

残留応力場を伝播する超音波の可視化

Visual Ultrasonic Measurement on Residual stress model in Photoelasticity

福 井 毅 (工学部機械工学科)
Tsuyoshi FUKUI

1. はじめに

非破壊試験には放射線透過試験や超音波探傷試験などがあり、超音波探傷試験は現在探傷器や医療診断など音波パルスの反射を利用した実用的な機器も広く使用されている。ここで使われている音波については、一般に目に見えるものではないが、それを光弾性装置を使って目に見えるようにしたものである。また、材料中に存在する応力によって伝達速度が少し変化することが知られている（音弾性）ので、具体的に応力場中の音波の進行状況を詳細に調べることは新しい応力測定の手法となり得ると考えられる。

ここではこのような基礎的データを得るため、伝播の挙動についていくつかの実験を行った。

2. 実験装置

超音波は1つの物理現象であるから、適当な手段を用いることによって可視化が可能である。本研究では、超音波の観察装置として光弾性の観察装置と同じものを用いた。図1は透明な弾性個体内の応力状態を可視化する装置であり、超音波によって一時的に応力状態を呈した部分を、光の複屈折現象により可視化できる。また、光源に振動子とのシンクロ（同調）時間を遅延させられる機能を備えたフラッシュライトを使うことによって、超音波の可視化だけでなく、超音波の位置を変えてその動きをダイナミックにとらえることができる。

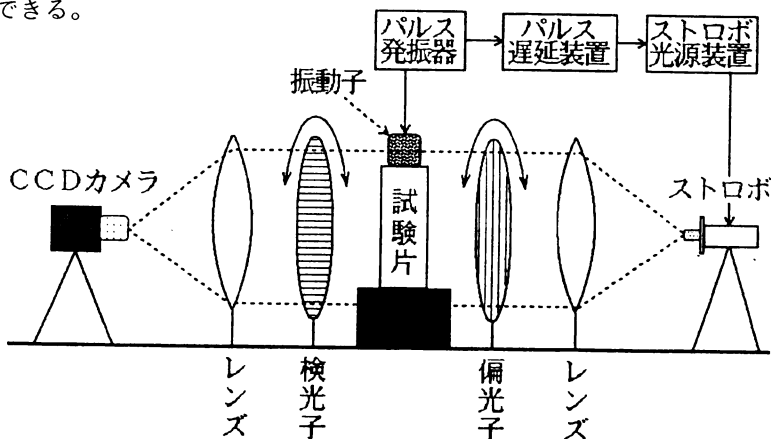


図1 超音波可視化装置の構成 (光学系)

* 平成10年5月原稿受理
大阪産業大学 工学部

なお、偏光板・検光板の角度は垂直方向から右へ45°回転させた位置とし、試験片には硼珪酸ガラス（パイレックスガラス）を使用した。これは、数ある透明な物質の中では最も音波の減衰が低く、厚みのある形成が可能であるためである。

3. 実験装置

3. 1. 無応力状態での超音波の伝播

大きさ120mm×120mm×厚さ20mmのガラス試験片中を伝わる超音波の画像を図2に示す。(a)の状態が、我々の同期パルス遅延装置で得られるもっとも遅延時間の少ない状態である。ここで遅延時間発生装置を働かせて、波をもう少し遅い時間のところで観察すると、(b)のように観測できる（以下、便宜上波を遅延させて観測することを、「波を進める」と呼ぶ。）さらに波を進めると、超音波は進行方向に向かって横方向に広がりながら伝播し、ガラス試験片の下端で反射して(c)のように上方へ反射する。またさらに進めると、ガラス上端部で再び反射して下の方へ移動していくところが観察された。(a)～(c)を比較すると、超音波伝播部の輝度はほとんど変わっておらず、伝播による音圧の減衰は少ないことがわかる。

