

高張力異形鉄筋の曲げ加工性の比較試験

COMPARISON STUDY ON BENDING PROPERTY OF HIGH STRENGTH DEFORMED BARS FOR CONCRETE REINFORCEMENT

関 博*・赤塚雄三**

By Hiroshi Seki and Yuzo Akatsuka

要 旨 曲げ加工により発生する異形鉄筋の表面きれつ（きりつ）の大きさが、強度特性におよぼす影響を明らかにするために、曲げ加工性の異なる3種の鉄筋を用いて、曲げおよび曲げ戻し試験後に引張試験を実施して、曲げ加工性と引張強度および伸びとの関係を検討した。つぎに、表面形状や断面形状の相違するSD 35~40級の15種の熱間圧延の高張力異形鉄筋を選び、鉄筋素材の試験片およびガス圧接した試験片を用いて曲げ試験を行ない、異形鉄筋の形状、および曲げ荷重の載荷方向、曲げ角度、曲げ戻し角度、曲げ半径などの各種の試験条件が、曲げ加工性におよぼす影響を明らかにした。この結果、曲げおよび曲げ戻しによって発生したきれつ（きりつ）の大きさおよび数を量的に表示した「きれつ係数」を用いて、鉄筋の曲げ加工性を定量的に評価しうることを示し、さらに、曲げ加工性を適確に評価するための試験方法を提案した。

1. はじめに

施工現場では鉄筋の加工に際し、過誤による曲げや曲げ戻しあるいは再曲げが行なわれることも皆無でない。また、壁状部材の施工では、鉄筋を組立てて下部コンクリートを打込んだあと、壁状部材内側の施工のために立ち上っている鉄筋を曲げたり曲げ戻したりする例も往々にして認められる。言い換えれば、JISや標準示方書ないし工事仕様書に規定された鉄筋の加工に関する条項が十分に守られていない場合も少なくなく、このような場合には、鉄筋はかなりきびしい条件の曲げ加工を受ける可能性が大きい。したがって、その曲げ加工性もこれらの条件を考慮して評価する必要があると思われる。

冷間加工鉄筋の曲げ加工に関しては、小林¹⁾、横道²⁾らの研究が見られ、曲げと曲げ戻しによるきれつ（きりつ）発生の程度とその要因、曲げ加工やきれつ（きりつ）が鉄筋の引張強度や伸びにおよぼす影響等が解明され、この結果に基づいた鉄筋のリブやフシの形状および曲げ戻し試験方法に関する実際的な提案もなされている。これらの研究によると、曲げ戻し試験は鉄筋の曲げ加工における時効脆性の

影響の判定に有効であって、さらに、きれつ（きりつ）の程度を観察することにより曲げ加工性の良否を評価しうるということが明らかである。

本研究はこれらの研究成果を参考にして、表面きれつ（きりつ）の大きさが引張特性におよぼす影響を考察し、つぎに、代表的なメーカー8社の製品を含むSD 35およびSD 40の15種の成分調整の熱間圧延高張力異形鉄筋の曲げ加工性を検討したものである。鉄筋素材の試験片（以下では素材試験片という）とこれを切断したあとガス圧接した試験片（以下ではガス圧接試験片という）を用い、曲げ加工条件として曲げ直径と曲げ角度を変え曲げと曲げ戻し試験を実施し、鉄筋の表面形状、断面形状、溶接の有無等の要因ときれつ（きりつ）発生の程度との関係を調査し、高張力異形鉄筋の曲げ加工性評価方法を検討した。ただし、本研究の対象とする港湾構造物では一般に耐疲労性を考慮する必要がないため、曲げ加工に際し静的な荷重のみを考えた。

なお、本文は、港湾技術研究所報告5巻15号³⁾と7巻1号⁴⁾に発表した論文の一部を要約したものである。

2. 試験方法

(1) 供試試験片

実験に用いた異形鉄筋は表-1、図-1に示す15種で、一般の港湾工事に最も多く用いられているSD 35、呼び名D 16のものを選び、このほかに比較のため、

表-1 鉄筋の種類と形状

鉄筋名	規格	呼び名	形状
A	SD 30	D 16	横フシ
B	SD 35	D 16	横フシ
C	SD 35	D 16	斜め平行フシ
D	SD 35	D 16	波形フシ
E-1	SD 35	D 16	横フシ 三角筋
E-2	SD 35	D 16	横フシ 三角筋
F-1	SD 35	D 16	波形類似フシ
F-2	SD 40	D 16	波形類似フシ
G-1	SD 35	D 16	波形類似フシ
G-2	SD 40	D 16	波形類似フシ
H	SD 40	D 16	斜め交差フシ
I-1	SD 35	D 13	斜め交差フシ
I-2	SD 35	D 16	斜め交差フシ
I-3	SD 35	D 19	斜め交差フシ
I-4	SD 35	D 22	斜め交差フシ

