

立命館大学理工学部
沼津工業高等専門学校
立命館大学理工学部

田中 道七
○岩谷 隆史
酒井 達雄

1. 緒言 機械構造物の信頼性解析に際しては、基礎データとして十分な量の疲労試験結果が必要であるが、そのためには多数の試験機および試験片と長期の時間を要する。そこで筆者らは短時間に多数の試験が可能なマルチタイプの試験機を試作し、一応カレベルにつき最大 50 本の試験片を用いた疲労試験を行った。こうして得られた大量の実験結果をもとにワイブル分布を仮定した上で、別報に詳述した相関係数法を適用してワイブル 3 母数および非破壊確率を推定し、各母数の応カレベル依存性を調べた。さらに疲労寿命分布だけでなく応カ繰返し数を固定した時間強度分布をも調べ、短寿命域では正規分布に近い分布特性を示すが、長寿命域になると強度分布に負の *skewness* が現われる特徴があることを明らかにした。また、試験片の硬さと疲労強度の相関性についても検討を加えたのでここに併せて報告する。

2. 実験方法 試作した多軸型回転曲げ疲労試験機は、Fig.1 に概観を示すように 5 本の回転軸の両端に計 10 本の試験片を装着し、1 台のモータからベルトを介してこれを同時に回転させる機構をもつものである。ベルト系のプーリの径を変えることにより繰返し速度の増減が可能であるが、本実験においては約 3500 r.p.m. に調整して実験を行った。破断繰返し数の計測は各試験片毎に時計を設け、マイクロスイッチを用いて各試験片の破断時にこの時計を停止させ、繰返し速度を乗じて破断寿命を換算する方法をとった。実験に供した材料は、S10C (CH10K) で、その化学成分および機械的性質をそれぞれ Table I, II に示す。試験片の形状寸法は Fig.2 に示す通りで、試験片切欠き部は、エメリー紙を用い 2000 番まで研磨した後、さらにバフ研磨を施した上で実験に供した。また、試

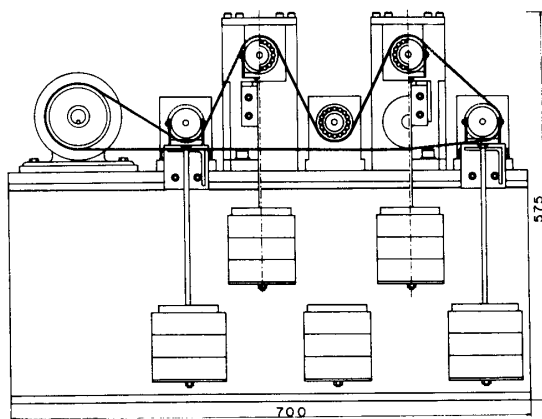


Fig.1 Testing machine.

Table I Chemical composition.

Material	Chemical composition (%)						
	C	Si	Mn	P	S	Al	N
Si-killed steel (CH10K)	0.10	0.20	0.43	0.024	0.016	0.001	0.0023

Table II Mechanical properties.

Heat treatment	Lower yield point σ_{Sy} (kg/mm ²)	Tensile strength σ_b (kg/mm ²)	Elongation ϕ (%)	Reduction of area ψ (%)
920°C, 1hr, A.C.	22.3	28.4	34.8	74.2

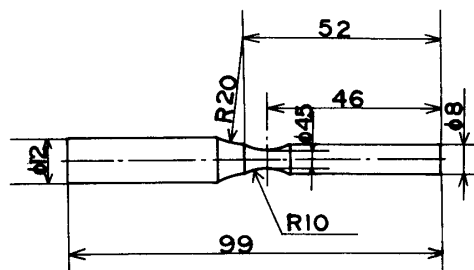


Fig.2 Dimension of specimen.

試験片装着にあたり試料先端の偏心量を $30\ \mu\text{m}$ 以下に調整した後で疲労試験を開始した。

3. 実験結果および考察

疲労試験にあたりまず Fig. 3 中●印で示す少数の試験片により基本 S-N 曲線の概形を明らかにした上で、全試験片が破断すると思われる $\sigma = 27\ \text{kg/mm}^2$ と非破壊確率が生ずるとと思われる $\sigma = 23\ \text{kg/mm}^2$ なる2つの応力レベルを設定し、各50本の試験片を用いた疲労試験を行い、その他の応力レベルについては各10本の試験片を割当てて得られた実験結果を Fig. 3 に示した。 $\sigma = 25\ \text{kg/mm}^2$

