日本材料学会標準：JSMS-SD-6-04 金属材料疲労信頼性評価標準【S-N曲線回帰法】 改訂版の発行と解析例について[†]

日本材料学会金属材料疲労信頼性評価標準検討委員会*
主査 酒井達雄** 副主査 菅田 淳***

Publication of the Second Edition of “Standard Evaluation Method of Fatigue Reliability for Metallic Materials”【Standard Regression Method of S-N Curves】

by

Tatsuo SAKAI** and Atsushi SUGETA***

Key words : JSMS standard, Fatigue, S-N curve, Regression method, Fatigue reliability, Metallic materials

1 緒 言

日本材料学会では、創立 50 周年記念事業の一環としていくつかの本学会標準を制定することとなり、その中の一つとして「金属材料疲労信頼性評価標準【S-N曲線回帰法】」¹⁾を 2002 年 3 月に出版した。本企画は本学会内に設置されている疲労部門委員会（委員長：京都大学・星出敏彦）および信頼性工学部門委員会（委員長：愛媛大学・岡部永年）が合同で金属材料疲労信頼性評価標準検討委員会（主査：酒井達雄・立命館大学）を編成し、この検討委員会のメンバー各位のご尽力により遂行された。なお、この学会標準は書籍の形態の出版物だけでなく、この手法で実際に S-N 曲線を回帰するためのソフトウェア (CD-ROM) をセットにして頒布された。頒布開始以来、すでに 2 年余が経過したが、ソフトウェアと組み合わせで出版したことが効を奏し、多くのユーザーに幅広く利用され、産業界における設計現場だけでなく大学・研究所等の学術利用も含めて、本学会標準は社会に普及・定着しつつある。

初版出版以来、多くのユーザーから本学会標準の利便性と有効性について高い評価を得ており、検討委員会としては一つの達成感をもっているが、一方でいくつかの改善・改良に対するご要望も頂いた。このような経緯の中で、これらのご要望に対処するため上記検討委員会において要望項目の内容を詳細に検討し、変更すべき点や補強すべき点を洗い出して、本学会標準の改訂版を出版することになった。初版出版以降に委員の交代や所属変更等があったので、これらに対応するとともに、新たに何人かの委員にご参加頂くなどの措置をとった上でこの改訂作業を行った。脚注の委員会名簿はこのような部分

的改組後のリストであることを付記する。

本講では、改訂版の出版にあたり、初版に対する変更箇所や補強箇所等の改訂点の内容を紹介するとともに、今回の改訂による本学会標準【S-N曲線回帰法】の機能強化部分を分かり易く解説することとする。また、現実の疲労試験データに対して本学会標準改訂版により S-N 曲線を回帰したいくつかの解析例についても紹介し、本学会標準の一層の普及と社会への定着を促進するための一助とする。

2 ユーザーからの意見と要望について

本学会標準【S-N曲線回帰法】の初版¹⁾を出版して以来、十分な統計学的検討^{2), 3)}を重ねた上で最終的に簡潔な手法に凝縮した簡便さと、解析ソフトウェアを開発してこれをセットにして頒布したことに対するユーザーからの賛意の声が多く寄せられている。これに対して、問題点の指摘や新たな要望は極めて少なかった点は、検討委員会として最もありがたく、また、同時に安堵感を抱くところである。

しかし、何人かのユーザーからいくつかの問題点の指摘を頂くとともに、新たな要望も本学会事務局や本検討委員会に寄せられた。初版に対するこれらのご意見を要約すれば、以下のとおりである。

(1) 本学会標準【S-N曲線回帰法】を適用する前提として、必要な最少破断データ数を一律 6 点としているが、S-N 曲線の数式モデルによって回帰母数の個数が異なるので、モデルにより条件の厳しさが変動することにならないか？

(2) 本学会標準【S-N曲線回帰法】を適用する前提に関し、疲労試験を実施した応力レベルの幅として以下

[†] 原稿受理 平成 16 年 4 月 9 日 Received Apr. 9, 2004

* 伊藤洋茂, 岩谷隆史, 大見泰明, 岡田憲司, 岡部永年, 尾野英夫, 境田彰芳, 酒井 孝, 酒井達雄, 塩澤和章, 首藤俊夫, 菅田 淳, 田中和人, 中島正貴, 中曾根祐司, 中易秀敏, 西川 出, 花木 聡, 林 真琴, 星出敏彦, 松岡三郎, 山本三幸, 横幕俊典, 吉岡純夫