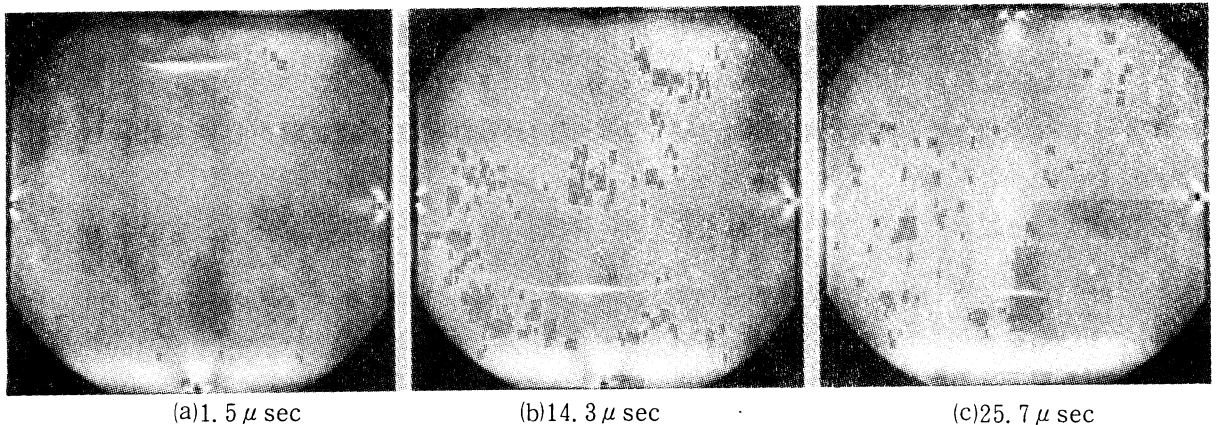


図2 無応力状態での超音波の伝播

3. 2. 残留応力のある試験片中の超音波の伝播

今度は、大きさは100mm×100mm×厚さ20mmだが、残留応力の多い試験片と少ない試験片とを用いて超音波位置を比較した（図3）。図3よりそれぞれの試験片内の音速は一定であり、また、反射後の音速も反射前の音速と同じ速度で常時一定であることも分かる。音速は残留応力の異なる試験片で少し違った値（高残留応力試験片で6057.5m/s、低残留応力試験片で5648.6m/s）を示したが、これは残留応力のためではなく、ガラスの材質の違いによるものと思われる。

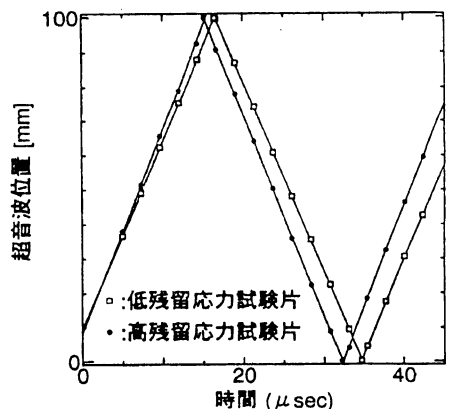


図3 内部応力による速度変化

3. 3. 円孔を持つ長方形板内の超音波の伝播

図4は、大きさ400×700mm×厚さ20mmのガラス中心部に6mm径の円孔がある試験片中を伝わる超音波の映像である。超音波がこの穴にさしかかると、(b)のように通過する波と穴によって反射する波とに分かれる。さらに進めると、直線的な通過波とは対称的な丸い円弧を描く反射波が形成される((c)および(d))。また反射波には2種類あり、その波の進行速度が違うことが(c)と(d)からもわかる。これは、反射の際モード変換により観測されている縦波以外にも横波が発生し、この2つの波が観測されたことを示す。ちなみにシングア라운드法による波の速度を計測した結果、このガラス中での超音波の速度は縦波で約5648.6m/s、横波では約3428.2m/sと観測されている。

