

水晶の破壊とそれに伴う電磁波の観察

大阪大学〔院〕 ○小川拓哉 スペース・ダイナミックス研究所 小川欽也

大阪大学 小林秀敏 大阪大学 堀川敬太郎

Observation of fracture of quartz accompanied by electromagnetic waves

Takuya OGAWA and Kinya OGAWA and Hidetoshi KOBAYASHI and Keitaro HORIKAWA

1. 緒 言

岩石が変形・破壊するとき、電磁波が発生するという現象は古くから知られており、これを利用して地震発生の予知や地殻の調査などが試みられている。岩石の破壊や変形により発生する電磁的現象を解明するために、我々は自作のアンテナを用いて花崗岩や斑レイ岩などの圧縮試験や曲げ試験を行ってきた。電磁波が発生する原因は、岩石に含まれている圧電物質の石英の応力状態が、外力によって変化して、岩石内部に電位差が生じ電界が変化するためといわれている。それゆえ、圧電物質の力学的環境と、それによって発生する電磁波の関係が明らかになれば、その関係を利用して、圧電物質を含む構造部材の周囲で観測される電磁波から、部材内部の力学的環境を非接触でモニタリングできると考えられる。

本研究では、水晶の光学、機械、電気の3つの軸方向について、準静的及び衝撃圧縮試験で得られた圧壊強度と、破壊時に発生する電磁波の関係について実験的検討を行った。

2. 実験方法

試験片は Fig.1 に示す様な一辺 5mm の立方体であり、各面の法線は水晶の有する3つの軸、即ち、光学軸、機械軸、電気軸にそれぞれ平行である。圧縮試験はこれらの軸方向に実施した。水晶は脆性材料であり、僅かの応力集中により部分的な破壊を生じる恐れがあるため、試験片の対向する2面間の距離のばらつきが $10\mu\text{m}$ 以下となるようマイクロカッターにより加工した。

準静的圧縮試験には Fig.2 に示す圧縮用治具を取り付けたオートグラフ試験機を、衝撃圧縮試験には、Fig.3 に示すスプリットホプキンソン棒型試験装置を用いた。

Fig.4 に、衝撃圧縮試験で得られた応力波の一例を、Fig.5 に入射波と反射波の和($\sigma_i + \sigma_r$)と透過波(σ_t)から得られた試験片両端での応力の比較を示す。この図から、衝撃試験では、ノイズが少なく比較的精度良く応力波が測定されていること、衝撃圧縮変形中の試験片の両端にかかる応力は概ね釣り合っていることが分かる。なお、準静的及び衝撃圧縮試験におけるひずみ速度はそれぞれ $2.8 \times 10^{-4} (\text{s}^{-1})$ と $2 \times 10^2 (\text{s}^{-1})$ である。

電磁波の測定には、直径10mm、長さ180mmのフェライト棒に幅150mmに亘って直径0.4mmのエナメル被覆銅線を約200回巻きつけて自作した棒状アンテナを用いた。アンテナからの出力は、

作動増幅器を介して、デジタルオシロスコープで記録した。外部からのノイズを極力、遮断するために、厚さ4mmのアルミダイキャストボックスの内側に、パーマロイ薄板を取り付けたシールドボックスを製作し、その中にアンテナ及び試験片を設置した。また、試験装置へのノイズの影響を取り除くために、シールドボックス及び各試験装置をアース線で接続した。

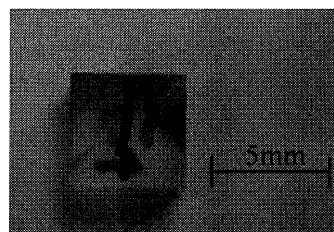


Fig.1 Quartz specimen

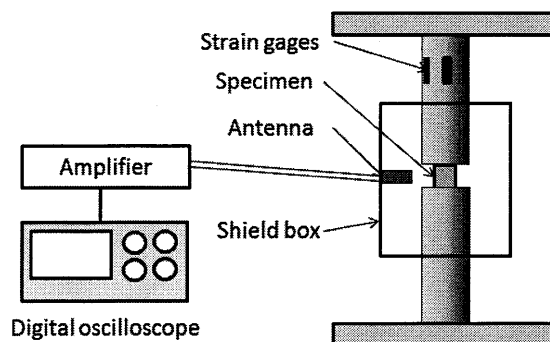


Fig.2 Schematic of apparatus for static test.

