

(昭和 44 年 5 月日本造船学会春季講演会において講演)

鋼の低サイクルランダム疲労に関する研究

(第 1 報) 装置ならびに予備的実験

正員 南 義 夫* 正員 板 垣 浩*
 正員 小 川 鉄 夫*

Low-Cycle Random Fatigue of Steel (1st report)
 —testing apparatus and preliminary experiments—

By Yoshio Minami*, *Member* Hiroshi Itagaki*, *Member*
 and Tetsuo Ogawa*, *Member*

Summary

An apparatus controlling load maxima and minima according to the random load sequence simulated with the aid of an electronic digital computer was made and used to a preliminary investigation of low cycle random fatigue of steel.

Fatigue lives showed considerable scatter comparing with the constant load test results, which was seemingly due to the randomness of load sequences.

The effect of applied load lower than the load to which the constant load fatigue life was over 10^7 cycles was remarkable.

Palmgren-Miner hypothesis overestimated the life of each specimen and the longer the average life is, the more discrepancy between the predicted and the actual life.

1 緒 言

構造物の安全をはかる上で、その構造物に使用される材料の疲労強度が一つの重要因子となることは広く認められているところである。材料の疲労挙動に関する研究を設計にとりいれる方法として、まず、設計応力あるいは許容応力を十分低く定め構造物の使用期間中材料の疲労現象が現われないように、あるいは現われたとしても影響は無視しうるほどで構造物に危険をおよぼすことのないようにすることが考えられる。第二に、多少の疲労を生じても構造物全体として安全でありさえすればよいとして許容応力を高めに設定すること等が考えられる。前者はしばしば長寿命の構造物、後者は比較的短いある定まつた期間での使用を考えた構造物に適用されるであろう。前者ではいわゆる $S-N$ (または $e-N$) 線図が基礎資料として十分に役立つ。しかしながら、実際に構造物に作用する荷重はランダム過程であることを考えれば $S-N$ 線図のみで構造物の疲労に対する安全性を評価することは不可能である。しかし、理論的、あるいは経験的方法によつて、定荷重 (歪、その他) 履歴による疲労とランダム荷重過程による疲労とを密接に関連づけるならば、それも可能となろう。設計の合理化が促進されるとともに許容応力を高めにすることが考えられ、その結果、低サイクル疲労をも設計上考慮するようになった構造物では、高応力の作用する確率は許容応力を大とするにつれて高くなるので、ますます荷重履歴の確率的性格が重要となる。また、合理的設計という概念に構造物の寿命を最も適当な長さにおさえるといふことも含まれるのであれば、荷重履歴を考慮した疲労挙動を設計にとりいれる意義はさらに大きくなる。このような問題の解明には基礎的な疲労機構の研究が根本であることは言うまでもない、と同時に、現時点で設計に直ちに役立つ

* 横浜国立大学工学部

* Faculty of Engg., Yokohama National Univ.

ほどには疲労機構は解明されておらず理論的に $S-N$ 線図を与えることすらまだ十分にはされていないことも事実である。そのため工学的見地からは実験によつて荷重履歴の影響についての法則を求めること、あるいは適当な仮説の検討を行なうことが試みられている。多段多重試験と称して行われる実験の多くはこの目的のためである。また実際の荷重履歴をシュミレートして寿命を実験的に求めるためのいわゆるランダム疲労試験なども行われている。しかしながら、低サイクルの分野では、まだ歴史が浅いためか、この方面の研究は少ないと言わざるを得ない。筆者等はこのような見地から低サイクルランダム疲労の研究に着手した。低サイクル疲労はしばしば高応力疲労あるいは塑性域疲労と解釈されるが、以下では字義どおりに破断までの総繰返し数の比較的小なる

疲労とする。

本報告では第一報として、試作した実験装置とそれを用いた第一段階の実験について述べるが、研究の具体的目的を明白にするためにも必要と思われるので、実働荷重試験について若干の考察を記しておく。高サイクル疲労の領域については参考文献 1), 2) 等から現況を知ることができるように、実働荷重による疲労試験ではしばしば

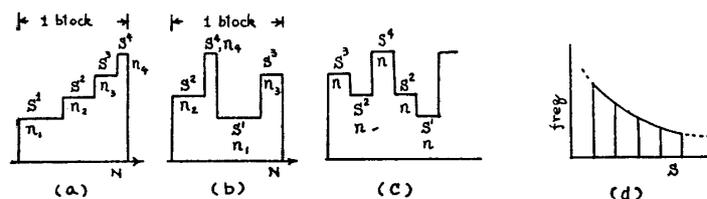


Fig.1 変動荷重系列

Fig.1 に示すような荷重系列が用いられている。このような荷重系列は次の二種に大別することができよう。

すなわち

- (1) Deterministic Load Sequence (DLS)
- (2) Probabilistic Load Sequence (PLS) である。

