技術資料

高張力鋼溶接継手の疲れ許容応力の一検討 (その2)*

森脇良一**, 出納真平**, 村尾正昭**

On Allowable Stresses for Fatigue Strength in Welded Joints made of High Strength Steels (Part II)*

by Yoshikazu Moriwaki**, Shinpei Denoh**, and Masaaki Murao**

1. 緒 言

前報¹⁾では, 高張力鋼溶接構造物の疲れ設計基準を検討するために広範な文献調査をおこなって, 軟鋼から高張力鋼までの各種溶接継手の疲れ試験データを収集し, 統計整理をおこなって, 非破壊確率を考慮した疲れ強さを明らかにした. 本報では前報での結果をもとに, 軟鋼溶接構造物の汎用的な疲れ設計基準である日本鋼構造協会疲労設計指針²⁾ (ここでは JSSC 疲労設計指針と呼ぶ) を高張力鋼にまで拡張する方法について検討する.

2. 疲れ許容応力度の検討

2.1 データ数とデータのばらつき

前報では軟鋼から80キロ高張力鋼までの各種溶接継手の疲れ試験データについて統計整理をおこなったが, その際, 多くの研究者による疲れ試験結果を画一的に統計

図1 疲れ試験データのばらつきとデータ数との関係

*原稿受付 昭和56年3月9日 (第87回溶接疲労強度研究委員会にて発表)

**正 員 (株)神戸要鋼所構造研究所 Member, KOBE STEEL, LTD., Structural Engineering Laboratory

整理しているため, データ数が少ないと, データのばらつきが極端に大きく評価されたり, 小さく評価されたりする可能性がある. そこで, ここではまず始めに, データ数とデータのばらつきの関係について調べた. さて, 前報4.1節に述べたように疲れ試験データのばらつきの大きさは寿命とともに変化している, ここではばらつきの大きさを示す指標として, $N_f=2 \times 10^6$ 回における50%非破壊確率の疲れ強さ σ_c と95%非破壊確率の疲れ強さ σ_p の比 σ_c/σ_p を採り, データ数との関係を調べた. その結果を図1に示す. この図から, 鋼種・継手等級に関係なくデータ数の多い場合には σ_c/σ_p は一定の範囲内に入るが, データ数が200個より少ない場合には σ_c/σ_p のばらつきが大きくなることがわかる.

このことから, 各鋼種・継手等級について設計の基本とする基本 σ_r-N_r 線図を定めるに際して, 疲れ試験データが少なく, かつ, ばらつきが極端に大きい場合または小さい場合については, その統計整理結果は検討の対象から除外することにした.

2.2 疲れき裂発生寿命と破断寿命の比

JSSC 疲労設計指針では, 構造物の使用寿命中に疲れ

図2 高張力鋼におけるき裂発生寿命と破断寿命の比

表 1 継手等級ごとに求めた95%非破壊確率の σ_r-N_f 線図の傾斜と 2×10^6 回での疲れ強さ

継手等級	40 キロ 鋼		50 キロ 鋼		60 キロ 鋼		70 キロ 鋼		80 キロ 鋼	
	傾 斜 K	2×10^6 回強さ σ_p kg/mm ²	傾 斜 K	2×10^6 回強さ σ_p kg/mm ²	傾 斜 K	2×10^6 回強さ σ_p kg/mm ²	傾 斜 K	2×10^6 回強さ σ_p kg/mm ²	傾 斜 K	2×10^6 回強さ σ_p kg/mm ²
A	0.126	17.8	0.130	22.0	0.152	25.5	0.228	19.1	0.235	20.0
B			0.186*	18.4*	0.118	19.8				
C	0.192	11.1	0.195	12.6	0.228	12.3	0.204	15.4	0.223	15.2
D	0.191	9.9	0.232	11.6	0.285	9.3	0.241	11.3	0.282	9.7
E	0.267	6.8	0.278	6.7	0.279	7.5	0.736*	1.2*	0.276	8.4
F	0.370	5.2								
G	0.214	4.9	0.238	5.8	0.265	5.5	0.428*	2.4*	0.273	6.0

