

曲げ加工時における異形鉄筋のひずみ測定

東京大学生産技術研究所 正会員 ○西村 次男 東京大学大学院 学生会員 田中 泰司

東京大学生産技術研究所 正会員 岸 利治 東京大学生産技術研究所 F 会員 魚本 健人

1. 目的

近年、アルカリ骨材反応によるコンクリートの膨張によって、鉄筋の曲げ加工部等で鋼材が破断している事例が報告され¹⁾、そのメカニズム解明は急務である。本稿では従来行われている曲げ加工そのものに注目し、曲げ加工時に鉄筋に生じるひずみの測定を行った。



図－1 ひずみゲージ貼付け状況

2. 実験概要

曲げ加工時に異形鉄筋に発生するひずみを測定するために、図－1に示すように鉄筋の両面にフリス盤を用いて溝切加工を施し、大ひずみ域での測定が可能な電気抵抗式ひずみゲージを貼り付けた。加工形状は図－2に示すとおりであり、すべての試験体において同一形状の加工を行った。

表－1に試験体の一覧と試験結果の概要を示す。使用した鉄筋は呼び名がD10、D13、D16の3種である。表－2に各鋼材の材料特性を示す。D10、D16鉄筋は鋼種がSD345であり、D13はSD295Aを使用した。曲げ上げ角度は各鋼材径ごとに45度、90度、135度、180度の4水準にて試験を行った。このとき、ひずみの測定位置が折り曲げ部の中央になるように鉄筋の位置を調整した。各呼び名、各折り曲げ角度において、リブを折り曲げ端部に配置した場合(図－3(a))、中立軸に配置した場合(図－3(b))の2パターンの試験を行った。

表－1 試験体一覧および試験結果

ID	呼び名	曲げ上げ 角度	リブの 位置	圧縮縁 ひずみ	引張縁 ひずみ
D16-45-C	D16	45	中央	17.1%	24.8%
D16-45-S	D16	45	端部	16.3%	25.0%
D16-90-C	D16	90	中央	20.9%	24.8%
D16-90-S	D16	90	端部	18.9%	24.8%
D16-135-C	D16	135	中央	—	24.8%
D16-135-S	D16	135	端部	—	24.8%
D16-180-C	D16	180	中央	16.0%	25.2%
D16-180-S	D16	180	端部	—	24.8%
D13-45-C	D13	45	中央	10.3%	11.5%
D13-45-S	D13	45	端部	12.7%	13.5%
D13-90-C	D13	90	中央	14.7%	24.8%
D13-90-S	D13	90	端部	15.9%	25.0%
D13-135-C	D13	135	中央	16.3%	24.8%
D13-135-S	D13	135	端部	17.3%	24.8%
D13-180-C	D13	180	中央	18.2%	24.8%
D13-180-S	D13	180	端部	—	24.8%
D10-45-C	D10	45	中央	9.8%	11.9%
D10-45-S	D10	45	端部	15.0%	13.5%
D10-90-C	D10	90	中央	18.1%	24.8%
D10-90-S	D10	90	端部	15.6%	25.5%
D10-135-C	D10	135	中央	—	—
D10-135-S	D10	135	端部	—	24.8%
D10-180-C	D10	180	中央	14.9%	14.3%
D10-180-S	D10	180	端部	—	24.8%

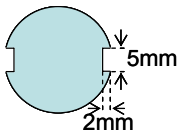
曲げ加工は市販の鉄筋曲げ加工機を用いて折り曲げ半径が1.5D(Dは鉄筋径を表す)となるように加工した。曲げ加工にかかる時間が比較的短いことから、計測には動ひずみ計を用い、0.02秒ごとに計測を行った。

表－2 鉄筋の材料特性

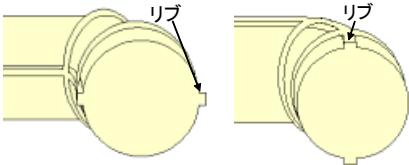
呼び名	D10	D13	D16
鋼種	SD345	SD295A	SD345
弾性係数 (N/mm ²)	189000	195000	187000
降伏強度 (N/mm ²)	370	347	372
引張強さ (N/mm ²)	517	511	557
伸び (%)	24	30	26

3. 曲げ加工による鉄筋ひずみ

図－4に計測データの一例を示す。曲げ加工は約1秒間で終了し、内側には圧縮ひずみが、外側には引張りひずみが発生する。このとき計測された最大値を曲げ上げ角度を横軸にとって表したのが図－5、図－6である。曲げ上げ角度や鉄筋径、リブの位置の違いによる顕著な差は見られず、鉄筋のひずみが曲げ半径と鉄筋径との比によって定まっているといえる。ここで、圧縮縁ひずみ、引張縁ひずみともに曲げ上げ角度が45度のときに小さくなるのは、曲げ加工時の鉄筋のあそびが影響しているためであると思われる。また、圧縮縁と引張縁



図－2 鉄筋の加工形状



(a) 端部配置 (b) 中央配置
図－3 リブの配置の定義

キーワード 異形鉄筋，曲げ加工，アルカリ骨材反応，脆性破面

連絡先 〒153-8505 東京都目黒区駒場4丁目6-1 東京大学生産技術研究所 T E L 03-5452-6391

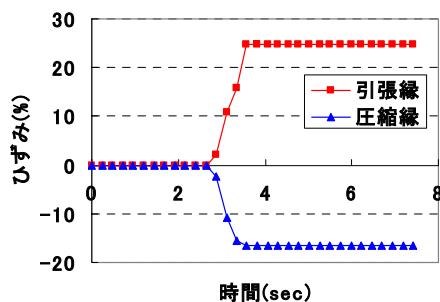


図-4 計測結果の例(D16-45-C)

