S-N 試験データの折れ線近似による パラメータ表示および解析†

西 島 敏* 石 井 明*

Parametric Representation and Analysis of S-N Data by Bi-Linear Curve Fitting

by

Satoshi NISHIJIMA* and Akira ISHII*

A simple and new statistical curve fitting method for the S-N type fatigue test data has been proposed. The method utilizes a bi-linear type S-N curve comprising inclined and horizontal straight lines, and thus the data can be represented by 4 parameters, i.e., slope, knee, fatigue limit, and range of scatter. The principle of curve fitting for the inclined part is based on the principal component analysis technique and that for the horizontal part on the Probit analysis technique. 213 sets of small sample S-N data from NRI Fatigue Data Sheets were analysed by the proposed method and correlations found between S-N parameters were discussed.

キー・ワード：疲労データ，S-N曲線，統計的解析，データ処理

1 緒 言

最近，金属材料の疲労強度データ集¹⁾の出版や，統計的疲労試験方法基準²⁾の発表などを契機として，疲労試験結果のいわゆるS-Nデータを電算機により統計処理したり，データベースとして利用することが次第に普及しつつあると感じられる。著者の一人は数個ないし数十個の試験片を用いた少数個S-Nデータを統計的に解析する方法について先に提案した。この方法は疲労強度のばらつきが繰返し数レベルによらず一定の正規分布に従っているという仮定を置くだけで，S-N曲線の形状については何らの仮定も設けずに，S-N特性の平均値とばらつき^{3,4)}の大きさを統計的に推定できるものである。またこのとき，S-N曲線の数式表示として，傾斜した直線と水平線を漸近線にもつ斜交双曲線を用いることを同時に提案した。これは特に物理的根拠に基づいたものではないが，これまでの経験則に照らして妥当なもので，実際のデータの傾向とよく一致し，また式中のパラメータの選び方により2直線から成る折れ線をも表現できる式である。

本報告では主として少数標本S-Nデータの電算機による自動処理を想定し，最も簡単な形式である折れ線のあてはめ方法について最適化をはかると共に，金属材料疲れデータシートによるデータの一部にこれを適用してS-Nデータの数式表示によるパラメータ化を試み，さらに得られたパラメータの傾向について若干の検討を行う。

2 疲労試験データにみられるばらつき

疲労試験データにみられるばらつきは，試験片ごとの性質のばらつき，試験条件のばらつき，破壊過程そのものの不確定性などの結果として生ずるものと考えられる。

Fig.1は同一チャージ，同一インゴットに属するS25C焼ならし鋼の多数の平滑試験片による回転曲げ疲労データを示したものである。試験片の準備段階や試験精度などの管理には特別の注意を払ったにもかかわらず，データには相当のばらつきがみられる。この場合，図中に示したように，ばらつきのとらえ方として強度分布と寿命分布の両面がある。強度分布は通常，正規分布として取扱われることが多い。

これに対し Fig.2は比較的少数個の試験片によるもので，やはり同一インゴットに属するものである。

Fig. 1. Typical fatigue scatter in large sample test data.

† 原稿受理 昭和59年6月11日 Received June 11, 1984

* 正 会 員 金属材料技術研究所 東京都目黒区中目黒, National Research Institute for Metals, Nakameguro, Meguro-ku, Tokyo

Fig. 2. S-N data scatter due to variation in strength of specimens. Alphabetic code differentiates the bar stock from which the specimen was sampled.

図中の英字は試験片を採取した素材の棒別を示すが、たとえば棒B, Gは明らかに他の棒に比べて弱い。これはこれらの棒の化学成分が他と比べてわずかに異なるため、熱処理により生じた強度差に基づくものと考えられ、このデータのばらつきの主因をなしている。同様な意味での棒間強度差によるばらつきは Fig. 1のデータについても見出されている。すなわち、同一ロットに属すると考えられる材料から作った複数の試験片を同一応力で試験したときの寿命のばらつきは、実は個々の試験片の強さがばらついていることによる割合が大きく、試験片の真の強度に対する相対試験応力が異なっているためと考えられる場合が多い。

