

鉄鋼の疲労強度のばらつき*

中 沢

—**

Statistical Properties for Fatigue Strength of Steels

Hajime NAKAZAWA

金属の疲労強度がどのくらいの値であるかということは重要な問題であり、そのことが人類の生活に大きなかわり合いをもっていることは、現在では単に技術者だけではなく、一般の人々も広く認識するところとなっている。

これはコメット機や YS-11 あるいは最近の DC-10 などのように、多数の人命が失われる航空機の墜落事故が発生するたびに、その原因として金属疲労が喧伝されたことによるものであり、疲労破壊に対する関心がこのように一般化することはかつては予想もされなかつたことである。

設計技術者の金属疲労に関する知識もそれに伴って一段と向上し、重要な機械構造物の要素では変動荷重を受けると思われるものはすべて、疲労強度を考慮に入れて設計製作されている。

しかしながら現実には航空機事故を始めとする多くの疲労破壊事故は生じている。年々多数の疲労に関する研究論文が発表されていることもまた事実であり、それらがわれわれの生活に何らかの寄与をしていることは確かであつて、技術者は疲労破壊事故防止のために一層努力する必要がある。

疲労破壊事故の原因として考えられることは、設計ミスや工作ミス、あるいは応力評価の見積り違い、管理不完全、操作ミスなど数多くの因子があり、見掛け上疲労強度にばらつきを生ずることが原因である。しかし、このようなすべての変数が取り除かれても疲労強度にばらつきが残ることは疑いもないことであり、これは疲労試験の結果からも明らかである。これは材料や試験片の不均一性に起因するもので、McCLINTOCK¹⁾ はばらつきの原因を具体的にインゴット間の相違、インゴットからの試験片採取位置の相異、熱処理のばらつきをあげ、さらに機械加工や表面仕上げのばらつきについても指摘している。また WEIBULL²⁾ や横堀³⁾ は材料自身をもつ疲労強度に対する統計的性質を指摘している。最近、西島⁴⁾ は

は金材技研において注意深く実施された疲労試験のデータから、二三の鋼の確率疲労特性について報告しており、疲労強度のばらつきが最近とくに重要視されるようになった。

ここでは各種の鋼の疲労強度とそのばらつきについて、公表されているデータを設計者がどのように利用すべきかという立場から検討を行つた。

1. 疲労試験データとそのばらつき

鋼の疲労強度のばらつきに関する研究は横堀³⁾ や MÜLLER-STOCK⁵⁾ を始めとする多くの研究があり、これらについては横堀の著書⁶⁾ に詳細に述べられている。また設計を考える場合には日本機械学会 (JSME) の「金属材料疲れ強さの設計資料」⁷⁾ や最近、金属材料技術研究所が膨大な実験を行つて公表した国産材料についての「疲れデータシート」⁸⁾ が便利である。しかし、これらの資料を利用する場合に注意しなければならないことは、多くのデータが S-N 曲線の傾斜部については実験点の中央を通り、いわゆる 50% 非破壊確率となる曲線が目見当で描かれているのに対して、疲労限度については、その値以下では実験した範囲内で疲労破壊を生じない上限の応力値が採用されていることである。したがって 1 本の S-N 曲線でありながら傾斜部と水平部では疲労強度の統計的意味を考える上からは統一を欠いていることになる。このような不統一を解消するために、疲労試験法の規格 JIS Z 2273 (1974)⁹⁾ を制定する際に、疲労限度についても数本の試験片を用い、およその平均値 (約 50% の非破壊確率となる値) を採用するように定めているが、この方法は一般に普及していない。以下にはこれらのことを考慮しながら、資料集そのほか種々のデータについて検討した結果について述べる。

1.1 同種の鋼の疲労強度のばらつき

規格において鋼種が同一と見なすことができ、熱処理、引張強さ、かたさなどが規格範囲内に含まれるもの

* 昭和 54 年 11 月 16 日受付 (Received Nov. 16, 1979) (依頼技術資料)

** 東京工業大学工学部 工博 (Tokyo Institute of Technology, 2-12-1 Ookayama Meguro-ku 152)

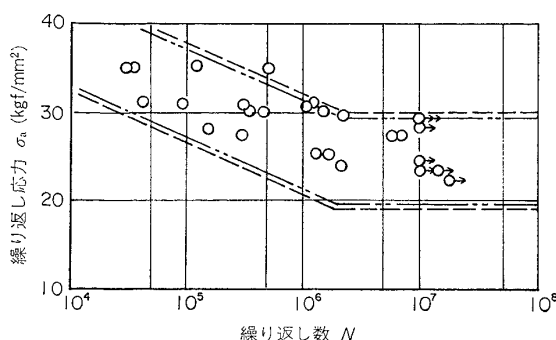


図1 S25C 焼ならし材の回転曲げ疲労強度 (JSME)

