

東京理科大学

辻 正哲

東京理科大学[院] ○堀田 昌平

東京理科大学[院]

石川 雄志

東京理科大学[院] 飯田 竜太

東京理科大学

澤本 武博

鉄道総合技術研究所 岡本 大

東京理科大学[院]

畑中 強志

1. はじめに

鉄筋に曲げ加工を繰り返すと脆化、ひどい場合にはクラックの発生または破断に至ることもある。そして、アルカリ骨材反応で曲げ加工部が局部的な靱性の低下によって破断した事例が報告されて以降、こうした曲げと曲げ戻しに当っての注意が喚起されるようになった。しかし、冷間加工における曲げ・曲げ戻しの繰返しに伴う鉄筋の物理的性質の変化は未だ不明な点が多い。

本研究では、縦ふし(以下、縦リブと称す)または横ふしに沿った曲げ加工、曲げ内半径、鉄筋径が、加工に伴う機械的性質の変化に及ぼす影響について検討した。

2. 実験概要

2.1 曲げ曲げ戻しを繰り返した鉄筋の引張強度試験

実験に用いた鉄筋の機械的性質は Table I に示す通りである。直線から 90°までの曲げ加工および 90°から 30°までの曲げ戻しにはロールベンダー (90°までの曲げ加工速度: 空転時 0.7 秒) を用い、30°から直線までの曲げ戻しにはハンドベンダー (所要時間 3.7 秒以上) を用いた。

異形鉄筋については曲げ加工時の縁部が縦リブまたは横ふしとなる場合、すなわち縦リブおよび横ふしに沿って曲げ・曲げ戻しを行う場合について検討し、曲げ戻し回数(曲げと曲げ戻しの 1 往復を 1 回)を変化させて、曲げ戻し後の機械的性質を調べた。なお、伸びは、中心(曲げ加工部)から 1D ごとの間隔で測定した。

2.2 折損回数試験

使用した鉄筋および曲げ加工方法は、2.1 と同じである。曲げ内半径を変化させ、曲げ・曲げ戻しの繰返しにより折れるまでの折損回数(曲げと曲げ戻しの 1 往復で 2 回とした値)、及び亀裂発生回数を調べた。

3. 実験結果および考察

3.1 曲げ戻しを繰り返した鉄筋の引張強度試験結果

Table II は引張強度試験結果を示したものであるが、いずれの場合にも、折損回数に近づくまでは、引張強さはほとんど変化せず、曲げ加工部以外のところで破断した。これは、加工硬化によると考えられる。しかし、破断後の伸びの分布は Fig.1 に示す通りであり、曲げ加工を全く受け

Table I Mechanical properties of reinforcing bar

Type of reinforcing bar	Nominal diameter	Upper yield point (N/mm ²)	Lower yield point (N/mm ²)	Tensile strength (N/mm ²)	Rupture strength (N/mm ²)	Elongation (%)	Reduction of area (%)
Round bar	13	344	336	484	330	38	66
Deformed bar	13	383	370	514	393	38	62
Round bar	19	321	315	454	302	34	69
Deformed bar	19	383	380	566	456	26	59

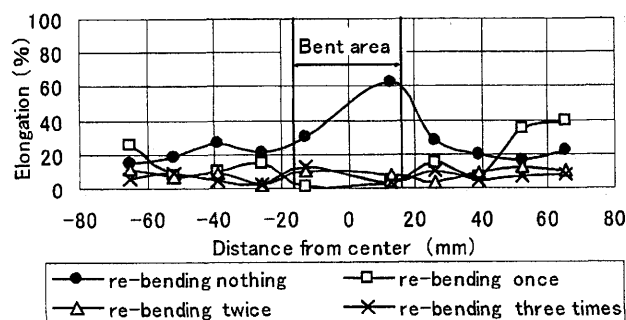
Table II Results of tensile test of reinforcing bar

Type of reinforcing bar	Nominal diameter	Times of repetition of bending and re-bending	Inside radius of bend for bent bar is 15mm		Inside radius of bend for bent bar is 25mm	
			Tensile strength (N/mm ²)	Reduction of area ※1 (%)	Tensile strength (N/mm ²)	Reduction of area ※1 (%)
Round bar	13	0	477~497	Middle 66		
		1	481~485	Outside 65		
		2	481~487	Outside 67		
		3	484~486	Outside 65		
Round bar	19	0	452~455	Middle 69		
		1	455~459	Outside 70		
		2	456~461	Outside 68		
		3	457~469	Outside 65		
Deformed bar	13	0	510~523	Middle 62		
		1	520~522	Outside 63		
		2	516~524	Middle 32 Outside 68		
		3	162~224	Middle 21		
		1	521~526	Outside 64		
		2	507~521	Middle 31		
		3	317~480	Middle 30		
		0	564~568	Outside 59		
Deformed bar	19	0	488~546	Outside 23		
		1	x	x		
		2	x	x		
		3	x	x		
		1	x	x		
		2	x	x		
		3	x	x		
		0	568~572	Outside 55		

