇所をトライアル計算により設定した. 表-5 に, ピン支承部の補強対策を示す. 現橋では上揚力に対してキャップが最弱部材であったが, じん性に期待できないため補強部材と交換しセットボルトを最弱部材とした. セットボルトは降伏するものの許容伸び(5cm)以内であった. 上部工各部材の耐震安全性照査結果を表-6 に示す. 現橋解析で 41 箇所の耐力不足が確認されていたが, 全部材で許容値を満足する結果となることが明らかとなった.

#### 6. まとめ

ピン支承部の損傷プロセスを明らかにした上で, 一部, 部材のじん性に期待し塑性化を許容した耐震設計を行った. 加えて, 比較的容易に設置可能な部位には効果的にダンパーを採用することで, 各部材の耐震性能を満足する結果となった. 支承部の大規模地震時における損傷の許容範囲については今後の研究課題である.

【参考文献】 1) 太田あかね, 他; 鋼上路式アーチ橋の耐震補強対策に対する検討, 構造工学論文集 Vol. 53A, 2007. 3, pp418-427 2) 大塚久哲, 他; 兵庫県南部地震における鋼製ピン支承の破壊プロセスに関する実験的考察, 鋼構造論文集第 7 巻第 28 号, 2000, 12, pp. 19-31

謝辞 当研究を進めるにあたり, 解析演算, 結果の評価等に関して九州大学大学院卒業生野原秀彰氏に多大なるご協力いただいた. ここに記して厚くお礼申し上げます.

表-5 ピン支承部の補強対策方針

	最弱部材	補強対策	要求性能
引張	キャップ	部材を交換し, 耐力向上によりセットボルトを最弱部材にシフト 部材厚62.5mm→76mm	降伏以内
	セットボルト	応答低減機能により, 応答低減を図って所定の許容値以内とする	セットボルトの引張限界伸び以内 ひずみ量16%
圧縮	下杓		降伏以内
橋軸直角	アンカーボルト	サイドブロック	降伏以内
橋軸	アンカーボルト		降伏以内

表-6 耐震安全性照査結果(上部工)

	集計	照査結果			
		現橋解析	応答低減対策後		
上部工	主要部材	下弦材	OUT箇所数	4	0
			最大超過率	3.115	—
			平均超過率	2.630	—
		端支柱	OUT箇所数	3	0
			最大超過率	4.817	—
			平均超過率	3.189	—
	二次部材	床版	OUT箇所数	23	0
			最大超過率	6.400	—
			平均超過率	1.516	—
		斜材	OUT箇所数	2	0
			最大超過率	3.813	—
			平均超過率	3.762	—
上横構	OUT箇所数	1	0		
	最大超過率	1.185	—		
	平均超過率	1.185	—		
下横構	OUT箇所数	8	0		
	最大超過率	1.163	—		
	平均超過率	1.160	—		