3 解析方法

さて、以上を念頭において、S-Nデータに傾斜した直線と水平線から成る折れ線を統計的にあてはめる方法について考える。S-N曲線の数式モデルとしては種々の提案があるが、本報においては特に主題とせず、工学的簡便さから最も多用されている折れ線のみを対象とする。

3.1 考え方

まずデータのばらつき方について、対称、等分散性を仮定する。具体的には疲労強度 (σ または $\log \sigma$) が正規分布に従い、その標準偏差は寿命レベル ($\log N$) によらず一定と仮定する。これはS-N曲線のいわゆる傾斜部が直線という前提に立つと、一定応力における $\log N$ のばらつきが、応力によらず標準偏差一定の正規分布に従うと仮定することを意味する。

S-Nデータを電算機で処理するためには、一般にデータの上、下限値の識別、異常データの排除などの準備が必要であるが、ここでは折れ線のあてはめに關する基本的な考え方に限って要点を述べる。計算の手順としては次のようである。

- ① 「傾斜部」に属するデータの範囲を決める (または決め直す)。
- ② 「傾斜部」データに直線をあてはめ、方程式を

決定する。

- ③ 「傾斜部」データに関する直線からの強度の偏差平方和を求め、疲労強度の標準偏差を推定する。
- ④ 「水平部」領域の繰返し数において、標準偏差既知の場合のプロビット法により疲労強度の平均値を推定し、水平線の高さを決定する。これで折れ線全体が決定される。
- ⑤ 全破断データに関する折れ線からの疲労強度の偏差平方和を求め、あてはめの誤差を評価する。
- ⑥ 評価した誤差が過大ならば手順①にもどる。最小であると判断できれば計算を打ち切る。

上記手順のうち、①では通常、全破断データを傾斜部に属するものとして計算を始め、順次、高繰返し数側のデータを除きつつ⑥のあてはめ誤差を調べていくと、誤差が最小になる点を見出しやすい。手順④については文献に詳しいので、ここでは省略する。⑤については破断データしか用いていないという点で不十分さがあるが、計算の簡単化のためやむを得ないと考ええる。問題は手順②にあり、一見平易に思われるこの計算には、以下のような問題が含まれている。

3.2 「傾斜部」データへの直線のあてはめ方法

簡単のため変数を次のように表す。

$$\begin{cases} y = \sigma & \text{または} \log \sigma \\ x = \log N \end{cases}$$

また以下の統計量を定義する。 n はデータ数である。

$$S_{xx} = \sum (x - \bar{x})^2, \quad \bar{x} = \sum x / n,$$

$$S_{yy} = \sum (y - \bar{y})^2, \quad \bar{y} = \sum y / n,$$

$$S_{xy} = \sum (x - \bar{x})(y - \bar{y}),$$

$$R = S_{xy} / \sqrt{S_{xx} \cdot S_{yy}}$$

傾斜部の直線の決め方には、ばらつきの主要因がどの変数にあると考えるかにより次の三つが考えられる。

- (1) x の y に対する回帰 y にはばらつき要因がなく、 x にのみあると考えるとき、数式モデルは周知のよう²⁾

$$x = b - ay \quad (1)$$

と書かれる。係数 a , b は残渣の分布 f が

$$f[x - (b - ay)] = N(0, \epsilon_x^2)$$

のように平均0の正規分布 N になると仮定し、分散 ϵ_x^2 を最小にするように決定される。S-N線図上では各データ点からの水平方向の距離の2乗和が最小になるように直線を画くことを意味する。得られる a , b の推定値は次のようである。

$$\begin{cases} a_1 = -\frac{S_{xy}}{S_{yy}} \\ b_1 = \bar{x} + a_1 \bar{y} \end{cases} \quad (2)$$

- (2) y の x に対する回帰 数個のS-Nデータを重ねて処理する場合や、Fig. 2のように試験片の強度に対する相対試験応力がばらついている場合などには、

