

異形鉄筋の疲労強度算定式

PROPOSED DESIGN EQUATION FOR FATIGUE STRENGTH OF DEFORMED BARS

二羽淳一郎*・前田 詔一**・岡村 甫***

By Junichiro NIWA, Shoichi MAEDA and Hajime OKAMURA

In this paper, the effect of several important factors affecting the fatigue characteristics of deformed bars, such as, bar diameter, existence of an arc on the root of lug or not, intersectional angle between the lug direction and the longitudinal direction of bar, and gas pressure welding joint, is estimated quantitatively. Based on this estimation, fatigue strength equation can be presented. This equation predicts measured fatigue strength reasonably accurately. Furthermore considering of application for design, design equation for fatigue strength is proposed.

1. はじめに

コンクリート構造物の設計法が限界状態設計法へ移行する気運の中で、道路橋床版、鉄道橋、海洋構造物など荷重の繰り返し作用を受ける構造物および構造部材の設計において、疲労限界状態の検討がクローズアップされている。この疲労限界状態に対する検討において必要となる項目に、構造部材の疲労耐力の算定がある。この疲労耐力は、通常は使用される異形鉄筋の疲労特性により定まるものと考えられるので、異形鉄筋の疲労特性を定量的に把握しておくことが必要となる。

これまでの研究により、異形鉄筋の疲労特性に影響を及ぼす因子としては、作用する応力振幅、最小応力、鉄筋の径、表面形状、圧接等による熱影響、および鉄筋の加工状態等が挙げられている。これらの研究の蓄積に基づき、設計面においても疲労強度設計式が提案されており、土木学会の「コンクリート構造物の限界状態設計法指針(案)」¹⁾には、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。

この特性値の算定式(以後指針式と称する)は、多くの疲労試験における作用応力振幅を、修正 Goodman 線図を用いて完全片振り時の疲労強度に換算し、これと繰り返し回数との関係を両対数グラフ上で直線に回帰させ、収集したデータより $S-N$ 直線の勾配を決定し、この勾配を変えずにデータを安全側に包含する位置まで $S-N$ 直線を移動させたものである。しかし、この指針式には、鉄筋径や鉄筋の表面形状等の影響は考慮されていない。現在、道路橋床版では主として細・中径の鉄筋が、鉄道橋、海洋構造物では中・太径の鉄筋が一般に用いられている。したがって、従来より指摘されている鉄筋径による疲労強度の差異を考慮しないのは、細・中径の異形鉄筋の疲労強度を太径のものに比較して相対的に低く制限することになり不合理であると考えられる。また、この異形鉄筋の径の影響以外にも、鉄筋の疲労特性にとって影響の大きいフシの根元の円弧の有無、フシと鉄筋軸とのなす角度等の影響を考慮した疲労強度算定式は、これからの構造物の設計において基本式として是非必要となるものであり、その確立が望まれる。

本研究は、異形鉄筋の疲労特性において特に問題となることが指摘されている異形鉄筋の径の影響、フシ根元の円弧の有無、フシと鉄筋軸とのなす角度、および圧接による熱影響の有無について、収集したデータをもとに

* 正会員 工博 東京大学講師 工学部土木工学科
(〒113 文京区本郷 7-3-1)

** 西松建設(株)土木設計部

*** 正会員 工博 東京大学教授 工学部土木工学科

検討を行い、それぞれの影響度を定量的に評価した疲労強度算定式を提示するものである。さらに、その算定式に基づいて簡易に疲労強度の特性値を算定できる式を提案するものである。

2. 収集したデータの概要

今回収集したデータは製鉄メーカー各社がもっているデータ、およびわが国で公表されているデータであり、計 280 個である^{2)~14)}。

データは、いずれの疲労試験においても、最小応力をそれぞれ一定として、等応力振幅で片振り载荷したものであり、作用応力振幅は 12.0~33.9 kgf/mm² (118~332 MPa)、作用最小応力は 0.1~8.9 kgf/mm² (10~87 MPa) である。また、試験方法には、鉄筋のみを素材として取り出して行ったものと、コンクリート中に鉄筋を埋め込んで供試体中の主鉄筋として試験を行ったものがある。なお、データによっては 200 万回程度の繰り返しによっても鉄筋が破断しない場合があり、この場合は応力振幅を増加させて実験を継続しているが、一部実験的に破断させることができなかった非破壊のデータも含んでいる。

