

ひずみ時効の鉄筋破断への影響に関する一考察

鴻池組 正会員 ○為石昌宏

鴻池組 正会員

金好昭彦

ジェイアール西日本コンサルタンツ 正会員

北後征雄

西日本旅客鉄道 正会員

野村倫一

1. 目的

近年、アルカリ骨材反応によるコンクリートの膨張によって、構造物中の鉄筋曲げ加工部が破断している事例が複数見つかり、鉄筋破断の原因としてコンクリートの膨張による鉄筋の曲げ戻し引張作用だけでなく、冷間曲げ加工による硬化とその後のひずみ時効による材質の変化、さらに鉄筋を取りまく環境の影響によって水素脆性等の遅れ破壊が現在考えられている。そこで、本論では、鉄筋破断原因のひとつと考えられているひずみ時効に着目し、曲げ加工した鉄筋を加熱することにより、ひずみ時効を人為的に促進させた後、その鉄筋の曲げ戻し引張試験を行うことによって、ひずみ時効がどの程度鉄筋破断に影響するかを実験的に検討したものである。

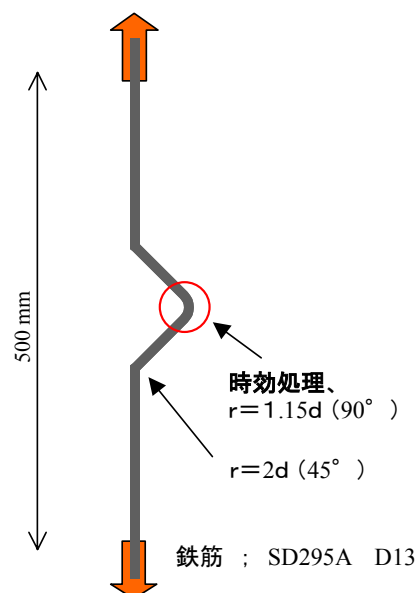
2. 実験方法

2.1 鉄筋試験体

鉄筋は、SD295A の D13（規格 JIS G 3112）を、図－1 に示す形状に冷間曲げ加工を施し、その 90° に曲げ加工した部分を 200℃に加熱した油に一定時間浸漬することにより、人為的にひずみ時効を促進させた後、曲げ戻し引張試験を行った。なお、曲げ半径はきびしい条件として 1.15d とした。鉄筋検査証明書の試験数値を表－1 に示す。

2.2 実験ケースと実験方法

実験ケースと試験した鉄筋の本数を一覧にして表－2 に示す。実験は、先ずひずみ時効の度合いが、どの程度影響を及ぼすのか調べるために、時効処理の加熱時間を 0 分、30 分、60 分、90 分、120 分、180 分、240 分、420 分の 7 種類に変化させ試験を行った（ケース 1）。なお、加熱温度は全て 200℃とした。また、実構造物において鉄筋曲げ加工部内側に、亀裂が生じていた事例ある。これは、曲げ加工時に生じたものか、経年劣化に伴う遅れ破壊により発生または進展した可能性が考えられる。そこで、曲げ加工部の内側に生じた亀裂がどの程度影響を及ぼすのか調べるために、1mm、3mm、5mm の 3 種類の深さの亀裂（幅 0.2mm）を人工的に導入し、それぞれひずみ時効を行ったものとそうでないものについて試験を行った（ケース 2）。なお、ひずみ時効処理は、200℃で 240 分間加熱した。



図－1 鉄筋の形状

表－1 検査試験値

化学成分(%)					
項目	C	Si	Mn	P	S
試験材	0.15	0.08	0.46	0.030	0.039
規格	—	—	—	0.05以下	0.05以下
機械的性質					
項目	降伏点(N/mm ²)	引張強さ(N/mm ²)	伸び(%)		
試験材	347	474	26		
規格	295以上	440～600	16以上		

表－2 実験ケースと試験本数

		ケース1		ケース2		
人工亀裂		なし	なし	1mm	3mm	5mm
ひずみ時効 加熱時間 (分)	0	4	3	3	3	3
	30	3				
	60	13				
	90	13				
	120	3				
	180	2				
	240	7	3	3	3	3
	420	5				

キーワード アルカリ骨材反応、鉄筋破断、ひずみ時効、冷間曲げ加工

連絡先 〒541-0057 大阪市中央区北久宝寺町 3-6-1 (株)鴻池組 土木技術部 TEL06-6244-3617

3. 試験結果

3.1 ケース 1

図－2 に時効処理時間と破断荷重（左縦軸）および著しく強度低下したもの（正常値の 7 % 以下）の確率（右縦軸）との関係を示す。試験の結果、鉄筋の破断荷重（引張強さ）は、①著しく引張強さが低下したもの、②降伏点付近まで引張強さが低下したもの、③正常なものの 3 つに大別することができる。著しく引張強さが低下した鉄筋は 46 本中 14 本（30%）あり、曲げ加工の形状を維持したまま、90°の曲げ箇所で脆性的に破断した。降伏点付近で破断したものは 9 本あり、引張強さが低下したものの合計は、25 本と全体の 54%がひずみ時効により引張強さが低下したことになる。また、破断荷重の値は、時効処理時間に殆ど関係なく分散して分布しているが、時効処理時間と著しく強度低下したものの確率の関係に着目すると、時効処理時間が長くなる程、その確率が増加しており、時効処理時間が 180 分以上になると概ね半数の鉄筋が著しく強度低下し脆性破断する傾向が見られる。これより、ひずみ時効の度合により、鉄筋の曲げ加工部は破断し易くなると考えられる。なお、時効処理を行っていない曲げ加工した鉄筋の引張強さと降伏点は、鋼材検査照明書の値とほぼ同等であることから、曲げ半径 $r = 1.15 d$ で加工したことにより、その内側に亀裂が生じたなどの悪影響はないと考えられる。

