

Application News

No. V29

高速度ビデオカメラ

衝撃圧縮試験における有孔樹脂材料の破壊観察およびひずみ分布の観察

製品設計を行う上で、材料の特性を把握することは重要です。そのため、引張試験や圧縮試験、曲げ試験など様々な試験規格が存在します。また、輸送機での使用の際には、衝撃的な負荷を受けることが考えられ、正確な材料特性を把握するためには、静的特性だけでなく衝撃特性も把握する必要があります。特に材料に衝撃的な負荷を与えると、静的な負荷を与えた場合と異なった応力・ひずみ特性を示すことがあるため、衝撃試験が求められています。衝撃試験の手法としては、ホプキンソン棒法が広く用いられています。また、材料の詳細なメカニズムの解明のためには、試験における破壊現象を観察することが重要になります。しかしながら、高速変形という試験法の特長上、従来の高速度カメラを用いても、試験時の材料破壊の観察や、画像計測を行うための画像の撮影は、撮影速度や解像度の面から困難でした。今回使用した高速度ビデオカメラ HPVTM-X2 は高速かつ高解像度の撮影が可能であり、多様な高速現象を観察することができます¹⁾。

本稿では、ホプキンソン棒法を使用した衝撃圧縮試験において、中央に円孔を有するアクリルブロックの破壊挙動を観察した例をご紹介します。また、試験片表面にランダムマークを施し、DIC 解析^{*1}により表面のひずみ分布を可視化しました。

***1 DIC 解析**

物体表面のランダムパターンを物体変形前後で比較し、パターンの移動量を調べる手法。今回、マーカーを使用してランダムパターンを書き込みました。

測定システム

高速ビデオカメラ HPV-X2 を用いて、アクリルブロックの破壊挙動を観察しました。撮影装置を表 1 に示します。図 1、図 2 に撮影の様子と試験部の様子を示します。照明には、レーザー照明 Cavilux (Cavitar 社製) を使用しました。Cavilux は、HPV-X2 のシャッター信号に応じて 20 ns までの短パルスを出力できるレーザー光で、高速度撮影には適した組み合わせといえます。試験片は中央に直径 2 mm の円孔を有するアクリル樹脂です。撮影条件を表 2 に示します。今回は円孔正面からの観察、円孔側面からの観察、DIC 解析用の観察を行いました。

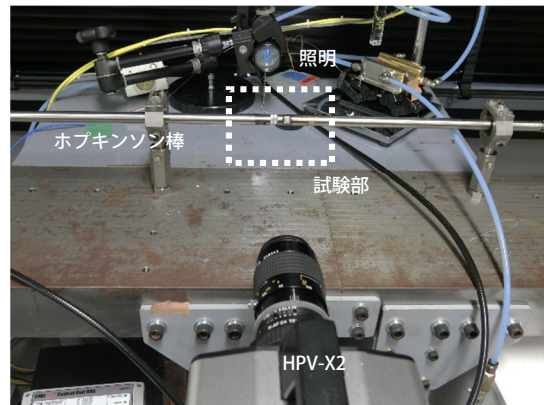


図 1 撮影の様子



図 2 試験部の様子

表 2 撮影条件

撮影 No.	試験片寸法	撮影速度	観察
1	10×10×10 mm (円孔 2 mm)	1 Mfps	正面
2	10×10×10 mm (円孔 2 mm)	1 Mfps	側面
3	10×10×10 mm (円孔 2 mm)	1 Mfps	正面 (DIC)

表 1 撮影装置

高速度ビデオカメラ	: HPV-X2
レンズ	: 105 mm マクロレンズ テレコンバータ
照明	: Cavilux
DIC ソフトウェア	: GOM Correlate

■測定結果

図3に円孔正面からの破断観察を示します。画像(1)から画像(6)にかけて、円孔中心の変形が確認されます。画像(8)では円孔の両端から亀裂が発生し、水平方向に進展していく様子が確認されます。画像(10)では円孔から斜めに進展する亀裂が確認され、画像(11)において水平方向の亀裂よりも先に最終的な破断に至っていることが確認できます。斜め方向の亀裂はせん断によるものと考え、最終的にこのアクリル樹脂は、円孔を起点にせん断破壊したと考えられます。

