鉄筋加工および組立方法が鉄筋の機械的性状に及ぼす影響

日大生産工(院)	〇川那子貴嗣	日大生産工(院)	幸加木豪
日大生産工	山本高義	日大生産工	河合糺玆

<u>1、まえがき</u>

近年、鉄筋コンクリート構造物における鉄筋 曲げ加工部で生じるコンクリート内部応力に よる鉄筋破断が複数報告されている。しかし、 JIS 規格に適合した鉄筋は本来、コンクリート 構造物の表面に発生するひび割れ応力程度の の応力が発生しても鉄筋の拘束力が働き、構造 物の安全性が確保されるものとされている。こ れらの鉄筋破断は、鉄筋材質、形状に問題があ ると疑われている。

本研究は鉄筋加工および組立方法が鉄筋の 機械的性状に及ぼす影響をモデル供試体によ って検討すると共に、コンクリート内部膨張圧 が補強筋に及ぼす影響を検討した。

2、鉄筋の材質試験

<u>2-1、モデル供試体</u>

供試材の種類と数量を Tab.1 に示す。

<u>2-2、試験方法</u>

曲げ引張試験(横補強鉄筋の曲げ戻し性試 験)横補強鉄筋(フープ筋)をリング状のまま 引張試験を行い、曲げ加工部での破断の有無を 試験した。試験方法は供試材をガス圧接閉鎖型 のフープ状に加工した供試材に時効処理を施 した後、専用冶具を取り付けた引張試験機で引 張試験を行った。試験の条件を Tab.2 に、試験 のフローを Fig.1 に、また、Fig.2 Fig.3 に試験 の状況を示す。

<u>2-3、試験結果</u>

曲げ引張試験の結果を Tab.3 に示す。曲げ部 で破断したものをサイズごとにまとめると、 D13 で2 体、D16 で6 体、D25 では4 体発生 し、合計で12 体であった。本試験では曲げ部 に引張力がかかると曲げ部が押し広げられる ように変形して引っ張られる。このため、曲げ 戻し試験としては過酷な試験といえる。曲げ部 の破壊強度は母材強度の60%から95%の範囲 で破断しており、一部延性が認められて破断し

Tab.1 供試材の種類と数量

サイズ	D13	D16	D25	時効処理
曲げ半径	1D	1D	1D	
SD295A	15	15	_	
SD345	15	15	15	100℃×1時間
SD390	-		10	
計	30	30	25	合計=85体

Tab.2 試験条件

1)供試材の種類	SD295A D13, D16 SD345 D13, D16, D25 SD390 D25
2)曲げ内側半径	D13, D16, D25=1D
3)曲げ角度	90度曲げ 自動ベンダーによる曲げ加工
4)フープ筋寸法	D13 長辺530×短辺236mm D16 536×248mm
	D25 554 × 375mm
5)フープの製作	アプセットバット溶接により閉鎖型フープを製作
6)人工時効処理	100℃で1時間保持後 自然冷却
7)判定方法	引張試験で曲げ部で破断しない
	(曲げ部とは、図6右の斜線部分をいう)
	引張強度は母材引張強度の95%以上であること

フープ筋製作 → 時効処理 → 自然冷却 → 引張試験

Fig.1 曲げ引張試験のフロー



Fig.2 引張試験前と試験後の破断状況



Fig.3 試験前と試験後の供試体例

Effect of Assembly Method and Processing Method of Reinforcement on the Mechanical Property Takatsugu KAWANAGO, Go KOKAKI, Takanori YAMAMOTO and Tadashi KAWAI たものがあるが、多くは、降伏点前後で脆性的 に破断している。

曲げ加工時に節付け根部が押し潰されて微 細なクラックが発生していた。引張試験時には ひび割れが進展し、破断に至ったと推察される。 この時の曲げ半径は1Dで、**JIS**規定の曲げ内 側半径での再試験での破断は見られなかった。

破断は全ての節付け根部で破断しており、節 付け根部のrが小さい事に起因する破断と推 察される。正常に母材破断したものは、母材強 度の98%から101%の範囲であった。

Tab.3 曲げ引張試験結果

/#==+++	SD295A				
洪武州		D13	D16		
INO.	破断位置	母材強度比(%)	破断位置	母材強度比(%)	
A	母材	97.8	曲げ部	61.3	
В	曲げ部	72.8	曲げ部	94.9	
С	母材	100.8	曲げ部	67.4	
D	母材	100.4	母材	100.2	
E	母材	100.0	母材	99.2	
F	母材	100.0	母材	99.8	
G	母材	100.0	母材	100.2	
Н	母材	98.6	母材	99.6	
I	母材	99.4	母材	99.6	
J	母材	99.8	母材	98.7	
К	母材	98.9	母材	99.6	
L	母材	100.0	母材	99.6	
М	母材	100.6	母材	100.7	
N	母材	100.8	母材	98.5	
0	母材	99.0	母材	99.3	