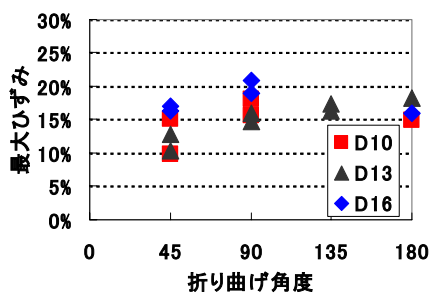


図-5 圧縮縁の最大ひずみ

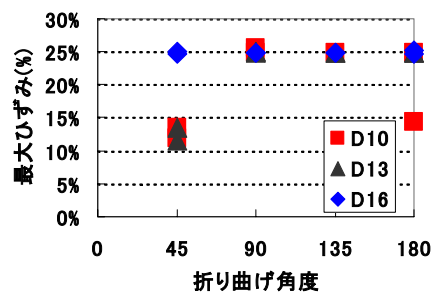


図-6 引張縁の最大ひずみ

を比較すると、圧縮縁でのひずみ値が小さいが、これは圧縮力によって押しつぶされた鋼材が外にはらみ出すことが影響しているためであると思われる。

4. 曲げ加工を受けた鉄筋の SEM 観察

曲げ加工が施された異形鉄筋の断面をカットし、SEM 観察を行った。図-7 は、曲げ半径が 1.0D で曲げ加工された D16 鉄筋の圧縮縁で観察された画像である。圧縮縁の節の根元には約 $30\mu\text{m}$ 程度の星状の結晶が観察された。また、引張縁では節が剥離するような亀裂が観察された。

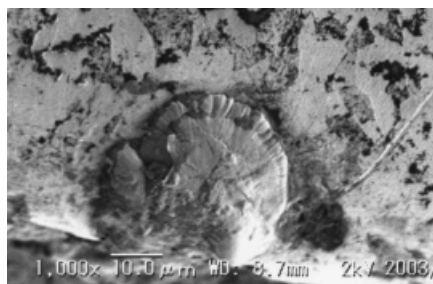


図-7 曲げ加工後に観察された星状結晶(SEM 画像、圧縮縁)

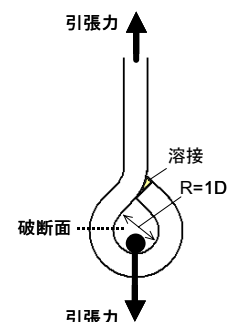


図-8 破断面観察に用いた試験体の荷荷状況

5. SEM による破断面観察

図-7 に見られるような極微細な欠陥部の影響に着目し、曲げ加工後、図-8 のような試験体を作成し、引張試験を行った。鉄筋には D16 を使用した。また、折り曲げ半径は 1.0D とし、曲げ上げ端部には溶接を施した。試験体は図-8 に示す位置で脆性破断した。図-9 に鉄筋破断面の SEM 画像(a)、写真画像(b)を示す。写真画像から、脆性破壊に特有なシェブロンパターンが確認できる。また、SEM 画像においても圧縮縁から 3.6mm の位置からリブ模様が観察され、試験体が脆性破壊を生じたことが判断できる。SEM 画像の圧縮縁には脆性破面が確認できることから、圧縮縁近傍は曲げ加工によって割れを生じやすい状態になっているものと思われる。

6. まとめ

曲げ加工時における鉄筋のひずみ計測および曲げ加工後、引張試験後の SEM 観察から以下の知見を得た。

- ・曲げ加工時の鉄筋のひずみ特性は、鉄筋径と折り曲げ半径の比に支配され、曲げ上げ角度、リブの位置、鉄筋径による差異等の影響はほとんどないと考えてよい。
- ・曲げ半径を 1.0D として曲げ加工を施した場合、圧縮縁に極微細な損傷部が発生し、圧縮縁近傍で脆性破面を形成するケースがある。

参考文献

アルカリ骨材反応による鉄筋破断が生じた構造物の安全性評価(中間報告) 土木学会誌, Vol. 88, Sep, 2003

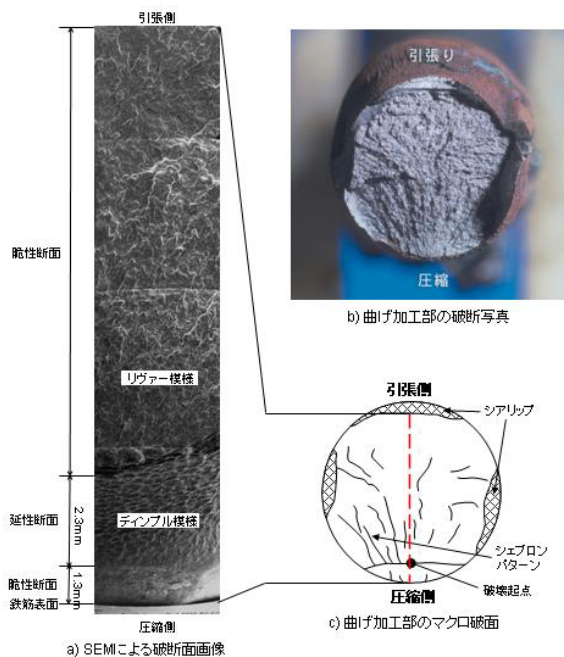


図-9 鉄筋破断面の観察