

機械の疲労寿命算出法と今後の問題点 (6)

川崎重工業(株) 技術研究所 中村 宏*

20. その他

19. まだに種々なことを述べたが、これらの範疇に入らない現象やその後明らかになったことがらの内二、三のついたことをまとめてみよう。

20.1 きづ入り迄の過程について

2, 3 および 4 などではきづが入り、またそれが進展して破断する疲れ強度についてのべた。しかし、きづが入るまでも、じりが生じたり、また他の変化が生ずる。二、三の例を示そう。

(a) 図124(a)³⁰⁾は $C=0.17\%$ 鋼でつくった中空(外径9mm, 内径7.6mm)平滑試片の疲れ試験結果で、焼なまししたものと同周波焼入したものの資料である。平滑で且つ中空試片であるので、きづが入ったらすぐ破断するので、図の S-N 曲線は図1のAとBが一緒になったものである。この場合、きづ入りまたは破断の寿命の100

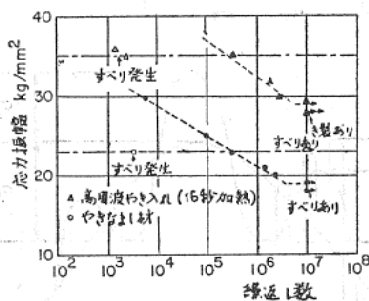


図124 (a) 焼なましフェライトと残留フェライトのすべりに対する挙動の相違を示す曲線の一例

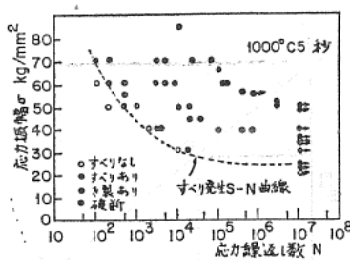


図124 (b) S-N 曲線

分の1倍の寿命ですでにじりが発生していることが認められる。図124(b)³⁰⁾は $C=0.17\%$ 鋼でつくった高周波焼入した中実試片の疲れ試験結果で、じりきれつ入り、破断に対する S-N 曲線を示す。

何れにしても、き裂発生よりもじり発生に対してまで注意をむけると寿命は 1/100 になることを示している。

(b) 高周波焼入した試験片を疲労試験すると、最初に結晶粒界に析出物らしきものが発生し、これがき裂になる事象が見出された^{31), 32)}。

疲労現象が普通じり→き裂→破断といわれるが、じりの発生する前に組織の変化がおこるということは疲労のメカニズムを知る上で興味ある現象である。簡単に紹介しよう。

S15C, S25C, S35C, S55C でつくった試験片を過熱ぎみに高周波加熱焼入れした試験片を表面電解研磨後疲労試験を行った。

S-N 曲線の1例を図125(a)(b)に示し、顕微鏡写真は図126に示す。

ここで、符号の意味は図中に示してあるようで、(i)表面の結晶粒界とおおしきところに析出物のようなものが連続して発生網目を生じている。(ii)表面の結晶粒界に析出物が発生しているが網目になっていない。(iii)全くこのような斑点はあらわれない場合の三つに分けられる。

S15C の時(ii)の状態がでだすのは疲れ限度(約58kg/mm²)の70%位から、(i)の状態がでるのは疲れ限度

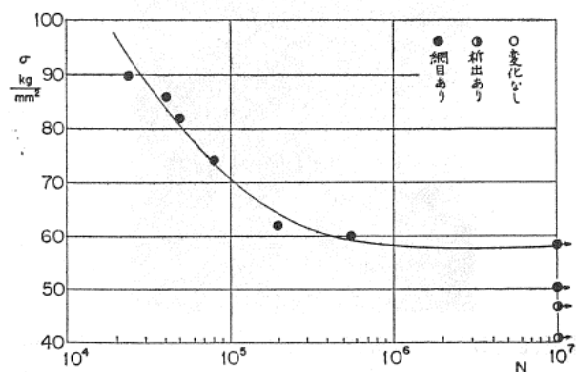


図125 (a) $C=0.15\%$ 高周波焼入、平滑試験片、疲労試験結果 (WS. $H_V=388$)

* 神戸市生田区東川崎町 2-14

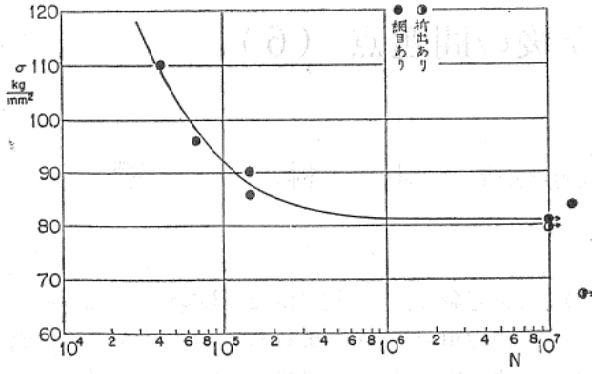


図125 (b) C=0.25%高周波焼入，平滑試験片，疲労試験結果 (XS. $H_V=525$)

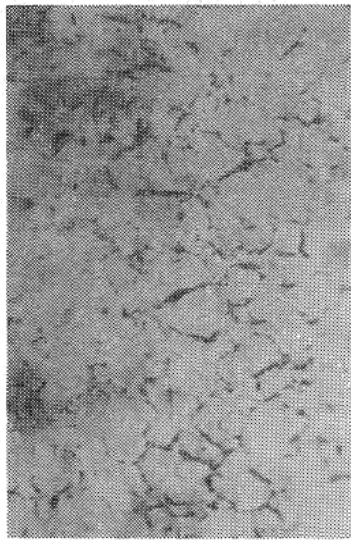


図126(a) 疲れ限度の応力においてC=0.15%材表面に表われた組織変化
 $\sigma=58\text{kg/mm}^2, N=1.025 \times 10^7 \quad \times 400$

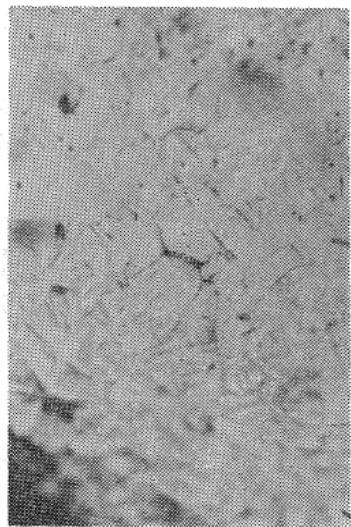


図126 (b) C=0.25%材において見出された析出物の網目の一辺にそって生じたマイクロ・クラック
 $\sigma=110 \text{ kg/mm}^2, N=4.22 \times 10^4 \quad \times 400$

