

き裂を有する固体中の超音波伝搬の可視化に関する一検討

A Method for Visualization of Ultrasonic Propagation in Solids with Crack

○保坂 儒人*, 今野 和彦*

○Yoshito Hosaka*, Kazuhiko Imano*

*秋田大学 大学院工学資源学研究科

*Graduate School of Engineering and Resource Science, Akita University

キーワード：ストロボ光弾性法(Strobe Photoelastic Method), 可視化(Visualization)

超音波音場(Ultrasonic Sound Field), 差分画像(Subtraction Image)

連絡先：〒010-8502 秋田市手形学園町 1-1 秋田大学 大学院工学資源学研究科 電気電子工学専攻

今野和彦, Tel : 018-889-2490, Fax : 018-837-0406, E-mail : imanoken@ee.akita-u.ac.jp

1. はじめに

構造物の非破壊検査には固体を伝搬可能な超音波が利用されている。これは構造物内部に超音波を送波し、音響特性インピーダンスの不連続部分からの反射波を受波し、反射波の波形や周波数成分などから構造物が健全であるかを評価する手法であり、パルスエコー法と呼ばれている。しかし、固体中における超音波送波時の超音波の伝搬挙動は完全には明らかになっていない。特に、き裂やボイドなどが発生している部分では波の反射や回折などの現象が現れるため、非破壊検査の詳細な解釈や精度向上のためには超音波伝搬の可視化が必要である。

超音波伝搬の可視化を行う方法の一つに数値的な方法がある。これは想定するモデルを計算機上で設定し、有限要素法や有限差分時間領域法などにより応力や振動変位などに関する微分方程式の数値解を求め可視化をする方法

である。近年は解析を行うソルバが市販されており、自らソルバを作成することなく比較的容易に解析および可視化が可能である。しかし、この数値的手法ではモデル設定において、伝搬媒質内部の減衰定数などのパラメータを実験と完全に同一とすることは難しい。また、媒質内部や振動源-媒質境界の非線形性などを考慮して解析を行うことが不可能な場合がある。従って、このような手法で得られる可視化結果は実際のものとは異なる可能性が十分に考えられる。この方法とは異なり、実験的に可視化を行う方法があり、代表的なものにストロボ光弾性法がある。これは静的な内部応力解析に用いられる光弾性法¹⁾と同様にガラスなどの光を透過する物体において超音波送波時に生じる応力による複屈折を観測する方法である。光源にはストロボ光を使用し媒質への音波の送波のタイミングを合わせることで、超音波伝搬の時間推移を動的に観測可能である。実際に存在

する固体に超音波を送波し可視化を行うモデル実験であり、音波の伝搬挙動を正確に把握することができる。また、き裂やボイドなどの欠陥を作成し可視化を行うことで、欠陥部で発生する現象の観測も可能である。

本報告ではき裂が入ったガラスに MHz 領域の超音波を送波し、この伝搬挙動をストロボ光弾性法により観測した。

2. 実験方法

Fig.1 に可視化実験系を示す。発振器 (KEYSIGHT 33600A)から周波数 4 MHz のバー

スト正弦波、 6.25 V_{pp} の電圧信号を出力し、バイポーラ増幅器(NF HSA4101)で 20 倍に増幅して圧電振動子に入力する。トリガ信号は 100 Hz の信号を出力し、発振器の外部トリガ入力端子と遅延装置(菅原研究所 FG-310)に接続し、発振器とストロボ光源(菅原研究所 NP-1A)を繰り返し周期 10 ms で同期する。観測結果は CMOS カメラ(Artray ARTCAM-200CMV-USB3)で取得する。遅延装置の設定時間を変化させることで、バースト波が出力されてからストロボ光が発光するまでの遅延時間を変化させることができるため、超音波伝搬の時間的な推移を観測で

