

## 軸方向鉄筋のはらみ出しを考慮した RC 橋脚の正負交番載荷試験の再現解析

大日本コンサルタント(株) 正会員 ○宮田 秀太, 徳江 良, 吉澤 努, 徳橋 亮治

## 1. はじめに

繰り返しを受ける鉄筋コンクリート橋脚（以下、RC 橋脚）は、かぶりコンクリートが剥落し、軸方向鉄筋のはらみ出しが顕著となり、水平力の低下が生じるという損傷プロセスが試験により確認されている<sup>1)2)</sup>。試験とあわせて、コンクリート及び軸方向鉄筋の応力度ひずみ状態を把握する場合、ファイバー要素を用いた再現解析を行うことが一般的である。このとき、鉄筋コンクリート断面を一体で分割したファイバー要素では、軸方向鉄筋のはらみ出しが考慮できず、水平力の低下、RC 橋脚の履歴曲線を正しく評価できないという課題が生じる。そこで、本稿は、RC 橋脚の正負交番載荷試験を対象に、軸方向鉄筋のはらみ出しを直接的に考慮したファイバー要素による再現解析を行ったため、その結果について報告する。

## 2. 対象とした試験供試体

対象供試体<sup>3)</sup>は、600mm×600mmの矩形断面で、載荷高さ3010mm、せん断支間比5.02により曲げ破壊が生じたものである。軸方向鉄筋は、D10が使用されており、鉄筋比0.95%、鉄筋降伏点が365N/mm<sup>2</sup>となっている。横拘束鉄筋は、D6が間隔75mmで配置されており、体積比0.32%となっている。コンクリートの圧縮強度は30.1N/mm<sup>2</sup>となっている。試験条件は、軸応力1.0N/mm<sup>2</sup>が作用した状態で、3回繰り返しによる正負交番載荷が行われている。

## 3. モデル化概要

市川ら<sup>3)</sup>は、塑性ヒンジ部のコアコンクリートと軸方向鉄筋を独立した要素によりモデル化し、軸方向鉄筋の部材座屈による影響を直接的に考慮した解析を行っている。本稿では、市川らのモデル化<sup>3)</sup>を参考に、図-1に示す対象供試体のモデル化を行った。柱部材の一般部は、コンクリートと軸方向鉄筋を一体としてファイバー要素で分割した。要素の長さは、断面高さの半分とした。塑性ヒンジ部は、コンクリート部と軸方向鉄筋部に独立させ、これらを Rigid 要素により接続した。塑性ヒンジ部の RC ファイバー要素は、はらみ出しの影響が少ない側面鉄筋も含めて分割した。要素の長さは、文献<sup>3)</sup>に示される塑性ヒンジ長とした。コンクリートの材料構成則は、断面内全てに拘束効果を考慮した応力度ひずみ関係を用いた。軸方向鉄筋の材料構成則は、Menegotto-Pinto モデルを用いた。

図-2に軸方向鉄筋のはらみ出しを拘束するばね(以下、拘束ばね)のモデル化を示す。塑性ヒンジ部の軸方向鉄筋は、高さ方向に6分割した。拘束ばねは、仮想部材と軸方向鉄筋を圧縮のみ抵抗するトラス要素により接続した。

