

ASR による鉄筋破断の模擬実験

九州工業大学大学院

学生会員

興梠 展朗

九州工業大学

正会員

幸左 賢二

住友大阪セメント

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

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、損傷メカニズムについて未解明な部分が多い。そこで本研究では、鉄筋損傷とコンクリートの膨張に着目し、コンクリート構造物内部で膨張圧を受けた鉄筋損傷の進展、鉄筋破断の検討を目的として実験を行った。

2. 検討内容

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、本研究では主にコンクリート構造物内部で鉄筋が膨張圧を受けた場合の鉄筋の初期亀裂進展に着目した検討を行った。D10を基準とした検討を行っていたが、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（以下旧 D16 と称す）を検討対象に加え、比較対象として現行 D16 も用いている。

3. 実験概要

表 - 1 に供試体諸元を示す。case1～5 は現行 D10 を用いた実験を行い、case6～8 は現行 D10、現行 D16、旧 D16 の 3 種類の鉄筋を用いた実験を行った。図 - 1 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。case7 では膨張収束後、過防食の方法で水素を充填させ、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、亀裂の観察を行った。

4. 実験結果

4.1 ひび割れ損傷

図 - 2 にひび割れ損傷図を示す。図 - 2 より実験供試体は、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りひずみが発生し、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。供試体実験より、ひび割れの発生は中央部から端部へと段階的に発生していったため、ひび割れの発生位置に関して対象橋梁と比較を行った。図 - 3 に検討断面を示す。検討断面の各側面を 8 分割し、領域を曲げ加工部直上、曲げ加工部近傍、中央部近傍、中央部の 4 つの領域に分けて検討を行った。図 - 4 にひび割れ密度の比較を示す。供試体は膨張量大の case3～8 の平均のデータを用い、対象橋梁は梁

表 - 1 供試体諸元

	膨張量	曲げ加工半径	常鉄筋比	鉄筋種別	かぶり	環境条件
case1	小	1.00d	0.147%	D10	有り	通常
case2		1.00d	0.147%	D10	無し	通常
case3		1.00d	0.290%	D10	有り	通常
case4		1.25d	0.147%	D10	有り	通常
case5		0.75d	0.147%	D10	有り	通常
case6	大	1.00d	0.410%	3種類	有り	通常
case7		1.00d	0.410%	3種類	有り	水素脆化(中止)
case8		1.00d	0.410%	3種類	有り	腐食

現行D16, D10, 旧節形状D16

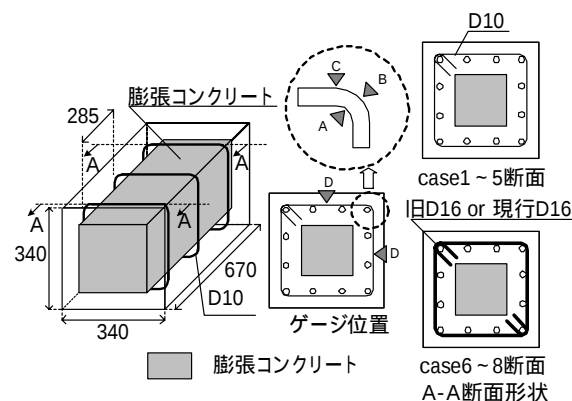


図 - 1 供試体形状

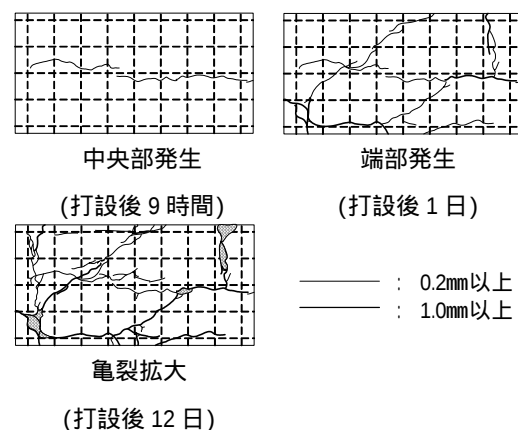


図 - 2 ひび割れ損傷図 (case6)

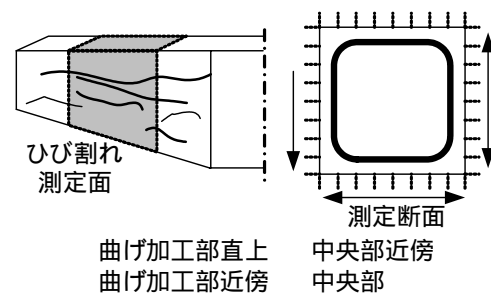


図 - 3 ひび割れ密度検討断面

キーワード：アルカリ骨材反応，膨張圧，鉄筋破断，旧節形状

連絡先：九州工業大学 〒804-8550 福岡県北九州市戸畑区仙水町 1-1 TEL, FAX(093)884-3123

部の平均を用いて評価を行った。図-4より供試体,対象橋梁ともに,全体にひび割れが発生している傾向が見られた。供試体においては,特に曲げ加工部直上に対象橋梁の5倍のひび割れが発生していることから,実構造物よりも鉄筋破断に対して厳しい損傷状態になっていると考えられる。

4.2 鉄筋ひずみ

図-5に鉄筋ひずみの経過図を示す。図-5よりD10の鉄筋ひずみに着目すると,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ものの,ひずみの進展が遅いことから,曲げ加工部のみに変形が集中していると考えられる。反応性骨材を用いた鳥居らの実験結果¹⁾より降伏を超えるひずみが出ているのは曲げ加工部のみであることから,本実験ではASR膨張を受ける鉄筋の挙動を模擬できたと考えられる。