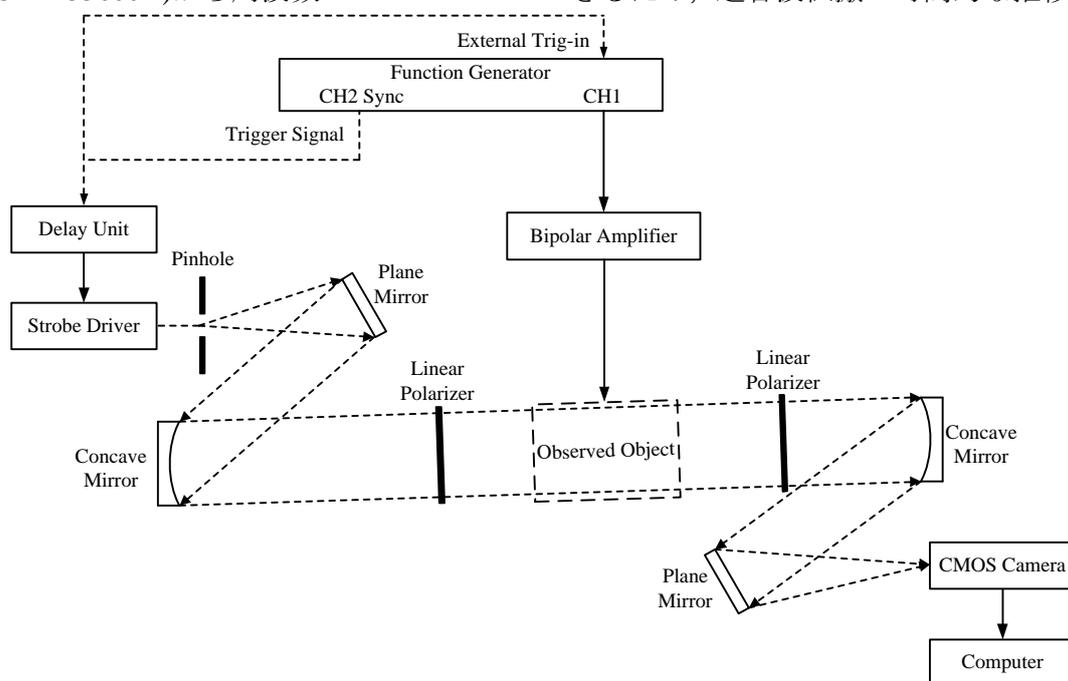
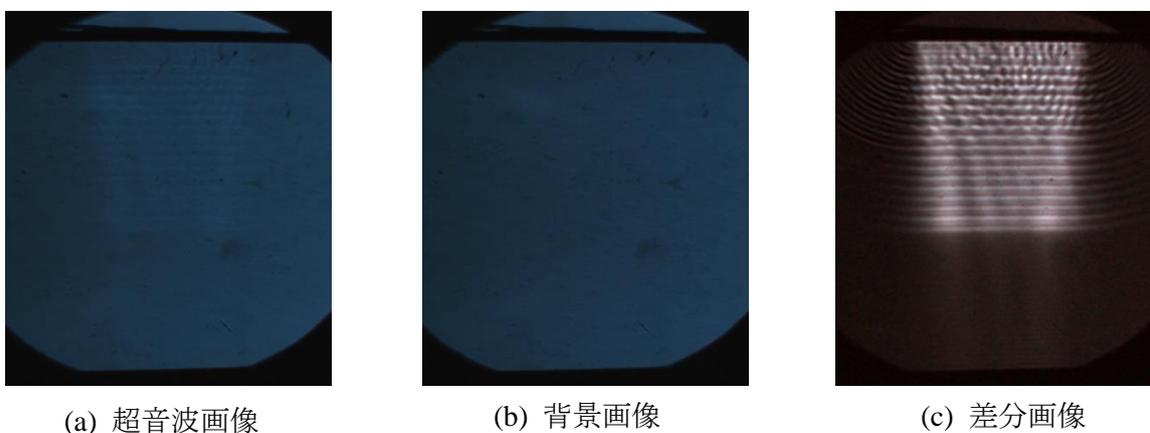


Fig.1 ストロボ光弾性実験系



(a) 超音波画像

(b) 背景画像

(c) 差分画像

Fig.2 観測によって得られる画像の例

きる。

CMOS カメラにより得られる超音波が伝搬している画像(超音波画像)は Fig.2(a)に示すように圧電振動子を比較的低い電圧で駆動しているためコントラストが低い。このため、超音波画像と、Fig.2(b)に示すように超音波を伝搬させずに背景のみを撮影した画像(背景画像)を複数枚撮影し、それぞれを加算してストロボ光源による輝度の揺らぎを低減させる。次に、超音波画像と背景画像の差分²⁾・正規化を行うことで Fig.2(c)に示すような超音波波面のコントラストが高い画像を取得することができる。

3. 結果と検討

Fig.3 に示すき裂の入ったガラスにおいて Fig.4(a)に静的な内部応力を鋭敏色法により観

測した結果を、Fig.4(b)および(c)に波数 30 で超音波伝搬を観測した結果を示す。また Fig.5 に波数を 1 として Fig.4 と同様に時間的推移を観

