

コンクリートの膨張に伴う鉄筋損傷に関する研究

九州工業大学
中研コンサルタント

学生会員 興梶展朗
正会員 川島恭志

九州工業大学
九州工業大学

正会員 幸左賢二
正会員 合田寛基

1. はじめに

ASR劣化構造物において、鉄筋の曲げ加工部で破断する事例が報告されているが、その損傷メカニズムについては未解明な部分が多い。そこで本研究では、初期亀裂の発生した鉄筋を供試体内に配置し、亀裂の進展度の検討を行った。

2. 検討内容

図-1 に検討フローを示す。ASR による鉄筋破断は曲げ加工時に発生する初期亀裂、ASR によるコンクリートの膨張、遅れ破壊等の材料の劣化といった複合的な要因により発生すると考えられるが、本検討では曲げ加工半径をパラメータとして検討を行った。また、D10 を基準としたが、鉄筋破断が生じた構造物は節形状が改訂される前の鉄筋を使用していたことから旧節形状の D16 (以降旧 D16 と称す) も検討対象に加え、比較対象として現行 D16 も用いた。

3. 実験概要

表-1 に供試体諸元を示す。case1~5 は現行 D10 を用い、曲げ加工半径、帯鉄筋比、かぶりの有無をパラメータとした実験を行った。case6, 7 は現行 D10, 現行 D16, 旧 D16 の 3 種類の鉄筋を用いて作製し、節形状、鉄筋径をパラメータにした実験を行った。図-2 に供試体形状を示す。本研究では、膨張コンクリートを普通コンクリートの枠の中に打設することで、ASR による膨張を模擬している。ひずみの測定は、鉄筋の変形を考慮するため曲げ加工部内側(A)、外側(B)、近傍(C)、直線部(D)にゲージを貼り付けた。また、亀裂の進展を確認する曲げ加工部にはゲージを貼り付けなかった。なお、case6, 7 においては供試体の両端に現行 D16, 旧 D16 を、中央部に現行 D10 を配置した。

case7 では膨張収束後、過防食の方法で水素を充填させ、その後拡散性水素量を測定することにより水素脆化の影響を評価する予定であったが、膨張実験時に鉄筋破断が確認されたため、膨張収束後、case6 と同様に鉄筋をはつり出し、縦断面観察を行った。

4. 膨張実験結果

図-3 にひび割れ損傷図を図-4 に鉄筋ひずみ経過図を示すが、過年度の実験と同様の傾向であった¹⁾。まず、供試体全体が丸くなる挙動となるためひび割れが供試体中央部に発生し、次に端部で発生した。その後、鉄筋は曲げ戻しの影響により曲げ加工部内側で大きな引張ひずみが発生し、膨張が進むと鉄筋が降伏して拘束力が低下するため、端部のひび割れが拡大したと考えられる。また、図-4 より D10 に着目すると、膨張初期の段階で曲げ加工部の内側(A)では大きな引張ひずみ、外側(B)では大きな圧縮ひずみが発生している。一方、曲げ加工部近傍(C)及び直線部(D)においては降伏に至るひずみは発生していないことから、曲げ加工部のみに変形が

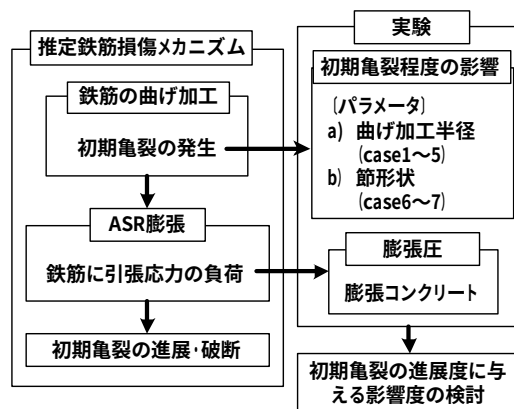


図-1 検討フロー

表-1 供試体諸元

	曲げ加工半径	帯鉄筋比	鉄筋種別	かぶり	環境条件
case1	1.0d	0.147%	D10	有り	
case2	1.0d	0.147%	D10	無し	
case3	1.0d	0.290%	D10	有り	
case4	1.25d	0.147%	D10	有り	
case5	0.75d	0.147%	D10	有り	
case6	1.0d	0.410%	3種類※	有り	
case7	1.0d	0.410%	3種類※	有り	水素脆化

