軸方向鉄筋の抜け出しを考慮した RC 橋脚の塑性変形挙動の予測

東京工業大学大学院　学生会員　○三木朋広
東京工業大学大学院　学生会員　Manakan LERTSAMATTIYAKUL
東京工業大学大学院　フェロー　二羽淳一郎

１．はじめに

RC 橋脚が地震時に繰返し水平力を受けた際，曲げやせん断による橋脚躯体の変形の他に，フーチングから軸方向鉄筋が抜け出すことによる橋脚基部の回転に起因した変形が生じる．RC 橋脚が大変形領域に達する場合，軸方向鉄筋の抜け出しによる水平変位は，全水平変位に対して大きくなる．本研究では，軸方向鉄筋の抜け出しを考慮した静的格子モデル解析によって，静的繰返し水平力を受ける RC 橋脚の塑性変形性能を評価する．

２．解析モデルおよび実験概要

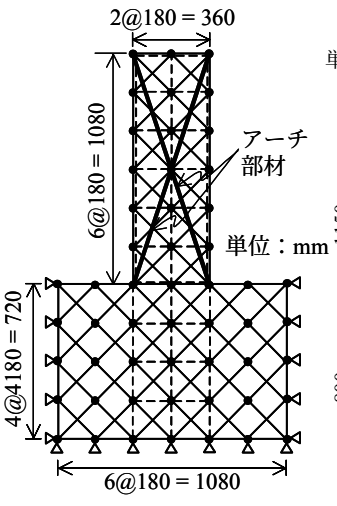
格子モデルでは，RC 部材を**図－1** に示すような斜め部材とアーチ部材を重ね合わせたトラスの集合体でモデル化している．コンクリートの斜め圧縮部材と斜め引張部材を部材軸に対して 45 度と 135 度方向に規則的に配置し，さらに端部節点以外で変形が独立な部材であるアーチ部材を組み込んでいる点が格子モデル [1]の特徴である．その結果，規則的に配置されたこれらのコンクリート部材の組合せによって，斜めひび割れ発生後のマクロ的な圧縮力の方向の変化に対応できる．

解析対象には，石橋らによる RC 橋脚を対象とした，静的正負交番載荷実験 [2]を用いた．この実験は，フーチングからの軸方向鉄筋の抜け出し量に着目して，交番載荷を受ける大変形時の RC 橋脚の変形性能を評価している．用いた供試体の寸法，および配筋を**図－2** に示す．コンクリート，および鉄筋の材料特性を**表－1** に示す．

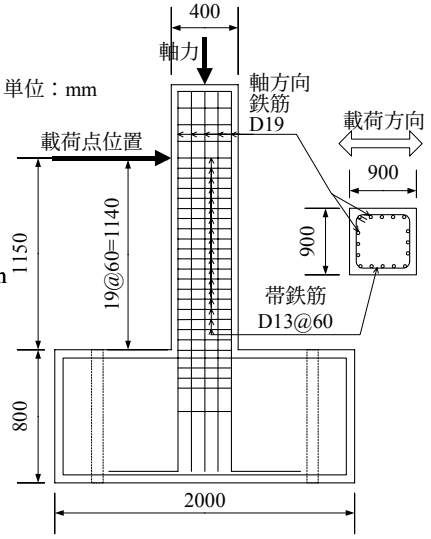
載荷にはフーチングを床に固定し，軸圧縮応力が 0.98 MPa となるように，橋脚頭部において鉛直方向に一定軸圧縮力（156.8 kN）を作用させている．載荷方法は，初降伏変位（δ_y = 5.8 mm）を基準とし，変位振幅を δ_y の整数倍に順次増加させていく一定振幅変位漸増方式である．ここで，初降伏変位とは，橋脚基部最外縁引張鉄筋のひずみが降伏ひずみに達した時の載荷点水平変位である．同一変位振幅の荷重繰返し回数は 1 回である．