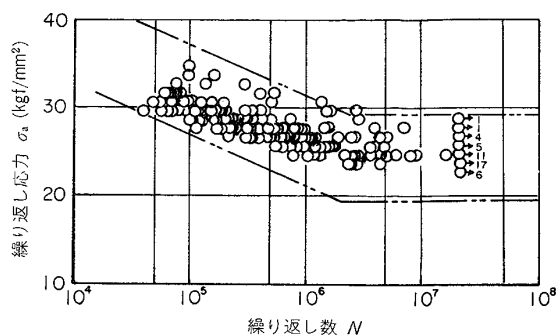


図2 S25C 焼ならし材の回転曲げ疲労強度 (金材技研)

を同種の鋼とし、時間強度、疲労限度などいわゆる疲労強度とそのばらつきについて比較してみる。

疲労強度とそのばらつきについては前述の日本機械学会の資料⁷⁾に、広い範囲の鋼種についてまとめられており、また金材技研でも S25C, S35C, S45C および S55C などの鋼について疲れデータシートを公表している⁸⁾。後者のデータについてはいずれそれらの統計的性質についての解析結果が発表されると思うので、ここでは後者のデータと前者のデータの比較について述べる。ただし、前者のデータが発表された当時の材料規格は現在の材料規格と若干異なっており、同一表示記号の鋼でありながら成分範囲が異なるため部分的に補正をした後に比較しなければならない。

一例として S25C 焼ならし材の回転曲げ疲労強度のばらつきについて検討してみる。炭素量の成分割合は旧 JIS では 0.20~0.30% となつていますが、現在の JIS では 0.22~0.28% となっており、そのほか Si, P, S などの成分もそれぞれ旧 JIS に比較して含有割合の上限が若干低い値となつています。したがって前者の資料集のデータのばらつきを現規格材にあてはめ比較するためには、疲労強度のばらつきの上下限線を化学成分の含有割合に対応させて引き直す必要がある。ここでは強度に大きい影響を与える炭素量の成分%に合わせて疲労強度のばらつきの修正を試みた^{*}。図1は JSME の資料集にある S25C 焼ならし材の回転曲げ疲労強度のばらつきを示したものであつて、点線は旧 JIS 規格による炭素量成分%に基づく疲労強度のばらつきの上下限線であり、2点鎖線は現規格に適合するように引き直した S25C 焼ならし材に対する回転曲げ疲労強度のばらつきの上下限線である。

また、図2の○印は金材技研が公表した S25C 焼ならし材に関する回転曲げ疲労データであつて、図中の2点鎖線は図1に示した2点鎖線と同じものであり、JSME の資料集のデータより求めた現規格による S25C 焼ならし材の回転曲げ疲労強度の上下限線である。図から明ら

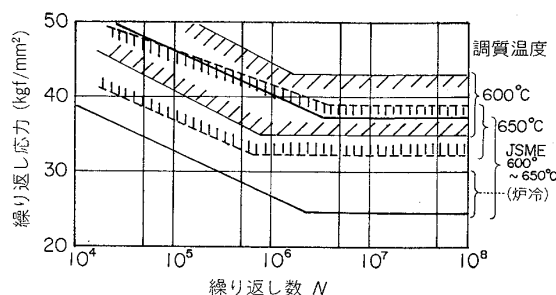


図3 S35C 焼入れ焼もどし材の回転曲げ疲労強度

かなように、細密な注意のもとに実験が行われたと思われる金材技研のデータは JSME の資料集から求められる分散帯の中に分布しているが、長寿命側では分散帯の中の応力の高い側にかたよつています。このことは現在の JIS 規格材において Si, P, S などの不純物が少なくなつてきていることに原因があるかもしれないが、詳細はわかりません。

図3は S35C 焼入れ焼もどし材の回転曲げ疲労強度のばらつきの上下限であつて、JSME の資料集に示されているものを S25C の場合と同様に Si, P, S などの影響は無視し、現在の JIS 規格の炭素成分量のみを考慮して、その範囲 0.32~0.38% に適合するように引き直したものである。金材技研で行われた同種の鋼材についての実験データは 600°C 焼もどし材 253 点、650°C 焼もどしのもの 248 点あるが、それぞれ図中に影線で示した分散帯の中に分布している。なお、JSME の資料集から求められた上限線の上方にははずれている実験点は約 110 点ある。

以上のことは疲労強度のばらつきは単に鋼種を指定するだけではかなり大きい、その範囲は JSME の資料より知ることができ、さらに細密な注意のもとに熱処理、加工、および疲労試験に至るまで慎重に行われて求められた疲労強度は、一般の疲労強度の下限値よりは十分に高い値となることを示している。とくに近年は製鋼法が著しく進歩し、それに伴つて含まれる不純物も減少しているので、この傾向は一段と拡大されるものと思う。