試験に用いられた異形鉄筋は、ほとんどが熱間圧延異形棒鋼である。鉄筋径は公称径で 10~51 mm、降伏強度は 30.0~61.0 kgf/mm² (294~598 MPa)、引張強度は 49.3~84.0 kgf/mm² (483~823 MPa) と変化している。また、鉄筋の表面形状についてみると、フシの根元に円弧のあるものと円弧のないものがあり、フシと鉄筋軸とのなす角度は 45~90 度と変化している。これらはすべて JIS G 3112 「鉄筋コンクリート用棒鋼」の規定の範囲を網羅している。さらに、直鉄筋以外に圧接鉄筋のデータも含んでいる。

3. データに基づく指針式の評価

疲労強度の算定式を考える前に、まず現在提案されている指針式によって疲労試験データを整理してみた。指針式は式 (1) で示される。

$$\log \sigma_0 = a - k \log N \dots\dots\dots (1)$$

ここに、 σ_0 ：完全片振り時の応力振幅 (MPa)

N ：繰り返し回数

a ：両対数表示の $S-N$ 直線の切片であり、直鉄筋に対しては $N < 2 \times 10^6$ のとき 3.29、 $N \geq 2 \times 10^6$ のとき 2.99 とし、圧接鉄筋に対しては $N < 2 \times 10^6$ のとき 3.19、 $N \geq 2 \times 10^6$ のとき 2.89 とする。

k ：両対数表示の $S-N$ 直線の勾配に関する係数で、 $N < 2 \times 10^6$ のとき 0.18、 $N \geq 2 \times 10^6$ のとき 0.13

表一 疲労強度の実験値と指針式による計算値との比較 (直鉄筋)

鉄筋径 (mm)	実験値/指針式による計算値			
	円弧のあるもの		円弧のないもの	
$D \leq 19$	データ数 平均値 変動係数	13 1.75 10.8 %	データ数 平均値 変動係数	48 1.52 9.8 %
$19 < D \leq 29$	データ数 平均値 変動係数	26 1.61 12.7 %	データ数 平均値 変動係数	72 1.38 10.9 %
$29 < D \leq 38$	データ数 平均値 変動係数	7 1.48 3.4 %	データ数 平均値 変動係数	9 1.43 7.1 %
$38 < D$	データ数 平均値 変動係数	36 1.39 10.9 %	データ数 平均値 変動係数	2 1.20 8.4 %
	総データ数	82個	総データ数	131

一方、修正 Goodman の関係が成立すると仮定すると、作用最大応力、作用最小応力、および引張強度より、換算された完全片振り時の応力振幅が式 (2) で計算される。

$$\sigma_0 = \frac{\sigma_{\max} - \sigma_{\min}}{1 - (\sigma_{\min} / f_{su})} \dots\dots\dots (2)$$

ここに、 σ_{\max} ：作用最大応力

σ_{\min} ：作用最小応力

f_{su} ：鉄筋の引張強度

式 (2) によって換算された完全片振り時の振幅の実験値と、式 (1) による計算値との比をとって鉄筋径の相違およびフシの根元の円弧の有無に着目して、それぞれ平均値と変動係数を示したのが表一である。指針式は疲労強度の特性値を与える式であるので、実験値と計算値との比はおおむね 1.2~1.7 程度の範囲にあるが、表一によれば鉄筋径の増加とともにフシの根元の円弧の有無に関係なく疲労強度が低下していくこと、およびフシの根元に円弧のない場合は、ある場合に比較して疲労強度が低下していることが明らかに認められる。つまり、指針式はあらゆる種類のデータを一つの $S-N$ 直線で評価しようとしているために、予測されるように、鉄筋径の変化やフシの根元の円弧の有無によってその安全度が異なっているのである。

4. S-N 直線の勾配の決定

指針式はすべてのデータに対して一つの $S-N$ 直線を用いているために、3. で示されたような問題点を含んでいた。これを避けるため、本研究では各要因について個々に検討していくことにした。しかし、この場合も、繰り返し回数の増加に伴う鉄筋の疲労強度の低下には鉄筋の材質のみが関係し、その影響は固有のものであると考え、データを両対数で表示した $S-N$ 直線に回帰させて勾配 k を求めることとした。

