

アルカリ骨材反応による鉄筋曲げ部での損傷に着目した材料試験

九州工業大学大学院 学生会員 荒木 茂
九州工業大学 学生会員 眞野 裕子

九州工業大学 正会員 幸左 賢二
阪神高速道路公団 正会員 松本 茂

1. はじめに

現在 ASR によって損傷を受けた構造物において、スターラップが曲げ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く、維持管理の面からも重要な課題である。そこで本研究はスターラップの曲げ加工や経年劣化に着目した材料試験を行い、破断メカニズムについて検討した。

2. 試験ケース

検討ケースを表-1に示す。パラメーターとして、鉄筋の曲げ加工に着目して曲げ半径と、経年劣化を再現するためにひずみ時効の影響を考慮した。曲げ半径は、実橋に用いられるスターラップの多くは径 D16 以上であるので、D16 以上の JIS 規格値 2d を基準とし、危険側に 1.00d と 1.25d、安全側に 2.50d を検討した。ひずみ時効は電気炉を用いて 150°C、60 分の加熱処理を行い促進した。

3. 試験概要

今後の供試体実験との関係から、試験体として D10 鉄筋を用いて検討を行った。試験内容については、鉄筋の破断状況と破断強度を調べるために引張試験を行い、曲げ加工による鉄筋の損傷状況を調べるために、鉄筋曲げ部の亀裂確認試験を実施した。さらに、水素脆化の要因となる残留応力の有無についても調べた。

4 試験結果

引張試験結果を表-1、図-1に示す。破断状況は脆性破断と延性破断の2種類となった。図-1では、脆性破断したものは各データを用い、延性破断したものはばらつきが少ないため平均値を用いている。脆性破断した試験体は最大荷重まで達することなく、曲げ部で絞りを伴わずに破断した。破断前の曲げ部内側を観察すると、曲げ内側の節付け根から目視で確認できるほどの亀裂が生じており、破断箇所も節付け根部であった。延性破断した試験体は各荷重ともにばらつきが少なく、絞りを生じて破断していた。

試験結果より、曲げ半径の影響に着目すると、曲げ半径 1.00d では 4 本、1.25d では 1 本が脆性破断したことから、曲げ半径が小さいほど脆性的に破断することが分かる。ひずみ時効の影響に着目すると、曲げ半径 1.00d でひずみ時効有りの条件では、試験体 4 本中 2 本は降伏荷重前に破断したことから、ひずみ時効の影響でより早い段階で脆性的に破断したことが分かる。これはひず

表-1 検討ケース及び試験結果

	条件		試験体数	引張試験	延性破断	脆性破断	
	曲げ半径	ひずみ時効				降伏前	降伏後
case1	1.00d	○	3本	6本	2体	2体	2体
case2	1.00d	—	—	6本	3体	—	3体
case3	1.25d	○	3本	6本	5体	—	1体
case4	2.00d	○	3本	6本	6体	—	—
case5	2.00d	—	—	6本	6体	—	—
case6	2.50d	○	3本	6本	6体	—	—

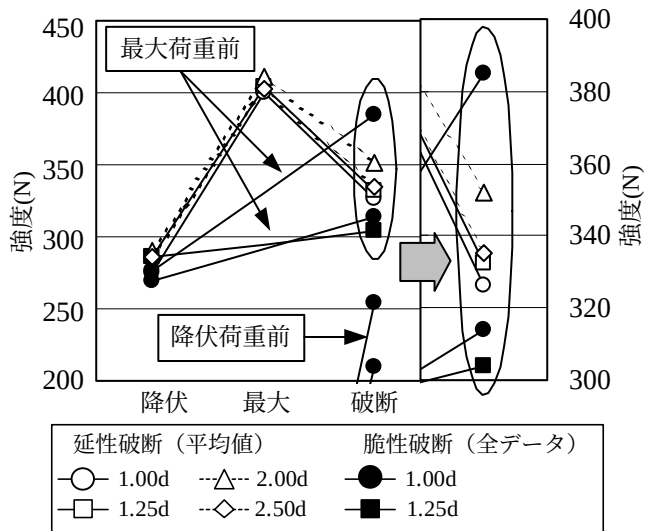


図-1 引張試験結果（曲げ半径の影響）

表-2 各曲げ半径での亀裂深さ

曲げ半径	No.	亀裂深さ(mm)				計
1.00d	No.1	0.014	—	—	—	8個
	No.2	0.041	0.010	0.011	—	
	No.3	0.015	0.012	0.015	0.016	
1.25d	No.1	0.011	0.014	0.012	0.012	6個
	No.2	0.010	0.026	—	—	
2.00d	No.1	0.012	—	—	—	1個

キーワード アルカリ骨材反応、鉄筋曲げ半径、ひずみ時効、脆性破断、残留応力、破断メカニズム
連絡先 〒804-8550 福岡県北九州市戸畑区仙水 1-1 建設社会工学棟 Tel/FAX 093-884-3123

