

RC 部材の軸方向鉄筋低サイクル疲労破断評価 (鉄筋座屈のファイバーモデル解析)

九鉄工業 正会員 ○瀧口 将志
九州大学 フェロー 大塚 久哲

大林組 正会員 池永 貴史
JR 九州 正会員 河野 直也

1. 目的

筆者らは、地震時の RC ラーメン構造物の挙動を倒壊まで解析することを最終目的として、部材モデル ($M-\theta$, $M-\phi$) を用いた RC 部材のポストピーク領域のモデル化に取り組んでいる。ここで曲げ破壊型 RC 部材のポストピーク領域後半では、鉄筋座屈とコンクリート脱落による緩やかな耐力低下の他に、軸方向鉄筋の低サイクル疲労破断による急激な耐力低下を考慮することが必要である。ところで座屈鉄筋の低サイクル疲労破断は、座屈長と異形鉄筋形状の影響を受ける。座屈長に関しては、短いほど短寿命²⁾になると考えられるが、極端に座屈長が短い場合には長寿命になるという実験結果³⁾もある。また鉄筋形状に関しては、ふしの立ち上がり形状によるひずみ集中の評価方法は検討されているが⁴⁾、ふしの間隔や高さ等が座屈によるひずみに与える影響は良く分かっていないのが現状である。筆者らはこれらの評価のため、ファイバーモデルを用いた異形鉄筋単体の座屈解析に取り組んでおり、本稿では解析の適用性について報告する。

2. 鉄筋単体の座屈解析

(1) 解析モデル

異形鉄筋 (竹ふし) 単体をファイバーモデルでモデル化し座屈解析を行う。諸元、解析条件等は以下のとおり。

- 鉄筋径: D19, ふし谷部直径 18.2mm, ふし高さ 1.3mm,
ふし間隔 11.46mm, ふし幅 3mm, 縦ふし・横ふしをモデル化。
- 鉄筋強度: SD345 (鋼材単体の $f_{ry}=345 \text{ N/mm}^2$, $E_r=200 \text{ kN/mm}^2$)
応力ひずみ曲線: ひずみ硬化考慮 (移動硬化則)
- 鉄筋長: $L=68.76 \text{ mm}$ ($L/D=3.6$: D は公称径 19.1mm),
114.6mm ($L/D=6$), 229.2mm ($L/D=12$), 343.8mm ($L/D=18$)
- 長さ方向分割: ふし谷部, 山部の平均ひずみを算定するため, 個々のふし谷部・山部をそれぞれ 1 要素でモデル化。
- 荷重方法: 鉄筋全長の長さ変化率 $\Delta L/L=\pm 2\%$ とした変位制御の交番荷重 (変位-2%まで圧縮 → 変位+2%まで引張 → 圧縮を 10 回繰返し)。
- 初期不整: 座屈を発生させるため, 引張時に鉄筋が直線に戻らない程度の初期不整 4.6mm (各 L/D 共通) をコサインカーブ 1 波長で与えた。
- 解析ソフト: 鋼構造向けのファイバーモデルソフト EERC/Fiber⁵⁾ を使用し, 幾何学的非線形を考慮。

