

曲げ加工された鉄筋の脆性破壊抑止のための加熱方法に関する研究

東京理科大学 学生員 ○宮良 信司
 鉄道総合技術研究所 岡本 大
 東京理科大学 学生員 野田 剛史

東京理科大学 正会員 辻 正哲
 東京理科大学 学生員 堀田 昌平
 東京理科大学 米澤 歩

1、はじめに

鉄筋の曲げ加工は、常温で加工することを基本としているが、材質を害する恐れのある曲げ戻し等に関しては、熱間加工についても解説されている。現在、土木学会コンクリート標準示方書「施工編」では、熱間加工における加熱温度範囲を 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している。しかし、高温で熱した場合、著しく軟らかくなることにより、適切な曲げ内半径の確保が困難になり、更に屋外で作業を行う場合には温度管理も困難となる。

本研究では、加工後に加熱し焼準できる装置を開発し、普通鉄筋の熱間加工方法、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、鉄筋の機械的性質は表-1 に示すとおりである。曲げ加工は、図-1 に示すように縁部を横ふしとし、直線から 90°までの曲げ及び 90°から 30°までの曲げ戻しにはロールベンダーを使用し、30°から直線までの曲げ戻しにはハンドベンダーを使用し行った。加工後の焼準の効果に関しては、耐火炉を用いて鉄筋全体を加熱する方法と今回新たに作製した加熱装置を用いて曲げ加工部付近のみを加熱する方法の 2 種類について検討した。加熱装置は、図-2(a)のようになっており、加熱装置の開口部を断熱材で覆い、装置内に鉄筋を投入していない状態で 1000℃に達するまでの時間が約 30 分のものである。寸法は縦、横、高さがそれぞれ 25、28、32cm、重さが約 6.5kg であり、消費電力は 1.5kW である。加熱方法は、耐火炉では鉄筋全体を加熱するように炉内に入れ、加熱装置では開口部に鉄筋の曲げ加工部を挿入し、両方法とも装置内に蔵された温度センサーにより測定された温度が所定の温度に達してから 10 分後に鉄筋を取り出し、常

温になるまで空冷する方法とした。なお、鉄筋挿入後は図-2(b)のように断熱材により昇温速度を速めた。また、取り出した直後の鉄筋の加熱区間中央部の温度は放射温度計を用いて測定した。引張強度試験に当たり、鉄筋径、曲げ内半径、加熱温度を変化させ、機械的性質として、曲げ加工部の中心から両側 5D の間において、1D ごとの伸びを測定した。

3、実験結果および考察

表-2.1 及び表-2.2 は、それぞれ耐火炉及び今回作製した加熱装置を用いて焼準した場合の引張試験結果である。また、図-3 は D19 の場合の 1D ごとの伸び分布図を示したものである。耐火炉を用いた場合は、700℃以下の加熱温度では曲げ加工によって生じた加工硬化の影響により曲げ加工区間で伸びが生じず、加工区間外で破断した。しかし、800～1000℃まで加熱すると、曲げ加工区間で伸びを生じ延性を有した破断となった。このことは、耐火炉等により鉄筋を A_1 変態点以上に均一に加熱し焼準した場合には、鉄筋の機械的性質を改善できることを表していると考えられる。しかし、今回作製したような加熱装置を

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	320	311	451	332	28	66
D19	355	348	554	452	24	49



(a) 加熱装置本体 (b) 加熱時の様子

図-2 作製した加熱装置

キーワード：鉄筋 熱間加工 曲げ加工 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-2.1 耐火炉を用いて加熱した鉄筋の引張強度試験結果

内蔵センサーの 設定最高温度 ()	炉内から 取り出す直前 の鉄筋の温度 ()	曲げ 戻し 回数	D13				D19			
			曲げ内半径 25mm				曲げ内半径 50mm			
			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
冷間		1	451 ~ 456	13	56	外	555 ~ 557	17	56	外
700	680 ~ 720	1	441 ~ 447	16	64	外	544 ~ 546	12	61	外
800	780 ~ 820	1	484 ~ 485	24	53	加工部	548 ~ 546	22	52	加工部
900	890 ~ 940	1	408 ~ 503	17	57	加工部	548 ~ 550	21	54	加工部
1000	1000以上	1	430 ~ 483	20	61	加工部	546 ~ 568	22	58	加工部