その決定方法は以下のとおりである。すなわち、まず、各実験者ごとに鉄筋径、フシの根元の円弧の有無、フシと鉄筋軸のなす角度の3つのパラメーターが同一のものを抽出し、この同一グループに対してはS-N直線はただ一つに定まると仮定して最適のk値を求めた。

なお、データを回帰させる関係上、同一グループ内に含まれるデータ数が5個未満のものは除外してある。このようにして選ばれたグループは今回収集したデータ内で11グループあった。

この各グループのk値は0.03~0.18とかなりばらついていて、フシの根元に円弧のあるグループのk値を平均すると0.13、ないグループのk値を平均すると0.11であった。また、フシと鉄筋軸とのなす角度が同一のグループごとにk値を平均すると0.03~0.13となった。なお、この場合たとえばフシと鉄筋軸とのなす角度が大きくなるほどk値が増加するというような傾向はみられなかった。また、鉄筋径が同一のグループごとにk値を平均すると0.08~0.18となった。この場合も、鉄筋径の増加とともにk値が増加していくというような傾向は認められなかった。

このようにk値がかなりばらつくのは、k値とあるパラメーターとの関係を見る場合に、グループとしてのデータ数が1~4個と少ないため、この中に他の2つのパラメーターが均等に含まれておらず、したがってこれらの影響が平均化されていないためと考えられる。

したがって、k値と各パラメーターとの関係については、たとえば鉄筋径の増加に伴ってk値が増加するというような定性的な傾向を指摘するには不十分と判断し、本解析においては、おのおののグループごとに得られたk値の平均値を全体の解析に用いるk値とし、鉄筋径、フシと鉄筋軸とのなす角度、およびフシの根元の円弧の有無の影響を別途考慮していくものとした。

なお、このS-N線図の作成にあたっては、各データで与えられている応力振幅を、修正 Goodman の関係が適用できるとして、完全片振り時の応力振幅に換算してある。

鉄筋の材質は圧接により影響を受けると考えられるので、今回収集したデータのうち、圧接鉄筋については直鉄筋とは別にk値を求めた。その結果、圧接されていない直鉄筋についてはk=0.12、圧接された鉄筋についてはk=0.21が得られた。

5. 鉄筋径の影響

鉄筋径の影響のみを考察する目的で、まず第一にフシの根元に円弧のある鉄筋に対して検討を行った。これは、フシの根元に円弧のない鉄筋の場合には、鉄筋径の影響に加えて、フシ根元における応力集中の影響を受けるた

め、両者の分離が難しいと考えたためである。

フシの根元に円弧のあるデータに対しては、4. で述べたように両対数表示のS-N直線の平均勾配をk=0.12としてデータの整理を行った。このk値を用い、式(1)を変形した式(3)でaを計算して、鉄筋径に対する関係を調べた。

$$a = \log \sigma_0 + 0.12 \log N \dots\dots\dots (3)$$

a値は疲労強度の増加とともに増加していく数値であるが、計算の結果、鉄筋径の増加に伴って確実にa値が低下していく状態が確認できた。この結果は既往の研究においても指摘されてきたものである³⁾。この現象についてはいくつかの原因が考えられている。すなわち、鉄筋の破断の原因となる鉄筋内部に含まれる潜在的な欠陥の数が鉄筋径の増加に伴って増加すること、鉄筋の付着性状を高めるためにつけられているフシの間隔が鉄筋径の増加に伴って相対的に減少し、かつフシ高さが逆増加していくことなどである。また、今回用いたデータに含まれているはりの主鉄筋については鉄筋断面内に応力勾配が生じているため、鉄筋縁では計算上の応力より大きい応力が作用していることになり、これも原因の一つと考えられる。

このフシの間隔と鉄筋径との比やフシ高さが鉄筋の疲労強度に及ぼす影響については、山崎らによる光弾性実験およびFEM弾性解析¹⁵⁾によってかなり明らかにされている。すなわち、フシ間隔と鉄筋径との比が小さくなるほど、およびフシ高さが増加するほど、疲労強度は減少していくのである。そのため、疲労強度に影響を与えないためのフシ間隔と鉄筋径との比が推奨されている。