4.3 鉄筋損傷

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より現行D10,旧D16では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。旧D16での亀裂進展が非常に顕著であり,最大で78.8%の亀裂が確認されたことから,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。図-7に亀裂の進展状況を,図-8に鉄筋破断面を示す。図-7に示すように,鉄筋破断に至るような亀裂は曲げ加工部内側から外側に向けて進展していくことが分かる。また,図-8に示すように,実構造物の鉄筋破断調査より1次亀裂(初期亀裂),2次亀裂,3次亀裂という3つの領域が存在することがわかっている。2次,3次亀裂の特徴として,脆性破面であること,2次亀裂から3次亀裂へと変化する境界に延性破面が発生することが挙げられる。本実験で破断した鉄筋の破断面では,実構造物と同様の分布で破面性状が確認され,脆性破面の境界において延性破面が発生していた。したがって,本実験での鉄筋破断は定性的に実構造物の鉄筋破断を再現できたと考えられる。鉄筋破断はcase7の旧D16で発生し,現行鉄筋での破断は確認されなかった。case7は環境条件が通常であり,膨張圧のみを与えた供試体であることと,図-6の結果を考慮すると,旧鉄筋のように初期損傷が大きく発生すること,コンクリート構造物内部で膨張圧を受けることが鉄筋破断の支配的な要因であると考えられる。

5. まとめ

- (1)本実験結果と実構造物のひび割れ状況や,鉄筋ひずみの進展状況を比較すると,構造物全体が膨張すること,鉄筋曲げ加工部でひずみが進展する傾向が同様であることから,ASR構造物内部での鉄筋損傷状況を再現できたと考えられる。
- (2)旧節形状鉄筋のように,初期損傷が大きく発生し,コンクリート構造物内部で大きな膨張圧を受けることが,鉄筋破断の支配的な要因であると考えられる。

参考文献:1)鳥居和之ら:ASR膨張がコンクリート構造物の鉄筋破断に与える影響,コンクリート工学年次論文集,Vol.25, No.1, pp.1535-1540, 2003.6

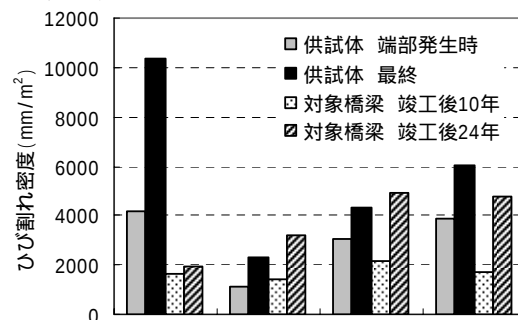


図-4 ひび割れ密度比較

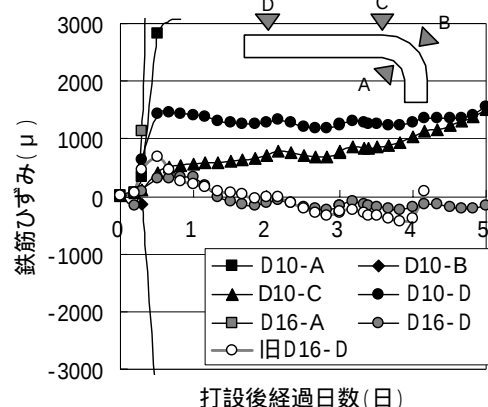


図-5 鉄筋ひずみ経過図 (case6)

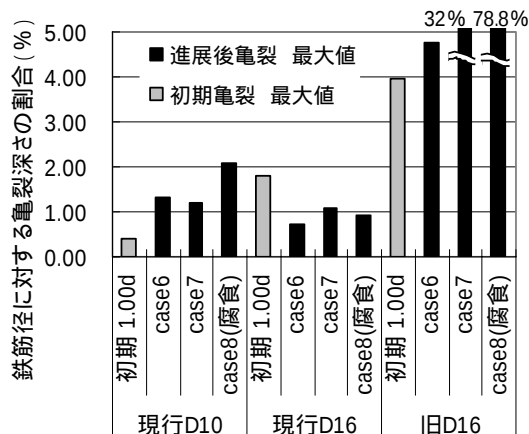


図-6 亀裂最大値比較

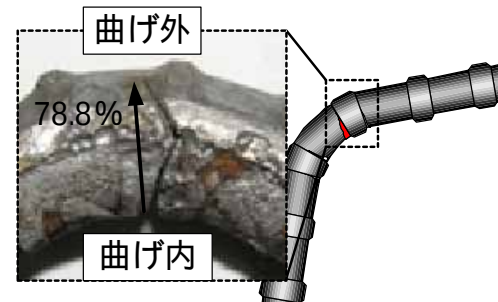


図-7 亀裂進展状況 (case8)

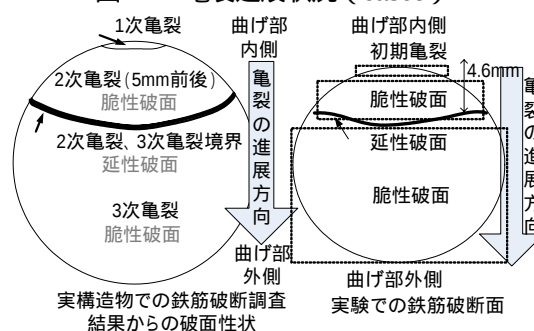


図-8 鉄筋破断面 (case7)