

制震デバイスを用いた鋼上路式アーチ橋（南阿蘇橋）の耐震補強

中央コンサルタンツ(株) 福岡支店 正会員 〇田中 祐介 正会員 荒木 和哉
 正会員 石松 健次 永井 文規
 阿蘇地域振興局 重石 則善 府内 春奈

1. はじめに

鋼アーチ橋の耐震補強方法としては、部材の耐力不足に対して、あて板補強やコンクリート充填といった部材の耐力増加及び剛性向上により地震力に抵抗する方法が一般的である。しかし、この場合荷重増加や短周期化により断面力が増加する恐れがあるとともに、アーチリブ支点部に大きく作用する押込力や上揚力といった反力を抑制できず、ピン支承や基礎の安全性に対して課題が残り大規模な補強となりかねない。本稿は、鋼上路式アーチ橋である南阿蘇橋について、前述したような課題を解決すべく制震デバイスを用いて耐震補強対策を行った結果について概説するものである。

2. 設計条件

2.1 対象橋梁概要

南阿蘇橋は昭和 46 年に竣工された、橋長 110m、アーチ支間 80m の鋼上路式アーチ橋(逆ローゼ)である。下部工は A1, A2 が逆 T 式橋台、AA1, AA2 がアーチアバットであり、基礎形式は AA1 のみ深礎杭、他は直接基礎である。支承条件は A1, V1, V11, A2 が可動支承、AA1, AA2 がピン支承となっている。図-1 に橋梁一般図を示す。

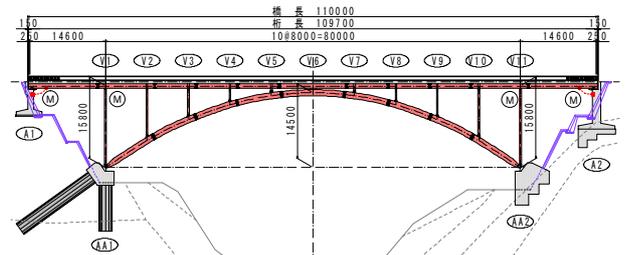


図-1 橋梁一般図

2.2 解析モデル及び解析条件

図-2 に解析に用いた 3 次元骨組みモデルを示す。部材のモデル化については、鋼部材は全て、部材断面を微小要素に細分化し、各微小要素の材軸方向の応力-ひずみ関係の制御のみで部材の非線形性を表現するファイバー要素とした。RC 床版は線形はり要素とし、仮想剛部材を介して補剛桁に結合し、床版と補剛桁との合成効果を表現した(図-3)。補剛桁、アーチリブと鉛直材との結合条件はピン結合とし、アーチクラウン (V6 鉛直材) 部は剛結合としている。

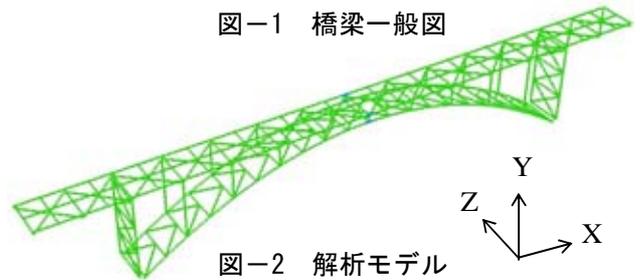


図-2 解析モデル

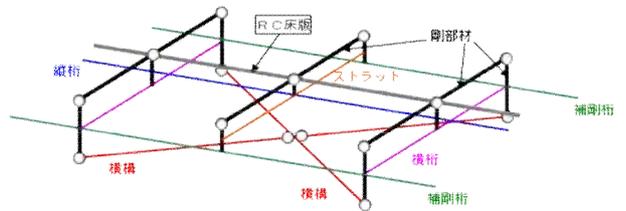


図-3 床版・補剛桁のモデル化

解析手法は材料非線形及び幾何学非線形を考慮した時刻歴応答解析法(直接積分法)とし、積分法は Newmark-β 法 (β=0.25) を用いた。なお、積分時間間隔は 0.01 秒とした。解析に用いる地震波は、タイプ I・II (I 種地盤) をそれぞれ 3 波用い、地域別補正係数 0.85 (B 地域) を乗じた。減衰は Rayleigh 減衰を用いた。

2.3 照査方針^{1) 2)}

鋼部材については、橋梁全体における部材の重要度、及び損傷した場合の補修・取替の容易さにより主部材と 2 次部材とに分類した。主部材はその損傷が落橋に繋がりがねないことと取替が困難であることを考慮し、降伏させないこととした。なお、圧縮側の降伏ひずみについては、幅厚比パラメータにより低減した。

表-1 各部材の照査方針

部 材		許容値
鋼部材	主部材	アーチリブ、鉛直材、補剛桁、横桁、縦桁 ϵ_y (降伏ひずみ)
	2次部材	端柱水平材・対傾構、上横構、アーチ水平材・横構 ϵ_u (終局ひずみ)
支承部各部材		降伏以内
深礎杭		降伏以内

2 次部材は、その損傷が橋梁全体へ及ぼす影響が小さいことと、取替の容易さを考慮し終局に至らないことを照査することとした。表-1 に各部材の照査方針を示す。

3. 現況耐震性能照査結果

図-4 及び図-5 はそれぞれ橋軸方向及び橋軸直角方向の地震動（タイプⅡ）に対する現況照査の結果，許容値を超過した部材を示している．橋軸方向地震動に対しては，アーチリブ，補剛桁，端柱などの主部材，深礎杭が許容値を満足しなかった．橋軸直角方向地震動に対してはアーチリブ，端柱などの主部材に加え，水平材，対傾構，横構といった2次部材についても許容値を超過した．また，支承部，深礎杭についても許容値を満足していない．

