

ノート

高温におけるポリカーボネートの破壊挙動

清水 研一*¹⁾ 安田 健*²⁾ 飛澤 泰樹*¹⁾

Fracture behavior of a Polycarbonate at high temperature

Kenichi Shimizu*¹⁾, Takeshi Yasuda*²⁾, Taiki Tobusawa*¹⁾

キーワード：ポリカーボネート，脆性破壊，応力緩和，亀裂

Keywords：Polycarbonate, Brittle Fracture, Stress Relaxation, Crack

1. はじめに

ポリカーボネート射出成形品には、筐体の裏側のコーナ一やボス・リップの根元、インサートした金属部品周り、部品同士のはめ込みに用いられる所謂ツメなどの部位に切り欠き状の構造が存在することが多く、継続的なひずみもしくは荷重が負荷されて使用されている。このように使用されているポリカーボネート射出成形品が、製品を組み立てた時点では何ら異常が無いにも関わらず、数日から1年後に切り欠き状構造から破壊することがある。このときの破面は図1のように巨視的に脆性的であり、周期の短い同心円状の凹凸が存在する特徴がある。原因の類推あるいは対策の効果を検討するにあたり、図1のような破面を再現することが重要である。しかしながら、ポリカーボネートのように平滑材の一軸伸張変形では延性的な材料でも、切り欠きを有する場合には脆性的に破壊することがあるが、試験速度が1~500mm/minの引張試験や曲げ試験、ハンマースピードが3.5mm/sのシャルピー衝撃試験によって図1の破面を再現することはできない。

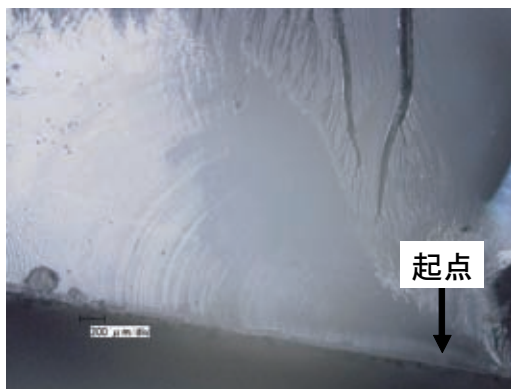


図1. 脆性的な破面の例

そこで、既知の使用状況であるポリカーボネートの切り欠き状構造に継続的なひずみがかかる状況を図1のような

脆性破壊の生成要因と仮定し、切り欠きを有する試験片の応力緩和試験による破面の再現を試みた。この状況では、破壊に長時間を要すると予想されるため促進評価方法も課題となる。高温での負荷は、以下の理由により破壊の促進方法に成り得ると考え、この効果についても検討した。

破壊の様相が延性的であっても脆性的であっても、高分子材料の破壊は分子間結合もしくは分子内結合の切断の過程のいずれかの過程を経ることは明らかであろう。いずれの過程を経るにせよ、高分子鎖は熱エネルギーを獲得して元の状態から次の状態に遷移することになる。こうした考え方から、高分子材料の破壊過程を速度論的に扱った理論は(1)式のようなアレニウス型の式を予測している⁽¹⁾。この式は応力が大きいほど、また、高温ほどより早く破壊が起こることを意味している。

$$t = t_0 \exp\left(\frac{(\Delta F - \alpha\sigma)}{kT}\right) \dots \dots \dots (1)$$

ここで、 t は破壊までに要する時間、 t_0 は定数、 ΔF は活性化エネルギー、 α は活性化体積、 σ は応力、 k はボルツマン定数、 T は絶対温度である。

2. 実験方法

試料には市販の厚さ5mmのポリカーボネート押出成形板を用いた。試料を長さ80mm、高さ10mmに切断した後、等角プライスを用いて長さ方向の中央部に深さ2mm、先端半径0.02mmのV字の切り欠きを加工して試験片とした。切り欠き部を引張側とし、オートグラフAG-10TD(株式会社島津製作所)を用いて支持台間距離を64mmとした定ひずみ速度の曲げ試験および応力緩和試験を行った。定ひずみ速度の曲げ試験は試験速度5mm/minで行った。応力緩和試験は23℃もしくは70℃の下で、50mm/minの試験速度で所定のひずみ量まで変形させ、その後30分間一定のひずみ量に保持して行った。試料の観察にはデジタルマイクロスコープVH-8000(株式会社キーエンス)を用いた。

3. 結果と考察

図2は23℃における定ひずみ速度の曲げ試験時の応力一

*¹⁾ 材料グループ*²⁾ 繊維・化学グループ

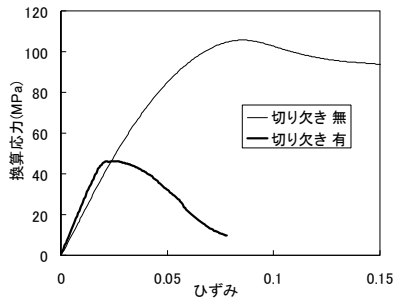


図2. 応力-ひずみ曲線

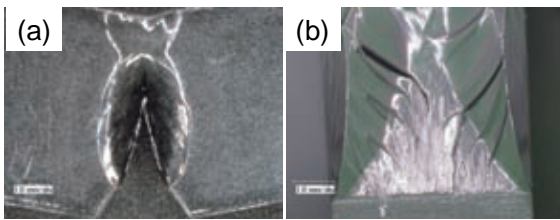
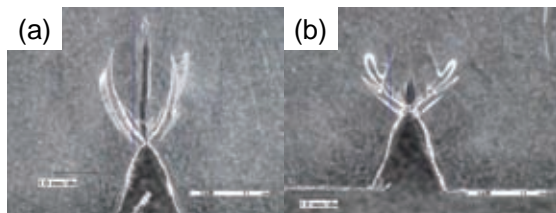