以上の応力域では破壊確率が1となり、 $\sigma = 24\ \text{kg/mm}^2$ 以下では非破壊確率を含むことがわかる。次に相関係数法を適用して各応力レベルの実験結果についてのワイブル分布の3母数を求め、各母数の応力レベル依存性について調べ、他の報告にみられるように図示したのが Fig. 4 である。図中 $\sigma = 24\ \text{kg/mm}^2$ については、形状母数と位置母数が他の応力レベルに比べ著しく逸脱しているが、これは Fig. 3 の S-N 曲線からも分るように試験片本数が少ないために偶然に現われたばらつきであることが予想されるので、これらのプロットは無視して図中の実線を描いた。図より形状母数については、 $\sigma \geq 25\ \text{kg/mm}^2$ なる領域では $a \cong 2$ 程度の値をもち、応力レベルの低下とともに徐々に減少する傾向が見られる。また、尺度母数、位置母数については他の報告にもあるようにそれぞれ $\log b$, $\log C$ と応力レベルとの間にほぼ比例関係が認められる。以上の実験結果をワイブル確率紙上にプロットしたのが Fig. 5 で、図中の実線は上で統計的に推定した3母数をもつワイブル分布関数を非破壊確率を考慮して図中に記入したもので、全試験片が破断した高応力レベルのみならず、非破壊確率を含む耐久限度近傍の低応力レベルについても推定結果は実験結果の分布特性と極めてよく一致しており、これは同時に前報に評述した母数推定法の妥当性を示すものである。次に得られた各応力レベルにおける寿命分布から $N=10^6$, 3×10^6 , 10^7 なる3種の繰返し数を固定したときの各応力レベルにおける破壊確率を読み取りこれを Fig. 6

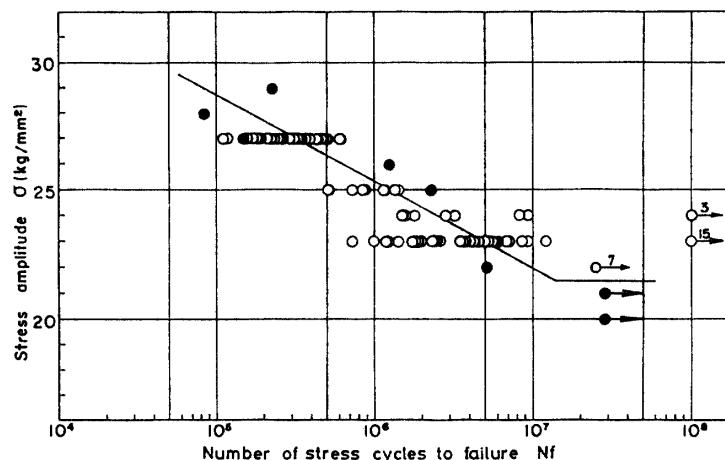


Fig. 3 S-N curve.

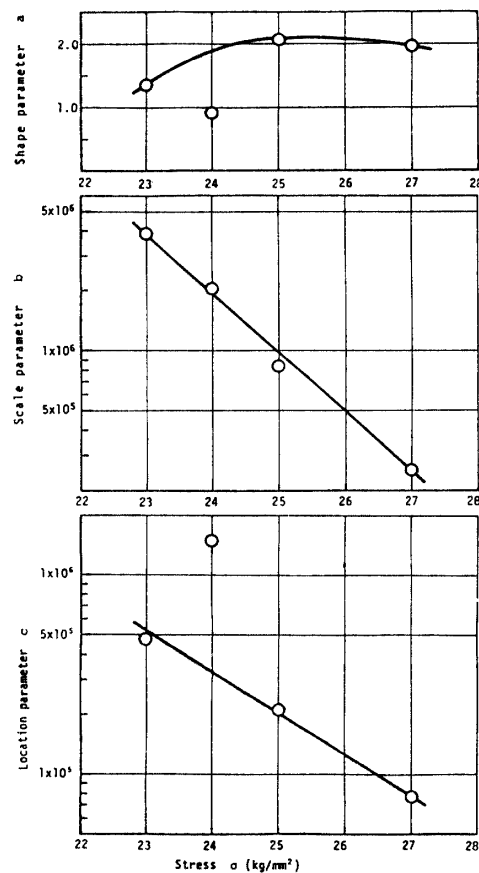


Fig. 4 Dependency of Weibull parameters a, b and c on applied stress.

