

鉄筋の曲げ戻しが鉄筋の機械的性質に及ぼす影響

東京理科大学 学生員 ○野田 剛史
ものづくり大学 正会員 澤本 武博
東京理科大学 学生員 飯田 竜太

東京理科大学 正会員 辻 正哲
鉄道総合技術研究所 岡本 大
東京理科大学 学生員 小林 祐紀

1. はじめに

作業用通路の確保、その安全対策や時経列的な施工段階での取合いのような施工上の段取り等で、一度曲げた鉄筋を曲げ戻す必要が生じる場合も多々ある。しかし、近年曲げ戻しが原因ではないかと推測される鉄筋破断が報告されて以来、適切な曲げ戻し方法についても検討することが望まれるようになってきた。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 450～950℃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が害されることはないとされている。

本研究では、冷間加工での実験結果¹⁾を踏まえて、鋼管を用いた人力による熱間曲げ加工およびベンダーを用いた熱間曲げ加工が鉄筋の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 に示したように縁部が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）と、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との 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は、D13 および D19 のいずれの場合でも加熱区間は 10mm とした。また、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、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

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 D13 および D19 の引張強度試験結果（鋼管を用いた人力による加熱曲げ加工）

加熱温度 (℃)	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	亀裂 (有無)	引張強さ (N/mm ²)	伸び(%)	絞り(%)	破断位置※1	亀裂 (有無)
600 700	1	134～415	7	25	加工部	有					有
	2	38～129	1	28	加工部 2本 加工時 1本	有					有
	3	×	×	×	加工時	×					有
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	有	440～455	8	31	加工部	有
	2	453～470	15	33	加工部	有	192～275	1	18	加工部	有
	3	302～353	7	31	加工部	有	32	1	10	加工部 1本 加工時 2本	有
800 900	1	485～494	30	65	外	無	404～498	13	27	加工部	有
	2	472～488	22	35	加工部	有	287～421	6	22	加工部	有
	3	430～461	15	29	加工部	有	84～245	3	25	加工部	有
900 1000	1	481～483	29	63	外	無	440～484	13	28	加工部	有
	2	475～477	22	41	加工部	有	295～458	6	24	加工部	有
	3	464～476	12	34	加工部	有	221～265	4	15	加工部	有
1000 以上	1	488～491	25	65	外	有	435～499	17	39	加工部	有
	2	477～481	17	47	加工部	有	296～428	6	21	加工部	有
	3					—	81～132	1	27	加工部	有

※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 T E L 04-7124-1501（内線 4054） E-mail : saori@rs.noda.tus.ac.jp

表-3 D13 の引張強度試験結果（ベンダーを用いた曲げ加工）

加熱温度 (°C)	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※1	亀裂 (有無)	引張強さ (N/mm ²)	伸び(%)	絞り(%)	破断位置※1	亀裂 (有無)
600	1	491~492	16	64	外	無	480~481	23	69	加工部	無
700	2	239~422	2	11	加工部	有	470~473	23	68	加工部	無
700	1	485~487	22	67	外	無	488~492	17	66	外	無
800	2	484~488	23	68	外	無	484~489	19	69	外	無
800	1	495~496	23	55	加工部	無	493~497	22	57	加工部	無
900	2	482~485	18	57	加工部	無	476~478	23	53	加工部	無
900	1	486~487	21	58	加工部	無					無
1000	2	470~472	14	49	加工部	無					無

※1 加工部:曲げ加工部で破断 外:曲げ加工部外で破断

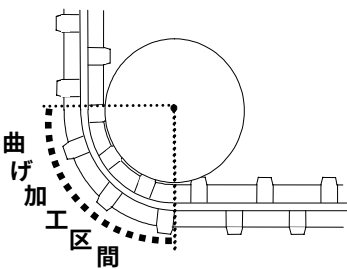


図-1 曲げ加工区間

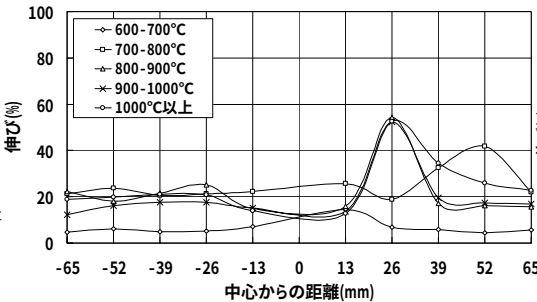


図-2 伸び分布図（鋼管曲げ、D13 曲げ戻し1回）

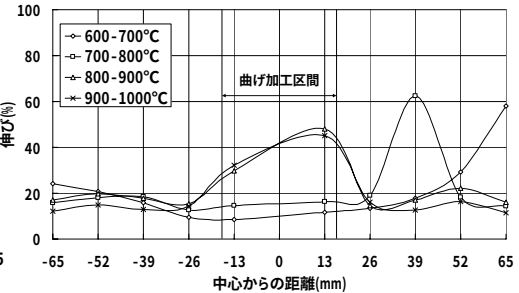


図-3 伸び分布図（ベンダー曲げ、D13 曲げ内半径 15mm 曲げ戻し1回）

隔で伸びを測定した。

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引張強度試験結果を示したものである。また、図-2 は、加熱温度別の 1D ごとの伸び分布を示したものである。D13 および D19 のいずれの場合も、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℃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℃以外での加熱加工では、程度の差はあるものの 1 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。また、いずれの加熱温度でも加工硬化の影響により、加工区間の伸びは著しく低下した。以上のことより、鋼管を用いた人力による加熱曲げ加工では、あて金に沿った曲げ加工を行うことが著しく困難となり、曲げ内半径を確保できないことが鉄筋に亀裂を生じやすくなる原因となるため、避けるべきであると考えられる。

表-3 は、ベンダーを用いて曲げ加工を行ったものの引張強度試験結果を示したものである。また、図-3 は、加熱温度別の 1D ごとの伸びの分布の例を示したものである。D13 においては、700℃以下での加熱加工では、

曲げ内半径が 15mm(1.2D)以下と小さい場合において、伸びは著しく低下した。また、1 回または 2 回の曲げ戻しで曲げ加工区間に大きな亀裂が生じ、引張強さが著しく低下するものや、曲げ加工時に破断に至るものもあった。曲げ内半径が 25mm(1.9D)と大きくなると、亀裂は生じなくなるものの、曲げ加工区間の伸びは 5%程度と小さく、曲げ加工部の外側で破断に至った。また、700～800℃の熱間加工であっても、加工硬化の影響により加工区間外で破断した。これに対して、800～1000度の加熱加工では、1 回、2 回の曲げ戻しを行っても曲げ加工区間で破断し、十分な伸び・絞りが得られた。

4. まとめ

鋼管を用いた人力での熱間曲げ加工では、いずれの加熱温度でも曲げ戻しを行う際に亀裂が生じた。しかし、加熱温度を 800～1000℃の範囲で、できるだけ大きな曲げ内半径を確保することで、加工区間に亀裂や加工硬化が生じず、無理のない曲げ戻し等の加工が可能となるのではないかと考えている。

参考文献

1) 堀田昌平ら：鉄筋の曲げ戻しに関する基礎的研究、土木学会第 59 回年次学術講演会概要集、pp.43-44、（2004）