金属材料に平均応力の変動する繰返し応力を負荷した場合の 疲労強度と強度線図に関する一考察*

皆田 日出男** 中 村 宏** 岡 田 友 信**

Consideration on Strength Diagram and Fatigue Strength of Metals under Cyclic Varying Mean Stress

by

Hideo MINATA, Hiroshi NAKAMURA and Tomonobu OKADA

(Technical Research Laboratory, Kawasaki Heavy Industry Co., Ltd., Akashi)

Fatigue tests of 7075 T6 aluminum alloy under constant mean stress σ_m in the range of $0.20 \leq A \leq \infty (A = \sigma_a / \sigma_m)$ were carried out by use of a testing machine of Schenck type. Also, fatigue tests under cyclic varying mean stress σ_m' were performed by using a new type of cyclic creep testing machine. The results obtained are as follows:

(1) The strength diagram $\sigma_a - \sigma_m$ of stress cycle number N_2 by use of fatigue test results under a constant mean stress σ_m , is shown nearly by a straight line. In the same way, the strength diagram of cycle number N_2 , by using fatigue test results under a cyclic varying mean stress σ_m' , is shown nearly by a straight line. On the other hand, the strength diagram $\sigma_m' - \sigma_m$ of cycle number N_2 , which was counted from summation t_r of upper hold time in the test results of fatigue under only cyclic varying mean stress σ_m' , is shown nearly by an ellipse.

(2) Using the above three strength diagrams of same cycle number N_2 , the strength diagram of $\sigma_m - \sigma_m' - \sigma_a$ is represented by an elliptic-cone.

(Received Sep. 13, 1975)

1 緒 言

機械部品や構造部材は実働応力を受けて疲労破壊するが、その実働応力をモデル化した一例を Fig. 1 に示している。ここで A は応力振幅 σ_a に対する平均応力 σ_m の比（応力比）を表わす。実働応力は(a)の引張りと圧縮の応力が等しい、いわゆる両振りの場合よりも(b)以下に示した波形のように平均応力を有する場合の方が多くようである。また、(a)の両振りに関する実験には回転曲げ（小野式試験機）、平面曲げ（シェンク式試験機など）および引張圧縮（油圧サーボ式試験機など）の種類があり、それぞれ従来から数多くのデータが提出されている。しかし、(b)以下に示している一定または変動する平均応力を有する繰返し応力が負荷できる試験機は少なく、歴史的には Lazan¹⁾、平、田中、小寺沢らの動クリープの試験機などがあるが、現在では油圧サーボ式の試験機以外にはあまり見当たらず、高価で経費（とくに電力代）が高くて数多くのデータを必要とする疲労試験機としては問題が残る。

Fig. 1. An example of stress wave patterns.

そこで、筆者らは実験の都合上、(a)、(b)、(c)および(d)のように変動しない平均応力を有する波形に対してはシェンク式試験機を改造して面内曲げで、(e)や(f)などの波形に対しては試作試験機でそれぞれ平行して実

* 原稿受理 昭和50年9月13日

** 正 会 員 川崎重工業(株)技術研究所 明石市川崎町

験を行ない、それらの結果から繰返し数強度線図（高温では時間強度線図）を求め、一定の平均応力と変動する平均応力によって得られるそれぞれの疲労強度の関連性を考察しようと試みている。

2 実験装置および試験片

2・1 実験装置

Fig. 1 の(e)や(f)に示しているような重畳波形（高温では変動クリープや間けつ負荷クリープなどに相当する波形）を負荷して疲労試験に使用する目的で試作した変動クリープ試験機の外観を示したのが Fig. 2 である。すなわち、①に試験片を取り付け、②を支点として③のバネを介して⑮の荷重を⑫のモータによって下し、二本で構成されている⑦の梘子部に負荷すると Fig. 1 の(e)に示している一次波の応力 σ_m から二次波の繰返し応力 σ_a を引いた $(\sigma_m - \sigma_a)$ が試験片にかかる。 $(\sigma_m - \sigma_a)$ に相当する荷重が完全にかかると同時に⑩のバネを介して⑪の荷重を上下に動かし梘子部を通じて $2\sigma_a$ を試験片に負荷する（繰返し速度は毎分約40サイクルから1時間1サイクル程度まで任意に設定できる）。二本の梘子で構成した理由は横ゆれを防ぎ、試験片に安定した繰返し応力、一次波および二次波を負荷するためである。また、⑬や⑩のバネは一次波お