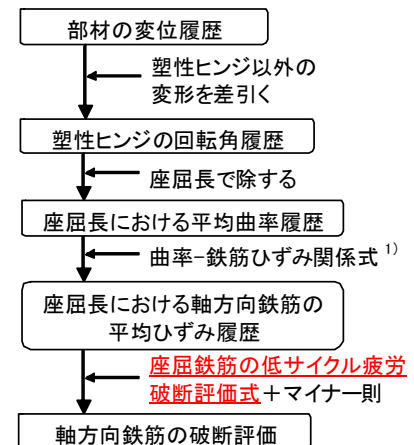


図-1 鉄筋破断評価フローと本検討

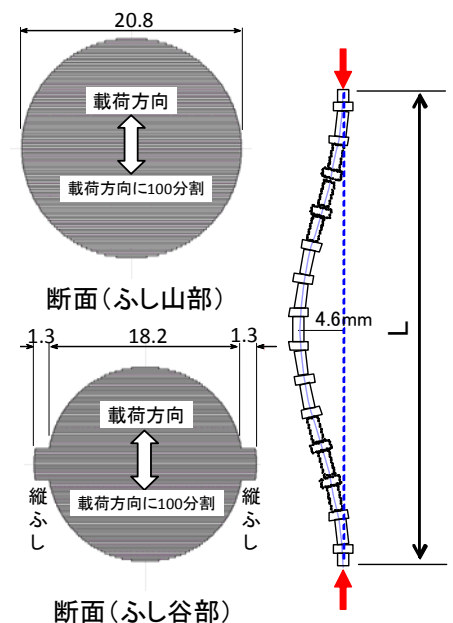


図-2 検討に用いた鉄筋

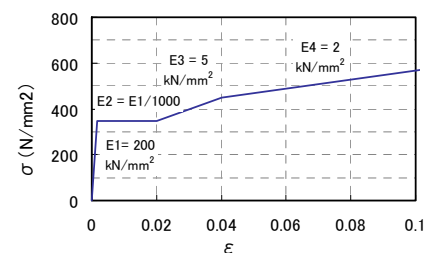


図-3 鉄筋（鋼材単体）の応力ひずみ曲線

キーワード 軸方向鉄筋, 鉄筋座屈, 鉄筋破断, 低サイクル疲労, ポストピーク, ファイバーモデル

連絡先 〒800-0007 北九州市門司区小森江3丁目12-10 九鉄工業(株)北九州支店 土木課 TEL 093-371-1661

(2) 長さ変化率とふし谷部平均ひずみの関係

図-4 に $L/D=6$ のときの鉄筋長さ変化率 $\Delta L/L$ と、ひずみ変動が最大となるスパン中央のふし谷部平均ひずみ ε の関係を示す。図より座屈内側のひずみ変動は外側より 4 倍程度大きく、これは実験で鉄筋きれつが座屈内側に発生すること²⁾と一致する。ところで鉄筋の低サイクル疲労破断には、ひずみそのものの値よりもひずみ振幅が関係する。そこで図-5 に各ピーク変位(载荷方向反転点)を基準にした $\Delta L/L$ の増分と、座屈内側の ε の増分の関係を示す。図より载荷が安定ループに入った後は、 $\Delta L/L$ の増分と ε の増分は非線形弾性の関係にあることがわかる。

(3) L/D の影響

図-6 に $L/D=3.6, 6, 12, 18$ のときのひずみ倍率[スパン中央のふし谷部(座屈内側)平均ひずみ全振幅/鉄筋長さ変化率]の関係を示す。また初期不整をゼロにして座屈させないときのひずみ倍率をあわせて示す。図より $L/D=3.6$ および 18 のひずみ倍率は小さく、すなわち長寿命になっており、実験^{2) 3)}での傾向と一致する。また座屈の有無に関しては、座屈内側のひずみ振幅は座屈しない場合の 3~4 倍であり、一般に金属の低サイクル疲労破断回数は塑性ひずみ振幅の 1.4~2 乗に反比例⁶⁾することを考慮すると、鉄筋破断は鉄筋座屈以降の挙動が支配的であるものと考えられる。

3. まとめと課題

ファイバーモデルにより鉄筋単体の座屈解析を行い、解析でのひずみ振幅最大箇所と実験での鉄筋破断位置が一致すること、また L/D の影響が実験と同傾向であることを確認した。このことよりファイバーモデルによる鉄筋座屈解析により、ふし谷部の平均ひずみ振幅を概ね妥当に評価できるものとする。今後、座屈鉄筋の L/D の影響について詳細に、例えばひずみレベルや初期不整、ふし間隔とふし幅・高さ、鉄筋強度等による影響等について、引き続き検討する予定である。