両者ともに対象とする構造物あるいは部材に加わる荷重の確率分布を考慮に入れた場合と入れぬ場合とが考えられるが、実働荷重試験という以上、荷重の確率分布を考慮しないものは対象外とすべきである。もちろん、実働荷重そのものが deterministic な場合は例外である。荷重の確率分布を考慮する時、便宜上、荷重を discrete とみなすことが多い。Fig. 1 はそのような場合について示してある。何段階かの荷重レベル S^1, S^2, \dots, S^i を定めそれらの出現する相対頻度 $n_1 : n_2 : \dots : n_i$ が確率密度と一致するようにして実験を行なう (Fig.1 (d))。このとき、各荷重レベルを作用させる順序を任意に定める方法 Fig.1 (a) は DLS に属する。恐らくは同様のブロック荷重系列を繰返し作用させて破壊まで実験を続けるのである。荷重順序の寿命に及ぼす影響を調査するには都合のよい方法である。また、そのブロック内での荷重順序をランダムに定める方法 Fig.1 (b) もあるが、それもまた DLS と考えられる。各荷重レベルの出現する順序をある確率法則に従つて定めたプログラム荷重系列は PLS に属する。また、記録した実働荷重系列を用いたり、ノイズ発生装置等を利用して得られる荷重系列もまた PLS である。これらの荷重系列はいずれも実働荷重をシュミレートしたものであるが、実働荷重系列がランダム過程であることからみれば DLS よりも PLS の方がはるかに良い方法である。実物大のあるいは比較的大きい模型を使用する疲労試験では設備等の制約のため DLS による実験が多いようである⁽³⁾。それを考慮に入ると DLS あるいは PLS のいずれに属するプログラムも使用する装置によつて、プログラムの差による寿命の変化を調査することは一つの重要な課題と考えられる。また、同じく PLS に分類する場合でも、実験に用いられる荷重履歴が実際の荷重履歴をどの程度模しているかによつて疲労寿命が変化するとも思われるのでこの面の研究も必要である (実験を簡易化しうる限度の検討)。筆者等はこのような実験研究をなるべく簡単な装置で行つてみたいと考え、電子計算機を利用して作成した荷重系列を負荷するための装置を製作した。その際に特に考慮したのは次の各点である。先に述べたように実働荷重の頻度分布が与えられるとそれを m コの区間に分け、それぞれの区間の代表値をもつて使用する荷重レベルとするが、最小および最大荷重は任意に定めるのが普通である。もし、ブロックプログラムであると、各ブロック内での荷重順序がたとえランダムに定められていたとしても、必ず最大荷重が負荷されることになるから、比較的大きい相対頻度の荷重を最大荷重とせざるを得ない。各レベルの荷重が必ず現われるという意味で DSL であるから、ブロック荷重系列をプログラムしただけでは不十分である。したがつて、ある法則によつて m コの値をとりうるランダム変数を次々に発生させて作ったプログラムを使用し得なくてはならぬ。このとき、第 r 番目に大きい荷重レベルの出現する確率を十分小さく定めておくと、比較的高いレベルの荷重が負荷されない確率がかなり大となつていると考えねばならぬから

低サイクル疲労ではほとんどの試験は m よりはるかに少ない数の荷重レベルを使用して行なわれることになる。たとえば、 $m=10$ で、最大荷重の return period が 10^7 cycles 位であつたとすると荷重の確率分布にもよるが 10^4 程度の寿命ではおそらく3~4コの荷重レベルの繰返しとなつてしまうであろう。かといつて、return period が 10^4 程度になるような荷重を最大荷重としたのでは extreme load の影響はあらわれないことになる。このような難点を除くためには m を十分大きくとる必要がある。一方、実験に際しては荷重レベルを細分化すればするほど荷重の制御が困難になるから、実用上は m を適当に大きくとるということになる。第二の点は、たとえば船舶の出合う暴風雨のようなものを考え、それによる曲げモーメントをシュミレートする場合等にはいわゆる短期分布とその statistics の長期分布等を考慮に入れたプログラムを使用しうること。第三には、実験は実際の荷重履歴をできる限り忠実に再現せねばならぬが、それはなかなか困難であるから、荷重履歴の極大値、極小値にのみ着目し、それが交互にあらわれるようにプログラムされた荷重系列を使用し得ることを目的とした。すなわち、極大値(極小値)から極小値(極大値)への移行のしかたは制御不能でも止むを得ぬとした。これは通常の引張試験機を改造して Tension-Zero (または Tension-Tension) の範囲であればランダム試験を行ないうるようにすることを考えたためである。以上のような条件を満たしたとしても、必ずしも実際の荷重履歴を再現した変動荷重試験を行ないうるとは言えぬが、実験研究での疲労寿命(時間)は実際の構造物の使用時間に比べればはるかに短いことなども考え併せれば、先に述べたような研究の目的は満足しうるものである。