* 炭素量の成分%に対応させて S-N 曲線の上下限を引き直すには同資料解説にある疲労限度の上下限の決定方法 (12p) に準じればよい。

1.2 同一チャージの鋼の疲労強度のばらつき

同一チャージの鋼でもその疲労強度は数個所で実験を行うとかなりばらつきのある結果が得られる。もちろん疲労試験機の相異による影響も考えられるが、そのような影響が最も少ないと思われる小野式回転曲げ疲労試験機による実験でもこのことは明瞭に現れる。

日本材料学会の疲労部門委員会では以前に当時の委員長であつた河本実教授の指導のもとに重複荷重による材料の疲労強度について共同研究を行つたが、そのとき数社の材料メーカーの協力を得て、同一チャージの材料を2~3mの棒材とし、数本ずつ各研究機関に配布し、一定の条件で試験片を製作して疲労試験を実施した。成果は委員会報告¹⁰⁾として発表されているので、それらのデータのうち炭素鋼に関するデータを同一チャージの鋼ごとにまとめると図4, 5, 6が得られる。各研究機関ごとのデータは少ないばらつきで、それぞれ1本のS-N曲線

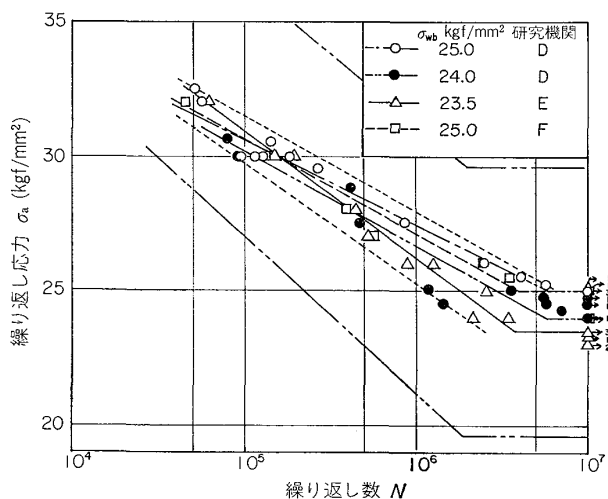


図4 軟鋼 (0.22% C, 焼ならし材) の回転曲げ疲労強度 (890°±10°C にて 30 min 加熱後大気中にて空冷)

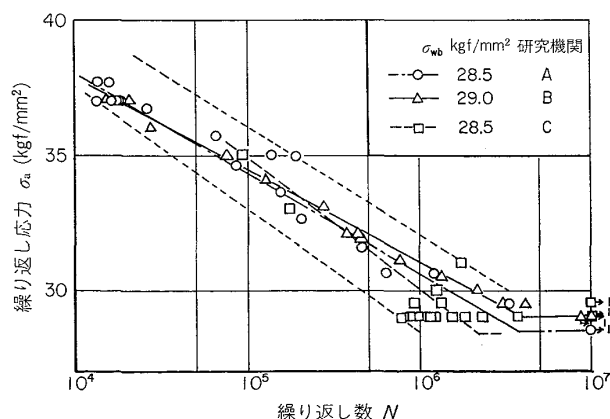


図5 半硬鋼 (0.39% C, 焼ならし材) の回転曲げ疲労強度 (860°±10°C 30 min 加熱後大気中にて空冷)

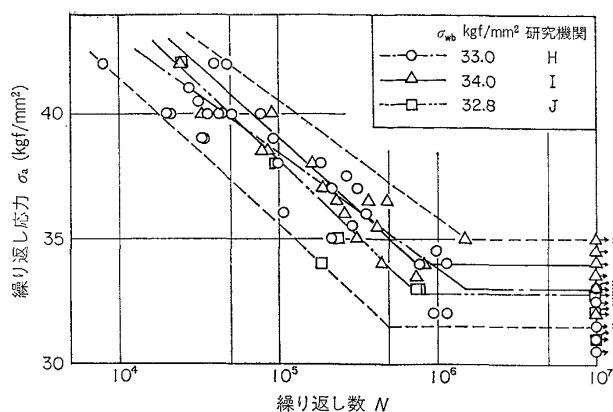


図6 硬鋼 (0.64% C, 焼ならし材) の回転曲げ疲労強度 (830°C 40 min 加熱大気中焼ならし後 650°C 1 h 再加熱大気中冷却)