参考文献

- 1) 瀧口将志, 大塚久哲, 池永貴史: RC 部材の軸方向鉄筋低サイクル疲労破断評価に用いる曲率-鉄筋ひずみ関係, 土木学会年次学術講演会, V-096, pp.191-192, 2013.9
- 2) 桧貝勇, 中村光, 斉藤成彦: 塑性域から座屈域にわたる大変位の繰返しを受ける異形鉄筋の破壊条件に関する研究, 土木学会論文集, No.746/V-61, pp.241-249, 2003.11
- 3) 浅井洋, 春日昭夫, 飯田宇郎, 梅原秀哲: SD490 を軸方向鉄筋に用いた RC 橋脚の実用化に関する研究, 土木学会論文集, No.760/V-63, pp.91-108, 2004.5
- 4) 牛田健友, 判治剛, 舘石和雄, 永松直樹: 異形鉄筋の低サイクル疲労強度とその評価法, 土木学会年次学術講演会, I-565, pp.1129-1130, 2013.9
- 5) 野中哲也, 吉野廣一: パソコンで解くファイバーモデルによる弾塑性有限変位解析, 丸善, 2010
- 6) 例えば, S.スレスシュ: 材料の疲労破壊, 培風館, 2005

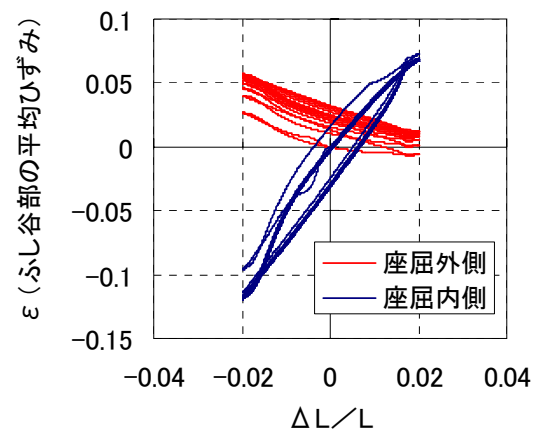


図-4 長さ変化率とふし谷部平均ひずみの関係 ($L/D=6$)

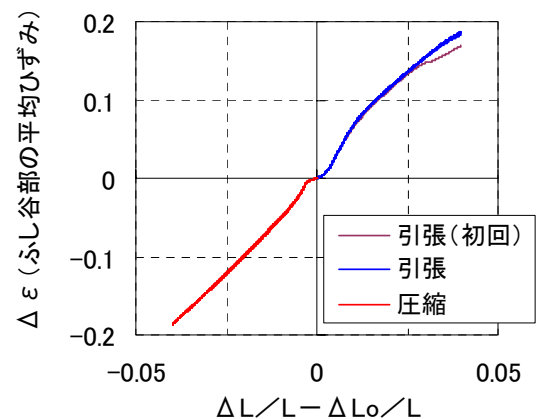


図-5 長さ変化率増分とふし谷部平均ひずみ増分の関係 ($L/D=6$, 座屈内側)

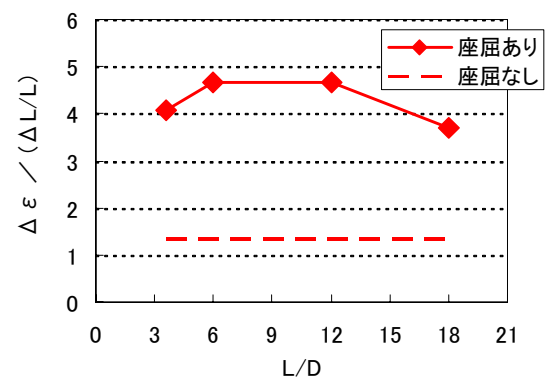


図-6 L/D とひずみ倍率の関係