※現行D16, D10, 旧節形状D16

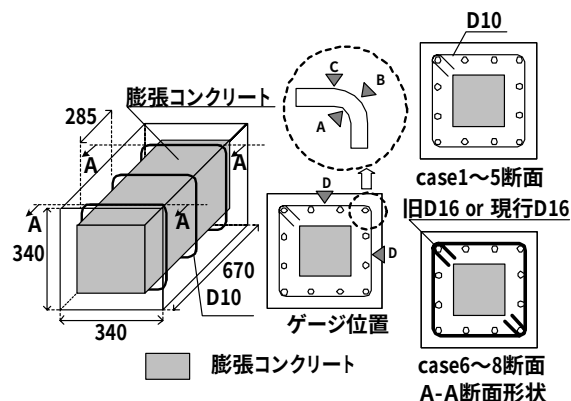


図-2 供試体形状

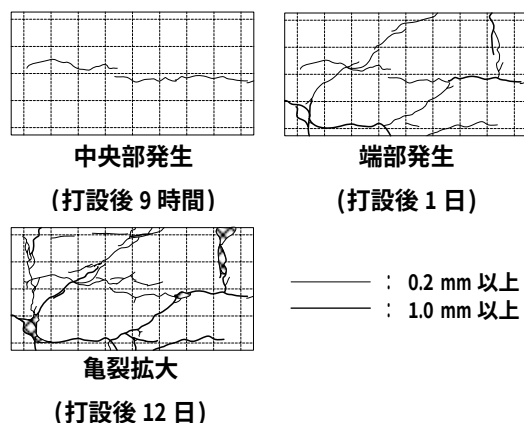


図-3 ひび割れ損傷図 (case6)

集中していると考えられる。

5. 縦断面観察結果

縦断面観察方法を図-5 に示す。90°に曲げ加工した鉄筋を軸方向に1/2にカットし、顕微鏡を用いて50～200倍に拡大した断面を観察し、亀裂の深さを測定した。なお、ここでは曲げ加工しただけの状態にて測定した亀裂を初期亀裂、膨張実験より膨張圧を受けた帯鉄筋の曲げ加工部で測定した亀裂を進展後亀裂とした。初期亀裂に関しては各条件において鉄筋3本について測定した。

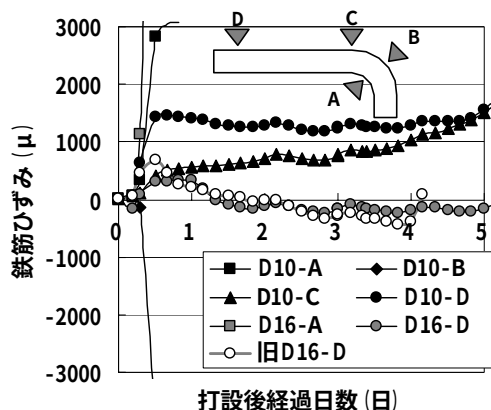


図-4 鉄筋ひずみ経過図 (case6)

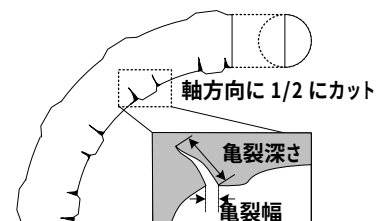


図-5 亀裂の測定方法

表-2 初期亀裂の大きさと発生個数

節形状	曲げ加工半径	断面に対する亀裂割合 (%)		平均亀裂発生個数
		平均	最大	
現行D10	1.25d	0.14	0.26	2.0
	1.00d	0.17	0.41	2.7
	0.75d	0.70	1.48	4.3
現行D16	1.00d	0.61	1.79	6.0
旧節形状D16	1.00d	1.43	3.96	5.0