図4に円孔側面からの破壊観察の様子を示します。画像(1)から画像(6)にかけて、試験片が圧縮変形していき、画像(7)において円孔右側と左側の一部から亀裂が発生している様子が確認されます。画像(8)では亀裂が円孔全域に広がり、画像(9)、(10)と亀裂が進展しています。画像(11)では画像(7)~(10)とは別の亀裂が発生しており、画像(12)において最終的な破断に至っています。画像(7)~(10)の亀裂は図3における水平方向の亀裂、画像(11)~(12)の亀裂が図3における斜め方向の亀裂であると考えられます。

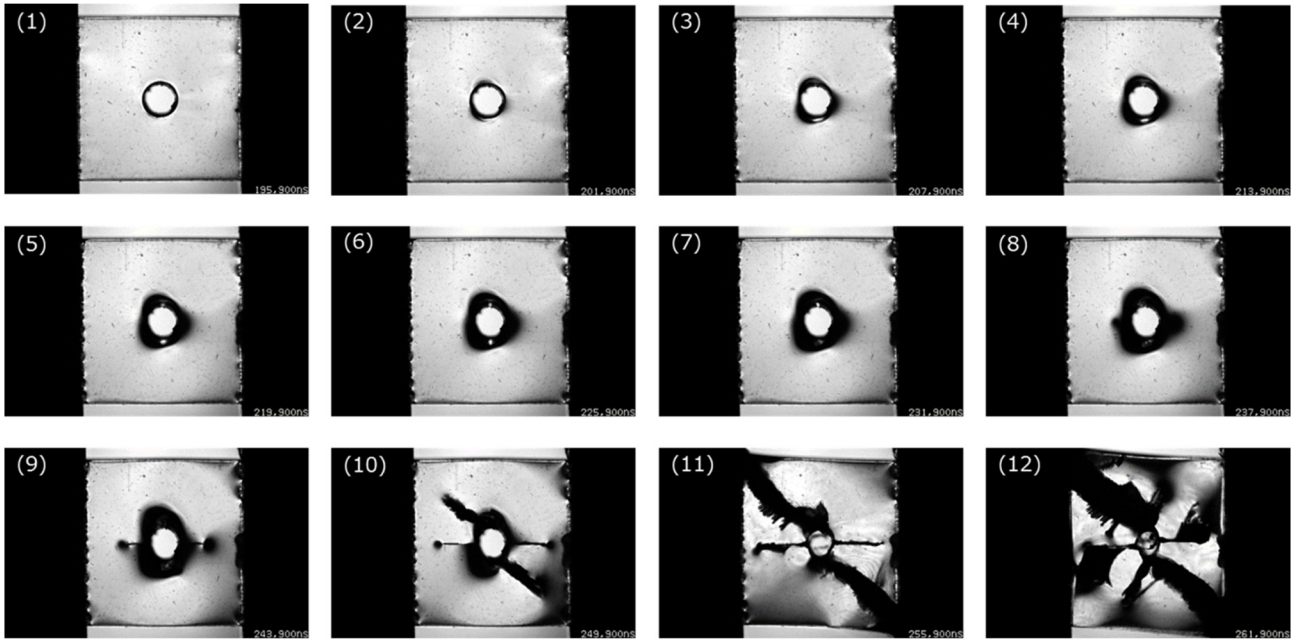


図3 正面の破壊観察 (画像間の時間間隔 $6 \mu\text{s}$)