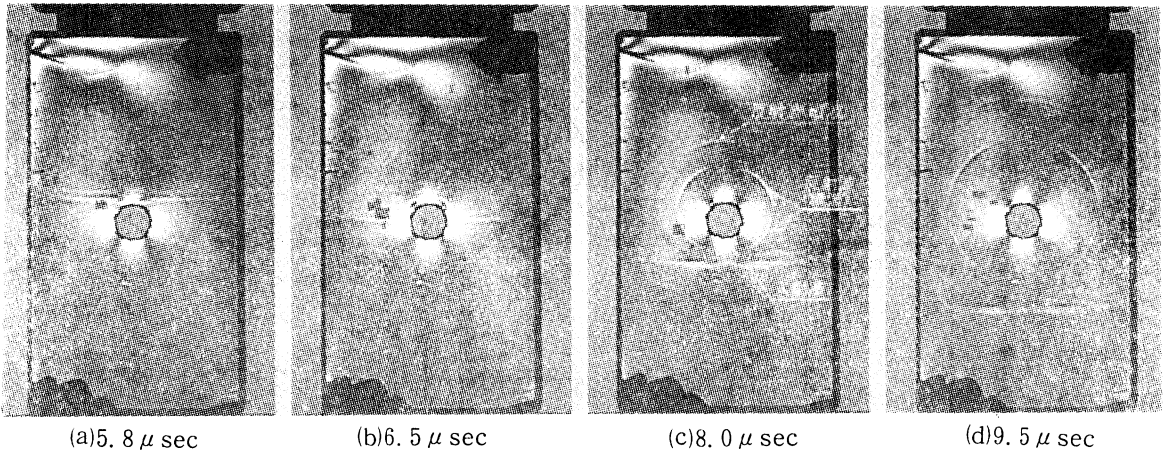


図4. 中央に円孔を持つ試験片内の超音波挙動

3. 4. 周辺に切欠きを持つ長方形板内での超音波の伝播

次に、大きさ120mm×120mm×厚さ20mmのガラス側面に幅3mm、深さ1~10mmの溝を持つ試験片の上側部から超音波を入射させたときの状態を図5(b)~(c)に示す。この切欠きの周辺部には(a)の光弾性の等色線写真のような残留応力が発生している。ただこの写真はできるだけ残留応力が多くなるように写したので、ガラス試験片の方はそれほど応力は多くない。

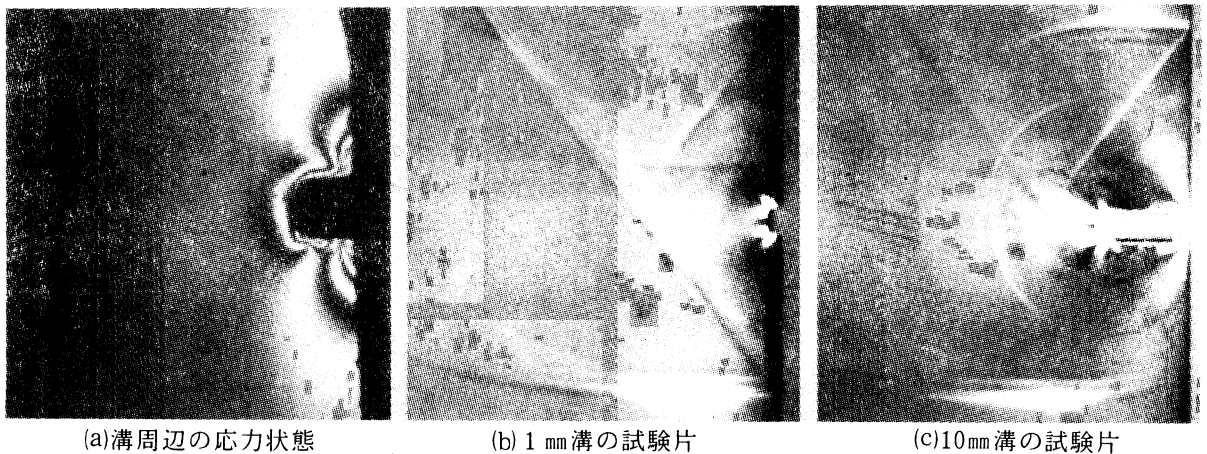


図5. 側方に切欠きを持つ試験片内の超音波挙動

(b)では、入射波の側壁との交点から斜め左方向に別の波が見えているのが見える（この波のことを「折り返し波」と呼ぶことにする）。この波は入射波が進むと同時に下方向へ平行移動するのが観察される。これより、折り返し波は入射波によって引き起こされると考えられる。

