て望ましいが、本試験機では、構造上、板ばねの寸法を限定されて、振動系の共振点をあまり高くすることはできず、現在、毎分繰返数 780 回で運転している。

以上、本論文では高温引張繰返曲げ疲労試験機の構造と作用につき、その概要を述べ、さらに炭素鋼で行った実験の一例を述べた。本試験機を使用した結果、試験機本体および附属部品に若干の改良を要する点はあるが、ほぼ所期の性能を満足していることが判明した。本試験機は、最近ますます重要になった耐熱材料の高温疲労試験に大いに役立つものと思われ、引続き耐熱材料につき実験を行っている。

本試験機の試作は科学試験研究費の援助を受けたものであり、また、製作にあられた島津製作所、平松良三課長、その他諸氏、および終始真摯実験に当った津田博、広田良夫両君に負うところが大きいであることを附記し謝意を表す。

注：一

- 1) Engineering, March. 20. p. 353~354 (1953)
- 2) H.F. Moore and J. Alleman, Proc. A.S.T.M. Vol. 31, p. 114~121 (1931)
- 3) J. Lazan, Proc. A.S.T.M. Vol. 49, p. 757~787 (1949)
- 4) Goldberg and J.J. Lombado, Proc. A.S.T.M. Vol. 54, p. 325~334 (1954)
- 5) 西原, 平, 田中, 弘中, 材料試験, 2巻, 3号, p. 47~51

鋼の二重切欠に対する疲労強度*

河 本 実** 関 護 雄*** 藤 谷 景 三***

Fatigue Strength of Steel Specimens with Double Notches

Minoru KAWAMOTO, Morio SEKI and Keizō FUJITANI

The double notch in this test consists of primary and secondary notches. The secondary notch is situated at the root of the primary notch. Fatigue tests were made on specimens having such double notches. From the results of experiments, the following conclusions are obtained.

The notch factor of a double notch $\beta_{K1,2}$ is equal to the product of β_{K1} and β_{K2} , where β_{K1} and β_{K2} are the notch factors corresponding to the primary and secondary notches respectively. But when the sharpness of the two notches becomes close to each other, $\beta_{K1,2}$ becomes less than the product of β_{K1} and β_{K2} . Thus designers should pay attention to the fact that the fatigue strength of the materials with double notches becomes essentially lower than that which would be expected from each notch.

1. 緒 言

ここにいう二重切欠とは、たとえば、Fig. 1 に示すような場合であつて、一つの切欠(図の曲率半径 ρ_1 な

Fig. 1. Double notch.

る切欠で以下第1切欠と称する)による応力集中部に、さらに、もう一つの切欠(図の曲率半径 ρ_2 なる切欠で以下第2切欠と称する)が重畳した場合をいう。一般に二つ以上の切欠効果が互いに干渉する際には、たとえば、ねじの場合のように材料の弱化を軽減することもあり、また、反対に弱化を強めることもあつて、かなり複雑な問題である。この方面の研究には、従来いくつかの注目すべきものがあり、その内、ここにいう二重切欠の場合については次のような研究がある。

平野氏によれば、半無限の板に半円切欠があり、さらに、その切欠底に小なる半円切欠があるときの引張に対する形状係数は $\alpha_K \cong 3 \times 3 = 9$ であつて、半円切欠単独の場合の形状係数は約3であるから、この場合、二重切欠の形状係数は単独切欠の形状係数の相乗積で

* 原稿受付 昭和31年2月29日、昭和30年11月21日秋期講演大会において講演

** 正員 京都大学工学部

*** 正員 立命館大学理工学部

表わされる。

西原、遠藤²⁾氏の腐蝕効果に関する研究では、切欠と腐蝕の重畳効果について実験が行われており、切欠のあまり鋭くない範囲では $\beta_{kc} = \beta_k \times \beta_c$ なる関係が成立し、切欠が鋭くなると $\beta_{kc} < \beta_k \times \beta_c$ 、さらに鋭くなると $\beta_{kc} \rightarrow \beta_c$ なる関係があるとしている。ここに β_k は切欠効果を表わす切欠係数、 β_c は腐蝕効果を表わす係数、 β_{kc} は切欠と腐蝕の重畳効果を表わす係数である。これらの結果より二重切欠の場合の切欠効果は、その二重切欠を形成する個々の切欠の切欠効果の相乗積を基準として表わされるべきことが予想される。