よび二次波の荷重が衝撃的にかかることを避け、試験片に正弦波の繰返し応力（二次波）や負荷応力（一次波）などを与える作用がある。一次波の上限保持時間 t_1 (t_1 は 0 分から24時間の間を任意に設定できる) が経過すると、⑫のモータによって⑮の荷重が引き上げられ始め、同時に⑪の荷重が上部に上って σ_a が 0 になったとき二次波は停止し、一次波も⑮の荷重によって 0 になると⑫のモータは停止する。しかし、⑬に荷重をかけておくことと試験片に一定の圧縮応力が負荷され、⑭に荷重をかけておくことと一定の引張応力が残る。休止時間 t_2 (t_2 は 0 分から60分の間を任意に設定できる) が経過すると再び上述の負荷を繰り返すことにより、Fig. 1 の(e)や(f)の波形の疲労試験をそれぞれ行なうことができる。③にロードセルを配置しているので試験片に発生する応力や応力波形などをチェックすることにより使用でき、⑤には二つのダイヤルゲージを配置して試験片に生ずる静的および動的伸びを測定できるようにした。

2・2 試験片

変動クリープ用丸棒試験片の形状および寸法は Fig. 3 の(a)に、シェンク式ねじり曲げ試験機(4kg-m)用平板試験片の形状および寸法は(b)にそれぞれ示して

Fig. 2. Appearance of new type of testing machine using cyclic creep.

Fig. 3. Test pieces.

Table I. Chemical composition and mechanical properties of test pieces.

Materials	Cu	Si	Mg	Zn	Fe	Mn	Cr	Ti	Al
7075 A	1.28	0.16	2.51	5.40	0.13	0.11	0.24	0.054	Bal.
7075 B	1.56	0.13	2.42	5.11	0.27	0.08	0.20	0.03	Bal.

Materials	Yield strength $\sigma_{0.2}$ (kg/mm ²)	Tensile strength σ_B (kg/mm ²)	Elongation ϕ (%)	Reduction of area ψ (%)
7075 A	42.5	52.9	11.1	14.4
7075 B	48.4	57.2	7.9	11.9

いる。また、Table I に示しているように、試験片用材料はいずれも高力アルミ合金 (7075-T 6) であるが、A材は変動クリープ試験機に、B材はシェンク式試験機にそれぞれ使用し、A材はB材よりもやや抗張力や耐力が低い。

3 実験方法

本研究の目標は金属材料の高温における各種波形による破断寿命を求めることであり、まず実験の容易な常温での実験を行ない、その結果を基礎資料として高温での実験を行なうことが考えられる。しかし、常温と高温の寿命試験における主要な相違は後者にクリープ損傷が顕著に現われてくることで、常温でのデータ整理も高温でのクリープ損傷を配慮しておく方が便利となる。

さて、応力振幅を σ_a (二次波)、変動しない平均応力を σ_m (一次波) とすると、高温では応力比 $A = \sigma_a / \sigma_m$ をパラメータとして破断時間 t_r (常温では破断繰返し数 N) を一定とする時間強度線図 (常温では繰返し数強度線図) を作成し、この強度線図によって任意の応力比の寿命強度を推定したり、Fig. 1 の(a)から(d)までの波形による破断強度と静クリープの破断強度や両振りの疲労強度の相関性を求めることなどが報告されている。しか

