539.431.3.013:539.375.5

回転曲げによる炭素鋼切欠き材の疲れ破面について*

安藤 善司** 加藤 容三*** 西野 禎志****

Some Investigations on the Rupture Area of Notched Specimens of Carbon Steel in Rotatory Bending

by Zenji ANDŌ, Yōzō KATŌ and Sadasu NISINO

It is known from previous work that for stress concentrated specimens the rupture area is located centrally for high stress and becomes displaced from the centre as the stress is lowered toward the endurance limit of the material. However, these investigations were only done on the rupture area subjected to repeated stress with constant amplitude.

Therefore, we conducted the rotatory bending fatigue test on 0.13, 0.26, and 0.50% carbon steel with a V-shaped or semicircular circumferential notch, under constant load and two or many-fold multiple load in two stress levels, and accurately measured the eccentricity and magnitude of the rupture area by heat tinting at 300°C for 2 hours.

1. 緒 言

切欠き材の疲れ破面を観察すると、き裂の進展した部分と最後に破断した部分とが認められる。この最終破断部分の位置は、受けていた繰返し応力が、疲れ限度に比べて高ければ高いほど、いっそう断面の中心に近づき、反対に疲れ限度に近い応力ほど、断面の中心から遠ざかる⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾。そのため、繰返し応力と最終破断部の偏心割合との関係をあらかじめ求めておけば、逆に未知の応力で破断した切欠き材の偏心割合を測定することによって、受けていた繰返し応力の値を推定することが出来る。

筆者らは未知の繰返し応力推定の基礎となる応力と最終破断部の偏心割合との関係が、材料および切欠きの形状によって、どのように変化するかを知るため、3種類の炭素鋼、2種類の切欠き形状を選んで回転曲げ疲れ試験を行い、その結果を比較した。また未知の応力推定に、最終破断部の面積が利用できないかと考えて、繰返し応力と最終破断部の面積との関係も調べることにした。

以上述べてきたことは、すべて、繰返し応力が一段階、すなわち破断するまで繰返し応力の振幅が一定に保たれる場合である。以下、このような場合を一定応力振幅と呼ぶ。しかし、実際の構造物や機械部品には複雑な変動荷重が作用するため、一定応力振幅の疲れ試験結果を実際の場合に、そのまま適用することはできない。そのため変動荷重を受けるときの基礎的な研

究として、二段二重、二段多重重複繰返し応力を受ける場合の疲れ試験を行って、前述の一定応力振幅の試験結果と比較し、二段階の繰返し応力が重複されたときにも、疲れ破面の状態から、受けていた繰返し応力の値を推定することができるかどうかを検討した。また、疲れ強さに寸法効果の存在することは良く知られた事実であるが、疲れ破面の状態にも試験片と実際の構造物や機械部品との寸法差による影響があるかどうかを知る必要がある。そのため、標準試験片より大きい試験片についても実験を行い、標準の場合と比較した。

なお、繰返し応力の推定とは別の問題であるが、なぜ繰返し応力の大きさによって、最終破断部の偏心割合が異なるのかという根本的な問題に関しては、現在のところ、まだ明確な説明が与えられていないように思われる。しかし問題の解決をするまえに、まず、き裂の進展状態を調べることによって、き裂が進んでいない残存部分の偏心量と偏心方向が、応力を繰返すにしたがって、どのように変化して、最終破断のときの偏心状態となるかを知る必要がある。そのため、筆者らは熱着色法⁽⁴⁾によって、き裂の進展部分を着色し、残存部分の偏心状態を調べた。最後に、使用試験機は小野式で、荷重一定型のため、き裂が進展するにしたがって、曲げモーメントを受持つ部分が減少する。そのため、試験片が受ける真の応力は、しだいに増加することになる。参考のため、試験片が最後に破断するのは、この応力がどのような値になったときかを、実験結果にもとづいて計算した。なお、この応力を最終破断応力と呼ぶことにする。

* 昭和 31 年 9 月 28 日 東海支部講演会において講演、
原稿受付 昭和 32 年 3 月 22 日。

、*、**** 正員、岐阜大学工学部。

2. 材料および試験片の形状寸法

材料は0.13%, 0.26% および 0.50% C の3種類の炭素鋼を使用した。その化学組成と機械的性質は第1表と第2表に示してある。試験片の形状は第1図に示してある。切欠きの形状による影響を知るためには、60° のV形、および半円形の環状みぞを持つ切欠き試

