

ASR による鉄筋破断現象の再現実験

九州工業大学大学院
住友大阪セメント

学生会員 興梠 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

表-1 供試体諸元

	かぶり	曲げ加工半径	帯鉄筋比	鉄筋種別	半割り有無	環境条件
case1	有り	1.00d	0.147%	現行D10	無し	通常
case2	無し		0.290%			
case3	有り		0.147%			
case4	有り	1.25d	0.147%	現行D16・ 旧節形状D16	無し	通常
case5		0.75d				
case6	有り	1.00d	0.410%	現行D16・ 旧節形状D16	無し	通常
case7						
case8				腐食量 10%		
case9					腐食量 4%	
case10						

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は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評価を目的として実験を行った。

2. 検討内容

ASR による鉄筋破断は初期亀裂、ASR による膨張等の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損傷に着目した検討を行った。本研究では大別して、現行鉄筋、旧節形状鉄筋を用いた供試体を作成した。本稿では特に、鉄筋破断が発生した旧節形状鉄筋を用いた供試体に着目し、鉄筋破断に至る具体的なメカニズムの検討を行った。

3. 実験概要

表-1 に供試体諸元を示す。本稿では、case6~10 に着目する。図-1 に供試体形状を示す。本研究では膨張モルタル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。なお、亀裂の進展を経時的に測定するために、case9, 10 では図-2 に示すように、鉄筋曲げ加工部を半割りにした鉄筋を供試体の端部に配置し、一部コンクリートを除去することで鉄筋損傷進展のモニタリングを行った。また、コンクリートの変形量と鉄筋の損傷度の関係を検討するため、供試体断面の変形量を測定した。変形量の測定方法を図-3 に示すが、400 万画素のデジタルカメラを用いて、断面全体を 1.0mm の精度で測定、詳細な変形量が必要な場合は、75mm×75mm 範囲を 0.1mm の精度で各標点間の距離を測定している。

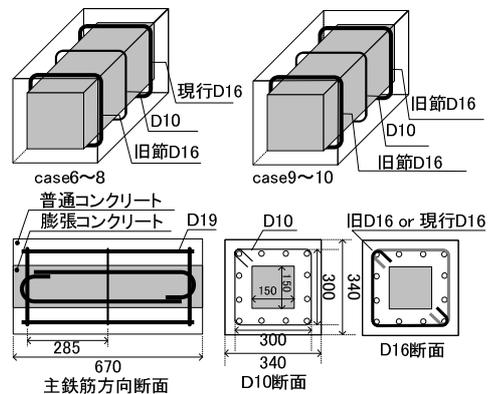


図-1 供試体形状

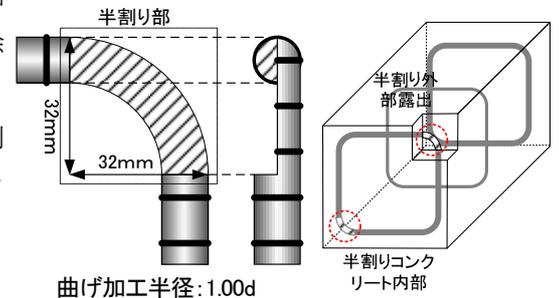


図-2 半割り鉄筋

4. 実験結果

4.1 変形モード

図-4 に供試体断面の変形モードの代表例を示す。case7 では 135°曲げ加工部で鉄筋破断を生じ、case9 ではコンクリート内部の半割り鉄筋で鉄筋破断が生じていた。その他のケースでも旧節形状鉄筋で大きな損傷が発生していた。図-4 より、供試体断面の変形量をみると、鉄筋破断もしくは亀裂が進展している位置近傍では局部的に 20mm 程度の大きな変形を生じていた。これより、鉄筋損傷が大きく進展している箇所には膨張が集中している傾向があると考えられる。図-5 に case7 での鉄筋破断面を示すが、全体的に脆性的な破断面を呈していた。破面性状を詳細に観察すると、脆性破面の境界の微小範囲において延性破面を呈しており、特徴的な ASR 鉄筋破断面と同様の破面性状を呈していた¹⁾。これより、本実験での鉄筋破断は定性的に ASR 鉄筋破断を再現できていると考えられる。

