

軸力変動を考慮した中路式鋼アーチ橋の非線形応答解析

大江 豊¹・劉 貴位¹・水田 洋司²・大塚 久哲³

1 正会員 (株) 構造技術センター

(〒 812-0011 福岡市博多区博多駅前 3-5-7)

2 正会員 工博 九州産業大学 教授 工学部土木工学科 (〒 813-8503 福岡市東区松香台 2-3-1)

3 フェロー 工博 九州大学大学院教授 工学研究科建設システム工学専攻 (〒 812-0053 福岡市東区箱崎 6-16-10)

Key Words : nonlinear response analysis, half-through steel arch bridge, axial force, plastic hinge

1. まえがき

平成8年12月の道路橋示方書¹⁾の改訂により、耐震設計法は大きく変わった。新示方書によれば、地震時の挙動が複雑ではない橋梁については、震度法および地震時保有水平耐力法を用いることができるが、アーチ橋のように地震時の挙動が複雑な橋梁については動的解析を行い、その結果を設計に取り入れるように規定されている。しかしながら、新示方書に準拠して鋼アーチ橋の耐震性を検討した事例²⁾はまだ少ないのが現状である。本論文では昭和48年に宮崎県西臼杵郡高千穂町で架設された鋼中路式ローゼ橋(図-1)を対象橋に取り上げ、新示方書に基づいた動的解析を行い、耐震性の検討を行った。作用地震波は、日本道路協会の振幅調整波(タイプⅠ・タイプⅡ)で、橋軸方向及び橋軸直角方向に別々に作用させ、そのときの動的応答をTDAPⅢを使用して求めた。

まず、鋼アーチ橋の固有振動数を算出する際に、床組

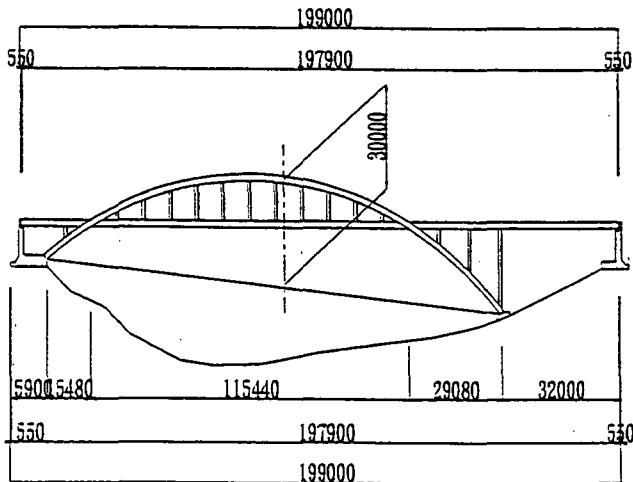


図-1 鋼中路式ローゼ橋側面図 (単位:mm)

とRC床版の剛性がどの程度で影響するかを検証するために、これらの剛性評価の有無について固有振動数解析を行った。次に、塑性化する可能性のある部材を判定する目的として、線形時刻歴応答解析(Case-1)を行った。更に、非線形時刻歴応答解析(Case-2)を行い、塑性域をCase-1の塑性域と比較することにより弾塑性応答の影響を検討した。地震時にピン支承(左端)付近の桁に過大な軸応力が予想され、補剛桁のピン支承が破壊する恐れがある。このため、補剛桁の支点をローラにして地震時の慣性力を全てアーチリブ部材に持たせるCase-3についても非線形時刻歴応答解析を行った。Case-1,2,3の比較を通して鋼アーチ橋の弾塑性応答特性を調べた。

2. 解析モデル

3次元立体解析骨組モデルを図-2に示している。アーチリブ、補剛桁および横支柱はビーム要素で、他の部材はすべてトラス要素である。当該橋の基礎は直接基礎であるため、地盤バネは考慮していない。また、地域別補正係数の地域区分はBとしている。