* 正会員 運輸省港湾技術研究所 研究員

** 正会員 工博 運輸省小名浜港工事事務所長

図-1 異形鉄筋の表面形状

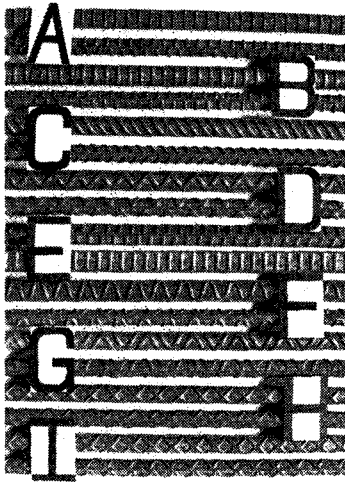
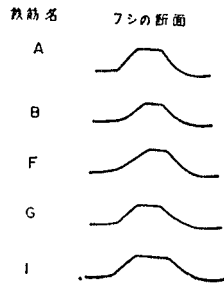


表-2 フシの形状の測定結果

鉄筋名	軸との角度(°)	平均間隔(mm)	高さ(mm)	すき間の和(mm)
A	90	10.4	1.1	5.4
B	90	10.4	0.8	5.8
C	58	10.4	0.9	8.4
D	77	10.6	1.3	5.0
E-1	90	11.0	0.6	11.7
E-2	90	10.7	1.1	9.9
F-1	75	10.9	1.1	9.4
F-2	75	11.0	1.0	8.4
G-1	69	11.0	1.0	6.0
G-2	68	10.7	0.9	6.0
H	54	10.0	0.6	7.2
I-1	66	6.6	0.5	4.2
I-2	77	8.9	0.7	4.0
I-3	52	10.5	1.0	3.6
I-4	70	13.0	0.8	5.4

※ 試験片3個の平均値

図-2 フシの断面形状



SD 30(A), SD 40(F-2, G-2, H), D 13 (I-1), D 19 (I-3), D 22(I-4) 等を加えた。これらの試験片のフシの形状の測定結果と断面形状は表-2, 図-2 に示した通りである。

(2) 曲げおよび曲げ戻し試験

図-3 に示すような、試作した曲げおよび曲げ戻し装置を用いて試験した。曲げ装置は、載荷点に曲げ直径(3.5D~5D)に等しい直径をもつローラーを取付け、試験片支え間距離が

$$L = \phi + 3D$$

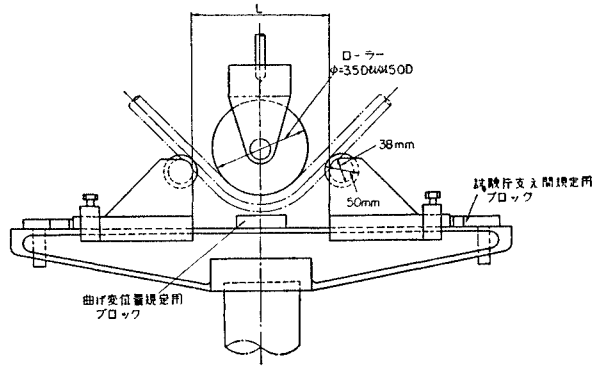
ただし、L: 2個の支え間距離(mm)

ϕ : 曲げ直径(mm)

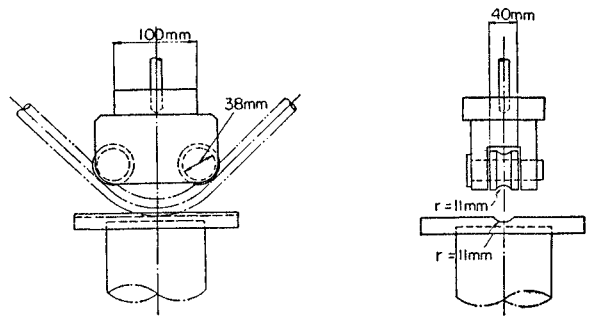
D: 試験片公称直径(mm)

図-3 曲げ装置

(a) 曲げ装置



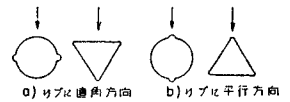
(b) 曲げ戻し装置



となるように、2個の支えを左右端のブロックで固定したものである。

曲げ試験の荷重の載荷方向は、図-4 のように

図-4 曲げ試験載荷方向



定め表-3 のような組み合わせの曲げ試験を実施した。

試験片は90°曲げ後、常温で48時間大気中に放置したのち曲げ戻しを行なった。

(3) 曲げ加工性の評価

表面形状、断面形状のかなり相違するE-1, F-2, I-4の3種の鉄筋を選び、曲げおよび曲げ戻し加工を施したのち、引張試験を実施した。この試験条件および試験結果は表-4 に示すとおりである。