** 正 会 員 立命館大学理工学部機械工学科 〒525-8577 草津市野路東, Dept. of Mech. Eng., Faculty of Sci. and Eng., Ritsumeikan Univ., Nojihigashi, Kusatsu, 525-8577

*** 正 会 員 大阪大学大学院工学研究科 〒565-0871 吹田市山田丘, Dept. of Mech. Eng. and Systems, Osaka Univ., Yamadaoka, Suita, 565-0871

の条件が設けられている。

$$\sigma_{f,\max} \geq 1.5\sigma_{f,\min}$$

ここに、 $\sigma_{f,\max}$ は破断データ応力最大値であり、 $\sigma_{f,\min}$ は破断データ応力最小値である。この条件は厳しすぎないか？

(3) 折れ線モデルで $S-N$ 曲線を回帰する場合、限界繰返し数（折れ曲り点の横座標） N_w は計算もされないし、画面にも表示されないが、この N_w は重要であるから、これを解析して画面にも表示すべきでないか？

(4) 同一条件の多数組の疲労試験結果を併合して確率疲労特性を解析したいので、5000 点程度の実験点数まで対象データ数を増大できないか？

(5) 前提条件を満足していなくてもおよその $S-N$ 曲線を把握したいとするニーズがあるので、この場合も同様に解析して解析結果を示した上で、前提条件を満たしていないことを明示する方式にできないか？

以上の各項目から分るように、初版に対するユーザーのご意見としては、いずれも誤りを指摘するものでなく、本学会標準の使い易さや機能改善に対する要望と判断される。これらの貴重な意見を頂いたので、本検討委員会で各項目について改めて審議を重ねた。さらに、ユーザーから指摘された項目以外の点も含めて検討委員会として改めて細部の吟味を行い、本学会標準【 $S-N$ 曲線回帰法】の改訂作業を行った。

この改訂作業にあたり、改訂項目ごとにソフトウェアも正確に改訂する必要があり、改訂項目ごとに順次ソフトウェアを改訂し、その都度、改訂版で現実の疲労試験データをもとに $S-N$ 曲線を回帰し、各項目が趣旨に従って改訂されているかどうかを確認しながら作業を進めた。こうして最終的にこのたびの改訂版（第 2 版）が出版されることになった。

3 第 2 版の改訂内容について

本学会標準【 $S-N$ 曲線回帰法】をご利用頂いたユーザーからのご意見を前節で 5 点に要約したが、これらの諸点に対する対応を検討した結果、それぞれの項目について、以下のとおり改訂することになった。

(1) $S-N$ 曲線の数式モデルにより、その数式に含まれる母数の個数が異なるので、必要な破断データ数としては、基本的に未知母数の個数に 2 を加算した数を必要最小限の破断データ数とした。このようにして決まる $S-N$ 曲線の数式モデルごとの必要破断データ数は、第 5 章の vi) の表 I に示すとおりである。

(2) 本学会標準【 $S-N$ 曲線回帰法】を適用する場合に必要な試験応力レベルの幅として、以下のとおり条件を再設定することとした。

$$\sigma_{f,\max} \geq 1.2\sigma_{f,\min}$$

なお、 $\sigma_{f,\max}$ は破断データ応力最大値であり、 $\sigma_{f,\min}$ は破断データ応力最小値である。

(3) 折れ線モデルで $S-N$ 曲線を回帰した場合は、限界繰返し数（折れ曲り点の横座標） N_w を計算して、解析結果の画面にも表示することとした。また、斜交双曲線モデルについて傾斜準線と疲労限度を表す水平線の交

点の横座標を N_w として、同様に画面上に表示することとした。

(4) 当初、個別の疲労試験データを想定し、データ併合は考えていなかったで、データ数は多くても数十点程度を想定していた。そのためデータ数の上限を明確に指定していなかったが、今回のご意見を考慮して、上限そのものを外した。この結果、データ点数が 5000 点あっても殆ど瞬時的（数秒程度以内）に解析できることを確認した。

(5) いくつかの前提条件を満足していなくても、解析が可能な場合は同様に $S-N$ 曲線を回帰し、解析結果も表示した上で、この解析結果がそれぞれの条件を満たしていないので、結果の利用に際して注意を要することを明示する方式にした。

