

V-244

異形鉄筋の疲労性状に関する研究

日本大学 正会員 河 合 紘 茲

1. まえがき

鉄筋コンクリート構造物部材の疲労耐荷力は、通常使用する鉄筋の疲労特性によって定まる。疲労特性は鉄筋の種類、形状および寸法、継手の方法、作用応力の大きさと作用頻度、環境条件などによって相違する。昭和61年に制定された土木学会コンクリート標準示方書（以下コンクリート標準示方書と記す）では、これらの条件を考慮して行った試験による疲労強度に基づいて、鋼材の疲労強度の特性値を定めるものと規定している。本研究はこれらの諸条件の内から、もっとも基本的な異形鉄筋の種類、形状および環境条件について、疲労強度特性を検討すると共に、曲げ戻し後の耐疲労性についても検討した。なお、本研究は（社）日本鉄鋼連盟普通電炉部の電炉鉄筋棒鋼研究委員会の研究として行ったものであり、委員長 明治大学 小倉弘一郎教授、副委員長 東京都立大学 村田二郎教授、並びに各委員の皆様より貴重なご意見、ご指導を頂きましたことを付記して厚く感謝の意を表します。

2. 試料鉄筋

試料鉄筋は、斜めふし筋および横ふし筋のSD35のD19であって、ふし間隔、ふし側面の傾斜角、ふし付け根部の円弧の曲率半径などが比較的相違するA～E社の市販電炉鉄筋5種とFおよびGの市販高炉鉄筋2種である。これらの機械的性質および表面形状を表-1に示す。

表-1 試料鉄筋の機械的性質および表面形状

鉄筋の種類	鉄筋銘柄	鉄筋呼び名	ふし形状	機械的性質			表面形状			
				降伏点 (kg/mm ²)	引張強度 (kg/mm ²)	伸び (%)	ふし間隔 (mm)	ふし高さ (mm)	半径 (mm)	傾斜角 (度)
電炉鉄筋	A	D19	横	38	56	26	13.3	1.24	2.8	29.4
	B			38	56	24	10.3	1.21	2.6	29.1
	C			38	57	25	12.8	1.30	3.6	24.3
	D			37	55	25	12.1	1.23	3.2	28.6
	E			39	58	24	11.8	1.22	2.9	29.7
高炉鉄筋	F	D19	横	38	57	25	12.4	1.25	2.7	33.6
	G		斜	37	56	26	13.0	1.24	3.8	30.3

3. 試験方法

引張疲労試験の載荷方法は、疲労試験機の容量を考慮して、通常試験片および曲げ戻し試験片ともに下限応力を 1.3 kgf/mm^2 （試験機設定荷重1 ton）と一定にした。上限応力は通常の試験片の場合、鉄筋の引張強度の約25～55%（約 $13 \sim 32 \text{ kgf/mm}^2$ ）の範囲で、試験状況に応じて 2 kgf/mm^2 レンジで随時変化した。載荷速度は8.5 Hz（毎分約500回）として行った。

曲げ戻し試験は、万力に鉄筋を固定し、鉄筋とほぼ同内径の鉄パイプを鉄筋に挿入して、曲げ角度90度、曲げ戻し角度90度として行った。鉄筋の内側曲げ半径は、鉄筋径の2倍および4倍の2種とした。なお、曲げ戻し試験は、試験時の試料鉄筋の温度条件および歪時効によって、曲げ戻し特性が相違することが予測されることから、温度条件を5℃および20℃、100℃で1時間保持（歪時効約90日相当）の3条件で試験を行った。曲げ戻し試験片の引張疲労試験載荷方法は、下限応力を 1.3 kgf/mm^2 、上限応力を 10 kgf/mm^2 と一定にして行った。載荷速度は通常の試験片と同様に8.5 Hzとした。

4. 試験結果

疲労試験結果を図-1に示す。図-1のS-N線図は、疲労試験機の鉄筋つかみ部より鉄筋径の5倍以上離れた位置で破断した試験片を、試験値として取り上げ整理したものである。図-1において各銘柄の 10^6 回疲労強度は、それぞれA= 25.2 kgf/mm^2 、B= 24.0 kgf/mm^2 、C= 27.4 kgf/mm^2 、D= 26.9 kgf/mm^2 、E= 26.5 kgf/mm^2 、F= 26.7 kgf/mm^2 、G= 28.6 kgf/mm^2 であった。これに対して 10^7 回疲労強度は、本実験の結果並びに得られた関連資料の範囲ではまだ資料数が十分でないが、この実験結果の範囲内では、A= 20.7 kgf/mm^2 、B= 18.6 kgf/mm^2 、C= 23.5 kgf/mm^2 、D= 24.8 kgf/mm^2 、E= 24.2 kgf/mm^2 、F= 24.5 kgf/mm^2 、G= 26.7 kgf/mm^2 であり、 10^6 回疲労強度の約78～94%であった。このように、本実験結果からは異形鉄筋の表面形状が疲労強度に及ぼす影響は顕著に認められなかった。例えば、鉄筋銘柄Bのふし間隔10.3mm