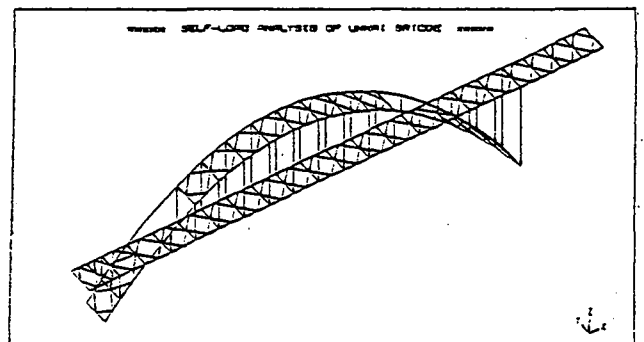


図-2 3次元立体解析骨組モデル図

表-1 入力条件一覧表

	線形動的解析	非線形動的解析
解 析 手 法	直接積分法	
積 分 手 法	Newmark β 法 $\beta=0.25$	
入力地震動波形	タイプⅡ-1	タイプⅠ・Ⅱ(1~3)
全体質量行列	分布質量行列	
モード減衰のタイプ	歪みエネルギー比例型	

3. 固有値解析と実験値

鋼アーチ橋の固有振動数の算出に、床組と床版の剛性をどの程度考慮するかを検証するために、床組と床版剛性評価の有無について固有値解析を行った。表-2は各次モードの解析値と実験値である。この結果より、鋼アーチ橋の固有値解析には、床組と床版の剛性を適切に評価する必要のあることがわかった。

表-2 固有振動数の一覧表 (Hz)

		実 験 値	床版・床組無	床版・床組有
鉛直振動	1	1.028	0.899	1.029
	2	1.780	1.465	1.752
	3	2.282	1.937	2.355
	4	2.859	2.287	3.474
面外振動	1	0.929	0.784	1.001
	2	1.738	1.091	1.290
	3	1.874	1.868	2.184
	4	2.429	2.477	3.950

3. 線形時刻歴応答解析

塑性化する可能性のある部材を把握するために、タイプⅡ-1の地震波(1995 Jma Kobe Obs Amax=-812.020 gal)を橋軸方向および橋軸直角方向に作用させ、線形時刻歴応答解析を行った。ここで得られた各部材の最大軸力と最大曲げモーメントを重ね合わせて算出した部材の応力度が基準降伏点より大きいかな否かを調べた。図-3の太い線は、地震波をそれぞれの方向で入力した時に塑性化する可能性のある部材の発生位置をプロットしたものである。図-3(a)は地震波を橋軸方向に作用させた時の応答で、(b)は橋軸直角方向に作用させた時の応答である。

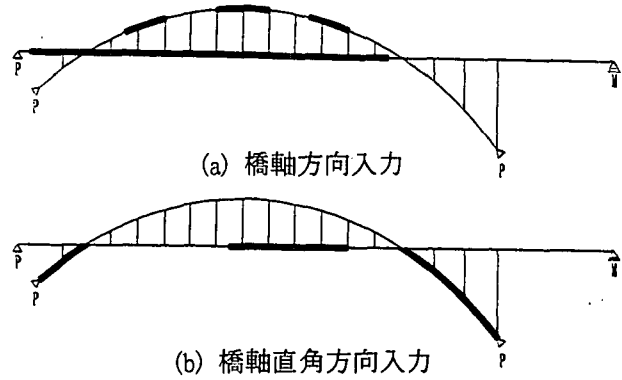


図-3 塑性化する部材の発生部位 (Case-1)

4. 軸力変動を考慮した弾塑性バイリニアモデル

アーチリブ部材と補剛桁部材のすべてを軸力変動を考慮した弾塑性バイリニアモデルとして、非線形時刻歴応答解析を実施した。軸力変動を考慮したバイリニアモデルは阪神道路公団の既設鋼製橋脚の耐震補強設計要領(素案)²⁾に基づいて設定している。アーチリブ部材の断面の縦リブの剛度とその必要剛度の比(γ/γ^*)はほぼ $1.0 \leq \gamma/\gamma^* < 3.0$ であるため、阪神公団の設計要領に準拠して、各アーチリブ部材の終局ひずみ(ϵu)は降伏ひずみ(ϵy)の10倍に設定した。一例として、算出したアーチリブ部材(Sec-5)の軸力変動を考慮した弾塑性バイ