し、Fig. 1 の(e)や(f)の波形で得られる破断試験に関する資料は常温においても少なく^{7)~9)}、高温においてはほとんど見当たらない⁵⁾。それゆえ、平均応力 σ_m が変化しない波形と変化する波形による寿命の相関性は明らかでなく、これら一連の実験を行なうためには、まず、その関連性を定めておく方が有利であるように思われる。そこで、それらの関連性を立体強度線図の模型図で示したのが Fig. 4 で、図は t_r または N を一定として描いている。本実験は常温で行なっている関係上、以下、繰返し数強度線図で説明する。図を見ると、 x 軸方向に σ_m 、 y 軸方向に σ'_m 、そして z 軸方向に σ_a をとって図を描いている。この曲面を求める一連の実験は二次波の繰返し速度と一次波の σ'_m と σ_m の保持時間 t_1 と t_2 を一定として行ない、二次波の破断繰返し数 N_2 でまとめることが必要である。 xy 平面上も破断時間 t_r を N_2 に換算して N_2 基準としている。 y 軸または x 軸上は図中にその波形を示しているように、 σ'_m または σ_m が間歇的に負荷され σ_a が重畳している破断強度である。また、A点は正の xy 平面上の 45° の直線上にあって $\sigma'_m = \sigma_m$ で、 $\overline{OA}$ は静クリープ破断強度の $\sqrt{2}$ 倍の値となる。A点からD点にいくと σ_m が次第に小となり、E点では $\sigma_m = 0$ となる。したがって、 $\widehat{ADE}$ を求めることは平均応力の変化に対する破断強度の連続的な相関性を得たことになる。 $\widehat{ADE}$ に関しては各個別的にデータを散見するが、上述の見地からすると系統的にまとめられていないように思われる。つぎに、実験結果を整理するときに下限の保持時間 t_2 を損傷の時間に加える場合と加えない場合とがある。各個別に実験結果をまとめる場合には t_2 を加えるか加えないかは問題とならないが、曲面 ACE を求めるときには原則的に加える方が有利である。た

Fig. 4. Schematic representation of cubic strength diagram.

たとえば、曲面 ACE 上の一点 F の応力波形をみると、上限の一次波 σ_m' は t_1 時間、下限の一次波 σ_m は t_2 時間保持され、常に二次波 σ_a が重畳している応力波形による結果があれば、E 点は σ_m と σ_a が共に 0 による結果がプロットされていることになり、yz 平面上的 P 点は t_2 の時間中でも σ_a が負荷された破断強度となる。一方、P' 点は t_2 時間中は σ_a を休止した波形による結果とすれば、それに関連した G 点の波形はもちろん t_2 の時間中は休止した両振りの波形による結果をとらなければならない。それゆえ、破断までの Σt_1 と Σt_2 に相当する二次波を ${}_1N_2$ と ${}_2N_2$ とし、C 点における二次波の破断繰返し数を N_r として $\widehat{GP'E}$ と $\widehat{CPE}$ を yz 平面で比較すると、 $\widehat{GP'E}$ は $N_r = {}_1N_2 + {}_2N_2$ で求めた破断強度の曲線となるので $\widehat{CPE}$ よりも ${}_2N_2$ だけ寿命が長く、したがって N_r 一定に対する応力は yz 平面上的点線のようになる。このように、系統的に実験結果をまとめるときには、あらかじめ上述のことから考慮してデータを整理する必要がある。本論文では常温で下限の保持時間中は σ_a が零である関係上、 t_2 を加えずにデータを整理する。なお応力比は $A = \sigma_a / \sigma_m$ と $A' = \sigma_a / \sigma_m'$ の二とおりとなる。

さて、Fig. 4 は xy 平面上的の正の部分のみが描かれているから、一次波 σ_m' と σ_m の組合せにより静クリープから一次波の両振りの波形までの図を描くと Fig. 5 のようになる。すなわち、一次波の応力比 $\bar{A} = \sigma_m' / \sigma_m$ とすると図は P₁ 点の $\bar{A}=1$ から P₂ を通って $\bar{A}$ が次第に大となり、P₃ 点で $\pm\infty$ そして P₄ 点で -1 となる。Fig. 5 により実験を行ない、その結果を整理すると一次波が一定から両振りまで連続的にその結果が得られるので、常温においても高温においても Fig. 1 の(e)や(f)の波形などの寿命試験計画を Figs. 4 や 5 から系統的に立てることができ、立体強度線図を描くために必要な最小限の実験点を求める一つの目安をも求めることができる。

