

## 鉄筋曲げ加工時の節変形に伴う初期亀裂発生メカニズムに関する研究

住友大阪セメント株式会社 正会員 ○川島恭志  
九州工業大学 正会員 合田寛基

九州工業大学 正会員 幸左賢二  
九州工業大学 非会員 増田隆宏

## 1. はじめに

近年アルカリ骨材反応（以下ASR）により劣化した構造物において、鉄筋の曲げ加工部等が破断している事例が報告されている。帯鉄筋曲げ加工部での破断は、連続的に発生した場合、帯鉄筋の有効付着長に変化が生じ、せん断耐力が低下する可能性があることから、極めて重要な損傷と考えられる。図-1に本研究のフローを示す。鉄筋破断は鉄筋加工時に発生する初期亀裂が起点となって生じると推測されることから、初期亀裂の発生は、鉄筋破断の重要な要因であると考えられる。そこで、本研究では初期亀裂の発生程度に着目し、曲げ加工時に亀裂を生じさせる主な原因と、初期亀裂発生メカニズムに関する検討を行うこととした。

## 2. 供試体実験の鉄筋亀裂データの分析

既往の供試体実験では、中央部を空洞にして帯鉄筋を配置したRC供試体を作製<sup>1)</sup>、中央部に膨張コンクリートを打設したことによる、初期と進展後亀裂深さの比較を行っている。図-2に試験条件ごとの初期と進展後の最大亀裂深さの測定結果ならびに供試体概要（図中左上）を示す。実験概要を以下に示す。

- 1) 現行D10鉄筋においては、曲げ加工半径が小さいほど初期亀裂は大きく、しかも進展後亀裂も同様の傾向が認められた。
- 2) 曲げ加工半径1.0dでの初期亀裂の損傷度を比較すると、現行鉄筋D16と旧節鉄筋D16はともにD10鉄筋よりも大きく、特に旧節鉄筋では、4.00%の最大初期損傷となっており、進展後の損傷は78.8%と著しく大きな値となっていた。

以上の結果から、鉄筋曲げ加工時に発生した初期亀裂の大小が進展後の鉄筋損傷の度合いに密接に関係していることが確認されている。

## 3. 試験概要

本試験では、鉄筋種別、曲げ角度、節形状、曲げ加工半径をパラメータとして検討を行う。また、鉄筋は竣工後20年以上経過していた実構造物からはつり出された鉄筋（旧節鉄筋）と現在市販されている鉄筋（現行鉄筋）の2種類でいずれも竹節のものをを用いて比較した。図-3に曲げ加工方法を示す。鉄筋の曲げ加工にはローラー式の鉄筋曲げ加工装置を用いて、試料長は曲げ加工が行えるよう300mm程度の長さを確保した。鉄筋は横節が加工芯に当たるように設置し、曲げ角度0°~60°の間を15°刻みで曲げ加工した。本検討で用いている現行鉄筋と旧節鉄筋の、特徴の違いとしては、節形状が挙げられる。節形状は図-4に示すように、節の直線部および鉄筋の直線部により切り取られる円弧部分に沿って円を描き、その直径を節形状変化量 $\phi$ として評価した。本検討で用いた旧節鉄筋は $\phi 1 \sim 4\text{mm}$ 、現行鉄筋は $\phi 8 \sim 9\text{mm}$ と大きな差異が認められた。また、曲げ加工によって鉄筋の曲げ加工部内側に発生する初期

