

# RC ラーメン橋脚における材料非線形特性と地震時挙動に関する考察

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) 正会員 新井 雅之  
 九州大学大学院 フェロー 大塚 久哲  
 (株)CRC ソリューションズ 正会員 馬淵 倉一

## 1. はじめに

平成7年兵庫県南部地震以降、橋梁の大規模地震に対する耐震設計においては一部の構成部材の塑性化を許容する性能水準が明確に設けられた。これに伴い、材料の非線形特性に関する研究は進み、現在では非線形性を考慮した時刻歴応答解析による耐震設計が一般化されている。M-φモデルは「道路橋示方書・同解説V耐震設計編」（平成14年3月；社団法人日本道路協会）（以下「道示V」）でも採用され、簡便な材料非線形構成則として現在最も多く利用されている。また、ファイバーモデルは軸力変動および2軸曲げが同時に評価できることから、近年、アーチ橋や斜張橋などの長大橋に多く利用されており、RC部材でも使用した解析事例が増えている。

一方、ファイバーモデルでは数値計算上の誤差に伴ってRC単柱橋脚解析においても軸力変動が発生し、これも一要因となって、一般的にはファイバーモデルを用いた場合の曲げモーメントがM-φモデルより大きくなることが報告されており<sup>1)</sup>、RC部材へファイバーモデルを適用する場合は妥当性を十分検討する必要があると考える。そこで我々は、RC橋脚においてM-φモデルとファイバーモデルを用いた場合の地震時挙動の違いを把握することを目的として、レベル2地震動に対して耐震設計された詳細モデルを用いて、材料非線形特性を変化させた動的解析の結果に対する考察を行った。ここでは代表してRCラーメン橋脚の結果について報告する。

## 2. 解析モデル

図-1、図-2に橋脚解析モデルを示す。橋脚高9.5m、面内加振を行った。柱・梁部材に非線形特性を考慮し、軸方向鉄筋は柱部は軸・直方向ともにD35、中間帯鉄筋はD19@150mmである。橋脚基部固定とした。

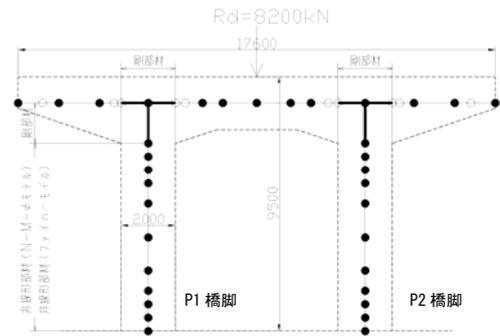


図-1 解析モデル

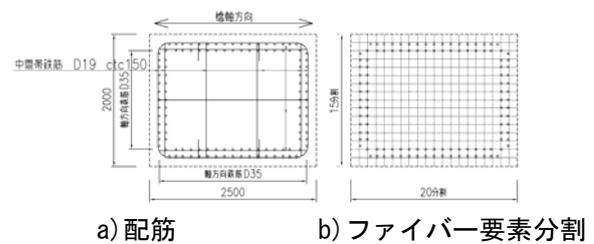


図-2 柱部断面要素

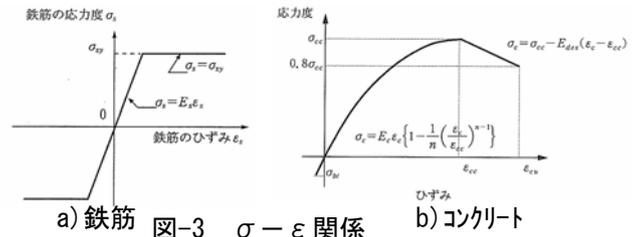


図-3 σ-ε関係

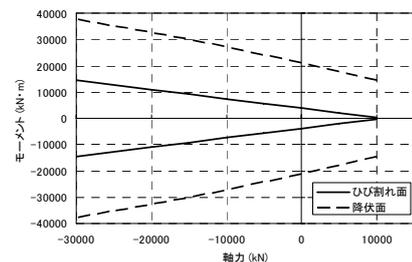


図-4 M-N相関関係図

### 2.1 材料非線形特性

1) M-Nモデル；材料非線形特性として曲げモーメントと曲率のトリリニア骨格曲線を設定し、図-4のような軸力変動を考慮したM-N曲線を採用した。復元力特性は、武田モデルとした（以下「M-Nモデル」）。

キーワード 材料非線形特性、ファイバーモデル、M-φモデル、軸力変動、σ-ε関係

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

九州本社 都市・交通技術部構造グループ TEL092-885-5011

2) **ファイバーモデル**；コンクリートと鉄筋をファイバー要素に分割し，各々の要素に図-3に示すようなH14道示に準拠した $\sigma - \epsilon$ 関係を与えた．コンクリートの引張応力は曲げ引張強度 $\sigma_{bt}$ までとし，それ以上は負担しないものとした．断面を長辺20×短辺15(12.5cm×12.5cm)に分割した．(以下「ファイバーモデル」)