以上の考え方に基づき、新たに試作した変動クリープ試験機の性能を常温でチェックしながら Fig. 4 の yz 平面の $\widehat{GP'E}$ (t_2 は加えずに整理) と Fig. 5 の $\widehat{P_1P_4}$ を求めた。すなわち、一次波の上限保持時間 $t_1=60$ 分、下限保持時間 $t_2=5$ 分にとり、二次波の繰返し速度は毎分 36 サイクルとした。 $t_2=5$ 分と定めたのは常温では除荷したときのひずみの回復はわずかな時間で飽和し、再負荷後わずかな時間で回復したひずみは消滅する理由から定めた。また、一次波が負荷または除荷される速度はほぼ等しく 26~32 秒程度であった。なお、z 軸上の引張圧縮による両振りの試験は油圧サーボ式試験機で求め、繰返し速度は 300 cpm であった。Fig. 4 の $\widehat{ABC}$ に対してはシエンク式ねじり曲げ試験機 (4 kg-m) を用いて面内曲げで応力比 A が

Fig. 5. Schematic representation of plane strength diagram under $\sigma_a=0$.

0.20 から ∞ (両振り) の範囲で実験し、繰返し速度が 3 600 cpm であった。

4 実験結果

シエンク式ねじり曲げ試験機で変動しない平均応力を有する面内曲げ疲労試験を応力比 $A=0.2\sim\infty$ の範囲で行ない、繰返し応力 σ_a 基準で各応力比毎にまとめたのが Fig. 6 である。図は A をパラメータとして各応力比毎に寿命曲線が描けることを示している。Fig. 6 から破断繰返し数 $N_2=10^5, 10^6$ および 10^7 の繰返し数強度線図を描くと Fig. 7 のようになる。こ

Fig. 6. Fatigue life curves under $0.20 \leq A \leq \infty$.

Fig. 7. Strength diagram of cycle number N_2 ($N_2=10^5, 10^6, 10^7$).

の場合の $A=0$ については面内曲げの静クリープ破断強度が面内曲げ破断強度とほぼ一致するのではないかと考えたので、同一のシェンク式ねじり曲げ試験機で面内曲げ破断試験を行なったが、面内曲げ応力が 94 kg/mm^2 となっても破断せず、かなりの永久変形のみが残った。また、面内曲げの $A=\infty \sim 0.35$ の範囲内では Fig. 7 のように両振りの応力振幅 σ_{a0} と引張強さ σ_B を結ぶ二点鎖線で強度線図を表わしても大略、実験結果と一致しているようである。したがって、引張圧縮で $A=\infty \sim 0$ の範囲の実験をした場合でも σ_{a0} と σ_B を結ぶ直線は強度線図になることが推定される。そして実際に変動クリープ試験機を用いて得た引張圧縮型の実験結果でチェックすると、よく一致した結果を得ているが紙面の関係上割愛する（後述の Fig. 15 を参照のこと）。なお、Fig. 7 の強度線図が $A < 0.35$ になると二点鎖線よりも明らかに上方に上るようになるのは、 $\sigma_B = 57.2 \text{ kg/mm}^2$ にもかかわらず面内曲げでは 94 kg/mm^2 でも破断しないという面内曲げの特性がこの近傍から疲労に対しても顕著に現われているように思われる。

Fig. 4 の yz 平面に相当する疲労試験と応力比 A' が零から 0.78 の範囲で行ない、繰返し応力 σ_a 基準で図を描いたのが Fig. 8 である。ただし図中の $A' = \infty$ の

Fig. 8. Fatigue life curves under alternation of stress superimposed on cyclic varying mean stress (σ_a basis).

