

変動軸力の影響を考慮したRCアーチ橋の地震応答解析

東京工業大学大学院 正会員 堺 淳一(日本学術振興会特別研究員)
 東京工業大学大学院 F会員 川島一彦
 東京工業大学大学院 学生員 渡邊学歩

1. まえがき

兵庫県南部地震以後, RCアーチ橋の耐震性に対する関心が高まり, 各種の検討が行われている¹⁾. これらの研究では, アーチリブが降伏を超える曲げモーメントを受けると同時に軸力も大きく変動するため, 変動軸力が曲げ復元力特性に及ぼす影響を考慮した上で, RCアーチ橋の耐震性を評価することの必要性を指摘している. そこで, 本研究では, 変動軸力の影響を見込んだ場合のRCアーチ橋の地震応答特性を解明することを目的として, RCアーチ橋に対する非線形動的解析を行ったので, その結果を報告する.

2. 解析対象とするRCアーチ橋およびそのモデル化

解析対象とするのは, 図1に示す谷部横断タイプの上路式固定RCアーチ橋の橋軸方向の応答である. 本橋は昭和55年の道路橋示方書に基づいて設計されており, 橋長160m, 幅員9.5mの一等橋である. 耐震設計は震度法によって行われており, 設計水平震度は橋軸方向, 橋軸直角方向ともに0.18である. 図2にアーチリブスプリング部の配筋を示す. 軸方向鉄筋としてはD22が150mm間隔で配置されており, 軸方向鉄筋比は0.76%である. また, 帯鉄筋にはD19が150mm間隔で配置されている. 中間帯鉄筋は配置されておらず, D16のつなぎ筋が600mm間隔に配置されているだけである. ここで, つなぎ筋も横拘束筋とみなすと, 横拘束筋体積比 r_s は0.84%である.

このRCアーチ橋を153節点, 158要素の離散型骨組みモデルとしてモデル化した. アーチリブに作用する変動軸力がRCアーチ橋の地震応答特性に及ぼす影響に着目するため, アーチリブをファイバー要素でモデル化することとした. 比較のために, 変動軸力の影響を曲げ復元力特性に見込めないTakedaモデルによって, アーチリブの非線形復元力特性をモデル化した場合についても地震応答を求めることとした.

3. ファイバー要素に与えるコンクリートおよび軸方向鉄筋の応力度~ひずみ関係

図3は, スプリング部のコンクリートの応力度~ひずみ関係を示した結果である. ここで, コンクリートの拘束効果は, 堺の提案²⁾に基づき評価している. また, 除荷・再載荷履歴は, 図3(b)に示す堺の提案モデル²⁾によって表すこととした. 軸方向鉄筋の応力度~ひずみ関係には, Bauschinger効果を考慮するために, 図4に示すMenegotto-Pintoモデルを用いた.

4. RCアーチ橋の地震応答特性

図5は, 本橋の主要な振動モードを示した結果である. 1次モードの固有周期は1.07秒で, 水平方向の応答が卓越する逆対称モードであり, 4次モードの固有周期は0.32秒で, 上下方向の応答が卓越する対称モードである.