なお、今回の改訂にあたり、検討委員会で審議の上、ユーザーからご指摘頂いた上記の諸点に加えて、以下の点についても軽微な改訂を行うことにした。

(6) データ入力 of データファイル構造に関し、現行では寿命値・負荷応力の順になっているが、これを負荷応力・寿命値の順に変更する。また、寿命値については整数表示をやめて指数表示にすることとした。

(7) 解析結果の数値の桁数について、応力値の精度を考慮して 5 桁とする。なお、繰返し演算における収束の判定条件を本文中に明記し、解析結果の数値の有効桁数が 4 桁以下になる場合は、その旨を解析結果表示画面上に明示し、注意を喚起することとした。

(8) 斜交双曲線モデルに関し、 $C = 0$ の場合は折れ線モデルと全く同一になることを解析結果の表示画面上に明示することとした。

(9) 本学会標準による回帰結果の画面について、別途拡張メタファイル形式で出力できるようにし、画面出力結果の品質を大幅に改善した。

4 $S-N$ 曲線回帰モデル

本学会標準【 $S-N$ 曲線回帰法】で設定されている $S-N$ 曲線回帰モデルとしては、多くの鉄鋼材料で従来から広く認知されているように明確な疲労限度を呈するような数式モデルと、アルミニウム合金等の非鉄金属で一般に見られるように明確な疲労限度を示すことなく、 $S-N$ 曲線が連続的に低下するような 2 つのモデルを採用している。この点は初版に記載されているとおりであり、今回の改訂において何ら変更や修正は行っていない。また、 $S-N$ 線図の座標系についても、片対数座標と両対数座標の両者を準備して、ユーザーが自由に選択して利用できるようになっている点も、全く変更していない。

すなわち、本学会標準【 $S-N$ 曲線回帰法】で採用されている $S-N$ 曲線回帰モデルは、以下のとおりである。なお、以下では応力振幅を単に σ で表記している。

4・1 疲労限度型 $S-N$ 曲線

本標準では以下の折れ線表示と斜交双曲線表示に絞り、いずれも片対数座標および両対数座標の両者に対する $S-N$ 曲線を採用している。

4・1・1 折れ線回帰モデル

1) 片対数折れ線モデル

$$\left. \begin{aligned} \sigma &= -A \log_{10} N + B & (N < N_w), \\ \sigma &= E & (N \geq N_w) \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

2) 両対数折れ線モデル

$$\left. \begin{aligned} \log_{10} \sigma &= -A \log_{10} N + B & (N < N_w), \\ \log_{10} \sigma &= \log_{10} E & (N \geq N_w) \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

ここで A , B , E および N_w は定数である。

4・1・2 曲線回帰モデル

1) 片対数斜交双曲線モデル

$$(\sigma - E)(\sigma + A \log_{10} N - B) = C \quad (3)$$

2) 両対数斜交双曲線モデル

$$(\log_{10} \sigma - \log_{10} E)(\log_{10} \sigma + A \log_{10} N - B) = C \quad (4)$$

ここで A , B , C , E は定数である。

4・2 連続低下型 S-N 曲線

明確な疲労限度が現れないような材料の疲労試験データに対して、本標準では以下のような直線表示および曲線表示を行い、ここでも片対数座標ならびに両対数座標の両者に対する S-N 曲線を採用している。

4・2・1 直線回帰モデル

1) 片対数直線モデル

$$\sigma = -A \log_{10} N + B \quad (5)$$

2) 両対数直線モデル

$$\log_{10} \sigma = -A \log_{10} N + B \quad (6)$$

ここで、 A , B は定数である。

4・2・2 曲線回帰モデル 連続低下型 S-N 曲線回帰モデルについて、本標準では Stromeyer の表示式 $\log_{10}(\sigma - D) = -A \log_{10} N + B$ を基本とし、片対数座標では式 (7) のように書き換え、また、両対数座標では式 (8) のように書き換えた回帰モデルを用いる。

1) 片対数曲線モデル

$$\sigma = 10^{-A \log_{10} N + B + D} \quad (7)$$

2) 両対数曲線モデル

$$\log_{10} \sigma = \log_{10}(10^{-A \log_{10} N + B + D}) \quad (8)$$

ここで A , B , D は定数である。

5 回帰の前提条件

本学会標準【S-N 曲線回帰法】の改訂は、基本的に 2 節に要約したユーザーからのご意見とご要望に応えることが趣旨であり、第 3 章に示した改訂を行った。したがって、本学会標準改訂版における S-N 曲線回帰における前提条件が若干変更されるので、改訂後の前提条件を本節に示すこととする。なお、各回帰モデルに対して、いずれも破断データを対象にして S-N 曲線の縦軸方向の残差二乗和を最小ならしめる方法で、各モデルに含まれる母数を統計的に回帰するのが、本学会標準による S-N 曲線回帰法の基本的立場である。