みは油圧サーボ式試験機による結果であり、休止時間 $\sum t_2$ はすべて加算していない。図は $A' = \infty$ を除いては各応力比毎に寿命曲線を引くことがこの図のみでは困難で図中にはこれらの寿命曲線の代表として $A = 0.57$ のみを示した。そこで、Fig. 8 を平均応力 σ_m' 基準で書き直したのが Fig. 9 である。Fig. 9 と Fig. 8 の寿命曲線から二次波の破断繰返し数 $N_2 = 10^5$ と 10^6 の繰返し数強度線図を描いたのが Fig. 10 である。図は多少凸凹はあるが、いずれも大略二点鎖線の直線で示すことができるように思われる。また、Fig. 8 で A' 毎に寿命曲線を描くことが困難であったのは A' が $0.78 \sim 0.48$ の範囲で Fig. 10 の強度線図が比較的 σ_m' 軸に平行であることで示されている。

Fig. 9. Fatigue life curves under alternation of stress superimposed on cyclic varying mean stress (σ_m' basis).

Fig. 10. Strength diagram of the 2nd wave's cycle number N_2 ($N_2 = 10^5, 10^6$).

Fig. 11. Fatigue life curves under only cyclic varying mean stress (σ_m' basis).

さて、Fig. 4 の立体強度線図の模型図に対応する図を求めるために、二次波の応力 σ_a を 0 とし一次波のみで応力比 $\bar{A} = \sigma_m' / \sigma_m$ を $+1$ から $\pm\infty$ および -1 の範囲で実験を行なった。そして一次波 N_1 で求められた結果を二次波 N_2 に換算 ($36 \times 60 N_1 = N_2$) して整理し、 σ_m' 基準で寿命曲線を描いたのが Fig. 11 である。図を見ると、 $\bar{A} = -1$ から $\pm\infty$ の方へ移行するにつれ寿命曲線のこう配は水平に近づき、 $\bar{A} = +1$ で水平になっている。また、これらの実験結果はいずれも下限保持時間 $\sum t_2$ を除いているが、常温におけ

Fig. 12. Strength diagram of the 2nd wave's cycle number N_2 corresponding to x - y axes plane of Fig. 5.

る静クリーブ破断寿命は Fig. 11 にも示しているように時間に無関係であるから Fig. 11 のまとめには何らの支障はない。Fig. 11 の寿命曲線から $N_2=10^5$ と 10^6 の繰返し数強度線図を描いたのが Fig. 12 で、それぞれ中黒丸印と白丸印で示されている。なお、図中の黒丸印は Fig. 15 の黒丸印 P'_2 点を示し、後述している。実験点が少ないので明確にはいえないが、いずれもほぼ円かまたは上に凸なる二直線を示していて、 $\bar{A}=-1$ で 10^5 と 10^6 の強度の差が最大となっている。また、Fig. 12 に示している OP_1 を X 軸、 OP_4 を Y 軸にとり、 $OP_1=B$ 、 $OP_4=C$ として図がだ円ならば

$$\frac{X^2}{B^2} + \frac{Y^2}{C^2} = 1 \quad (1)$$

なる関係式で表わすことができる。ただし、 B と σ_m 、 σ'_m との関係は $(\sigma_m)_{Y=0} = (\sigma'_m)_{Y=0} = \sigma_{m0}$ で $B = \sqrt{2} \sigma_{m0}$ となり、 C とそれらの関係は $(\sigma_m)_{X=0} = (\sigma'_m)_{X=0} = \sigma_{m\infty}$ で $C = \sqrt{2} \sigma_{m\infty}$ となる。なお、 $\sigma_{m0} \cong \sigma_B$ で静クリーブ破断強度の値をとり、 $\sigma_{m\infty}$ は平均応力が両振りしたときの応力振幅の値をとる。したがって、(1)式から