第1図 試験片の形状寸法

験片を使用し、寸法差による影響を知るためには、Vみぞで切欠き底の直径 10 mm の標準試験片のほか、14 mm の試験片を使用した。試験片の形状寸法と、その試験片の材料との関係は第3表に示してある。

3. 実験方法

試験機は小野式回転曲げ疲れ試験機を使用した。その繰返し速度は 1 700 rpm である。最終破断部の偏心量と面積の測定にさいし、筆者らの行った予備実験によると、破断直後も試験機の慣性による回転のため、破面をきつつけることがある。このような心配をなくするため、き裂の進展部分と最終破断部分を明りょうに区別して測定を容易にするために、次のような方法を用いた。すなわち、後述の方法で破断の直前に試験機を急停止させ、とりはずした試験片を 300°C で 2 時間炉中にたもち、き裂の進展部分を熱着色する。次にふたたび試験機にとりつけ前と同じ荷重を静的にかけてから、試験機軸を手動で回転し破断させることにした。熱着色後は 1~8 回の繰返し数で破断した。したがって、この場合の熱着色は繰返しの最後、破断の直前に行われるわけで、破断までの繰返し数、最終破断部の偏心量には影響しないのは当然である。破断後は約 10 倍に拡大して写真測定を行った。

破断の直前に試験機を急停止させるためには、次のような方法を用いた。試験機の負荷用おもり軸に直角に取付けた板に、2 個のダイヤルゲージを当て、繰返し数とたわみの関係を測定すると、最初はほとんどダイヤルゲージの読みに変化はないが、繰返し応力の値によって異なるある繰返し数比になると、指針はわ

第1表 化学組成 (%)

	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr
試料 I	0.13	0.29	0.53	0.018	0.009	0.23	0.08	0.10
試料 II	0.26	0.27	0.43	0.014	0.007	0.22	0.10	0.10
試料 III	0.50	0.27	0.64	0.027	0.010	0.22	0.09	0.10

第2表 機械的性質

	降伏点 kg/mm ²	引張強さ kg/mm ²	真破断力 kg/mm ²	伸び %	絞り %	ロックウェル かたさ B	熱処理
試料 I	30.0	42.0	89.6	32	64	76	920°C, 2 時間炉冷
試料 II	31.4	44.9	92.9	37	66	79	880°C, 同上
試料 III	41.1	66.5	116.1	22	55	88	830°C, 同上

第3表 試験片と使用材料との関係

試験片形状	形状係数 α	使用材料	備考
平滑		試料 I, II, III	
V みぞ-10	3.90	試料 I, II, III	試料 I で熱着色試験, I, III で重複試験
V みぞ-14	4.30	試料 II	寸法による影響の試験
丸みぞ	1.84	試料 II, III	形状による影響の試験

ずかに動き始め、たわみは増加し始める。このときの繰返し数比は疲れ限度に近い応力ほど大きくなるようである。破断の時期が近づくと指針の動きはしだいに早くなり、破断と同時に瞬間的に変化する。したがって数回の予備実験を行うことによって、あらかじめ試験機を急停止させるときのダイヤルゲージの読み（筆者らの実験では繰返し応力の大小に関係なく、 $0.35 \sim 0.40$ mm）を決めておき、この値に達した瞬間にダイヤルゲージの監視者が電源を切り、同時に他の実験者が試験機軸を手で制動して急停止させた。また、すこし熟練すれば、ゲージの読みに関係なく、指針の動く速度からもこの時期を知ることが出来る。以上のような手順で試験機を急停止させれば、熱着色後 1~8 回の繰返し数で破断させることが出来る。この方法はダイヤルゲージの動きを監視するのに相当の忍耐を要するが、ほとんどの場合成功した。熱着色後破断した試験片の破面を観察すると、手動による回転数が比較的多い 8 回程度のものは、きわめてわずかではあるが未着色の部分にもき裂の進展したあとが認められる。かかるときは、この部分も考慮に入れて測定した。次に、応力繰返しの途上で、き裂のはいついていない残存部分の偏心量と偏心方向を測定するためにも熱着色した。この場合は、前もって予定したある繰返し数に達したとき着色を行うもので、前述の場合のように破断直前に行うのではない。後述の熱着色の影響というのは、この残存部分の偏心状態を調べるために繰返しの途上で熱着色したものについてのことである。なお熱着色が、これを行ったあとのき裂の進展状態に影響を及ぼすことを恐れて、なるべくその影響を少なくするために応力繰返しの途中で 1 回だけ熱着色を行った。そのため残存部分の偏心状態と繰返し数比との関係を知るためには、一つの繰返し応力について繰返し数比を変えて数本の試験片を使用した。この実験に使用した試験片は第 3 表に示すように試料 I の V-10 mm である。また選んだ繰返し応力の値は最終破断部の偏心割合の比較的小さい 25 kg/mm^2 と、疲れ限度に近くて偏心割合の大きい 14 kg/mm^2 で、それぞれ一定応力振幅の場合と、これらが重複された場合である。