2 実験装置

装置のフローチャートを Fig.2 に示す。この装置では使用する荷重レベル (これは制御すべきものが歪であれば歪レベル、変位であれば変位レベルとなるが、便宜上、荷重レベルで代表する) は 0 (最小荷重レベル), 1, 2, ..., 29 (最大荷重レベル) の等間隔の 30 段階である。荷重の絶対値は任意とする。装置への入力データは電子計算機を用いて作り出した荷重系列であり、紙テープにパンチされている。テープ上の数字は相隣る荷重レベルの差となつている。Fig.2 に従つて説明すると、(i-1) 番目の負荷が行われている間に、 $S=S_i-S_{i-1}$ (i 番目荷重レベルと (i-1) 番目荷重レベルの差) を tape reader から読み込む。(i-1) 番目の荷重レベルでの負荷が所定の回数 (Fig.2 では 100 となつているが、これは適当に定められる) だけ行なわれるとデータ S が光電スイッチを移動させるユニットへ送られ、 S の正負に応じて光電スイッチの位置が移動する。それと同時に負荷装置が作動しはじめ光電スイッチの位置で定まる荷重が試験片に加えられるようにする。所定の荷重レベルになると負荷装置は停止し、信号がテープ送り装置に伝達され 1 データ分だけテープが送られ、 $S=S_{i+1}-S_i$ が読み込まれ同様のことを繰返す。この間つねに試験片破断の有無が check され、破断すれば全装置が停止状態になる。テープ読取り装置は光電式によつたが、本装置では Fig.3 に示すような logic 回路によるものを試作して使用している。紙プープを送る速さは 1 データにつき 0.2 および 0.6 秒の 2 種、光電スイッチの移動速度は荷重 1 ステップ当り 0.05 秒である。従つて、トリガーされて光電スイッチが 30 level 分移動し、次のデータが set されるまでの所要時間は 1.5 秒程度である。Tension-Zero 試験を行なうとすれば毎分 60 回の繰返しは十分に行ないうる。普通は $S(=S_i-S_{i-1}) < 30$ であるから、場合によつてはより速い繰返しで実験し得よう。

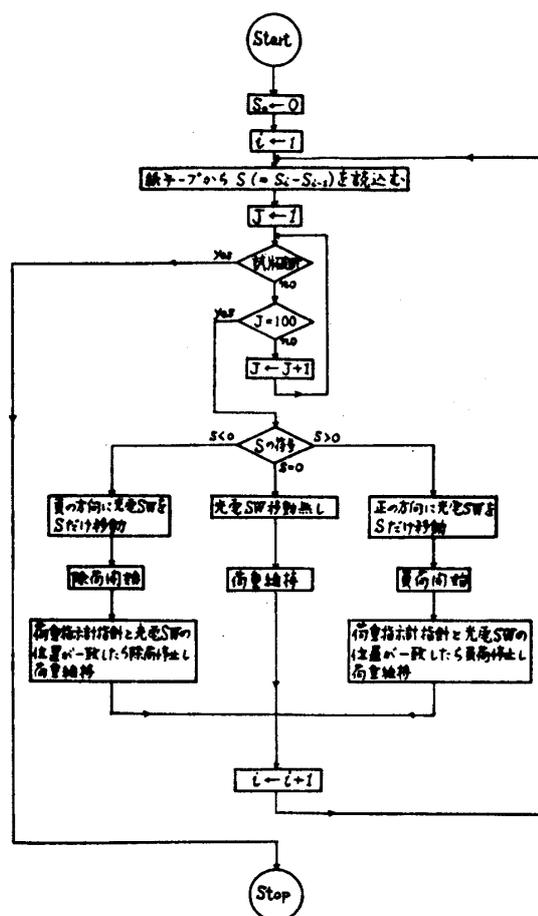


Fig.2 装置のフローチャート

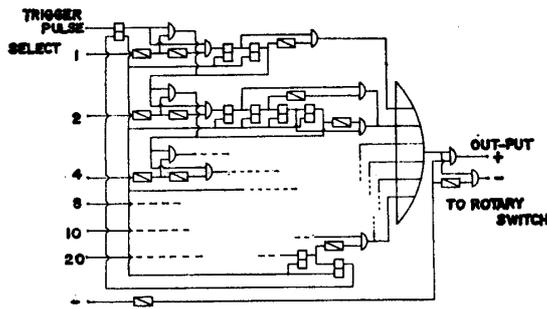


Fig.3 読取装置

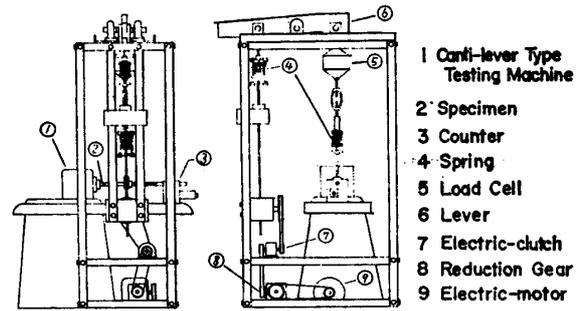


Fig.4 片持梁型試験機

試作した制御装置は種々の疲労試験装置に応用しようと思われるが、筆者等はまず片持梁式回転曲げ試験に用いることとした。Fig.4 に概略の図を示す。荷重制御装置からの正又は負の信号を受けてモーター⑨が正又は逆回転して、スプリングを介してレバー⑥を下又は上に動かす。このレバー⑥の動きはロードセル⑤およびスプリングを介して試験片先端に伝えられ試験片に加わる荷重が変化する。荷重はロードセルから制御装置へフィードバックされ所定の荷重でモーターが停止する。本実験では試験片の回転速さは 30rpm としている。また、回転曲げの場合には負荷を余り急激に変化させるのは適当でないと考え、荷重の1ステップ当り試験片が約 1/3 回転するようにモーターの回転を落して使用している。

3 Input Data

データとしては紙テープにパンチした 0 から 29 までの 2 整数の差であればどのような値であつてもよい。重複繰返しであればループ状のテープを使用する。本報告では荷重レベルをランダムに変化させるために、電子計算機を利用して乱数を発生させて荷重系列を作り出している。不規則波中で船体の受ける曲げモーメントの短期分布は近似的に Rayleigh 分布に従うとされているので、以後の実験では Rayleigh 分布に従うランダム荷重を用いることにした⁽⁴⁾。即ち、

$$F_S(s) = \{1 - e^{-s^2}\}, \quad (1)$$

ここに S = 荷重 / (characteristic load)