で表示されているが、研究機関相互の S-N 曲線の間には同一チャージの鋼でありながら明らかに差がある。ことに図4の○と●印はある研究機関が配布された棒材を二つに分け、それぞれから製作した試験片についての実験結果であつて、両者の疲労特性の上には明らかに差があることがわかる。これらのことから同一チャージの材料でも研究機関が異なれば異なつた実験結果が得られるのは当然のことと考えられ、図4~6では各研究機関の結果をまとめて実験結果の上・下限線として太い点線で示した。この幅はもちろん単一機関で得られたデータのばらつきより大きい。

また報告された疲労限度も研究機関により中央値と思われる値を採用しているものも、また疲労破壊を生じない上限の応力を採用しているものもあり、研究機関により統一を欠いているが、最高値と最低値では軟鋼で6% 半硬鋼で2%, 硬鋼で4%の差がある。

なお、図4の0.22% C 鋼焼ならし材についてのデータは図1に示した S25C 材に相当するので、その上下限線を図中に2点鎖線で示してある。同一チャージの鋼の疲労強度のばらつきを規格の材料区分に従つた疲労強度のばらつきと比較すると、前者は後者の1/5程度であり、設計では使用材料と同一チャージの材料でS-N曲線を求めておくことが重要であることがわかる。

つぎに同一チャージの試験片を多数用意して、幾つかの応力レベルで各応力レベルごとにそれぞれ10数本の試験片を用意して実験を行えば、非破壊確率を考慮したいわゆるP-S-N曲線を描くことができる。図7はP-S-N曲線⁴⁾の一例であつて、数種類の鋼についてP-S-N曲線が求められている。また、このような実験によつて破断寿命の分布についての情報も得ることができ、一般には破断寿命 $N_f \leq 5 \times 10^5$ では破断寿命は対数正規分布で近似できるが、さらに長寿命の領域ではワイブル分布のほうが近似度はよいとされている。そして、平滑試験片と切欠き試験片とでは一定応力における破断寿命

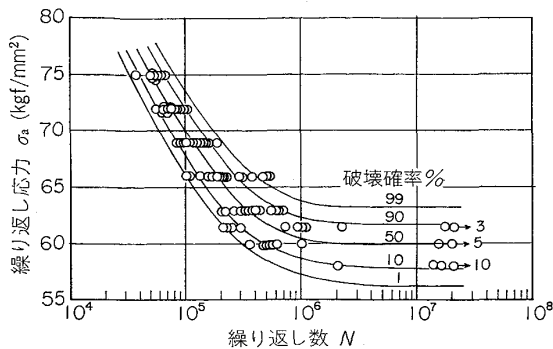


図 7 SCM435 鋼の P-S-N 曲線 (回転曲げ)⁴⁾
(850°C 30 min 焼入れ, 600°C 60 min 焼
もどし, $\sigma_B = 106 \text{ kgf/mm}^2$)

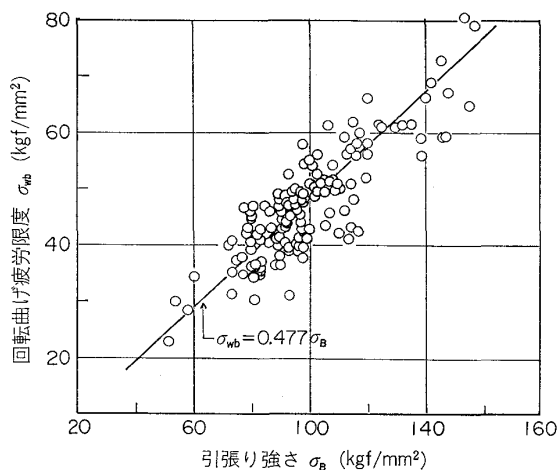


図 8 構造用合金鋼の引張強さ σ_B と回転曲げ疲労
限度 σ_{wb} の関係

の変動を比較すると、切欠き試験片のほうが寿命の変動は小さい¹²⁾。

時間強度の分布は P-S-N 曲線群を一定の破断寿命のところで疲労試験を打ち切った形で求められるが、西島らが実験結果を整理した結果⁴⁾によれば、疲労限度も含めてその分布は平滑材については正規分布となり、その変動係数は $N_f = 1 \times 10^5 \sim 1 \times 10^7$ の範囲ではほぼ一定とみなし得るが、切欠き材の場合には弱い側への分散が若干大きい非対称な分布となる。

2. 疲労強度と機械的性質の関係

2.1 引張強さと疲労限度の関係

引張強さと疲労強度とくに疲労限度との関係はほぼ正比例の関係にあることはよく知られており、図 8 には構造用合金鋼 (Ni 鋼, Ni-Cr 鋼, Ni-Cr-Mo 鋼, Ni-Mo 鋼, Cr 鋼, Cr-Mo 鋼, Cr-Mo-V 鋼, Ni-Cr-Mo-V 鋼、ばね鋼など) の回転曲げ疲労限度 σ_{wb} と引張強さ σ_B の関係⁷⁾¹¹⁾をプロットした。ただし、ここに示されている疲労限度はいわゆる中央値すなわち 50% の非破壊確