み時効により延性が低下し、同程度の変形を受けても鉄筋が伸びにくいためと考えられる。

表－2に亀裂深さと、写真－1に亀裂の状況を示す。表－2の亀裂は0.01mm以上のものを表記している。亀裂は曲げ部外側では確認されず、曲げ部内側の亀裂はいずれも鉄筋節付け根に発生していた。

亀裂の深さに着目すると、1.00 dの鉄筋では深さ0.041mmの亀裂が発生しているのに対して、2.00 dの鉄筋は深さ0.012mm程度の亀裂であった。亀裂の数についても、1.00 dでは3本中8個確認できたのに対し、2.00 dでは3本中1個であった。以上より曲げ半径が小さいほど深い亀裂が発生しやすくなり、亀裂数も多く発生すると考えられる。

図－2に残留応力の測定位置、表－3に残留応力の測定結果を示す。鉄筋は曲げ半径2.00 dで90°に加工して検討を行った。測定はX線回折法（日本材料学会X線応力測定法標準に基づく）で行っており、表－3の±以下は1σ（標準偏差の信頼限界値）を示している。また比較対象にD19鉄筋の測定を行った。測定結果より、鉄筋径によらず残留応力が確認できた。特に、曲げ部内側では降伏応力に相当する大きな引張応力が発生していた。

5. 破断メカニズム

亀裂の確認では曲げ加工によって鉄筋節付け根に亀裂が生成されることを確認し、引張試験では曲げ戻しを伴う引張応力を受けることによって、鉄筋節付け根から脆性的破断を起こす例を確認した。また残留応力を測定したところ、曲げ加工によって降伏応力に相当する大きな引張応力が発生することを確認した。これらを踏まえて破断メカニズムを考えると、図－3、図－4に示すように、曲げ加工によって発生した曲げ部内側の亀裂が、膨張圧による曲げ戻しを伴う引張応力によって進展する。同時に残留応力や塩化物イオンなどの腐食環境により、水素脆化が進展する。このような複合的な要因により、曲げ内側の亀裂が進展し、脆性破断に至ると考えられる。

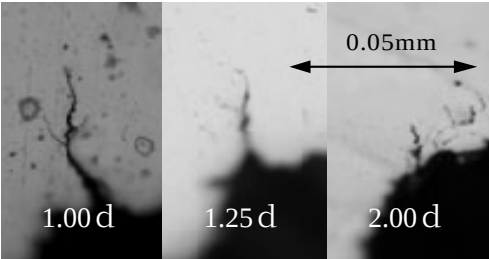
6. まとめ

- (1)引張試験の結果より、曲げ半径が小さいほど脆性的に破断し、ひずみ時効の影響によりさらに脆性的な破断に至ると考えられる。
- (2)亀裂の確認試験より、曲げ部内側の節付け根部に亀裂を確認した。また、曲げ半径が小さいほど大きな亀裂を数多く確認した。
- (3)曲げ加工により、曲げ部に大きな残留応力が発生することが確認され、特に曲げ部内側においては、降伏応力に相当するような大きな引張応力が発生していた。
- (4)曲げ加工による亀裂が、膨張圧による引張応力により進展すると同時に、水素脆性が進展する。これらの複合的な要因により脆性破断に至ると考えられる。

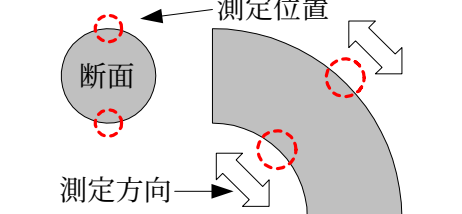
参考文献

1) 葛目, 南, 松本：ASR 構造物中の鉄筋損傷について，コンクリート構造物の補修，補強，アップグレード論文報告集，第3巻，pp.9-12，2003.10

2) 眞野, 幸左, 松本, 橋場：ASR による曲げ加工部での鉄筋損傷メカニズム，土木学会西部支部研究発表会講演概要集，V-52，pp.A-512-，2004.3

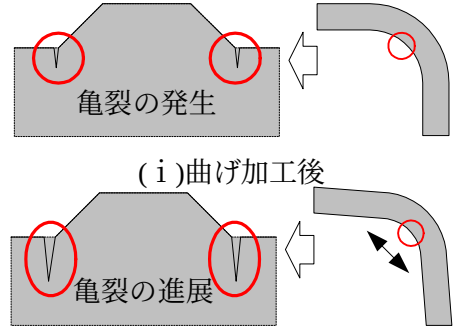


写真－1 各曲げ半径での最大の亀裂



図－2 残留応力の測定位置

	D10	D19
外側(N/mm ²)	-233.2 ±28.4	-309.1 ±48.5
内側(N/mm ²)	438.8 ±40.8	393.9 ±10.3



図－3 脆性破断の起点の生成



図－4 破断メカニズム