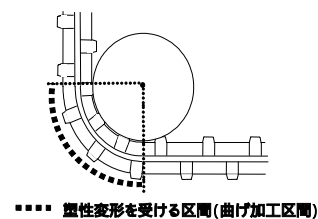
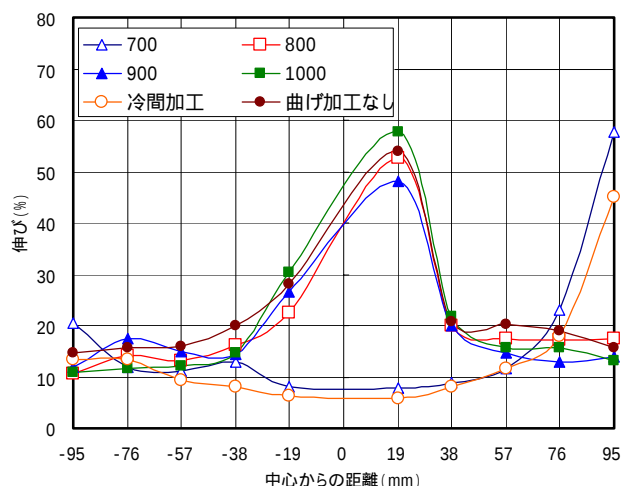


図-1 塑性変形を受ける区間

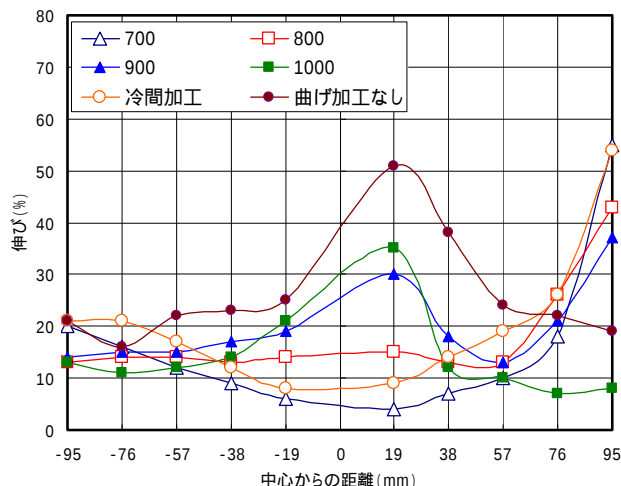
表-2.2 加熱装置を用いて加熱した鉄筋の引張強度試験結果

内蔵センサーの 設定最高温度 ()	加熱装置から 取り出した直後 の鉄筋の温度 ()	曲げ 戻し 回数	D13				D19 伸び測定区間 10D				D19 伸び測定区間 20D			
			曲げ内半径 25mm				曲げ内半径 50mm				曲げ内半径 50mm			
			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	引張強さ (N/mm ²)	伸び (%)	絞り (%)	破断位置 ¹
冷間		1	452 ~ 454	15	59	外	572 ~ 581	10	53	外	555 ~ 557	17	56	外
700	600 ~ 650	1	508 ~ 515	13	61	外	565 ~ 578	10	50	外	—	—	—	—
800	650 ~ 750	1	505 ~ 506	15	58	外	558 ~ 562	15	58	外	558	14	56	外
900	800 ~ 850	1	500 ~ 515	18	59	加工部	555 ~ 562	18	56	加工部1本, 外2本	557 ~ 559	15	61	外
1000	880 ~ 950	1	492 ~ 494	18	59	加工部	550 ~ 559	15	44	加工部	557 ~ 559	14	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



(1) D19 耐火炉 曲げ内半径 50mm
曲げ戻し回数 1 回



(2) D19 加熱装置 曲げ内半径 50mm
曲げ戻し回数 1 回

図-3 伸び分布図

用いた場合には、設定温度を 800 としても、局部的には A_1 変態点に達していない部分が存在したため、加工硬化により加工区間外で破断することもあった。また 900 以上としても、加熱区間の中央部では A_1 変態点を越えているものの部分的には加熱不足により、延性破断とはなるものの加工区間外で破断することもあると考えられる。そのため、今回作製したような曲げ加工区間のみを局部的に加熱し焼準するような装置を用い鉄筋の機械的性質を結晶面から回復しようとする場合、鉄筋内の熱伝導によって曲げ加工区間全てが焼準されないことが起こりえること、及び加熱区間端部における鉄筋内の熱伝導によって加熱後の急激な温度降下が生じる可能性が

あることに注意する必要があると考えられる。また、こうした現象は、鉄筋径によっても異なることにも注意する必要があると推測された。

4. まとめ

今回の実験から、耐火炉における加熱に関して亀裂が発生していない範囲では、加熱温度が上昇するにつれて加工硬化が改善され、曲げ加工を行っていない鉄筋の機械的性質に近づいていくことが示された。しかし、曲げ加工区間付近を局部的に加熱するような簡便な装置を用いる場合には、曲げ加工区間全域の焼準の確保、及び急激な冷却の防止に注意する必要がある。