表 1 構造用合金鋼の疲労限度と引張強さの比の統計値

疲 勞 限 度	デー タ 数 n^*	疲 勞 限 度 と 引 張 強 さ の 比	
		平 均 値 $\bar{x}$	標 準 偏 差 S_n^{**}
回 転 曲 げ σ_{wb}	147	0.477	0.0541
両 振 り 引 張 圧 縮 σ_{wz}	39	0.409	0.0286
両 振 り ね じ り τ_w	27	0.279	0.0302
両 振 り ね じ り (ばね鋼のみ) τ_w	12	0.291	0.0319

* JSME 資料⁷⁾および学振 129-5 分科会編資料集のデータ¹¹⁾を用いた。

** 実験データの標準偏差 $S_n = \left\{ \frac{1}{n} \sum (x_i - \bar{x})^2 \right\}^{1/2}$

率となる疲労限度ではなく、従来の一般的方法によるデータが大部分である。したがって後述の表 2 に示されているように中央値より 3~5% 程度低い値である。図 8 より σ_{wb} が σ_B に正比例するとして平均値を求めると

$$\sigma_{wb} = 0.477 \sigma_B \dots \dots \dots (1)$$

となる。この関係は上記の理由から現在の JIS の試験法による疲労限度に読み替えれば

$$\sigma_{wb} \cong 0.50 \sigma_B \dots \dots \dots (2)$$

と考えてよいであろう。

西島は金材技研での「疲れデータ・シート」をもとにして、S35C, S45C, S55C, SCM 435*, SCM 440*, および SCr440* の疲労限をとりまとめ、その中央値は $\sigma_{wb} = 0.99 \sigma_B^{0.91} \text{ (N/mm}^2\text{)} \dots \dots \dots (3)$

であることを報告している¹²⁾。これより $\sigma_B = 100 \text{ kgf/mm}^2$ および 60 kgf/mm^2 の鋼について曲転曲げ疲労強度を求めればそれぞれ $\sigma_{wb} = 53.3 \text{ kgf/mm}^2$, および 33.5 kgf/mm^2 となり、(2)式の値より約 6%, (1)式の値より約 12% 高い値が得られている。

表 1 は構造用合金鋼の疲労限度と引張強さの比 x の平均値 $\bar{x}$ と標準偏差を従来のデータより計算したものである。表 1 より回転曲げ疲労限度に対する両振りねじり疲労限度の比を求めれば

$$\frac{\tau_w}{\sigma_{wb}} = \frac{0.279}{0.477} = \frac{1}{1.71} \cong \frac{1}{\sqrt{3}} \dots \dots \dots (4)$$

となり、従来いわれているように疲労限度を決めるクライテリアンとしてせん断ひずみエネルギー説が妥当なものであることがわかる。

また、金材技研のデータに関しては

$$\tau_w = 0.47 \sigma_{wb}^{1.06} \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

と報告¹²⁾されており、これより両振りねじり疲労限度と回転曲げ疲労限度との関係を求めると

$$\sigma_B = 100 \text{ kgf/mm}^2 \text{ の鋼} \\ \tau_w = 3.64 \text{ kgf/mm}^2 = \sigma_{wb} / 1.46 \dots \dots \dots (5)$$

$$\sigma_B = 60 \text{ kgf/mm}^2 \text{ の鋼} \\ \tau_w = 22.3 \text{ kgf/mm}^2 = \sigma_{wb} / 1.50 \dots \dots \dots (6)$$

* 1979.2 JIS 改正により、それぞれ SCM3, SCM4 および SCr4 の表記が改正されたものである。

となり、(4)式で計算される値よりも両振りねじり疲労限度は若干高い値が得られている。

両振引張圧縮疲労限度の値については従来の実験結果から評価する限りにおいては表1に示すように回転曲げ疲労限度の約85%であつて、一般に予想されている値よりも低い。これは両振引張圧縮の疲労試験そのものがかなりむづかしく、曲げ応力を伴っていることが考えられ、そのために両振り引張圧縮の疲労限度が低い値で求められているのではないかと推測されるが、正確なことはわからない。しかし、回転曲げ疲労限度の応力勾配がなくなつた場合が両振引張圧縮の疲労限度であると考え、疲労限度の寸法効果係数を利用して両振引張圧縮疲労限度を求める¹³⁾と

