

加工硬化とひずみ時効が鉄筋破断に及ぼす影響について

長崎大学	学生員	坂田 祥文
長崎大学	正会員	原田 哲夫
長崎大学	正会員	永藤 政敏
九州工業大学	正会員	合田 寛基

1. はじめに

アルカリ骨材反応 (ASR) により発生したコンクリートのひび割れは、表面のかぶり部分までであり、鉄筋の内部へのひび割れの進展は少なく、コンクリート中に鉄筋が適切に配置されている場合には、ASR がコンクリート構造物の耐力に与える影響は小さいといわれてきた。しかし最近、ASR により過大な膨張が構造物に発生した場合には、鉄筋の曲げ加工部で破断した事例が報告されている。鉄筋破断の多くは、橋脚の配力鉄筋・せん断補強鉄筋の曲げ加工部や主鉄筋端部の曲げ加工部で生じている。クラックの発生起点は曲げ加工部内側であることがわかっている。しかしながら、ASR による鉄筋破断のメカニズムについては、未だ十分に解明されていない。

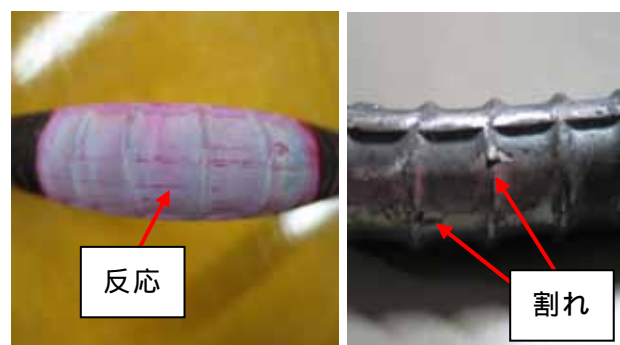
そこで本研究では、鉄筋を曲げ加工することによって曲げ加工部の機械的特性がどのように変化するかについて調べた。

2. 実験概要

まず、鉄筋を曲げ加工することによってどの程度のひずみが生じるのか、また、曲げ加工によって破断の原因となる欠陥が生じるかについて調べた。次に、ASR の膨張により鉄筋には曲げ戻しの力が作用していると考えられるので、それを模擬して曲げ加工部を有する試験体を作成し引張試験を行った。同時に、曲げ加工部の硬さがどのように変化するかを、直線試験片と曲げ試験片を用いてビッカース硬さ試験により調べた。ここで、引張試験およびビッカース硬さ試験では、ひずみ時効を考慮した実験も行った。本実験では、ひずみ時効を促進させるために電気炉を用いて 200℃ で 2 時間加熱した。

表-1 曲げ加工部のひずみ

鉄筋	曲率半径	圧縮縁ひずみ	引張縁ひずみ
D10	1.9d	—	18%
	3.2d	—	14%
D13	2d	—	22%
	2.9d	—	15%
D16	1.2d	21%	36%
	2d	—	33%
D19	1d	21%	33%
	2d	—	22%



(a) 探傷反応 (b) 割れ

図-1：染色浸透探傷試験

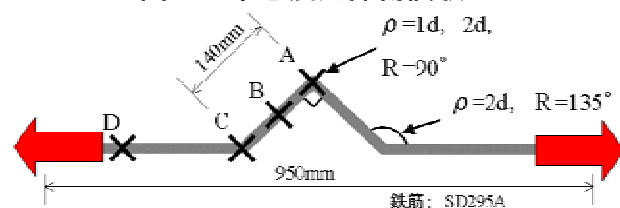


図-2 曲げ加工部を有する引張試験体



図-3 引張試験による鉄筋の脆性破断例

3. 実験結果と考察

3.1. 曲げ加工部のひずみ計測, 染色浸透探傷試験

表-1 より, 90° 曲げ加工すると D16, D19 ではひずみが圧縮縁, 引張縁ともに 20% を超えている。染色浸透探傷試験では, 図-1(a) に見られるように, いずれの鉄筋径においても曲げ加工部において軸方向にスジ状の探傷反応が確認された。特に曲率半径 1d では 8 割以上の試験体において生じていた。中には図-1(b) のように割れを伴うものもあった。

