

繰返し電界による PZT セラミックスのき裂進展挙動

知能材料学研究室

吉川朋宏

1. 諸言

PZT(チタン酸ジルコン酸鉛)は圧電効果と逆圧電効果の両特性を持つためアクチュエータやセンサーなどに使用されている。しかし脆性材料であるため強度信頼性が低い。PZT に繰返し電圧を負荷することで材料中のき裂が進展することが知られているが、き裂進展のメカニズムやその定量的評価法などは十分に確立されているとは言えない。本研究では 2 次元の貫通切欠きを有する PZT に繰返し電圧を負荷し、切欠き底に発生したき裂の進展挙動を定量的に評価することを試みた。

2. 実験方法

本実験には板厚方向に分極された市販の PZT 分極材(5×5×1mm)を使用した。この試験片の板厚方向中心に沿って、溝状の切欠きを導入した。シリコンオイルを満たした水槽内で正弦波状の交流電圧を試験片に印加し、適当な時間ごとにき裂長さ c を測定した。

実験で使用した試験片に電圧を印加した場合の予想されるき裂変形様式はモード I である。切欠き底に分極方向に垂直なき裂を仮定し、切欠き長さ t とき裂長さ c を変化させて有限要素法(FEM)による圧電解析を行い、応力拡大係数 K_I を評価した。解析には汎用 FEM ソフトウェア ANSYS を用いた。

3. 実験結果および考察

試験片に電圧を印加すると切欠き底にき裂が発生し、その後進展を開始する。図 1 にき裂長さ c と電圧負荷繰返し数の関係を示す。いずれの条件でも繰返し数の増加に伴いき裂長さが増加することが確認できた。±800V の条件では他の条件に比べて著しいき裂進展が生じた。これは負荷電圧が本材料の抗電界を越え、分極反転が生じたためであると考えられる。また±800V では、切欠き底でき裂が発生すると急激に進展が開始する。この挙動は周波数によらずほぼ同様であった。

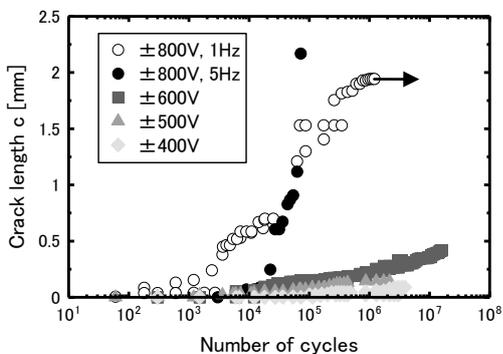


図 1 き裂長さと繰返し数の関係

進展開始後、繰返し数の増加に伴いき裂長さの増加割合は減少する。図 2 に電圧幅が±400V, ±500V, ±600V の条件

におけるき裂進展速度 dc/dt と c の関係を示す。 dc/dt を対数プロットすると、き裂長さに対しほぼ直線的に低下し、最終的にき裂は停留する。また電圧幅が大きくなるほどき裂進展速度および停留する時のき裂長さ、すなわち進展量が大きくなるのが分かる。

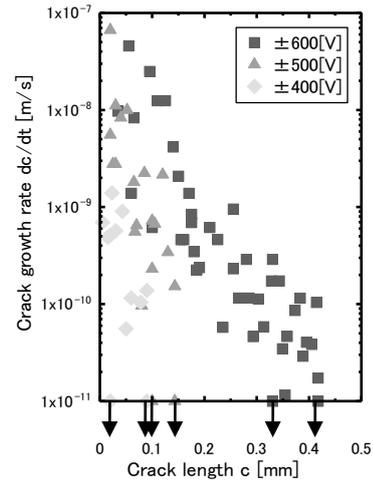


図 2 き裂進展速度における電圧幅の影響

FEM によって得られた応力分布から、外挿法により求めたき裂先端における K_I を図 3 に示す。 K_I の値は本材料の破壊じん性値 $0.8\text{MPam}^{1/2}$ に比べてかなり低い値であるが、傾向として切欠き長さ、あるいはき裂長さに依存せずほぼ一定の値である。しかしながら図 2 に示すようにき裂の進展と共にその進展速度が急激に減少するのは、破面の架橋効果によるものだと考えられる。

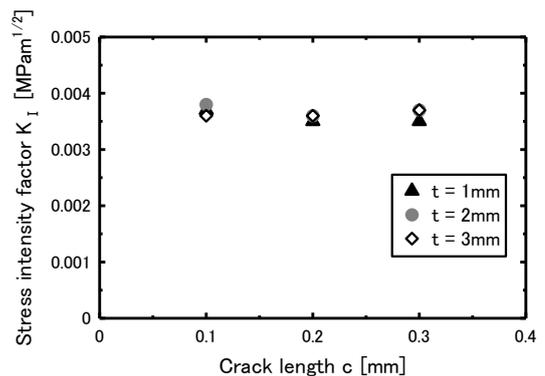


図 3 電界 400V/mm 下におけるき裂長さの K_I への影響

4. 結言

き裂は繰返し電圧負荷によって発生し、ある程度進展するが繰返し数の増加に伴い増加率が低下し、電圧幅が小さい場合停留する。また FEM 解析より、切欠き長さとき裂長さはき裂先端における応力拡大係数 K_I にほとんど影響しないことが分かった。