３．軸方向鉄筋の抜け出しのモデル化

本研究では，フーチングから軸方向鉄筋が抜け出す現象を，橋脚基部の軸方向鉄筋のひずみと軸方向鉄筋がフーチングから抜け出した量の関係，つまり鉄筋ひずみ－鉄筋すべり関係で評価し，橋脚とフーチングの接合部分に適用することで再現することとした．このとき用いたフーチングからの軸方向鉄筋抜け出しモデルは，島ら [3]，申ら [4]の鉄筋ひずみ－すべりモデルに基づいて，大きな塑性ひずみを受けた際の交番繰返し挙動を把握できるように三島らが提案したモデル [5]である．ここで，鉄筋降伏前には申ら [4]の繰返しモデルを用いている．一方，鉄筋降伏後では，**図－3** に示すように鉄筋ひずみが不連続に分布していると考えられる．よって塑性域と弾性域に分けて考え，それぞれの部分のすべり量を足し合わせることで全体のすべり量を算定する．塑性域における鉄筋すべりは，コンクリートの変形を無視すると鉄筋ひずみを軸方向に積分した値（**図－3** のハッチ部面積）として求められる．また，弾性域の鉄筋すべりは塑性域



図－1　静的格子モデル

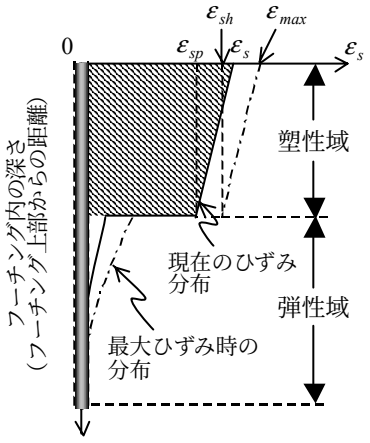


図－2　供試体概要

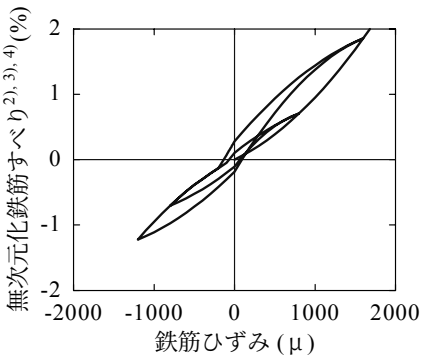
表－1　コンクリート，鉄筋の材料特性

コンクリート	圧縮強度 f_c'(MPa)	19.4
軸方向鉄筋	引張降伏強度 f_y (MPa)	375.1
	弾性係数 E_s(GPa)	182

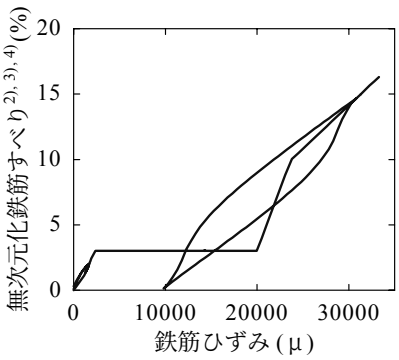
キーワード　軸方向鉄筋の抜け出し，RC 橋脚，塑性変形挙動，静的格子モデル解析
連絡先　〒152-0033　東京都目黒区大岡山 2-12-1　東京工業大学大学院 理工学研究科土木工学専攻
TEL: 03-5734-2584　FAX: 03-5734-3577　E-mail: mikitomo@cv.titech.ac.jp



図－3　降伏後の鉄筋ひずみ分布[5)]



図－4　鉄筋降伏前の鉄筋ひずみ－すべりモデル[3), 4), 5)]



図－5　鉄筋降伏後の鉄筋ひずみ－すべりモデル[3), 4), 5)]

と弾性域の境界における応力の連続性から，塑性域の鉄筋ひずみから求めた鉄筋応力を用いて求める．このとき，塑性域における鉄筋の応力－ひずみ関係に加藤モデルを適用する．以上より求められる橋脚基部の鉄筋ひずみ－すべり量関係の概略図を**図－4**，および**図－5** に示す．

5．解析結果および考察

静的格子モデル解析によって得られた結果を，RC 橋脚を対象とした静的正負交番載荷実験[2)]の結果と併せて**図－6** に示す．解析では橋脚－フーチング間に鉄筋の抜け出しを考慮した場合と無視した場合を示している．抜け出しを考慮した場合，履歴曲線の形状は，無視した場合と比べると若干やせてきており，除荷剛性も小さなっている．エネルギー吸収性能の観点においても，軸方向鉄筋の抜け出しを考慮することで実験結果に近い傾向が予測されていることがわかる．