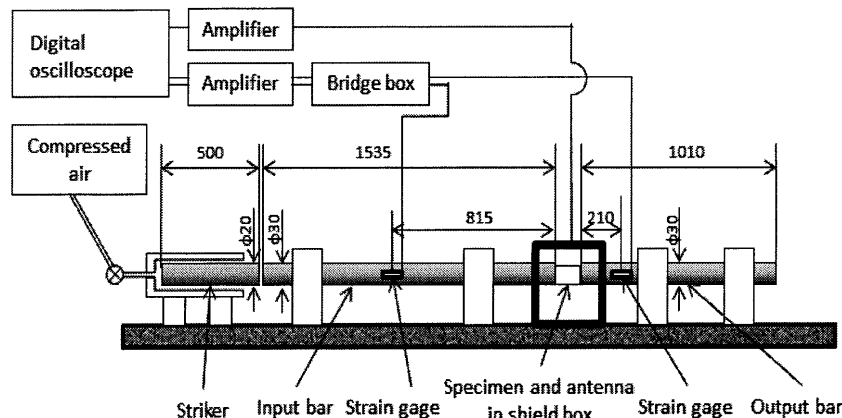


Fig.3 Schematic of split Hopkinson pressure bar apparatus for dynamic test.

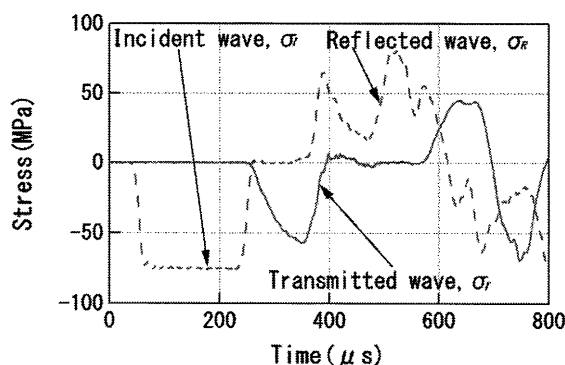


Fig.4 Stress waves in dynamic compression test.

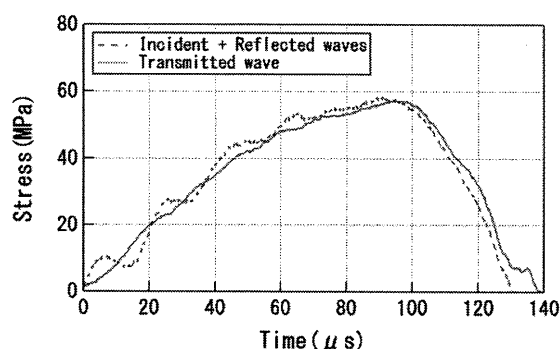


Fig.5 Stresses on both ends of specimen during dynamic compression test.

3. 実験結果および考察

Fig.6に準静的圧縮試験と衝撃圧縮試験から得られた最大圧縮応力の平均値（各軸の試験片数は4）を示す。3つの軸の最大圧縮応力はすべて、準静的圧縮試験で報告されている水晶の最大圧縮応力値1100MPaに比べて高かった。また、光学軸の強度が他の軸の強度に比べ若干低いが、いずれの結晶軸についても、衝撃圧縮試験での最大応力値は準静的試験で得られた結果に比べて、やや高いことから、水晶の強度のひずみ速度依存性が確認できる。

