

曲げ加工に伴う鉄筋の損傷評価

九州工業大学 学生会員 ○原口 政仁
住友大阪セメント(株) 正会員 上原 伸郎

九州工業大学 正会員 幸左 賢二

1.はじめに

ASR に起因する鉄筋曲げ加工部の破断現象については、鉄筋の曲げ加工に伴う初期損傷が鉄筋破断に至る要因の一つであるとされている。そこで本研究では、ローラー型曲げ加工試験を行うことで、曲げ加工に伴う鉄筋の損傷評価を行った。

2.鉄筋の曲げ加工に伴う初期損傷状況調査

2.1 曲げ加工方法

図-1に曲げ加工方法を示す。なお、使用鉄筋は表-1に示す。
(a)曲げ加工半径が $1.50d$ になる大きさに設定された加工芯(直径 48mm)を使い、横筋が加工芯に当たるように鉄筋をセットした。次に、(b)ローラーを機械式の動力によって矢印の方向に回転しながら移動させ、加工芯の円周に沿った曲げ加工を行った。図-1(a)の拡大図のように、本研究では、ローラーと鉄筋の隙間(A)をパラメータとし、隙間 3mm と隙間無し、ならびに隙間による差を明確するために隙間 10mm を加えた3水準で試験を行った。

2.2 計測結果

(1) 曲げ加工半径

図-2 に隙間の設定ごとに曲げ加工半径を計測した結果を示す。図より、隙間の大きさにかかわらず、計測値は $1.57d \sim 1.69d$ となった。また、平均値は隙間 0mm で $1.61d$ 、隙間 3mm で $1.62d$ 、隙間 10mm で $1.65d$ となり、曲げ加工半径の平均値に差はほとんどみられなかった。これは、曲げ加工半径が加工芯の大きさによって決まり、隙間の大小にかかわらず、常に加工芯に沿った曲げ加工が行われたことから、曲げ加工半径の値に差が見られなかったと考えられる。

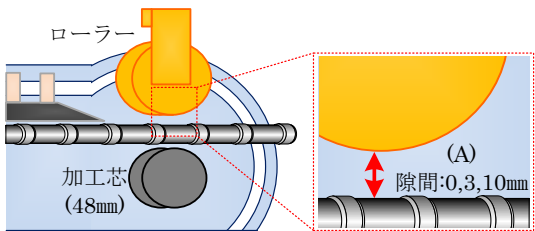
(2) 節変形と初期亀裂率

鉄筋の加工部を切り出し、亀裂発生状況と節変形状況を調査した。図-3 に初期亀裂計測結果を示す。縦軸は亀裂率(亀裂深さ/鉄筋径)とし、各試験体の最大亀裂率を数値で示した。また、各試験体の1~5は節番号を示しており、曲げ加工部の中央位置を節番号3とし、両側に各2ヶ所の計5ヶ所の節を観察した。

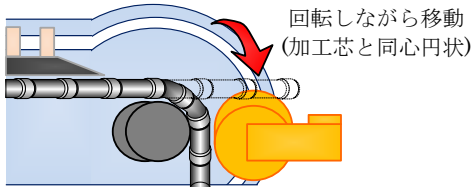
図-3(a), (b)より、各試験体の最大亀裂は、隙間 3mm で $0.0\% \sim 1.7\%$ 、隙間 0mm で $0.3\% \sim 3.3\%$ となった。また、最大亀裂率を平均すると、隙間 3mm で 1.0% 、隙間 0mm で 1.7% となった。隙間ごとの亀裂率を比較すると、鉄筋とローラーの隙間が狭いほど亀裂率が大きくなった。また、各試験体で最大亀裂が発生した節の位置をみると、多くのものは曲げ加工の中央付