表-2 に初期亀裂の大きさと亀裂発生個数を示す。表-2 より、現行D10 に着目して平均深さを比較すると、0.75d では1.00d と比べて4.1倍、1.25d と比べて5.0倍の初期亀裂深さが発生していた。亀裂の発生個数についても曲げ加工が厳しい方が多く、厳しい曲げ加工半径は初期損傷に与える影響が大きいと考えられる。次に、現行D10と現行D16の曲げ加工半径1.00dを比較すると、現行D16の方が大きな初期亀裂深さとなっていることから、同じ曲げ加工半径であっても、鉄筋径が大きくなると初期損傷が大きくなり亀裂も多く発生すると考えられる。また、節形状に着目し、現行D16と旧節形状D16を比べると亀裂の発生個数では差が小さいが、旧節形状の方が、初期亀裂深さが2倍以上の値を示しているため、旧節形状鉄筋の方が大きな初期亀裂が入りやすいと言える。

以上より、旧節形状D16を用いて厳しい曲げ加工を行った場合が最も損傷を受けやすいと言える。

図-6 に初期亀裂と進展後亀裂の最大値の比較を示す。図-6 よりほとんどの条件において亀裂の進展が見られたが、現行D16に関しては、進展後の亀裂深さの方が小さくなっている。これは膨張前の亀裂が軽微であったためと考えられる。また、旧D16では亀裂進展が非常に顕著であることから、初期亀裂が大きいほど亀裂の進展速度が早いと考えられる。

6. 推定鉄筋損傷メカニズム

以上より、考えられる亀裂進展メカニズムを図-7に示す。厳しい曲げ加工、節形状、鉄筋径の影響により初期亀裂が発生し、コンクリートの膨張によって初期亀裂は進展するが、初期亀裂が大きい場合、応力集中が顕著に発生し、亀裂が急激に進展していくと考えられる。よって、鉄筋破断において初期亀裂の程度は大きく影響すると考えられる。

7. まとめ

- (1) ASRによる膨張を模擬したコンクリート供試体の帯鉄筋曲げ加工部近傍と曲げ加工部のひずみの比較から、曲げ加工部のみに変形が集中することが分かった。
- (2) 旧節形状で曲げ加工半径が厳しい場合、現行と比較し2.0倍以上の初期損傷を受けた。進展後亀裂は現行と比較し最高16.5倍の亀裂が発生したため、初期亀裂部で応力集中が顕著に発生し亀裂が進展したと考えられる。

参考文献

- 1) 荒木ら:ASR膨張による鉄筋損傷メカニズムの実験的研究,第60回年次学術講演会講演概要集,5-015, pp.29-30, 2005.7

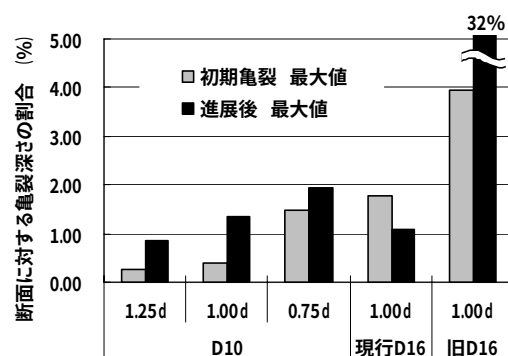


図-6 亀裂最大値比較

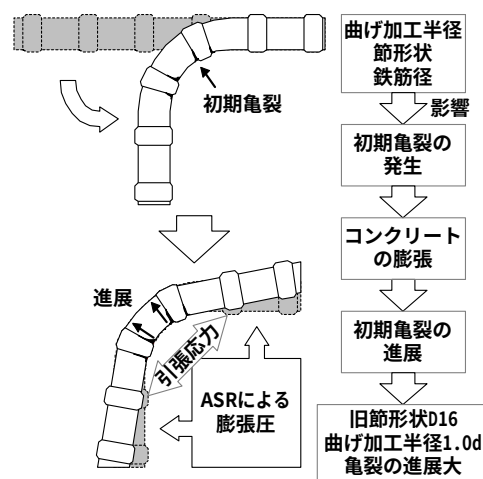


図-7 推定鉄筋損傷メカニズム