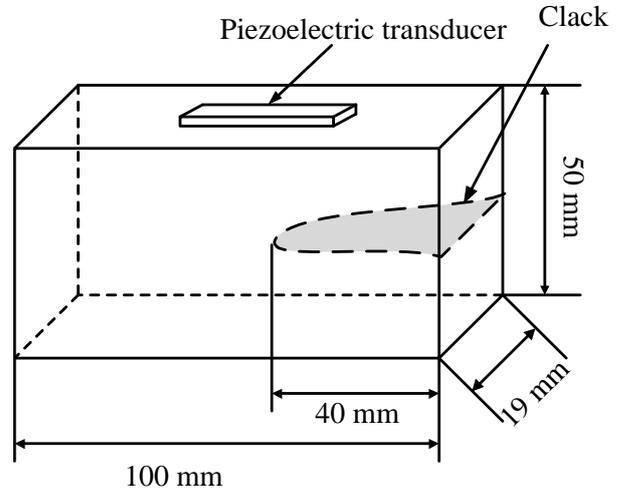
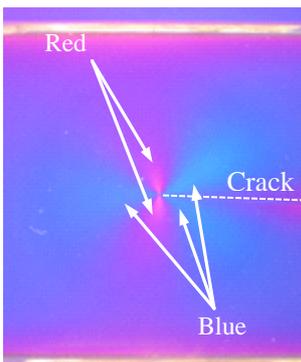
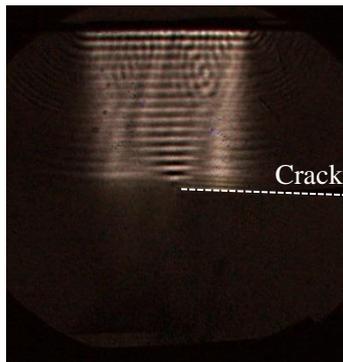


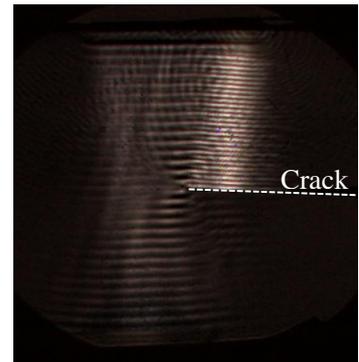
Fig.3 観測に使用したガラス



(a) Sensitive tint image

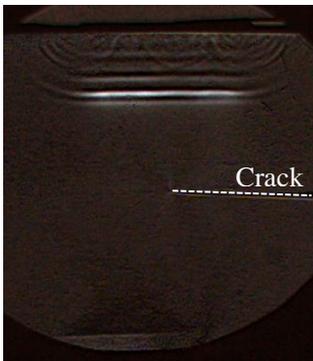


(b) $\Delta T=4.1 \mu\text{s}$

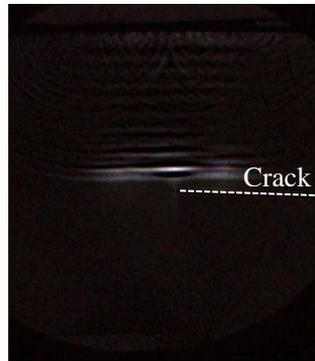


(c) $\Delta T=8.0 \mu\text{s}$

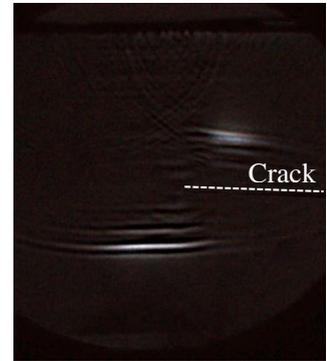
Fig.4 観測結果(波数 30)



(a) $\Delta T=2.0 \mu\text{s}$



(b) $\Delta T=4.0 \mu\text{s}$



(c) $\Delta T=6.0 \mu\text{s}$

Fig.5 観測結果(波数 1)

測した結果を示す。Fig.4(a)ではき裂先端部の応力が非常に大きくなり、上下左右で色が異なるので応力の方向が異なっていることが分かる。また、Fig.4 と Fig.5 共に遅延時間 ΔT の変化により超音波伝搬の時間推移を観測できていることが分かる。Fig.4(b)および(c)において、き裂先端の超音波の波面の位相が変化していることが分かる。これらを Fig.4(a)と対応付けると、静的な応力の方向が異なる部分でこの変化が発生しており、複屈折による通常光と異常光の位相差が上下左右方向で異なるためであると考えられる。また、Fig.5(a)と(c)を比較すると、き裂通過後は音圧の低い部分がき裂の応力の影響を大きく受け、波面の幅が変化していることが分かる。

4. おわりに

本報告では、き裂を有するガラス中に超音波を伝搬させ、時間的推移を観測した。この結果、き裂先端の静的な応力方向が異なる部分において、位相が異なる超音波の波面が観測された。また、低い音圧に対応する波面は特にき裂の応力による複屈折の影響を受けるということが分かった。

今後の課題としてき裂部分で発生する高調波の観測などが挙げられる。

《参考文献》

- 1) 梅崎栄作, 精密工学会誌, Vol.79, No.7, 607-608, (2013).
- 2) 大内啓之他, 電子情報通信学会技術研究報告, 104 (142), 9-12, (2004)