なる確率分布関数に従う乱数を使用する。実験を行なうに際しては最小荷重と、最大荷重とを定めねばならぬが、以下、最小荷重 = 0, 最大荷重は $s=4$ に相当する荷重とする。 $1 - F_S(4) \approx 10^{-7}$ であるから、低サイクル疲労の領域ではほとんど起こり得ないことになる。

i 番目の荷重 S_i のレベルが j である確率は(1)式から、近似的に

$$pS\{S_i=j\} = \begin{cases} \frac{4}{29} \left(j + \frac{1}{2}\right) \exp\left[-\left\{\frac{4}{29} \left(j + \frac{1}{2}\right)\right\}^2\right] \times \frac{2}{29} & j=0 \\ 2 \left(\frac{4}{29} j\right) \exp\left[-\left(\frac{4}{29} j\right)^2\right] \times \frac{4}{29} & j=1 \sim 29 \end{cases} \quad (2)$$

与えられることになる。実際に荷重系列を作る時には S_i と S_k ($k \neq i$) との相関を考慮しなくてはならぬが、本報告では S_i と S_k とは statistically independent と仮定した。従つて、荷重系列は次のような簡単な方法で得られる。まず、0 ~ 1 の間に一様に分布する乱数 x_i (i 番目) を発生させ

$$s_i = F_S^{-1}(x_i) \quad (3)$$

を計算する。ここに F_S^{-1} は F_S の逆関数である。 $s_i \times \frac{29}{4}$ を 4 捨 5 入した値が j であれば i 番目レベルを j とする。 j が 29 以上の時は荷重レベルを 29 と定める。 S_i と S_{i-1} との差を求めてテープにパンチさせることによつて必要なデータのテープが得られる。このようにして多数発生させた乱数列の最初の 200 個から histogram を作つて示したものが Fig.5 である。 Fig.5 中の曲線は Rayleigh 分布の理論値である。また、同じデータから $1 - F_S(s)$ に相当する確率を求めて極値確率紙にプロットしたものが Fig.6 であり、同図中の実線は $1 - F_S(s)$ の理論値である。荷重系列は所期の統計的性質をよく備えていると言える。

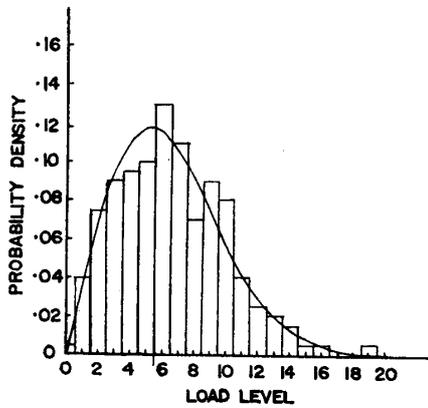


Fig.5 使用荷重系列の確率密度

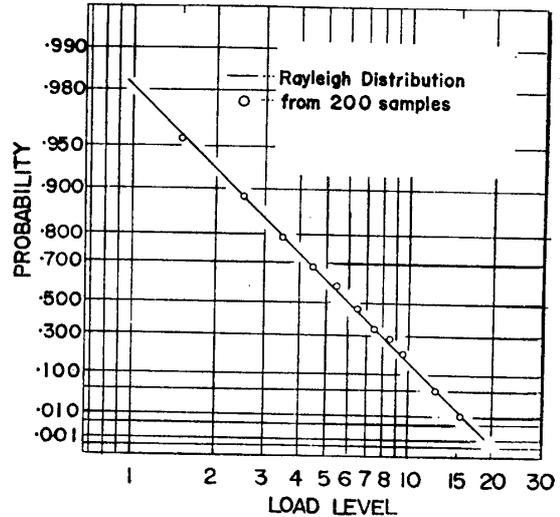


Fig.6 使用荷重系列の確率分布

4 実験結果とその考察

使用した回転曲げ疲労試験片の形状寸法を Fig.7 に示す。試験片は直径 18mm の低炭素鋼の丸棒から仕上げ

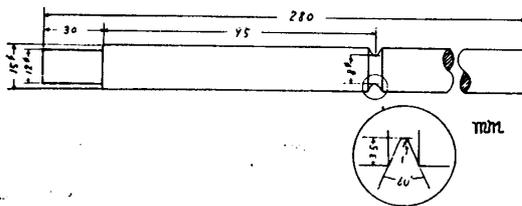


Fig.7 切欠付試験片

たV形切欠つき試験片で、材料の化学成分、機械的性質を Table 1 に示してある。基礎資料としての S-N 線図 (同じ装置を用いて求めたもの) を Fig.8 に示す。

回転曲げ試験であるため、荷重レベルの変更は 100 回転ごとに行うようにした。荷重履歴の例を Figs.9, 10 に示す。荷重指示装置の感度を調節して1荷重レベルの差が Fig.9 では 1.5kg, Fig.10, で 2.5kg になるようにしてある。実験は3種の characteristic load ($F_s(s_c)=1-e^{-1}$ となる荷重) を選んで行なった。即ち 10.9kg, 14.5kg および 18.1kg である。それぞれの場合について、Nominal Bending Stress の Root Mean Square (RMS) は 21.8, 29.0 及び 36.3kg/mm² である。