の約85%以上で出ている。

S25C の時は (ii) の状態が出だすのは疲れ限度 (約 80kg/mm^2) の85%位から (i) の状態は 疲れ限度以上である。

S35C, S55C の場合は (i), (ii) の状態は出現しない。そのかわりに不純物からき裂が入りはじめ、また白点に移行しているのがみられる。

これらの試料の表面硬度のばらつきを調べると、 $H_V=500$ を境目にして、 $H_V=500$ よりひくい硬度のところがあると、上記 (i) (ii) の組織を生ずることがわかった*。

(c) 上記(a), (b)何れにしても、き裂発生までを詳細にしらべることは今後へのこされた問題であるが、疲労破壊をどこを起点におくかによってかなり、くり返し数がかはり、寿命の判定に大きな変化を生ずることは注意する必要がある。

20.2 重畳波形の実験 (追加)⁹¹⁾

20.2.1 三重々畳波の場合

7.では 図15(a) のような場合を取扱ったけれども、図127(a)のように三つの波が重畳している場合も、図16のような求め方 (中村・田中法) が成立するときには、同様に寿命を算出しよう。簡単に説明しよう。

$$\left. \begin{array}{lll} 1 \text{ 次波} & \sigma_1 & n_1 \text{ c/s} \\ 2 \text{ 次波} & \sigma_2 & n_2 \text{ c/s} \\ 3 \text{ 次波} & \sigma_3 & n_3 \text{ c/s} \end{array} \right\} n_1 < n_2 < n_3 \text{ とする.}$$

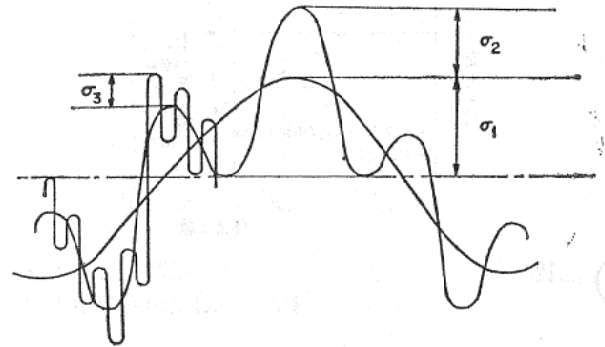


図127 (a) 三重々畳波の寿命の求め方

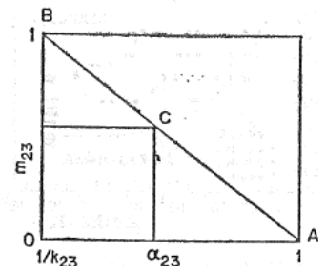


図127 (b)

* 19.2.1.5 参照。

考え方としては σ_2 の応力 1 波長の上に σ_3 なる応力が (n_3/n_2) 回のついているが、これを $(\sigma_2+\sigma_3)$ なる振巾を有する波が何回きているかを図16と同様に求めてみる。即ち、

図127(b)に示すように横軸比 α_{23} (対数目盛) をとり、縦軸に m_{23} をとる。ここで、A、B点を定め、これを直線で結んで任意の m_{23} に対して寿命比 α_{23} を推定する。この α_{23} を用いて等個な応力波形を次のようにして求める。

$$\text{応力振巾 } \sigma_2+\sigma_3 \quad \text{繰返しサイクル } n_2/\alpha_{23}$$

この数値を用いて図127(a)の波形を図128(a)の波形になほす。

図125(a)と同様な考え方で下記諸元を用いて

$$m_{123} = \frac{\sigma_2+\sigma_3}{\sigma_1+\sigma_2+\sigma_3}$$

$$k_{123} = \frac{n_2/\alpha_{23}}{n_1}$$

これから図128(b)がえられる。 m_{123} がえられれば、寿

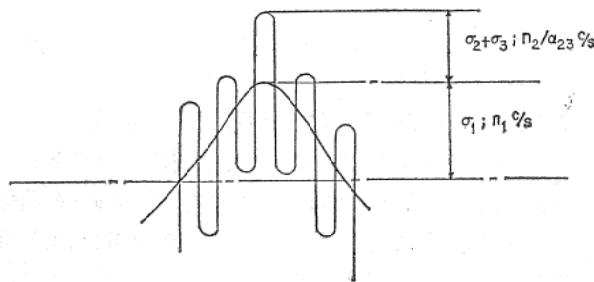


図128 (a) 三重々畳波寿命の求め方

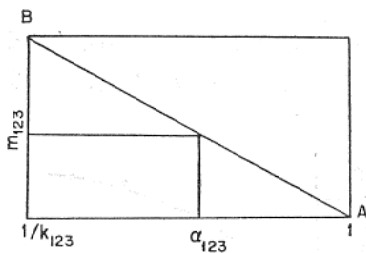


図128 (b)

命減少比 α_{123} がえられる。

$(\sigma_1+\sigma_2+\sigma_3)$ の大きい一定応力振巾での疲労試験結果がえられれば、図127(a)のような三重々畳波形の時の寿命推定ができる。

表18は鋳鋼及び SS41 材の平面曲げ試験片を用いた時の計算値*と実験値の比較で \bar{N} (実験値)/ \bar{N} (計算値) は (0.4~1.3) の間に入っている。勿論厳密ではないが、凡その所はよいといえる。

同様にして四重々畳波の場合もできるが詳細は文献⁹⁾にゆずる。

20.2.2 1次波がランダム波でその上に2次波が重なった時、

図129のように1次波がランダム波形でこの上に2次波が重なった時の疲れ試験を行った。

整理法としては20.2.1でのべた方法もつかへるが、これでも実際には仲々面倒なので、図56の(2) Po 法によった。SS41 材についての実験結果を表19に示す。 $\Sigma(n_i/$