表-2には現在市販されている鉄筋の規格の一例を示した。この場合、フシの間隔と鉄筋径の比は鉄筋径によらずおおむね60%程度であるが、鉄筋径の増加とともに減少していくものもみられる。また、フシの高さも鉄筋径とともに増加している。

異形鉄筋の疲労強度には、鉄筋径が増大することによる影響以外に、このようなフシ間隔と鉄筋径との比の影響、フシ高さの影響等が存在し、鉄筋径が増加することによって相当疲労強度が低下していくものと思われる。

表-2 異形鉄筋のフシ間隔および高さ

鉄筋径 (mm)	フシ間隔/公称径			フシの高さ (mm)		
	A社	B社	C社	A社	B社	C社
D 25	0.54	—	0.67	1.8	—	2.1
D 29	0.51	0.66	0.65	2.0	1.8	2.3
D 32	0.51	0.62	0.65	2.2	2.0	2.6
D 35	0.49	0.63	0.65	2.4	2.3	2.8
D 38	0.48	0.65	0.67	2.7	2.4	3.0
D 41	0.46	0.68	0.67	2.9	3.5	3.5

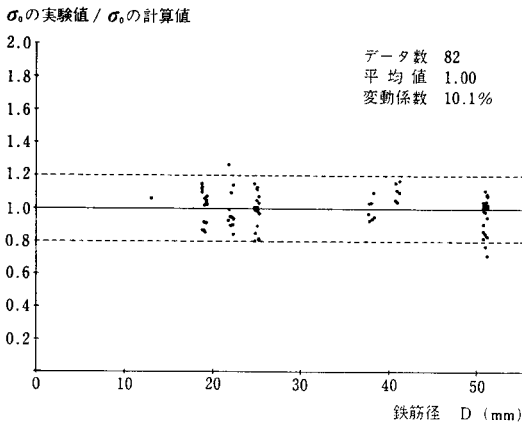


図-1 フシの根元に円弧のある鉄筋の疲労振幅強度の推定
($a=3.23-0.0031 D$)

そこで、データに基づいて鉄筋径の影響を式(4)のように評価して、式(5)に示す疲労強度算定式を得た。

$$a=3.23-0.0031 D \dots\dots\dots(4)$$

$$\log \sigma_0=3.23-0.0031 D-0.12 \log N \dots\dots\dots(5)$$

ここに、 σ_0 ：完全片振り時の疲労振幅強度 (MPa)

D ：鉄筋の公称径 (mm)

なお、実験データによれば、 $N=2 \times 10^6$ 程度を境に、明らかに疲労強度の低下の程度が減少している。この領域についてはデータ数も少なく正確に疲労強度を算定することは困難であるが、ここでは一応 $S-N$ 直線の勾配を $1/2$ に低下させ、 $N=2 \times 10^6$ で式(5)とすりつけることとして式(6)で疲労強度を推定した。

$N > 2 \times 10^6$ に対して

$$\log \sigma_0=3.23-0.0031 D-0.06 \log (2 \times 10^6) -0.06 \log N \dots\dots\dots(6)$$

この式(5)、式(6)によれば、図-1に示すように82個のデータに対して平均値1.00、変動係数10.1%で、完全片振り時に換算した疲労振幅強度を推定できる。なお、これらのデータの中で、実験中に作用応力振幅を変化させたものに対してはMiner則が適用できると仮定して等価な繰返し回数に換算してある。

6. フシの根元の円弧の有無の影響

フシの根元の円弧の有無も異形鉄筋の疲労強度に大きな影響を及ぼすものの一つであるといわれている。すなわち、フシの根元に円弧がない場合には、フシの根元に生じる応力集中のために疲労強度が著しく低下することが指摘されている³⁾。また、応力集中の影響はフシと鉄筋軸とのなす角度が直角に近いとさらに増大されるが、逆にフシと鉄筋軸とのなす角度が小さい場合には、たとえフシの根元に円弧が取り付けられていなくとも、鉄筋軸方向の断面の変化率が小さくなるために応力集中が緩