地震応答解析には, JR鷹取駅のNS, UD成分の記録を用いた. 動的解析では, 積分時間間隔 $\Delta t=1/1000$ 秒として, Newmarkの一定加速度法による直接積分を用いた. 運動方程式の減衰行列を作成する際には, 非線形履歴を考慮する部材に対して2%, それ以外の部材に対して5%の減衰定数を仮定し, ひずみエネルギー比例減衰法によって各モードの減衰定数を求めた. こうして得られた1次と4次のモード減衰定数をもとにRayleigh型減衰を仮定した. 地震応答を求める前に, 自重によってアーチリブに生じる変位, 断面力を求め, この結果を初期値として地震応答を求めることとした. 以上の条件のもと, RCアーチ橋の地震応答を求め, これをアーチリブの最大応答として示した結果が図6である. ファイバー要素でモデル化した場合には, スプリング部の軸力は自重による軸力から ± 45 MNの範囲で変動する. これは, 自重による軸力の0~2倍に相当する. また, ファイバー要素によりアーチリブをモデル化する場合はTakedaモデルによりモデル化する場合よりも最大圧縮軸力が10~30%大きいこと, 両側のスプリング部とアーチ1/4点, 3/4点付近においてアーチリブが降伏することがわかる. ここで, 左岸側のスプリング部を例として, 履歴曲線を示すと図7のようになる. ファイバー要素を用いた場合には正側, 負側の最大曲率はおおむね0.0025/mと同程度であるが, Takedaモデルを用いた場合には正側の最大曲率0.0018/mに対して負側では0.0038/mと, 負側に偏った応答となる. 軸力~曲げモーメントの履歴によれば, 曲げモーメントが最大となるときに軸力もおおむね最大となるため, ファイバー要素を用いる場合には, 変動軸力の影響により最大曲げモーメントが左岸, 右岸側ともに170MNmを超えている. これは自重による軸力が作用した場合の終局曲げモーメント(146MNm)の1.16倍に相当する. 以上より, RCアーチ橋の耐震性を評価する際には, 変動軸力の影響を取り入れないと塑性ヒンジ化する部材の非線形化の度合いを適切に評価できないことがわかる.

キーワード: 耐震設計, 地震応答, RCアーチ橋, 変動軸力, ファイバー要素

連絡先: 〒152-8552 東京都目黒区大岡山 2-12-1 Tel: 03-5734-2922 Fax: 03-5734-3810

5. 結論

1) 本橋に, JR 鷹取駅 NS+UD 記録が作用すると, スプリング部において自重による軸力の 0~2 倍に相当する範囲の変動軸力が作用する. また, 兩岸のスプリング部とアーチリブ 1/4 点付近, 3/4 点付近においてリブが降伏する. 2) RC アーチ橋の耐震性を評価する際には, 変動軸力の影響を取り入れないとリブの非線形化の度合いを適切に評価できないため, 変動軸力の影響を考慮する必要がある.

参考文献: 1) 例えば, Kawashima, K. and Mizoguti, A.: Seismic Response of a Reinforced Concrete Arch Bridge, *Proc. 12WCEE*, No.1824, 2000. 2) 堺淳一: コンクリートの横拘束効果および変動軸力の影響を考慮した橋の地震応答特性に関する研究, 東京工業大学博士論文, 2001.