$$\sigma_{wz}/\sigma_{wb} \cong 0.90 \dots \dots \dots (5)$$

が得られる。さらに、金材技研のデータを整理した西島の報告¹²⁾によれば

S25C 及び S45C 焼ならしをした材料

$$\sigma_{wz}/\sigma_{wb} \cong 0.90 \dots \dots \dots (6)$$

調質した S55C 鋼以上の強度の材料

$$\sigma_{wz}/\sigma_{wb} \cong 1.0 \dots \dots \dots (7)$$

となつており、引張圧縮疲労限度の中央値は回転曲げ疲労限度の中央値の0.90~1.0倍の値と考えるのが妥当であらう。

2.2 かたさと疲労限度の関係

かたさが引張強さとよい対応を示すことから明らかに、かたさは疲労限度ともよい対応を示し、ほぼ正比例するとみなすことができる。

図9は構造用合金鋼の回転曲げ疲労強度 σ_{wb} とビッカースかたさ Hv^* の関係⁷⁾¹¹⁾を示したものであつて、疲労限度は図8の場合と同様な意味の値である。 $\sigma_{wb}/$

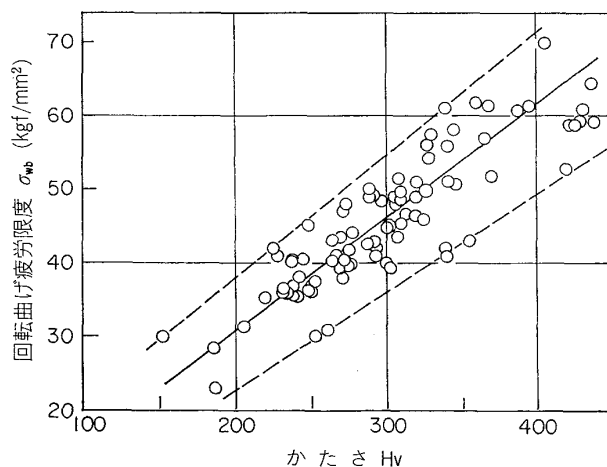


図9 構造用合金鋼のかたさと回転曲げ疲労限度
($n=84$, $\bar{y}=\sigma_{wb}/\sigma_B$)_{mean} $=0.154$, $S_n=0.0153$)

* ブリネルかたさ H_B で表示されたデータは SAE Hand Book (1963) によつてビッカースかたさ Hv に換算した。

$Hv=\gamma$ とし、その平均値を $\bar{\gamma}$ とすれば $Hv \leq 440$ において

$$\left. \begin{array}{ll} \text{データ数} & n=84 \\ \sigma_{wb}/Hv \text{ の平均値} & \bar{y}=0.154 \\ \gamma \text{ の標準偏差} & S_n=0.0153 \end{array} \right\} \dots \dots \dots (8)$$

となつている。

かたさの値のさらに大きな範囲では資料は少ないが、おおよその平均値は

$$\left. \begin{array}{ll} Hv=500 \text{ で} & \sigma_{wb} \cong 75 \text{ kgf/mm}^2 \\ Hv=600 \text{ で} & \sigma_{wb} \cong 81 \text{ kgf/mm}^2 \\ Hv=700 \text{ で} & \sigma_{wb} \cong 85 \text{ kgf/mm}^2 \end{array} \right\} \dots \dots \dots (9)$$

である。なお、金材技研の疲労データに基づく前記西島の報告¹²⁾によれば

$$\sigma_{wb} = 2.27 Hv^{0.95} \text{ (N/mm}^2\text{)} \dots \dots \dots (10)$$

$$\tau_w = 0.94 Hv^{1.03} \text{ (N/mm}^2\text{)} \dots \dots \dots (11)$$

となり、 $Hv=300$ の鋼について式(10)より計算される回転曲げ疲労限度の中央値は $\sigma_{wb}=52.2 \text{ kgf/mm}^2$ となり、式(8)より求められる疲労限度より約13%高い値となつている。

2.3 時間強度のばらつき

時間強度についても機械的性質と関連して調べた報告¹⁴⁾があり、構造用合金鋼では破断繰返し数 N_f が 10^5 程度以上の大きな値の場合には引張強さ σ_B が大きいほど時間強度の値が大きくなり、また N_f が 10^4 以下では時間強度は引張強さにはほとんど影響されず、むしろ破断伸びの大きな材料ほど時間強度は大きな値となる。

