328 低温環境下における高分子材料の衝撃破壊挙動に関する研究

A Study on Impact Fracture Behavior of Low Temperature of Polymer by Caustics Method

正 江角 務(芝浦工大) ○学 古家 明博(芝浦工大(院))

Tsutomu Ezumi, Shibaura Institute of technology Toyosu3-7-5 Kotoku Tokyo

Akihiro Furuya, Shibaura Institute of technology Toyosu3-7-5 Kotoku Tokyo

Key Words: Caustic, Impact Fracture, Low Temperature, Polycarbonate

1. 緒 言

近年、機械・構造物の軽量化・高性能化が要求されるようになり、それに伴って軽量かつ高強度の工業用材料として、高分子材料が多用されている。このような材料は、今後の社会において益々利用されるであろうと予測される。しかしながら、高分子材料はき裂や切り欠きが存在すると、そこに応力集中が発生して破壊の原因となる。

近年機械の高速化が進み、衝撃荷重の作用を受ける機会が増えており、損傷や破壊の発生形態も静荷重によるものと極めて異なることがあるので、衝撃強度についてさらに詳細な研究を進めることが重要な問題となってきた。構造材料としての使用範囲をさらに拡大するためには、動的破壊挙動等の破壊特性を正確に把握することが必要である。

そこで、研究報告例の少ない低温環境下での衝撃破壊実験を行い、動的応力拡大係数⁽¹⁾を算出、それを破壊挙動の指標とする。本研究では、衝撃破壊挙動がき裂を有する高分子材料に及ぼす影響の評価・解析を行い、強度特性を説明することを目的とした。

供試材には、ポリカーボネートを用いる。ポリカーボネートは、熱可塑性樹脂の中では最高の耐衝撃強度を誇り、また優れた耐候性を有する。実験では、コースティックス法⁽²⁾を用いて、試験片にき裂を挿入し、衝撃三点曲げ試験を行う。コースティックス法は、き裂先端近傍の応力場の情報を得られ、非接触実験法として種々の材料に適用でき、衝撃破壊挙動の解析に良く用いられる手法である。

2. 基礎理論

高分子材料に負荷を与え、光を入射させる。すると、き裂近傍の応力集中によって板厚の変化および屈折率の変化が生じる。そのため、入射した光の光路長が変化し、光の方向が曲げられる。結果、スクリーン上には光の集中する領域と光の来ない領域が生じる。この光の来ない部分の大きさあるいは形状から、応力拡大係数の値を知ることが可能である。これがコースティックス法の基本原理⁽³⁾である。モード I の動的応力拡大係数 K_I は、式(1)で表せる。

$$K_I = \frac{2\sqrt{2\pi}}{3z_0 d |c_0|} \cdot \frac{1}{\lambda^{3/2}} \cdot \left(\frac{D_{v_0, v_i}}{\delta_{v_0, v_i}} \right)^{3/2} \quad \dots (1)$$

ここで、 z_0 は供試体とスクリーンの間の距離、 d は供試体の板厚、 c_0 は供試体の光学定数(コースティックス定数)、 λ は倍率で $\lambda = (z_0 + z_i)/z_i$ 、 D はコースティックス像の直径、 δ は供試体の材料定数である。

3. 試験片および実験装置

3.1 試験片 試験片には、市販されているポリカーボネート(PC1600 透明 タキロン)を用いる。Fig. 1 は、試験片

の形状、寸法である。ポリカーボネートは、機械的性質に優れており、また、加工も容易である。加工にあたっては、バンドソーを用いて任意の大きさに切り出し、その後フライス盤を用いて端面を出し、型削り盤でき裂を挿入した。き裂は試験片中央に垂直長さ 3mm で挿入するものとし、これは荷重点の延長線上にくるものである。この形状をとることにより、変形様式が純粋モード I (開口型)のみになるようにした。

Fig. 1 Test specimen

3.2 実験装置 実験装置は、荷重装置と撮影装置、支持台により構成される。荷重装置には、自由落下式衝撃荷重装置を用いる。この装置は、装置本体、ストライカー、ガイド線から成り立つ。ストライカーは、あらかじめ決定しておいた高さから、上下に張られたガイド線を伝って滑らかに落下し、装置下端部に配置された試験片に衝撃荷重を与える仕組みになっている。また、ストライカーの重量および落下高さを変えることによって、衝撃力を変化させることが可能である。本研究では、ストライカー重量を 2.79N、落下高さを 650mm とする。支持台は、試験片を下部 2 点で支え、前後に倒れない工夫がなされている。撮影装置については以下で説明する。

