

V-162 電炉鉄筋棒鋼の疲労特性に関する研究

日本大学正会員河合紘茲

1. はじめに

道路橋、鉄道橋、海洋構造物等、大きい荷重の繰り返し作用を受ける構造物の設計においては、耐疲労性に対する検討が必要である。鉄筋コンクリート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ことから、従来土木学会等においても、許容応力度設計法については、疲労強度から定まる鉄筋の許容引張応力度を示している。また、限界状態設計法については、鉄筋の疲労強度特性値の算定式を示している。しかし、これらは主として、高炉枝の試験結果を基として定められており、電炉枝の疲労特性を明らかにすることが望まれてきた。異形鉄筋の疲労特性に及ぼす要因として、鉄筋の直径および表面形状、試験時の応力振幅および最小応力等が認められている。従って、本実験においては、表面形状が比較的相違する3種の電炉鉄筋を選定し、疲労強度から定まる電炉鉄筋の許容引張応力度、疲労強度算定式を提示すると共に、曲げ応力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、普通鋼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方より貴重なるご意見、ご指導をいただきましたことを付記し、厚く感謝の意を表します。

2. 試料鉄筋

試料鉄筋は、道路橋床版の主鉄筋を想定してSD35、D19を用いることとし、鉄筋の表面形状として、ふしの間隔、ふし側面の傾斜角およびふし付根の円弧の曲率半径等が比較的相違するA、BおよびC社の市販電炉鉄筋である。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 銘柄	鉄筋 呼び名	機械的性質			表面形状			
		降伏点 σ_y (kg/mm^2)	引張強度 σ_u (kg/mm^2)	伸び δ (%)	ふし間隔 ℓ (mm)	ふし高さ h (mm)	半径 r (mm)	傾斜角 θ (度)
A	D 19	38	56	26	13.3	1.24	2.8	29.4
B	D 19	38	56	24	10.3	1.21	2.6	29.1
C	D 19	38	57	25	12.8	1.30	3.6	24.3

3. 試験方法

(1) 試験鉄筋の端部補強方法

異形鉄筋の引張疲労試験におけるつかみ部補強方法は、従来バビットメタル補強や熱処理補強等が一般的である。しかし、これらの補強方法は、施工性、経済性、試験の信頼性に対して十分とはいえない。そこで、つかみ部補強方法の改善策として、第39回土木学会全国大会で提案した、鉄筋にアルミパイプを挿入し、鉄筋とアルミパイプの隙間にエポキシ系接着剤を充填した補強方法と、従来の補強方法との比較検討を行った。その結果、アルミパイプとエポキシ系接着剤による補強方法を、本試験では採用した。

(2) 載荷方法

載荷方法は、疲労試験機の用量を考慮して、下限応力を $1.3 \text{ kg}/\text{mm}^2$ と一定とした。上限応力は、 $16 \text{ kg}/\text{mm}^2$ から試験状況に応じて $2.0 \text{ kg}/\text{mm}^2$ レンジで随時上昇させ、最大上限応力を $34 \text{ kg}/\text{mm}^2$ とした。載荷速度は、 0.5 Hz (毎分約500回)として行った。

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(補強部分のアルミパイプ端部より鉄筋径の1倍離れた位置)で破断した試験片を試験値として取り上げて整理したものである。図1において、A、BおよびC社の200万回平均疲労強度は、約 $25 \text{ kg}/\text{mm}^2$ であった。1000万回疲労強度は、本実験の結果、ならびに得られた関連資料の範囲では未だ資料数が十分でないが、この

結果から推定すると約23.5%となり、200万回疲労強度の約95%に低下している。次に、S-N線図式は、従来から予想されていたように、疲労回数0~200万回と200万~1000万回では、S-N曲線が200万回付近で折れる傾向が認められた。そのS-N線図式は、次式で与えられる。

$200 \times 10^4 \geq 0$ 回までは

$$\log \sigma_0 = 3.95 - 0.086 \log N$$

$200 \times 10^4 \leq 1000 \times 10^4$ 回までは

$$\log \sigma_0 = 3.71 - 0.047 \log N$$

現行の土木学会コンクリート標準示方書では、疲労強度より定まる許容引張応力度は、供試鉄筋から得られる 200×10^4 回疲労強度における疲労限度線図を基本に定めている。本実験における疲労限度線図を図2に示す。図2において、完全面振り疲労限度は、約1/2~1/3%と推定できる。