表-3 曲げおよび曲げ戻し試験の条件の組み合わせ

試験の種類	試験片の種類	曲げ角度(°)	曲げ戻し角度(°)	曲げ直径	載荷方向(リブに対し)	試験鉄筋の種類
曲げおよび曲げ戻し試験	素材	90	45さらしに90	3.5D	直角	15
					平行	15
	素材	90	45さらしに90	5D	直角	15
					平行	15
曲げ試験	素材	180	-	3.5D	直角	15
					平行	15
	ガス圧接材	180	-	3.5D	直角	15
					平行	15

表一4 曲げ試験条件, および曲げ戻し後の試験片の引張試験結果

鉄筋名	曲 げ 条 件				降伏点 (kg/mm ²)	引張強度 (kg/mm ²)	伸 び (%)	最 大 きれつ幅 (mm)	評 点
	曲げ角度 (°)	曲げ戻し 角度(°)	曲げ直径	載荷方向 (リブに 対し)					
E-1 (素材)	—	—	—	—	40.5	57.2	23.9	—	—
E-1	45	45	3.5D	直 角	40.2	56.9	18	きれつなし	0
				平 行	40.0	56.7	20	0.2	5
			5D	直 角	39.3	56.1	18	0.1 未満	3
				平 行	40.4	56.9	20	〃	3
	90	90	3.5D	直 角	40.7	57.7	16	〃	2
				平 行	39.5	56.2	16	0.5	8
			5D	直 角	39.8	56.9	17	0.1 未満	3
				平 行	39.8	57.1	16	〃	3
F-2 (素材)	—	—	—	46.2	66.2	23.3	—	—	
F-2	90	90	3.5D	直 角	47.2	66.5	19	0.1 未満	2
				平 行	46.5	65.2	14	きれつなし	0
I-4 (素材)	—	—	—	—	36.6	56.5	27.1	—	—
I-4	90	90	3.5D	直 角	—	56.6	17	0.2	5
				平 行	36.9	56.5	14	0.3	6
			5D	直 角	—	56.8	18	0.1 未満	2
				平 行	37.0	56.8	17	0.2	5

備考: 1) 素材試験片は試験片3本の平均値, 他は試験片4本の平均値である。
 2) 曲げ試験における試験方法は 載荷速度 約 600 kg/cm²/min
 曲げ戻し後 32~40 日間 25~30°C の室内に放置
 3) 評点は, 最大きれつを表-5 のきれつの判定基準にしたがって求めた値である。

これによると, 曲げきれつは曲げ中心付近で曲げ戻し試験時の引張側に集中的に発生しその分布範囲は曲げ中心よりほぼ 2D 以内に限定されるが, 破断箇所は曲げ戻しによるきれつ発生箇所とは一致していない。たとえば, 最大 0.5 mm に達するきれつの発生した鉄筋 E-1 の破断箇所は曲げ中心よりほぼ 10D の距離にあり, その他の鉄筋においてもこの距離は 5D~8D 程度である。表-4 では曲げ加工を何ら加えていない試験片の引張試験結果もあわせて表示した。試験片が少数であるため厳密な解析は困難であるが, 実用上は差がないと考えてよいであろう。小林, 横道らも比較的大きなキズであっても必ずしも強度低下をとまなわれないことを示しており, 本試験結果もこれらとほぼ一致するものと思われる。曲げおよび曲げ戻しによる冷間加工の程度は場所によって異なり, きれつの発生した曲げ中心付近は冷間加工によって引張強度が増加するためかなり大きなきれつがあっても破断せず, 曲げ加工を受けない領域の引張特性が試験結果を支配し, したがって, 素材との差が認められないものと思われる。

一方, 伸びについて素材試験片との差について検定したところ, 一, 二の例外を除いて伸びの低下が認められた。いずれの破断点も曲げ加工の影響を受けた領域外であったが, 伸びはいずれも A 区域あるいは B 区域破断となるように標点距離を選択して測定しているため, その

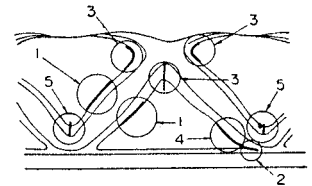
測定範囲は曲げ加工の影響を受けた領域と重なっている。曲げ戻し後の引張による降伏点や引張強度が曲げ加工の影響を受けないにもかかわらず伸びが低下したのは, 上述の理由によるものと思われる。