注 1 ブランクの欄は、データがないあるいは極端に少なく、統計整理しなかったことを示す。

注 2 *印は、データが比較的少なく、信頼度の低い結果を示す。

き裂が発生しないことを基本とし、疲れき裂が発生しない確率が95%の σ_r-N_c 線図を与えている。また、この σ_r-N_c 線図を求めるに際して、き裂発生寿命 N_c を測定したデータが少ないので、疲れき裂発生寿命 N_c と破断寿命 N_f の比 $N_c/N_f=0.5$ と仮定し、 N_f を N_c に換算している。

前報表4に示したように、高張力鋼の場合もき裂発生寿命 N_c を測定したデータは少なく、破断寿命 N_f から推定せざるを得ない。そこで、高張力鋼の場合の N_c/N_f について調査した。前報、表4に示したように、60キロ鋼および80キロ鋼の場合にはデータ数はそれほど多くないが、 N_c を測定しているデータがある。これらのデータから N_c/N_f を求め、各試験系列ごとに平均した値をプロットしたものが図2である。この図から、いずれの鋼種の場合も継手等級がBからEに向うにつれて N_c/N_f がわずかずつ小さくなる傾向があるがそれほど大きなものではなく、 N_c/N_f の平均値は60キロ鋼の場合で約0.6、80キロ鋼の場合で約0.5である。したがって、 N_c/N_f は鋼種によって大幅に変化をしないと考えてよいであろう。以上のことから、全ての鋼種について $N_c/N_f=0.5$ と仮定することにした。

2.3 基本 σ_r-N_c 線図

さて、表1は前報の継手等級ごとの統計整理結果を再

図 3 基本疲れ強さ

掲したものである。この表にみるように疲れ試験データを統計整理した結果は鋼種・継手等級の変化とともに全体的には一定の傾向を示すが、データによって凹凸があり、したがって、設計の基本とする“基本 σ_r-N_c 線図”にするためには、鋼種および継手等級による変化を全体的にバランスさせる必要がある。そこで、表1に示す統計整理結果をもとに、この点について検討した。なお、

表 2 基本 σ_r-N_c 線図の傾斜と基本疲れ強さ

等 級	40 キロ 鋼		50 キロ 鋼		60 キロ 鋼		70 キロ 鋼		80 キロ 鋼	
	傾 斜 K	基本疲れ強さ σ_f kg/mm ²	傾 斜 K	基本疲れ強さ σ_f kg/mm ²	傾 斜 K	基本疲れ強さ σ_f kg/mm ²	傾 斜 K	基本疲れ強さ σ_f kg/mm ²	傾 斜 K	基本疲れ強さ σ_f kg/mm ²
A	0.122	18.0	0.139	20.0	0.157	21.8	0.179	22.6	0.203	22.8
B	0.143	15.0	0.161	16.4	0.182	17.6	0.205	18.1	0.232	18.2
C	0.164	12.0	0.184	12.8	0.206	13.4	0.231	13.7	0.259	13.8
D	0.179	10.0	0.200	10.6	0.224	11.1	0.250	11.3	0.280	11.4
E	0.196	8.0	0.217	8.5	0.242	8.9	0.269	9.1	0.297	9.2
F	0.214	6.0	0.236	6.4	0.260	6.7	0.286	6.9	0.315	7.0
G	0.231	5.0	0.253	5.3	0.276	5.6	0.302	5.8	0.330	5.9

図4 基本 σ_r - N_e 線図の傾斜

表1には破断寿命 $N_f = 2 \times 10^6$ 回における疲れ強さが示されているが, 前節での検討から, これがき裂発生寿命 $N_f = 10^6$ 回における疲れ強さに等しいと考えた。

まず始めに, $N_e = 10^6$ 回での疲れ強さ, すなわち基本疲れ強さについて検討した。表1から $N_e = 10^6$ ($N_f = 2 \times 10^6$ 回)での疲れ強さを抜き出し, 継手等級をパラメータとして, 鋼種に対してプロットしたものが図3中の各丸印である。この結果から各継手等級の基本疲れ強さ σ_f を, 図中の各線で示すように変化するものとして定めた。なお, 40キ口鋼の基本疲れ強さは, JSSC 疲労設計指針のそれに一致させてある。以上のように定めた基本疲れ強さ σ_f の値を表2に示す。

