正しい均一な あらさ である場合には, かたさ測定値およびそのばらつきの値ともに変化を示さない。

(8) したがって, 測定値の変化の点からも, またばらつきの点からも試料裏面の あらさ に関しては限界値はない。

(9) なおここでは伝えられるところの裏面あらさの影響の実態をつかむため, 試料裏面と受台との接触の割合がかたさ測定値に及ぼす影響の模様についてもあわせ調べた。

(10) その結果, その真因は裏面あらさそれ自身ではなく, むしろ あらさ によって引き起される他のより直接的な原因によるものであることを推察した。しかしこの真因を究明することは, なお今後の検討にまたなければならぬ。

文 献

- (1) 町田, 機械学会論文集, **19**, 87 (昭 28), 1.
- (2) 町田, 機械学会論文集, **20**, 91 (昭 29-3), 136.
- (3) 町田, 機械学会論文集, **20**, 95 (昭 29-7), 424.
- (4) 町田, 機械学会論文集, **20**, 99 (昭 29-11), 733.
- (5) 町田, 機械学会論文集, **23**, 127 (昭 32-3), 230.
- (6) 町田, 機械学会論文集, **23**, 131 (昭 32-7), 497.
- (7) 町田, 機械学会論文集, **23**, 131 (昭 32-7), 504.
- (8) 町田, 機械学会論文集, **24**, 139 (昭 33-3), 198.
- (9) 町田, 機械学会論文集, **24**, 143 (昭 33-7), 494.
- (10) 町田, 機械学会論文集, **24**, 147 (昭 33-11), 772.
- (11) 佐藤, 精密機械特輯号, (昭 23-10), 12.
- (12) 吉沢, 機械学会誌, **54**, 392 (昭 26-9), 360.
- (13) 安藤, 精密機械, **18**, 4 (昭 27-4), 129.
- (14) 安藤, 加藤, 精密機械, **19**, 6 (昭 28-6), 224.
- (15) 町田, かたさ研究会資料, 32-45, (昭 32-11), 1.
- (16) 吉沢, 機械学会論文集, **21**, 103 (昭 30-3), 243.

602.178.3

新設した大形疲れ試験機とそれを用いた簡単な疲れ試験結果*

中村 宏**, 甘粕達雄**, 田村伸二**, 上田四郎**, 杉本忠勝**

A Newly Installed Large Fatigue Testing Machine and Some Test Results Conducted by It

by Hiroshi NAKAMURA, Tatsuo AMAKASU, Shinji TAMURA,
Shiro UEDA, and Tadakatsu SUGIMOTO

A large sized rotary bending fatigue machine capable of testing a specimen up to 60 mm in diameter (capacity: 1.6 ton-metre, range of revolution: 300 to 1200 r.p.m.) has been newly installed.

The present paper describes the testing machine briefly and gives some results of certain tests by this machine.

The principal results on specimens made of 0.35 % carbon steel are listed below;

Dia mm	Shape	Fatigue limit kg/mm ²	Remarks
10	plain	22	
50	V-Notch*	6.5	In all specimens, cracks were found at the root of notch
50	with crack	< 8	The fatigue limit varies with the shape and the depth of crack

* $\rho=0.25$ mm, $d=50$ mm, $D=80$ mm, $\theta=45^\circ$

Finally, the state of strain measured with resistance strain gages set over the crack and the test results on the propagations of cracks are described.

1. 序 言

鉄道車両の車軸等の設計, 製作上の参考資料を求め

* 昭和 33 年 4 月 1 日 第 35 期通常総会講演会において講演, 原稿受付 昭和 33 年 9 月 5 日.

** 正員, 鉄道技術研究所 (東京都港区芝海岸 通 1 の 1)

たり, あるいは修繕の基準を定めようとする時に必要なのは次の二つである。(i) 車両が走行中に働く応力のはあく。(ii) 車軸等の疲れ強さの問題。このうち, (i)については最近かなり判明して来た⁽¹⁾のであるが, (ii)については, かつて筆者の 1 人⁽²⁾が直径

