

福岡大学
福岡大学

正
正

○百 武 秀
山 本 俊 浩

1. 緒言

PCの疲労破壊については従来から多くの研究がなされている⁽¹⁾。その主な関心はき裂の進展挙動にあるように思われる。著者らの関心は応力集中源から生ずる疲労き裂の発生にある。

本報は、PC丸棒について二種類の疲労試験、すなわち(a)小穴をつけた丸棒の回転曲げ、および(b)円周切欠きをつけた丸棒の引張圧縮を行い、疲労き裂の発生に及ぼす応力集中の影響を明らかにし、これよりき裂発生限界条件について検討したものである。

2. 材料、試験片および試験方法

使用したPCは市販の押出成形丸棒(商品名パンライト)である。小穴をつけた試験片(小穴材)には直径20 mm、長さ1 mのものを、円周切欠きをつけた試験片(円周切欠材)には直径30 mm、長さ1 mのものをを用いた。これら二種類のPC丸棒で、引張特性値に大きな差はない。

小穴材は、平行部の直径10 mmの丸棒の表面に小穴をつけたもので、穴径は0.1, 0.3, 0.5および1.0 mmの4とおり、深さは穴径と等しくした。穴縁における応力集中係数 K_t は2.25~2.82の範囲である。

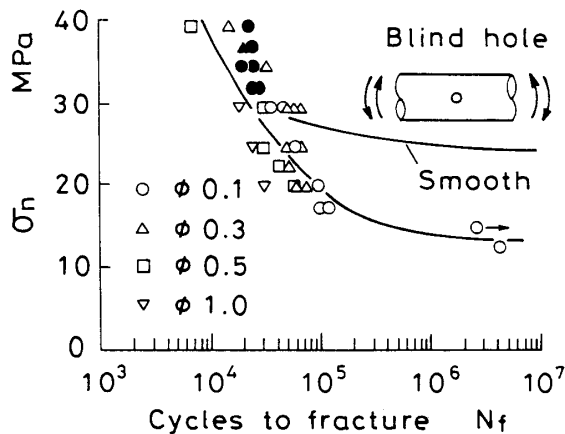
円周切欠材は、平行部直径12 mmの丸棒に円周切欠きをつけたもので、切欠半径は0.1, 0.5および1.0 mmの3とおり、切欠深さはすべて1.8 mmとした。この場合、切欠底における応力集中係数 K_t は2.14~5.68の範囲である。

小穴材については回転曲げ疲労試験を、円周切欠材については引張圧縮疲労試験($R = -1$)を行った。試験速度は二つの試験とも2 Hzとした。

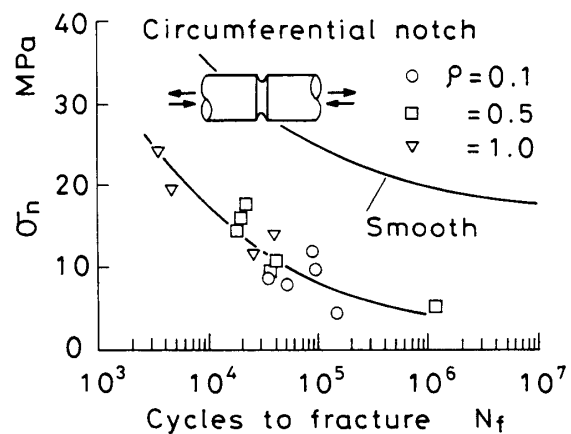
3. 実験結果および考察

疲労破壊はすべての試験片で、応力集中部に発生したき裂の進展によって生じた。図1にS-N曲線を示す。縦軸の σ_n は公称応力、横軸の N_f は破断までの繰返し数である。応力 σ_n と N_f の関係は、小穴材においては穴径と無関係に(図1a)、また、円周切欠材においては切欠半径と無関係に(図1b)、それぞれ一本の曲線で表されている。このことは、疲労き裂の発生はかなり初期に起こり、寿命 N_f の大部分はき裂の進展過程であることを示している。切欠底付近に発生したき裂が進展するとき、その速度は応力 σ_n とき裂長さによって決まり、切欠きの幾何学的形状の影響は小さいと考えられる。なお、参考として平滑材のS-N曲線を図1に合せて示した。

図2に応力集中部に発生した疲労き裂の例を示す。所定の繰返し数ごとに、試験片を取り外し、応力集中部を顕微鏡で観察した。小穴材では、き裂は穴縁の、試験片表面から少し内部で発生する。き裂長さが0.01mmに達したとき(図2a)をき裂発生点とした。図2aの場合、穴径は0.1 mm、 $\sigma_n = 29.4$ MPa、このときの荷重繰返し数 N_f と寿命 N_f の比は32%である。円周切欠材では、き裂は切欠底で発生し、その起点は試験片の表面付近に点在する欠陥(材料に先在する

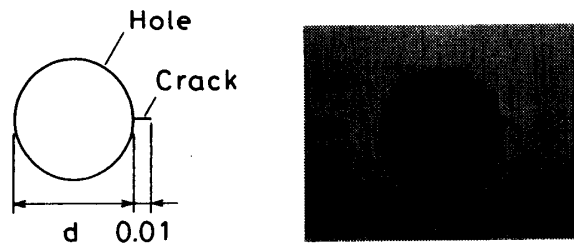


(a) 小穴材(回転曲げ)