きれつの程度を定量的に評価するために, 表-5 に示すような判定基準を設けた。これを前記試験結果に適用すると, それぞれの試験条件の最大きれつに対応する評点は表-4 の最右欄に示したとおりである。きれつ幅 0.5 mm は評点 8 に相当するが, 前述したように強度の低下は認められず, この程度のきれつでは, 静的な荷重を載荷した試験片の引張特性に対

表一5 きれつの判定基準

等級	評 点	き れ つ の 程 度
A	1	肉眼でかろうじて発見できる程度の, ごく表面的なきれつらしい微候。きれつとの判定困難。
B	2	肉眼で容易に発見できる程度の幅をもつが, 幅も深さも微小であり, 静的な引張特性に有害な影響がないもの。
C	3	比較的大きなきれつであるが, 倍率 10 倍で最小目盛 0.1 mm の拡大鏡を用いても幅の測定が困難なもの (0.1 mm 以下) で, この程度では静的引張特性に有害な影響がないもの。
D	4 以上	倍率 10 倍で最小目盛 0.1 mm の拡大鏡を用いて幅を容易に測定できる程度のきれつ (0.1 mm 以上) mm で表示したきれつ幅の測定値に 10 を乗じて得た整数値に, 等級 C の場合の評点 3 を加えた値をもって等級 D のきれつとする。
E	∞	破断に近いもの, もしくは折損破断を生じたもの。

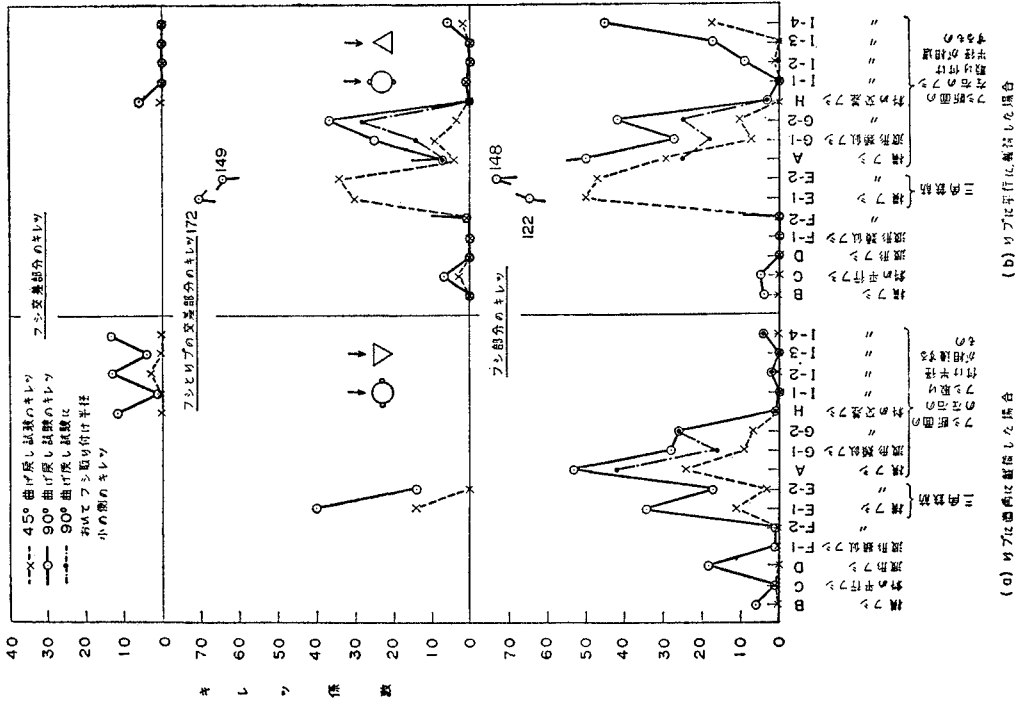
備考: 3本の試験片を用いて曲げおよび曲げ戻し試験を行ない, 発生したすべてのきれつの評点を図-5 に示したきれつ発生箇所 (フシ部分, フシとリブとの交差部分, フシ相互の交差部分) ごとに合計して, その個所のきれつ係数とした。