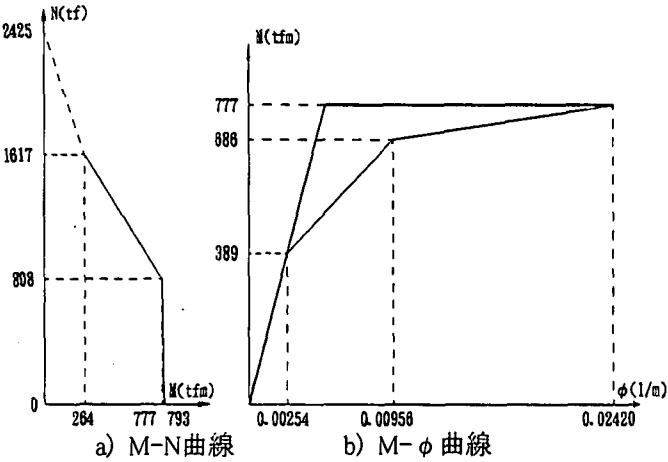
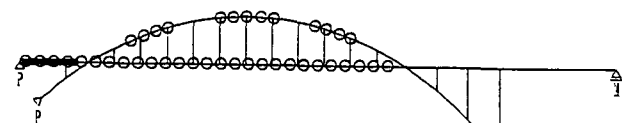


図-4 Sec-5 の弾塑性バイリニアモデル

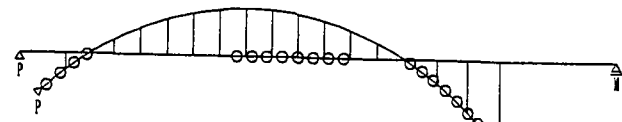
5. 非線形時刻歴応答解析

地震波を橋軸方向および橋軸直角方向に作用したとき、非線形時刻歴応答解析(Case-2)で得られた塑性化する部材の位置をそれぞれ図-5に示している。図-5(a)は地震波を橋軸方向に作用させたときの応答で、(b)は橋軸直角方向に作用させたときの応答である。図の太い線は塑性化する部材の発生部位である。比較のために、Case-1

で得られた塑性化する可能性のある部材を“o”印で示している。Case-2の補剛桁部材のM-N履歴曲線およびM- ϕ 履歴曲線をそれぞれ図-6、図-7に示し、アーチリブ部材のM-N履歴曲線およびM- ϕ 履歴曲線をそれぞれ図-8、図-9に示す。