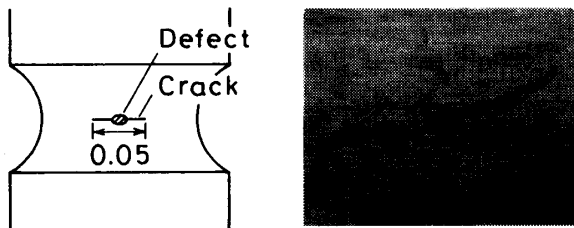


(b) 円周切欠材(引張圧縮)

図1 応力集中部をもつPC丸棒のS-N曲線



(a) 小穴縁に発生したき裂



(b) 円周切欠底に発生したき裂

図2 応力集中部から発生した疲労き裂

介在物で、その寸法は0.01~0.03 mm)であることが多い。欠陥部も含めたき裂の全長が0.05 mmに達したとき(図2b)をき裂発生点とした。図2bの場合、切欠半径は1 mm, $\sigma_n = 24.0$ MPa, このときの荷重繰返し数 N_i と寿命 N_f の比は41%である。このように、き裂発生点における荷重繰返し数 N_i は応力集中の程度、すなわち穴径または切欠半径、および応力の影響を受ける。

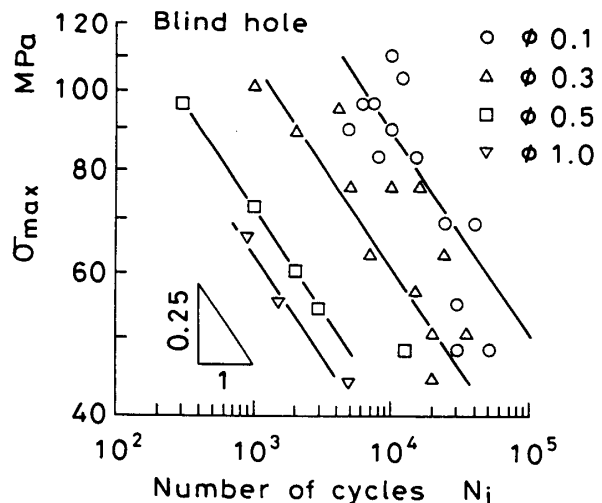
繰返し荷重のもとで応力集中部に疲労き裂が発生する条件は、切欠底付近における力学的状態の厳しさとそれが繰返される回数によって決まると考えられる。線形切欠力学の概念によれば、切欠底付近の力学的状態の厳しさは切欠底における最大弾性応力 σ_{max} と切欠半径 ρ によって決まる。したがって切欠底に疲労き裂が発生する条件として次の式が考えられる⁽²⁾。

$$\sigma_{max} \cdot (N_i)^m = C(\rho) \quad (1)$$

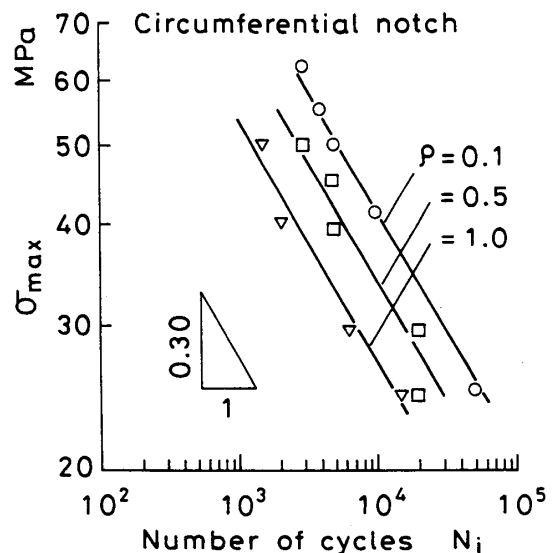
ここで N_i はき裂発生点における荷重繰返し数である。指数 m および右辺の C は材料に固有な値と考えられるが、特に C は切欠半径(または穴の半径) ρ のみ関数である。

式(1)で表した疲労き裂発生の限界条件式の妥当性は、切欠半径(または穴径)ごとにプロットした $\sigma_{max} (= K_t \cdot \sigma_n) \sim N_i$ の関係が互いに平行な線図となることによって実証される。

図3は、小穴材については穴径ごとに、円周切欠材については切欠半径 ρ ごとに、 $\sigma_{max} \sim N_i$ の関係をそれぞれプロットしたものである。図3aに示すように、



(a) 小穴材(回転曲げ)



(b) 円周切欠材(引張圧縮)

図3 切欠底の最大弾性応力 σ_{max} と疲労き裂発生までの繰返し数 N_i との関係

小穴材では穴径が0.1 mmから1 mmまで、それぞれの $\sigma_{max} \sim N_i$ 線図は互いに平行な直線で表され、直線の傾き $m = 0.25$ である。また、図3bに示すように、円周切欠材では切欠半径 $\rho = 0.1$ mmから1 mmまで、それぞれの $\sigma_{max} \sim N_i$ 線図は互いに平行な直線で表され、直線の傾き $m = 0.3$ である。指数 m の値は小穴材と円周切欠材で互いにほぼ等しい。これらの実験結果から、式(1)で表した疲労き裂発生の限界条件式は妥当なものと考えられる。

4. 結言：略

文献 (1) Hertzberg, R. W. and Manson, J. A., Fatigue of Engineering Plastics, (1980), Academic Press. (2) 百武・萩尾・山本, 機械学会論文集, 57-542, A(1991), 2300.