3.3 簡易型高速度撮影法 衝撃三点曲げ試験におけるコースティックス像の撮影には、簡易型高速度撮影法⁽⁴⁾を用いる。この装置は、一眼レフカメラ(F3, Nikon)、デジタルリターダー(RE-306, 菅原研究所)、ストロボスコープ(PS-244AA, 菅原研究所)から成り立っている。

簡易型高速度撮影法の仕組みは次の通りである。はじめにカメラのシャッターを開放した状態にしておく。デジタルリターダーによりストロボスコープの発光(インプットバーとストライカーの接触により作動する仕組みである。)を任意時間(1μs から 999,999μs までの調節可能)遅延させる、その後試験片に衝撃荷重を加え、最後にシャッターを閉じる。

4. 実験結果

実験は、0℃～80℃までの間、20℃ごとに衝撃実験を行った。100μs 時間は Fig. 2 は、各温度ごとのコースティック像を撮影した連続写真の一例である。中央に見られる黒い球体がコースティック像である。各温度の右端の写真は、き裂が進展していく途中の写真である。写真上部の黒い影は荷重装置の一部である。Fig. 3 は、実験で得られたコースティック像の測定を行い、動的応力拡大係数を算出してグラフ化したものである。グラフの縦軸には動的応力拡大係数が、横軸には、き裂進展開始直前までの時間がそれぞれ示してある。また、Fig. 4 は各温度における動的応力拡大係数の最大値をグラフ化したものである。

Fig. 2 High speed photographs of dynamic caustic patterns

Fig. 3 Relation between K_I and Time

Fig. 4 Relation between $K_{I,max}$ and Temperature

5. 考察

実験は 100μs の遅延時間より開始し、き裂が進展していくまでの間、100μs 単位ごとに撮影を続行した。

Fig. 2 に示すように、0℃から-80℃にかけて温度が低下するに従い、き裂進展開始時間が早くなる事が分かる。

次に、動的応力拡大係数の値だが、Fig. 3 に示すように、100μs 時にはどの温度も差が少なく、時間の経過とともに差が大きくなる。また時間別に見ると、最大の値をとっている温度が毎回異なっている。次に温度別に見てみると、一時的に大きく増減する時間帯と小さく増減する時間帯があり、それもまた異なる。これらのグラフに見られる波形は、応力波と支持点反力によるものとされている。

Fig. 4 に示すように低温になるほど動的応力拡大係数の最大値が低くなっていくのが分かる。0℃の時が最も高く、そこから-80℃にかけて動的応力拡大係数の値が徐々に低下している。さらに低温になると動的応力拡大係数の値は低下すると推測される。これらの理由として考えられるのは、低温下で物質が硬化し、弾性変形がし辛くなったと考えられる。また低温になるに従い、ポリカーボネートは脆化する傾向にあると考えられる。これは、低温脆性によるもので、その理由として低温になるほど降伏応力が高くなるため、塑性変形に必要な応力に達する前に脆性破壊をしてしまったものと考えられる。

動的破壊挙動は温度に依存するところが大きいといえる。だが、温度による比例関係はないと考えられる。

6. 結 言

1. 低温になるに伴いポリカーボネートは脆化し、き裂進展開始時間が早くなる。
2. 動的応力拡大係数の値は、温度に関わらず増減を繰り返しながら次第に上昇していく。
3. 低温になるに伴い、動的応力拡大係数の最大値は低い値を示す。

参考文献

- (1) 矢川元基編，破壊力学，培風館，(1988)，pp.59—68.
- (2) 高橋賞・清水紘治，コースティック法の理論と適用例(2)，機械の研究，37—5，(1985)，pp.247—522.
- (3) 野口敏生・江角務，コースティック法による相互作用き裂の動的干渉効果に関する研究，高速度撮影とフォトニクスに関する総合シンポジウム(2003)，pp.11—14
- (4) 江角務・高橋賞，コースティック法による簡易型高速度撮影法の試み，光弾性学論文集，Vol.18，No.1 (1998)，pp. 7—14.