このような考えにより、本実験では、単独切欠およびそれらが重畳した場合の二重切欠について疲労試験を行い、切欠係数を求めて、上記の研究結果より予想される関係が切欠係数についてあてはまるかどうかを調べることを目的とした。

2. 実験材料および実験方法

実験に供した材料は0.54%炭素鋼であつて、実験に際しては熱処理することなく供給のまま用いた。材料の化学成分および機械的性質をそれぞれ Table 1 および Table 2 に示した。疲労試験片は全長 150 mm、つかみ部の直径 15 mm の小野式回転曲げ試験機用のもので、その切欠部の一例を Fig. 2 に示した。本実験に用いた試験片の切欠部の形状および寸法を Fig. 1 に示す記号を用いて表わせば Table 3 に示すとおりで、これらの切欠形状のみを示すと Fig. 3 のようである。

Table 1. Chemical composition of material.

Symbol	Chemical composition (%)				
	C	Si	Mn	P	S
R-2	0.54	0.27	0.56	0.019	0.011

Table 2. Mechanical properties of material.

Symbol	Heat treatment	Yield point (kg/mm ²)	Ultimate strength (kg/mm ²)	Breaking strength on final area (kg/mm ²)	Elongation (%)	Reduction of area (%)
R-2	As hot rolled	42.9	77.3	113.6	25.8	41.9

Fig. 2 および Fig. 3 に用いた (a), (a'), (b), (b'), ... の記号は Table 3 の記号の欄に対応するもので、試験片の種類は合計 13 種類である。また、Table 3 に示した A, B の記号は鋼棒別を示すもので、いずれも同一材料ではあるが、鋼棒としては別なもので、A, B よりそれぞれ採取した a_1 と a_2 および a'_1 と a'_2 は同じ形状および寸法を有するものとして製作した。疲労試験に用いた試験機は小野式回転曲げ疲労試験機であつて、回転数は毎分約 1800 であつた。

3. 実験結果およびその考察

上記各種の試験片について疲労試験を行い、応力—繰返数線図を書いて耐久限度を判定した。一般に繰返数 $N=10^7$ まで破壊しない場合の繰返応力のうち、最高の値をもつて耐久限度とした。これらの値は Table 4 に示すとおりである。前述のように a_1 および a_2 は

Fig. 2. Samples of notched portion of specimens.

Table 3. Kind of notch.

Symbol for notch	Symbol for bar	Size of notch						Note
		First notch (fundamental notch)			Second notch (additional notch)			
		ρ_1 (mm)	$2r$ (mm)	$2a_1$ (mm)	ρ_2 (mm)	$2a_2$ (mm)	t_2 (mm)	
$a \begin{cases} a_1 \\ a_2 \end{cases}$	A	∞	11	11				without notch
	B	"	"	"				"
b	A	5	13.75	"				the first notch only
c	B	2	"	"				"
d	A	1	"	"				"
e	B	0.3	"	"				"
$a' \begin{cases} a_1' \\ a_2' \end{cases}$	A	∞	11	"	0.05	10	0.5	the second notch only
	B	"	"	"	"	"	"	"
b'	A	5	13.75	"	"	"	"	double notch
c'	B	2	"	"	"	"	"	"
d'	A	1	"	"	"	"	"	"
e'	B	0.3	"	"	"	"	"	"
f'	B	—	"	"	"	"	1.875	the second notch only

Fig. 3. Profiles of notched portion of specimens.