図10**は破断繰返し数 $N_f=10^5$ の場合の繰返しひずみ全振幅 ϵ_{TR} で表した時間強度と引張強さとの関係をプロットしたもので、その中央値は

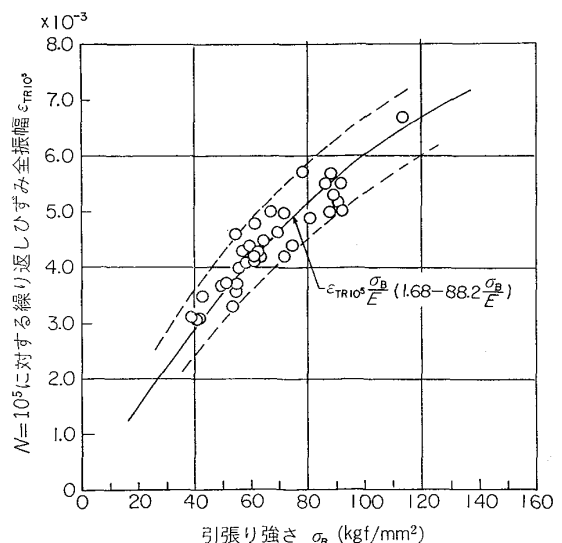


図10 低サイクル疲労における時間強度 ϵ_{10^5} と引張強さ σ_B の関係 (構造用鋼および低合金鋼)

** L. F. KOOSTRA のデータ¹⁴⁾に著者らならびに学振 129-5 分科会のデータを追加して整理したものである。

表 2 鋼 の 疲 勞 限 と ば ら つ き

形 状	材 料	熱 処 理	σ_B kgf/mm ²	疲労限度 ^{C)} kgf/mm ²				S^D kgf/mm ²	δ^E %	文 献 (実験者)
				σ_{wb}	τ_w	σ_{wbs}	τ_{ws}			
平 滑 材	S25C	880°C, A.C. (10 ϕ)	51.6	28.5		25.2		0.42	1.7	西島ら ⁴⁾
	〃	〃	〃			26.3		0.46	1.7	〃
	0.39% C鋼	860°C, A.C.	59.0			29.1		0.40	1.4	中沢
	S45C	845°C, A.C.	70.3			32.1		0.63	2.0	西島ら ⁴⁾
	〃	855°C, W.Q.→600°C, W.C.	82.7	52.0		43.0		0.91	2.0	〃
	〃	855°C, W.Q.→350°C, W.C.	138.8			63.4		3.07	4.9	〃
	SCM435	850°C, O.Q.→600°C, W.C.	103.8			55.8		1.60	2.9	〃
	SNCM26	調 質 ^{B)}	148			54.8		1.85	3.4	中沢ら
	〃	〃	〃	90.0	31.5	94.3	35.1	1.30	3.7	〃
	〃	滲炭焼入れ ^{A)}	149					0.85	0.9	〃
	〃	〃	〃	27.0	46.0	28.3	47.8	1.20	2.5	〃
	鍛 鋼	〃	56.3					1.11	4.1	徳田ら ¹⁶⁾
	鍛 鋼	〃	56.8					22.1	2.60	13.0
切 欠 材	S45C	855°C, W.Q.→600°C, W.C.	82.7	$\alpha=3.48$		19.7		1.26	6.4	西島ら ⁴⁾
	〃	855°C, W.Q.→350°C, W.C.	138.8			23.1		1.26	5.4	〃
	鍛 鋼	〃	56.3	$\alpha=3.0$		12.8		0.39	3.1	徳田ら ¹⁶⁾
	鍛 鋼	〃	56.8			11.4		1.31	11.6	〃
圧 入 材	SF55	850°C, A.C.	55.6	10.0		10.47		0.22	2.1	平川ら ¹⁷⁾
	SF65	850°C, W.Q.→650°C, A.C.	67.5	11.5		12.25		0.63	5.1	〃

注 A) 880°C 90 min ガス滲炭, 850°C, O.Q.→180°C, O.C.

B) 880°C 90 min, 850°C, O.Q.→180°C, O.C. (熱履歴を A) にそろえた)

C) σ_{wb} , τ_w : 従来の方法で求められた回転曲げ及び両振りねじり疲労限度 σ_{wbs} , τ_{ws} : ステア・ケース法で求められた回転曲げ及び両振りねじり疲労限度の中央値

D) S: 疲労限度の標準偏差

E) δ : 疲労限度の変動係数

$$\varepsilon_{TR10^5} = \frac{\sigma_B}{E} \left(1.68 - 88.2 \frac{\sigma_B}{E} \right) \dots\dots\dots (12)$$

で表される。

また, $N_f=10^4$ あるいは $N_f=10^3$ に対しては鋼では

$$N_f=10^4 \quad \varepsilon_{TR}=0.008\sim0.010 \quad \dots\dots\dots (13)$$

$$N_f=10^3 \quad \varepsilon_{TR}=0.02 \quad \dots\dots\dots (14)$$

であるという MANSON や PETERSON の主張が MORROW¹⁵⁾ によつて比較検討されており, とくに PETERSON の主張する $\varepsilon_{TR}=0.02$ の寿命 N_f は実験データの 86% が $(0.5\sim2) \times 10^3$ の間にあることが紹介されている。破断寿命の分布が対数正規分布であると仮定すれば, その変動係数は概略 0.203 となる。