Table 2 に実験結果を示す。表中、Total Selections of Load Level は荷重を変えた回数、Total Cycles to Fracture は破断迄の試験片の総回転数である。 $\sum n_i/N_i$ は Fig.8 の S-N 線図を用いて Miner による破断までの全被害量を計算したものである。また N_M は

$$N_M = 1 / \sum_0^{29} f_i / N_i \quad (4)$$

Table 1 供試材の化学成分と機械的性質

Chemical Composition (%)					Mechanical Properties		
C	Si	Mn	P	S	Y. P.	T. S.	El.
0.122	0.16	0.37	0.009	0.046	kg/mm ² 28.9	kg/mm ² 42.6	% 41.7

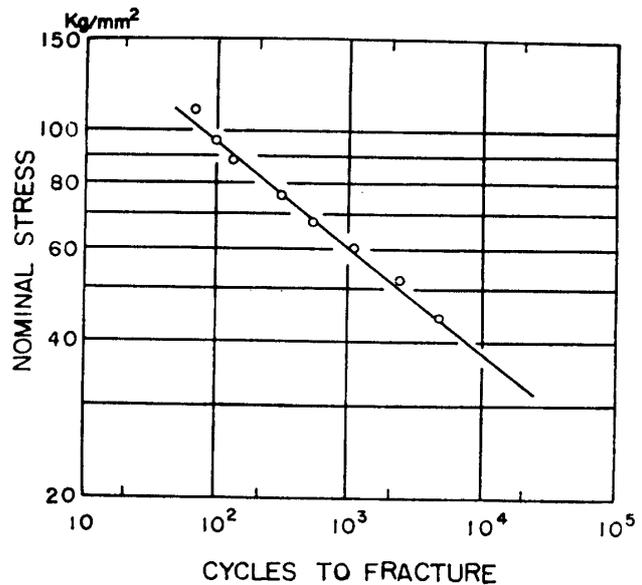


Fig.8 定荷重疲労試験結果

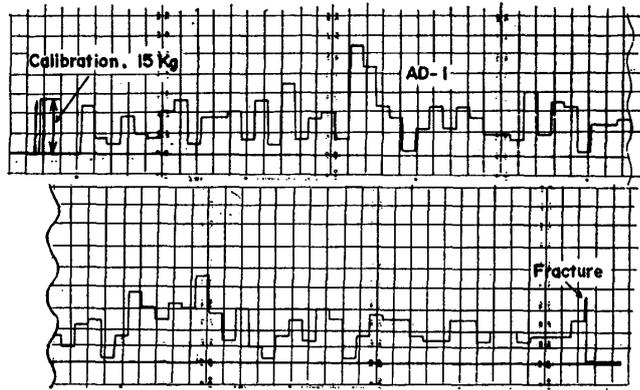


Fig.9 荷重履歴のサンプル (長寿命)

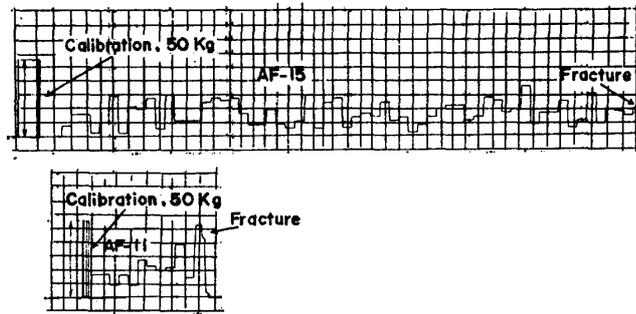


Fig.10 荷重履歴のサンプル (短寿命)

Table 2 試験結果

Speciman No.	Total Selections of Load Level	Total Cycles to Fracture, N	$\sum n_i/N_i$	N_M	N/N_M
AJ-13	399	39,844	.55	48,429	.82
- 3	388	38,720	.56		.80
-15	354	35,400	.67		.73
AD-16	332	33,132	.69		.68
- 1	296	29,530	.56		.61
- 4	294	29,380	.66		.61
AJ- 7	275	27,488	.61		.56
- 4	260	26,000	.59		.54
AD-14	215	21,424	.49		.44
R. M. S. of Nominal Stress=21.8 kg/mm ² , $\bar{N}=3.12 \times 10^4$, $\sum n_i/N_i=.60$					
AL- 4	177	17,612	.93	11,899	1.49
-18	161	16,016	.94		1.34
- 8	140	13,972	.88		1.17
-11	135	13,420	1.03		1.13
-10	105	10,408	.89		.87
-16	101	10,036	.71		.84
- 3	89	8,828	.61		.74
- 9	78	7,780	.89		.65
-13	68	6,772	.98		.57
R. M. S. of Nominal Stress=29.0 kg/mm ² , $\bar{N}=1.16 \times 10^4$, $\sum n_i/N_i=.87$					
AJ- 6	67	6,668	.90	3,825	1.74
AF-15	62	6,135	.82		1.60
-18	41	4,032	.85		1.05
-13	30	2,925	.79		.76
AJ-18	29	2,860	.95		.75
AF- 5	29	2,827	.63		.74
AD- 7	26	2,528	.71		.66
AL- 1	24	2,332	.89		.61
AF-11	12	1,164	.85		.30
R. M. S. of Nominal Stress=36.3 kg/mm ² , $\bar{N}=0.35 \times 10^4$, $\sum n_i/N_i=.82$					

