

鉄筋曲げ加工時に発生する初期亀裂の発生メカニズムに関する研究

九州工業大学大学院

学生会員 興梶展朗

九州工業大学

正会員 幸左賢二

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

1. はじめに

近年アルカリ骨材反応（以下ASR）による構造物の劣化が問題となっており、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が多発した場合、帯鉄筋の有効付着長に変化が生じることで、せん断耐力が低下する可能性があり、注意を要する。本研究では図-1の研究フローに示すようにASR構造物での鉄筋破断は鉄筋曲げ加工部内側に発生した初期亀裂を起点として発生していると考えられるため、初期亀裂は鉄筋破断において重要な要因であり、初期亀裂の発生メカニズムを明らかにする必要があると言える。本研究では、鉄筋を段階的に曲げ加工し、各々の初期亀裂の発生傾向を検討することで初期亀裂発生メカニズムを推定した。

2. 試験概要

表-1に検討試料を示す。初期亀裂発生メカニズム試験は鉄筋種別、曲げ角度をパラメータとしており、曲げ加工半径 1.0d で検討を行った。なお、本検討では、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（旧鉄筋）と現在市販されている鉄筋（現行鉄筋）の竹節のものを用いて比較している。

図-2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おり、試料長は 300mm 程度の曲げ加工が行える長さを確保した。鉄筋は横節が加工芯に当たるように設置した。また、図-3に示すように、曲げ角度 0°~60°の間を 15°刻みで曲げ加工しており、曲げ角度はローラーの移動距離を変化させ調節した。本検討では鉄筋種別として現行鉄筋と旧鉄筋を用いているが、大きな違いとして節の形状が挙げられる。特に図-4に示すような節形状変化部の変化量 ϕ において明確な差異が生じており、本検討で用いた旧鉄筋は ϕ 1.5mm、現行鉄筋は ϕ 8.0mm と大きな差異が見られた。なお、節形状変化量 ϕ は節の直線部および、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 ϕ とした。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亀裂の発生状況を調べるため、図-5に示すように鉄筋の曲げ加工部の縦断面を顕微鏡を用いて 50~200 倍に拡大し亀裂の深さを測定した。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。

3. 節変形結果

図-6に鉄筋を曲げた際の節の変形の概要図を示す。図-6より、曲げ加工により鉄筋の節は最低でも 3 つ程度曲げ加工による影響があることが分かった。ここでは、最初に曲げ加工の芯に接しているものから順に節 1、節 2、節 3 とする。また、鉄筋の方向が分かるように、曲げ加工時にローラーで曲げられていく部分を曲げ加工側とし、固定されている部分を固定側と表記する。まず、曲げ角度 15°~30°の間に最初に接していた節 1 の変形が終了した。その後、45°~60°の間

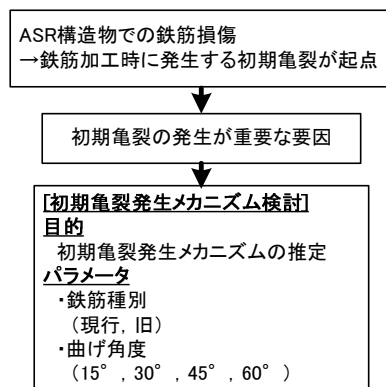


図-1 研究フロー

表-1 検討試料

	鉄筋種別	曲げ加工半径	節形状変化量 ϕ (mm)	曲げ角度	試料数
初期亀裂発生メカニズム試験	旧D16	1.0d	1.5	15°	1
				30°	1
				45°	1
				60°	1
	現行D16	1.0d	8.0	15°	1
				30°	1
				45°	1
				60°	1

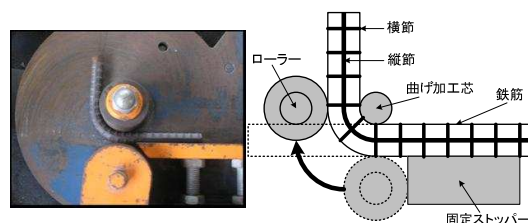


図-2 曲げ加工方法

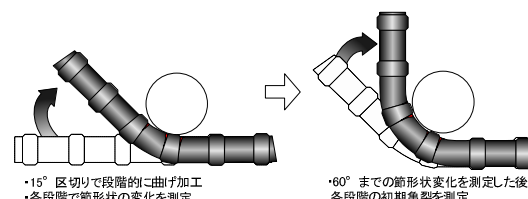


図-3 段階曲げ加工

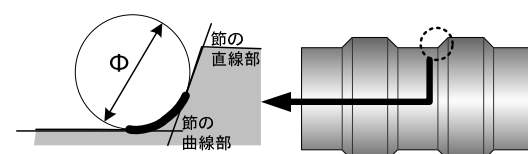


図-4 節形状の測定

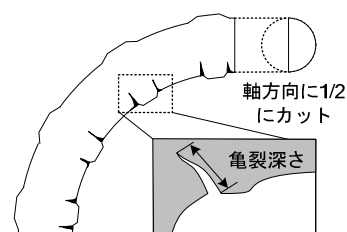


図-5 鉄筋縦断面観察方法

に最も大きな亀裂が発生する傾向にある節 2 が完全に潰れた。最後に、75°～90°の間に節 3 が潰れるという結果となった。以上の点から、最も変形の大きい節 2 に特に着目して節の変形を検討していく。