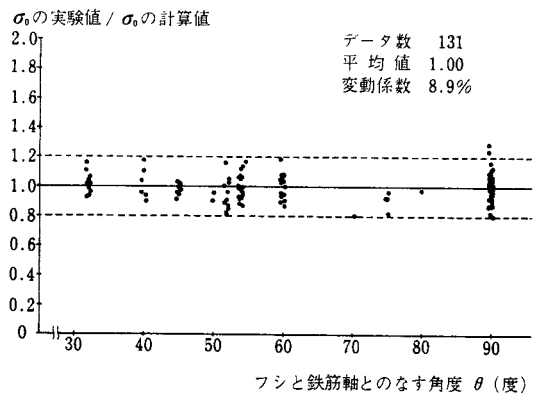


図-2 フシの根元に円弧のない鉄筋の疲労振幅強度の推定
($b=1-0.0002 \theta$)

和される。したがって、フシの根元の円弧の有無の影響を定量化するに際しては、フシと鉄筋軸とのなす角度も同時に考える必要がある。

このことは、実験データからも裏付けられる。フシの根元に円弧がない鉄筋に対して、実験により得られる完全片振り換算時の疲労振幅強度と、式(5)または式(6)による計算値との比を求め、フシと鉄筋軸とのなす角度が実験値に及ぼす影響を調べた。その結果、フシの根元に円弧のない場合は、疲労強度の実験値が全体的に円弧のある場合よりも低下していること、およびフシと鉄筋軸とのなす角度が直角に近づくにつれて実験値がさらに低下していく傾向が明確に認められた。

これは従来より指摘されてきたことと一致しており、したがって、この結果から判断して、フシの根元に円弧のない場合はフシと鉄筋軸とのなす角度をパラメーターに選ぶことにより実験データをほどよく評価することができると予測される。

そこで、フシの根元に円弧がない場合には、フシと鉄筋軸とのなす角度が増加して直角に近づくほど疲労強度を低減させることとし、式(7)の形で整理することにした。そして、フシと鉄筋軸とのなす角度 θ の関数である b 値を、実験データに基づいて式(8)のように定めた。

$N \leq 2 \times 10^6$ に対して

$$\log \sigma_0=b(3.23-0.0031 D)-0.12 \log N \dots\dots\dots(7)$$

$$b=1-0.0002 \theta \dots\dots\dots(8)$$

ここに、 θ ：フシと鉄筋軸とのなす角度 (度)

図-2に、フシの根元に円弧がない鉄筋の疲労強度の実験値と式(7)による計算値との比を、フシと鉄筋軸とのなす角度に対して示した。ただし、この場合も、 $N > 2 \times 10^6$ に対しては円弧のある場合と同一な a 値、 k 値を用いている。図-2によれば式(7)により、131個のデータに対して疲労強度を平均値1.00、変動係数

8.9% でほどよく評価することができることが認められる。

7. 圧接された異形鉄筋の疲労強度

圧接された鉄筋は、鉄筋母材に比較して疲労強度が低下することが一般に認められている。これは従来より指摘されてきたとおり²⁾、圧接時の熱影響によって母材が潜在的なダメージを受けること、圧接による鉄筋径のふくらみ、およびフシ間隔の減少により形状的に応力集中度が増加することなどによると考えられる。しかし、実験による疲労破壊状況を見ると、熱影響部近傍のフシのところから亀裂が生じていることが認められるので、この場合も母材と同じように鉄筋径の影響やフシの根元の円弧の有無による影響が存在すると考えられる。

指針式においては、圧接された鉄筋の k 値は母材と同じであるとしているが、鉄筋の材質が圧接による熱影響を受けていることを考えれば、異なる k 値をとると考えるのが妥当である。表-3 は直鉄筋の場合と同様に、圧接鉄筋のデータを指針式による計算値と比較したものであるが、この場合もやはり鉄筋径が増加したり、フシの根元に円弧がなくなったりすることにより安全度が低下していくことが認められる。

圧接鉄筋に対して直鉄筋の場合と同様な手法を用いると、4. で述べたように k 値は 0.21 となる。そこで、圧接鉄筋のうちフシの根元に円弧のあるものに対して、直鉄筋の場合と同様に、鉄筋径の増加に伴う疲労強度の低下を考慮し、実験データに基づいて式 (9) で a 値を評価した。

$$a = 3.66 - 0.0031 D \dots \dots \dots (9)$$

図-3 はフシの根元に円弧のある圧接鉄筋に対して、実験から得られた疲労強度と式 (9) による a 値を用いた計算値との比を鉄筋径に対してプロットしたものであるが、この場合も 46 個の実験データを平均値 1.00、変動係数 10.0% で、直鉄筋の場合と同様に精度よく推定できることが認められる。

