Failure for Notched Plates of Glass Fiber Reinforced Polypropylene
under Static and Cyclic Loading

○ 学 丸山 論 (福岡大学・院), 正 山本 俊浩 (福岡大)

Satoshi MARUYAMA, Toshihiro YAMAMOTO

Dept. of Mech. Eng., Fukuoka University, Fukuoka, 814-0180

Key Words: Reinforced Plastics, Notch, Fracture, Damage, Fiber Length, Polypropylene

1. 緒論

著者らはこれまで種々の FRP を用いて、静荷重および繰返し荷重試験を行い、切欠底付近に生ずる損傷に力学的状態の厳しさを考慮した損傷基準がよく適用できることを実証してきた。^{(1)~(6)} この破損基準を FRP 切欠平板の疲労損傷に適用して次の限界条件式を得た。

$$\sigma_{\max} \cdot (N_d)^m = C(\rho)$$

ここで $\sigma_{\max}$ は切欠底の最大弾性応力、 ρ は切欠半径、 N_d は疲労破損までの荷重繰返し数である。上記の疲労破損の限界条件式は切欠底付近の厳しさとそれが繰返される回数によって決まるという考えに基づくものである。

FRP で使用されるエンジニア・プラスチックの一種であるポリプロピレンは、軽量、低価格、リサイクル性が高いという特徴から、近年自動車の分野において需要を伸ばしている。ポリプロピレンをマトリックスとする、ガラス繊維強化射出成形板の静荷重下での強度および損傷域の発生・成長過程については前報⁽⁶⁾で示した。

本報は、ガラス繊維長さが異なる 2 種類のガラス繊維強化射出成形板(GF/PP)から切出した切欠試験片を用いて疲労試験を行い、切欠き底付近に生ずる損傷を CCD カメラと画像解析装置による輝度測定システムにより検出・評価し、損傷域の発生・成長および強度において上記破損基準に基づいて比較・検討し、さらに静荷重における損傷域の発生・成長と比較したものである。

2. 材料、試験片および実験方法

使用した試験材は、長さが約 0.4 mm のガラス繊維を含むペレットで作成した射出成形板(短繊維強化射出成形板, A 材)と長さが約 3.5 mm のガラス繊維を含むペレットで作成したもの(長繊維強化射出成形板, B 材)の 2 種類である。いずれも出光石油化学製で繊維の直径は 0.01 mm, 繊維の重量含有率は 30% である。板の寸法は長さ 420 × 幅 100 × 厚さ 3 mm である。試験片はすべてゲートから離れた部分で、板の長手方向に沿って切出して作成した。

試験はサーボ油圧式疲労試験機を用い、繰返し速度は 2 Hz, 応力比は 0.1 の片振り引張疲労試験を荷重制御で大気中, 22 ± 0.5°C のもとで行った。損傷を検出評価する方法として、前述した CCD カメラと画像解析装置による輝度測定システムを用いた。この場合所定の繰返し数ごとに試験片を試験機から取り外して損傷を検出した。さらに微小破壊の形態を明らかにするために、切欠き表面を光学顕微鏡で観察した。

3. 実験結果および考察

図 1 (a) に A 材, (b) に B 材の繰返し荷重下での切欠底付近に発生した損傷域の成長過程を示す。(c) に比較のため B 材の静的荷重下, およびその除荷後における切欠底付近に生じた損傷域を示す。これら 3 本の試験片で、切欠半径 ρ はいずれも 1 mm である。

損傷は相対輝度 $R.L. \leq 75, 80, 85, 90\%$ の 4 段階で評価した。相対輝度とは試験前に透過する光の輝度を 100 としたときの相対値で、相対輝度の値が低い領域ほど損傷の程度は高いと考えられる。

図 1 (a), (b) に示すように、切欠底付近に発生した損傷域は繰返し数 N とともに進展する。B 材において、A 材と同程度の大きさの損傷域に成長するために、A 材の約 5 倍の繰返し数を必要とした。さらに損傷域の成長過程において、A 材においては損傷域が切欠底からほぼ水平に進展していったのに対して、B 材においては損傷域が荷重方向に曲がり、繊維を迂回するような経路で進展していった。

次に、同じ B 材における (b) と (c) を比較すると、(c) の静荷重下においては最大弾性応力 $\sigma_{\max} = 180$ MPa とその除荷後どちらにおいても、相対輝度 $R.L. \leq 75\%$ の領域だけでなく、 $R.L. = 80\%$ および 90% の領域も大きく広がっていた。これに対して (b) の繰返し荷重下では、相対輝度 $R.L. \leq 75\%$ の領域が多くを占め、その他の領域は静荷重下のように大きく広がらなかった。この相対輝度 $R.L. \leq 75\%$ の領域は、前報⁽³⁾の GF/PC における場合においても示されたような、主き裂による損傷域であると考えられる。このことより繰返し荷重下での損傷域は、静荷重下と比べてより主き裂の発生成長に起因するものと類推される。

図 2 に、A 材および B 材における繰返し荷重下での切欠底表面を示す。図の上下方向が荷重方向である。(a) は A 材の最大弾性応力 $\sigma_{\max} = 70.9$ MPa, 繰返し数 $N = 2.0 \times 10^5$ cycles における切欠底表面である。(b) は B 材の最大弾性応力 $\sigma_{\max} = 70.9$ MPa, 繰返し数 $N = 3.0 \times 10^5$ cycles における切欠底表面である。(a), (b) とともに切欠半径 ρ は 1 mm である。いずれの場合においても、ガラス繊維端部から発生した微小き裂が成長・連結していることが分かる。さらに図 3 (a) と (b) を比較すると、繰返し数 N において B 材の方が A 材よりも多いにもかかわらず、き裂の成長は A 材の方が B 材よりも板厚の広い範囲にわたっていた。

図 3 に A 材と B 材による切欠材の最大弾性応力 $\sigma_{\max}$ と疲労損傷発生点 N_d との関係を示す。相対輝度 $R.L. \leq 75\%$ の領域が約 0.1 mm^2 に達したときの荷重繰返し数を N_d とする。図の白印は A 材, 黒印は B 材である。ここで長繊維強化射出成形板 (B 材) と短繊維強化射出成形板 (A 材) を比

Fig.1 Growth of damaged zone near the notch root.

(a) Material A ($\rho = 1$ mm, $\sigma_{\max} = 70.9$ MPa, $N = 2.0 \times 10^5$ cycles)

(b) Material B ($\rho = 1$ mm, $\sigma_{\max} = 70.9$ MPa, $N = 3.0 \times 10^5$ cycles)

Fig.2 Microcracks growth on the notch root surface.

較すると、B材の方がA材よりも疲労損傷発生点 N_d が遅いことがわかる。さらにいずれの場合においても、 $\sigma_{\max} - N_d$ 線図は切欠半径 ρ ごとに一対一に対応し、互いに平行な直線で表されている。これにより切欠底付近の力学的状態の厳しさから導いた一つの疲労損傷における破損基準が、この材料 (GF/PP) においても有効であると考えられる。

結言 略

文献 (1) 百武・山本, 機論, 60-576, A(1994), 2182
(2) 百武・山本, 機論, 63-608, A(1997), 780 (3) 百武・山本 材料, 49-8, (2000), 935 (4) 山本・百武, 第 30 回 FRP シンポジウム講演論文集, (2001), 257
(5) 山本・百武, 機講論, No.028-1(2002-3), 79 (6) 山本・百武, 機講論, No.038-1(2002-3), 35

Fig.3 The relation of $\sigma_{\max}$ versus N_d .