3.2 ケース 2

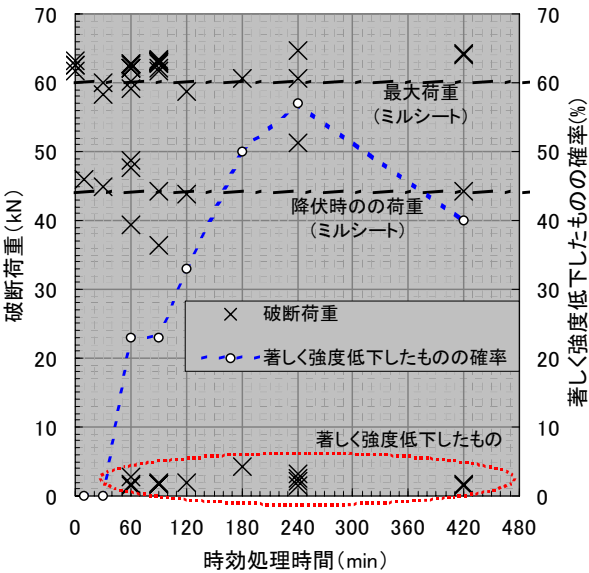
表－3 にケース 2 の試験結果を一覧にして示す。時効処理のないものは、亀裂深さ 1mm で正常値の 22%～65%の強度で破断し、亀裂深さが 3mm 以上となると著しく強度低下している。しかし、その破面は、脆性のみではなく延性部が半分以上を占めている（写真－1）。また、破断強度も、時効処理があるものと比較すると大きい。一方時効処理をしたものは、亀裂深さに関係なく全て脆性的に破断し、著しく強度が低下した。また、亀裂深さ 1mm および 3mm の破断位置は、人工亀裂箇所から破断したのではなく、リブ付け根から破断した（写真－2）。このことは、亀裂の有無より、ひずみ時効の影響の方がより支配的と考えられる。

4. まとめ

- 今回の限定された条件のもとで行った実験から、以下のことが判明した。
- (1) ひずみ時効の度合いが大きい程、極低荷重で鉄筋曲げ加工部での破断が発生しやすくなる傾向があった。
 - (2) 鉄筋は、曲げ加工部の内側に存在する亀裂の有無に関わらず、冷間曲げ加工およびひずみ時効の影響の大きいリブ付け根を起点として破壊する傾向があった。

参考文献

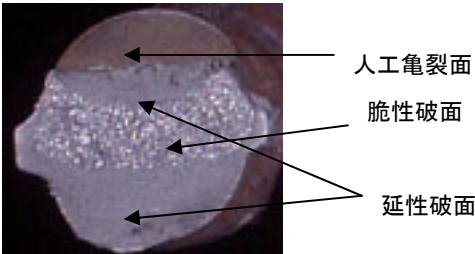
1) 宮川豊章:アルカリ骨材反応による鉄筋破断が生じた構造物の安全性評価(中間報告), 土木学会誌 vol. 88, 2003. 9



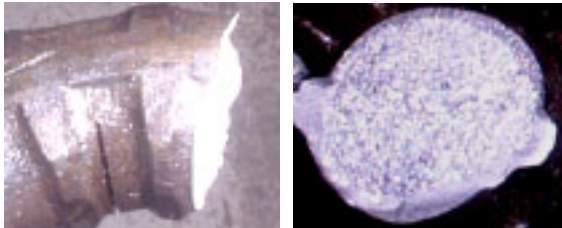
図－2 ケース 1 試験結果

表－3 ケース 2 試験結果

		時効処理					
		なし			あり (200℃ 4hr)		
		破断荷重 (kN)	破断位置	破断面	破断荷重 (kN)	破断位置	破断面
亀裂の深さ(mm)	なし	62.7	リブ付け根	延性	1.1	リブ付け根	脆性
		63.7			1.2		
		64.0			1.0		
	1.0	41.0	亀裂箇所	延性	1.6	リブ付け根	脆性
		14.0			1.8		
		32.0			1.5		
3.0	亀裂箇所	2.3	延性 + 脆性	延性 + 脆性	1.2	リブ付け根	脆性
		2.9			1.5		
		3.5			1.3		
5.0	亀裂箇所	2.4	延性 + 脆性	延性 + 脆性	1.3	亀裂箇所	脆性
		2.5			1.2		
		1.9			1.2		



写真－1 破断状況（亀裂深さ 3mm, 時効なし）



写真－2 破断状況（亀裂深さ 3mm, 時効あり）