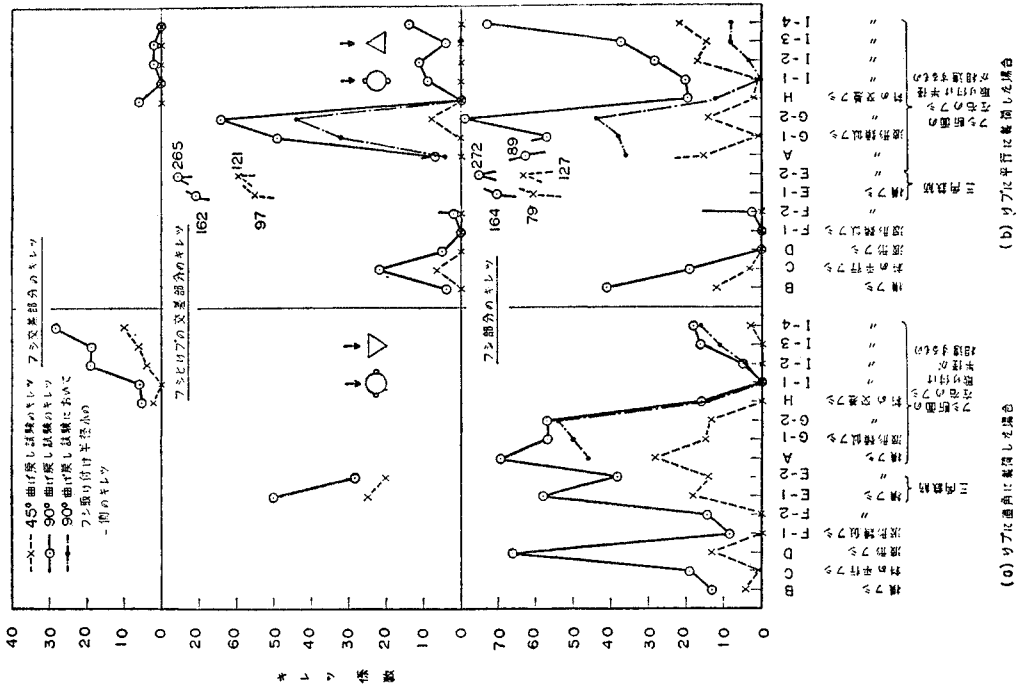
図一5 曲げおよび曲げ戻し試験できれつの発生しやすい箇所

リブに直角方向に載荷したときのキレツ
 1 フシ部分 (フシ側キレツ)
 2 フシとリブの交差部分 (例, E-1, 2)
 3 フシ交差部分 (例, H, I-1, 2, 3, 4)
 リブに平行方向に載荷したときのキレツ
 4 フシ部分
 5 フシとリブの交差部分 (リブ側キレツ)
 (例, H, I-1, 2, 3, 4)

図一 素材試験片の 90° 曲げ戻し試験におけるき裂の発生状態 (曲げ直径 5 D)



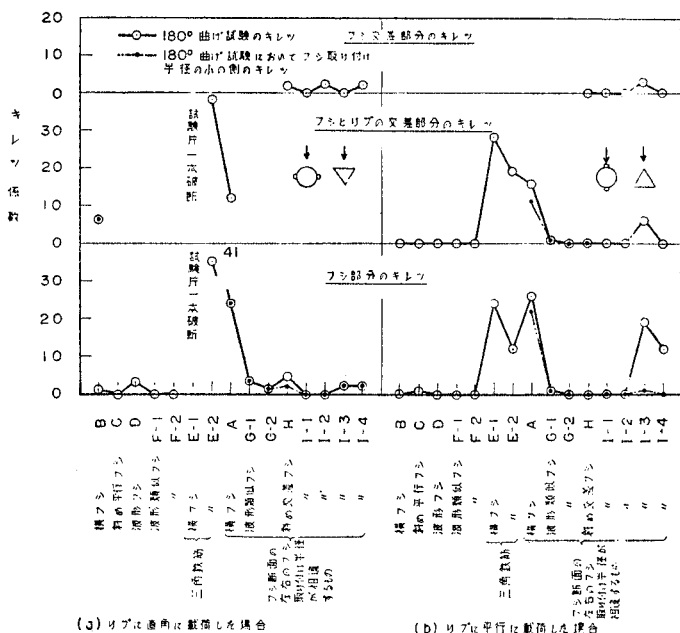
図二 素材試験片の 90° 曲げ戻し試験におけるき裂の発生状態 (曲げ直径 3.5 D)



(b) リブに平行に発生したき裂

(c) リブに垂直に発生したき裂

図一8 ガス圧接試験片の180°曲げ試験におけるきれつ発生状態
(曲げ直径 3.5D)



する影響は認めがたい。

つぎに各試験片、試験条件による曲げ加工性を相対的に判定する方法として、きれつの発生箇所に応じて図一5に示すようにリブに直角および平行に載荷したときのきれつをそれぞれ3種に分類し、3本の試験片に関し前記判定基準にしたがった評点の合計を考えこれを「きれつ係数」と定義した。たとえば、図一6の(a)リブに直角に載荷した場合の90°曲げ戻し試験において鉄筋Dの3本の試験片はフシ部分において、等級A, BおよびCのきれつがそれぞれ3, 8および5箇所観察され、さらに、0.2mm, 0.3mmおよび0.5mmの幅を有するきれつがそれぞれ2, 1および2箇所認められた。したがってきれつ係数は66となる。以上のごとく、きれつ係数は曲げおよび曲げ戻し試験におけるきれつ発生傾向を平均的に表示する指標と考えることができる。