むしろ x ではなく y にばらつき要因があると考え、

$$y = c - dx \quad (3)$$

をモデルとしたあてはめが考えられる。すなわち図上ではデータ点からの上下方向の距離の2乗和を最小とするような直線を求めることで、分布

$$f(y - (c - dx)) = N(0, \epsilon_y^2)$$

において ϵ_y^2 を最小とするように係数 c , d を決める。式(1), (3)の比較から $c = b/a$, $d = 1/a$ であるから, a , b の推定値は次のようになる。

$$\begin{cases} a_2 = -\frac{S_{xx}}{S_{xy}} \\ b_2 = \bar{x} + a_2 \bar{y} \end{cases} \quad (4)$$

(3) 主成分法 より一般的なあてはめ法としては上記(1), (2)の両法を包含する必要がある。すなわち x にも y にもばらつき要因があると考え、各データ点からその直線に下した垂線の長さの2乗和を最小とするように直線を決定する。ここで一般には x と y の尺度が異なるから、データ点と直線の間の垂直距離が一義的に定まらないため、 x , y 座標をそれぞれの座標軸に沿ったデータの広がりについて基準化して取扱う必要がある。すなわち

$$\begin{cases} X = (x - \bar{x}) / \sqrt{S_{xx} / (n-1)} \\ Y = (y - \bar{y}) / \sqrt{S_{yy} / (n-1)} \end{cases}$$

とおく。モデルは

$$uX + vY = p \quad (5)$$

のように書け、分布

$$f(uX + vY - p) = N(0, \epsilon^2)$$

において ϵ^2 を最小にするように係数を決定すればよい。実のところ、これは2変量のときの主成分分析の考え方と同一であって、 X , Y 方向のデータの広がりが等しいとき、 ϵ^2 を最小にする直線の向きは $\pm 45^\circ$ のいずれかになる。この場合は $v/u = 1$ とすべきであるから、式(5)は次のように解かれる。

$$X + Y = \bar{X} + \bar{Y} = 0 \quad (5')$$

これを式(1)の形にもどすと a , b の推定値は次のように得られる。

$$\begin{cases} a_3 = \sqrt{\frac{S_{xx}}{S_{yy}}} \\ b_3 = \bar{x} + a_3 \bar{y} \end{cases} \quad (6)$$

以下、本方法を主成分法と呼ぶことにする。

3.3 「傾斜部」データのあてはめ例

三つの方法による直線のあてはめ例を Fig. 3 に示した。主成分法による結果は対数寿命の中央値(+印)、およびプロビット法で推定した平均強度(黒点)と良く一致しているが、他の二つの方法による結果は一致しない。

Fig. 4 は同一インゴットの S35C 鋼の試験結果についての同様なあてはめ例であるが、プロビット法によ

Fig. 3. Curve fitting based on 3 different models: eqs. (1), (3), (5).

Fig. 4. S-N curves by 3 models for a set of actual data.

る平均強度の推定値に対し、三方法の主成分法による結果が最も良い一致をみせている。Fig. 2 に示した実線も主成分法によるもので、このように一般的な S-N データに対する直線のあてはめには主成分法が適していると考えられる。

なお、式(2), (4), (6)からわかるように、

$$a_2^2 R^2 = a_3^2 = a_1^2 / R^2$$

の関係があり、 $a_3 = \sqrt{a_1 a_2}$ である。 $R^2 \leq 1$ であるから $a_2^2 \leq a_3^2 \leq a_1^2$ となっており、 $R^2 = 1$ なら三者は一致する。