今回収集した圧接鉄筋のデータのうち、フシの根元に円弧がないものは 21 個と少なかったため、圧接鉄筋に対するフシの根元の円弧の影響については詳細には検討できなかった。ただし、フシの根元に円弧がないデータに対して、直鉄筋と同一の式 (8) による b 値を用いて疲労強度を算定しても、図-4 に示すように、平均値 0.99、変動係数 12.4% となり、甚だしくは算定精度が低下しなかった。したがって、フシの根元の円弧の有無は、圧接鉄筋に対しても直鉄筋に対する場合と同程度の影響をもつことが予測される。

なお、現在開発が進んでいる自動ガス圧接の場合は、施工精度もよく、静的強度が確実に得られるため、疲労

表-3 疲労強度の実験値と指針式による計算値との比較 (圧接鉄筋)

鉄筋径 (mm)	実験値/指針式による計算値			
	円弧のあるもの		円弧のないもの	
D ≤ 29	データ数 1.65 変動係数 9.9 %	4 1.65 9.9 %	データ数 13 1.52 変動係数 13.1 %	13 1.52 13.1 %
29 < D ≤ 38	データ数 1.51 変動係数 11.4 %	34 1.51 11.4 %	データ数 8 1.38 変動係数 7.0 %	8 1.38 7.0 %
38 < D	データ数 1.46 変動係数 8.8 %	8 1.46 8.8 %	データ数 0	0
	総データ数 46		総データ数 21	

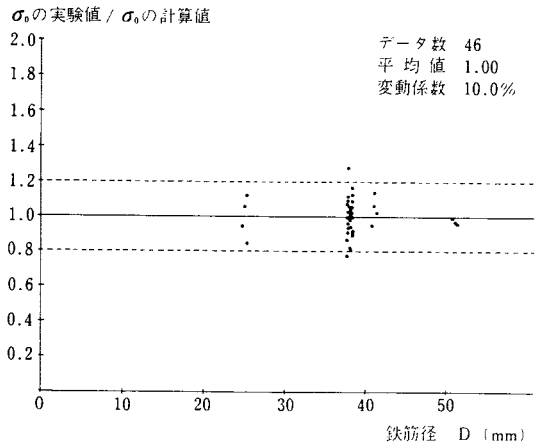


図-3 フシの根元に円弧のある圧接鉄筋の疲労振幅強度の推定 ($a = 3.66 - 0.0031 D$)

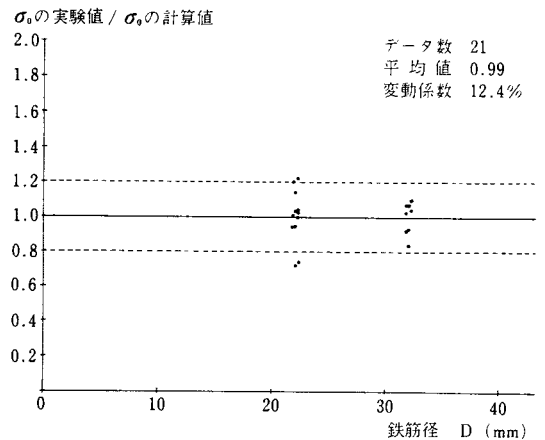


図-4 フシの根元に円弧のない圧接鉄筋の疲労振幅強度の推定 ($b = 1 - 0.0002 \theta$)

に対して悪影響を及ぼす圧接時の鉄筋のふくらみを低下させることができるとされている¹⁶⁾。したがって、自動ガス圧接によりふくらみを小さくした場合には疲労強度

の上昇を考慮することが合理的である。ただし、今回使用したデータ中には自動ガス圧接以外のデータが多かったため、このように一括して整理を行った。

8. 疲労強度算定式と特性値算定式

異形鉄筋の疲労強度に対して、修正 Goodman 線図と S-N 直線をつなげた特性値の算定式はすでに提案されているが、今回さらに異形鉄筋の疲労特性に大きな影響を及ぼす異形鉄筋の径、およびフシの根元の円弧の有無とフシと鉄筋軸とのなす角度の各影響を取り入れて、精度のよい疲労強度算定式を示すことができた。また、圧接鉄筋に対しても、同様の手法で疲労強度を推定することが可能であることを示した。

