# 430 開口比Uの応力比R及び応力拡大係数範囲⊿K依存性について
## －溶接構造部材の疲労亀裂進展挙動の研究（第1報）－

新日本製鐵㈱　厚板・条鋼研究センター　○田中　洋一，征矢　勇夫

## 1. 諸言

Elberを始めとする多くの研究では，開口比UはRのみに依存するとされているが，Rが一定の場合，Uは△Kにも依存する。溶接残留応力の疲労き裂進展を解析する場合にはUのR，△K依存性を明らかにしなければならない。このため，R及び△Kの関数としてUの一般表示式について検討した。

## 2. 供試材及び実験方法

供試鋼材はWEL-TEN60（板厚16㎜）であり，化学成分及び機械的性質を表1に示す。疲労亀裂伝播実験にはCT試験片を用いた（図1）。試験機は5 tonf電気油圧式疲労試験機を用い，△K漸減試験においては(dK/da)/K＝−0.05となるようにコンピューターで制御した。き裂長さは試験片表面に取り付けたクリップゲージにより測定したコンプライアンスによってもとめた。その際に除荷弾性法により開閉口荷重の測定も合わせておこなった。試験環境は室温大気中，試験周波数は1～50 Hz である。

## 3. 実験結果及び考察

図2に示すようにda/dNの実測値はR依存性を持つが，有効応力拡大係数範囲△Keff（＝U△K）で整理するとRによらず一本の曲線で表される（図3）。この曲線は修正パリス則を使って次のように表される。

$$da/dN = C\,(\triangle K_{eff}^{m} - \triangle K_{eff,th}^{m}) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots(1)$$

Uには通常実測値が用いられるが，経験的なUの表示式も幾つか提案されている。しかしそれらの式の多くはUをRのみの関数として表しているが，実際にはUは△Kにも依存する。

あるKでの理想亀裂開口変位Vは，小規模降伏を仮定して平面ひずみ条件下で次のように表される。

表1　供試鋼の化学成分及び機械的性質

| CHEMICAL COMPOSITION(%) | | | | | MECHANICAL PROPERTIES | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| C | Si | Mn | P | S | $\sigma_Y$ (kgf/㎟) | $\sigma_B$ (kgf/㎟) | EL (%) |
| 0.13 | 0.29 | 1.31 | 0.020 | 0.007 | 61 | 66 | 37 |

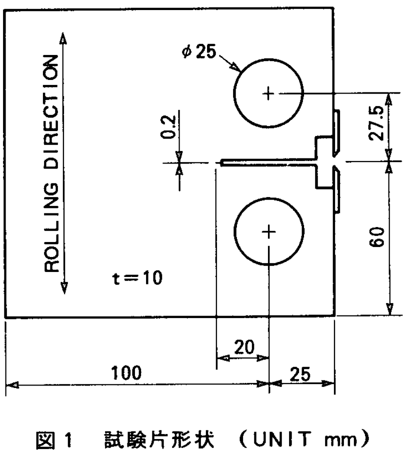


図1　試験片形状　(UNIT mm)

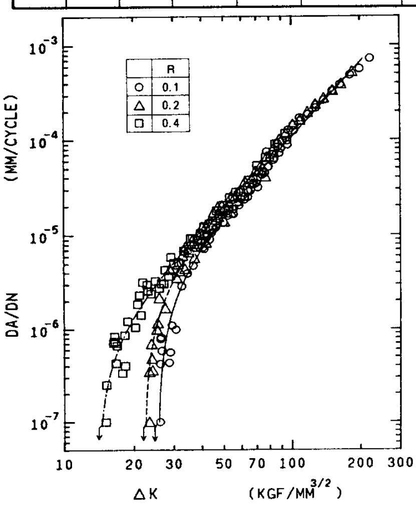


図2　da/dN－△K関係

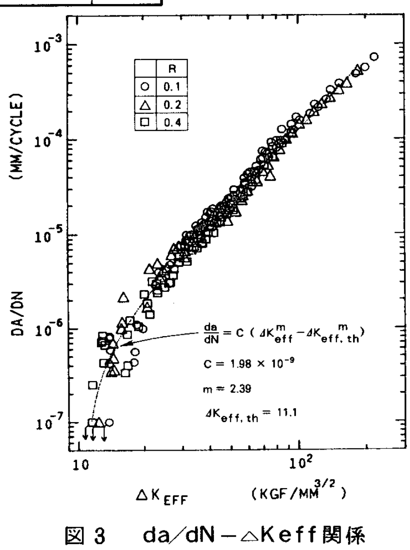


図3　da/dN－△Keff関係

溶接学会全国大会講演概要　第37集　('85―10)

$$V=4K\sqrt{(r_P-x)}/2\pi/E',\ r_P=(K/3\sigma_Y)^2/2\pi,\ E'=E/(1-\nu^2)\ \cdots\cdots\cdots(2)$$