3.4 疲労強度の標準偏差の推定

先に示した解析手順④に必要な疲労強度の標準偏差を「傾斜部」データの直線に対する y 方向偏差平方和から推定するため、必要な計算式を示しておく。

(1) x の y に対する回帰の場合 y 方向偏差平方和は次式となる。

$$S_{e1} = S_{yy} \left(\frac{1}{R^2} - 1 \right) \quad (7)$$

(2) y の x に対する回帰の場合

$$S_{e2} = S_{yy} (1 - R^2) \quad (8)$$

(3) 主成分法の場合

$$S_{e3} = 2S_{yy} (1 + R), \quad (R < 0) \quad (9)$$

疲労強度の標準偏差の推定値としては、いずれの場合も

$$\epsilon_y = \sqrt{\frac{S_e}{n-2}} \quad (10)$$

とする。計算結果の一例を Fig. 3 中に示しておいた。

式(7)~(9)からわかるように、

$$S_{e2} \leq S_{e3} \leq S_{e1}$$

の関係にあり、 $R^2=1$ のとき三者は等しい。また ϵ_y の値だけについてみれば、 y の x に対する回帰は主成分法とあまり変わらない結果を与えうる。

4 S-Nデータのパラメータ化

前章においてS-N試験データに折れ線をあてはめる方法として、主成分法により傾斜部の直線を決定し、その結果得られた疲労強度の標準偏差の推定値を用いてプロビット法により水平部に画く直線の高さを決定する手法を提案した。

ここでS-N曲線の方程式を以前の提案に基づき次式で表す。

$$y = \frac{A}{2} \{ |x-D| - (x-D) \} + E \quad (11)$$

これによりS-Nデータは傾斜部のこう配 A 、折れ曲り点の位置 D 、水平部の高さ E という三つのパラメータに要約される。本章では強度レベルの異なる材料間で A の比較を行いやすくするため $y = \log \sigma$ を採用する。

以下、金材技研疲れデータシートにおける多数のS-Nデータの一部分¹⁰⁾に対し、この解析法を適用した結果について検討する。

4.1 対象データ

解析の対象としたデータは機械構造用炭素鋼S35C、S45C、S55C、および低合金鋼SCr440、SCM435、SCM440鋼の7鋼種に関するものである。材料はいずれも国内主要メーカの製造になる直径20mm前後の熱間圧延丸棒で、一鋼種当たり平均12チャージずつ

採取されている。また熱処理として標準的な焼ならし、焼入れの後、550℃、600℃、650℃の3温度で焼もどしを施しており、全部で材料条件は213種類ある。疲労試験はすべて直径8mmの平滑試験片を用いた室温大気中の回転曲げ試験(50 Hz)で、1S-N試験当たり平均20個ずつの試験片が用いられている。試験方法等の詳細については別報¹⁰⁾¹¹⁾に示した。

4.2 解析結果

Table Iは主成分法を採用した解析による結果を材料条件ごとの平均値と標準偏差にまとめて示したものである。同表には強度レベルの代表値として引張強さ σ_B も示した。表中の A 、 D は式(11)の係数で、 E としては $E = \log \sigma_{wb}$ の関係にある σ_{wb} を表示した。なお σ_{wb} は繰返し数 10^7 回に対し評価した。また参考のため、S-N曲線に対する全破断データの偏差平方和から推定した疲労強度の変動係数 CV も併せて示した。

この表から特徴的な傾向として、たとえば強度レベルが高くなるにつれてS-N曲線の傾斜が大きくなることや、各パラメータのばらつきは強度レベルが高い方が、もしくは焼もどし温度が低い方が大きい傾向がうかがえる。

Table IIは各パラメータ間の相関係数を調べたもので、右上半分は炭素鋼102データについて、左下半分はCrおよびCr-Mo鋼111データについて、いずれも95%以上の水準で有意な値のみを、各記号を通る縦横線の交点の位置に記した。

周知のように $\log \sigma_B$ と $\log \sigma_{wb} = E$ との間に強い正の相関が認められるが、S-N曲線のパラメータ E 、 A 、 D の間にも中程度の相関があり、特にCrおよび

Table I. Mean and standard deviation for S-N parameters analysed.
Data due to NIRM FDS, including 213 samples in total.