(i) ステアケース法やプロビット法等の手法で疲労限度 σ_w が求められる場合は、この値を固定して破断データのみから S-N 曲線表示式中の他のパラメータを推定する。ステアケース法やプロビット法により疲労限度 σ_w を

求める算出法については、従来の方法によるものとし、本標準では特に規定しないこととする。

(ii) $N = 5 \times 10^6$ 以上の繰返し数における未破断打ち切りデータが 1 点以上存在する場合は、ステアケース法等で疲労限度が求められていなくても、以下のとおり疲労限度を推定する。破断データ応力最小値 $\sigma_{f,\min}$ とこれより低応力の打ち切りデータ応力最大値 $\sigma_{r,\max}$ の平均値 $\sigma_w = (\sigma_{f,\min} + \sigma_{r,\max})/2$ を疲労限度とする。なお、 $\sigma_{f,\min}$ と同じ応力レベルに打ち切りデータがあり、かつこれより低い応力レベルで打ち切りデータが存在しない場合は、この $\sigma_{f,\min}$ を疲労限度とする。こうして疲労限度を決めた上で、この値を固定して破断データのみから S-N 曲線表示式中の他のパラメータを推定する。このとき、次項 (iii) で破断データに置換されるデータがあれば、これも含めて回帰する。

(iii) 上記 (ii) により決まる疲労限度 σ_w に対して、破断データ応力最小値 $\sigma_{f,\min}$ とこれより低応力の打ち切りデータ応力最大値 $\sigma_{r,\max}$ の応力階差が $\pm 0.05 \sigma_w$ を越える場合は、このように疲労限度を決めることはできないと判断されるので連続低下型 S-N 曲線を想定し、破断データのみを参照して、それぞれ S-N 曲線の表式に含まれるすべてのパラメータを推定する。このとき、 $N \geq 10^6$ なる打ち切りデータは、その時点における破断データに置き換えてパラメータを推定する。

(iv) $N = 5 \times 10^6$ 以上の繰返し数における未破断打ち切りデータがない場合は、それ以前の打ち切りデータがあっても上記 (ii) のような疲労限度 σ_w の推定は行わない。また、 $N \geq 5 \times 10^6$ の打ち切りデータがあっても、その負荷応力以下の破断データが存在する場合は、上記 (ii) の方法で疲労限度が推定できない。このように上記 (ii) で疲労限度を推定できない場合は、破断データをもとに、それぞれ S-N 曲線の表式に含まれるすべてのパラメータを推定する。このとき、 $N \geq 10^6$ なる打ち切りデータは、その時点における破断データに置き換えてパラメータを推定する。

なお、本項の手順に沿って S-N 曲線を回帰した場合は、疲労限度に対応するパラメータが推定されても、これを疲労限度とすることはしない。

(v) 金属材料の疲労試験にあたり、通常はある程度の範囲にわたる種々の負荷応力を設定して負荷応力と疲労寿命の関係、すなわち S-N 特性を調べるが、疲労限度のみを調べたい場合は予想される低応力域でステアケース法による疲労試験のみが行われることもあり、このような場合には S-N 曲線を回帰することは困難である。そのため本標準では疲労試験データの負荷応力の範囲に関し、 $\sigma_{f,\max} \geq 1.2 \sigma_{f,\min}$ なる条件を設定し、この条件を満足する疲労試験結果を対象にした S-N 曲線の標準的回帰法を与える。

(vi) 対象とする疲労試験結果については、破断データが S-N 曲線表示モデル中の母数の個数に 2 を加算した個数以上あることを前提とする。すなわち、S-N 曲線表示モデルごとに必要な最少破断データの個数は、表 I に示すとおりである。

表 I S-N 曲線表示モデルごとの必要破断データ数

S-N 曲線の型	回帰モデル	必要破断データ数
疲労限度型 S-N 曲線	折れ線回帰モデル	4
	曲線回帰モデル	6
連続低下型 S-N 曲線	直線回帰モデル	4
	曲線回帰モデル	5