次に σ_r - N_e 線図の傾斜について検討した。表1に示した統計整理結果から σ_r - N_e 線図の傾斜を抜き出し, 継手等級をパラメータにして, 鋼種に対してプロットしたものが図4である。この図から, 傾斜の値は定性的には継手等級がAからGに向うにしたがって, また, 鋼種が上るにしたがって大きくなる, すなわち傾斜がきつくなることがわかるが, データのばらつきが大きく, この図だけからでは傾斜の変化を決定することは困難であった。そこで, この図と, 前報図3にも一部を示した元データのプロット図を用いて, 元データをよく代表し, かつ, 全体がバランスするように傾斜を定めた。このようにして定めた基本 σ_r - N_e 線図の傾斜Kの変化を示したものが図4中の各線である。また, その値は先に定めた基本疲れ強さとともに表2に示してある。

以上のようにして定めた基本 σ_r - N_e 線図を鋼種ごとに示したものが図5(a)~(e)である。いずれの鋼種の場合も継手等級がAからGに向うにつれて基本 σ_r - N_e 線図は低

(a) 40 キ口鋼

(b) 50 キ口鋼

(c) 60 キ口鋼

(d) 70 キ口鋼

図5 各鋼種の基本 σ_r - N_e 線図

(e) 80 キロ鋼

(f) 各鋼種の継手等級 A および G の基本 σ_r - N_c 線図の比較

図 5 つづき

くなり、かつ、傾斜はきつくなる。一方、図 5(f) は各鋼種の継手等級 A および G の基本 σ_r - N_c 線図を比較したもので、繰返し数の小さい領域では鋼種が高いほど疲れ強さも高いが、各 σ_r - N_c 線図は繰返し数 10^7 回付近で交差しており、これ以上の長寿命の領域では高張力鋼のメリットがなくなること示している。

2.4 データのばらつきと重要係数

JSSC 疲労設計指針では基本疲れ強さ σ_f をさらに三つの安全係数、すなわち、重要度係数 α_w 、応力比係数 α_r および信頼度係数 α_s で割って、構造物の許容応力度 σ_{al} を求めている。三つの安全係数のうち重要度係数は、構造物に損傷または破壊が生じた場合の社会的・経済的影響の大きさに応じて設計に用いる σ_r - N_c 線図の非破壊確率を変えるための係数で、その値としては、構造物の主部材でその破壊が直接構造物の崩壊につながる場合には 1.10~1.20 の値、構造物の主部材ではあるがその破壊が直接構造物の崩壊につながらない場合には 1.05~1.10 の値、その他の部材では 1.00~1.05 の値を採用になっている。

さて、疲労データのばらつきの大きさは基本的には鋼種・継手等級ごとに異なるので、重要度係数を 1.0 以外

の値に採った場合、得られる疲れ強さが、全ての鋼種・継手等級について同一の非破壊確率に対する値を与えているとは限らない。また、この観点からすれば、JSSC 疲労設計指針では、全ての継手等級がほぼ同じばらつきを有していると考えていることになる。この点を本研究のデータについて検討する。

前報に述べたように、疲れ試験データのばらつきは寿命とともに変化するので、ここではまず $N_c=10^6$ 回のばらつきについて検討することにし、その大ききの指標として、疲れ試験データの統計整理によって得られた $N_f=2 \times 10^6$ (すなわち $N_c=10^6$) における 50% 非破壊確率の疲れ強さ σ_c と前節で定めた基本疲れ強さ σ_f の比 σ_c/σ_f を用いた。この疲れ強さの比を縦軸に、鋼種を横軸にとって示したものが図 6 である。この図から、継手

図 6 ばらつきの鋼種による変化

等級 A~F のデータは鋼種・継手等級にかかわらず 1.3~1.7 程度の比較的せまい範囲内に入っていること、継手等級 G の場合も他の継手等級と同様、鋼種にかかわらずそれぞれ同じ程度の値を示すが、その値は他の継手等級の場合に比して明らかに大きいことがわかる。これらのことは、鋼種が上ってもばらつきの大きさはほとんど変わらず、したがって、JSSC 疲労設計指針に示されている重要度係数をそのまま高張力鋼に適用しても、軟鋼から 80 キロ高張力鋼までがほぼ同じ基準で評価できること、継手等級 G の場合には他の継手等級の場合より大きな重要度係数を与えないと同じ非破壊確率に対する疲れ強さが得られないことを意味している。