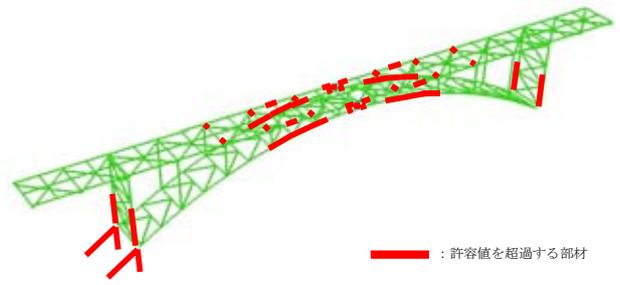


図-4 現況照査結果（橋軸タイプⅡ）

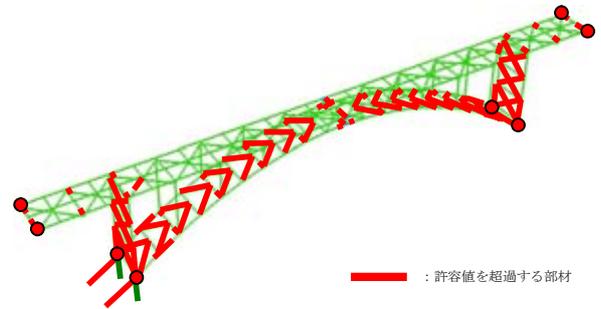


図-5 現況照査結果（直角タイプⅡ）

4. 耐震補強対策

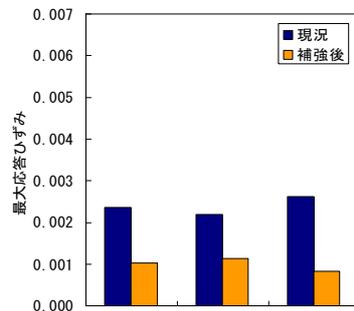
4.1 補強対策概要

補強対策としては，1) 耐力増加案（あて板補強，リブ補強），2) 剛性向上案（コンクリート充填，斜材等追加），3) 制震装置設置案（粘性ダンパー，ダンパーブレース等設置）の3ケースについて構造的，施工性，経済性を考慮し比較検討を行い，3) 制震装置設置案を採用した．採用案の主な対策の概要は以下の通りである．

- ・粘性ダンパー設置：桁端部に 750kN ダンパーを設置し，橋軸方向地震時における各部材の応答を低減させた．
- ・ダンパーブレース設置：端柱対傾構及びアーチ部横構の一部を座屈拘束型ダンパーブレースと取替えることにより，橋軸直角方向地震時における各部材の応答値及び支点部に作用する反力を低減させた．

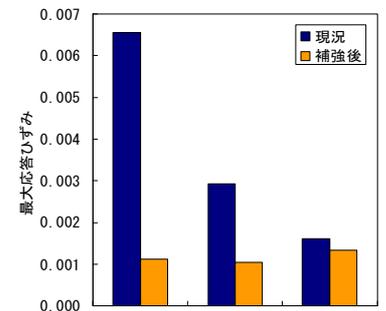
4.2 補強対策効果

主要部位における補強対策効果を図-6～8 に示す．橋軸方向地震時における主要部位の応答ひずみは，補剛桁端部に設置した粘性ダンパーにより最大 68%低減されている（図-6）．また，橋軸直角方向地震時における主要部位の応答ひずみは，端柱対傾構及びアーチ部横構に設置したダンパーブレースにより最大 83%低減されている（図-7）．さらに，課題であった直角方向地震時におけるピン支承部の反力についても，押し込み力は 58%，上揚力は 86%低減された（図-8）．



部材名	現況	補強後	低減率
① アーチリブ	0.00235	0.00103	56%
② 補剛桁	0.00218	0.00113	48%
③ アーチクラウン	0.00261	0.00084	68%

図-6 応答ひずみの変化（橋軸タイプⅡ）



部材名	現況	補強後	低減率
① アーチリブ	0.00656	0.00112	83%
② 端柱	0.00292	0.00105	64%
③ 横桁	0.00162	0.00133	18%

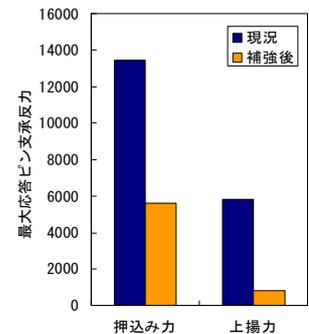
図-7 応答ひずみの変化（直角タイプⅡ）

5. まとめ

現況状態において要求される耐震性能を有していない鋼上路式アーチ橋に関して，粘性ダンパーやダンパーブレースといった制震デバイスを用いた耐震補強対策を行った．制震デバイスを用いることにより鋼重を大幅に増加させることなく，支承部を含め大規模地震動に対する耐震性能を確保することができた．さらに経済性においても，あて板やリブ補強により部材の耐力を増加させる案に比べおよそ 60%のコスト縮減を図ることができた．

参考文献

- 1) (社) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説，2002.3
- 2) (社) 土木学会：鋼・合成構造標準示方書【耐震設計編】，2008.2



部材名	現況	補強後	低減率
① 押し込み力	13437.457	5612.069	58%
② 上揚力	5839.683	810.881	86%

図-8 支点反力の変化（直角タイプⅡ）