それぞれ鋼材AおよびBより採取された平滑試験片で、それらの耐久限度の値は $\sigma_w' = 34.3$ および 34.8 kg/mm^2 となり、よく一致している。しかし、 a'_1 および a'_2 は同じ切欠を有するものとして製作したにかかわらず、 $\sigma_w' = 24.0$ および 20.5 kg/mm^2 なる値を示し、かなりの相違を生じた。これには、それぞれ原因があると考えられるけれども、ここでは便宜上、それらの値の平均値 $\sigma_w' = 22.3 \text{ kg/mm}^2$ をとつて a'_1 および a'_2 に対する耐久限度にとることとした。また、同様に a_1 および a_2 に対する耐久限度の値も平均値をとり $\sigma_w' = 34.6 \text{ kg/mm}^2$ とし、これらの値は Table 4 の σ_w' の実験値の欄に括弧を附して示し、切欠係数の算出にはこの値を用いた。AおよびB材について実験の結果得られた σ_w' の値を、横軸に第1切欠の鋭さを表わす値 a_1/ρ_1 をとつて示せば Fig. 4 のとおりである。この図に示す白丸および白の二重丸は

Table 4. Experimental results.

Symbol for notch	Endurance limit under rotating bending σ_w' (kg/mm ²)		Notch factor			
			β_{K1} due to the first notch	β_{K2} due to the second notch	$\beta_{K1,2}$ due to double notch	
	experimental	calculated	experimental	experimental	experimental	calculated
$a \begin{cases} a_1 \\ a_2 \end{cases}$	34.3(34.6)		1.00			
b	28.0		1.23			
c	21.1		1.64			
d	16.5		2.09			
e	15.2		2.27			
$a' \begin{cases} a_1' \\ a_2' \end{cases}$	24.0(22.3)			1.55		
	20.5(22.3)			1.55		
b'	18.0	17.9			1.92	1.91
c'	13.0	13.5			2.66	2.54
d'	12.0	10.6			2.88	3.24
e'	16.5	9.7			2.09	3.52
f'	18.0			1.92

Fig. 4. Experimental results.

材に対するもの、黒丸および黒の二重丸はB材に対するもので、かつ、いずれも一重丸は第1切欠のみの場合、二重丸は二重切欠の場合を示している。横軸の同一の値に対して一般に二つの点があるのは、その中、一重丸はその横軸の値で決まるような第1切欠のみの場合、二重丸はそれと同じ第1切欠に第2切欠が附加されて出来る二重切欠の場合の値を示している。本実験では第2切欠の形状、寸法は一定とした。ただし、縦軸上の値は、一重丸は切欠を有しないもの、二重丸は第2切欠のみを有する場合に相当する。また、細い実線は一重丸の点を結んだもので、第1切欠の鋭さと σ_w' との関係を示す。一方、破線は次のようにして求めた。すなわち、この実験に用いた第2切欠はすべて同一であつて、その切欠係数を β_{K2} とすると、細い実線の示す σ_w' の値に $1/\beta_{K2}$ を掛けて求めたものである。もし、二重丸およびこれを結ぶ太い実線が破線に一致すれば、二重切欠に対する切欠係数 $\beta_{K1,2}$ はそれを形成する第1切欠のみの切欠係数 β_{K1} と第2切欠のみの切欠係数 β_{K2} との積で表わされることを

示している。実験結果では第1切欠があまり鋭くない範囲ではきわめてよく一致し、切欠が鋭くなるにつれて実験結果の方が高い値を示すに至る。右端に示した二重丸は切欠底の曲率半径は ρ_2 に等しく、切欠の深さは第1切欠の深さと第2切欠の深さととの和であるような切欠を有する場合の σ_w' の値であつて、二重切欠に対する σ_w' の値は a_1/ρ_1 が増すにつれ、この点に近づく。しかして、第1切欠がある程度鋭くなると、この場合、第2切欠が一定であるから、第1切欠の影響は次第に減少し、図に示すように第1切欠のみの場合よりも強くなることもありうるわけである。

このように Fig. 4 には、第1切欠の鋭さの広い範囲に亘つて一般的傾向を示したけれども、実際に問題となるのは第1切欠があまり鋭くない範囲と考えられるので、一般に二重切欠の切欠効果を予想する場合、これを形成する個々の切欠の切欠効果が重畳すると考えることは妥当であろう。