二段二重および二段多重重複繰返し応力を受ける場合は第 4 表にその詳細を示すように、試料 I、III の V みぞ -10 mm の試験片を使用し、一定応力振幅の実験結果と比較した。後に述べるように試料 II は試料 I とあらゆる点で疲れの性質が似ているため省いた。第 4 表で繰返し数比の割合というのは次のことである。すなわち、一定応力振幅の実験結果から求めた S-N 曲線上で二つの応力 S_1, S_2 を選び、その破断までの繰返し数を N_1, N_2 とする。 S_1 の応力で n_1 回だけ繰返し、次に S_2 の応力で n_2 回繰返す。以下同様の手順で二段階の応力を重複させたとき、 n_1/N_1 と n_2/N_2 との比を繰返し数比の割合と呼ぶことにする。また、多重度というのは $\sum n/N=1$ の関係が成立つと仮定したとき⁽⁴⁾、破断までに S_1 と S_2 が交互に何回重複されるはずかを意味するものである。したがって、実際に破断するまでの重複回数は各試験片ごとの $\sum n/N$ の値によって変る。そのため第 4 表には $\sum n/N$ の値の範囲を示すことにした。

4. 実験結果および考察

4a. S-N 曲線 応力 S と繰返し数 N の関係は第 2, 3, 4 図に示される。あとの議論に必要なため、まず、材料、切欠きの形状および寸法について S-N 曲線を比較する。

第 2 図

第 4 表 二段二重および二段多重重複繰返し試験の詳細

材 料	応力 kg/mm^2 S_1 S_2	繰返し数比の割合 $n_1/N_1 : n_2/N_2$	多 重 度	$\sum n/N$	試 験 を 開 始 し た と き の 応 力
試 料 I V みぞ-10	$25 \rightarrow 14$	1/1	20	$0.62 \sim 1.14$	25 と 14 各 5 本
	$35 \rightarrow 17$	1/1	12	$0.49 \sim 0.50$	35
	$40 \rightarrow 14$	9/1, 3/2, 3/7	2	$0.82 \sim 0.92$	40
	$30 \rightarrow 14$	1/4, 2/3	2	$0.91 \sim 0.89$	30
試 料 III V みぞ-10	$40 \rightarrow 19$	9/1, 7/3, 1/1	2	$0.79 \sim 1.02$	40
	$30 \rightarrow 19$	1/1	2	$1.19 \sim 1.97$	30

第 3 図

第 4 図

第2図の試料Iと第3図の試料IIにおいて、平滑材およびVみぞ-10 mmのS-N曲線を比較すれば、図では別々に示してあるが、曲線はほとんど一致してしまっており、材料による違いは認められない。しかし第4図の試料IIIは、明らかに試料I、IIと区別される。また第3図の試料IIにおいて、切欠きの形状および寸法について比較すれば、疲れ限度の違いは認められないが、時間強度は、丸みぞ、Vみぞ-10 mm、Vみぞ-14 mmの順序で減少している。ほぼ同様なことが第4図の試料IIIにおいても認められる。しかし、この切欠きの形状および寸法による違いは、試料I、IIと試料IIIとの材料による違いに比較すれば、小さいことがわかる。

また第2図には、応力繰返しの中で熱着色した試験片の繰返し数を示したが、25 kg/mm²、14 kg/mm²ともに、応力繰返しの途中で熱着色しない場合の繰返し数と違いがないようである⁽¹⁾。