6 改訂版ソフトウェアによる解析結果の例

本学会標準【S-N 曲線回帰法】に関する今回の改訂を行った後のソフトウェアにより、本学会出版の金属材料疲労強度データベース（1996 年版）^{4), 5)}に収録されたいくつかの疲労強度データに対して、疲労限度型 S-N 曲線と連続低下型 S-N 曲線の区別にしたがって S-N 曲線を回帰した例を紹介する。なお、本節における画面上の当該欄に S-N 曲線回帰結果の表示式が示されているが、この式中の $\log(x)$ はすべて $\log_{10}(x)$ を表す。また、記号に関して σ_w は疲労限度を表し、 N_w は折れ線モデルおよび斜交双曲線モデルにおける限界繰返し数を示し、RES は残差二乗和を示す。

6・1 疲労限度型 S-N 曲線

最初に、ニッケルクロムモリブデン鋼(SNCM439)に対する応力比 $R = -1$ のもとにおける疲労試験データについて、片対数座標および両対数座標上に実験結果をプロットするとともに、折れ線モデルで回帰された S-N 曲線を描いたのが図 1 である。左側が片対数座標、右側が両対数座標での解析結果を示す。各画面の右半分の部分に回帰モデルの種別や解析結果の数値が表示されている。左半分に示された S-N 線図から分るように、いずれの座標系においても回帰曲線は実験データの S-N 特性をよく表示しており、本学会標準の十分な適合性が確認できる。

次に、同一の疲労試験データに対して斜交双曲線モデルを用いて回帰した S-N 曲線を図 2 に示す。ここでも左側が片対数座標、右側が両対数座標で作画された結果を示す。図中の S-N 曲線は傾斜部のわずかな湾曲も含めて、実験結果の S-N 特性をよく表示している。

図 1, 図 2 のいずれにおいても、片対数座標と両対数座標の両座標系で回帰結果は同程度に実験データとよく一致しており、画面上に表示された標準偏差の大小だけで回帰結果の適合度を判断することは、現段階では避けることとする。

図 1 折れ線モデルによる S-N 曲線回帰結果 (SNCM439, $R = -1$) 図 2 斜交双曲線モデルによる S-N 曲線回帰結果 (SNCM439, $R = -1$)

6・2 連続低下型 S-N 曲線

アルミニウム合金等の非鉄金属では明確な疲労限度が現れず、S-N 曲線は連続的に低下するのが一般的傾向である。このような場合の例として、アルミニウム合金 (A7075-T6) に対する応力比 $R = -1$ のもとにおける疲労試験データに関する解析結果を示したのが、図 3 および図 4 である。

図 3 は、直線モデルに対する解析結果であり、先と同様に左側に片対数座標、右側に両対数座標の回帰曲線が示してある。また、図 4 は、曲線モデルに対する解析結果であり、原理的に当然であるが直線モデルによる図 3 の回帰曲線より、曲線モデルによる図 4 の回帰曲線の方が実験結果の傾向をよく表示していることが分る。

6・3 疲労限度型 P-S-N 曲線

本学会標準【S-N 曲線回帰法】で P-S-N 曲線を解析する場合、破壊確率を予め 1%, 10%, 50%, 90%, 99% の 5 レベルに設定した解析法と、標準偏差の $\pm$ 何倍であるかを指定した解析法が準備されている。図 5 は、1 組の疲労試験データとしては比較的实验点が多い例を選び、折れ線モデルにより、予め 5 レベルの破壊確率を設定した場合の P-S-N 曲線の解析結果を示す。片対数座標系およ

び両対数座標系ともに、図中の P-S-N 曲線は実験データの分布状況をよく表示している。

次に、疲労限度型 S-N 曲線のもう一つのモデルとして、斜交双曲線モデルを用いた場合の同様の解析結果を図 6 に示す。図から分るように、この場合の解析結果についても実験結果のばらつき特性を極めてよく表示していると判断される。

なお、本節では個別の疲労試験データとして低炭素鋼 (S10C) に対する実験結果に対する解析例を示したが、2 節に紹介したように同一条件または類似条件での多数の疲労試験データを併合して、このような大量データをもとに P-S-N 曲線を解析するようなユーザーのご要望がある。本学会標準【S-N 曲線回帰法】および添付ソフトウェアには、このような併合データについても短時間で解析できるような機能が具備されており、部材の疲労信頼性評価等の面で幅広く有効利用されることを期待する。