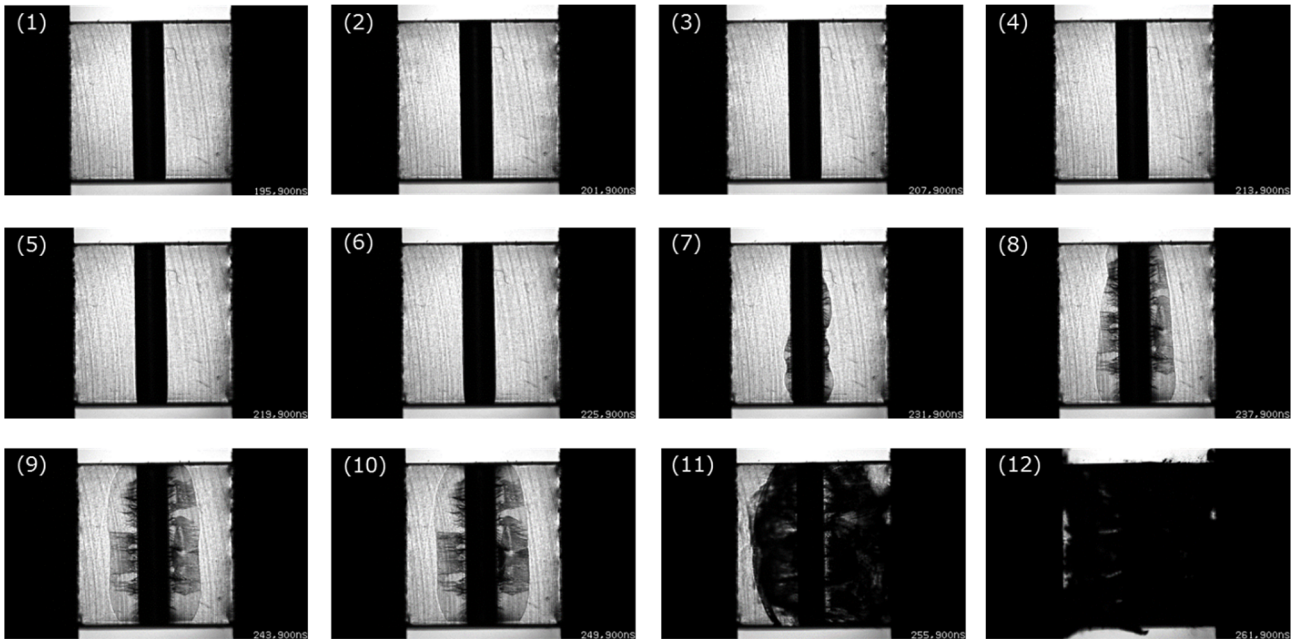


図4 側面の破壊観察 (画像間の時間間隔 $6 \mu\text{s}$)

図3の画像をもとに水平方向、斜め方向それぞれの亀裂長さを算出しました。試験開始からの時間と亀裂長さの関係を図5に示します。水平方向の亀裂は60 μ s程度までは一定速度で亀裂が進展していますが、60 μ s以降は亀裂進展が緩やかになっています。その後、64 μ sにて亀裂が瞬時に進展し、最終的な破断に至っています。一方、斜め方向の亀裂は50 μ sあたりで亀裂が発生し、ほぼ一定速度で亀裂が進展し、59 μ sにおいて破断に至っています。図5よりそれぞれの亀裂進展速度を計算すると水平方向は130 m/s、斜め方向は630 m/sと水平方向の約5倍の亀裂進展速度であることがわかりました。

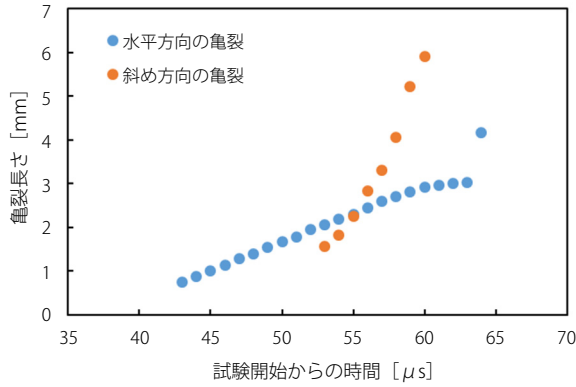


図5 試験開始からの時間と亀裂長さの関係

図6にDIC解析による試験中の圧縮方向のひずみ分布を示します。画像(1)から画像(3)は亀裂が発生する前のひずみ分布を示しています。図中の緑色は圧縮ひずみが小さく、青色は圧縮ひずみが大きいことを示し、試験が進行するにつれて、圧縮方向のひずみが増加していく様子が確認されます。一方、図7に、試験片が破断した後の圧縮方向のひずみ分布を示します。破断後、試験片は大きく左上の破片と右下の破片の2つに分かれており、画像(1)から画像(3)にかけて圧縮ひずみが減少していく様子が確認されました。

