21414 温度環境を考慮した高分子材料の動的破壊特性に関する研究

Study on Polymer Materials of Dynamic Fracture Characteristic which Considered Temperature

○学 笹岡 大祐(芝浦工大) 正 江角 務(芝浦工大)

Daisuke SASAOKA, Shibaura Institute of Technology, Toyosu3-7-5, Koutou-ku, Tokyo

Tsutomu EZUMI, Shibaura Institute of Technology, Toyosu3-7-5, Koutou-ku, Tokyo

Recently, polymer materials are used in various fields, the expansion of the use is performed more and more now. However, the mechanical characteristic of their materials depends on the use conditions such as the temperature greatly. Therefore, to expand the range of use of polymer materials further, it is necessary to understand various the material characteristics. The purpose of this study is to examine the dynamic fracture characteristic of polymer materials considering temperature environments. Caustics method has been used to determine dynamic stress intensity factor K_I and we evaluated the strength of materials. As a result, with a rise and a fall of the temperature, the maximum value of K_I showed the tendency to decrease in all materials. In conclusion, it was found that dynamic fracture characteristic was different greatly by a difference of the materials under temperature environments in the polymer materials.

Key Words : Polymer materials, Temperature environments, Dynamic load, Experimental analysis, Dynamic stress intensity factor

1. 緒 言

高分子材料は様々な特性をもち、多様な種類があることから幅広い分野で利用されている。現在でも用途の拡大が行われており、従来では使用されていなかった分野においても使用範囲が拡大していくと考えられる。しかしながら、高分子材料の力学的特性は温度などの使用環境に大きく依存することが知られている⁽¹⁾⁽²⁾。また、日常的に衝撃的な荷重を受ける機会が増えており、材料に外力がかかる場合に静荷重を受けたときと衝撃荷重を受けたときに示す抵抗とでは材料によって著しく異なる⁽³⁾。そのため、今後高分子材料の使用範囲が拡大していくと予想される中で、材料の安全性を確保するには使用環境条件の影響を十分に考慮した材料特性を把握しておく必要があると考えられる。

そこで本研究では、温度環境による材料の動的破壊特性に着目した。き裂を挿入した三種類の高分子材料を供試材とし、コースティックス法⁽⁴⁾と高速度撮影ビデオカメラを用いて衝撃三点曲げ試験を行う。そして、動的応力拡大係数⁽⁵⁾を算出することにより材料の強度評価を行い、材料の違いによる破壊特性を考察することを目的とした。

2. 基 礎 理 論

き裂を有する透過性のある高分子材料に負荷を与えて平行に光を入射させると、き裂先端近傍の応力の集中により板厚の変化や屈折率の変化が生じる。その結果、入射した光の進む方向が曲げられ、スクリーン上には光のこない影の領域が生じる。この領域をコースティック像と呼び、この像の大きさや形状から応力拡大係数の値を算出することができる。これがコースティックス法の基本原理である。モードⅠ型の動的応力拡大係数 K_I は式(1)で表せる。

$$K_I = \frac{2\sqrt{2\pi}}{3z_0d|c_0|} \cdot \frac{1}{\lambda^{3/2}} \cdot \left(\frac{D}{\delta}\right)^{3/2} \quad (1)$$

ここで、 z_0 は試験片からスクリーンまでの距離、 d は試験片の板厚、 c_0 は光学定数、 λ は $\lambda = (z_0 + z_i)/z_i$ で表される光学系の倍率(z_i は光の収束点から試験片までの距離)、 D はコースティック像の直径、 δ は材料定数である。

3. 試験片および実験方法

3・1 供試材および試験片形状 本研究では、供試材としてポリカーボネート樹脂(PC)、ポリエチレンテレフタレート(PET)、メタクリル樹脂(PMMA)の三種類の高分子材料を使用する。各供試材の機械的性質を表1に示す。

試験片の加工は、圧延方向に対し垂直にバンドソーを用いて板材から切りだす。その後、フライス盤を用いて横140mm、縦20mm、厚さ6mmの寸法に仕上げる。また、支持点間の距離を120mmとする。き裂の形状はVノッチ(開口角度15°、先端の曲率半径 $\rho=0.1$ mm)を形削り盤により加工する。き裂は試験片中央に垂直長さ3mmで挿入する。この形状をとることにより、変形様式がき裂開口型であるモードⅠ型となる。試験片の形状を図1に示す。