以上のことから、高張力鋼の疲れ設計基準を検討するにあたって、重要度係数は継手等級 A~F については JSSC 疲労設計指針に与えられている値をそのまま用

い, 継手等級Gについてはより大きな値を与えることにした。

さて図6から, 各継手等級のばらつきの大きさを代表する値として, 継手等級A~Fの場合には図中に実線で示す1.5の値をとり, 継手等級Gの場合には図中に破線で示す1.9の値をとることにした。これらの値は95%非破壊確率に対する値である。一方, 疲れ試験データの分布形は対数正規分布であると考えているので, これらの値から標準偏差を求めると, 継手等級A~Fの標準偏差 S_{AF} は0.107, 継手等級Gの標準偏差 S_G は0.169である。

さて, 先に述べたように, 同じ非破壊確率の疲れ強さを求めるためには, 継手等級Gでは他の継手等級より大きな重要度係数を与えなければならない。そこでここでは, 同じ非破壊確率を与えるためには継手等級A~Fの重要度係数 α_{AF} と継手等級Gの重要度係数 α_G との間にどのような関係がなければならないかについて検討する。ここで言う重要度係数 α_w とは95%非破壊確率の疲れ強さとある非破壊確率での疲れ強さの比のことであるので, 一般に標準偏差を S_w , 任意の非破壊確率における偏差の標準偏差に対する比を k , 95%非破壊確率における偏差の標準偏差に対する比を k_p と表すと, これらの間には次式の関係がある。

$$\log \alpha_w = (k_p - k) S_w \quad \cdots \cdots (1)$$

したがって, 継手等級A~Fと継手等級Gの場合にはそれぞれ次式のように表される。

$$\begin{aligned} \log \alpha_{AF} &= (k_p - k) S_{AF} \\ \log \alpha_G &= (k_p - k) S_G \end{aligned} \quad \cdots \cdots (2)$$

ここでは同じ非破壊確率に対する重要度係数を問題にしているのであるから, (2)式の上・下の式で k が同じ値を採るとすると, α_{AF} と α_G の間に次式の関係がなりたつ。

$$\alpha_G = \alpha_{AF} \frac{S_G}{S_{AF}} \quad \cdots \cdots (3)$$

上式の S_{AF} に継手等級A~Fの標準偏差0.107を, S_G に継手等級Gの標準偏差0.169を代入して

$$\alpha_G = \alpha_{AF}^{1.58} \quad \cdots \cdots (4)$$

を得る。すなわち, 継手等級A~Fと継手等級Gの同じ非破壊確率に対する疲れ強さを求めるためには, 継手等級Gの重要度係数は継手等級A~Fの場合の重要度係数を1.58乗した値を用いなければならない。

以上の検討によって, $N_c = 10^6$ 回における各非破壊確率に対する疲れ強さが求められた。一方前報に述べたように, 疲れ試験データの標準偏差は寿命の対数値に対して直線的に変化するので, 非破壊確率が変れば (すなわ

ち重要度係数が1.0以外の値をとれば) それに対する $\sigma_r - N_c$ 線図の傾斜も変化する。次にこの点について検討する。

上述のように, 疲れ試験データの標準偏差は寿命の対数値に対して直線的に変化するので, 標準偏差がゼロになる, すなわち, 各非破壊確率に対する $\sigma_r - N_c$ 線図が一点で交わる寿命が存在する。その寿命を疲れ試験データの統計整理結果から求めてみると, 鋼種や継手等級に関して特別な傾向を示さず, 破断寿命 N_f で1~80,000回の間にばらついており, その対数平均値は $N_f = 666$ 回であった。そこでここでは, 標準偏差がゼロになるときの寿命は全ての鋼種・継手等級について一定であり, その寿命は $N_f = 666$ 回を $N_c/N_f = 0.5$ として N_c に換算した寿命, すなわち $N_c = 333$ 回であると仮定することにした。