4b. 繰返し応力と最終破断部偏心割合との関係

この関係は第5、6図に示される。第5図は一定応力振幅の場合で繰返しの途中では熱着色していない。同図に示すように、縦軸には繰返された応力 S とその試験片の疲れ限度 Se との比をとれば S/Se と最終破断部の偏心割合 δ/r の関係は、材料、切欠きの形状および寸法の差異に関係なく、ほぼ一つの曲線で表

第5図 繰返し応力と偏心量の関係(一定応力振幅)

第6図 繰返し応力と偏心量の関係(熱着色および二段、二重、多重)

わすことができる。ただし試料 I と II は S_e がたまたま一致しているため、縦軸が S の場合にも一つの曲線となる。第 6 図は 25 kg/mm^2 , 14 kg/mm^2 の一定応力振幅および、それらを重複した場合における繰返し途中で熱着色したときの最終破断部の偏心割合に及ぼす影響を示し、また、これとは別に途中で着色しないで繰返し応力が二段階に重複された場合の最終破断部の偏心割合を、第 5 図の一定応力振幅の場合と比較したものである。したがって図中の曲線は第 5 図のそれ以下これを規準曲線と呼ぶことにする。なお縦軸には説明の都合上 S/S_e の他に、 S の値が記入してある。左は試料 I, 右は試料 III に対する S の値である。

第 6 図から繰返し途中の熱着色の影響を見ると、疲れ限度より比較的高い 25 kg/mm^2 では偏心割合の変化は認められないが、疲れ限度に近い 14 kg/mm^2 では途中で着色しないものに比べて、偏心割合の減少する傾向が認められる。図中の数字は熱着色を行ったときの繰返し数比（着色したときの繰返し数と破断までの繰返し数との比で破断後逆算したもの）を表わしているが、これを見ると偏心割合の減少のしかたは、何パーセントの繰返し数比のとき着色したかということには無関係のようである。また $25 \sim 14 \text{ kg/mm}^2$ では途中の熱着色によっては偏心割合はあまり変化しないようである。

次に第 6 図で繰返し応力が二段階で重複された場合の偏心割合を一定応力振幅の場合と比較する。二段多重の場合たとえば $25 \sim 14 \text{ kg/mm}^2$ では 10 本の試験片を使用しているが、この中 8 本は途中で熱着色したものである。しかしこの場合、上述のように途中の熱着色によって最終破断部の偏心割合は余り影響されないから、途中で着色しないものと同じに取り扱ってさしつかえない。したがって規準曲線も第 5 図のそれを使用した。この図で縦軸の値は測定された 10 個の δ/r の平均値が規準曲線の δ/r に等しくなるような応力、すなわち 20 kg/mm^2 がとってある。したがって、この図から 25 kg/mm^2 と 14 kg/mm^2 の二段階の繰返し応力が重複されたとき、その偏心割合は一定応力振幅で、繰返された応力がおおよそ平均値の 20 kg/mm^2 の場合の偏心割合に等しくなることがわかる。また、 $35 \sim 17 \text{ kg/mm}^2$ の場合には、約平均値の 27 kg/mm^2 の一定応力振幅の偏心割合に等しくなることもわかる。ただし、これは第 4 表よりわかるように、繰返し数比の割合が 1:1 の場合で、繰返し数比の割合が違えば、また別の結果が得られるはずである。そのため第 4 表のように二段二重でももちろん破断の寸前のみ着色したもので繰返し数比の割合を変えた場合について、その偏心割合を求めれば、第 6 図のようになる。この場合は、二段多重の場合と違って、各点のたて軸は、重複された二段階の応力 S_1 , S_2 のうち、 S_1 の値がとってある。また図中の数字は、 S_1 の繰返し数比 n_1/N_1 の値を示す。この図からわかることは、同じ S_1

および S_2 に対しても、 n_1/N_1 の値によって、偏心割合が変化することである。たとえば、 40 kg/mm^2 で、0.9, 0.6 および 0.3 の繰返し数比だけ繰返したのち 14 kg/mm^2 で破断させれば、そのときの偏心割合は、それぞれ 28, 19 および 15 kg/mm^2 の一定応力振幅の値に等しくなる。ほかの場合についても同様である。