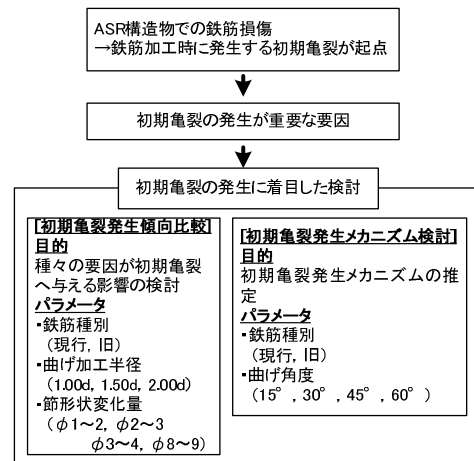


図-1 研究フロー

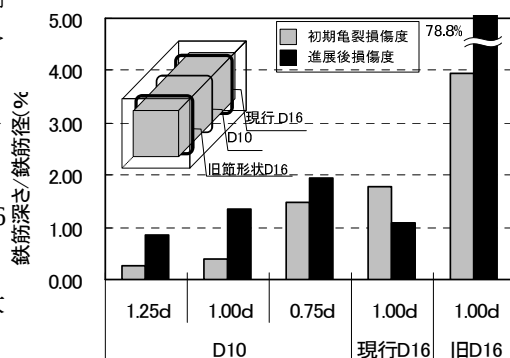


図-2 亀裂最大損傷度比較

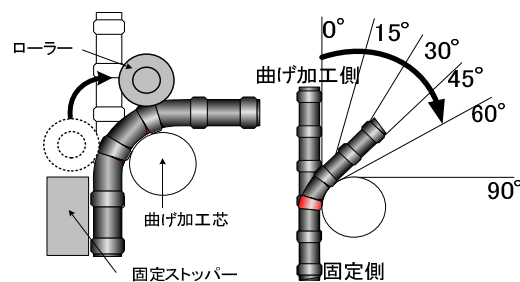


図-3 曲げ加工方法

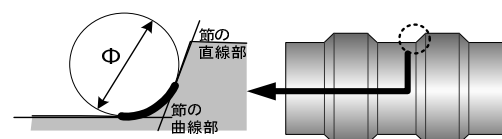


図-4 節形状の測定

キーワード アルカリ骨材反応, 初期亀裂, 曲げ加工半径, 節形状

連絡先 〒804-8550 福岡県北九州戸畑区市仙水町 1-1 九州工業大学 TEL 093-884-3123

亀裂の発生状況を調べるために、曲げ加工部の縦断面を顕微鏡を用いて50～200倍に拡大し、亀裂深さを測定した。亀裂深さは亀裂の開口部の中心から亀裂の先端部分までの直線距離とした。

#### 4. 種々の要因が初期亀裂に与える影響

図-5に曲げ加工半径1.0dにおける各鉄筋の初期亀裂深さを鉄筋径で除した値と発生確率の関係を示す。また、図中の曲線は確率分布を示し、そこから算出した5%超過確率値も併せて記す。これによると、現行鉄筋の亀裂は0.5～1.0%程度に集中して発生し、5%超過確率値は1.23%であるのに対して、旧節鉄筋では最大値が3%を超えるといった大きな亀裂が発生しており、5%超過確率値は3.96%と現行鉄筋の3倍以上の値となった。

図-6に、同様の手法により算出した亀裂の5%超過確率値を各種要因ごとに比較した結果を示す。図中には目安値として、前述の供試体実験における旧節鉄筋1.0d曲げ加工時の初期亀裂平均値(1.5%)を示す。図より、節変形量が多いφ8～9では曲げ加工半径が1.0dでも5%超過値が1.5%を超えていないのに対して、旧節鉄筋の特にφが1～2では4%を超える値が出ている。この結果からφが小さく、曲げ加工半径が小さい場合には初期亀裂深さが大きくなる可能性が高いことを確認した。

#### 5. 初期亀裂発生メカニズム

図-7には、曲げ加工半径1.0d、曲げ角度0～60°の範囲で15°刻みで加工した際の節断面の形状や面積変化の推移の違いを旧節鉄筋(φ1～2)と現行鉄筋(φ8～9)で比較した結果を示す。さらに、図-8に旧節鉄筋を曲げ加工した際の節変形状態の模式図を合わせて示し、初期亀裂発生メカニズムの推定を行った。

まず、図-7の30°曲げ加工された時点では、どちらの節も面積が50%程度に低下している。これは、図-8左に示すように、曲げ初期において軸方向よりも変形しやすい鉄筋周方向に変形したことが原因と考えられる。旧節鉄筋ではこの変形によって、節の両付け根に初期亀裂が発生している。さらに、曲げ角度が60°になると、節の変形は図-8右に示すように引き伸ばされて、変形しきれなかった節が完全に鉄筋内へめり込む形になり、節両側の初期亀裂がさらに進展すると考えられる。一方、現行鉄筋では、30°に曲げた時点では、節の変形が滑らかなことから、初期亀裂の発生には至っていないものの、曲げ角度60°になると、節が鉄筋に完全にめり込み、1.0%以下の初期亀裂の発生に至ったと考えられる。