さて, 50%非破壊確率に対する $\sigma_r - N_c$ 線図の傾斜を K_m , $N_c = 10^6$ 回での標準偏差を S_e で表わすことにすると, 任意の非破壊確率に対する $\sigma_r - N_c$ 線図の傾斜 K' は次式で与えられる。

(a) 40 キロ鋼

(b) 80 キロ鋼

図7 非破壊確率による $\sigma_r - N_c$ 線図の変化

図 8 各種溶接継手の疲れ強さにおよぼす平均応力の影響

$$K' = K_m - \frac{kS_e}{\log 10^6 - \log 333} = K_m - \frac{kS_e}{\log 3000} \quad \dots\dots(5)$$

同様に、95%非破壊確率に対する σ_r-N_c 線図の傾斜 K は

$$K = K_m - \frac{k_p S_e}{\log 3000} \quad \dots\dots(6)$$

と書ける。(5), (6)式から K' を K で表すと

$$K' = K + \frac{(k_p - k) S_e}{\log 3000} \quad \dots\dots(7)$$

一方、上式の $(k_p - k) S_e$ は (1) 式に示すように重要度係

数の対数値 $\log \alpha_w$ に等しく、また $1/\log 3000$ の値は 0.288 であるので

$$K' = K + 0.288 \log \alpha_w \quad \dots\dots(8)$$

となる。すなわち、重要度係数 α_w とそれに対応する σ_r-N_c 線図の傾斜 K' との関係が求まった。このようにして求めた各非破壊確率に対する σ_r-N_c 線図の例を図 7 に示す。図 7 (a) は 40 キロ鋼の継手等級 A および G の場合を、(b) は 80 キロ鋼の継手等級 A および G の場合の σ_r-N_c 線図を示している。

2.5 応力比係数

次に第 2 の安全例数について検討する。JSSC 疲労設計指針では、応力範囲 σ_r が同じでも平均応力 (あるいは下限応力 $\sigma_{\min}$) が減少して圧縮領域での変動範囲が増すにつれて、き裂の進展に対する貢献度が減少すると考え、応力比 $R_a = \sigma_{\min}/\sigma_r$ によって応力比係数 α_r を次式のように定めている。

$$\left. \begin{aligned} R_a \geq 0 \text{ のとき } \alpha_r &= 1.00 \\ R_a < 0 \text{ のとき } \alpha_r &= \frac{1}{1 - 0.2R_a} \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots(9)$$

すなわち、 $R_a \geq 0$ (すなわち引張片振り) の範囲では引張り平均応力の効果を見せず、許容応力として $R_a = 0$ における疲れ強さをそのまま使い、 $R_a < 0$ (すなわち両振り) の範囲内ではそれより大きな値 (完全両振り $R_a = -0.5$ のときで 1.1 倍、完全圧縮片振り $R_a = -1$ のときで 1.2 倍の値) を用いることになっている。軟鋼の場合には静的負荷に対する制限条件である降伏応力が低く、 $R_a > 0$ の範囲で最大応力が降伏応力以下である範囲が狭いため、この範囲では平均応力の効果を見せずして $\alpha_r = 1.0$ としても良いであろうが、高張力鋼の場合には降伏応力あるいは耐力が高いため軟鋼のように $R_a \geq 0$ の範囲で $\alpha_r = 1.0$ とするのは危険である。また、 $R_a < 0$ の範囲においては、鋼種が高くなるほど平均応力の減少に伴う疲れ強さの増加が大きいと言われており、JSSC 疲労設計指針の α_r に関する規定をそのまま高張力鋼に適用することはできない。この点について検討する。

本検討のため収集した論文のうち、応力比の影響について検討している文献を調査し、それらの文献から疲れ強さと応力比の関係を抜き出して、継手形式ごとに $N_f = 2 \times 10^6$ 回の疲れ強さ線図にまとめたものが図 8 である。図中の各線は各鋼種ごとに疲れ強さのばらつきの中央を引いたものである。これらの図から、いずれの鋼種・継手形式の場合も平均応力による疲れ強さの変化は $R_a = 0$ を境とする二本の直線で表わすことができること、この二本の直線の傾斜は $R_a < 0$ におけるそのほうがきつこと、 $R_a < 0$ の範囲においては鋼種が上るにつれ

