

鉄筋曲げ加工時に発生する初期亀裂の発生傾向に関する研究

九州工業大学大学院

学生会員 三浦正嗣

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

非会員

荒木智

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、ASRによって鉄筋破断に進展する可能性のある初期亀裂域を明らかにする必要がある。そこで、本研究では、鉄筋曲げ加工試験より加工条件・鉄筋形状が初期亀裂へ与える影響を解明することにより、安全性の高い鉄筋種別の選定や鉄筋加工条件の検討を行った。

2. 試験概要

表-1 に検討試料を示す。初期亀裂の発生傾向の比較は、スターラップに多く使用されている D16 を使用した。また、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）の竹節のものをを用いて比較している。パラメータとしては曲げ加工半径を JIS G3112 で規定されている 2.0 d、極端に厳しく加工された場合の 1.0 d、その間の 1.5 d の 3 水準について比較した。また、旧鉄筋においては複数の構造物からはつり出された鉄筋であるため、 $\phi 1 \sim 4$ の範囲で節形状変化量が確認された。そのため、旧鉄筋においては $\phi 1 \sim 2$ 、 $\phi 2 \sim 3$ 、 $\phi 3 \sim 4$ の範囲に区分し、現行鉄筋においては同形状の鉄筋を用いているため節形状変化量を $\phi 8$ とした。

鉄筋の曲げ加工には図-2 に示すようにローラー式の鉄筋曲げ加工装置を使用し、試料長さは充分曲げ加工が行える 300mm とした。初期亀裂深さは図-3 に示すように鉄筋曲げ加工部の縦断面を顕微鏡を用いて 50 ～ 200 倍に拡大して測定した。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。なお、節形状変化量 ϕ 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 ϕ とした。

3. 曲げ加工半径の違いによる初期亀裂発生傾向

旧 D16 の節形状変化量 $\phi 1 \sim 2$ において、曲げ加工半径が初期亀裂発生傾向へ与える影響を比較したものを図-5 に示す。横軸は亀裂深さを 0.5% 区切りで示し、縦軸は亀裂深さに対する発生本数となっている。また、本来亀裂深さは連続的に変動する数値を持つため、亀裂深さの発生傾向が正規分布に従うと仮定し、確立密度関数を用いて発生確率を曲線分布で示した。そのため、第 2 縦軸には発生確率を示している。さらに、データ諸元も合わせて示す。

図-5 より、5% 超過確率値を比較すると 1.0d が 4.0%、1.5d が 3.4%、2.0d が 2.6% であり、1.0d と 2.0d における比較を行うと最大値で 1.4% 程度の差であった。また、一本の鉄筋の曲げ加工部当たり発生している平均亀裂発生本数については、1.0d が最も初期亀裂の発生本数が多いこ

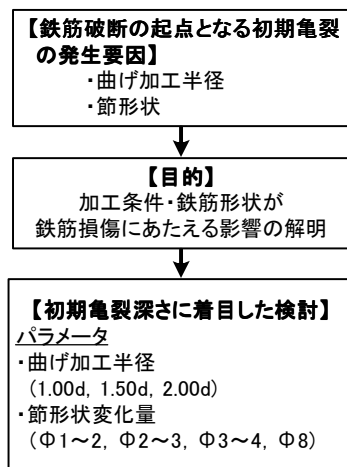


図-1 研究フロー

表-1 検討試料

	鉄筋種別	曲げ加工半径	節形状変化量 Φ (mm)	試料数
初期亀裂発生傾向比較試験	旧D16	1.00d	1.0～2.0	3
			2.0～3.0	3
			3.0～4.0	3
		1.50d	1.0～2.0	3
			2.0～3.0	3
			3.0～4.0	3
	現行D16	2.00d	1.0～2.0	3
			2.0～3.0	3
		1.00d	8.0	3
			8.0	3

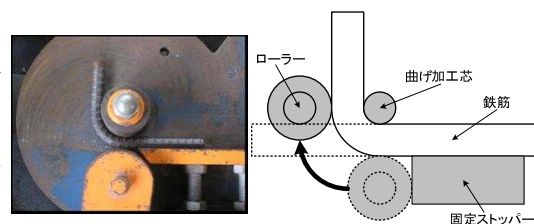


図-2 曲げ加工方法

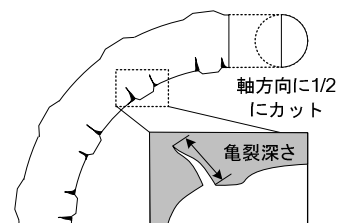


図-3 鉄筋縦断面観察方法

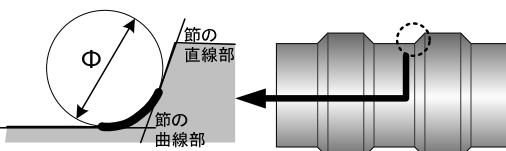


図-4 節形状の測定

とがわかる。以上の点より、曲げ加工半径が小さくなるほど、初期亀裂の発生傾向が高まることが確認された。しかしながら、 $\phi 1\sim 2$ では JIS G3112 の曲げ加工の規格値である曲げ加工半径 $2.0d$ においても比較的大きな損傷が発生していた。

4. 節形状変化量の違いによる初期亀裂の発生傾向

前項の検討結果より旧鉄筋の場合、曲げ加工半径 $2.0d$ であっても比較的大きな損傷を受けており、節形状変化量の影響を詳細に調査する必要がある。そこで、D16-1.0d における節形状の影響に着目した初期亀裂の発生傾向の比較を行った。その結果を図-6 に示す。図-5 と同様に亀裂の発生本数、発生確率、亀裂深さの比較を行っている。図-6 より、節変形量 $\phi 1\sim 2$ の 5%超過確率値の値において $\phi 1\sim 2$ では、4.0%であるのに対して、 $\phi 2\sim 3$ が 1.9%、 $\phi 3\sim 4$ が 1.7%であり、節形状変化量が鉄筋損傷に影響が顕著に表れていることがわかる。一方、平均亀裂発生本数に着目すると、 $\phi 3\sim 4$ おいても 6.7 本と多くの初期亀裂が発生しているおり、節形状変化量との相関性は低いものと考えられる。