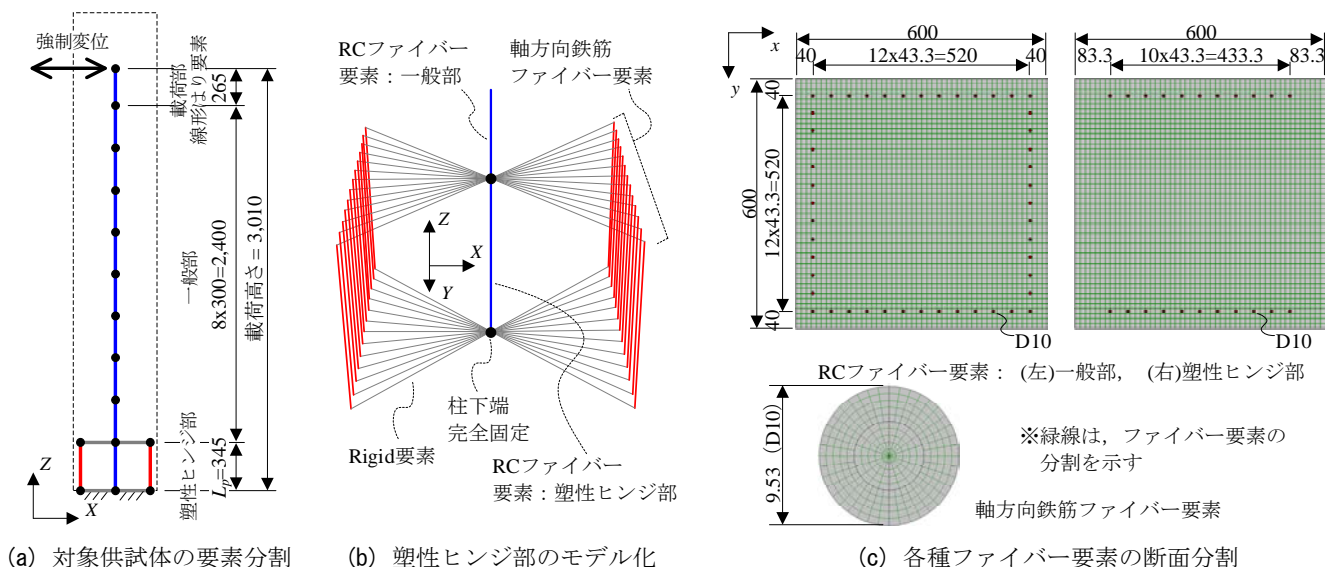


図-1 解析モデルの概要図 (単位: mm)

キーワード 正負交番載荷試験, はらみ出し, 幾何学的非線形, 材料非線形, ファイバー要素

連絡先 〒102-0075 東京都千代田区三番町 6-3 三番町 UF ビル TEL 03-6850-0066

同図に示すばね値は、文献<sup>2)</sup>を参考にかぶりコンクリートが剥落するまでは、かぶりコンクリートと横拘束鉄筋が協働して抵抗する機構 ( $K_1+K_2$ ) として設定した。解析は、幾何学的非線形、材料非線形を考慮可能な Sean FEM<sup>4)</sup>を用いた。

#### 4. 解析結果

図-3 に橋脚下端の水平反力と橋脚天端水平変位による荷重変位関係図を示す。図中の解析結果には、軸方向鉄筋が座屈しない結果 (以下、はらみ出し無し)、試験結果をあわせて示す。なお、解析は、はらみ出しが顕著な  $8\delta_y$  までとした。同図より、はらみ出しを考慮することで、解析においても  $6\delta_y$  以降に水平力の低下が確認できる。また、履歴曲線も除荷後、再载荷に至るスリップ型の挙動を再現することができる。

図-4 に軸方向鉄筋の応力度ひずみ関係を示す。ひずみは、軸方向鉄筋要素の天端変位を塑性ヒンジ長 (345mm) で除し、応力度は、要素下端軸力を断面積で除して求めた。はらみ出し無しでは、モデルどおりの引張圧縮の履歴を描いている。はらみ出し有りでは、鉄筋座屈の影響により、圧縮応力の低下、再载荷時の剛性低下が確認できる。この挙動により、図-3 における水平力の低下や除荷時の圧縮抵抗力を適切に評価でき、履歴挙動の再現性を向上させている。

図-5 に試験と解析における履歴吸収エネルギーの比較結果を示す。試験結果では、はらみ出しが生じる  $6\delta_y$  以降に吸収エネルギーの低下が見られている。しかし、解析結果では、はらみ出し有りにおいても、この挙動を再現できていない。これは、図-3 においてスリップ型の挙動を定量的に再現できていないものの、その面積が試験結果に対して定量的に差があるためである。本検討では、塑性ヒンジ部の RC ファイバー要素に対して、コアコンクリートもかぶりコンクリートも断面内で全て同一として材料構成則を定義している。実際には、試験における  $6\delta_y$  以降は、かぶりコンクリートコンクリートが剥落し、損傷が生じているため、この点についてはモデル化の改善が必要である。