図9 モデル的に画いた疲れ許容応力の平均応力による変化

て傾斜がきつくなること、鋼種を一定とすると $R_a > 0$ の範囲内では継手等級がAからGに向うにしたがって直線の傾斜はゆるやかになるが $R_a < 0$ の範囲ではあまり変化しないことがわかる。さらに、溶接継手以外の場合でも一般に $R_a > 0$ の範囲における疲れ強さの平均応力による変化は直線に近似することができ、その直線の横軸との交点は軟鋼の場合で真破断応力 σ_T を示す点附近、80キロ高張力鋼の場合で引張強さ σ_B を示す点附近であると言われている。

これらの事柄および設計基準の簡明さを考えて、ここでは図9にモデル的に示すように、 $R_a \geq 0$ の範囲における平均応力の影響は、鋼種・継手等級にかかわらず、 $R_a = 0$ での疲れ強さ σ_{a0} を示す点(図中のA点)と横軸上 100 kg/mm^2 を示す点(B点)を結ぶ直線で表わされるものと仮定した。すると、応力振幅(応力範囲の $1/2$)で表わした疲れ強さ σ_a と平均応力 σ_m の間の関係は次式で表わされる。

$$\sigma_a = \frac{\sigma_{a0}}{100 - \sigma_{a0}} (100 - \sigma_m) \quad \dots\dots(10)$$

一方、 $\sigma_m = (1 + 2R_a)\sigma_a$ であるので、これを(10)式に代入し整理すると

$$\sigma_a = \frac{100\sigma_{a0}}{100 + 2R_a\sigma_{a0}} \quad \dots\dots(11)$$

を得る。さて、応力比係数 α_r は $R_a = 0$ のときの疲れ強さ σ_{a0} と任意の R_a のときの疲れ強さ σ_a の比のことであるので、

$$\alpha_r = \frac{\sigma_{a0}}{\sigma_a} = 1 + \frac{2\sigma_{a0}R_a}{100} \quad \dots\dots(12)$$

さらに、 $2\sigma_{a0}$ は基本疲れ強さ σ_f を他の二つの安全係数(重要度係数 α_w と信頼度係数 α_s)で割った値 $\sigma_f / \alpha_w \alpha_s$ のことであるから

$$\alpha_r = 1 + \frac{\sigma_f}{100\alpha_w \alpha_s} R_a \quad \dots\dots(13)$$

となる。以上で $R_a \geq 0$ の範囲における応力比係数が求められた。

次に、 $R_a \leq 0$ の範囲について検討する。先に述べたよ

図10 基本疲れ強さの平均応力による変化

うに、この範囲においても疲れ強さ σ_a は平均応力 σ_m に対して直線的に変化するものとみて良い。一方、この範囲での実験的データとしては $R_a = 0$ (完全片振り)と $R_a = -0.5$ (完全両振り)の場合のデータが最も多いので、両条件の場合の $N_f = 2 \times 10^6$ 回での疲れ強さの比を λ とし、その比の値について調査した。その結果、 λ はいずれの鋼種の場合も継手等級に対して明確な傾向をもたず、40キロ鋼では1.09~1.33の間にばらついており、その平均値は1.20、50キロ鋼では1.23~1.47の間にばらついており、その平均値は1.32、60キロ鋼・80キロ鋼の場合はデータが少なかったがその平均値はそれぞれ1.23および1.40であった。一方、JSSC 疲労設計指針では $\lambda = 1.10$ であり、疲れ試験データからの値より安全側の値を採っていることになる。これらの点を考慮し、40キロ鋼から80キロ鋼までをバランスさせ、なおかつ安全側の値として、 λ を次のように定めた。

$$\left. \begin{array}{ll} 40 \text{キロ鋼の場合} & \lambda = 1.10 \\ 50 \text{キロ鋼の場合} & \lambda = 1.15 \\ 60 \text{キロ鋼の場合} & \lambda = 1.20 \\ 70 \text{キロ鋼の場合} & \lambda = 1.25 \\ 80 \text{キロ鋼の場合} & \lambda = 1.30 \end{array} \right\} \quad \dots\dots(14)$$