ただしxは亀裂先端からの距離であり，$r_P$は小規模降伏による補正項である。(2)式よりx＝0とすれば理想亀裂の亀裂先端開口量$\phi$が求まる。しかし疲労亀裂においては亀裂面に残留塑性変形が存在するため，$\phi$が残留塑性変形の厚さ$\delta$res の2倍よりも小さくなれないために亀裂の開閉口が生じる。実際には塑性変形の他に破面粗さや酸化物によっても開閉口が生じるため現象は複雑であるが，それらの効果を$\delta$resに繰り込み，$\delta$resの△K，R依存性を仮定することにより解析が可能となる。

$$\delta res=\delta plasticity+\delta oxide+\delta roughess\ \cdots\cdots(3)$$

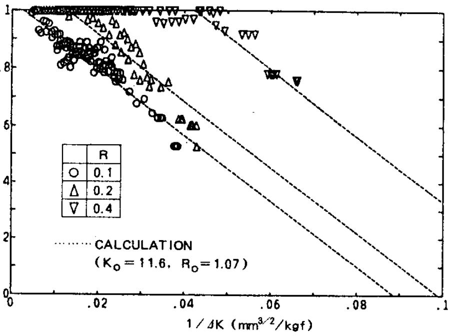

図4　Uの△K依存性

亀裂先端に生じる最大の塑性変形はK=Kmaxにおいて生じる。しかしそのときの$\delta$plas.の評価は，圧縮再降伏などの影響も考慮しなければならないために複雑である。そこで$\delta$plas.はf(R)△Kに相当する塑性変形であると仮定する。f(R)はRのみの関数で，圧縮再降伏の影響を反映している。また$\delta$ox.，$\delta$rough.を定量的に求めることのできる理論はないが，簡単のためにあるKでの塑性変形に相当すると仮定し，それを$K_0$と置く。$K_0$は定数とする。従って$\delta$resは次のように表される。

$$\delta res=2(f(R)\triangle K+K_0)K_{MAX}/3\pi E'\sigma_Y\ \cdots\cdots\cdots(4)$$

$\phi$が2$\delta$resになったときにき裂開口が生じるとすると，Kop及びKop≧KminのときのUは次のように求まる。

$$Kop=f(R)\triangle K+K_0\ \cdots\cdots\cdots\cdots(5)$$

$$U=(Kmax-Kop)/(Kmax-Kmin)=g(R)+K_0/\triangle K\ \cdots\cdots(6)$$

ただし$g(R)=1/(1-R)-f(R)$である。

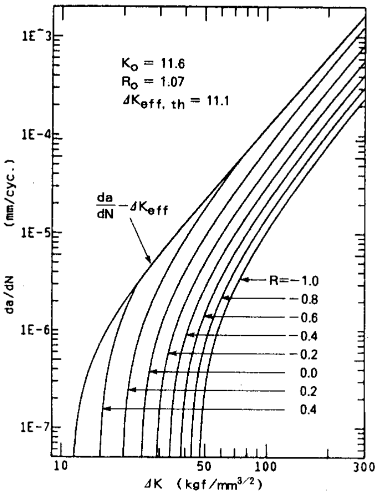

図5　da/dNのR依存性

U−△K関係の実測例を図4に示す。(6)式第2項の，Uの1/△Kに対する線形関係がよく成り立っている。g(R)については簡単で実験結果をよく再現する式として

$$g(R)=1/(R_0-R)\ \cdots\cdots\cdots\cdots(7)$$

が考えられる。ここで$R_0$は約1～1.5の値をとる定数である。すなわちUは次のように表される。

$$U=\min[1/(R_0-R)-K_0/\triangle K,\ 1]\ \cdots\cdots\cdots\cdots(8)$$

WEL−TEN60の場合は$R_0$=1.07，$K_0$=11.1であった。図4中に計算結果を点線で示してある。(8)式を用いればda/dN，△KthのR依存性や等da/dN曲線を求めることは容易である。図5，6に例を示す。

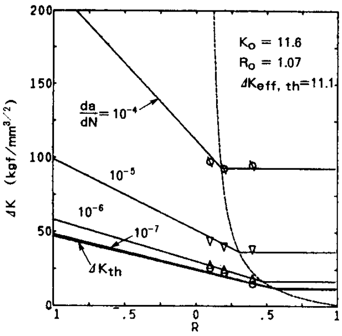

図6　等da/dN曲線

点線；$\varDelta K(U=1)=\dfrac{K_0(R_0-R)}{1-R_0+R}$

## 4. 結　言

Uの△K，R依存性は(8)式のように表されることが明らかとなった。(8)式を用いると△K，Rの異なる様々な場合に対しda/dNを計算することが可能となり，残留応力下での疲労き裂伝播の解析が可能となった。