L		SD345					SD390		
供試材 D13		D13	D16		D25		D25		
L	No.	破断位置	母材強度比	破断位置	母材強度比	破断位置	母材強度比	破断位置	母材強度比
L			(%)		(%)		(%)		(%)
Г	Α	母材	99.1	曲げ部	67.5	曲げ部	61.8	母材	99.5
С	В	曲げ部	68.5	曲げ部	70.7	曲げ部	61.4	曲げ部	62.2
Г	С	母材	100.2	母材	99.1	母材	99.6	母材	100.2
С	D	母材	100.2	母材	99.4	母材	99.1	母材	99.0
E	Е	母材	100.0	母材	99.3	母材	100.4	母材	100.3
Г	F	母材	100.7	母材	99.3	母材	100.0	母材	100.3
Г	G	母材	99.4	母材	99.6	母材	99.3	母材	99.2
E	Н	母材	99.0	母材	100.0	母材	99.3	曲げ部	59.5
E	Ι	母材	99.8	母材	97.1	母材	99.5	母材	100.2
Г	L	母材	98.0	母材	98.9	母材	99.6	母材	100.3
Γ	K	母材	100.4	母材	99.1	母材	99.2	1	I
Γ	Г	母材	98.9	母材	99.3	母材	100.0	_	-
Ľ	М	母材	100.2	母材	99.3	母材	99.1	_	_
Ľ	Ν	母材	99.6	母材	99.3	曲げ部	62.1	—	-
Г	0	P1++	00 F	면 + +	00 E	E + +	100.2		

※母材強度比(%)=

(曲げ引張試験の引張強度/母材強度)×100

3、内部膨張圧が補強筋に与える影響

次に、コンクリート内部膨張圧が、鉄筋コン クリート構造物補強筋に与える影響をモデル 供試体によって検討した。

<u>3-1、モデル供試体</u>

モデル供試体の寸法は、JH、JR などの事故 例を参考にし、断面 300mm×300mm、長さ 700mm の角柱体とした。

補強筋および組み立て筋は、ともに SD295 であって、組み立て筋には D19、補強筋には D13 を用いた。組立方法は補強筋への影響を 比較検討するために、結束線を用いる方法と溶 接の2種で行った。

補強筋の被り厚は、コンクリートひび割れ発 生時の影響を評価することを主目的に、使用補 強筋径の1.0、2.0、および3.0倍の3種とした。

供試体数は各被り厚条件に対して各3体、時 効20年相当の補強筋を使用した供試体(かぶ り厚1D)3体、計12体作成した。

補強筋およびコンクリートには、経時変化に よるコンクリート内部膨張圧を調べる目的で、 Fig.6 Fig.7 に示す位置に歪みゲージを貼付し、 コンクリート内部膨張圧による補強筋および 供試体コンクリート表面の応力を計測した。

コンクリートは、土木構造物に通常よく使用 されている圧縮強度 f'ck=30N/mm²のレディ ーミックスコンクリートを使用した。

コンクリート内部膨張圧は、ケミカル静的膨 張剤(以下膨張剤と略記する)の噴出現象の際 に発生する膨張圧を活用した。噴出現象とは、 膨張剤と水との反応によって発生する反応熱 の蓄積により、孔内温度が上昇し、孔内の水が 急激に気化する事である。その水蒸気の蒸気圧 により、充填された孔内の膨張剤が勢いよく孔 口より噴出する現象である。

膨張剤は、Fig.4 に示す断面中央のΦ40mm、 長さ 600mm の円筒に充填し、コンクリート円 筒内部に膨張圧を発生させ、コンクリートに亀 裂を生じさせた。Fig.5 に膨張剤の膨張圧と経 過時間の関係を示す。膨張圧は約7時間後に最 大に達し、その後72時間膨張圧 約 60N/mm² 前後を保持する性質を有したものである。



Fig.4 モデル供試体の寸法、配筋および ゲージ添付位置詳細図



Fig.5 時間と膨張圧の関係



Fig.6 鉄筋歪みゲージ添付位置詳細図



Fig.7 コンクリートひずみゲージ 貼付位置詳細図

3-2、試験方法

試験は、4 週の散水標準養生を終えた後、供 試体表面を冷風で表面乾燥状態に保ち、Fig.7 に示す位置にコンクリート歪みゲージを貼付 した。 膨張剤は、供試体断面中央部に設置し た塩ビパイプを引き抜いた軌跡円筒に、規定量 の膨張剤を充填し、コンクリートに内部膨張圧 を発生させた。

