

鉄筋の冷間および熱間曲げ加工が鉄筋の機械的性質に及ぼす影響

東京理科大学 学生員 ○堀田 昌平
鉄道総合技術研究所 岡本 大
東京理科大学 五十嵐大樹

東京理科大学 正会員 辻 正哲
東京理科大学 学生員 飯田 竜太
東京理科大学 幡野 萌巳

1. はじめに

鉄筋加工は、鉄筋の材質を害さないように行う必要がある。特に、鉄筋の曲げ戻しについては材質を害するおそれがあるため、できるだけ避けるようにしているが、施工の段取り等で曲げ戻しを行うことがある。一方、土木学会コンクリート標準示方書[施工編]では、鉄筋の加工は冷間を基本としているが、曲げ戻し等に当たっては熱間加工についても解説されている。ただし、熱間加工に当たっての加熱温度は、平成 8 年度版以前は 400～950℃程度と解説されていたが、平成 11 年度版以降では加熱温度が 900～1000℃程度で加工し、急な冷却をしない場合は特に材質を害されることはないとされている。しかし、災害復旧等での部材の再利用等、一斉に多量の加熱加工を行う場合を除くと、900～1000℃の範囲に加工時の温度を管理するにはかなりの手間が必要となる。

本研究では、鉄筋の冷間・熱間加工方法、冷間加工後の焼準、曲げ内半径、鉄筋径等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

実験に用いた鉄筋は、北関東の建材店より購入した鉄筋コンクリート用棒鋼であり、機械的性質は表

-1 に示す通りである。曲げ加工に当たっては、図-1 に示すように縁部をすべて横ふしとなるようにした。ベンダーを用いて曲げ加工を行う場合（直線から 90°までの曲げおよび 90°から 30°までの曲げ戻しにはロールベンダーを用い、30°から直線までの曲げ戻しにはハンドベンダーを用いた）および曲げ加工部を挟んで片方を固定し、もう一方の鉄筋に鋼管（内径 22.6mm）を差し込み、てこにより人力で曲げ加工を行う場合の 2 通りについて検討した。また、加工時の加熱は、中型切断機（アセチレン用）を用い、曲げおよび曲げ戻し加工毎に、図-1 に示した曲げ加工区間の約 2 倍の区間加熱し、その区間全域が目標温度に達した後、すぐに曲げ加工を行った。なお、鋼管を用いた人力曲げ加工で、所定の温度に達した時点で曲げ加工を開始し、曲げ加工中も所定の温度を保持するように加熱を継続した。加工後は、曲げ加工毎にすべて空冷により常温（20℃以下）になるまで冷却することとした。また、伸びに関しては、中心（曲げ加工部）から 1D ごとの間隔で伸びを測定した。

表-1 鉄筋の機械的性質

鉄筋径	上降伏値 (N/mm ²)	下降伏値 (N/mm ²)	引張強さ (N/mm ²)	破断強さ (N/mm ²)	伸び (%)	絞り (%)
D13	345	334	492	377	27	66
D19	342	336	505	433	28	53

表-2 引張強度試験結果（鋼管を用いた人力による曲げ加工）

加熱温度 (°C)	鉄筋径 曲げ戻し 回数	D13				D19			
		引張強さ (N/mm ²)	伸び(%)	絞り(%)	破断位置※ ¹	引張強さ (N/mm ²)	伸び(%)	絞り(%)	破断位置※ ¹
600 700	1	134～415	7	25	加工部	440～455 192～275 32	8 1 1	31 18 10	加工部 加工部 加工部 1本 加工時 2本
	2	38～129	1	28	加工部 2本 加工時 1本				
	3	×	×	×	加工時				
700 800	1	483～495	加工部 19 外 39	加工部 39 外 60	加工部 1本 外 2本	404～498 287～421 84～245	13 6 3	27 22 25	加工部 加工部 加工部
	2	453～470	15	33	加工部				
	3	302～353	7	31	加工部				
800 900	1	485～494	30	65	外	440～484 295～458 221～265	13 6 4	27 22 15	加工部 加工部 加工部
	2	472～488	22	35	加工部				
	3	430～461	15	29	加工部				
900 1000	1	481～483	29	63	外	435～499 296～428 81～132	17 6 1	39 21 27	加工部 加工部 加工部
	2	475～477	22	41	加工部				
	3	464～476	12	34	加工部				
1000 以上	1	488～491	25	65	外	296～428 81～132	6 1	21 27	加工部 加工部
	2	477～481	17	47	加工部				

※1 加工部:曲げ加工部で破断 外:曲げ加工部外で破断 加工時:曲げ加工時に破断

キーワード：鉄筋 冷間加工 熱間加工 曲げ戻し 機械的性質

連絡先：〒278-8510 千葉県野田市山崎 2641 TEL：04-7124-1501(内線 4054) E-mail：saori@rs.noda.tus.ac.jp

表-3 引張強度試験結果 (ベンダーを用いた曲げ加工)