さらに波を進めると、入射波の一部は切欠き部で反射され、上の方へ戻ってゆく。一方、入射波は切欠きの深さ分だけ薄くなって通過するが、やがて回折現象によって欠けた部分が丸みを帯びた形に修復されるのが観察された。また、入射波が切欠き部を通過後、傷の底部付近を中心に円形に広がる波が観察された。この波は他の入射波・反射波とは異なった速度で広がっており、縦波とは種類の違う横波であると思われる。さらに観察によって、横波は溝底部の角の部分で発生することも観察できた。

これらの波の動きを示した図6(a)~(b)のグラフによると、溝通過後に発生する波は明らかに入射波と速さが違うことがわかる。また、溝の深さによって進行方向側の横波の出現する時間が違うことも分かる。

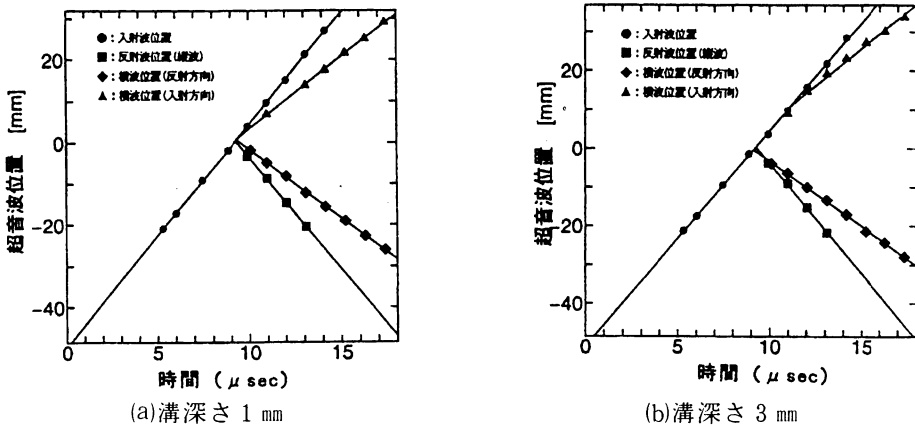


図6. 側方に切欠きを持つ試験片内での伝播挙動

3. 5. 振動周波数の違いによる超音波の挙動

今度は、大きさ120mm×120mm×厚さ20mmのガラス試験片に1、2、4、5 MHzのそれぞれ違う周波数を持つ振動子を使い、超音波を入射させた（図7）。これによると、振動周波数の違いによる超音波の音速の変化は観測されなかった。つまり、振動周波数によって材料内の超音波の音速は影響を受けないことがわかった。

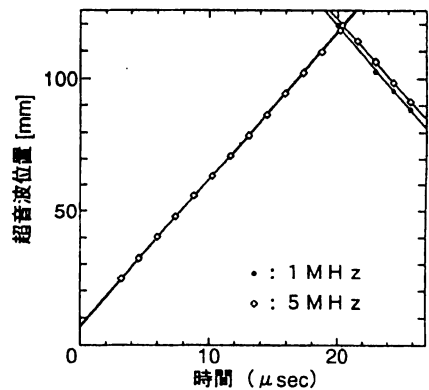


図7. 周波数による音速変化

4. 結 言

無応力状態の試験片中での音速は一定であり、反射後の音速も反射前と同一、一定となることがわかる。波の反射によって生じた横波は速度が遅いが、一定速度で進行する。長方形板に円孔がある場合には、反射は円孔の周囲に円状に現れ、長方形板に切欠きがあるときには切欠きを挟んで反対側に反射波が現れている。

参 考 文 献

- (1) 藤懸 洋一・川島 捷宏、超音波可視化技術とその画像処理、非破壊検査 第36巻 第5号、P321-325 (1987).
- (2) R.C.Wyatt, Visualization of pulsed ultrasound using stroboscopic photoelasticity, NON-DESTRUCTIVE TESTING, December 1972, P354-358.