$$\frac{X^2}{\sigma_{m0}^2} + \frac{Y^2}{\sigma_{m\infty}^2} = 2 \quad (2)$$

が導かれる。

5 実験結果に対する考察

現在、回転曲げや平面曲げによる寿命曲線と引張圧縮による寿命曲線の相関性は、いまだ比較した例は少なく、あまり明確にされていないが、断面形状や負荷方法などの相違が絡んでいることが一つの理由のように思われる。しかし、筆者らの資料¹⁴⁾と他の資料¹⁵⁾を合わせ、両振りの面内曲げの応力振幅 σ_{ar} と両振りの引張圧縮の応力振幅 σ_{at} の比を縦軸に、破断繰返し数 N を横軸にとって片対数で描いたのが Fig. 13 である。なお σ_{ar}/σ_{at} の値は各種炭素鋼 (S10C から S55C) の多くの実験結果の平均値を使用している。図は $N=10^5$ と 10^6 では σ_{ar}/σ_{at} はほぼ 1.20 と 1.16 程度を示している。本実験では $N_2=10^5$ と 10^6 において Fig. 7 の面内曲げでは $A=\infty$ の値は 22.3 と 19.6 kg/mm² であり、Fig. 10 の引張圧縮におけるそれは 20.3 と 17.3 kg/mm² となっているので、 A 材と B 材が同一材料であれば本実験結果では σ_{ar}/σ_{at} は 1.10 と 1.13 程度と

Fig. 13. Experimental ratio of plane type bending fatigue life of metals to the tension-compression type fatigue life.

Fig. 14. Schematic representation of cubic strength diagram on the basis of X - Y axes.

なる。しかし、A材とB材とはやや抗張力など異なっているので定量的に比較することはできないが、もしも、Fig. 7に相当する実験をA材でしかも引張圧縮で行なっていたとすると、Fig. 4のABCはFig. 7に示している二点鎖線($A=0$ では $\sigma_B=52.9 \text{ kg/mm}^2$ となり、 $A=\infty$ はFig. 10の値をとる)で概略を示すことができ、Fig. 10の二点鎖線はFig. 4のyz平面のEG曲線に相当し、 Σt_2 は加算していないのでG点とC点は一致することが考えられる。

つぎに、Fig. 12によってFig. 5のxy平面上の曲線が求められているので、たとえば、 $N_2=10^6$ に対してFigs. 7, 10および12を組み合わせた図を描くとFig. 14の立体強度線図が得られる(X軸、Y軸についてはFig. 5を参照のこと)。この立体強度線図をだ円錐として式で表わすと

Fig. 15. Comparison of test results and assumed values.

$$\frac{X^2}{B^2} + \frac{Y^2}{C^2} + \frac{Z}{\sigma_{a0}} = 1 \quad (3)$$

または

$$\frac{X^2}{\sigma_{m0}^2} + \frac{Y^2}{\sigma_{m\infty}^2} + \frac{2Z}{\sigma_{a0}} = 2 \quad (4)$$

となる。なお、 σ_{a0} はZ軸上の両振りの値である。そこで応力比 $A'=1/2$ 、 $\bar{A}=2$ なる寿命曲線を求め、 $N_2=10^5$ の繰返し数強度線図を描くとFig. 15の白丸印のようになり、ほぼFig. 14の曲面上にあるという結果を得た(Fig. 15の OP'_2 はFig. 12の OP'_2 と一致する)。もちろん、実験結果と(4)式で示された立体強度線図が比較的良好な場合と合わない場合があることはFigs. 7, 10および12を見ても明白であるから正確な値を必要とするときはそれぞれの材料で確認の実験をしなければならない。また、上限保持時間などの異なる疲労寿命に関してはだ円錐を求める最小限の実験を行ない、上述のようにして求められただ円錐と比較検討すれば、ある程度の寿命推定ができると考えている。また、高温の場合には N_2 の代わりに破断時間 t_r を用いればよく、Fig. 7の強度線図がだ円¹⁶⁾で示されていることからFig. 14の点線のようなだ円体となることが推定される。