3.2. 曲げ加工部を有する鉄筋の引張試験

表-2 より, 曲率半径 1d 程度の試験体全てにおいて, ひずみ時効を促進させたものは図-2 に示す “A” の位置で図-3 のように脆性破断した。曲率半径 2d では, 脆性破断したものはなかった。このことから, 曲率半径が脆性破断のしやすさに影響を及ぼしていることがわかる。なお, 脆性破断した D19 試験体 5 本のうち, 4 本は引張荷重 10kN 未満で破断した。曲げ加工部 “A” において脆性破断しない場合には, 真直ぐ伸びた状態に戻り, 直線材と同じ破断荷重であり, 破断箇所は “B” または “D” であった。

3.3. ビッカース硬さ試験

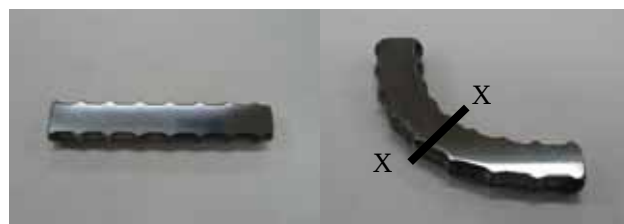
図-4 はビッカース硬さ試験片である。図-5 は図-4 の X-X 方向の硬さ分布を示したものであり, 曲げ試験片 (D19) において引張縁側と圧縮縁側は中央部と比較して 30~40Hv ほど高くなっている。また, 曲げ試験片の中央部は 10% 残留ひずみを与えた直線試験片とほぼ同じ値になっている。ひずみ時効ありの場合には, ひずみ時効なしよりも硬くなっており, 残留ひずみが大きくなるに従って, ひずみ時効の影響が大きく現れるものと考えられる。図-6 は曲げ加工部を含む鉄筋軸方向の硬さの分布を示しており, 曲げ加工中心部に向かうにつれて値が高くなっている。

4. まとめ

- 1) 曲率半径 1d で曲げ加工しひずみ時効を促進させると, 脆性破断する可能性が高くなる。
- 2) 加工硬化とひずみ時効の影響はビッカース硬さ試験で評価できると考えられる。

表-2 引張試験結果一覧

鉄筋	曲率半径	時効	試験本数	脆性破断	割合
D16	1.2d	なし	5	0	0/5
		あり	5	1	1/5
	2d	なし	5	0	0/5
		あり	5	0	0/5
D19	1d	なし	5	0	0/5
		あり	6	5	5/6
	2d	なし	5	0	0/5
		あり	5	0	0/5
D22	0.9d	あり	3	3	3/3



直線試験片 曲げ試験片

図-4 ビッカース硬さ試験片

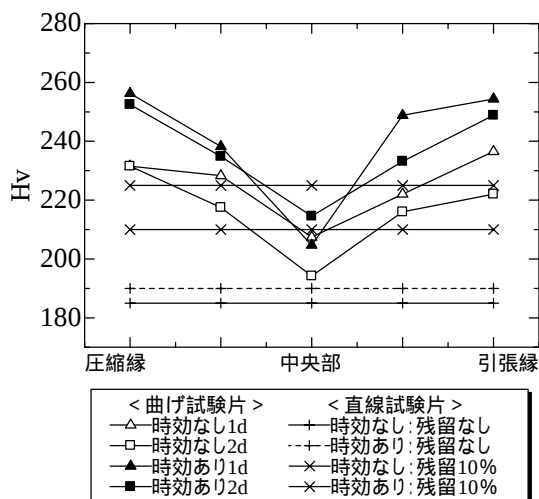


図-5 X-X 方向の硬さ分布

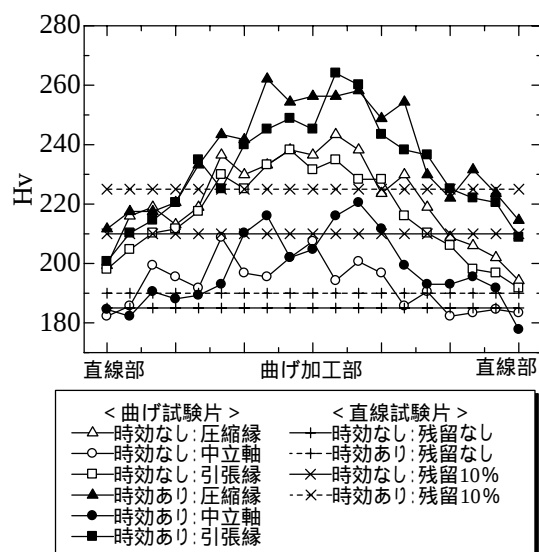


図-6 軸方向の硬さ分布