表-1 使用鉄筋と実験

	使用年	節高 (mm)	鉄筋 径	節変 化率	設定曲げ 加工半径(d)	本 数
使用 鉄筋	1969	1.00	D16	0.056	$1.50d$	6×3



(a) 鉄筋設置、実験パラメータ



(b) ローラーの移動と鉄筋変形

図-1 鉄筋のローラー型曲げ加工方法

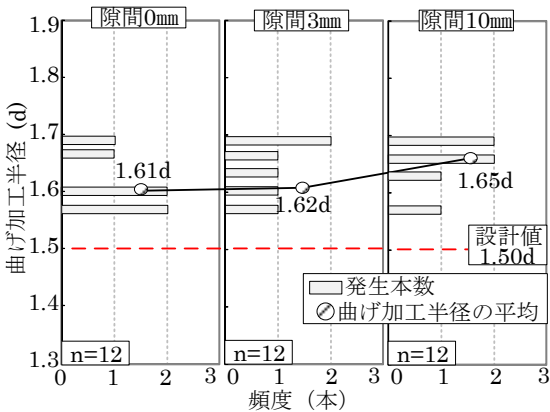


図-2 曲げ加工半径計測結果

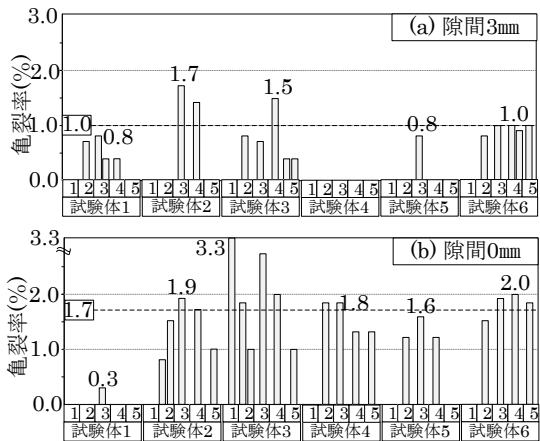


図-3 初期亀裂計測結果

近（節番号 2, 3, 4）で発生していた。なお、図-3(a)に示す試験体 4 のように、全く亀裂が認められないものや、図-3(b)に示す試験体 1 のように、同水準の他の試験体と比べて亀裂が小さいものなど、計測結果に若干のばらつきも見受けられた。

図-4 に各隙間の設定において、最大亀裂が発生した試験体の鉄筋形状と最大亀裂をトレースした結果を示す。なお、節上の数値は加工後の節高であり、節周辺で観察された亀裂の向きと亀裂率も併せて示した。図-4(a)では、隙間 3mm の試験体 2 で 5 個の節高の平均が 0.48mm、同じく図-4(b)では、隙間 0mm の試験体 3 で 0.19mm となった。以上より、隙間の大きさによって節のめり込み量は大きく異なっており、隙間 0mm では完全に節がめり込むなど、隙間が小さくなると節のめり込み量が大きくなることを明らかとした。

3. 初期損傷の発生要因

図-5 に、ローラーと鉄筋の間に隙間を設けた場合の曲げ加工状況を示す。図-5 中の A 点は、ローラーと鉄筋が最初に接する点であり、設定した隙間に相当する分だけローラーが移動して鉄筋と接する。次に、図-5 中の C 点は、鉄筋と加工芯が接する点であり、加工芯に沿った曲げ加工が行われていたことから、鉄筋の曲がり始める点となる。ここで、A 点と加工芯の中心 O を結んだ直線上には、鉄筋と加工芯の間に隙間 Y が生じることになる。続いて、(b)ローラーが移動していく際、(a)で示した隙間 Y が維持された状態で鉄筋は曲げられる。この場合、鉄筋の曲がり点はローラーの移動位置より遅れ、図中 C' となるため、隙間 Y によって生じる空間の部分が応力を緩和すると推察される。

図-6 に計測を行った全ての節について、加工後の節高と発生した亀裂率の関係を示す。図より、各隙間でプロットの分布は異なっているものの、節のめり込み量が大きくなると、亀裂率も大きくなる傾向が確認された。ここで、図-2 より、隙間の大小にかかわらず、図-6 上のすべての点は、曲げ加工半径が $1.57d \sim 1.69d$ の範囲である。このことから考えると、同程度の半径で曲げ加工が行われた場合でも、節のめり込み量は異なる可能性があり、結果的にめり込み量が大きくなった鉄筋において、鉄筋損傷の危険性が高まることが考えられる。