これらの各式は疲労強度の平均値を予測するものであり、変動係数はおおよそ 10% 程度である。したがって、これらの算定式とそのばらつきを考慮すれば信頼度 95% を仮定したときの疲労強度の特性値を得ることができる。

直鉄筋の場合の疲労強度算定式を、実際に使用する便宜を考慮して次のように書き直す。すなわち、作用応力振幅、最小応力、引張強度を含む形にし、さらにフシの根元に円弧がない場合に対しては、式(8)の b 値の関数形を参考にして、フシと鉄筋軸とのなす角度が 60 度以上と 60 度未満で区分する。これにより、疲労強度算定式として式(10)を得る。

$$f_{sr} = (1 - \sigma_{\min} / f_{su}) \frac{10^{\alpha}}{N^k} \dots \dots \dots (10)$$

ここに、 f_{sr} ：疲労振幅強度 (MPa)

$k = 0.12$ ただし $N > 2 \times 10^6$ に対しては 0.06

$\alpha = k_0 (3.17 - 0.003 D)$

ただし $N > 2 \times 10^6$ に対しては

$k_0 [3.17 - 0.003 D - 0.06 \log (2 \times 10^6)]$

D ：鉄筋の公称径 (mm)

k_0 ：フシの根元に円弧のない場合で、フシと鉄筋軸とのなす角度が 60 度以上のものは 1.00

：フシの根元に円弧のない場合で、フシと鉄筋軸とのなす角度が 60 度未満のものは 1.01

：フシの根元に円弧のあるものは 1.02

この k_0 はフシの根元に円弧のない場合で、フシと鉄筋軸とのなす角度が 60 度以上の疲労に対して最も厳しい条件となる場合を 1.00 として整理したものである。

式(10)は図-5 に示すように、213 個のデータに対して疲労振幅強度の実験値と計算値の比を平均値 1.00、変動係数 9.6% で評価することができる。したがって、安全係数を 1.2 にとれば信頼度 95% 以上で式(11)で

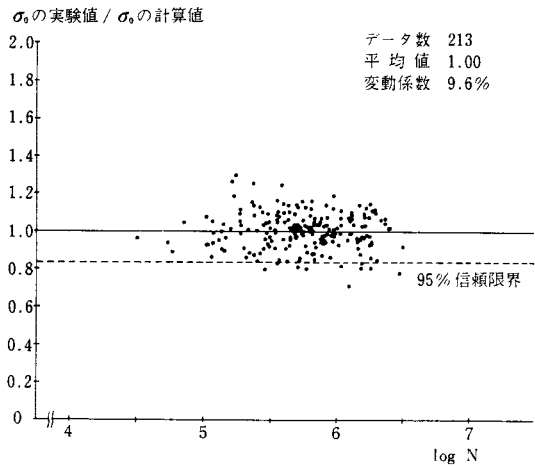


図-5 式(10)による疲労振幅強度の推定

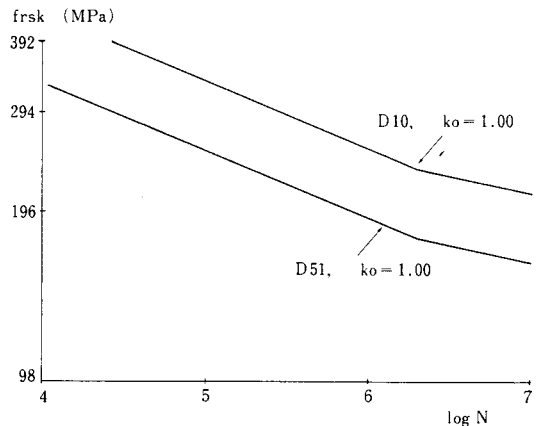


図-6 疲労振幅強度の特性値

疲労振幅強度の特性値 f_{srk} を計算することができる。

$$f_{srk} = (1 - \sigma_{\min} / f_{su}) \frac{10^{\alpha}}{N^k} / 1.2 \dots \dots \dots (11)$$