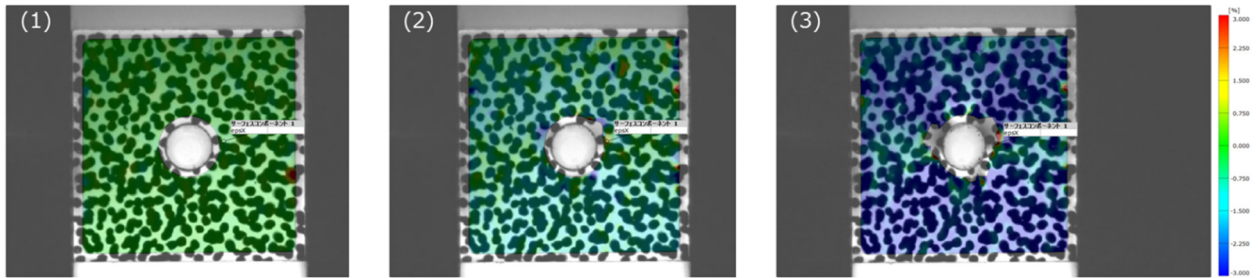


図6 試験中の圧縮方向のひずみ分布 (画像間の時間間隔は20 μ s)

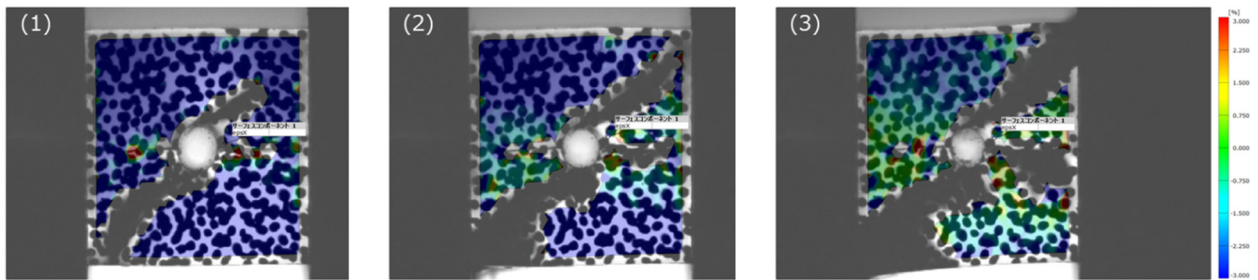


図7 破断後の圧縮方向のひずみ分布 (画像間の時間間隔は3 μ s)

■まとめ

高速度ビデオカメラ HPV-X2 を用いて、ホプキンソン棒法による圧縮試験における有孔アクリル樹脂の破壊観察およびひずみ分布の測定を実施しました。撮影された画像から円孔を起点に2種類の亀裂が発生し、最終的にはせん断により破壊したことがわかり、高速で進展する亀裂の様子を鮮明に撮影することができました。また、亀裂進展速度の算出やひずみ分布の可視化が可能であり、HPV-X2 はこれら解析を行ううえで十分な解像度を有しているといえます。

今回の撮影のような衝撃試験における破壊観察には、高撮影速度かつ高解像度の両方が必要であり、その両方を有する HPV-X2 は衝撃試験における破壊観察に適した高速度ビデオカメラといえます。

撮影協力：神戸大学 大学院工学研究科 機械工学専攻 材料物理講座

参考文献

- 1) 矢野文彬、徳岡信行、32nd International Congress on High-speed Imaging and Photonics 予稿集 (2018)

HPV は、株式会社 島津製作所の商標です。