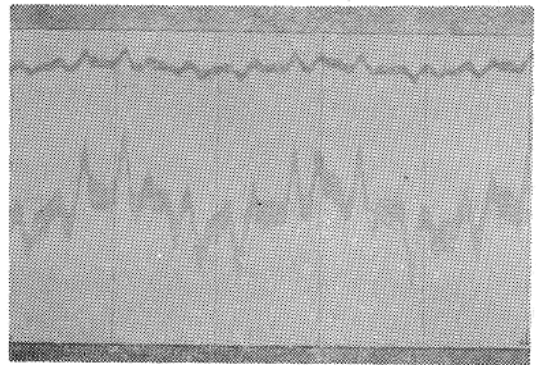


図129 ランダム波に重畳波がのった時のオシロ波形

* 試験 No. 1 について数字を入れて説明する。

$$m_{23} = \frac{5.3}{23.6+5.3} = \frac{5.3}{28.9} = 0.183, \quad \frac{1}{k_{23}} = \frac{6}{60} = 0.1$$

$$\frac{n_2}{\alpha_{23}} = \frac{6}{0.66} = 9.1 \quad m_{123} = \frac{23.6+5.3}{4.6+23.6+5.3} = \frac{28.9}{33.5} = 0.86$$

$$\frac{1}{k_{123}} = \frac{0.6}{9.1} = 0.066, \quad N = 1.1 \times 10^5$$

$$\bar{N}_{cal} = 1.1 \times 10^5 \times 9.7 \times 10^{-2} = 1.067 \times 10^4$$

表18 三重重畳波疲労試験結果

試片No.	σ_1	σ_2	σ_3	n_1	n_2	n_3	m_{23}	m_{123}	α_{23}	α_{123}	N	\bar{n}	\bar{N}	\bar{n}/\bar{N}	材質
1	4.6	23.6	5.3	0.6	6	60	0.183	0.86	0.66	0.097	1.1×10^5	9.18×10^3	1.067×10^4	0.86	SC49
2	6.2	5.5	20.1	3	6	60	0.785	0.81	0.16	0.130	1.4×10^5	7.66×10^3	1.82×10^4	0.42	"
3	6.5	6.5	20.7	1	6	60	0.760	0.81	0.17	0.054	1.1×10^5	2.33×10^3	5.94×10^3	0.39	"
4-4	8.8	20.7	10.1	1	6	60	0.328	0.778	0.47	0.138	5.1×10^4	5.49×10^3	7.05×10^3	0.78	SS41
4-5	10.6	16.1	13.8	1	6	60	0.462	0.738	0.34	0.119	4.5×10^4	6.66×10^3	5.36×10^3	1.24	"
2-5	4.63	4.7	27.2	1	6	60	0.85	0.874	0.14	0.038	8.3×10^4	4.00×10^3	3.15×10^3	1.27	"

表19

σ kg/mm ²	$n_i \times 10^3$	$N_i \times 10^5$	$n_i/N_i \times 10^{-2}$
24.4	3.0	54	0.06
25.2	8.3	25	0.33
26.0	6.8	15	0.45
26.8	5.3	11	0.48
27.5	1.5	8.4	0.18
28.3	9.8	6.4	1.53
29.1	2.3	5.0	0.46
29.9	2.3	3.9	0.57
30.7	1.5	3.2	0.47
31.5	4.5	2.6	1.73
32.3	3.0	2.1	1.43
33.0	4.5	1.7	2.65
33.8	2.3	1.4	1.64
34.6	5.3	1.2	4.42
35.4	5.3	1.0	5.30
36.2	4.5	0.9	5.00
37.0	1.5	0.8	1.88
37.8	3.8	0.7	5.43
38.6	0.8	0.6	1.33

累積被害比 $\Sigma(n_i/N_i)=0.35$

$N_i=0.35$ とでている。若干、 $\Sigma(n_i/N_i)=1$ と外れているが、図58でのべた整理法の意味がある程度つかめるであろう。

20.3 不規則応力をうける部材の疲労強度の推定法について

表1に示したような種々な荷重変化や応力波形の変化に対応する疲労寿命を一般的に求めることは今の処困難であり、実験的に求めるより方法がないが、一つの考え方を種々の現象に適用しうる方法として、著者は次の方法が最も将来性があるように思う。

20.3.1

著者が以前に提察した式⁽⁹²⁾⁽⁹³⁾を単純化すると(8)式を得る。

$$W_{N\sigma} = f_1(\sigma_+) \quad (8)$$

ここで、 $W_{N\sigma}$: 試片に働く剪断応力が N 回くりかえすことによりある領域のある部分の材質変化に消費されるエネルギー

σ_+ : τ のくりかえしと同時に外力による主応力または残留応力によって裂が発生するがその時働く主引張応力

$W_{N\sigma}$ は1回のくりかえしをうける時に疲れに寄与するひずみエネルギーを $\Delta W_{1\sigma}$ とし、 n 回くり返したのちのそれを $\Delta W_{N\sigma}$ とすると次式をうる。

$$W_{N\sigma} = \sum_{n=1}^N \Delta W_{N\sigma} \quad (9)$$

$\Delta W_{1\sigma} = \Delta W_{N\sigma}$ の時は

$$W_{N\sigma} = N \cdot \Delta W_{1\sigma} \quad (10)$$

ここで、 $\Delta W_{1\sigma}$ は図130のような $\sigma-\epsilon$ の曲線のヒステリシスループの α_1 倍*である。

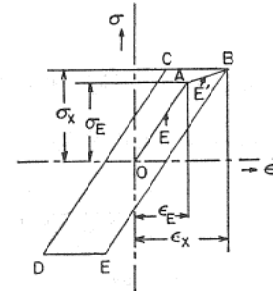


図130 応力を1サイクルをうけた時に消費されるエネルギーを計算するために仮定したモデル

したがって、ヒステリシスループの面積 A_n の総和が次の式をみたす時、きれつが入ると考える。

$$\sum_{n=1}^N A_n = f_2(\sigma_+) \quad (11)$$

この式をもって一般的な式と考えるのである。

このような考え方をを用い、また、基本のヒステリシスループの面積を求めるために、疲労試験中の $\sigma-\epsilon$ 曲線(図131)を考慮に入れて、(i)寸法効果(ii)切欠効果の実験の結果の説明を加えた。図132は寸法効果をこのように考えて計算し実験値とあわせたものである。⁽⁹³⁾