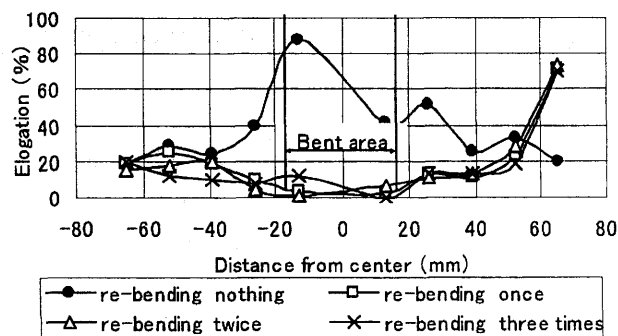
※1 Middle : Rupture at bending part of reinforcing bar

x : Already ruptured under bending and re-bending

Outside : Rupture at outside of bending part



(1) D13 bent along lateral lug



(2) φ13

Fig.1 Elongation of reinforcing bar

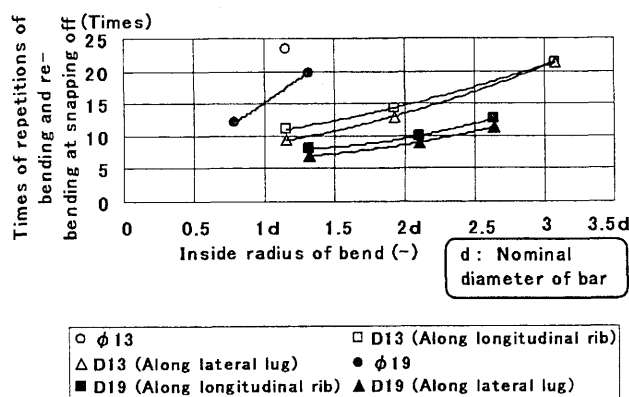


Fig.2 Relation between inside radius of bend for bent bar and times of repetitions of bending and re-bending at snapping off

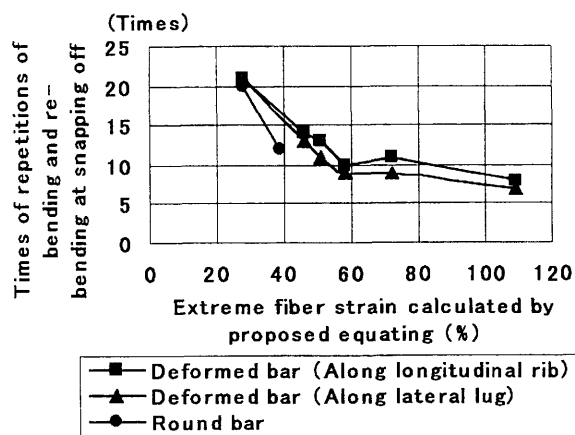
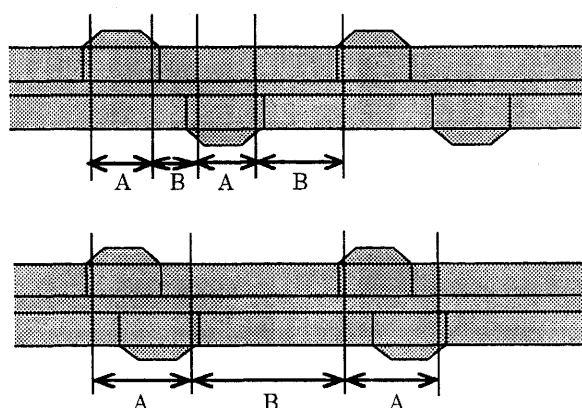


Fig.4 Relation between extreme fiber strain calculated by proposed equating and times of repetitions of bending and re-bending at snapping off



Part A : No residual strain remaining

Part B : Residual strain remaining

Fig.3 Assumption on residual strain

3.2 折損回数結果

Fig.2 は曲げ内半径と折損回数の関係を示したものである。同一曲げ内半径では異形鉄筋の方が折損しやすくなっている。ここで Fig.3 に示したように横ふし部 (区間 A) は断面が大きく曲げ剛性が他の部分より大きいので全く塑性変形を受けず、横ふしのない部分 (区間 B) のみで塑性変形を受け持つと仮定し、90°曲げ加工時の横ふしのない部分における引張 (圧縮) 縁のひずみを求めた。このひずみと折損回数の関係は Fig.4 に示す通りである。この結果、異形鉄筋の方が丸鋼より折損しやすいのは塑性変形を受け持つ区間が横ふしの影響で短くなることに関係していると考えられる。

4. まとめ

鉄筋加工には様々な要因が作用すると考えられるが、今回の実験結果の範囲において、横ふしのある断面剛性の大きいところでは塑性変形を受けず、断面の小さい区間のみで大きな塑性変形を受け持っている可能性が示された。そのため、曲げ戻しや加工時の曲げ内半径の選定にあたっては、横ふしの形状および配置についても考慮する必要があると考えられる。また、曲げ加工部の鉄筋の破断伸びは小さくなったため、こうした部分が存在する箇所には応力の均一化を期待することは避けるべきであると考えられる。

謝辞: 本実験を行うにあたり大変ご尽力をいただいた東京理科大学大学院吉田雄氏、卒論生の細沼喬弘氏、村川彰久氏に感謝の意を表します。

ていない場合には、全体的に多くの伸びを示すものの、曲げ加工を 1 回でも受けるとその部分の伸びは小さくなる傾向にあった。また、曲げ戻しを受け、曲げ加工部で破断した場合は、破断部分であっても他の部分と変わらないほど小さな伸びしか認められなかった。このことは、曲げ戻しによる強度低下は小さくても伸びが小さくなるため、コンクリートの異常膨張や、平行する鉄筋の中で一部だけ曲げ加工を受けている場合のように、受け持つ応力の均一化のためにある程度以上のひずみに耐えなければならない時には、曲げ加工部で鉄筋が破断する恐れがあると思われる。