さて、図9の $R_a \leq 0$ の範囲に示すように、 $R_a = 0$ における疲れ強さ σ_{a0} を示す点(図中のA点)と $R_a = -0.5$ においてその λ 倍の疲れ強さを示す点(図中のC点)を結ぶ直線は次式で示される。

$$\sigma_a = (1 - \lambda)\sigma_m + \lambda\sigma_{a0} \quad \dots\dots(15)$$

ここで $\sigma_m = (1 + 2R_a)\sigma_a$ であるので, (15) 式を R_a の式に書き換えると,

$$\sigma_a = \frac{\lambda \sigma_{a0}}{\lambda + 2(\lambda - 1)R_a} \quad \dots\dots(16)$$

を得る. さらに, 応力比係数 $\alpha_r = \sigma_{a0}/\sigma_a$ であるので

$$\alpha_r = \frac{\sigma_{a0}}{\sigma_a} = 1 + 2 \left(1 - \frac{1}{\lambda}\right) R_a \quad \dots\dots(17)$$

を得る. 以上で, $R_a \geq 0$ および $R_a < 0$ の両領域における応力比係数 α_r が定められた.

上述のように定めた応力比係数によって, 各継手等級の疲れ強さがどのように変化するか示したものが図10である. 図10(a)は継手等級A, (b)は継手等級D, (c)は継手等級Gの $N_c = 10^6$ 回における疲れ強さを示している.

2.6 信頼度係数

さて, 第3の安全係数は信頼度係数であるが, これは構造物に発生する応力の推定精度や施行・検査の信頼性を考慮に入れるものであり, これらは材料強度に関係しない問題である. したがって, 信頼度係数については, JSSC 疲労設計指針の規定をそのまま高張力鋼にも適用することにした.

2.7 疲れ許容応力度

以上の検討結果をまとめて, 構造物の設計荷重 (荷重全振幅) に対する疲れ許容応力度 σ_{al} は次式で与えられる.

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{al} &= \frac{\sigma_f}{\alpha_w \alpha_r \alpha_s} \left[\frac{10^6}{N} \right]^{K'} \\ K' &= K + 0.288 \log \alpha_w \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots(18)$$

ここに,

σ_f : 基本疲れ強さ

α_w : 重要度係数

α_r : 応力比係数

α_s : 信頼度係数

N : 構造物の荷重頻度分布を設計荷重の単調

な繰返した換算したときの繰返数

K : 基本 σ_f - N_c 線図の傾斜

上式の σ_f および K に, 表2に示す値を, 重要度係数 α_w および信頼度係数 α_s には JSSC 疲労設計指針に規定されている値を (ただし継手等級Gの場合の α_w にはその値を1.58乗した値を), 応力比係数 α_r には (17) 式あるいは (17) 式から求められる値を代入して, 高張力鋼溶接継手の疲れ許容応力度が得られる.

3. 結 言

前報では, 高張力鋼溶接継手の疲れ許容応力を検討するため, 1950年以降に発表された軟鋼から80キロ高張力鋼までの各種溶接継手の疲れ強さに関する文献を広範に調査し, 約600件の文献の調査から, 約13,000点の疲れ試験データを収集した. 得られた試験データは鋼種および継手の種類ごとに分類し, 統計整理をおこなって, 非破壊確率を考慮した疲れ強さを明らかにするとともに, 高張力鋼の疲れ強さの特徴を定量的に明らかにした.

本報では, その結果をもとに, 軟鋼溶接構造物の疲れ設計基準としてよく知られている JSSC 疲労設計指針を高張力鋼にまで拡張する方法について検討した.

さて, 前報での疲れ試験データの統計整理法や, 本報における疲れ許容応力度の決め方については, 多様な考え方のできる所であり, 同じ基礎データから出発しても多くの異なった結果に達することができる. したがって, ここでは, それらのうちの一つの方法として筆者らの私見を述べたものと理解していただきたい.

参 考 文 献

- 1) 森脇, 出納, 村尾: 高張力鋼溶接継手の疲れ許容応力の一検討 (その1), 本誌, Vol 51, No. 1.
- 2) 日本鋼構造協会 技術委員会 耐久性分科会 疲労小委員会: 日本鋼構造協会疲労設計指針 (案), JSSC, 10-101 (1974), 22-34.