(a) 橋軸方向入力



(b) 橋軸直角方向入力

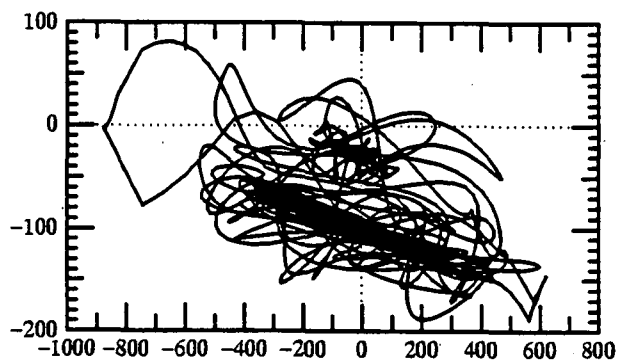


図-6 補剛桁部材のM-N履歴曲線

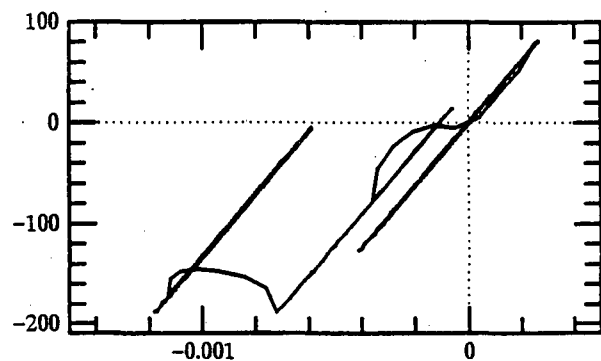


図-7 補剛桁部材のM- ϕ 履歴曲線



図-8 アーチリブ部材のM-N履歴曲線

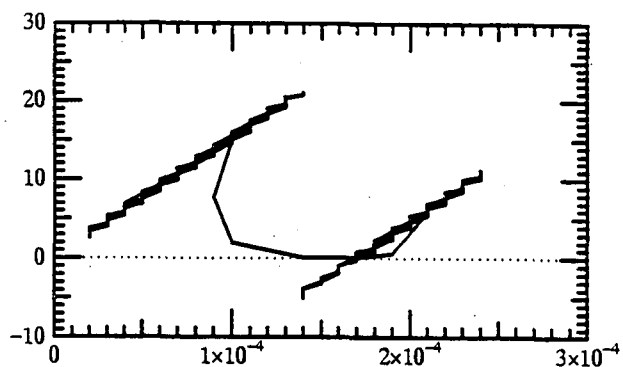


図-9 アーチリブ部材(234)のM- ϕ 履歴曲線

補剛桁の支点をすべてローラーとしたCase-3の解析結果によれば、橋軸方向入力の場合は地震動波形のタイプⅠ、タイプⅡを問わず、すべての部材が塑性域に達していないことがわかった。橋軸直角方向入力の場合は塑性化する部材の発生位置はCase-2と同じであることが確認できた。

6. 各応答値の比較

Case-2、Case-3に対して地震動波形(タイプⅡ-1)を橋軸方向および橋軸直角方向に入力した場合について、アーチリブのL/4点の鉛直変位と断面力の比較を行った。各ケースの変位を図-10、図-11に示し、軸力および曲げモーメントを図-12～図-15に示している。図中の実線はCase-2の応答値で、破線はCase-3の応答値である。

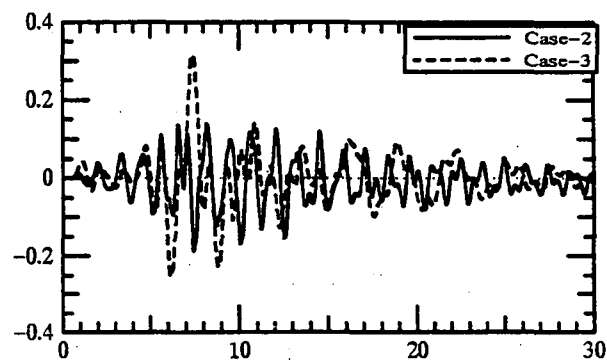


図-10 L/4点の鉛直変位(橋軸方向入力)

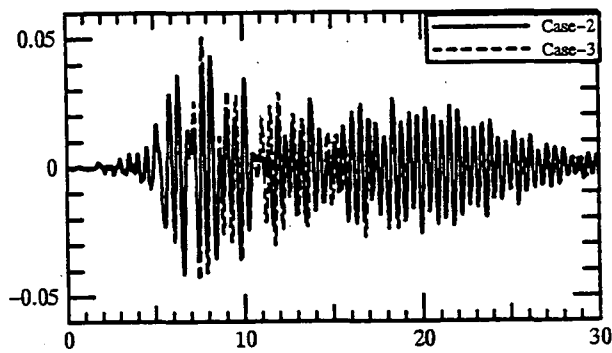


図-11 L/4点の鉛直変位(橋軸直角方向入力)

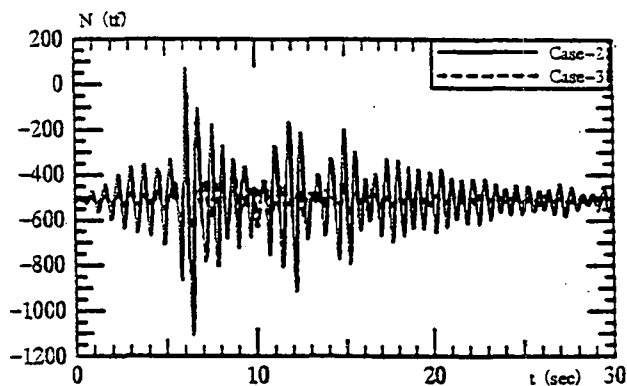


図-12 L/4点の軸力(橋軸方向入力)

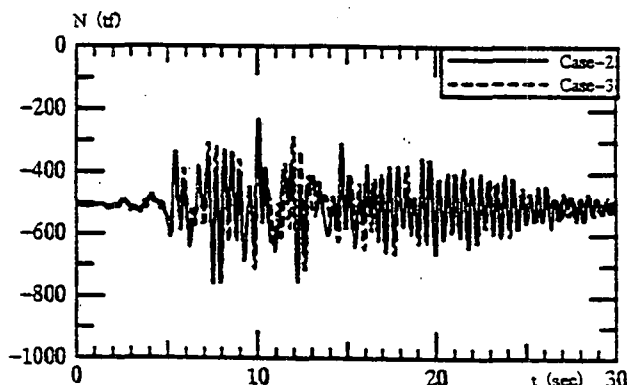


図-13 L/4点の軸力(橋軸直角方向入力)