コンクリート内部膨張圧によって発生した コンクリートおよび鉄筋応力は、供試体中心部 に貼付したコンクリート歪みゲージおよび補 強筋曲げ加工部に添付した鉄筋歪みゲージに よって、コンクリート表面膨張圧変化から安全 を確認したうえで、1時間毎にコンクリート歪 みおよび補強筋の歪みを自動計測した。自動計 測としたのは、膨張剤が外気温度の変化に反応 する危険性を有しているからである。

3-3、試験結果

膨張剤によるコンクリート内部膨張圧発生 によって生じたコンクリート応力と補強鉄筋 応力との関係を **Fig.8** に示す。



Fig.8 補強筋応力とコンクリート応力の関係

Гаb.4	各被り	厚の最	大応力	とひる	び割れ幅
-------	-----	-----	-----	-----	------

	補強筋応力	コンクリート応力	最大ひび割
	(N/mm²)	(N/mm²)	れ幅(mm)
1D	250	19	13
2 D	130	17	10
3D	70	5	6

Fig.8 において、補強筋応力とコンクリート 応力の関係は、被り厚さによって相違する事が 認められた。Fig.8 の各被り厚の最大応力を Tab.4 に示す。Tab.4 に示すように補強筋の被 り厚が大きいと応力は小さく、被り厚が小さい と応力が大きくなる傾向が認められた。これは、 補強筋の拘束断面積の大小に起因していると 推察される。また、コンクリート内部膨張圧に よって発生した補強筋の最大応力250N/mm²は、 本実験の供試筋 SD295 の JIS に規定している 引張強さ 440N/mm²の約 57%程度であった。

試験終了後にモデル供試体の補強筋を観察 すると、結束線を用いて組み立てた供試筋に破 断や亀裂は見られなかったが、溶接によって組 み立てた供試筋には Fig.9 に示すような破断が 確認できた。これは溶接による鉄筋の断面欠損 に起因していると推察される。



Fig.9 試験後の鉄筋破断状況

膨張圧によって供試体のコンクリート表面 に発生したひび割れ性状を Fig.10 に示す。 Fig.10 においてひび割れ性状は、補強筋被り厚 に関係なく配筋鉄筋脇に沿ってひび割れが発 生した。これはコンクリート内部応力が補強筋 によって拘束された応力と自由膨張圧との境 界域の応力差異に起因すると推察される。

コンクリート表面のひび割れ幅は、被り厚が 小さいほど広くなる傾向が認められた。これは、 補強筋の拘束角度によって、膨張圧の伸展方向 が異なることに起因すると推察される。これは、 Fig.11に示すように膨張圧の進展方向が補強筋 の円周拘束位置によって、ひび割れ進展方向が 左右されるものと考えられる。すなわち、補強 筋に接する応力の円周角の大小に起因すると 考えられる。

したがって、コンクリート構造物の外部から 酸性雨、海風など影響を受けやすい立地条件で は、(社) 土木学会コンクリート標準示方書を はじめ、多くのコンクリート参考書にも記され ているように、コンクリート被り厚を十分に考 慮する必要がある。





Fig.11 コンクリート内部膨張圧とひび割れ 発生のメカニズム

<u>4、まとめ</u>

鉄筋加工および組立方法が鉄筋の機械的性 状に及ぼす影響を供試体によって検討すると 共に、コンクリート内部膨張圧が補強筋に及ぼ す影響を検討した結果、本試験の範囲内で次の ことが言える。

 1) 亀裂や破断の原因は、鉄筋曲げ加工時の曲 げ半径が小さい事に起因していると推察され る。したがって、曲げ加工に際しては、曲げ半 径を JIS 規格以上とする必要がある。また、 異形棒鋼の曲げ性状は、節形状に起因する事か ら、節形状の改良が必要である。

 コンクリート内部膨張圧による補強筋の発 生最大応力は、250N/mm² であって、本試験 に供した補強筋 SD295 の JIS に規定している 引張強さ 440N/mm²の約 57%程度であった。

結束線を用いて組み立てた供試筋に破断や 亀裂は見られなかったが、溶接によって組み立 てた供試筋には破断が確認できた。

3)補強筋の被り厚によって、コンクリート表面に発生するひび割れ状態が相違する。したがって、コンクリート構造物の外部から酸性雨、海風などの影響を受けやすい立地条件では、コンクリート被り厚を十分に考慮する事が重要である。

4) 複数報告されている補強筋の破断および亀 裂は、複数の要因が重なって発生したものと推 察される。したがって、補強筋に関しては、溶 接を避け、加工をマニュアルに沿って行うこと が重要である。