50 mm の試験片について若干の実験を行い、またその他でも少しの実験はある⁽³⁾が、これまで主として行われているのは小形試験片によるもので、大形の実物に近い試料についての実験結果は非常にわずかである。最近、大形の回転曲げ疲れ試験機が八幡⁽⁴⁾、住友⁽⁵⁾、日立⁽⁶⁾に建設され、それぞれ貴重な資料を出しているが、疲れというものは数少ない実験では、なかなかすべてをつくす訳にゆかず、今後なお多数の資料を出す必要がある。

また、疲れの学問的な意味でも、より深く追求する場合に、小形試験片では十分つくせないことが多い。

そこで、以前から当研究室でも大形試験機の建設を希望していたのであるが、今回それが実現できたので、各種の条件を考えて直径 60 mm くらいまで試験可能な試験機をつくった。ここに、その大要を紹介し、また、この試験機を用いて行ったわずかの実験結果を報告し、御参考に供しようと思う。

2. 試験機の概要

第 1 図は試験機の全体図で容量は 1.6 t-m、試験片の直径は今のところ約 60 mm が最大である。

直径を 60 mm にえらんだ理由は、寸法効果に対する実験がある程度できて、なるべく取扱いが少数の人員ででき、かつ、試験片に要する材料費が少なくてすむことをねらったことである。

回転数は約 300 rpm から 1200 rpm まで変化できるように 20 HP 三相分巻電動機を用い、ベルト駆動に

第 1 図 試験機の全体図

第 2 図 試片つかみ部説明図

した。荷重はここで 10 倍に拡大され、試験片が折れたとき、機械にショックを与えるのを防ぐためにダンパが設けられている。

試験片を取付けるところの図は第 2 図のようで日立の試験機を参考にした。このようなチェックは取付け、取りはずしが非常に便利なおころが特徴であるが、試験片を正確につくらないと、正規の状態での取付けが困難であるのが欠点である。

その他の構造は、これまでの小形回転曲げ試験機と原理的には全く同一である。

ただ、試験機本体とは別に、電磁的にたわみを記録する装置、スリップリング、増幅器を用いての温度測定装置、およびスリップリングを用いてのひずみ測定装置を取付けた。

なお、本機は東京衡機製作所で製造したものである。

3. 試験機の検定結果

試験機に荷重をかけ運転を開始したときに、試験片表面に生ずるひずみを測定した。ひずみ測定は試験機取付けのスリップリングを通じ、第 3 図の B 点にはり付けたひずみ計を用いて行った。第 4 図は測定したオシログラムの一例で、第 5 図は回転数とオシログラムのよみの関係を示したものである。ひずみは回転

(静的ひずみ指示器を用いて測定したもの)
(円周に均等にき裂がはいっている試験片)

第 3 図 荷重と試験片表面のひずみの関係

(荷重 170 kg 回転数 350 rpm)

第 4 図 ひずみ測定時のオシログラム

第5図 回転数とオシログラムの振幅の関係

(十分機械を調整した場合)
(静的ひずみ指示器を用いて測定したもの)
(円周に局部的にき裂がはいった試験片)

第6図 荷重と試験片表面のひずみの関係

数にほとんど無関係に一定していることがわかる。

荷重をかえた時に生ずる B 点の静的ひずみ* の一例を荷重に対して植点したのが第3図の黒丸である。荷重が0の場合に、発生するひずみは理論的には0であるはずであるが、約 200μ (全振幅) のひずみがでており、約 2 kg/mm^2 (片振幅) にあたる。荷重を増すにつれて、理論的に予想される値に近づいてくる。

ちなみに、このひずみ測定を行ったときに、試験片中心でのふれをダイヤルゲージで測った値は $7/100 \text{ mm}$ (全振幅) で、この程度の大形回転曲げ疲れ試験機としては精度の無い方ではない。

荷重が小さいときには、以上のように誤差が多くてしたが、荷重が大きくなるにつれて誤差は減少してくる。小形の小野式回転曲げ疲れ試験機も、注意をおこたると、荷重が小さい時には相当の誤差があるものと推定される。最初の試験では、上のようなひずみがでたが、その後試験片の取付け、つりあいおもりの位置などに検討を加えた結果、第3図の荷重-ひずみ曲線は第6図のように改善された。