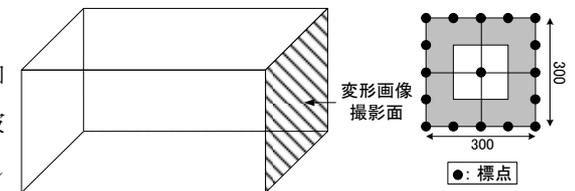


図-3 標点貼付位置

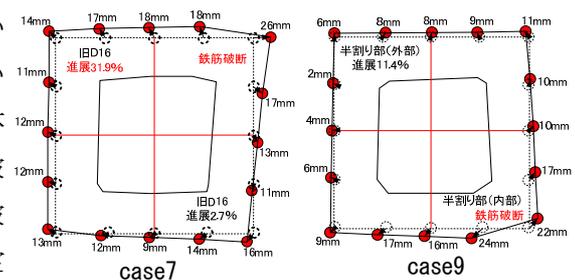


図-4 供試体断面変形モード比較

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

4.2 変形量と鉄筋損傷度の関係

図-4より、鉄筋損傷が大きい箇所では供試体が大変形している傾向が見られたため、変形量と鉄筋損傷に関する検討を行った。変形量は、図-6に示す箇所が、鉄筋曲げ加工部の直上に位置しており、この範囲での隅角部の斜め方向の変形量が鉄筋曲げ加工部の曲げ戻しや、亀裂進展に最も影響を与えていたと考えられるため、斜め方向の直線距離の変化量を用いた。亀裂と変形量の関係を図-7に示す。図-7より、亀裂の進展傾向は、コンクリート変形量が20mmまでに亀裂の進展が急激に進み、変形量20mmを超える程度で鉄筋破断に至る傾向が見られた。このことから、変形量20mmまでは膨張力に対して鉄筋が抵抗し亀裂が大きく進展していく亀裂進展領域であり、変形量が20mmを超える領域は鉄筋破断後となるため、変形量が大きく増加していく変形量進展領域となると考えられる。なお、外部の半割り鉄筋で亀裂、変形量関係が異なっているが、これは、供試体の構造上コンクリートを一部除去しているため、コンクリートの鉄筋拘束効果が影響し、内部の鉄筋と比べ鉄筋損傷度が異なると考えられる。

4.3 鉄筋変形状態

供試体実験より、鉄筋には大損傷が発生したため、鉄筋の変形状態から、鉄筋損傷進展要因に関する検討を行った。図-8にcase9の鉄筋曲げ加工部に着目し、変形の前を比較した結果を示す。図より、旧筋形状D16では全体的に膨張の影響を受けて外に変形する傾向と、直線部の変形量が曲げ加工部と比べ1.0mm程度大きい傾向が見られた。また、比較のために、既往の検討でのFEM解析結果を図-9に示す²⁾。FEM解析では、D16の鉄筋要素に対し、全コンクリート要素を1500μまで一様に膨張させることで、アルカリ骨材反応における膨張力を再現している。図-9より、解析における鉄筋の曲げ加工部における変形状況をみると、直線部が外側に膨らみ、曲げ加工部が内側に入り込む挙動を示しており、供試体実験における変形の特徴と同様であった。以上より、曲げ加工部でのひずみ状況の様式を図-10に示す。まず、コンクリートの膨張により、鉄筋は外側に膨らもうとし、鉄筋全体に一様に引張ひずみが発生すると考えられる。また同時に、鉄筋曲げ加工部では曲げ戻しの影響から、内側引張、外側圧縮の力が発生すると考えられ、鉄筋内側においては、二つの力の影響より大きな引張力が作用し亀裂を大きく進展されると考えられる。