3. 曲げおよび曲げ戻し試験結果

異形鉄筋の曲げおよび曲げ戻し試験におけるきれつは例外なく鉄筋の引張側で発生し、その発生しやすい箇所は図一5に示したように、フシ部分(フシの立ち上り箇所)、フシとリブとの交差部分およびフシ相互の交差部分(斜め交差フシの場合)である。

多くの供試鉄筋はJIS G 3112に準じた180°曲げ試験に合格したが、鉄筋A, C, E-2は評点1, 2のきれつが数箇所認められた。しかし、さらにきびしい曲げ条件において必ずしもきれつは見られず、そのきれつはわずかであった。

きれつの測定結果をきれつ係数を用いて定量的に表示し、図示すると図一6~8のとおりである。

4. 各種高張力異形鉄筋の曲げ加工性

(1) 表面形状の影響

リブに直角に載荷した場合の図一6(a)、図一7(a)において横フシ筋AとBを比較すると、フシとリブとの交差部におけるきれつ係数はともに零であるが、フシ部分のきれつ係数については鉄筋AはBにくらべて著しく大きい。これは図一2に示したようにフシの断面形状の相違に起因するもので、きれつの発生箇所もフシ断面の両側面のうちフシの取付角度の急な側(鉄筋圧延の方向と反対の側で、ここではフシの取付半径は0に近い)に集中していることからわかる。

このような傾向は斜めフシ筋や波形フシ筋の場合も同様で、たとえば、鉄筋D, F, Gを比較すると、フシ断面の両側面において適当な取付半径を設けた鉄筋Fではフシ部におけるきれつ係数がきわめて少ないのに対し、フシ断面の両側面での取付角度に緩急差のある鉄筋Gでは急傾斜面側(取付半径が0に近い)でのきれつ係数が著しく大きく、鉄筋Gと同様な断面のフシをもつ鉄筋Dがこれについている。

斜め交差フシの鉄筋HとI-1~I-4ではフシ断面の取付角度が比較的ゆるやかであるため、フシ部分のキレツ係数は概して小さいが、フシ交差部においてきれつ係数が大となっている。

リブに直角に載荷した場合にフシとリブとの交差部にきれつが生じたのは鉄筋Eのみであるが、これは他の鉄筋ではリブが中立軸に相当する位置にあって応力がほとんど作用しないのに対し、鉄筋Eは三角断面のためどのリブも外側にあってフシとの交差部に応力集中が生じたためと推定される。この傾向は曲げ戻しの場合に三稜のうち一稜が引張側になる平行載荷の場合に特に著しく、図一6(b)、図一7(b)に示したようにきれつ係数も極端に大きくなっている。

(2) 断面形状の影響

円形断面の横フシ筋A, Bと三角形断面の横フシ筋Eとを比較すると、鉄筋Eにおいてはフシとリブとの交差部分にきれつの発生が著しく、とくに三稜のうち一稜のみが引張側にある平行載荷の場合には図一6(b)、図一7(b)に示したようにフシとリブの交差部におけるきれつ係数は鉄筋A, Bの数十倍に達する。これは平行載荷の場合にはその曲げ戻しの際にリブ部分に最大曲げ応力が

作用し、これにともなってフシとリブの交差部にも著しい応力集中が生ずるためと思われる。

フシ部分に発生するきれつについても、鉄筋Eはきれつ発生傾向が大きく、曲げ戻しの際一種のみが引張側にある平行載荷では曲げ直径が $3.5D$ と $5D$ いずれの場合にも、他の円形断面の鉄筋のきれつ係数と比較して著しく大きい。とくに、 90° 曲げ $\sim 45^\circ$ 戻しの $3.5D$ の曲げ戻し試験において他の円形断面の鉄筋の場合、きれつ係数は大きい場合でも 20 程度であるのに対し、鉄筋 E では 80 \sim 130 程度と過大である。

上述のように、鉄筋Eは曲げ加工の際にきれつが発生しやすい欠陥をもち、これが主としてその特殊な異方性の断面形状に由来することも明らかであり、曲げ加工を必要とする鉄筋としては必ずしも適当でないものように思われる。