以上のことから、一般に、二段階の繰返し応力が重複されたとき、その偏心割合は、それらの繰返し応力が単独に、それぞれ一定応力振幅の場合に得られた二つの偏心割合の中間の値となる。また、高い方の応力の繰返し数比が大きければ大きいほど、その偏心割合は、いっそう小さくなる傾向が認められる。

しかし、いずれにしても、二段階の繰返し応力が重複される場合には、最終破断部の偏心割合から、受けていた繰返し応力の値を推定しようとするのは困難である。なお参考のため破断直前に熱着色した疲れ破面の写真を第 7 図に示す。

$S = 15 \text{ kg/mm}^2$ 試料 II
丸みぞ着色後 1 回転で破断
第 7 図

4c. 繰返し応力と最終破断部面積の関係 この関係は第 8, 9 図に示される。第 8 図は、一定応力振幅の場合で、横軸には、最終破断部の面積 F_B と原断面積 F との比がとってある。この場合も、前述の $S-N$ 曲線および偏心割合の場合と同様に、試料 I と試料 II では材料によるちがいは認められないが、試料 III は明らかに区別される。また切欠きの形状による影響を見ると、各試料とも V みぞ -10 と丸みぞとで区別することが出来ない。しかし偏心割合の場合と違って縦軸に S/S_e をとった場合にも試料 I, II と試料 III とを一つの曲線で表わすことができず、また寸法差による影響も認められ、V みぞ -14 では V みぞ -10 の場合よりも F_B/F の値が大きくなる。したがって、一定応力振幅の場合には、受けていた繰返し応力を推定するのに、 F_B/F よりも δ/r を使用するのが便利である。

第 9 図は二段二重および多重の場合で、図中の曲線は一定応力振幅の場合と比較するため、第 8 図の曲線から求めた規準曲線である。また、各点の縦座標は、二段階の繰返し応力のうちで、破断するとき受けてい

第8図 繰返し応力と破断部面積との関係 (一定応力振幅)

第9図 繰返し応力と破断部面積の関係 (二段, 二重および多重)

た繰返し応力の値をとっている。同図について考えると、図中の各点は、第8図の F_B/F のばらつきを考慮に入れたとき、ほぼ、規準曲線の上ののっているように見てさしつかえない。このことは次のようなことを意味している。すなわち、二段二重および多重の場合の F_B/F の値と、二段階の繰返し応力のうちで破断するとき受けていた繰返し応力を使用し、一定応力振幅の実験を行った場合の F_B/F の値とは等しい。言い換えれば、二段二重および多重の場合の F_B/F の値は、破断するとき受けていた繰返し応力の大きさだけで決定され、もう一方の繰返し応力や繰返し数比の割合には

無関係なことを意味している。そのため、逆に最終破断部の偏心状態から、未知の二段階の繰返し応力を推定するためには、まず F_B/F を測定して、一定応力振幅の S/Se と F_B/F の関係を表わす規準曲線と比較すれば、破断するとき受けていた繰返し応力の値を推定することができる。次に、この応力が、二段階の繰返し応力のうち、高い方か、低い方かを知るためには、実際に測定された δ/r と、この F_B/F から推定された応力が一定応力振幅のときに示すはずの δ/r (これは $S/Se-\delta/r$ の規準曲線から求まる) との大小関係と比較すれば、決定することができる。このようにして、どちらか一方が決まれば、他方の繰返し応力は、これより高い応力か、あるいは、低い応力かは知ることができるが、前述のように、繰返し数比の割合によって、 δ/r の値が変化するため、この割合が不明である限り、その値を決定することができない。

4d. 残存部分の偏心状態と繰返し数の関係 この関係は第10, 11図に示される。第10図の縦軸には、同図上に示すように、応力繰返しの中で最終破断部の偏心方向にはいったき裂深さ λ_1 と、それに反対方向のき裂深さ λ_2 との比がとってある。また第11図では、最大き裂深さ λ_{max} と最小き裂深さ λ_{min} との比がとってある。横軸には、前述のように破断後逆算した繰返し数比が示してある。一般に、き裂のはり方は非常に複雑で、最終破断部の場合のように λ_{max} の方向と λ_{min} の方向が、互に反対方向になるとは限らない。また、 λ_1 と λ_{max} が一致するとも限らない。したがって、どちらの方向に偏心しているかを決めるのに困難な場合が多い。しかし、ある繰返し数比のとき、 $\lambda_1/\lambda_2 > 1$ ならば、そのときの偏心方向は最終破断部の偏心方向と一致する傾向を示し、 $\lambda_1/\lambda_2 < 1$ ならば逆方向に偏心する傾向を示していると考えられる。