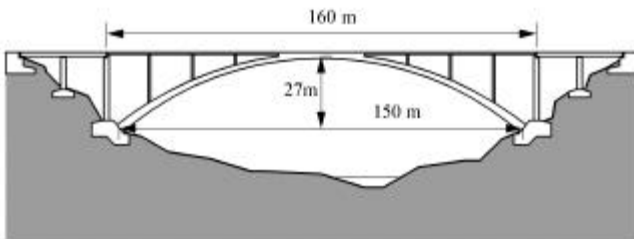


図1 解析対象とする RC アーチ橋

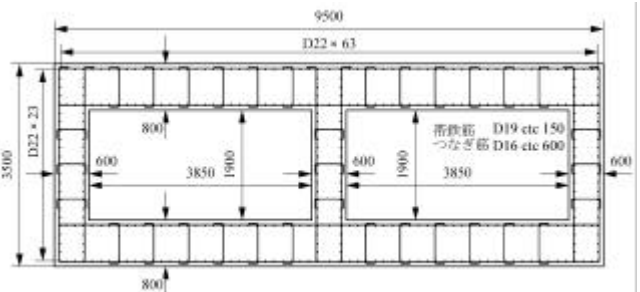


図2 スプリング部の配筋

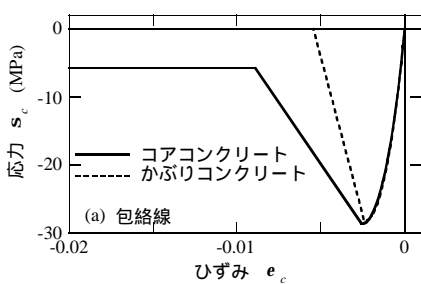


図3 コンクリートの応力度~ひずみモデル

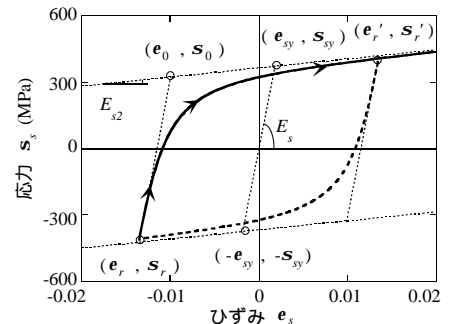
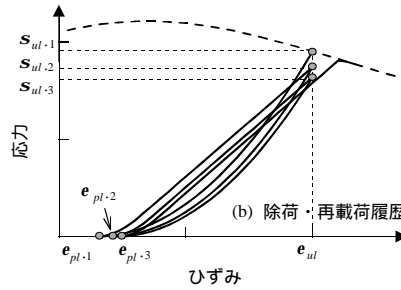
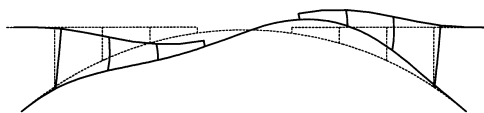
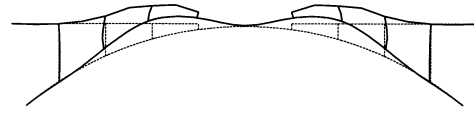


図4 Menegotto-Pinto モデル

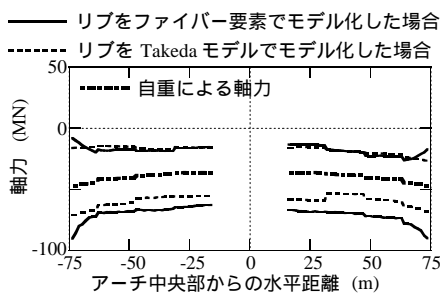


(a) 1次モード (T=1.07秒)

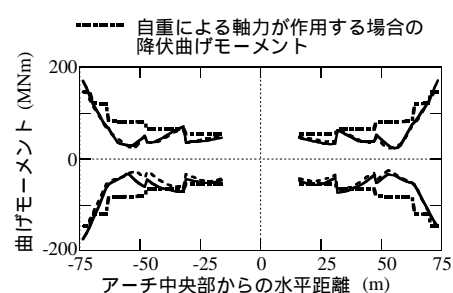


(b) 4次モード (T=0.32秒)

図5 主要な固有振動モード

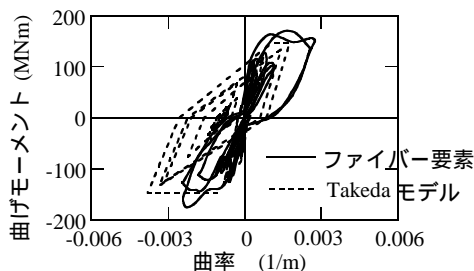


(a) 軸力

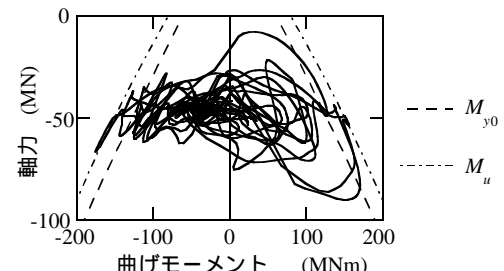


(b) 曲げモーメント

図6 アーチリブの最大応答



(a) 曲げモーメント~曲率の履歴



(b) 軸力~曲げモーメントの履歴

図7 アーチリブの最大応答 (左岸側スプリング部)