20.3.2

鯉淵ら⁽⁹⁴⁾は正弦波形、三角波、方形波のそれぞれの疲れ寿命を算出するために、 $\sigma-\epsilon$ 動的曲線を求め、これ

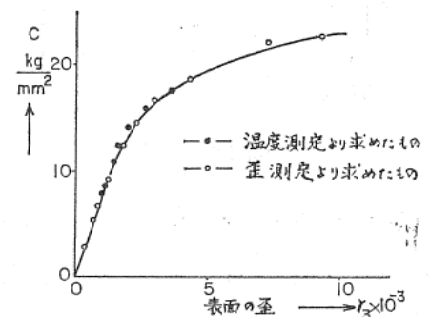


図131 C=0.41%鋼焼なまし材における τ と γ_s との関係

* ヒステリシスループの表わすエネルギーの大部分は熱になり、 α_1 倍が疲労に寄与する。 α_1 の値については文献(92) P. 178参照。

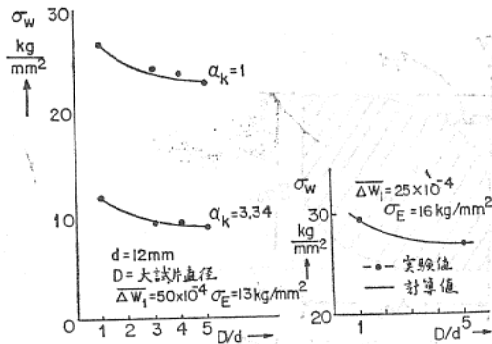


図132(a) 田川博士の実験結果と計算値とを比較したもの
 図132(b) 車軸鋼についての筆者の実験
 D:大試料の直径
 d:小試料の直径10mm

より塑性ひずみ振幅 ϵ_{pa} と破壊までのくりかえし数 N との関係及び塑性ひずみエネルギー W_p kg·cm/cm³ と N との関係を出している。(図133, 134参照)
 そして、 $\epsilon_{pa}-N$ 線、 W_p-N 線図、何れも波形の如何に拘らず直線上にのることを示している。

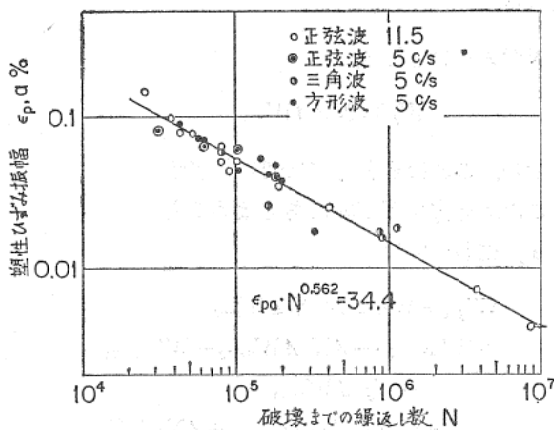


図133 $\epsilon_{p,a}-N$ 曲線 (平滑試験片) (鯉淵, 山根)

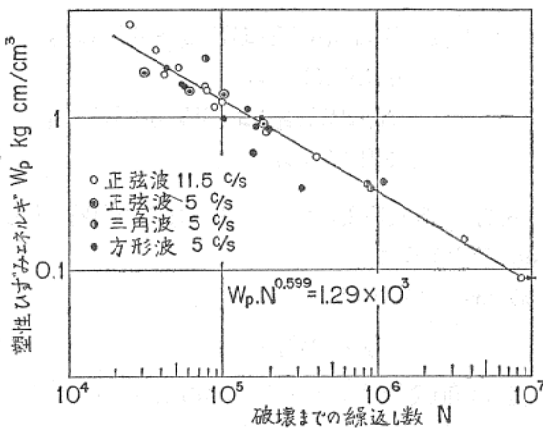


図134 W_p-N 曲線 (平滑試験片) (鯉淵, 山根)

20.3.3

Morrow⁹⁵⁾ はやはり塑性歪エネルギーの総和 W_f を疲労破壊の対称とし、引張応力が大きいほど W_f は小さくてよいとしている。図135はその結果である。式(11)は図135を表わしている。

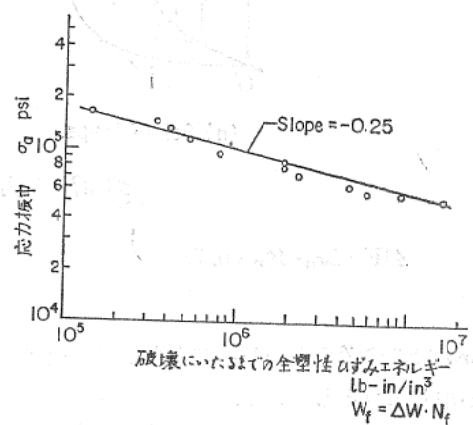


図135 疲労破壊に要する全塑性歪エネルギー (Morrow)

$$W_f = N \cdot \Delta W \tag{12}$$

とおき、 ΔW は1サイクルでの消費エネルギーとし、疲労試験中を通じてほぼ一定であると仮定している。(12式は表現がちがうが(10式と全く同じ内容である。

1サイクルあたりの塑性歪エネルギーがくりかえし数によってあまり変化しない例を図136に示す。(10式参照

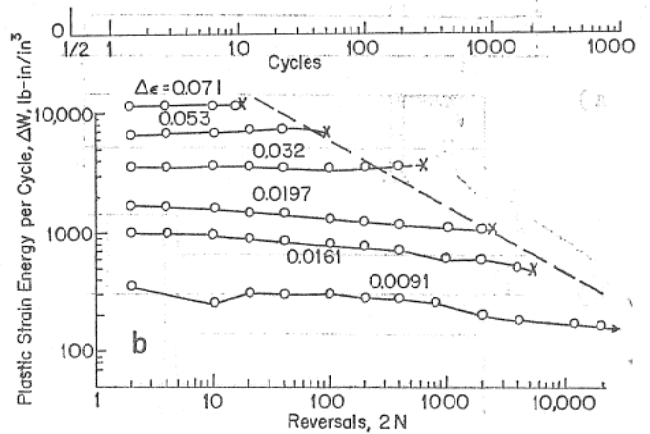


図136 塑性ひずみエネルギーとくりかえし数の関係 (Morrow)

Morrow は ΔW を次式で与え、 $n'=0.15$ を実験結果から与えている。

$$\Delta W = 2\sigma_a \Delta \epsilon_p \left(\frac{1-n'}{1+n'} \right) \tag{13}$$