ふし高さ1.21mm、ふし付け根部の半径2.6mm、ふし側面の傾斜角29.1度の10⁶回疲労強度は24.2kgf/mm²であるのに対し、鉄筋銘柄Cのふし間隔12.8mm、ふし高さ1.30mm、ふし付け根部の半径3.6mm、ふし側面の傾斜角24.3度の10⁶回疲労強度は27.4kgf/mm²であった。このように市販異形鉄筋の耐疲労性が比較的良好となったのは、曲げ特性を考慮してふし付け根部の半径を2.6～3.6mmと、ふし側面の傾斜角を緩やかにし、応力集中の少ない表面形状にしていることによるとと思われる。

コンクリート標準示方書では、異形鉄筋の設計疲労強度は疲労寿命と永久荷重による鋼材の応力度の関数として、式（1）によって求めているとされている。

$$f_{srd} = 1900 \frac{10^6}{N^k} \left(1 - \frac{\sigma_{sp}}{f_{ud}}\right) / r_s \quad (\text{kgf/cm}^2) \quad (1)$$

ここに、 f_{srd} ：異形鉄筋の設計疲労強度、

N ：疲労寿命、 σ_{sp} ：永久荷重による鋼材の応力度、 f_{ud} ：鉄筋の設計引張強度、 r_s ：鉄筋の材料係数、 α および k ：材料定数

この概念に基づき、本実験で得られた材料定数 α および k の値を用い、示方書で規定している疲労強度特性値を比較すると図-2となり、本試験片はいずれもコンクリート標準示方書で規定している異形鉄筋の疲労強度特性値を満足している。

曲げ戻し試験片による疲労試験結果を表-2に示す。表-2において、温度条件および歪時効による疲労強度特性は顕著に表れなかった。しかし、鉄筋の内側曲げ半径および表面形状による差異が認められた。例えば、内側曲げ半径4rの場合、鉄筋の表面形状の欠陥による応力条件の影響によって、疲労回数および引張強度は極度に低下した。曲げ半径8rにおいても、曲げ加工治具の接点がふし頂部に重なると、応力集中によりふしが押し込まれ、ふし付け根部にしわや亀裂が発生し、疲労強度および引張強度は極度に低下した。従って曲げ加工を行う場合には、曲げ半径を少なくとも8r以上とすること、曲げ加工位置はふしの中間部で行うことが重要である。

曲げ戻し試験片によるふし形状が疲労強度特性に及ぼす影響は、斜めふし筋よりも横ふし筋の方が大である傾向が認められた。これは斜めふし筋に比較して、横ふし筋はふし付け根部の半径が小さいこと、ふし側面の傾斜角が大であること等に起因するものと思われる。

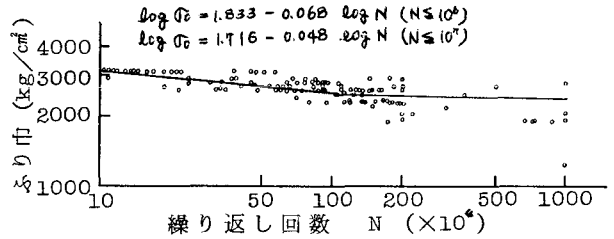


図-1 D19のS-N線図

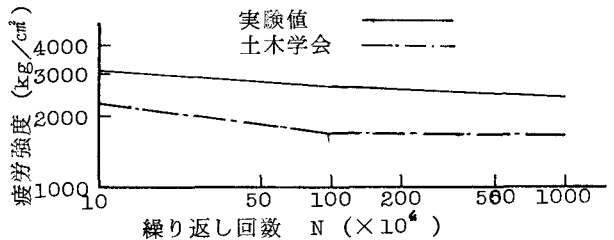


図-2 f_{srd} 式によるS-N線図

表-2 曲げ戻し試験片による疲労

試験結果

鉄筋銘柄	温度 (°C)	曲げ半径 (r)	ふし巾 (kg/cm²)	繰返し回数 (×10)	鉄筋表面の有無	引張強度 (kg/cm²)
C	5	4	1000	13.8	しわ	
				19.2	有	41.0
				4.1	有	(0.72)
		8	1000	200.0	しわ	
				200.0	無	52.6
				200.0	無	(0.92)
	20	4	1000	18.1	しわ	
				6.9	有	48.0
				9.0	有	(0.84)
		8	1000	200.0	無	
				200.0	無	53.4
				200.0	無	(0.93)
G	100	4	1000	3.2	有	
				7.9	有	42.5
				5.0	有	(0.75)
		8	1000	200.0	しわ	
				200.0	無	51.3
				200.0	しわ	(0.90)
	5	4	1000	93.8	有	
				104.2	有	46.2
				71.7	有	(0.81)
		8	1000	200.0	無	
				200.0	無	53.6
				200.0	無	(0.94)
G	20	4	1000	88.3	有	
				69.1	有	47.8
				137.4	しわ	(0.84)
		8	1000	200.0	無	
				200.0	無	52.4
				200.0	無	(0.92)
	100	4	1000	32.6	有	
				49.2	有	44.7
				81.3	有	(0.78)
		8	1000	200.0	無	
				200.0	無	52.1
				200.0	無	(0.91)

注) 鉄筋径は、すべてD19である。