鉄筋の断面形状の一要因としての鉄筋直径に関しては、きれつ発生は直径にほぼ直線的に比例して増加する。鉄筋 I-1 \sim I-4 は $D13\sim D22$ と公称直径を変えた試験片であるが、図-6 (a), (b) のフシ部分およびフシ交差部分のように、きれつ係数は直径にほぼ直線的に比例して増加することがわかる。鉄筋の曲げ戻しにおけるきれつは塑性領域において生ずるものであり、塑性加工の程度が直径にほぼ比例すると仮定すると、このような現象は当然であろう。たとえば、フシ交差部分はリブに直角載荷の場合には曲げ戻しの外縁部にあたるとに対し、リブに平行載荷の場合には中立軸の位置に相当するが、その結果として載荷方向によって曲げ加工の程度が著しく相違し、図-6 (a) と (b) あるいは図-7 の (a) と (b) に示したように、きれつ発生 の程度もそれに応じて変化しており、上述の説明を実証するものと思われる。

(3) 曲げ荷重載荷方向の影響

本試験では曲げ荷重の載荷方向としてリブに平行な場合とリブに直角な場合(図-4 参照)の2通りで曲げおよび曲げ戻し試験を実施した。この結果として、たとえば、図-6、7 のフシとリブとの交差部ないしフシの交差部 (a), (b) を対比すると明らかなように、曲げ荷重に対して鉄筋断面の中立軸に相当する部分でのきれつは特殊な例を除いて皆無といってよく、これと直交する部分では逆にきれつが多く発生している例(鉄筋 C, E, G, H) が認められる。これらの鉄筋はその曲げ加工性が載荷方向に対してとくに異方性があり、その欠点が曲げ加工が最大となる時に生ずることを示すものであろう。

鉄筋Eを除くと、フシ部分のきれつ係数は載荷方向によらずほぼ同様な傾向を示し、鉄筋 A, B, D, G, I 等のきれつ発生 の程度が著しい。一般的な傾向としては、リブに直角載荷の場合に発生したフシ部のきれつは、フシに沿って長く延びており、平行載荷の場合のフシとリブの交差部のきれつは幅も深さも概して大きい。

(4) ガス圧接の影響

ガス圧接試験片については曲げ直径 $3.5D$ の 180° 曲げ試験のみ実施した。試験結果は図-8 に示したとおりで、きれつの発生はリブに対して平行載荷と直角載荷のいずれの場合にも同様の傾向を示し、鉄筋AとEのきれつ係数が大きいのが顕著であり、このほか、斜め交差フシ筋の I-3 (SD 40, D 19) にきれつ係数 5 \sim 20 のきれつが発生している。これらのきれつの発生した鉄筋ではとくに圧接部付近でのきれつが著しく、たとえば鉄筋 E-1 の試験片のうち1本は圧接の中心より $0.9D$ の点で破断した。また、ガス圧接の際に発生したきれつが、曲げ試験の際にさらに発達した例もある。これはガス圧接部の近傍が溶接硬化して曲げ加工性が低下するため、溶接硬化の影響がこれらの鉄筋が他のものより著しいことを示すものであろう。

(5) 異形鉄筋の伸びと曲げ加工性との関係

SD 35 の鉄筋 F-1, G-1 と SD 40 の鉄筋 F-2, G-2 を比較すると、伸びについては前者が後者をその絶対値で 2 \sim 4% 上回っており、これに反して、きれつ係数については後者が前者をかなり上回った値を示している。伸びは塑性変形の程度を示す一指数であり、またきれつ係数は塑性変形の限界を示す一指数とも考えることができるから、伸びの大きい鉄筋ほど係数が少ないのは当然であろう。鉄筋 E-1, E-2 の曲げ加工性は 4. (2) \sim 4. (4) で検討したように他の鉄筋にくらべて著しく劣るが、この鉄筋の降伏点が必要以上に高く、伸びもこれに応じて小さいこともその一要因を形成しているものと推定される。したがって、降伏点を必要以上に高めることは曲げ加工性の低下を招く一因であり必ずしも適当でないと思われる。

(6) 曲げ加工性評価のための曲げ直径について

曲げおよび曲げ戻し試験では曲げ直径が小さいほど、曲げ加工の程度がきびしくなり、これに応じて発生するきれつの数と大きさも増加するのは当然である。図-6、7 は曲げ直径がそれぞれ、 $3.5D$ と $5D$ の場合であるが、 $3.5D$ の場合のきれつ係数は $5D$ の場合の 2 倍程度の値を示している。ここで特に注目する点は、 $5D$ の曲げ戻し試験できれつが皆無に近い鉄筋(たとえば F-1, F-2) では $3.5D$ の曲げ戻し試験でもきれつ係数は零に近く、一方 $5D$ の曲げ戻し試験で多少でもきれつ の認められた鉄筋(たとえば B, C, D) では $3.5D$ の試験でこれがかかなり増幅された形で現われていることである。このことは、たとえば、鉄筋 F-1 (SD 35, D 16), F-2 (SD 40, D 16) のように曲げ加工性のとくにすぐれた鉄筋については曲げ戻し $3.5D$ でも過酷ともいえないのに対し、曲げ加工性が良好とはいいがたい鉄筋 A (SD 30, D 16), E-1, E-2, G-1 (いずれも SD 35, D 16), G-2 (SD 40, D 16) 等については曲げ戻し条件 $5D$ はすでに