次に、許容応力度設計法から限界状態設計法へ移行する気運の中で、限界状態設計法の場合、疲労耐力力による疲労強度特性値によって定まる鉄筋の強度特性値の算定式を示している。従って、異形鉄筋の疲労強度特性値と定量的に把握しておくことは、意義が深い。土木学会コンクリート構造の限界状態設計指針案では、応力振幅に及ぼす最小応力の影響を考慮した疲労強度の特性値の算定式が規定されている。本実験では、指針案に規定されている $\log \sigma_0 = a - K \log N$ 式、および修正Goodmanの直線が成立すると仮定した式 $\sigma_0 = (\sigma_{\max} - \sigma_{\min}) / (1 - (\sigma_{\min} / f_{su}))$ 、ここに $\sigma_{\max}$:作用最大応力度、 $\sigma_{\min}$:作用最小応力度、 f_{su} :鉄筋の引張強度、に基づき電炉鉄筋異形棒鋼D19に対する a 、および K の値を求めると表2となる。

5. 曲げ戻し試験片による疲労特性

曲げ戻し試験は、万力に鉄筋を固定し、鉄筋とは同内径の鉄パイプを押入して、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倍とした。曲げ戻し試験時の試験鉄筋の温度条件、およびひずみ時刻によって、曲げ戻し特性が相違することが予測される。このことから温度条件を5℃、および20℃、100℃で1時間保持（ひずみ時刻約90日に相当）の3条件とした。曲げ戻し試験片による疲労特性を表3に示す。表3には疲労特性の他、各条件下における静的強度、および目視による鉄筋表面の傷の有無も示してある。表3において、温度条件およびひずみ時刻による疲労強度特性は、顕著に表われなかったが、鉄筋の内側曲げ半径による差異が認められた。すなわち、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端に低下した。これに対して、内側曲げ半径8rの場合、静的強度、疲労強度の何れも母材試験による強度の約90%であった。

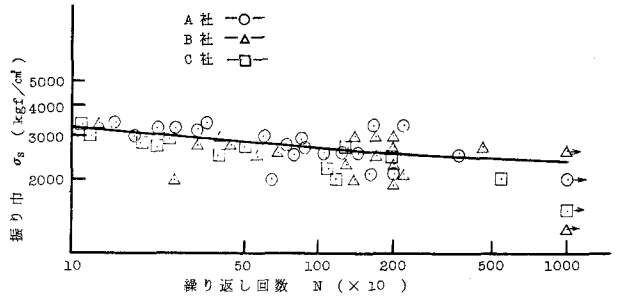


図1 電炉鉄筋棒鋼SD35、D19によるS-N線図

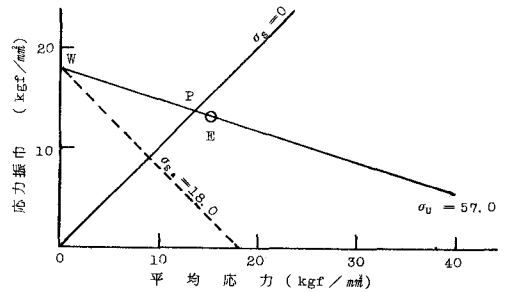


図2 疲労限度線図

表2 電炉鉄の a 、 K 値

	a	K
$N \leq 2 \times 10^6$	3.95	0.086
$N > 2 \times 10^6$	3.70	0.047

表3 曲げ戻し試験片による疲労特性

銘柄	温度 t (°C)	内側曲げ半径 (r)	ふり巾 σ_s (kgf/cm ²)	繰り返し回数 N ($\times 10^4$)	鉄筋表面の傷の有無	引張強度 σ_u (kgf/cm ²)
C	5	4	1000	13.8	しわ	
				19.2	有	41.0
				4.1	有	(0.72)
		8	1000	200	しわ	
				200	無	52.6
				200	無	(0.92)
C	20	4	1000	18.1	しわ	
				6.9	有	48.0
				9.0	有	(0.84)
		8	1000	200	無	
				200	無	53.4
				200	無	(0.93)
C	100	4	1000	3.2	有	
				7.9	有	42.5
				5.0	有	(0.75)
		8	1000	200	しわ	
				200	無	51.3
				200	しわ	(0.90)

注) 表中の()内の数値は、母材引張強度の比