ここで、 σ_a 、 $\Delta \epsilon_p$ は図137に示す。かきかえて

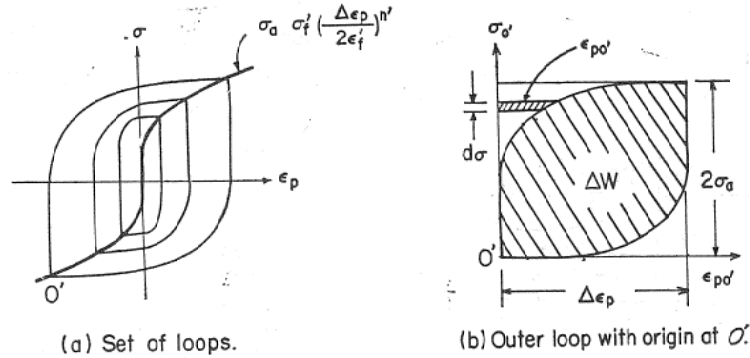


図137 応力-塑性ひずみループの模型図

$$\Delta W = 2\sigma_a \cdot \Delta \epsilon_p \times 0.75 \quad (14)$$

となる。

Morrowはこの考えをつかって応力振巾が変化する場合にも応用しようとしている。

白鳥ら⁹⁶⁾はやはり塑性仕事と疲れ強さの関係について研究を行ない、同様な結論を出している。

20.3.4 変動荷重の場合の寿命に関する考え方。

上述の考え方を応力振巾が変動する図138のa) b)の場合について適用する。

その前に、まづ一定荷重の場合の塑性仕事についてのべる⁹⁶⁾。

図139は定荷重くり返し疲労試験におけるくり返し応

力-ひずみループの略図であるが、繰返し荷重によって累積される塑性仕事は図中点線で示される0点よりA点までの最初の荷重中における塑性仕事 W_0 と各サイクルにおけるヒステリシスループ内の面積に相当するくり返し塑性仕事 ΔW_0 から破壊までの累積塑性仕事 W_f^* は、破壊くりかえし数を N として

$$W_f' = W_0 + N \cdot \Delta W \quad (15)$$

となる。

N が大きいと(15)式は

$$W_f' = N \times \Delta W$$

となる。これは形としては(12)に相当する。

この考え方を図138にあてはめると

a) においては

$$\begin{aligned} W'_{fa} &= W_{0,\sigma=\sigma_1} + N_i \Delta W_{\sigma=\sigma_1} \\ &+ W'_{0\sigma=\sigma_2} + \Delta N \cdot \Delta W_{\sigma=\sigma_2} + W''_{0\sigma=\sigma_1} \\ &+ N_j \cdot \Delta W_{\sigma=\sigma_1} \\ &= (N_i + N_j) \Delta W_{\sigma=\sigma_1} + \Delta N \cdot \Delta W_{\sigma=\sigma_2} \\ &+ W_{0\sigma=\sigma_1} + W'_{0\sigma=\sigma_2} + W''_{0\sigma=\sigma_1} \end{aligned} \quad (16)$$

b) においては

$$\begin{aligned} W'_{fb} &= W_{0,\sigma=\sigma_1} + N_k \cdot \Delta W_{\sigma=\sigma_1} + W'''_{0,\sigma=\sigma_2} \\ &+ \Delta N \cdot \Delta W_{\sigma=\sigma_2} \\ &= N_k \cdot \Delta W_{\sigma=\sigma_1} + \Delta N \cdot \Delta W_{\sigma=\sigma_2} + W_{0,\sigma=\sigma_1} \\ &+ W'''_{0,\sigma=\sigma_2} \end{aligned} \quad (17)$$

一方、疲労破壊またはきづ入りまでの W_f として図140に示すように、

$\sigma_2 > \sigma_1$ であるから

$$W'_{f,a} > W'_{f,b} \quad (18)$$

従って(16)式と(17)式での $\Delta N \cdot \Delta W_{\sigma=\sigma_2}$ がひとしく、また

* W_f' と W_f を区別したのは W_0 が入っているからである。

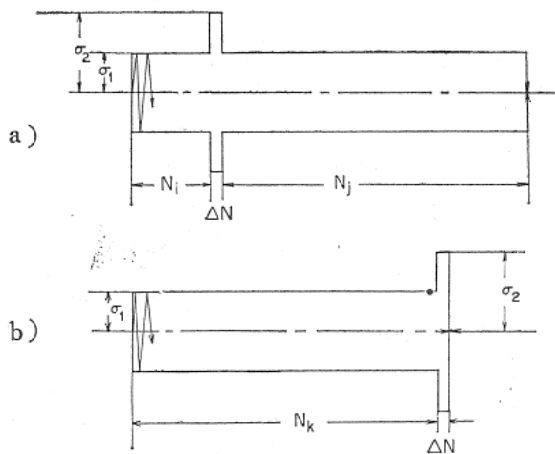


図138

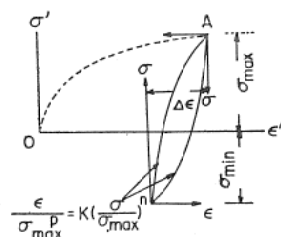


図139 σ' - ϵ' 線図の説明 (白鳥ら)

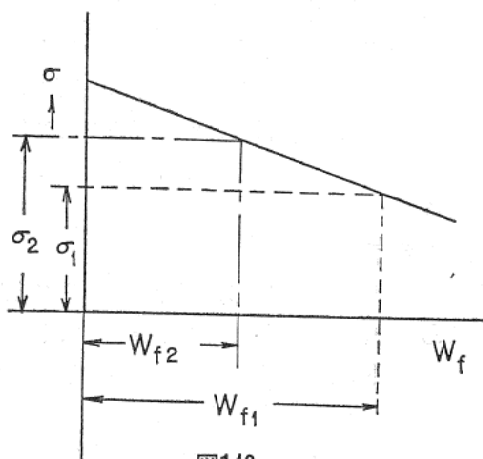


図140

$W'_{0,\sigma=\sigma_2} + W'_{0,\sigma=\sigma_1} = W'''_{0,\sigma=\sigma_2}$ とするならば、

$$N_i + N_j > N_k$$

となる。

即ち、きれつが入る時の応力に対応する W_f に到達するまでの各応力はヒステリシス・ループの増大に寄与し、最後のき裂が入る時の引張応力がき裂を入れると考える。

従って、同じ応力であっても、その時期によってひずみエネルギー増加に使われ、その時期によってはき裂入り寄与する。

前者はスカラー量で、後者はベクトル量であるから、疲労き裂発生に対して方向性があることに対する説明と同時に、エネルギー的概念も入っている考え方である。*

ただし、実際の実験結果の一例は図141¹⁹⁾ のようであり、上述のように簡単にはいかななくて、現段階では実験にまつより致し方がない。

図141のように簡単にいかない理由として(i)図139に示したように、応力をかへた時の最初のヒステリシス・ループの面積 [(15式の W_0)] がそれ以後のヒステリシス