#### 5. まとめ

本稿では、軸方向鉄筋のはらみ出しを直接考慮したファイバー要素で正負交番载荷試験の再現解析を行った。結果は、軸方向鉄筋のはらみ出し現象により、水平力の低下、除荷時の挙動の変化を捉えたものの、今後、モデル化を改良することで更なる精度向上の確認が必要である。

**参考文献** 1) 星隈他：鉄筋コンクリート橋脚の地震時限界状態の評価手法に関する研究,土木研究所資料 No.4262,2013. 2) 星隈他：軸方向鉄筋のはらみ出し現象に着目した鉄筋コンクリート橋脚の塑性ヒンジ長の推定手法に関する研究,土木研究所資料 No.4257,2013. 3) 市川他：軸方向鉄筋の座屈を考慮した RC 橋脚の解析,第13回地震時保有水平耐力法に基づく橋梁等構造の耐震設計に関するシンポジウム講演論文集,pp.65-72,2010. 4) (株)耐震解析研究所：SeanFEM User's Manual,2009.

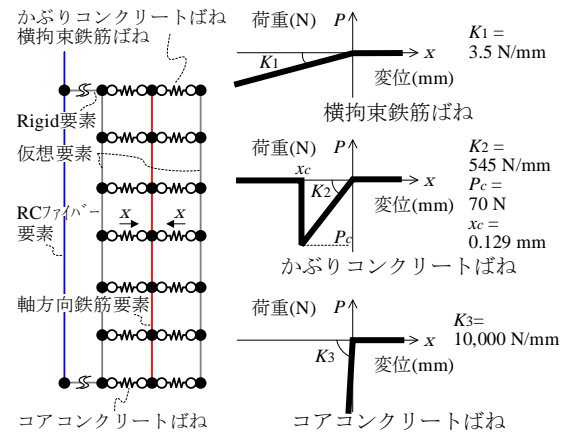


図-2 はらみ出しを拘束するばねのモデル化

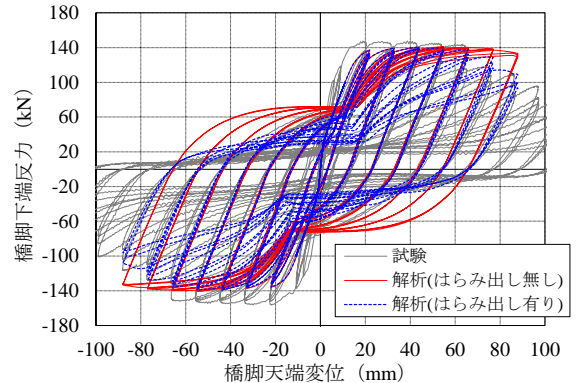


図-3 荷重変位関係図

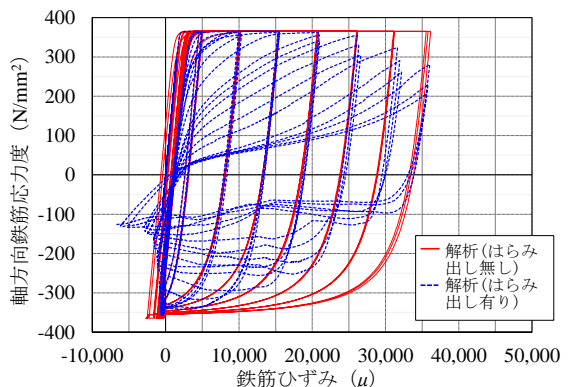


図-4 軸方向鉄筋の応力度ひずみ関係

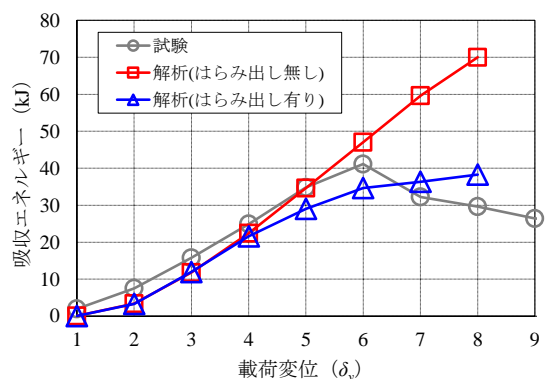


図-5 履歴吸収エネルギーの比較