加熱温度 (°C)	加熱方法※1	曲げ戻し 回数	曲げ内半径 15mm (加熱区間 68mm)				曲げ内半径 25mm (加熱区間 100mm)			
			引張強さ (N/mm ²)	伸び(%)	絞り(%)	破断位置※2	引張強さ (N/mm ²)	伸び(%)	絞り(%)	破断位置※2
冷間	—	1	521~526	12	64	外	517~524	16	58	外
		2	507~521	8	31	加工部	521~523	12	62	外
600	前加熱	1	491~492	16	64	外	480~481	23	69	加工部
		2	239~422	2	11	加工部	470~473	23	68	加工部
700	後加熱	1					496~498	8	61	外
		2								
700	前加熱	1	485~487	22	67	外	488~492	17	66	外
		2	484~488	23	68	外	484~489	19	69	外
800	後加熱	1	494~499	22	64	加工部	483~487	20	62	加工部
		2	485~495	16	54	加工部	483~487	21	63	加工部
800	前加熱	1	495~496	23	55	加工部	493~497	22	57	加工部
		2	482~485	18	57	加工部	476~478	23	53	加工部
900	後加熱	1	490~492	18	57	加工部	484~487	22	64	加工部
		2	482~486	16	45	加工部	474~476	18	61	加工部
900	前加熱	1	486~487	21	58	加工部				
		2	470~472	14	49	加工部				
1000	後加熱	1	483~490	19	64	加工部				
		2	479~490	15	50	加工部				

※1 前加熱: 曲げ加工部を所定の温度加熱してから曲げ加工
 ※2 加工部: 曲げ加工部で破断 外: 曲げ加工部外で破断

後加熱: 冷間加工後に曲げ加工部を焼準

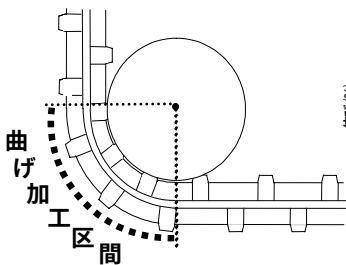
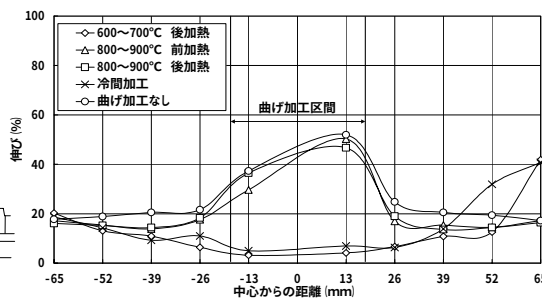
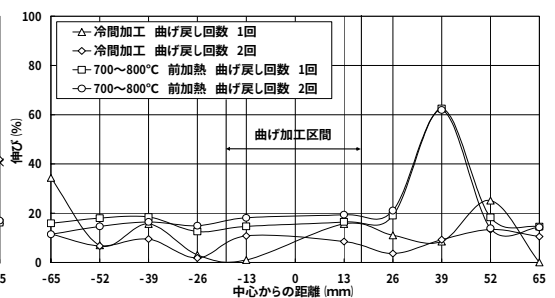


図-1 曲げ加工区間



(1) D13 曲げ内半径 15mm 曲げ戻し回数 2 回



(2) D13 曲げ内半径 15mm

図-2 伸び分布図

3. 実験結果

表-2 は、鋼管を用いて曲げ加工を行ったものの常温時引張強度試験結果を示したものである。いずれの場合も、曲げ・曲げ戻しの繰り返し回数が増すに従い、引張強さ・伸び・絞りは低下する傾向にあった。D13 の場合、600~700°Cでの加熱加工では、2 回目の曲げ戻し加工時に破断するものもあり、また 800~1000°C以外での加熱加工では、程度の差はあるものの一回目の曲げ戻し時に亀裂が発生した。一方、D19 においては、加熱温度にかかわらず 1 回の曲げ戻しで亀裂が発生し、脆性的な破断となった。

表-3 は、加熱した後に曲げ加工を行ったもの（前加熱）、あるいは冷間加工後に所定の範囲を焼準した（後加熱）後、常温まで冷却した状態で測定した引張強度試験結果である。また図-2 は 1D ごとの伸びの分布の例を示したものである。800~1000°Cで加熱し曲げ加工を行った場合、前加熱・後加熱のいずれによっても曲げ加工区間で大きな伸びを示し、延性を有した破断となった。また、表-2 に示した人力による曲げ加工に比べてベンダーで曲げ加工を行った方が伸びが大きくなっている。これは、人力によって、てこで加熱曲げ加

工するとあて金を設けても曲げ内半径を確保できないことによると考えられる。以上の結果より、鉄筋の全長に渡ってのゆがみ取りのような場合を除くと、亀裂等が発生しない範囲であれば冷間で加工し、その後 800~1000°C (A₁ 変態点以上でかつ溶けない範囲) で焼準する方法の方が、曲げ内半径の確保や温度管理の面で有利となる可能性が示されたと考えられる。ただし、加熱によって回復するのは結晶学的な面である。そのため、マイクロクラック等の物理的な欠陥は回復しないので、物理的欠陥が生じやすい青熱脆性領域 (200~300°C) での加工は有害となりやすいことに注意することが肝要である。

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では、できるだけ大きな曲げ内半径で冷間加工し、曲げ加工区間に亀裂等の発生が見られなければ、800~1000°Cの範囲で曲げ加工区間の約 2 倍の区間を加熱し焼準することで、比較的無理のない曲げ戻し等の加工を可能とできるのではないかと考えている。