4. 簡単な疲れ試験結果

第1表の化学成分機械的性質を有する $C=0.35\%$ の

* 試験片を手で回転せしめてその時に生ずる ひずみ を静的ひずみ指示器で求めたもの。

第1表 化学成分および機械的性質

C	Si	Mn	P	S
0.35	0.15	0.53	0.019	0.037
引張強さ σ_B kg/mm ²	降伏点 σ_s kg/mm ²	伸 ϵ %($L=38\text{mm}$)	絞り ϕ %	
53.1	30.6	29.0	45.9

(a) V形切欠き試験片形状

(b) き裂試験片形状

第7図

○印……V形切欠き試験片
×印……き裂試験片 (円周に均一にき裂がはいっているもの)
△印…… " (円周に局部的にき裂がはいっているもの)

第8図 疲れ試験結果 ($\epsilon-N$ 曲線)

車軸鋼を用いて、第7図(a)のようなV形切欠き試験片をつくり、疲れ試験を行った。

Neuber形切欠きではないが、曲率半径の同じ Neuber形切欠きとみなして α_k を求めると、7.65 となる。石橋博士の著書⁽⁷⁾にある分岐点の α_k よりは大である。疲れ試験の結果は第8図に示すようであった。ただ、この図で普通の $S-N$ 曲線と異なるのは縦軸の応力にあたることを、第3図または第6図の検定曲線を用いてひずみをもって表わした。わざわざひずみで表わしたのは上記のように検定曲線を用いることと、もう一つは、最近疲れ強さをうんぬんする場合、その対称物のひずみは、ひずみ計で直接測定し、昔のように計算でもって応力を出す時はだんだん少なくなって来ているからである。ひずみ計で測った値でそ

のまま強度を討論する場合、これまでのような $S-N$ 曲線より、ここに示した $\epsilon-N$ 曲線のほうが意味がはっきりすると考えたからである。特に、応力が降伏点より上の場合には、 $\sigma-N$ 曲線と $\epsilon-N$ 曲線の差が顕著にでくる⁽⁸⁾。

第8図で白丸は第7図(a)の V 形切欠き試験片の結果である〔試験片形状第7図(b)〕。 $E=2.0 \times 10^4$ kg/mm² とすると、V 形切欠き試験片のいわゆる、疲れ限度(試験片全体が破断する意味での)は約 6.5 kg/mm²

($\sigma=5.87$ kg/mm², 10^7 でき裂なく 1.87×10^7 で折損したもの)

第9図 破断面の状況

($\sigma=5.7$ kg/mm², 10^7 で折損せず)

第10図 き裂の状況

である。V 形切欠き試験片破面の一例は第9図である。なお 10^7 回応力を加えても折損しなかった試験片の縦断面を第10図に示す。なお、第9図は 10^7 回ではき裂は生じていなかったが、 1.84×10^7 回で折損したもので、第8図には記録していない。 $\epsilon-N$ 曲線の折れ曲る点が小形試験片の場合に比し N の大きいほうにずれ、また、 $N=10^7$ 以上で初めてき裂がはいり折損が生じたのも寸法が大きくなったゆえのように考えられる。

10^7 回の応力に耐えたものも、切欠底にはたいていき裂がはいっているの、これからき裂試験片を2本つくり、これについて疲れ試験を行ったのが第8図の×印と△印とである。×印は長さ7mmのき裂が周辺均一にはいっている場合で、△印は後述6でのべるものである。

5. 疲れ試験結果に対する簡単な考察

5.1 β_k について き裂がはいりはじめるか、そうでないかという意味での疲れ限度 (σ_{wk1} と称す)でなく、試験片全体がこわれる意味でのこれまで言いならされた疲れ限度 (σ_{wk2} とす)と、小形平滑試験片の疲れ限度 (σ_{w0} とす)から求めた切欠き係数 β_k は本会 材料の疲れ強さ資料分科会で統計的に調査され環状V形切欠き丸棒の回転曲げに対しては次の式が提供された⁽⁹⁾。

$$\beta_k = 1 + \xi_1 \xi_2 \xi_3 \xi_4 \xi_5 \dots (1)$$

$$\xi_1 = c_1 + c_2 \sigma_B, c_1 = 1.1, c_2 = 0.022, \sigma_B = \text{引張強さ}$$

$$\xi_2 = 1 - e^{-c_3 d}, c_3 = 0.070, d = \text{切欠き底直径}$$

$$\xi_3 = 1 - e^{-c_4 \frac{d}{\rho}}, c_4 = 0.095, \rho = \text{切欠き底曲率半径}$$

$$\xi_4 = 1 - e^{-c_5 \left(1 - \frac{d}{D}\right)}, c_5 = 12, D = \text{切欠き段上直径}$$