6 結 言

変動クリープ試験機を試作し、高力アルミ合金(7075 T6)を試験片として常温でその性能をチェックしながら変動する平均応力 σ_m' (一次波)に繰返し応力 σ_a (二次波)を重ねさせての疲労試験を行なったが、試験機はそれぞれの実験を遂行する性能を所有していることが明らかとなった。一方、シュンク式ねじり曲げ試験機を使用して同材料に対する変動しない平均応力を有する疲労試験を行なった。これら二種類の試験機によって得られた実験結果を二次波の破断繰返し数 N_2 で整理し、その結果を考察すると次のことがらを明らかにすることができた。すなわち

(1) 一定の平均応力 σ_m を有する疲労試験結果を応力振幅 σ_a 基準で寿命曲線を描き、その結果を用いて繰返し数強度線図を描くと、大略、直線で示すことができた。また、間けつ負荷で変動する平均応力 σ_m' に σ_a が重畳する波形の疲労試験結果を σ_m' 基準で応力比 $A'=\sigma_a/\sigma_m'$ をパラメータとして寿命曲線を描き、その結果を用いて繰返し数強度線図を描くと、大略、直線で示すことができる。つぎに、二次波 σ_a を負荷せず、応力比 $\bar{A}=\sigma_a/\sigma_m$ を+1から $\pm\infty$ そして-1までの範囲で一次波 σ_m' と σ_m を変動させ、二次波の破断繰返し数 N_2 に換算して寿命曲線を描き、繰返し数強度線図を求めると、大略、だ円または上に凸なる二つの直線で示すことができる。

(2) 上述の三つの繰返し数強度線図を用い、x軸方向に σ_m 、y軸方向に σ_m' そしてz軸方向に σ_a をとって立体強度線図を描くと、大略、だ円錐の曲面が得られる。それゆえ、 σ_m' および σ_m の保持時間が固定された範囲内で、このだ円錐の曲面を用いれば、たとえば、 $N_2=10^5$ における破断強度を推定する上で便利となり、より少ない実験結果で寿命推定の見通しの方針を立てることができるようになった。

(昭和50年6月10日 第233回日本機械学会関西支部講演会にて講演)

参 考 文 献

- 1) Lazan, B. J., Proc. ASTM, **49**, 757 (1949).
- 2) 平 修二, 田中吉之助, 小寺沢良一, 材料試験, **7**, 545 (1958).
- 3) 中村 宏, 皆田日出男, 岡田友信, 機械学会講演論文集, No. 745-1, p. 45 (1974).
- 4) 皆田日出男, 中村 宏, 岡田友信, 機械学会関西支部第233回講演論文集, p. 63 (1975).
- 5) 平 修二, 金属材料の高温強度, p. 244 (1968) 養賢堂
- 6) 皆田日出男, 中村 宏, 機械学会関西支部50期講演論文集, p. 73 (1975).
- 7) 中村 宏, 皆田日出男, 堀川 武, 日本材料学会第10回材料強度に関する討論会, p. 177 (1973).

- 8) 中村 宏, 皆田日出男, 日本材料学会疲労部門委員会資料, p.1 (1975).
- 9) 堀川 武, 中村 宏, 公江茂樹, 日本機械学会論文集, **40**, 1239 (1974).
- 10) Koterazawa, R., U.S. Air Force Materials Laboratory Technical Documentary Report, 64-166 (1964).
- 11) 平 修二, 田中吉之助, 大路清嗣, 春本 功, 機械学会論文集, **25**, 155 (1959).
- 12) Manson, S.S., Mechanical Behavior of Materials at Elevated Temperature, 419, J. E. Dorn 編集 (1961) McGraw-Hill, New York
- 13) Manson, S.S., and W.F. Brown, ASTM STP, No. 260, p.65 (1959).
- 14) 中村 宏, 恒成利康, 皆田日出男, 堀川 武, 岡崎章三, 馬越立郎, 川崎技報, 56号, p.7 (1975).
- 15) 日本機械学会発行, 金属材料の疲れ強さ設計資料(1961) から抽出
- 16) NACA Subcommittee on Power Plant Materials, NACA Report 1288 (1956).