5. 現行鉄筋での初期亀裂発生傾向

現行鉄筋での初期亀裂の発生傾向を図-7 に示す。現行鉄筋の 5%超過確率値は 1.0d で 1.2%、2.0d で 0.6%と旧鉄筋と比較して非常に小さな亀裂深さであった。また、平均発生本数をみると、曲げ加工半径 $2.0d$ では 1.7 本程度の初期亀裂しか発生していなかった。このことから、JIS G3112 の規格通りに曲げ加工半径で現行鉄筋を加工する場合、ASR による鉄筋破断に対して非常に安全性が高いと考えられる。

6. 初期亀裂の鉄筋破断への影響の検討

初期亀裂が ASR による鉄筋破断に与える影響の検討を行う。ここでは既往の研究において、膨張コンクリートを用いることにより、ASR による鉄筋破断に近い鉄筋損傷の再現を行った実験における検討結果¹⁾を参考としている。

図-8 に本試験での 5%超過確率値の比較を示す。図-8 に示すように、供試体実験における旧鉄筋 1.0d の初期亀裂平均値 1.5%を、本試験における 5%超過確率値と比較すると、旧鉄筋である $\phi 1\sim 4$ の鉄筋では曲げ加工半径に関わらず 1.5%を超える初期亀裂深さが発生する傾向が得られた。一方、現行鉄筋に着目すると、曲げ加工半径が 1.0d にも関わらず 1.5%を超えておらず、鉄筋破断の可能性が極めて低いと考えられる。以上の検討結果より、現行鉄筋を用いて適切な鉄筋加工を行っている場合、ASR により鉄筋破断が発生する可能性は極めて低いと考えられる。

7. まとめ

- (1) 初期亀裂の発生傾向より、初期亀裂の発生には、曲げ加工半径と節形状の影響が大きく、特に節形状変化量 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) 各試料の初期亀裂深さの 5%超過確率値の比較結果より、旧鉄筋では曲げ加工を行うことにより、1.5%を超える可能性が示唆されたが、現行鉄筋の初期亀裂は非常に小さく、鉄筋破断に至る可能性は非常に小さいと考えられる。

参考文献

- 1) 幸左賢二, 川島恭志, 合田寛基, 興梠展朗, 五十嵐弘行: 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

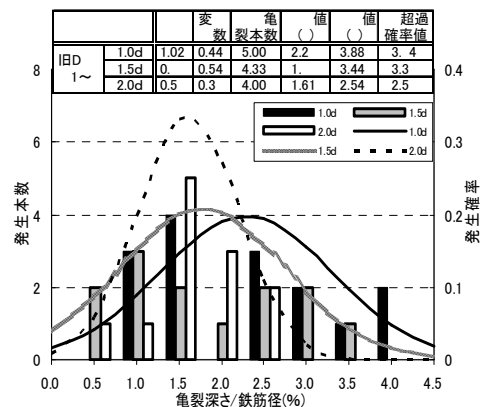


図-5 曲げ加工半径の影響(旧鉄筋)

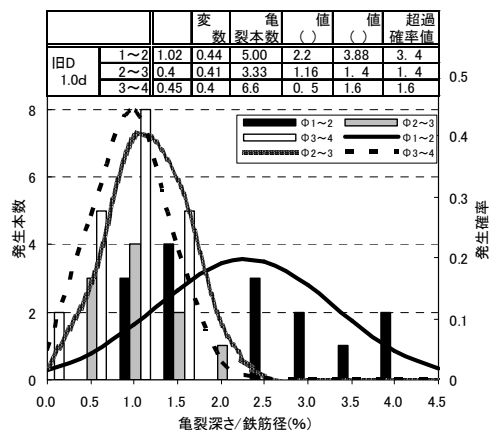


図-6 節形状変化量の影響(旧鉄筋)

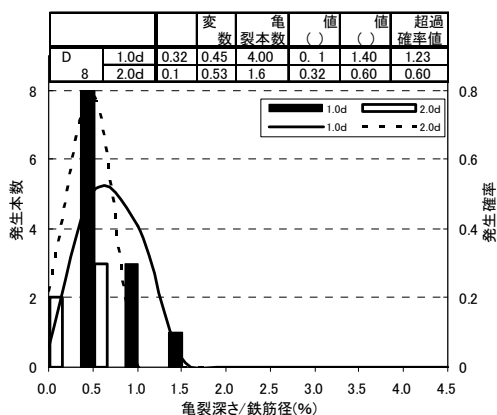


図-7 現行鉄筋初期亀裂発生傾向

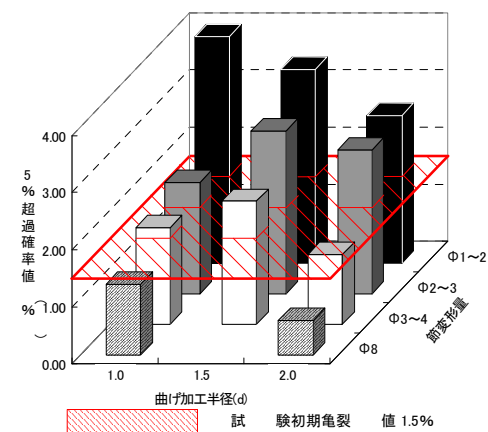


図-8 5%超過値比較