Material (heats)	Tempering temp. °C	Tensile strength σ_B (N/mm ²)		Fatigue strength σ_{wb} (N/mm ²)		Slope A %		Knee D		Coeff. of variation CV %	
35SC (12)	550	750	39	413	20	6.20	1.64	5.99	0.08	2.84	1.62
	600	697	25	384	17	5.94	1.30	6.05	0.11	2.85	1.45
	650	650	25	352	19	5.52	0.97	6.20	0.23	2.63	1.26
S45C (11)	550	862	57	473	26	6.48	1.27	5.86	0.15	2.38	1.35
	600	790	39	437	23	5.75	1.03	5.98	0.17	2.23	1.27
	650	718	24	395	15	5.23	0.56	6.13	0.15	1.94	1.14
S55C (11)	550	949	34	513	19	7.52	1.62	5.86	0.19	2.02	0.97
	600	850	20	463	11	6.74	0.79	5.93	0.10	1.77	0.65
	650	761	13	414	9	5.89	1.19	6.05	0.12	1.65	0.95
SCr440 (8)	550	1054	32	561	20	10.55	2.15	5.73	0.22	3.36	2.24
	600	955	27	511	5	8.31	2.14	5.95	0.18	2.36	1.14
	650	874	14	478	11	7.42	0.97	5.94	0.08	2.20	1.34
SCM435 (14)	550	1096	37	571	26	10.99	2.42	5.78	0.15	3.32	1.43
	600	982	33	534	25	9.33	1.37	5.82	0.09	2.62	1.28
	650	885	30	484	19	8.75	1.34	5.91	0.15	2.34	0.83
SCM440 (15)	550	1163	32	607	25	10.64	1.19	5.71	0.11	3.31	1.90
	600	1047	33	556	19	10.06	2.13	5.79	0.15	2.78	1.35
	650	926	24	501	14	7.98	1.28	6.97	0.12	2.08	0.64

Table II. Coefficient of correlation (%) between tensile strength σ_B , parameters in eq. (11), and coefficient of variation CV in fatigue strength. Upper half for carbon steels and lower for Cr and Cr-Mo steels.

$\log \sigma_B$	96	54	-55	
95	$\log \sigma_{wb}$	43	-62	-22
50	37	A	-54	23
-48	-53	-74	D	
24		56	-27	CV

Cr-Mo 鋼については、こう配Aと折れ曲り点Dの間にかんがりの負の相関があることがわかる。参考のため示した疲労強度の変動係数CVについては、こう配Aとの間に若干の相関があるようにも思われるが明確でない。

Fig. 5 に σ_{wb} と σ_B の関係を示した。疲労強度比 σ_{wb}/σ_B は、本解析の範囲ではほぼ 0.50~0.58 程度にばらついている。これらの σ_{wb} と σ_B の関係は、各鋼種を一括すると図中に示した式ではほぼ表現できる。

Fig. 6 に S-N 曲線のパラメータのうち、D と E の関係を示した。相関係数から予想されるようにかなりのばらつきがあるが、全体としては疲労強度が高いほど S-N 曲線の折れ曲り点は低繰返し数側へ移動する傾向がわかる。

Fig. 5. Relation between rotating bending fatigue strength at 10^7 cycles and tensile strength.

Fig. 6. Relation between knee position and fatigue limit.

Fig. 7 はこう配Aと折れ曲り点Dの関係である。Fig. 5 の傾向と対応させて、ここでは疲労強度比 σ_{wb}/σ_B をパラメータにした線を示した。全体として折れ曲り点が低繰返し数側に移るとこう配は急になるが、折れ曲り点が等しい材料では疲労強度比が低いほどこう配が急になる傾向となっている。

Fig. 7. Relation between slope and knee position.

5 考 察

5・1 解析方法について

実験データへの直線のあてはめに際し、 x の y に対する回帰と y の x に対する回帰のいずれをとるかについての議論は、疲労データやクリープ破断データなどについてこれまでも行われており、最尤法などその他の方法の提案もある。またデータ点からの垂直距離の二乗和を最小にする直線の決め方も提案はあったが、本論文のように x , y 座標の尺度に関し基準化を行って一義解を得られるようにしたものではなかった。

