409 高分子積層材の衝撃破壊制御に関する基礎研究

Basic Study on Control of Fracture in Polymeric Laminated Materials with Impact Load

○学 宮崎悠哉 (芝浦工大) 正 江角務 (芝浦工大)

Yuya MIYAZAKI, Shibaura Institute of Technology, Toyosu3-7-5, Koutou-ku, Tokyo

Tsutomu EZUMI, Shibaura Institute of Technology

Key Words : Fracture Mechanics, Experimental Stress Analysis, Stress Intensity Factor, Impact Strength

1. 緒言

高分子積層材は、従来の金属材料に取って代わりつつある。積層材の利点は数多くあるが、一つに脆性破壊を抑える脆性き裂アレスト効果が期待できる。材料を積層化することでその破壊靱性値などに影響を与え、破壊を制御することができると考えられる⁽¹⁾。また、金属材料の代用物として、静的負荷だけでなく衝撃負荷に対しての破壊制御が望まれる。

き裂による破壊を制御する手法は、材料そのものの靱性値向上、材料の組み合わせの変更、介在物の挿入などが考えられる。そこで本研究では、一つの試みとして、高分子積層材の材料の組み合わせの違いによるき裂への影響を、衝撃負荷下で解析した。衝撃負荷は、簡易式衝撃三点曲げを用いた。解析にはコースティックス法を用い、き裂を有する部分の動的破壊靱性値を求めた。その結果、積層材の下部材の動的破壊靱性値が、界面の無い材料の値よりも大きい値を示すものがあり、積層化によって動的破壊靱性値に影響を与えることができた。また、靱性値の増加率が各試験片によって異なった。

2. 試験片

2・1 供試材 本研究の試験片では、エポキシ樹脂(EP)、ポリメタクリル樹脂(PMMA)、ポリカーボネート樹脂(PC)の三種類の高分子材料を使用した。これにより、ヤング率、靱性値の異なる組み合わせの試験片を作製した。供試材の組み合わせを表1に、機械的性質を表2に示す。

Table 1 Combination of materials

Type	Upper material	Lower materials
Type A	PC	EP
Type B	PC	PMMA
Type C	PC	PC
Type D	PMMA	PC
Type E	EP	PC
Type F	PMMA	EP

Table 2 Material characterization

	Young's modulus $E(\text{MPa})$	Dynamic caustic constant $c_{0D}(\text{m}^2/\text{N})$	Dynamic fracture toughness $K_{ICD}(\text{Mpa} \cdot \text{m}^{1/2})$
EP	3.0×10^3	-1.230×10^{-10}	0.69
PMMA	2.9×10^3	-0.571×10^{-10}	0.96
PC	2.3×10^3	-1.254×10^{-10}	3.2

2・2 試験片形状 供試材の寸法は、横 140mm、縦 15mm、厚さ 6mm とし、支持点間のスパンを 120mm とした。図1に試験片の寸法を示す。

Fig. 1 Test specimen

異種の供試材をアクリル系接着剤 (ハードロック : 電気化学工業) で接着し、二層の積層構造とした。き裂は長さ 3mm の V ノッチ加工を施した。

3. 実験方法

3・1 実験装置 実験装置は、衝撃荷重装置、支持台、撮影装置、コースティックス装置で構成される。衝撃荷重装置は自由落下式のものを使用し、ストライカーを高さ 600mm から自由落下させ、き裂が進展する瞬間のコースティックス像を撮影する。撮影装置には高速度撮影ビデオカメラを使用し、撮影コマ数は 30,000fps とした。図2に試験装置の概要を示す。

Fig. 2 Experimental arrangement

3・2 コースティックス法 コースティックス法の基本原理を図3に示す。き裂を有する高分子材料に荷重をかけ光を入射させると、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、光の方向が曲げられる。その結果、スクリーン上に光が来ない領域が生じる。この

光の来ない影の領域の大きさや形状などから、応力拡大係数を評価することができる。これがコースティックス法の原理である。

コースティックス法によるモード I における応力拡大係数 K_I は式 (1) で与えられる。

$$K_I = \frac{1.671}{z_0 d |c_0|} \cdot \frac{1}{\lambda^{3/2}} \cdot \left(\frac{D_{\min}}{\delta} \right)^{5/2} \quad (1)$$

ここで、 z_0 は試験片からスクリーンまでの距離、 d は板厚、 c_0 はコースティック定数、 λ は光学系の倍率、 δ は材料定数である⁽²⁾。本実験では、動的応力拡大係数の最大値を破壊靱性値として評価した。

Fig. 3 Principle of caustics method

4. 実験結果および考察

き裂進展開始直前のコースティック像の一例を図 4 に示す。いずれの試験片も、単一材に比べき裂進展開始までの時間が早くなった。Type D, Type E の結果より、進展までの時間は上部材のヤング率に依存することがわかる。

Caustic images				
Time	900 μ s	766 μ s	600 μ s	733 μ s
Type	PC	Type C	Type D	Type E

Fig. 4 Caustic images

実験の結果各試験片は、層間剥離を起こしき裂進展が停止したもの、剥離して破断したもの、剥離後上部材にき裂が屈折したものの三種類に分かれた。上層材に破壊靱性値の低い材料を用いた試験片 Type E は、下部材の破断後上部材にき裂が進展した。上下で同一の材料を用いた Type C は、下部材の靱性値が向上したが、完全に剥離した。上下で同じ材料を用いた場合、剥離量が増えた。図 5 に靱性値の比と剥離量の関係を示す。横軸の添え字の U は上部材を、L は下部材を表す。上部材の靱性値が下部材の物よりも低い試験片は、剥離量を抑えることができた。図 6 に、各試験

片の下部材の破壊靱性値の向上率と、上下の破壊靱性値の比の測定結果を示す。上部材の靱性値が下部材よりも高いものは、下部材の靱性値が向上する傾向が得られた。しかし、試験片 Type F は下部材の靱性値が減少した。

Fig. 5 Relation between dynamic fracture toughness ratio and delamination

Fig. 6 Relation between dynamic fracture toughness ratio and progress rate

図 5, 6 を比較すると、最も下部材の靱性値が向上し、かつ剥離量が少ないものは Type B であることがわかる。したがって、靱性値の比を求めておくことで、図 5, 6 から下部材の靱性値と剥離量を制御することが可能であると考えられ、さらに詳細に検討している。

5. 結 言

本研究では、積層材の材料の組み合わせを変えて衝撃三点曲げ試験を行った。その結果以下の知見を得た。

- (1) 積層材の材質の組み合わせを変えることで、破断を制御することができる。
- (2) 上部材に靱性値の高い材料を用いることで、下部材の靱性値を向上させることができる。
- (3) 積層材の材質の組み合わせを変えて、界面の剥離量をコントロールすることが可能となる。

参考文献

- (1) 伊藤秀明, 江角務, コースティックス法による異相高分子材料の衝撃破壊挙動に関する実験的検討, 日本機械学会論文集 A 編, (2000), pp.166-171.
- (2) 高橋賞, フォトメカニクス, 山海堂, (1997), pp. 129-137.