また、 $\lambda_{max} = \lambda_1$ および $\lambda_{min} = \lambda_2$ ならば、このときの偏心方向は、最終破断部の偏心方向に一致したと考

第10図

第 11 図

えてさしつかえない。このような考えで、第 10, 11 図を見れば、応力を繰返すにしたがって、残存部分は、しだいに最終破断部の方向に偏心して行くのではなく、ある繰返し数比のところまでは、不規則に、ときには逆方向にさえ偏心する傾向を示し、その後、ある繰返し数比に達して、始めて最終破断部の偏心方向に一致するようになる。この一致したときの繰返し数比の値は、偏心割合の大きい、疲れ限度に近い応力ほど小さい。たとえば、14 kg/mm² では、ほぼ 60% で一致するようであるが、25 kg/mm² では 80% 以上の値で、60% では、まだ逆方向に偏心している。また、二段多重では、この偏心方向の不規則さが、いっそう目だっているように思われる。なお、前述のように、14 kg/mm² では、熱着色のため最終破断部の偏心割合が減少した。したがって、今問題にしている最終破断部の偏心方向にも、この熱着色の影響があるかどうかは問題であるが、この点は、さらに、熱着色以外の他の方法で比較研究する必要がある。

4e. 最終破断応力 筆者らが、ここで計算した破断直前に試験片が受ける真の応力、すなわち最終破断応力と呼ぶものは、き裂によって生じた切欠きのための、いわゆる、切欠き応力ではなく、最終破断部に対する公称応力的なものである。そのため、応力分布は単純曲げの場合のように直線的で、き裂のはいた部分は、圧縮応力はささえるが、引張応力は受けないとして、そのような場合の断面係数を使用した(5)(6)(7)。また、ある繰返し応力の値についてこの断面係数を求めるためには、 $S/Se-\delta/r$ の規準曲線および $S/Se-F_B/F$ の規準曲線から読みとった、最終破断部の偏心量と面積の値を使用して、図式計算を行った。なお簡単のため最終破断部の形状は円とみなした。また実際には試験片が回転しているため、最終破断部が偏心している場合には、試験片が、1 回転する間に断面係数が変化するはずである。そのため、第 12 図の図中に

示すように、曲げの中立軸が偏心方向に垂直になるような二方向を選び、そのときの応力 σ_1 および σ_2 を計算した。第 12 図は、この σ_1 および σ_2 と繰返し応力の関係を示すものである。この関係は規準曲線から考えてもわかるように、試料 I と試料 II では区別なく、また、V みぞ -10 と丸みぞの間にも違いがない。同図を見ると、一般に、 $\sigma_1 > \sigma_2$ で、偏心量の大きい $S/Se = 1$ に近いところほど σ_1 と σ_2 の差は大きくなる。しかし、図中に示すように、 σ_1 と σ_2 の平均値は、繰返し応力の大きさ、すなわち S/Se の値に無関係にほぼ一定の値となる。しかも、この値は第 2 表を参照するとき、各試料の真破断力に比較的良好に似た値となり、材料の静的強度と、ある程度の関連を持たせることができる。また、前述のように、熱着色後、手動によって試験片を破断させるとき、破断の回転位置を観察すると、試験片が大きいほうの応力 σ_1 を受ける位置まで回転してきたとき破断するとは限らず、 σ_1 と σ_2 に相当する位置の中間で破断する場合が多い。以上の計算は、一定応力振幅の場合で、しかも切欠き底の直径 10 mm の標準試験片の場合である。そのた

第 12 図 最終破断応力と繰返し応力の関係および破断直前に停止した試験片の引張強さ

め、同一の繰返し応力で破断した二段二重および多重の場合と一定応力振幅の場合とを比較すれば、計算の基礎なる F_B/F は変らないが、 δ/r は違って来る。したがって σ_1 と σ_2 の値も変化することになる。しかし、この場合も σ_1 と σ_2 の平均値を考えれば、 δ/r の値が極端に違わない限り、この値に及ぼす偏心量の影響は比較的に少く、一定応力振幅の場合と、ほぼ同じ値になるものと考えられる。もっとも、V みぞ-14