4. まとめ

- 1) ローラー型曲げ加工を行った結果、加工後の節高は加工前の節高 1.00mm に対して、隙間 3mm で 0.48mm、隙間 0mm では 0.19mm となった。これより、曲げ加工に伴う節のめり込み量は鉄筋とローラーの間隔を変えることによって変化し、両者の隙間を小さくするほど、節のめり込み量が大きくなることを明らかとした。
- 2) 曲げ加工半径は隙間の大小にかかわらず $1.57d \sim 1.69d$ となった。併せて、亀裂率と節高の関係を調査すると、節のめり込み量が大きくなると、亀裂率も大きくなる傾向が確認されたことから、同一の曲げ加工半径であっても、曲げ加工方法やその設定が変わることで節のめり込み量とめり込みに伴う初期亀裂率が異なることを示唆した。

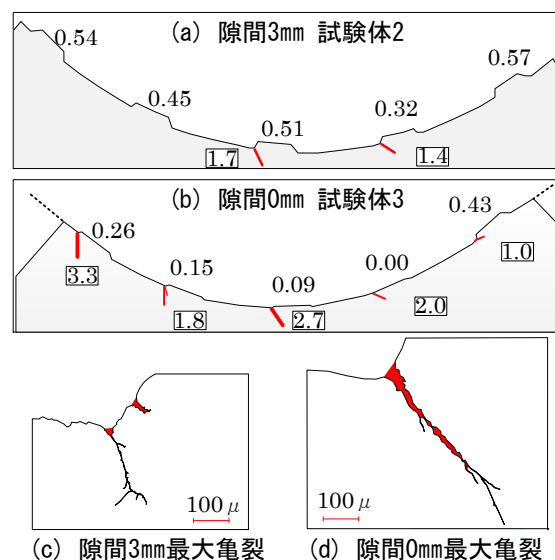
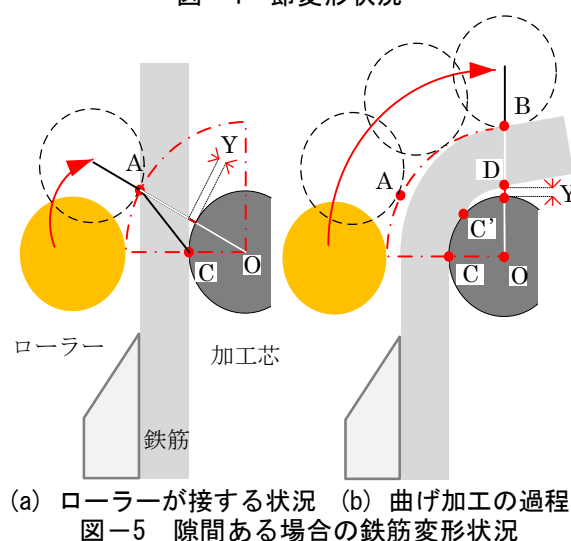


図-4 節変形状況



(a) ローラーが接する状況 (b) 曲げ加工の過程
図-5 隙間ある場合の鉄筋変形状況

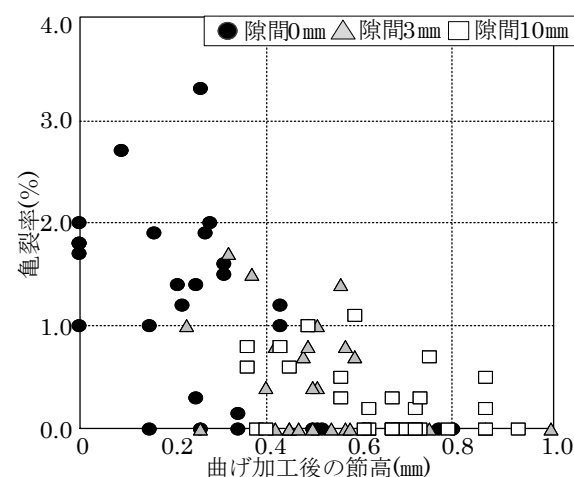


図-6 亀裂率と曲げ加工後の節高の関係