$$\xi_5 = 1 - e^{-c_6 (\pi - \theta)}, c_6 = 1.7, \theta = \text{V形切欠きの角度}$$

今回の試験片のつかみ部分で、第11図に示すような位置から小形平滑試験片 ($d=10$ mm) を切出して疲れ試験した結果は第12図* のようで、 σ_{w0} として

(大形試験片のつかみ部から)

第11図 小形平滑試験片採取位置

* ひずみ測定は行わなかったので通常どおり $S-N$ 曲線を描いた。

第12図 大形試験片のつかみ部から切出した小形平滑試験片のS-N曲線

第 2 表

試験片 No	称 呼 応 力 kg/mm ²	繰返し回数 N	備 考
A-1	5.94	2.70×10^6	きず入り
A-2	5.90	2.952×10^6	"
A-3	5.95	2.80×10^6	"
A-4	5.98	2.706×10^6	"
A-5	5.95	8.3×10^5	きずなし
"	"	1.58×10^6	"
"	"	8.80×10^6	きず入り
A-6	5.93	2.97×10^6	きずなし
"	6.24	1.85×10^5	きず入り
D-1	5.94	1.026×10^6	きずなし
"	"	4.65×10^6	"
"	6.24	1.5×10^5	きず入り

22kg/mm²と認められる。したがって、 $\beta_k = \frac{22}{6.5} = 3.38$ となる。

次に、(1)式に $\sigma_B = 53.1 \text{ kg/mm}^2$, $d = 50 \text{ mm}$, $\rho = 0.25 \text{ mm}$, $D = 80 \text{ mm}$, $\theta = \pi/4$ とおくと $\beta_k = 3.11$ になる。

実験値と計算値と比較してこの程度にあえば、(1)式をある程度設計に用いて使用してさしつかえなからう。

5.2 σ_{wk2} 以下の応力でのき裂の有無について

別に報告する予定であるが、き裂材に高周波焼入れした時の疲れ強さを調べる目的で き裂試験片をつくる必要に迫られた。また、今回のV形切欠き試験片の α_k は分岐点以上であるので、石橋博士によれば、 σ_{wk1} と σ_{wk2} の区別があるはずである⁽⁷⁾。この点を確認するために、 σ_{wk2} 以下の応力を加えて、き裂発生の有無を調べてみた。

実験の結果は第2表で若干の差はあるが、おおよそ σ_{wk2} より少し下の応力を加えた場合、 2×10^6 回で きず が切欠底に見出された。

6. き裂の進展についての簡単な実験

き裂試験片の表面にひずみ計をはり付けて き裂の進展を観察した。

第3図および第6図左上の図のように き裂の真上(A点)とその横の点(B点)にひずみ計をはり付け、各荷重によるひずみ(全振幅)を測定したのが、第3図、第6図である。いずれもA点の方が大きくでている*。このように き裂がはいるとひずみ計に表われるみかけのひずみが増加することは、逆にいえば、き裂の上にはり付けたひずみ計のひずみの増加から き裂の進展の模様を察知できることを暗示している。

さて、き裂側(第6図の場合は き裂が同心円にはいっておらず偏心して片一方からはいていた)にひずみ計をはり付け**、荷重 200 kg を加えて、くりかえし回数によるひずみの変化を調査したが、 10^7 回まで全く変化しなかった。つぎに、荷重を 220 kg に増加して同じことをくりかえした。この場合にもやはり 10^7 回まで全くひずみに変化をきたさなかった(第13図参照)。ここで全振幅は第6図に示したように き裂が

第13図 繰返し回数と試験片に張付けたひずみ計に出たひずみの関係

* このひずみは安定した状態で測定できる。

** ひずみ計のはり付けは き裂が引張応力をうける状態で行った。

あるとふえたのであるが、き裂が引張応力側にくる時と、圧縮応力側にくるときでそのひずみの出方が異なる。すなわち、第 13 図に示したように B 点のひずみは正負対称にでているが A 点のひずみは、圧縮側より、引張側で大きくでているのが特徴である。これはき裂が圧縮側にまわった時には、あたかもき裂による断面係数の変化がないようにあらわれ、き裂が引張側にまわる時には、き裂の口が開いて断面係数が減少したことによるものと、き裂部分の局部的ひずみのために著しく増加したものと考えられる。