写真-1 に現行鉄筋と旧鉄筋の節 2 の変形の様子を示す。まず、節の変形に着目すると、旧、現行鉄筋ともに固定側が潰れた後、曲げ加工側が潰れており、ローラーが段階的に鉄筋を押し曲げていく影響が見られた。次に初期亀裂の発生傾向に着目すると、曲げ加工側で大きな亀裂が発生する傾向が見られた。この傾向は特に旧鉄筋で顕著であり、曲げ角度 0°～15° で固定側の節付け根部に微小な初期亀裂が発生後、15°～30° で固定側よりも大きな初期亀裂が曲げ加工側の節付け根部に発生した。この際、初期亀裂が発生している箇所では節の形状が急激に変化していた。その後、30°～45° で急激な形状変化部がほぼ変形が終了し、曲げ加工側の節付け根部の亀裂が非常に大きくなった。最終的に 45°～60° の間に節 2 が完全に潰れ、初期亀裂が最大となる傾向が見られた。これに対して、現行鉄筋では急激な形状変化部が形成された痕跡は見られず、節が非常に滑らかに変形しており、初期亀裂の発生が見られなかった。以上より、節が変形していく過程で応力集中が生じやすい急激な形状変化部が形成されることが初期亀裂の発生要因に大きく関係していると考えられる。

4. 初期亀裂発生メカニズム

節変形結果より、初期亀裂の発生には節形状の変化の影響が大きいと考えられる。そこで、初期亀裂が顕著に発生した旧節形状に関して図-7 に示すように断面の面積変化と形状の推移で初期亀裂発生メカニズムの検討を行った。なおここでは、初期亀裂は節が鉄筋内部にめり込んだ部分と仮定して評価している。図-7 より、15° 程度の曲げ加工がされただけで、節の断面の面積は曲げ加工前と比べ 50% 程度に低下している。これは、節が曲げ始めにおいて軸方向よりも変形しやすい鉄筋の周方向に変形したためであると考えられる。しかしながら、曲げ角度 15°～60° を見てみると節の面積は 53～44% 程度であり、節の断面上の面積はほぼ変化していなかった。以上の結果より推定される初期亀裂発生メカニズムを図-8 に示す。まず、曲げ始めの段階で節が鉄筋の周方向に変形した後 (STEP1)、変形する場所が無くなった 50% 程度の節が鉄筋内部にめり込み始める (STEP2)。この時、節が変形した際に形成された急激な形状変化部で応力集中が生じるとともに、初期亀裂が発生すると推定される (STEP3)。

5. まとめ

- (1) 推定初期亀裂発生メカニズムより、曲げ加工時に鉄筋の周方向に変形しきれなかった 50% 程度の節が鉄筋内部にめり込む際に、急激な形状変化部で応力集中が生じ、初期亀裂が発生すると推定される。
- (2) 現行鉄筋に関しては、曲げ加工において節の形状が滑らかに変化するため、鉄筋破断の起点となる初期亀裂が非常に発生しにくい節形状を有しており、ASR の鉄筋破断現象に対しても安全性が高いと言える。

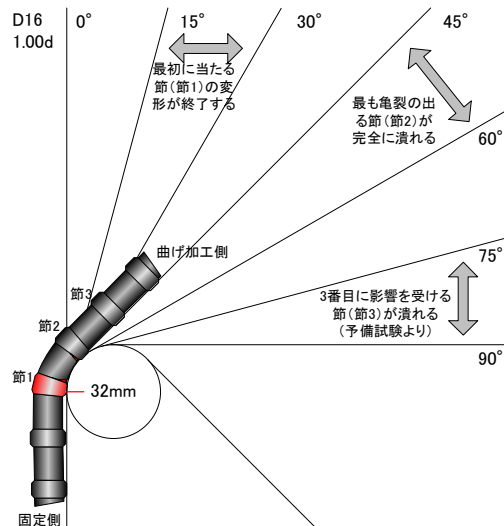


図-6 節変形結果概要

	旧鉄筋 (φ 1.5) 1.00d	現行鉄筋 (φ 8.0) 1.00d
15°	 亀裂深さ 0.3%	
30°	 0.5% 0.7%	
60°	 0.4% 3.4%	 0.6%

写真-1 節変形写真

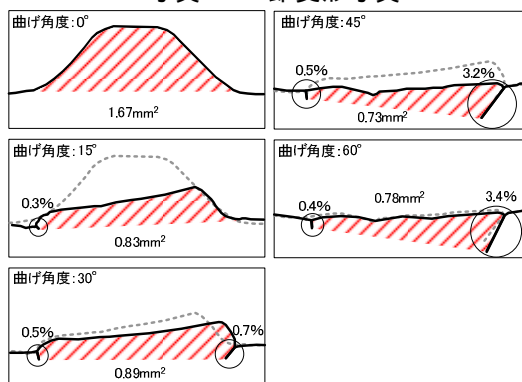


図-7 旧節変形状態

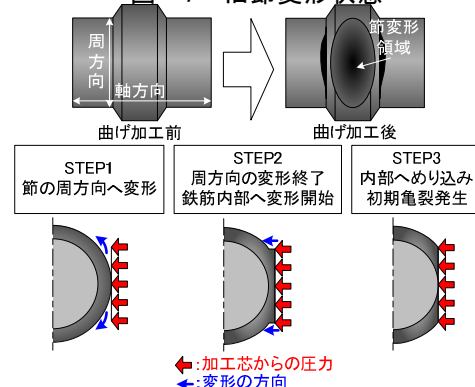


図-8 推定初期亀裂発生メカニズム