Table 1 Mechanical properties of sample materials

Material	Young's modulus [MPa]	Izod impact strength [kJ/m ²]	Glass transition temperature [°C]
PC	2.3×10^3	98	150
PET	2.4×10^3	10	81
PMMA	3.1×10^3	2.7	105

Fig. 1 Shape of specimen

3.2 実験方法 実験装置は、高速度撮影ビデオカメラ(FASTCAM-MAX120K/120KC:Photron), He-Ne ガスレーザー, 衝撃荷重装置, スクリーン, データ記録用パーソナルコンピュータから構成されている。実験は錘であるストライカーを落下させ、衝撃三点曲げ試験を行った。ストライカーの重量は 2.79N であり、高さ 650mm から自由落下させた。なお、撮影の条件は撮影コマ数を 50,000fps, シャッタースピードは 150,000sec とし、き裂が進展する瞬間までを高速度撮影ビデオカメラで撮影した。また、解像度は 256×64pixel である。

4. 実験結果

本研究では 23.5℃(常温), 40℃から 60℃, 0℃から -60℃までの 10℃毎の計 11 パターンで実験を行った。図 2 に実験で得られた常温における各供試材のコースティック像写真の一例を示す。図 3 は各供試材における動的応力拡大係数の最大値と温度の関係を示したものである。

5. 考察

図 2 より、衝撃荷重を受けるとコースティック像の直径は時間の経過とともに、拡大と縮小を繰り返しながらその範囲を徐々に広げていき、最後にはき裂が進展していく様子がわかる。

図 3 より、いずれの供試材においても温度が上昇または低下するにともない、動的応力拡大係数の最大値は低下していく傾向にあり、破壊が起こりやすくなっていると考えられる。また、三種類の供試材での実験結果を比較すると、PC の実験結果ではどの温度においても他の供試材と比べ動的応力拡大係数の最大値が高いことから、PC は供試材の中で最も破壊が起こりにくい材料である。

PMMA の実験結果では、温度が上昇または低下するにつれて、動的応力拡大係数の最大値は低下しているが、その低下の差は他の供試材と比べて小さく、温度による影響があまりみられない。

図 3(a)より、PC や PET の実験結果では、実験温度が 0℃から -10℃にかけて動的応力拡大係数の最大値がそれまでの値と比較して大きく低下する傾向にあり、この温度付近で低温脆化現象が現れはじめていると考えられる。さらに、PET の実験結果では、動的応力拡大係数の最大値が -30℃から -40℃にかけて大きく低下していることがわかる。このことから、この温度付近で材料の強度が著しく低下しており、低温脆化現象を顕著にみることができる。

以上の結果より、高分子材料では温度環境において材料の違いにより動的破壊特性が大きく異なることがわかった。そのため、実際に使用する場合には使用環境条件を十分に考慮する必要があると考えられる。

6. 結 言

本研究では、き裂を挿入した三種類の高分子材料を供試材とし、コースティック法を用いて衝撃三点曲げ試験を行い、試験片温度の違いによる材料の破壊特性について比較・検討した結果、以下の知見が得られた。

1. 高分子材料は、温度環境において材料の違いにより動的破壊特性が大きく異なる。
2. 三種類の供試材での実験結果を比較すると、どの温度においても、PC, PET, PMMA の順に破壊が起こりにくい材料である。
3. PET の実験結果では、-30℃から -40℃にかけて低温脆化現象が顕著にみられる。

Fig. 2 Photographs of caustic patterns (normal temperature)

(a) Low temperature

(b) High temperature

Fig. 3 Relation between $K_{I \max}$ and T

参考文献

- (1) 伊藤秀明・小林隆治・江角務, 機論(A), 71-701 (2005), pp.36-42.
- (2) 邱建輝・川越誠・森田幹郎, 機論(A), 67-656 (2001), pp.697-703.
- (3) 坂田勝・岸本喜久雄, 材料, 34-386 (1985), pp.1356-1362.
- (4) 高橋賞・清水紘治, 機械の研究, 37-4 (1985), pp.485-492.
- (5) 尾田十八・谷口佳文・榛沢正行, 機論(A), 57-533 (1991), pp.64-71.