ここに, f_i =レベル "i" の出現する理論頻度。

N_i =レベル "i" の荷重による定荷重疲労寿命。

を用いて計算した Miner 仮説による推定寿命である。

RMS の大きい試験では平均寿命が短いため荷重の大きさの変更回数が少なく, 実験に用いられた荷重系列から求めた荷重レベルのヒストグラムは理論値とかなりへだたりがある。参考のために, 全試験についてヒストグラムを画き Fig.11 に示す。

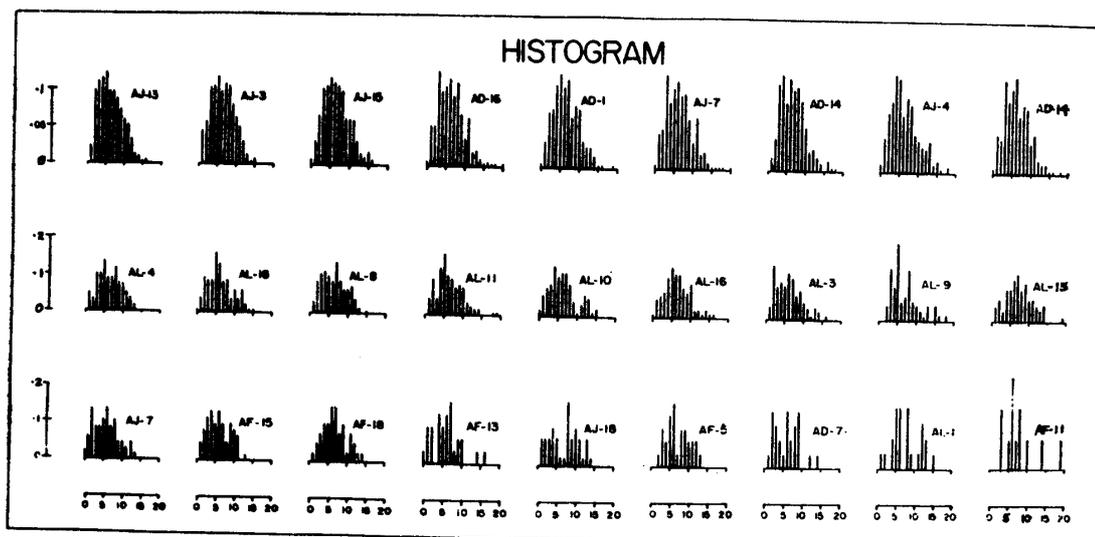


Fig.11 各試験の荷重レベル頻度

疲労寿命の散布度

Table 2 では各 RMS 毎に寿命の大きい順に示してある。一見して判るように疲労寿命は大きく変動している, 寿命を random variable とみなさざるを得ないことが判る。Fig.8 の S-N 線図から判るように, この試験片は低サイクル疲労の領域では寿命のパラツキが非常に少なく, 定荷重試験では寿命は deterministic であると仮定しうるようである。それにも拘らず, 変動荷重試験では上記のようにパラツキを示すのである。これには, 主として, 次のような理由が考えられよう。

- (1) 実験では非常に低い応力が頻繁に現われる。低応力下での材料の疲労挙動は高応力下のそれよりもランダムであると思われる。
- (2) 統計的には同一の荷重系列を用いて実験を行なっているが, 個々の荷重履歴は全く同じではないため寿命に影響する。
- (3) 破断時の材料の強さには多少とも材質的パラツキがあるために全く同一荷重系列を用いて試験をしたとしても, ある試験片はたまたま現われた比較的大きい荷重に耐えられず破断し, また別の試験片はその荷重に耐えて次に再び比較的大きい荷重が現われるまで破断しない。

(1)は低応力域での疲労寿命のパラツキと同じ原因であり, (2)は荷重の選択回数が少い程大きな影響を持つ。(3)は材料の最終強度に S-N 曲線にはほとんど関係しない程度の差があると変動荷重試験ではかなり大きな影響があることを意味している。

疲労寿命の分布を近似的に定めるために実験結果を極値確率紙上にプロットしてみると Fig.12 のようになる⁽⁶⁾。実験点は凡そ直線で表わしうると考えられる。生存関数を $L_N(n)$ と書くと,

$$Pr\{\text{寿命} > n\} = L_N(n) = e^{-(n/N_c)^\alpha} \quad (5)$$

となる。 N_c および α は Table 3 に示すように RMS によつて異つた値を取る。

上式を用いて求めた寿命の期待値 (\bar{N}), 標準偏差 (σ_N), 変動係数 (σ_N/\bar{N}) も同じ表に示してある。表から, RMS の小なる程寿命の変動が少ないことが判る (変動の絶対量を表わすと考えられる σ_N は RMS の小なる程大きい)。Fig.13 に破断時にかかっていた応力と, 破断した時の疲労き裂の長さとの関係を図示してある。図中