5. まとめ

- (1) 鉄筋損傷度と供試体変形の関係より、本実験での供試体条件では、隅角部のコンクリートが20mmの変形を生じた場合、鉄筋破断が発生した。
- (2) 初期亀裂が発生した鉄筋において、ASR膨張により曲げ加工部に一樣な引張ひずみと曲げ変形が生じ、曲げ内側に大きな引張力が作用するため、鉄筋損傷が大きく進展される。

参考文献：1) 鳥居和之ら：能登半島のASR劣化構造物に関する一考察，コンクリート工学年次論文集，Vol.28，No.1，pp.779-784，2006

2) 眞野裕子ら：曲げ加工部での鉄筋損傷メカニズムの検討，コンクリート工学年次論文集，Vol.26，No.1，pp.963-968，2004

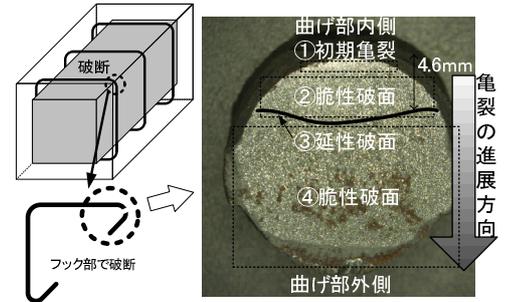


図-5 case7 鉄筋破断性状

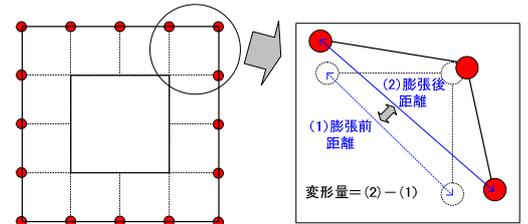


図-6 隅角部変形量測定方法

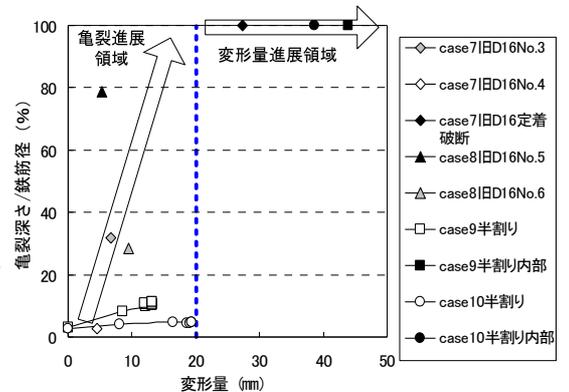


図-7 亀裂，隅角部変形量関係

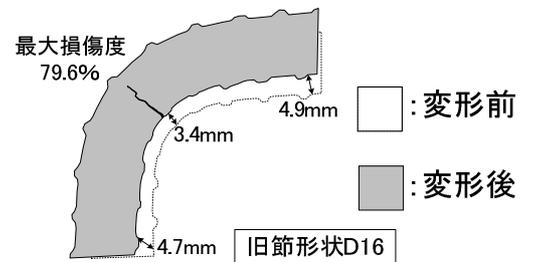


図-8 case9 鉄筋曲げ加工部変形状況

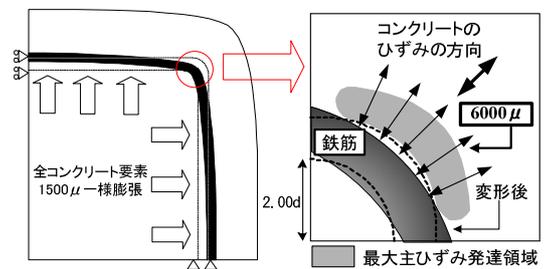


図-9 FEM解析における変形状況²⁾

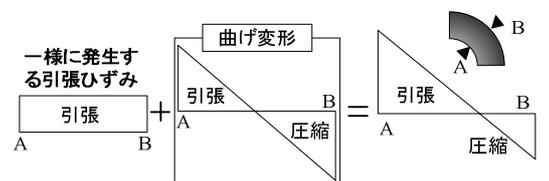


図-10 曲げ加工部でのひずみ状況