かなり過酷な条件となっていることを意味する。

したがって、曲げ戻し試験によって鉄筋の時効脆性の影響ないし曲げ加工性を評価するためには、直径 16 mm 程度の鉄筋については曲げ直径 $3.5D$ 、 $5D$ のいずれでも目的を達しうるが、 $3.5D$ の方がいっそうよく判定できるものと思われる。この点に関して、横道²⁾らも曲げ戻し角度は鉄筋加工の実情との関連で 45° 曲げ→ 45° 戻し、もしくは 90° 曲げ→ 90° 戻しとし、曲げ直径を $3.5D$ とすることを提案している。この場合、試験結果の評価方法として、JIS G 3112 の 180° 曲げ試験のようにきれつの有無のみで合否を判定するのは適当でなく、たとえば本実験等で行なったように、きれつの程度を定量化して評価することが必要と思われる。

直径を $D13\sim D22$ で変えた鉄筋 I-1~I-4 についてのきれつ係数を検討すると、曲げ直径が $3.5D$ の場合には $D22$ の値のみが著しく大きく、一方、曲げ直径が $5D$ の場合には $D13\sim D19$ の値は小さい。したがって、曲げ直径は棒鋼の径によって変えるのが適当であり、 $D13\sim D19$ に対して $3.5D$ を用いるものとすれば、 $D22$ 程度に対しては、たとえば $5D$ とするのがよいと思われる。

5. 結 論

SD 35、D 16 を中心として 15 種の熱間圧延の高張力異形鉄筋の素材試験片とガス圧接試験片を用い、載荷方向、曲げ角度、曲げ戻し角度、曲げ半径などを変えて静荷重を載荷した曲げ試験を行なった。この結果、つぎのことがいえると思われる。

(1) 異形鉄筋の曲げ加工性は、表面のきれつの大きさを定量化した「評点」を用い、そのきれつ数量を累加した「きれつ係数」によって評価することができる。

(2) 曲げと曲げ戻しによって生じた最大幅 0.5 mm 程度までの表面きれつは、静的引張強度に悪影響をおよぼさない。

つぎに、各種高張力異形鉄筋の曲げ加工性をきれつ係数を用いて相対的に評価すると

(3) きれつ係数は、フシ側面の取付半径が著しく小さい部分やフシが他のフシもしくはリブと交差する部分などのように断面が急激に変化する部分で特に大きな値を示しており、曲げ加工性を高めるためには、フシ取付部や交差部を適当な曲率の曲面で結ぶなどの工夫が必要である。

(4) 曲げ加工によるきれつ発生 の程度は、断面形状によってもかなり変化し、三角形断面の鉄筋はきれつ発生が著しく、円形断面の鉄筋にくらべ曲げ加工性はかなり劣るようである。

(5) 伸びの大きい鉄筋ほどきれつ発生 の程度が少なく、曲げ加工性が良好である。

(6) ガス圧接試験片のきれつ係数は素材試験片のそれにくらべてかなり大きく曲げ加工性が劣る。これは、ガス圧接部で溶接硬化を生じ、伸び能力が低下するためと思われる。

(7) 時効脆性ないし曲げ加工性を評価するための曲げおよび曲げ戻し試験の曲げ直径としては、 $D13\sim D19$ の鉄筋に対し $3.5D$ 程度、 $D22$ の鉄筋に対しては $5D$ 程度とするのが適当である。

参 考 文 献

- 1) 小林一輔：高張力異形鉄筋の実験的研究，土木学会論文集，第 89 号，pp. 11~30，1963 年 1 月
- 2) 横道英雄・松井 司：鉄筋用ねじり棒鋼の機械的性質について，土木学会コンクリートライブラリー，No. 2，pp. 60~65，1962 年 12 月
- 3) 赤塚雄三・関 博：港湾構造物における高張力異形鉄筋の使用法に関する調査研究（第 1 報），港湾技術研究所報告，5 卷 15 号，pp. 1~80，1966 年 9 月
- 4) 赤塚雄三・関 博：“港湾構造物における高張力異形鉄筋の使用法に関する調査研究（第 2 報）”，港湾技術研究所報告，7 卷 1 号，pp. 25~45，1968 年 3 月

(1968. 6. 5・受付)