また，実験ではフーチングからの軸方向鉄筋の抜け出し量を直接測定している．その結果と，橋脚基部鉄筋ひずみ－橋脚頂部水平変位の関係を**図－7** に示す．解析結果は実験結果を精度よく捉えていることがわかる．

6．まとめ

RC 橋脚を用いた一方向静的正負交番載荷実験を対象として，軸方向鉄筋のフーチングからの抜け出し挙動を考慮した静的格子モデル解析を行った．橋脚基部における鉄筋ひずみ－すべり関係を組み込んだ接合要素を橋脚－フーチング間に適用して抜け出しを考慮することでで，RC 橋脚の塑性変形挙動を妥当な精度で把握できることが確認された．

参考文献

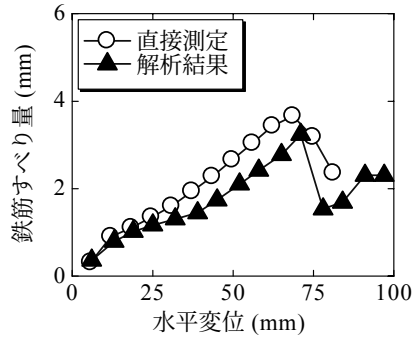
1）二羽淳一郎，崔　益暢，田辺忠顕：鉄筋コンクリートはりのせん断耐荷機構に関する解析的研究，土木学会論文集，No.508/V-26，pp.79-88，1995 年 2 月．

2）石橋忠良，小林　薫，海原卓也：大変形領域の交番荷重を受ける RC 橋脚のフーチングからの鉄筋抜け出し量算定法に関する研究，土木学会論文集，No.648/V-47，pp.43-54，2000 年 5 月．

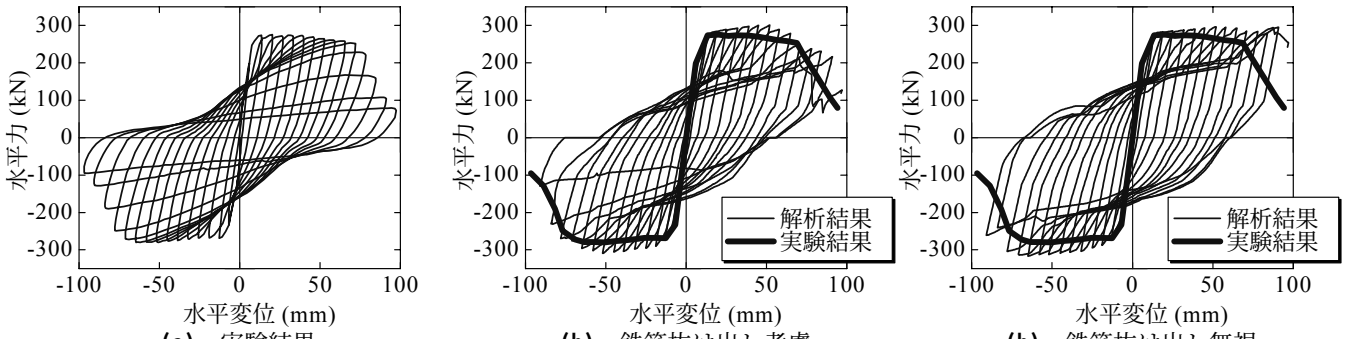
3）Shima, H., Chou, L. and Okamura, H.: Micro and Macro Models for Bond Behavior in Reinforced Concrete, Journal of the Faculty of Engineering, The University of Tokyo (B), Vol.39, No.2, pp.133-194, 1987.

4）申　鉱穆：繰り返し面内力を受ける鉄筋コンクリート部材の有限要素解析，東京大学博士論文，1988 年 6 月．

5）三島徹也，Bujadham, B.，前川宏一：鉄筋コンクリート離散ひび割れを構成する材料モデルの開発，土木学会論文集，No.422/V-16，pp.171-179，1992 年 2 月．



図－7　載荷に伴う鉄筋抜け出し量の変移



(a)　実験結果　　**(b)**　鉄筋抜け出し考慮　　**(b)**　鉄筋抜け出し無視

図－6　静的正負交番載荷実験，および静的格子モデル解析によって得られた履歴曲線