ではVみぞ -10 より F_B/F の値が大きくなるから、当然、この値は小さくなるはずである。以上のことを合わせ考え、最終破断応力として、 σ_1 と σ_2 の平均値を使用することにすれば、同一材料でも、寸法によって一定にならない不便さはあるが、繰返し応力の大きさや切欠きの形状に無関係なほぼ一定の値が得られ、しかも材料の静的強度と、ある程度の関連を持たせることができる。したがって、このようにきめた最終破断応力は、偏心割合および面積割合の規準曲線を使用しないで、破断するとき受けていた繰返し応力を推定する場合の一つの手がかりになるのではないかと考えている。なお、参考のため第 12 図に示した各点は、破断寸前に熱着色した疲れ試験片を使用して引張試験を行ったときの実験結果である。

縦軸は引張強さ、横軸は熱着色のまえまで受けていた繰返し応力を示すものである。

5. 結 言

一定応力振幅の場合は、受けていた繰返し応力を推定するのに、 $S/Se-\delta/r$ の関係を利用するのが、もっとも簡単である。二段二重および多重の場合は、このほ

かに $S/Se-F_B/F$ の関係を利用すれば、二段階の繰返し応力のうちで、破断するとき受けていた繰返し応力を推定することができる。しかし、他方の繰返し応力の大きさは、繰返しの数比の割合が不明である限り、知ることができない。また、 $S/Se-\delta/r$ および $S/Se-F_B/F$ の関係が利用できないような場合には、筆者らがきめたような最終破断応力は、破断するとき受けていた繰返し応力を推定するための、一つの手がかりになる。

なお、き裂の進展状態を知るため、熱着色法を使用するときは、その影響を考慮に入れる必要がある。終りに、この実験に協力した小倉英邦、辻継道、平野隆三の三君に感謝の意を表する。

文 献

- (1) A.V. deForest, *J. Appl. Mech.*, Vol. 3, p. A-23, A-114.
- (2) R. Cazaud/A.J. Fenner, *Fatigue of Metals*, p. 9 (1953).
- (3) 西岡, 昭和 29 年 4 月 第 31 期定時総会講演会前刷.
- (4) M.A. Miner, *J. Appl. Mech.*, Vol. 12, p. 159.
- (5) 石橋・瓜生・佐藤, 機械学会論文集, 19巻 87 号, 34ページ.
- (6) 河本・西岡, 機械学会論文集, 19巻 83 号, 86ページ.
- (7) 大内田・楠本, 機械学会論文集, 20巻 99 号, 739 ページ.

539.389.2:669.14

繰返しねじり応力を受ける低炭素鋼の かたさ について*

安 藤 善 司** 西 野 禎 志***

The Effect of Completely Reversed Torsional Stress on the Hardness of Low Carbon Steel

by Zenji ANDŌ and Sadasi NISINO

Previously we reported on the effect of rotatory bending stress on the hardness of 0.13% carbon steel. In this paper we deal with the micro-Vickers hardness of the same material, which has been subjected to completely reversed torsional stress. The hardness test was conducted on ferrite under 50-gram load, and on pearlite and ferrite under 1 000-gram load. We also investigated the recovery of the hardness change, which had been caused by repeated torsional stress, by annealing at 600°C for three hours. From the experimental results, we found some similar and some a little different behaviors, compared with the case of rotatory bending stress.

1. 緒 言

繰返し応力による金属の かたさ の変化については従来多くの研究が行われており、ある大きさ以上の応力の繰返しを受けることによってその かたさ の上昇することは、既によく知られていることである。しかしそれらは、比較的大きな測定荷重により、2種類またはそれ以上の組織にまたがって測定して得られた

かたさ数 によるもので、組織別に見た かたさ の変化についてはあまり明らかでなく、繰返し応力による かたさ の変化の模様を正確に知るには不十分の場合が多い。そこで筆者らは、さきに 0.13% 炭素鋼が回転曲げ応力を受けたときの かたさ変化 を微小かたさ計

* 昭和 32 年 6 月 12 日 60周年記念大阪講演会において講演原稿受付 昭和 32 年 6 月 14 日.

** , *** 正員, 岐阜大学工学部.