に図示した。図中 $\sigma = 24 \text{ kg/mm}^2$ におけるプロットは、他の応力レベルにおける結果に比べて特異な位置を占めているが、これは先と同様試験片が少ないことによるものと思われるのでこの点を無視してFig.3の $S-N$ データを参照の上図中に分布曲線を描いた。これは各繰返し数に対する時間強度分布を与えるもので、図より繰返し数 $N=10^6$ における強度分布はほぼ正規分布に近く対称な分布特性をもつが、長寿命域になると徐々に負の skewness が現われる傾向がみられる。この傾向は他の研究者が報告している分布特性とは一致していないが、これが材料の違いによるものであるのか、或は他の報告における解析法によるものであるのかについては興味深い課題であり、これについては今後さらに大標本を用いた疲労試験を実施して順次明確にしたいと考えている。終りに $\sigma = 23, 27 \text{ kg/mm}^2$ の各50本の試験後の試料について、寿命のばらつきに与える影響が大きいと思われる硬さと寿命の相関を表わしたのがFig.7である。いずれについても硬さと寿命の間には明確な相関はないと考えてよいようである。

5. 結 言

機械構造物の信頼性解析を行う際に必要な大量の基礎データを得るための効率的な多軸型回転曲げ疲労試験機を試作し、十分な特性を確認することができた。ここに、試作した試験機を用いて多数試験片による疲労試験を実施し、広い応力域における寿命分布を求めワイブル3母数の応力レベル依存性を明らかにするとともに、時間強度の分布特性をも調べた。相関係数法によるワイブル分布の母数推定は広い応力レベルについても妥当であることが確かめられた。その結果、寿命分布については高応力域のみならず非破壊確率を含む耐久限度近傍の長寿命域においても相関係数法による母数推定が適用できることが分った。さらに時間強度分布については $N=10^6$ 程度の寿命域ではその強度分布は正規分布に近く対称性をもつが、 $N=10^7$ 程度の長寿命域になると分布の対称性が失われ負の skewness が現われる傾向が認められた。

参考文献 1) 田中, 酒井「材料」28, 304, P13, (1979) 2) 酒井, 若谷, 田中

「2回設計における信頼性工学シンポジウム前刷集」P25, (1979) 3) 酒井, 田中「材料」29, 316, P17, (1980) 4) 田中, 藤井「材料」25, 276, (1976) 5) 岡田他3名「機構論」No.784-7, (1978) 西島他「Trans. N. R. I. M.」19, 6, P327, (1977) 7) 鶴井「材料」29, 316, P13, (1980)

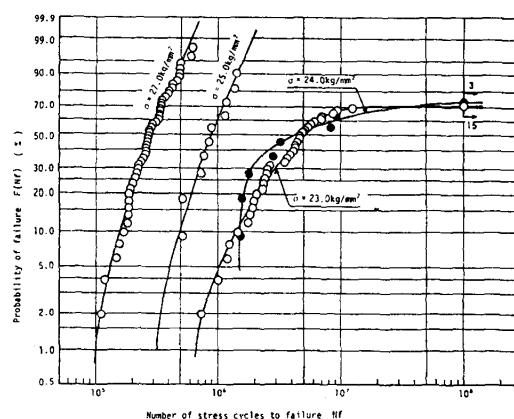


Fig.5 Fatigue life distributions plotted on Weibull probability paper.

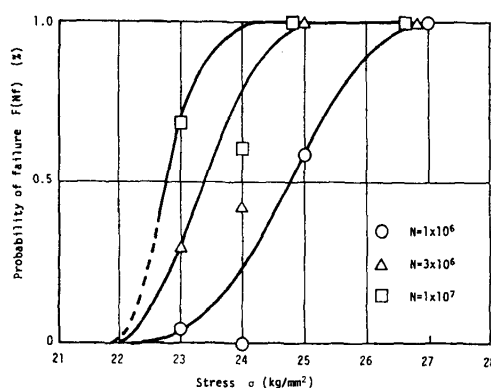


Fig.6 Distributions of fatigue strength.

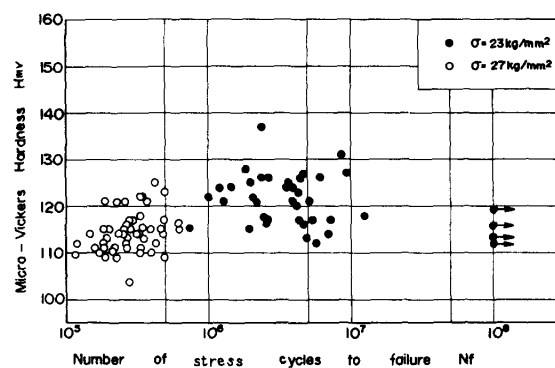


Fig.7 Correlation of hardness and fatigue lives.