3. 疲労限度の変動係数

疲労限度の値にはすでに述べたようにばらつきがあり, したがつて平均値と変動係数を用いたいわゆる統計量による表示のほうが, 適確に疲労限度を表すと思われる。このような値を正しく求めるにはステア・ケース法やプロビット法などの統計的試験法によつて疲労限度を求めなければならない。しかし実際には経費と時間がかかるため一般的にはこのような試験法は採用されていない。JIS Z 2273 (1974) では簡単な手続きで疲労限度の中央値の概略の値を決定し, 採用するように定めている。その方法は疲労限度の中央値を目測に近い方法で推定するのであつて, 統計的には極めて不十分な方法であ

るが, 実際にはこれすら満足には実施されていない。しかもこの方法では疲労限度の変動係数を決めることはできない。したがつて現状では疲労限度の中央値とその変動係数に関する資料は少なく, 一部の材料について断片的に報告されているに過ぎない。(金材技研の「疲れデータシート」には前記実験材料について, 疲労限度の中央値ならびに変動係数が記載されている。)

表 2 は国内の文献から鉄鋼材料について, 疲労限度の中央値と変動係数のデータを集めたものであつて, 一部のデータには従来の方法で定められた疲労限度も示してある。変動係数の値は平滑材においては鋳鋼を除けばすべて 5% 以下であるが, 切欠き材や圧入材では 6% を越える値が報告されている。また鋳鋼のように切欠き状の内部欠陥を多数有している材料では変動係数の値は著しく大きく, 表 2 のデータではその値は 13% にも達しているので設計においては十分な注意を要する。

なお, 従来の方法で求められている疲労限度は中央値より 5~10%, 変動係数の 1~2 倍程度低い値であることも表 2 から知ることができる。

このように疲労限度の中央値と変動係数が求められ, 疲労限度における強度分布が前述のように正規分布とみなすことができれば, 表 2 の鋼については非破壊確率あるいは信頼度を考慮した疲労限度の許容応力を決定することができる。

あ と が き

鋼の疲労強度の統計的性質について概略を述べたが、全体としてその資料が少ないことに気がつくられることと思う。これは統計的パラメータを求めるための疲労試験法そのものが多大の労力、時間ならびに費用を必要としており、研究者や設計者が研究対象として取り上げるのに不利な条件がそろいすぎているためである。ASTM の E-9 委員会ではこのような資料の必要性にかんがみて分科会を作り、疲労の統計的試験法について研究を進め、試験法についての提案を行う準備を進めており、JSME でも統計的疲労データを集積するための簡便な“統計的疲労試験法”について推奨規準を作成すべく分科会を作つて検討している。したがつて、今後これらが完成・普及をすればしだいに疲労強度についての統計量に関する資料が増加し、各方面に役立つ時期がくるのではないかと期待している。

文 献

- 1) F. A. McCLINTOCK: J. Appl. Mech., 22 (1955), p. 421
- 2) W. WEIBULL: Fatigue in Aircraft Structures. (1956) [Academic Press Inc., New York.]
- 3) 横堀武夫: J. Phys. Soc. Japan., 6 (1951), p. 81
- 4) 西島 敏, 増田千利: 材料, 22 (1973), p. 1097
- 西島 敏: 材料, 25 (1976), p. 53
- 西島 敏, 阿部孝行: 材料, 26 (1977), p. 50
- 西島 敏, 竹内悦男: 材料, 27 (1978), p. 884
- 5) H. MÜLLER-STOCK: Mitt. der Kohle und Eisenforschung., 2 (1938), p. 83
- 6) 横堀武夫: 材料強度学 (1955) [技報堂]
- 7) 日本機械学会編: 金属材料疲れ強さの設計資料 (I) (1961), (II) (1965), (III) (1974)
- 8) 金属材料技術研究所: 疲れデータシート (1978)
- 9) 日本規格協会: JIS Z 2273 金属材料の疲れ試験方法通則
- 10) 日本材料学会疲労部門委員会: 材料試験, 8 (1959), p. 683
- 11) 学振 129 委員会 5 分科会: 金属材料疲れ強さ資料 (1969)
- 12) 西島 敏: 日本機械学会第 16 回シンポジウム“疲労強度”講演論文集 790-9 (1979), p. 61
- 13) 中沢 一: 学振, 鋼材の疲れ強さと寸法効果に関するシンポジウム (1967), p. 182
- 14) L. F. KOOISTRA: Weld. Res. Suppl., 36 (1957), p. 120S
- 15) J. D. MORROW: Mater. Res. & Stands., 5 (1965), p. 30
- 16) 徳田 昭, 塚田尚史, 阪部喜代三: 日本機械学会誌, 73 (1970), p. 1500
- 17) 西岡邦夫, 平川賢爾, 小松英雄: 材料, 25 (1976), p. 922