ついで、荷重を 250 kg にあげて疲れ試験を行った。

この場合、はじめ引張側で 610μ 、圧縮側で 432μ あったものが、 9.98×10^5 回まわした後では引張側で 698μ 、圧縮側で 442μ に増加していた。その後引続き応力を加えたところ 3.282×10^6 回でひずみ計が切れたので、新しいひずみ計をはりなおし、その後、ずっと応力の繰返し回数とひずみの増加とを測定した。その結果を一括したのが、第 13 図である。圧縮側はほとんど増加していないのに、引張側はどんどん増しているのは注目すべきである。 6.096×10^6 回で折損したのである〔第 14 図(a)参照〕が、そのごく手前まできずの進展模様をひずみ計で追跡できた。

この実験は最初であるので、若干測定精度もわるいが、き裂の進展状況の大勢をつかむことができる。

$N=5 \times 10^6$ 附近で、多少不規則なところがでているが、これはひずみ計によるものか、あるいはき裂の進展に従って試験片の対称性がくずれて、ひずみ分布が

第14図 (a) 偏心き裂を有する試験片の疲れ破面

第14図 (b)

異なったためかは、判然しない。しかし、き裂に無関係なところへはり付けした▲印も 5×10^6 回くらいから若干妙な動きをしていることから察してき裂の長きのびたために、試験片または機械の組合せに若干不平衡なところがあったのかもしれない。

7. き裂深さと き裂上にはったひずみ計のひずみ(以下単にひずみと称す)の関係

第 13 図では応力の繰返し回数 (N) と、ひずみとの関係を調べた。もし、前もってき裂深さ(き裂の形状を含む)とひずみとの関係を調べることができればき裂深さと N の関係を調べることになる。

き裂の形状によってき裂深さとひずみの関係はことなるし、今のところ詳しいことは不明なので正確な資料を得ることは困難であるが、今回の試験で判明した範囲で議論してみよう。

第 13 図で $N=5.76 \times 10^6$ 回のときのき裂は、破面〔第 14 図(a)〕から第 14 図(b)にモデル化したようなき裂が存在していたと認められる。この断面で、き裂側に引張応力が働くときのひずみは最も単純に考えると、(1)式で求められる。

$$\epsilon_c = \frac{M}{Z_c} \times \frac{R + \frac{h}{2}}{R - \frac{h}{2}} \quad (1)$$

ここで、 Z_c : き裂をのぞいた断面の断面係数

h : き裂の深さ

次に、き裂のないときのひずみは(2)式で表わされる。

$$\epsilon_0 = \frac{M}{Z_0} \quad (2)$$

ここで、 Z_0 : き裂のない前の円形断面の断面係数

したがって、計算の上では、最も簡単に考えると、き裂の上でのみかけ上のひずみは、き裂のないときの

$$\text{ひずみの } \epsilon_c/\epsilon_0 = \frac{Z_0}{Z_c} \times \frac{(2R+h)}{(2R-h)} \text{ 倍になる。}$$

今回の実験では、 $2R=50 \text{ mm}$ 、 $h=8 \text{ mm}$ として計算すると、 $\epsilon_c/\epsilon_0=2.5$ を得る。

実測値は 5.5 以上であるから、2.5 との間にはかなりの差がある。

この差は次のことがらに由来すると思われる。

すなわち、(1)式は第 15 図(a)におけるように、ひずみの計算にあたり、き裂があっても断面係数の減少および断面半径の増加のみを考えに入れて求めているが、第 15 図(b)のようにき裂のところで口を開くことによるものだろうと推定されるひずみの増加については考えていない。

第 15 図

第 15 図で, (b)と(a)の差が今回の実験値と計算値の間に表われたのであろう. すなわち, $5.5/2.5 = 2.2^*$ はき裂がひらくことによって増したみかけのひずみ増加であらう.