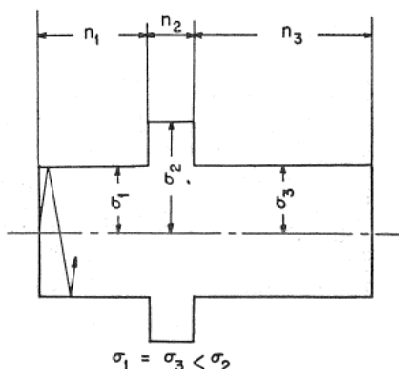
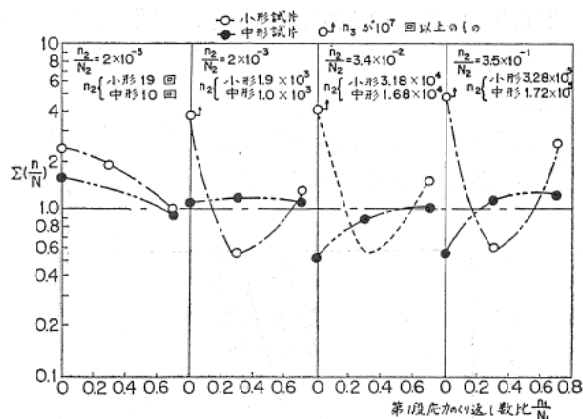


図141 (a) 低一高一低二段三重々複疲れ試験

* この考え方は低繰返し数疲労の時にはよくあてはまる。¹⁰⁾



中形 $d=24.9$ $\rho=0.7$ $\sigma_1=\sigma_3=11.5$ $\sigma_2=14.9$
 小形 $d=8.8$ $\rho=0.23$ $\sigma_1=\sigma_3=10.4$ $\sigma_2=13.4$

図141 (b) $\frac{n_2}{N_2}$ と $\Sigma\left(\frac{n}{N}\right)$ の関係

・ループに比して大きいこと、(ii) (16)(17式の $dW_{\sigma=\sigma_1}$, $dW_{\sigma=\sigma_2}$ などが応力の順序によっては実際にかはること (iii) 図139の ϵ' 軸のずれが平滑試片で色々に表わされ、残留応力として作用することなどが考えられる。

以上に示したように、まだ問題はあがるが、ひずみエネルギーの蓄積量を疲労破壊の目安と考える方法は、今のところ、寸法効果、切欠効果、波形効果、変動荷重をある程度説明しうることを示している。ただ、同一材料について、これらの実験を一貫して遂行した資料がないから、厳密にいつどこがよくて、どこがわるいのかはよくわかっていない。

それぞれの論文においてはよく、それぞれの著者の考え方があうといっているのであるから、一面の真理を表わしているものであり、ただすべてを充てていないといえる。

20.3.5

菊川ら⁹⁾ は Manson-Coffin のあたえた

$$\Delta\epsilon_p \cdot N^\alpha = C \quad \alpha: C \text{ 材料常数} \quad (20)$$

を用いて変動荷重下の低くりかえし数疲労の問題をたくみにといている一読されたい。

累積損傷として $\Sigma\sigma\Delta\epsilon_p$ を考えるか、 $\Sigma\Delta\epsilon_p$ を考えるか、色々議論があるが、 $\sigma=\text{const}$ と考えれば、 $\Sigma\sigma\Delta\epsilon_p$ は $\Sigma\Delta\epsilon_p$ になるので、 $\Sigma\sigma\Delta\epsilon_p$ の方が一般性があると思う。

20.4 異った種類の荷重による応力を組はせた時のき裂進展

$\sigma \rightarrow \tau$, $\tau \rightarrow \sigma$ と応力の種類を疲労試験の途中でかえた寿命の問題については、すでに8.でのべたが、このような時のき裂進展も図9でのべた曲げ応力の変動の場合と同様、それぞれが単独にき裂が進展する場合と異った興味ある挙動を示す。

図142^(a)は実験の1例で、重ね合わせ則が成立する場合、き裂が予想より早くすすむ場合と色々である。

何れにしても、

- (i) 同じ応力の種類で振巾を変化せしめたとき
- (ii) 応力の種類をかえたとき

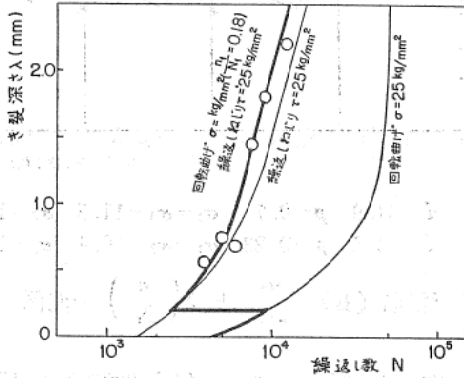


図142 (a) 回転曲げ $\sigma=25\text{kg/mm}^2$ ($\frac{n_1}{N_1}=0.18$)
→繰返しねじり $\tau=25\text{kg/mm}^2$ における
き裂進展

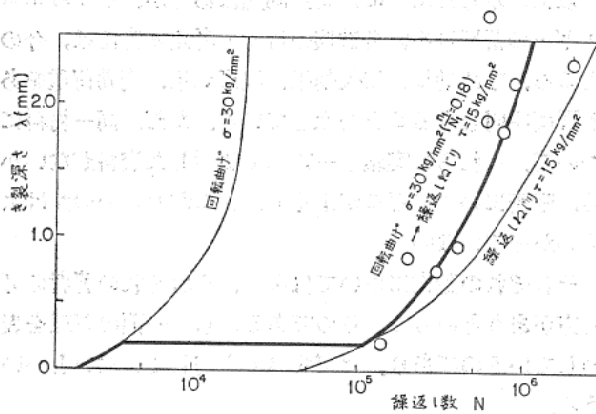


図142 (b) 回転曲げ $\sigma=30\text{kg/mm}^2$ ($\frac{n_1}{N_1}=0.18$)
→繰返しねじり $\tau=15\text{kg/mm}^2$ における
き裂進展