図3. 定ひずみ速度曲げ試験後の試験片の概観(a)と破面(b)

ひずみ曲線である。応力-ひずみ曲線は切り欠きの有無によらずひずみの小さい領域では弾性的である。切り欠きの無い試験片の最大応力は約 105MPa であるのに対し、切り欠きのある試験片の最大応力は約 45MPa と小さく、この時のひずみ量は約 0.02 であった。最大応力を示すひずみ以上では、切り欠きの無い場合に比べて応力は急激に低下した。試験後の試験片の概観(図3(a))は、塑性変形領域に亀裂が進行しており、切り欠き先端付近では亀裂の進行に先んじて塑性変形が進んでいたと考えられる。このため、破面は延性的であった(図3(b))。

図4. ひずみ量 0.03 での応力緩和試験後の試験片の概観
(a) : 23°C, (b) 70°C

最大応力を示すひずみより大きいひずみ量 0.03 に設定した応力緩和試験後の試験片の切り欠き先端付近の概観を図4に示す。試験温度が 23°C の場合(図4(a))も 70°C の場合(図4(b))も切り欠き先端から深さ方向と平行な方向に進行した一本の亀裂の他に、切り欠き先端から斜め方向に生じた塑性変形が観測され、いずれの場合も破壊の様相は脆性破壊とは異なった。亀裂の長さは 23°C では塑性変形領域より長く、約 3mm に成長したが、70°C では塑性変形領域より短く、約 1.5mm であった。すなわち、高温において亀裂の進行が遅延された。この結果は、切り欠き先端から斜めに生じた塑性変形がひずみを与える過程で起こり、高温ほ

ど容易に塑性変形が起こるため、亀裂進行に必要なひずみエネルギーを低下させるためと考えられる。

そこで、塑性変形が起こらないと期待できるひずみ量 0.01 に設定した応力緩和試験を行った。試験後の試験片の切り欠き先端付近の概観を図5に示す。試験温度が 23°C の場合(図5(a))も 70°C の場合(図5(b))も切り欠き先端付近の塑性変形は認められず、切り欠き先端から深さ方向と平行な方向に一本の亀裂が生じており、破壊の様相は脆性的であった。亀裂の長さは 23°C でも 70°C でも約 0.1mm であり、高温において亀裂の進行は促進も遅延もされなかった。

これらの試験片にさらに荷重を負荷して破壊させた破面(図6)を観察すると亀裂発生部の破面は延性的であった。切り欠きのあるポリカーボネートの引張試験では、応力-ひずみ曲線の弾性域で、切り欠き先端にその半径程度の領域にすべり線が交差した塑性変形域が観察され、その先端に亀裂が生じている⁽²⁾。本研究では、切り欠き先端半径が 0.02mm と小さいため図5にこれに相当する塑性変形域は認めにくくだけであり、切り欠きのあるポリカーボネートに継続的なひずみを加えたときの破壊の様相は定ひずみ速度試験の場合と本質的な差はないのかも知れない。

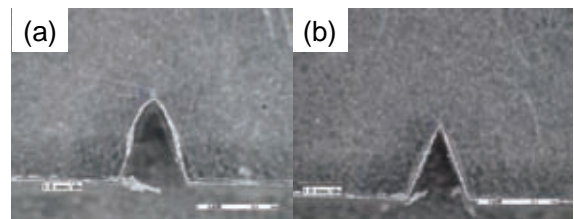
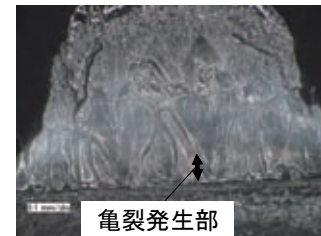
図5. ひずみ量 0.01 での応力緩和試験後の試験片の概観
(a) : 23°C, (b) 70°C

図6. ひずみ量 0.01 での応力緩和試験後の試験片の破面

4. まとめ

ポリカーボネートの切り欠き状構造に継続的なひずみが加わる状況は、脆性破壊の十分条件ではないことが分かった。また、高温での荷重負荷が破壊を促進することも確認できなかった。分子量の大小やエージングの有無による材料そのものの靱性の差を加味した検討が必要である。

(平成 22 年 7 月 2 日受付, 平成 22 年 8 月 20 日再受付)

文 献

- (1) 成沢郁夫. 高分子材料強度学. オーム社, 1982, 353p., ISBN978-4-274-11955-2
- (2) 西谷弘信, 百武秀: 「切欠きをもつ PC 平板の延性・脆性を支配する力学的因子」, 日本機械学会論文集 (A 集), Vol.49, No.445 pp.1071-1075 (1983)