今(き裂によるひずみ計上のひずみ)と(計算によるひずみ)の比が, 今回の実験で き裂深さ(h)によって一定の関係があり, これがわかると, N の途中についてひずみ測定を行っているので, 計算によってき裂深さを推定しうる. したがって, N と h の関係を第13図と同様にうることができる.

上の推定を行うと, この試験片の最初の h は約1.2mmである.

今回の実験はまだわずかであるから, 上のことがら以上に言及するのは無理であるが, 今後の実験によ

* この値はひずみゲージのゲージ長さなどによっても異なるであらう.

て上に述べた事項について, 実験的にいっそう詳しいことがわかれば, 大形部材の疲れき裂の進展の問題の解決に寄与するところ大であらう.

8. 結 言

新しくすえ付けた 1.6 t-m 回転曲げ疲れ試験機についての概略の説明を行い, 本疲れ試験機を用いて得られた V 形切欠き試片(直径 50 mm)の疲れ試験結果, 切欠底での き裂発生後の停留の有無についての試験結果, および き裂試験片の疲れ試験によって得られた き裂進展の問題への簡単な資料等を得ることができた.

この報告をかわ切りにして, 今後この方面への有益な資料をぞくぞくと提出していきたいと思う.

終りにのぞみ, 本試験機建設にあたり, 絶えず御激励下された前所長 大塚誠之博士, 前次長 横堀章一博士, 室長 三木忠直氏の御好意に厚く感謝する次第である.

文 献

- (1) 中村, 西村, 松本, 鉄研中間報告, 3-88 (昭 28-10); 中村, 小西, 材料試験, 7, 55 (昭 33-4), 188.
- (2) 中村, 鉄道業務研究資料, 8, 18 (昭 26-11) 3.
- (3) T. V. Buckwalter, O. J. Horger, & W. C. Sanders, ASME, Trans., 60 (1938), 335.
- (4) 小野, 田川, 機械学会論文集, 12, 42 (昭 21-10), 36.
- (5) 永島, 小田, 中村, 野中, 船木, 西岡, 材料試験協会講演会, (昭 29-15).
- (6) 大内田, 材料試験協会講演会(昭和33年秋)に実験結果の発表がある.
- (7) 石橋, 金属の疲労と破壊の防止, 養賢堂 (昭 29), 55.
- (8) 中村, 上田, 材料試験, 7, 55 (昭 33-4), 179.
- (9) 第661回講演会前刷, (昭 31-1-28).

ニュース

神奈川県工業試験所に超硬工具技術センター設置

神奈川県工業試験所では超硬工具とそれを使用した高速切削の研究を重点的に行うため設備を拡充して所内に「超硬工具技術センター」の設置を進めていたが, このほど完成した.

このセンターは中小企業庁から 900 万円, 日本自転車振興会から 700 万円の各補助金をうけ, 神奈川県が 2170 万円を合せて 3770 万円の費用で設置されたものである.

同試験所では研究設備をもたない中小企業に広く門戸を開放し, その利用に役立てるとともに, 技術指導を積極的に行い, 中小機械工業の技術向上に努めたいと意気こんでいる.

超硬工具利用による高速切削の研究のため技術センターが設けられたのは初めてのことでその活動が期待されている.

センターには研究室(268 平方メートル)と作業場(740 平方メートル)にわかれ, さらに研究室はカーボ

ン加工室, 切削材倉庫, 事務室のほか工作機械, 放電加工, 超硬合金の各実験室と粉末処理室の七つにわかれる.

設備した機械は合計 39 台(うち新設 25 台)で, 17台が高速切削用, 22台が超硬工具の試験研究用である.

このなかには 12 ft の高速強力旋盤, 放電加工機, カズヌーブ旋盤, ホットプレス装置などの優秀機械が含まれている. これからの研究課題は超工具に関しては(1)ホットプレス法, 真空焼結法による超硬合金異形特殊工具の試作研究.(2)原料粉末の性質, 超硬合金類のかたさに関する試験研究.(3)超硬合金チップと台金との接着性の試験.(4)放電加工による超硬合金の加工など, また高速切削に関しては高速旋削フライス削り, 精密中ぐりに付随して(1)工具材料, 刃形の選択と工具研摩法, (2)旧式工作機械の高速化改造などに重点をおく予定である. (服部 敏夫)