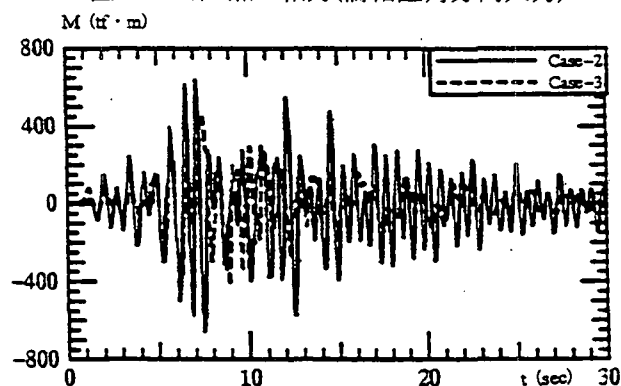


図-14 L/4点の曲げモーメント(橋軸方向入力)

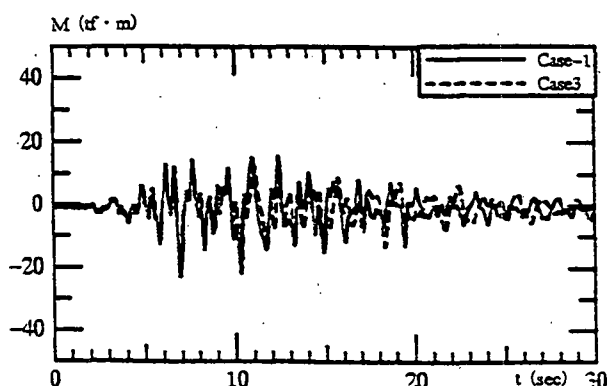


図-15 L/4点の曲げモーメント(橋軸直角方向入力)

7. 結論

昭和48年に宮崎県西臼杵郡高千穂町で架設された鋼

中落式アーチ橋の耐震性を新示方書(H8年12月)に基づいて検討した結果、以下のようなことがわかった。

①鋼アーチ橋の固有振動数を算出する際に、床版・床組の剛性を適切に評価する必要がある。

②線形時刻歴応答解析の方が非線形応答解析よりも塑性域に達している部材が多く発生している。

③非線形応答解析結果より橋軸方向の地震波入力では、補剛桁のピン支承から補剛桁とアーチリブの交点の間の補剛桁部材が塑性域に達し、アーチリブ部材は塑性域に至っていないことが判明した。橋軸直角方向の地震波入力では、右側アーチリブのピン支承付近の部材のみが塑性域に達していることも確認できた。

④地震時に補剛桁のピン支承が破壊された場合を想定した両端ローラ支承のCase-3では、橋軸直角方向の地震波入力でアーチリブの基部(右側)部材が塑性域に達し、橋軸方向の地震波入力では、すべての部材が塑性域に達していないことがわかった。

⑤橋軸方向の地震波入力ではCase-3の鉛直変位の最大応答値がCase-2の場合より大きくなっており、橋軸直角方向の地震波入力ではCase-3の鉛直変位の最大応答値はCase-2の場合とほぼ同じであることがわかった。

今回、地震波の入力方向を橋軸方向と橋軸直角方向に着目して、動的応答解析を行ったが、塑性域に達している部材の安全性評価については今後も引き続き検討の予定である。

謝辞

本論文の作成にあたり、対象橋梁の諸資料を提供していただいた宮崎県土木部道路建設課橋梁係の大田原宣治氏・巢山藤明氏と、共同研究メンバーである横河ブリッジ光田浩氏からの全面的な協力があつたことを記して感謝したい。

参考文献

- 1) 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説(I~V)
- 2) 阪神高速道路公団: 既設鋼製橋脚の耐震補強設計要領(素案)
- 3) (財) 土木研究センター: 耐震設計ソフトウェアに関する研究委員会報告書