2.2 解析条件

入力地震動はタイプII，地盤種別I種のA波を採用し，数値計算の積分時間間隔は $\Delta t=0.002$ 秒とした．

3. 解析結果

3.1 M- $\phi$  応答値比較結果 (P1 橋脚基部)

図-4にM- $\phi$ 履歴応答値図，図-5にM-N相関関係図，表-1に最大応答値比較結果一覧を示す．M-Nモデルでは曲げ降伏以下であるが，一方，ファイバーモデルは大きく塑性化しており，曲げ，曲率，軸力とも1.3倍程度大きい応答値を示す．図-6に曲げ時刻歴応答値図を示す．最大応答値発生時刻は異なっており，塑性化に伴う両者の曲げ剛性の相違のためと考えられる．図-7の応答スペクトルより両者の周波数が異なることが分かる．また，ファイバーモデルにおいては曲げ応答の振幅が収まらず，残留曲げが見て取れる．

3.2 ファイバーモデルの $\sigma - \epsilon$  応答値

曲げ最大付近時刻の圧縮側（紙面下側）のコンクリート・鉄筋の要素を抽出し，図-8に示す．①9.13-9.17sec；コンクリート応力0から圧縮側に立上がる箇所，曲げモーメントが急に硬化している．②9.17-9.20sec；コンクリートも鉄筋も全部材塑性化しているが，M- $\phi$ 曲線の様なフラットなすべりは発生せず，若干曲げが増加しながら塑性化している．

4. 考察

軸力変動を伴うRCラーメン橋脚のような構造物においては，軸力変動が自動的に考慮されるファイバーモデルは利便性がよいが，一方で当該研究結果のように曲げモーメント，曲率，軸力がM-Nモデルに比べて大きくなること，さらに残留曲げの発生や応答振幅が長時間収束しない等の特性が考えられる．橋脚の諸元にも因るが，大きな要因の一つはコンクリートの $\sigma - \epsilon$ 曲線において圧縮側と引張側で大きく曲げ剛性が異なることが考えられる．引張側剛性の評価のさらなる検討が必要と思われる．また，筆者らは今後2軸曲げを受けるRC部材についても研究を進める予定である．

**謝辞** 当研究を進めるにあたり，解析演算，結果の評

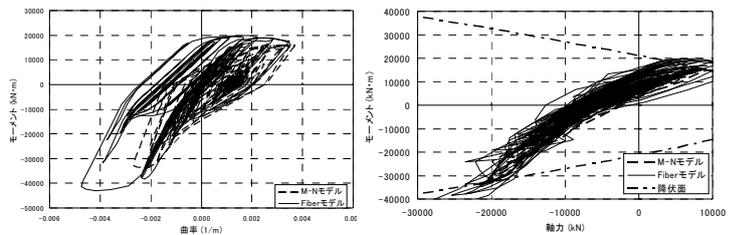


図-4 M- $\phi$ 履歴応答値図 図-5 M-N相関関係図

表-1 最大応答値比較

	軸力 (Nmax)	曲げ (Mmax)	曲率 ( $\phi$ max)
ファイバー(F)	28947.2	43049.0	0.00474
M-N(N)	21724.0	33709.0	0.00369
F/N	1.33	1.28	1.28

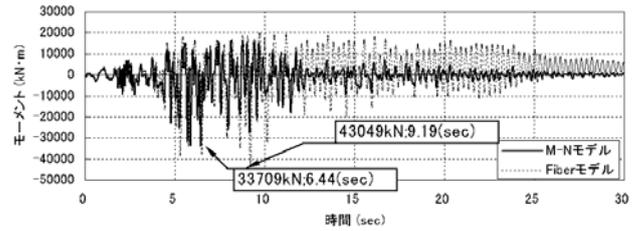


図-6 曲げモーメント時刻歴応答値図

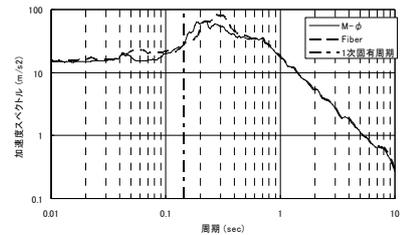


図-7 応答スペクトル図

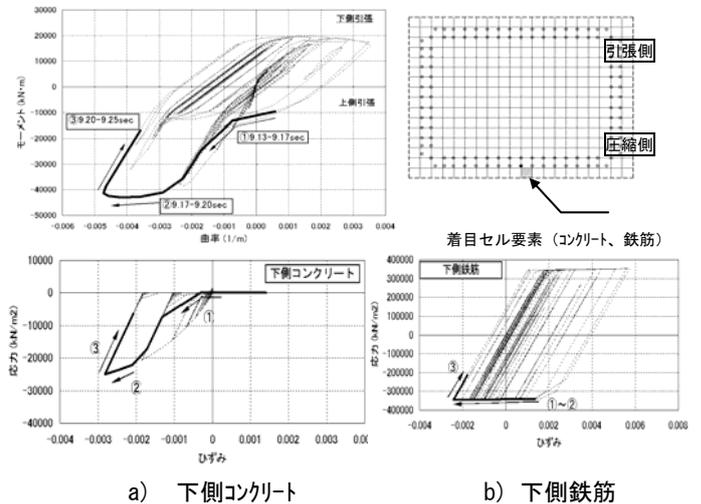


図-8  $\sigma - \epsilon$  曲線応答値図

価に関して九州大学卒業生森裕之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．

**【参考文献】** 1) 大塚久哲，水取和幸，首藤政徳；RC構造部材の材料非線形解析モデルに関する基礎的考察，土木構造・材料論文集第16号 pp61-70, 2000. 12  
 2) 日本道路協会；路橋示方書・同解説V耐震設計編，H14. 3