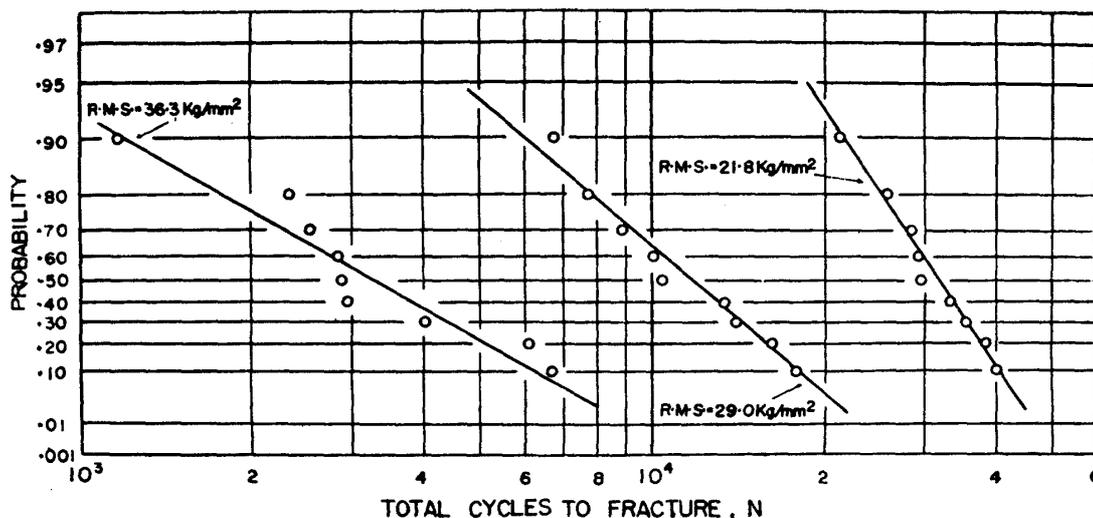


Fig.12 疲労寿命分布

Table 3 疲労寿命の統計量

Characteristic Load	R. M. S. of Nominal Stress	α	N_C	\bar{N}	σ_N	σ_N/\bar{N}	$\overline{\log \bar{N}}$	$\sigma_{\log N}$	$\sigma_{\log N}/\overline{\log \bar{N}}$
kg	kg/mm ²		$\times 10^4$	$\times 10^4$	$\times 10^3$				
10.9	21.8	5.0	3.40	3.12	7.15	.23	4.487	.078	.017
14.5	29.0	2.8	1.32	1.13	4.37	.39	4.046	.144	.036
18.1	36.3	1.9	0.40	0.35	1.98	.55	3.492	.229	.066

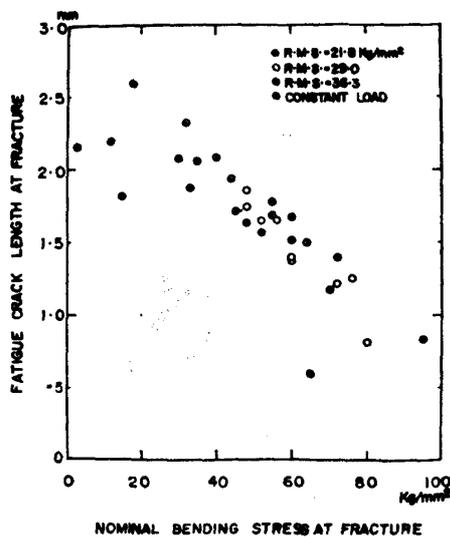


Fig.13 破断時の疲労亀裂深さと公称曲応力の関係

◎は定荷重疲労の場合であり、他はランダム疲労である。定荷重の場合に比べるとややランダム疲労の場合のほうが相関が悪いように見える。この事実と Fig.11 に示したヒストグラムの図から判断すると上述の原因(1)よりも原因(2), (3)のほうがより支配的と思われる。高サイクル疲労での寿命の変動のしかたは定荷重試験試験の場合よりも、ランダム試験のほうがはるかに少なくなり、低応力での疲労強度のパラッキの効果は現われないという実験結果とも一致すると思われる。ただし、高サイクルでは全寿命が $10^6 \sim 10^7$ であるから原因(2), (3)の影響も当然少なくなっているはずである。従つて、S-N 曲線のパラッキとの比較では本実験とは逆になっているのも理解しうることと思われる⁽⁶⁾、疲労寿命の変動が $\log N$ の平均値、分散等で表わされることも多いので、他の実験との比較の便宜上 $\overline{\log \bar{N}}$, $\sigma_{\log N}$, $\sigma_{\log N}/\overline{\log \bar{N}}$ も Table 3 に示してある。高サイクルの場合の変動係数と比較してみると、ほぼ同じ位の値であるのは興味がある。

Miner 仮説について

Table 2 に示した $\sum n_i/N_i$ 等を図示すると Figs.14, 15 のようである。Fig.14 から、RMS が大きい程破断までの全被害率が大であるが、平均値はいずれの場合も 1 より少であり、Miner 仮説の成立たぬことを示している。なお、S-N 関係は Fig.8 の直線を全域にわたつて適用している。そのため低応力 (20 kg/mm² 以下) の範囲では被害率を過大評価していることになる。Fig.15 は寿命と全被害率との関連性をみようとしたものであるが、両者の間に関係があるとは考えられないようである。このことは、Fig.13 から明らかなように、破断時の疲労き裂長とその時作用していた荷重との間に密接な関連があるという事実から容易に推定出来ることである⁽⁷⁾⁽⁸⁾。即ち、Miner の仮説の成立すべき条件の一つ、“最終破壊条件は荷重に無関係であるが”成立していないからである。荷重の変化が数段であつたり、ブロックの繰返し等の実験で