機械軸方向の準静的圧縮試験において、大きな応力低下と共に電磁波が観測された様子をFig.7に示す。この顕著な応力低下が生じた際に、パチンという大きな音がしたことから、水晶内を伝播するき裂が電磁波の発生に深く関与していると考えられる。

Fig.8に電気軸方向へ衝撃圧縮したときの応力とその時に計測された電磁波を示す。水晶に荷重がかかり始めてからと、破壊しはじめてから大きく電磁波が出ていることがわかる。機械軸・光学軸の両軸に関して行った衝撃圧縮試験においても、電磁波が電気軸方向の場合と同様のタイミングで観測されたが、光学軸方向への圧縮試験で観測された電磁波の大きさは他の軸と比べて非常に小さかった。

結 言

1) 準静的圧縮試験の結果、試験片はき裂が入りながら圧壊に至った。試験片にき裂が生じた時に、電磁波の発生が観測された。

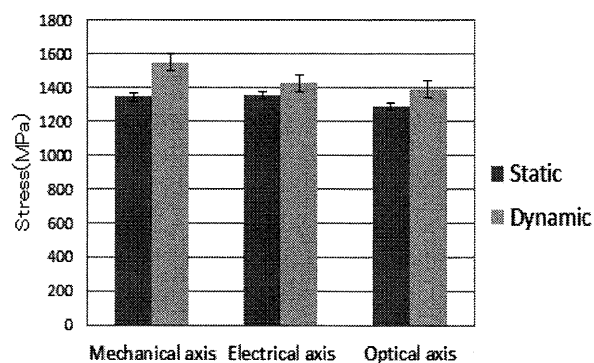


Fig.6 Strengths in each axis of quartz obtained from static and dynamic compression tests.

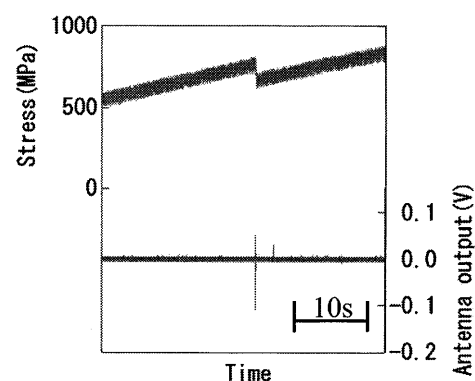


Fig.7 Compressive stress and output of antenna observed in static compression test.

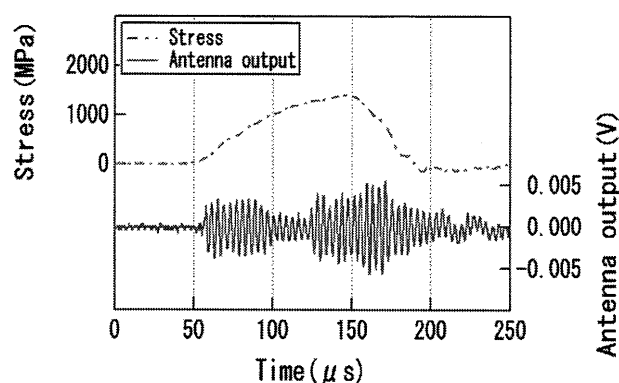


Fig.8 Compressive stress and output of antenna observed in dynamic compression test for electrical axis.

2) 衝撃試験の結果、光学軸方向は圧壊時に微小な電磁波が観測され、機械軸と電気軸の方向は、荷重負荷開始時から破壊後まで大きな電磁波が観測された。

3) 機械軸・電気軸・光学軸のどの軸の場合にも、最高応力値の正のひずみ速度依存性が見られた。また、準静的試験、衝撃試験のどちらにおいても、光学軸方向に圧縮した時の最高応力値は、他の軸の時のそれらよりも低い。

参考文献

- 1) Momentive website
<http://www.momentive.com/Products/Main.aspx?id=20347>