本報告では S-N データの統計的処理法として、S-N 曲線を最も簡単な形である折れ線で表示することにより、データを傾斜部のこう配、折れ曲り点の位置、水平部の高さ、疲労強度のばらつき幅という四つのパラメータに要約する方法を提案したが、その際、傾斜部の直線のあてはめ方について新しい考えを導入した。これは個々の試験データが応力方向にも寿命方向にもばらつき因子を含んでいるとする考えで、解析法の類似性から本報告では主成分法と呼ぶことにした。主成分法ではデータのばらつきとして、個々の試験片の真の強度に対する相対試験応力のばらつきと、相対試験応力が同一であったとしても生ずるであろう破壊過程の不確定性に基づく寿命のばらつきの両者を同時に考えている。この意味で主成分法は単に S-N データばかりでなく、二つ以上の変数が同時にあやしさをもつような他のデータの解析にも応用できるものと考えられる。

統計的には既に述べたように、主成分法による解析結果はデータのばらつきが少なく、相関係数が 1 に近い場合には通常の最小二乗法による結果と一致する。

逆にばらつきが大きい、またはばらつきはふつう程度でもたとえば実験の繰返し数範囲が狭い、すなわちデータのスペンが小さいために相関係数が小さい場合などには、主成分法は特に有効と考えられる。なお計算手続きとしても通常の最小自乗法と比べて何ら複雑なものではなく、大標本データに対しても十分実用的と言える。

5・2 S-Nパラメータの相関性について

Fig. 7 においてこう配 A が大きいと折れ曲り点 D は低繰返し数側に移動する傾向があった。一方、 D は水平部の高さ E が高いほど小さい傾向が Fig. 6 からわかる。このことは強度レベルの異なる材料の S-N 曲線の傾斜部は交差するということを示している。そこで式(11)を参照し、 y 軸上の切片 $y_0 = E + AD$ とこう配 A の関係を調べてみたのが Fig. 8 である。炭素鋼と低合金鋼で若干の違いはあるが、全体としてほぼ一本の直線で近似できる関係が認められる。

Fig. 8. Correlation of intersection $y_0 = E + AD$ and slope A .

すなわち Fig. 8 の関係を

$$y_0 = E_1 + AD_1 \quad (12)$$

と書くと、式(11)から

$$y = E_1 - A(x - D_1) \quad (13)$$

であるから、各 S-N 曲線の傾斜部は点 (D_1, E_1) において交差する性質をもつことになる。本実験範囲のデータは高温焼もどしマルテンサイトの鋼に限られるが、ほぼ $D_1 = 7.36$, $E_1 = 2.56$ となっている。

なお、これに対し Fig. 6 の E と D の関係を表す直線を重ねると、任意の S-N 曲線を予測することも可能であるが、現時点では点 (D_1, E_1) にどのような物理的意味があるか明らかでないので、データの平均的傾向として指摘するだけに留める。

Fig. 9 は非金属介在物を起点とする破壊のため、S-N 曲線の形が変化している例であって、データは前報¹¹⁾に示したものと同じであるが、図中の S-N 曲線は今回提案の主成分法により求めた。この場合、両材料の硬さは等しいにもかかわらず、チャージ D のほうは S-N 曲線の傾斜が大きく、水平部の高さが低い。

Fig. 9. Example of data scatter due to defect originated failure.

チャージ K と比べてときのこう配、折れ曲り点、水平部高さの大小関係は Fig. 6, 7 などの傾向とちょうど逆になっている。Fig. 7 などにみられる疲労限度比と対応するばらつきは、このような要因によるものと考えられる。

5・3 疲労強度の変動係数について

Fig. 10 は今回のデータ範囲についての疲労強度の変動係数 CV の分布を対数正規確率紙に示したものである。この結果から、通常の S-N データについては 99% までが $CV \leq 7\%$ 、99.9% までとするなら $CV \leq 10\%$ と考えればよいことがわかる。これは金材技研疲れデータとして、試験片製作から試験実施までを一貫した手続きのもとに良く注意して行った結果であるから、現状における国産機械構造用鋼の疲労強度のばらつきに関する情報として、十分参考にしてよいものと考えられる。

Fig. 10. Distribution of coefficient of variation in fatigue strength.

