

## 312 二重切欠きを有する機械構造用炭素鋼の疲労強度評価

佐賀大学 西田新一

佐賀大学 ○服部信祐

## 1. 緒 言

機械・機器部材における破損原因究明の結果、疲労き裂の発生起点の約90%は、穴、段付き、溝など、いわゆる切欠きと呼ばれる応力集中部であることが明らかにされている<sup>(1)-(3)</sup>。つまり、構造物部材の疲労強度を評価する上では、切欠き部の強度予測が非常に重要であるといえる。

切欠き部からの疲労き裂発生は、単一の切欠き部が起点となっている場合のみならず、二重切欠き部が起点となっている場合も少なくない。単一切欠きに関してはこれまで多くの研究報告があり、必ずしも実験に頼らなくともある程度の精度で疲労強度を推定することが可能である。一方、二重切欠きの疲労強度評価に関する研究は極めて少ない。それゆえ、精度的には若干の問題があるとしても適当な二重切欠き部の評価式があるならば実用上においては非常に便利なものとなる。

そこで、本研究では、二重切欠き材の疲労強度評価方法を検討することを目的とする。

## 2. 実験方法

**2.1 疲労限度推定式** 本研究では、代表的な切欠き形状として断付きと小穴とを選択し、それらを組み合わせた二重切欠き部の疲労強度を検討する。今回、二重切欠きを持つ供試材の切欠き係数 $\beta_{cal}$ を推定する計算式としては、それを構成する各々の単一切欠きを持つ供試材の切欠き係数の推定値の積、すなわち

$$\beta_{cal} = \beta_{d,cal} \times \beta_{s,cal} \quad (1)$$

ここで、 $\beta_{d,cal}$ ；小穴を持つ供試材の切欠き係数

$\beta_{s,cal}$ ；断付き部を持つ供試材の切欠き係数を用いることにし、この式の妥当性と適用範囲などを検討することになる。そのためには、まず二重切欠きを構成する各々の単一切欠き部の評価式が必要であり、本研究では以下に述べる評価式を用いる。

(a)小穴を持つ供試材(以下、小穴材と称する)の切欠き係数； $\beta_{d,cal}$

小穴材の切欠き係数 $\beta_{d,cal}$ は、以下に示す村上の式<sup>(4)</sup>を用いて推定される小穴材の疲労限度 $\sigma_d$ の値、

$$\sigma_d = \frac{1.43(HV + 120)}{(\sqrt{\text{area}})^{1/6}}$$

ここで、 $\sigma_d$ ；MPa, HV；kgf/mm<sup>2</sup>,  $\sqrt{\text{area}}$ ； $\mu\text{m}$ と平滑材の疲労限度の値 $\sigma_v$ を用いることによって以下の式で求められる。

$$\beta_{d,cal} = \sigma_v / \sigma_d \quad (2)$$

(b)段付き部を持つ供試材(以下、段付き材)の切欠き係数； $\beta_{s,cal}$

段付き材の切欠き係数に関しては、以下に示す実験式を用いる<sup>(5)</sup>。

$$\beta_{s,cal} = 1 + \xi_1 \xi_2 \xi_3 \xi_4 \quad (3)$$

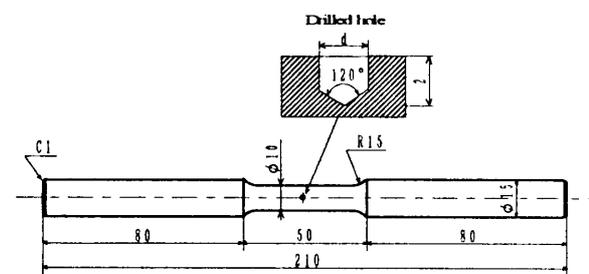
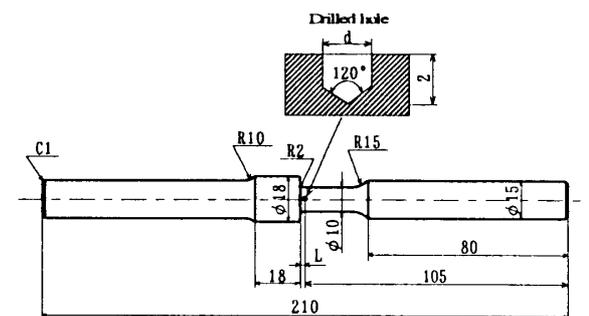
**2.2 試験片形状および実験条件** 供試材は、機械構造用炭素鋼 S15C である。表1および2に化学成分と機械的性質とをそれぞれ示す。本研究で用いた試験片形状は、平滑試験片；PL, 小穴付き試験片；SD, 段付き試験片 SS, 二重切欠き付き試験片 DN の4種類であり、図1に試験片の形状ならびに寸法を示す。SS材およびDN材における段付き部の切欠き半径は  $R=2\text{mm}$  に統一している。また、表3に二重切欠き部の詳細な寸法を示す。試験部はペーパー研磨およびバフ研磨を行なった後、 $600^\circ\text{C} \times 30\text{min}$ の真空焼きなましを行ない、最後

Table 1 Chemical composition

C	Si	Mn	P	S	Al
0.16	0.22	0.50	0.017	0.006	0.037

Table 2 Mechanical properties

$\sigma_Y$	$\sigma_B$	$\phi$
MPa	MPa	%
284	442	71.1

(a) Type PL(Plain specimen  $\phi d=0$ ), SD

(b) Type SS and DN

Fig.1 Shape and dimensions of specimens.