実際の設計においては、設計者は鉄筋の種類とその径を決定するのが通常であり、フシの根元の円弧の有無やフシと鉄筋軸とのなす角度までは指示できないものと思われる。このことから、一般的な鉄筋の疲労強度式としては、パラメーターとして鉄筋径のみを含むものが必要となる。この場合、フシの根元に円弧がなく、かつフシと鉄筋軸とのなす角度が直角であるとして、 $k_0 = 1.00$ を用い、疲労に対して最も厳しい条件を用いれば安全側の値を与えることになる。図-6 に D10 と D51 の場合について $k_0 = 1.00$ とした場合の疲労強度の特性値を示した。

ただし、疲労条件が著しく厳しい場合には、耐疲労性のよい鉄筋を用いることとし、フシの根元の円弧の有無やフシと鉄筋軸とのなす角度を考慮して k_0 値を定め

ばよいと思われる。

9. ま と め

異形鉄筋は普通丸鋼に比べて一般に疲労特性が劣るが、本研究では異形鉄筋の疲労特性に影響を及ぼす要因として、鉄筋径、フシの根元の円弧の有無、フシと鉄筋軸とのなす角度、および圧接による熱影響の有無を取り上げて、その影響の定量化を行った。

この各要因の影響を定量化することによって、これらの因子をパラメーターとして含む精度のよい疲労強度算定式を示すことができた。さらには、設計への適用を考慮して疲労強度の特性値を算定する式を合わせて提示した。

謝 辞：本研究を行うにあたり、貴重なデータを使用させていただきました関係各位に厚く御礼申し上げます。

参 考 文 献

- 1) 土木学会：コンクリート構造の限界状態設計法指針(案)，コンクリートライブラリー，第52号，昭和58年11月。
- 2) 富田・渡辺：異形丸鋼の疲れ強さ，尼崎製鉄技報，第6号，昭和37年10月。
- 3) 国分・岡村：高強度異形鉄筋を用いた鉄筋コンクリートばりの疲労に関する基礎研究，土木学会論文集，No.122，昭和40年10月。
- 4) 国分・岡村：太径鉄筋の使用に関する研究，土木学会論文報告集，No.202，昭和47年6月。
- 5) 中山：各種異形鉄筋を用いたT形ばりの疲労試験，土木学会論文集，No.122，昭和40年10月。
- 6) 国分・多田・立花・松本：各種の高張力異形鉄筋を用いた鉄筋コンクリート大型ばりの疲労に関する研究，土木学会論文集，No.122，昭和40年10月。
- 7) 山崎・石渡・佐藤：太径鉄筋D51の単体およびRCばりにおける疲労特性，土木学会論文報告集，No.278，昭和53年10月。
- 8) 河野・富田・小松・渡辺・小寺：異形鉄筋の疲れ強度に関する研究，コンクリートライブラリー，第2号，昭和37年12月。
- 9) 新日本製鉄(株)，(株)神戸製鋼所：DACON・D51について，コンクリートライブラリー，第43号，昭和52年8月。
- 10) (株)神戸製鋼所：DACON・D32SD50材の疲れ試験報告書，昭和50年9月。
- 11) (株)神戸製鋼所：DACON・D51の静的及び動的強度，昭和46年10月。
- 12) 新日本製鉄(株)：自動ガス圧接工法による異形鉄筋継手の疲労強度向上に関する研究，土木学会第2回鉄筋継手工法小委員会提出資料，昭和52年12月。
- 13) 横道・藤田・西堀：異形鉄筋を用いたRC桁の曲げ疲労試験，コンクリートライブラリー，第14号，昭和40年12月。
- 14) 立花・江口：各種の高強度異形鉄筋の母材および圧接継手の疲労試験，鉄道技術研究所速報，No.67-198，昭和42年9月。
- 15) 山崎・佐藤：疲労強度に及ぼす異形鉄筋の径ならびに形状に関する研究，コンクリートライブラリー，第43号，昭和52年8月。
- 16) (社)日本圧接協会：鉄筋の自動ガス圧接工法の現状と今後の展望，土木施工，Vol.23，No.6，昭和57年5月。
(1984.3.28・受付)