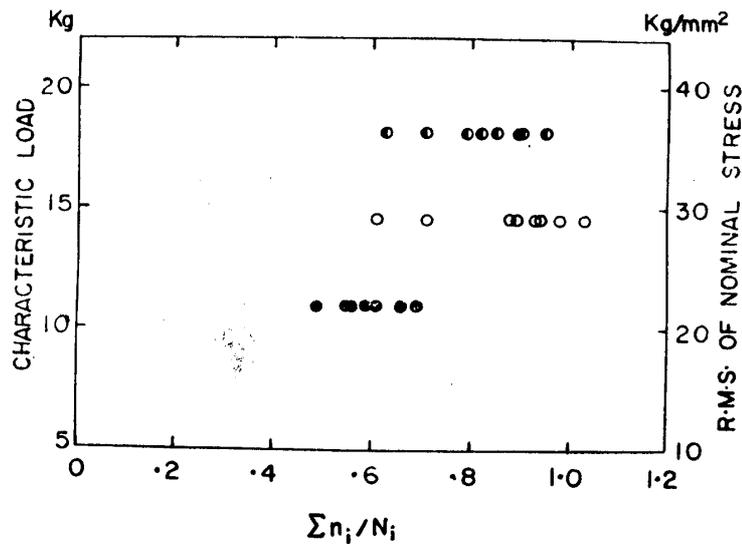


Fig.14 R.M.S と Miner による被害の関係

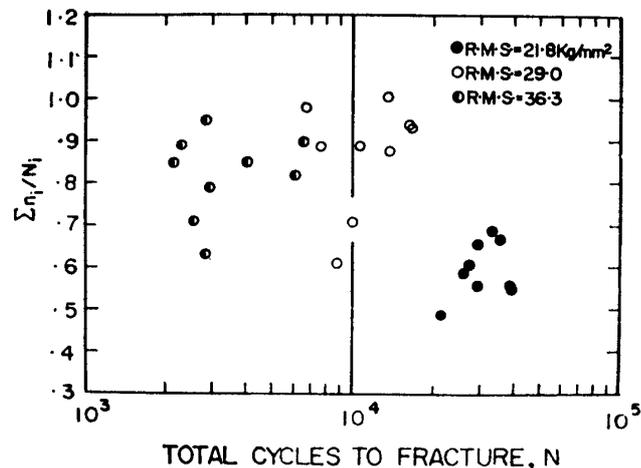


Fig.15 疲労寿命と Miner による被害の関係

もしばしば Miner 仮説は成立しないことがあり、荷重がランダムになれば成立つてであろうという希望的観察がなされたこともあつたが、本実験のような条件下では Miner 仮説による寿命推定は役立たぬ（寿命を過大評価して危険側になる）と言えよう。

結 論

試作した変動荷重試験機を用いて低サイクルランダム試験を実施した結果、次のような結論を得た。

- 1) 試作試験機では荷重段階を 30 段まで細分できるようにしたが、ランダムに発生した数千コの荷重レベルでは最大が 20 であつた。この程度に細分された荷重を使用しうる本試験機は、ランダム疲労の研究に十分な性能を有すると云えよう。逆に、このことから、ランダム疲労を行う時には、荷重レベルは少くとも 30~20 段必要だとも言える。
- 2) 試験結果（寿命）は大きなバラツキを示しているが、これは荷重系列が PLS に属するからであると考えられる。従つて、deterministic な荷重系列ではランダム疲労の特質を把握し得ないと考えられる。
- 3) 使用した荷重系列では、出現した荷重レベルの大半は定荷重試験での疲労寿命が 10⁷ 以上のものであつた。このことから、ランダム疲労ではこのような低荷重の影響を無視しえないことが判る。
- 4) Miner 仮説による推定は、寿命を過大評価する傾向にあり、本実験のような条件下では適用し得ない。

本報告は日本造船学会電気溶接研究委員会第一分科会での資料として提出し討議していただいた。紙面をかりて委員各位に感謝の意を表す。また、実験および装置製作の一部は後藤、橋本両君の卒業研究として行われた

ものであることを附記して謝意を表する。

参 考 文 献

- 1) S. R. Swanson : "Random Load Fatigue Testing : A State of the Art Survey", Materials Research & Standard, Vol.8, No.4, 1968
 - 2) "実働荷重における疲労に関するシンポジウム" テキスト, 日本材料学会, 1967
 - 3) "船体構造部材交叉部の PROGRAM 疲労試験", 三菱広島, 造船学会電気溶接研究委員会第1分科会資料, 1968
 - 4) E. V. Lewis : "Predicting Long-Term Distribution of Wave-Induced Bending Moment on Ship Hulls", Trans. SNAME, Vol.75, 1967
 - 5) E. S. Gumbel ; "Statistics of Extremes", pp.302~305, Columbia Univ. Press, New York, 1960.
 - 6) S. L. Bussa : "Fatigue Life of a Low Carbon Steel Notched Specimen under Stochastic Conditions" Tech. Report. MTS, 1967
 - 7) S. C. Saunders and Z. U. Birnbaum : "A Probabilistic Interpretation of Miner's Rule" Mathematical Note No.505, Boeing Scientific Research Lab., 1967
 - 8) 板垣, 他 : "変動繰返し荷重をうける単部材および多部材構造の信頼性", 造船学会論文集, Vol.123, 1968
-