なお、Table II に示した各パラメータについて主成分分析を行ってみたが、第 1 主成分は強度に関する因子 σ_B , σ_{wB} , A , D で占められ（寄与率 66%）、第 2 主成分は主に CV から成っていた（21%）、二つの主成分は統計的に互いに独立になるように定められるものであるから、このことから CV は強度レベルとは無関係な別の因子により主に支配されていると推

測される。

6 結 言

疲労試験による $S-N$ データの統計的処理法として、最も簡明で工学的に慣用されている折れ線をあてはめる方法について検討した。

$S-N$ 曲線のいわゆる「傾斜部」のデータに直線をあてはめる場合、通常の最小自乗法は、寿命側、強度側の両方にばらつきの要因がある場合には必ずしも適当ではないと考えられたため、新たに主成分法と呼ぶ方法を提案した。これは $S-N$ 線図上では各データ点からその直線に下した垂線の長さの平方和を最小にするように直線を画くことを意味している。

またいわゆる「水平部」については、傾斜部で決定された直線に対する応力方向の偏差平方和から推定される疲労強度の標準偏差を用い、重み付きプロビット法により決定した。

以上の結果、 $S-N$ 試験データは傾斜部のこう配、折れ曲り点の位置、水平部の高さ、および疲労強度のばらつき幅という四つのパラメータに要約されることになる。この方法を金材技研疲れデータシートのデータに適用して得られた結果をみると、かなりのばらつきを伴うが全体的傾向としては、水平部高さが高くなると折れ曲り点は低繰返し数側にずれ、かつ傾斜部のこう配は急になる特徴が認められた。またこのような $S-N$ 曲線の形状変化と疲労強度のばらつきの間には因果関係がないものと推測された。

日本材料学会疲労部門委員会と信頼性工学部門委員会は共同で金属材料の疲労強度に関するデータ収集を行いデータ集を発表したが、最近疲労部門委員会を中心としてデータの解析作業が始められている。本研究はこの解析作業グループ A における討論を契機として行ったものであり、有益な示唆をいただいた(財)日本海事協会新井淳一博士、並びにご討論をいただいた

委員諸兄に感謝を申しあげる。

(昭和59年12月7日、第6回設計における信頼性工学シンポジウムにて講演)

参 考 文 献

- 1) Data Book of Fatigue Strength of Metallic Materials, Vols. 1, 2, and 3 (1982) Soc. Mat. Sci., Japan.
- 2) 日本機械学会基準“統計的疲労試験方法”, JSME S002-1981, 日本機械学会.
- 3) 西島 敏, 材料, **29**, 24 (1980).
- 4) 西島 敏, 日本機械学会論文集, **46**, 1303 (1980).
- 5) S. Nishijima, "Statistical Analysis of Fatigue Data", ASTM STP 744, p.75, ed. R.E. Little and J.C. Ekvall (1981) ASTM.
- 6) 西島 敏, 第84/85回西山記念技術講座“鉄鋼の疲れ破壊における最近のアプローチ”, p.65 (1982) 日本鉄鋼協会.
- 7) S. Nishijima, Proc. 15th Japan Congr. Mat. Res., 7 (1972).
- 8) 奥野忠一, 久米 均, 芳賀敏郎, 吉沢 正, “多変量解析法”, p.176 (1973) 日科技連.
- 9) 金材技研疲れデータシート, Nos. 1~4 (1978); Nos. 8~10 (1979).
- 10) 西島 敏, ほか19名, 金材技研疲れデータシート資料1, “JIS 機械構造用炭素鋼, クロム鋼及びクロムモリブデン鋼の機械的性質と疲れ特性”, p.93 (1981) 金属材料技術研究所.
- 11) 西島 敏, 石井 明, 材料, **33**, 2 (1984).
- 12) A. Hobbacker, Schweißen u. Schneiden, **29**-4, 143 (1977).
- 13) 文献2), 115, 117 など.
- 14) P.P. Pizzo, Trans. ASTM, J. Pressure V. Tech., **101**, 286 (1979).
- 15) J.E. Spindel and E. Haibach, Int. J. Fatigue, **1**-2, 81 (1979).