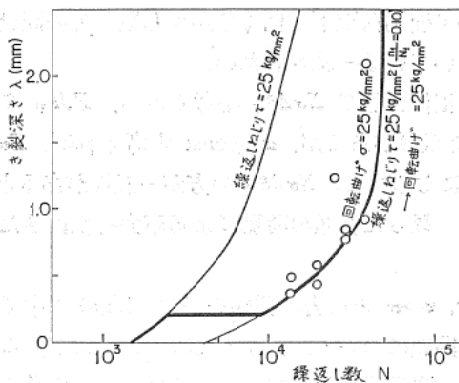


図142 (c) 繰返しねじり $\tau=25\text{kg/mm}^2$ ($\frac{n_1}{N_1}=0.10$)
→回転曲げ $\sigma=25\text{kg/mm}^2$ におけるき裂進展

(iii) 試験途中で温度をかえたとき

(iv) (ii)(iii)何れも応力も変化せしめたとき

等、それぞれ複雑な推移を示す。実際の機械は応力の絶対値、応力の種類、応力波形、温度等種々に組合わされるので、これらすべての資料をうることは、ここ当分困難であろう。

20.5 疲労度計

応力の絶対値を知るために、歪計を用いる方法が最も一般的であるが、この方法とても万能ではなくて、とくにある試験区間の資料はとれるが、試験をしないときの試料については全く情報がえられない。

これらの情報をうるために、疲労度計というものがある。

これは一種の歪計であるが、まづ、図143のように応力一定で歪計が抵抗変化または断線するまでのくりかえし数を求めておく。実際の機械にこのものを貼りつけておいて、ある時期がきてから、これをしらべ、その状況からその応力を判断するのである。

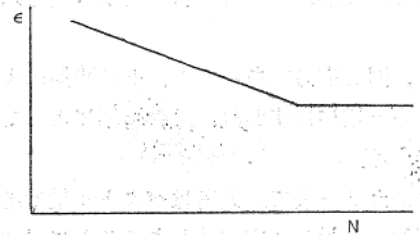


図143 ひずみ計の $\epsilon-N$ 曲線

この方法は一定応力がきているときにはよいのであるが、応力が変動したり周波数や波形が色々にあらわれるときには、その検定を充分にしておかないと、もとの応力の実態を知ることは難しい。

ただ、何種類もの疲労度計を貼りつけておき、その破壊の様相から、相当応力が何回働いていると判断することができる*。

* A種の疲労度計の a, b, c の S-N 曲線は図144(a)のようであるとする。このときは、C線が切れて、a, b線がきれいなときにはみかけの応力と頻度は図の斜線の範囲のようになる。これだけでは σ と N は一義的にはもとまらない。そこでB種の疲労度計を用い図144(b)の a', b', c' の S-N 曲線をもとめておき、やはり c' 線が切れて a', b' 線がきれいなときには、図144(b)の斜線の範囲にあるといえる。図144(a)と図144(b)がもとまった時、これを重ねあわせた図145から、この場合のみかけの応力と相当くりかえし数は図145の斜線の部分であると判断する。

但し、あくまでも実際の機械に貼布してでてくるみかけの ϵ と N である。

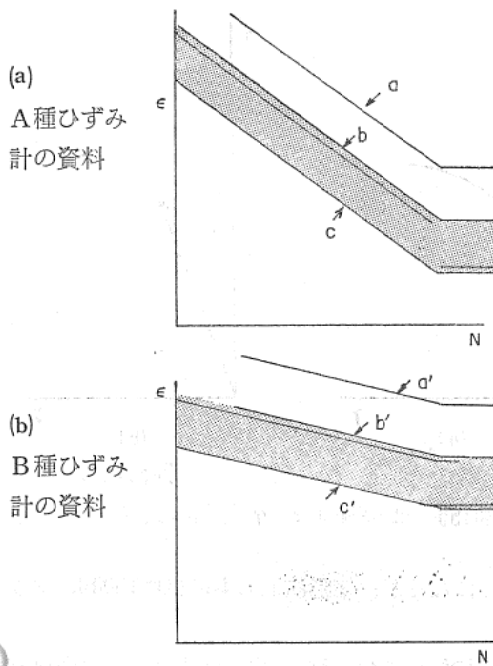


図144

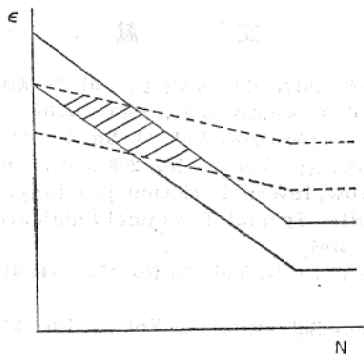


図145

ただ、実際には、疲労度計の精度等が問題となり、今後の資料の蓄積が大切である。

図146⁹⁹⁾は東京測器製 3mm ゲージについての疲労試験の結果である。なお、この図で m とかいてあるのは、図16の Σ/σ に相当するもので $m = \frac{\sigma}{\Sigma + \sigma}$ であらわしてあり、重畳波形の実験で、縦軸の $\epsilon + \epsilon$ は $\left(\frac{\Sigma + \sigma}{E}\right)$ に相当するひずみである。

かなりばらつきがあるが、このような資料が現れてくれば実用になるであろう。

あまり精度はのぞめないが、応力を実際に測定できないことも現実には多いので、凡その見当をつけるには有用な方法である。

20.6 形の影響

一般に弾性学では簡単には、例えば曲げ応力をうける時、曲げモーメント M を断面係数 Z であり、応力を求めて、また応力集中度を出して疲労強度を推定するが、形

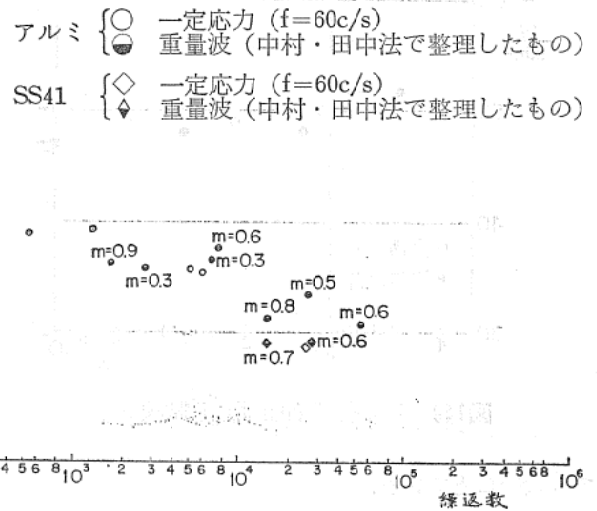


図146 (ε+ε)-N 曲線 (歪計自身の)