Table 3 Results

Specimen type (see Fig.1)	d mm	k	L(=2+kd) mm	$\sigma_v$ MPa	$\beta_{cal}$		$\beta_{exp}(=\sigma_{v0}/\sigma_v)$	
Plain specimen (PL)	0	—	—	190 ( $=\sigma_{v0}$ )	—		1.00	
Specimen with drill hole(SD)	0.5	—	—	110	$\beta_{d,cal}$	1.62	$\beta_{d,exp}$	1.73
	1.0	—	—	90		1.71		2.11
	1.5	—	—	90		1.77		2.11
Specimen with step(SS)	0	—	—	150	$\beta_{s,cal}$	1.25	$\beta_{s,exp}$	1.27
Specimen with double notch (DN)	0.5	-0.5	1.75	110	$\beta_{cal}$	2.01	$\beta_{exp}$	1.73
		0	2.00	110				1.73
		0.5	2.25	110				1.73
		1.0	2.50	110				1.73
	1.0	-0.5	1.50	100		2.12		1.90
		0	2.00	95				2.00
		0.5	2.50	100				1.90
		1.0	3.00	100				1.90
	1.5	-0.5	1.25	90		2.19		2.11
		0	2.00	90				2.11
		0.5	2.75	—				—
		1.0	3.50	—				—

L ; distance from center of drill hole to step edge (Fig. 1(b))

に電界研磨により試験片表層部を直径で約 40 $\mu$ m 除去してから試験に用いる。疲労試験機は、小野式回転曲げ疲労試験機（容量 98N $\cdot$ m, 回転数 3400rpm）である。

### 3. 実験結果および考察

**3.1 疲労強度評価** 表3に、各供試材の疲労限度を示す。また表中には、2.1節で述べた推定式から算出した切欠き係数ならびに実験より得られた切欠き係数などを併せて示している。

図2は、二重切欠き材において各々の単一切欠きの影響が最も干渉すると思われる供試材、すなわち k=0 の DN 材の計算値と実験値との切欠き係数の関係を示している。式(1)、すなわち  $\beta_{cal} = \beta_{d,cal} \times \beta_{s,cal}$  を用いて二重切欠き材の疲労限度を推定した値は、実験より得られた切欠き係数の値  $\beta_{exp} = \beta_{d,exp} \times \beta_{s,exp}$  よりも安全側に評価した値となっていることが分かる。

**3.2 切欠きの距離の影響** 表3より、本実験範囲内では、二重切欠きを形成する各々の単一切欠きの最大応力の位置関係がいかなる場合においても、二重切欠き材の疲労限度にはほとんど影響を及ぼさないといえる。そして、その場合の二重切欠き材の疲労限度は、各々の単一切欠きのうち、大きな切欠き係数の値を持つ切欠きによって支配されており、本研究では二重切欠き材の疲労限度は小穴部の強度で決定している。

**3.3 今後の課題** 切欠き材の疲労強度に対しては種々の因子が影響を及ぼすことは周知のとおりである。

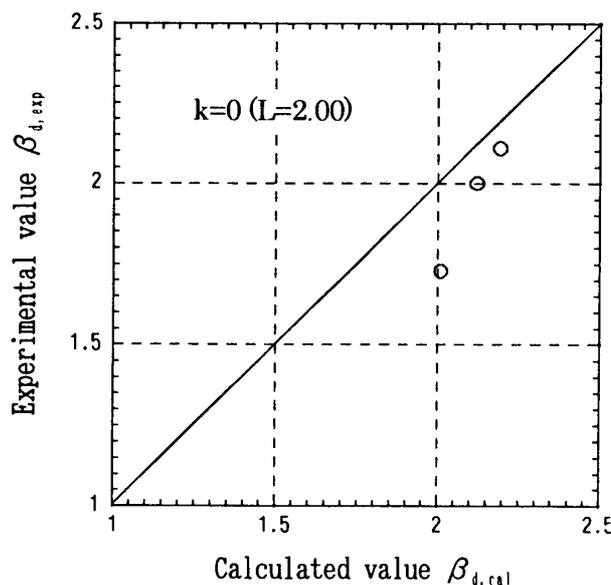


Fig.2 Relation between  $\beta_{d,cal}$  and  $\beta_{d,exp}$

しかし、ある程度の誤差を含んでいることを容認した上で、疲労限度  $\sigma_v$  を比較的簡単なパラメータによって推定することができるならば、構造部材の疲労強度を評価する上では非常に有益なものになると考える。しかしながら、これに関してはさらにデータの蓄積することも必要であると思われるため今後の課題とする。

結言及び文献；省略