I－50　疲労亀裂の発生の機構について

東京大学工学部　正員　奥村敏恵
〃　大学院　学生員　堀川浩甫

疲労の問題を巨視的な連続体の力学の立場から眺め、実験的に捉えられる塑性流動（降伏）、加工硬化などの材料の性質に基いて疲労亀裂の発生と伝播の機構をモデル化し、このモデルについて疲労亀裂の発生に要する繰返し数を求めた。　すなわち疲労の機構を Head* にならって

(1) 切欠（亀裂）の先端は応力集中により降伏し、塑性流動を生ずる。

(2) 塑性流動により材料は加工硬化する。

(3) 繰返し負荷により加工硬化はすすみ遂にはある値に飽和する。

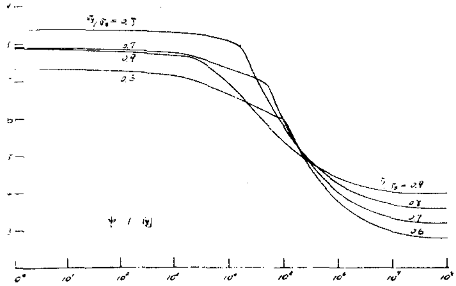
(4) 外力が大きければ加工硬化によって応力は破断応力場を越え、次の亀裂を生ずる。

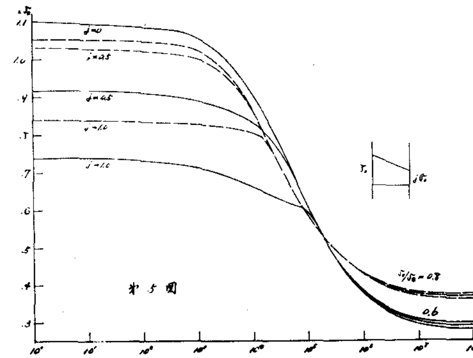
(5) 降伏しないとき、加工硬化が飽和しても破断応力場に達しないときには亀裂は生じない。