6・4 連続低下型 P-S-N 曲線

連続低下型の P-S-N 曲線としては、アルミニウム合金 (A7N01) に対する応力比 $R = -1$ における疲労試験データについて、最初に直線モデルを用いた解析結果を図 7 に示す。また、同一の疲労試験データについて、曲線モデ

図 3 直線モデルによる S-N 曲線回帰結果 (A7075-T6, $R = -1$)

図 4 曲線モデルによる S-N 曲線回帰結果 (A7075-T6, $R = -1$)

図5 折れ線モデルによる P - S - N 曲線回帰結果 (S10C, $R = -1$) 図6 斜交双曲線モデルによる P - S - N 曲線解析結果 (S10C, $R = -1$) 図7 直線モデルによる P - S - N 曲線解析結果 (A7N01, $R = -1$)

ルを用いて解析された P - S - N 曲線を図8に示す。いずれの図においても、疲労試験データの散布状況が図中の P - S - N 曲線でよく表示されていることが分る。

なお、本報では各疲労試験データに対して、本学会標準で採用している回帰モデルごとの解析結果を示したが、疲労試験結果ごとの最適回帰モデルの選定については、

今後、種々の金属材料に対する大量の実験結果を解析して、材種ごとの疲労限度の有無や回帰モデルの適合性に関する系統的な調査を行った上で、最適モデルを選定する必要があると考えられる。現在、本会疲労部門委員会と信頼性工学部門委員会の合同企画として「金属材料疲労信頼性評価・設計法検討委員会」(主査: 酒井達雄・

図8 曲線モデルによる P - S - N 曲線解析結果 (A7N01, $R = -1$)

立命館大学) が編成され、上記のような材種ごとの最適モデルの選定の可能性や疲労信頼性設計法の確立に向けて、順次、諸作業が進捗していることを付記する。

7 結 言

本講では、このたび改訂され第2版として出版された本学会標準「金属材料疲労信頼性評価標準【S-N 曲線回帰法】」(JSMS-SD-6-04)の改訂の趣旨および改訂項目を詳細に解説するとともに、本改訂版に添付されている解析ソフトウェア(CD-ROM)により、現実の幾組かの疲労試験結果に対して実際に S-N 曲線を回帰した例について、詳しく紹介した。

本学会標準が、機械設計や製品開発等の分野で、また、既設構造物の安全性評価や信頼性解析等の分野で幅広く利用されることを期待する。さらに、機械構造物の新材料の開発や既存材料の改質において、疲労強度特性は実用上、最も重要な強度特性であり、疲労試験で S-N 特性を確認しながら耐疲労性の高い材料を実現することが重要である。このとき、各条件下での疲労強度特性を客観的に評価する必要がある。このような場合にも、本学会標準はひとつの客観的な S-N 曲線回帰法として、その意義は大きいと考えられる。

日本工業規格 (JIS) をはじめ、国内だけでも膨大な数の各種規格や標準が制定されているが、科学技術の進歩や産業界の動向と連動して、常に柔軟に内容の再検討と

必要に応じた改訂を重ねる必要がある。本学会標準についても同様であり、実際に種々の立場のユーザーに幅広く有効利用して頂き、内容的な不備や課題が発見された場合は、是非とも (社) 日本材料学会事務局 [〒606-8301 京都市左京区吉田泉殿町 1-101, TEL. 075-761-5321, FAX. 075-761-5325] 宛にご意見をお寄せ頂ければ幸いである。その場合は、速やかに本検討委員会が責任をもって対応をさせて頂く方式になっている。このようなプロセスを経て、本学会標準の機能が今後一層強化され、社会に広く普及し、定着することを念願する次第である。

参 考 文 献

- 1) 金属材料疲労信頼性評価標準検討委員会, “金属材料疲労信頼性評価標準 — S-N 曲線回帰法 —” (2002) 日本材料学会。
- 2) 西川 出, 中易秀敏, 菅田 淳, 横幕俊典, 吉岡純夫, 首藤俊夫, 新谷奉史, 酒井 孝, 酒井達雄, 材料, **51**, 54 (2002)。
- 3) 酒井達雄, 西川 出, 材料, **52**, 709 (2003)。
- 4) Editorial Committee of Databook, “DATABOOK ON FATIGUE STRENGTH OF METALLIC MATERIALS” (1996) JSMS and Elsevier Science B. V.
- 5) Editorial Committee of Database, “DATABASE ON FATIGUE STRENGTH OF METALLIC MATERIALS” (1996) JSMS.