ここに注意すべきは、たとえば、Fig. 3 において切欠(d')は切欠(d)と切欠(d')の組合せによると考えるべきで、決して切欠(f')に切欠(d)が追加されたものと考えるべきでないということである。何故なら、後者の考えによれば、切欠(f')の鋭い形を切欠(d)を追加して緩和したのであるから、

(切欠(d')の切欠係数) < (切欠(f')の切欠係数) となるのではないかと考えられやすく、これは実験結果の事実と反し、きわめて危険であるからである。切欠(d')の切欠係数は2.88に達し、かなり高い値であつて、同じ材料の単独切欠の場合には、おそらく達し

えない値と思われ、筆者らの考える個々の切欠係数の相乗積として初めて達しうる値である。

従来、このような二重切欠効果は実際にそれほど考慮されておらず、かなり危険な状態で機械部分が使用され、遂に疲労破壊に至った場合もあるのではないかと想像されるので充分注意すべきである。

4. 結 言

一つの切欠による応力集中部に、さらに、もう一つの切欠が重畳する場合の、いわゆる二重切欠に対する

切欠効果を調べる目的で疲労試験を行い、次の結論を得た。二重切欠の切欠効果を表わす切欠係数 $\beta_{K1,2}$ の値はその二重切欠を形成する個々の切欠の切欠係数の相乗積 $\beta_{K1} \times \beta_{K2}$ で表わされる。ただし、個々の切欠の鋭さが近づくに従い $\beta_{K1,2} < \beta_{K1} \times \beta_{K2}$ となる。したがって、二重切欠を有する場合の疲労強度はかなり低いものであるから充分注意を要する。

注：一

1) 平野富士夫，機械学会論文集，第17巻，第61号，16頁（昭和26）

2) 西原利夫，遠藤吉郎，材料試験，第4巻，第21号，154頁（昭和30）

自転車用スポークの疲労強度*

飯島喜太郎** 青木茂樹**

Fatigue Strength of Bicycle Spoke.

Kitarō Iijima, and Shigeki Aoki

By the fatigue tests of bicycle spokes subjected to repeated tensile loads, the following results are obtained:

1. Since the fatigue fracture of bicycle spokes begins with a crack at the root of the head, the shape and condition under which this part contacts with the spoke hole in the wheel hub seriously affect the fatigue strength.
2. The surface of the fracture on the head of spokes in this test shows the same appearance as that which actually occurs, but is quite different from the one obtained by static tensile test. The reason is that the fracture in the latter test occurred by shear stress.
3. The fatigue limit of sample spokes (240kg being the static tensile strength) was 85kg, and corrosion with acids, sea water etc. decrease the fatigue strength.

1. ま え が き

自転車の車輪が車軸と地面の間で圧縮の静荷重を受けたとき、車輪に組込まれた各スポークの応力分布は理論的に計算され、また、実験的にも求められているが、この応力分布の状態から考えて、車輪スポークは車輪の転動によつて、ある値の間を周期的に変動する繰返し引張応力を受けていることは明らかであり、したがつて、疲労に対する強度が重要であることがわかる。

日本工業規格(JIS)において、スポークの強度特性は引張試験と簡単な繰返し曲げ試験で規定しているが、このほかに、繰返し引張荷重を加える疲労試験を採用することが望ましいと考え、そのために必要な基礎資料を作成しようと思つて、次に述べるように新考案の

スポーク疲労試験機を試作し、これによつて疲労試験を行つてゐるが、その試験結果のうち、今までにまとまつたものをここに報告する。

2. 試験装置および試験法

(1) 静的引張試験 静的引張試験はJIS. B9414の自転車用スポーク検査法に従つて、インストロン万能試験機により、Dセル(荷重0~450kg)を用い、引張速度 50 mm/min. で行つた。

(2) 繰返し引張による疲労試験 この試験は、このために特別に試作した新考案のスポーク疲労試験機で行つた。Fig. 1は試験機の構造の略図で、図からわかるように、第1号機はクランク機構の運動によつて試料のスポークが上下に動くが、第2号機では試料のスポークは動かないように作られている。

第2号機は最近できたばかりなので、本報における試験結果は全て第1号機によるものばかりである。

* 原稿受付 昭和30年12月20日

** 正員 名古屋工業技術試験所