の影響についてはわかっていないことが多い、きのついたことを二、三のべてみよう。

a. 上田ら¹⁰⁰⁾は溶接ビード付根の疲労強度を検討するために、図147のような試験片について平面曲げ疲労試験を行っている。実験の1例は図148のようで、通常同じように取扱っているが、 (S/b) によって σ_{w1} が著しくことなることがみられるのである。溶接の際など注意すべきことである。

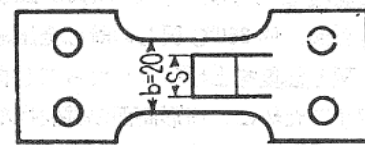


図147 切欠き試験 (板厚3.5, 突起部板厚6)

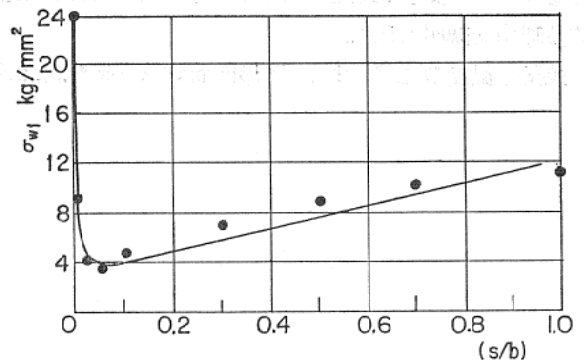


図148 (s/b)- σ_{w1} 関係

b. 図107⁸⁴⁾のように丸構をつけた試験片と平滑試験片の平面曲げ疲れ試験結果を図149に示す。あまり形状による疲れ強度の差がない。このときの応力集中度は約1.5であったから、これまでの簡単な考え方では理解

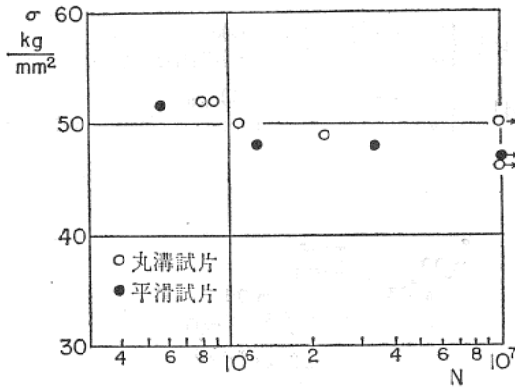


図149 歯車材平面曲げ疲れ試験結果

できないことである。

c. 中実丸棒と中空丸棒の疲労限の差

通常同じ疲れ限度を有するといわれているが、寸法が大きくなると中空軸の方が疲れ強度がひくくなるといわれている。

船の推進軸など大形船では軸受への負担荷重軽減のため、中空にしているが、中空になった場合疲れ限度がどの程度ひくくなるかについては定説がなく、実用上重要な問題である。

d. 矩形断面と円形断面の振り強さに対する影響

戦争中、高射砲の復坐ばねは断面矩形のコイルばねがつかわれていた。

このばねの材質は代用鋼として CrMo 鋼がつかわれるようになったが、約 350°C 戻しの際は全圧縮するとばねが破壊し、戻し温度を上げるとへたってしまった。この原因を究明するために、円形断面の試験片の焼入後の焼戻し温度をかえて試験したが、破損する理由は見出しえなかった。種々考えた末、模型化した矩形断面の試験片をつくって振り試験をすると、実物コイルばねの破損する理由を説明しえた。

焼戻し温度のひくい時、円形断面の $\tau-\gamma$ 線図は図

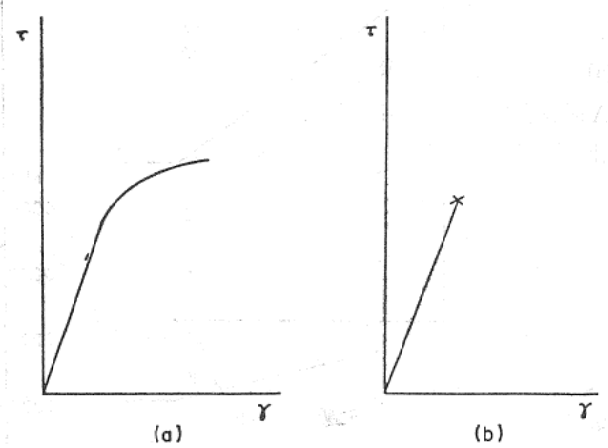


図150 ばね鋼の $\tau-\gamma$ 線図の比較

150(a)のようになるが、矩形断面のものは図150(b)のようになった。

熱処理、材質の選定を行なう時、丸棒試験片の資料だけで判断するのは時によって危険である。

文 献

- 91) 中村, 伊藤, 西村, 堀川, 川崎技報, Vol. 35 (昭44.10) P. 17
- 92) 石橋, 全層の疲労と破壊の防止, (昭29) p.178
- 93) 中村, 鉄道業務研究資料, Vol. 13. No. 1 (昭31.1) p.1
- 94) 鯉淵, 山根, 機論 Vol. 34. No. 258 (昭43.2) p.261
- 95) J. Morrow, Internal Friction, Damping, and Cyclic Plasticity, Special Technical Publication, No. 378 ASTM (1965)
- 96) 白鳥, 小幡谷, 機論, Vol. 35, No. 272 (昭44.4) p.701, 705, 711
- 97) 菊川, 大路, 鎌田, 城野, 機誌 Vol. 70, No. 585 (昭42.4) p.1495
- 98) 中村, 星, 青木, 機械学会講演論文集, No.203 (昭44.4) p.281
- 99) 中村, 堀川, 蔵田, 小林, 機械学会関西支部第233回講演会講演論文集 (昭44.11) p. 55
- 100) 上田, 木ノ本, 機論, Vol. 33, No. 254 (昭42.10) p. 1552
- 101) 小幡谷, 白鳥, 機械学会講演論文集 No. 213 (昭44.10) p. 33