#### 6. まとめ

- (1) 曲げ加工半径と節形状変化φをパラメータとした実験によると、初期亀裂深さは曲げ加工半径が小さく、節形状変化量φの小さい鉄筋において大きな初期亀裂が発生しやすい傾向が得られた。
- (2) 節の断面変形観察結果から、曲げ加工時に鉄筋の周方向に変形しきれなかった節が、鉄筋内部にめり込む際に、節付け根部に変形が集中することで、初期亀裂が発生すると推定される。

#### 参考文献

- 1) 幸左賢二ら：アルカリ骨材反応による鉄筋破断を模擬した供試体実験  
構造工学論文集 Vol.53A pp.968-979 2007.3

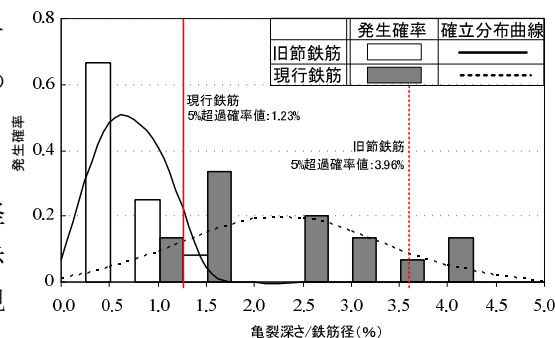


図-5 初期亀裂発生の差

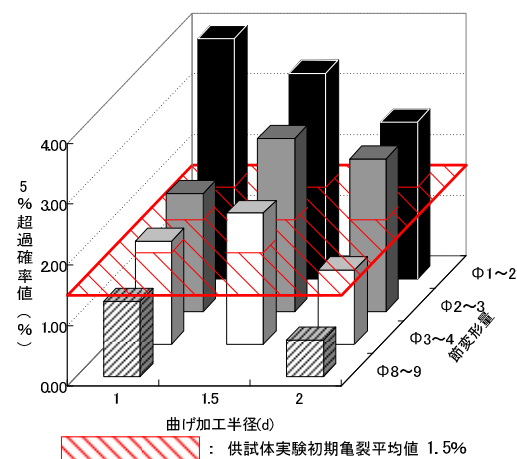


図-6 5%超過値比較

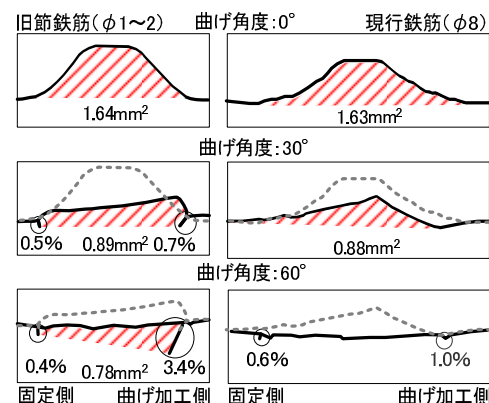


図-7 節変形状態

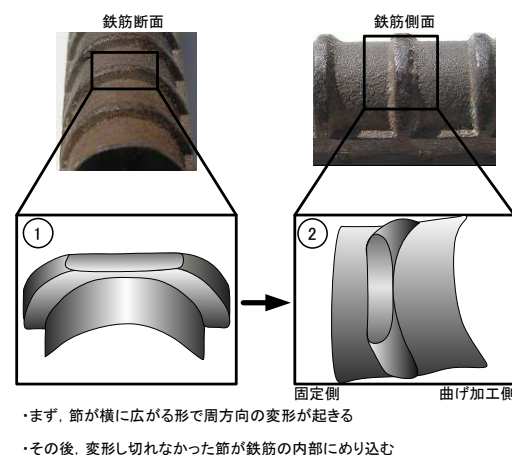


図-8 亀裂発生状況