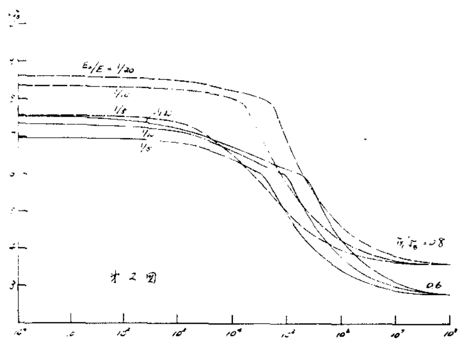
(6) 負荷を繰返さなくとも破断応力場を越えるときは静的な破壊である。

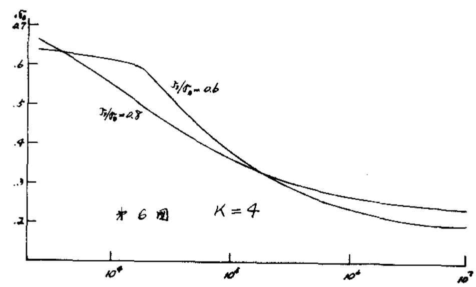
と考えた。　加工硬化と亀裂の発生は結晶転位論などによって説明される確率過程の現象であり、統計学の手法によって取扱はなければならないものであるが、ここではその最頻値というようなものを考える。　切欠先端の応力は近似的に、切欠のないときの応力分布を $\sigma_0(x)$ とおいて、弾性域では $\sigma_e(x)=(1+K\,r^2/x^2)\,\sigma_0(x)$, 降伏后もひずみの分布の形は変らないとして $\varepsilon(x)=(1+K\,r^2/x^2)\cdot\sigma_0(x)/E$ $\sigma_p(x)=(\varepsilon(x)-\varepsilon_y)E_n+\sigma_y$ とする。　次に加工硬化については見かけの切線係数を $E_n=\{1+\beta n(\varepsilon_p)^k\}E_0$ とし、さらに亀裂発生の条件は“切欠の先端から長さ dx にわたって応力が破断応力を越えたら、長さ dx の亀裂が生ずる”として計算した。　想定した材料は $\sigma_y/\sigma_B=0.6$ 及び 0.8, $E_0=1/10\cdot E$ 一回の亀裂の長さ 0.02^{mm} 定数 $\beta=k=1$ とし、形状はその縁に深さ H＝半径 $r=0.1^{mm}$ の半円状の切欠のついた厚さのない巾 $B=10^{mm}$ の板及び parameter を変化させたものである。　また切欠のないときの応力分布が勾配を持つときも考慮した。　具体的には外力を S_0 として 1) まず $\varepsilon_0=\dfrac{2S_0}{(2-iB)(B-A)E}$ と近似し 2) $\varepsilon(x)=(1+K\,r^2/x^2)(1-ix)\varepsilon_0$ 3) $\sigma_e(x)=\varepsilon(x)E$ 4) $\sigma_y=\sigma_e(x_y)$ を解いて弾塑性境界 x_y を求め 5) $\varepsilon_p(x)=\varepsilon(x)-\varepsilon_y$ とおいて $\sigma_p(x)=(1+n\varepsilon_p(x))E_0\varepsilon_p(x)+\sigma_y$ 6) $\sigma_B=\sigma_p(A+dx)$ より $n=\left\{\dfrac{\sigma_B-\sigma_y}{E_0\,\varepsilon_p(A+dx)}-1\right\}\Big/\varepsilon_p(A+dx)$ 7) 応力の全断面にわたっての総和 $S=\int_A^{x_y}\sigma_p(x)dx+\int_{x_y}^{B}\sigma_e(x)dx$ が S_0 に充分収斂するまで 8) $\varepsilon_0=\varepsilon_0\times S_0/S$ で修正して 2) に帰り繰返す。　第1図乃至第5図はこの結果であり、第6図及び第7図は手元の実験値との比較を示めす。　もとより計算に用いている parameter は勝手にとったものであって座標の値は相対的な意味しかもっていない。　今后実験によって parameter の意味付けと、その検討を加えなければならないが、定性的には疲労のもつ特徴のいくつかを再現しており、疲労のある一面を表わしていると思う。　尚、以上は初期亀裂の発生について計算したが、ε_p の代りに前回の亀裂によって生じた塑性流動 $d\varepsilon_p$ を用いて、次の亀裂発生に必要な回数 dn を求める同じような式を導くことができ、亀裂が self-propagate する（$dn\leq 0$）までの繰返し数の総和を求めれば疲労の寿命となる。

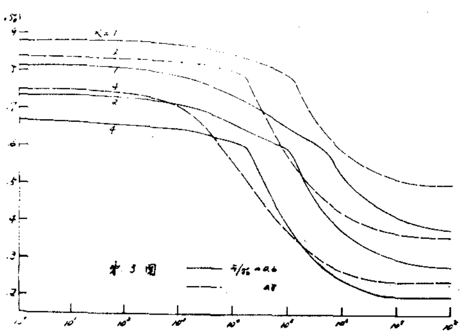
* Head, A.K. J. Appl. Mech., vol. 23, p. 407, (1956)

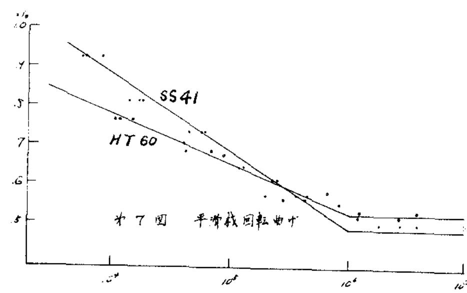


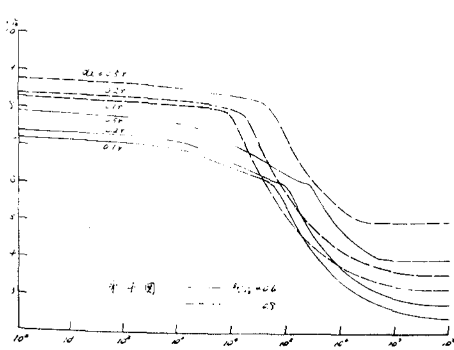












図中に記入なくparameterは全て

$E_0/E = 1/10$, $K = 2$, $dx = 0.2r$

$j = 1.0$, $b = 100r$

である。