

BNT-BT-ST 系非鉛圧電セラミックスの遅れ破壊に及ぼす繰返し荷重の影響

Effect of cyclic loading on the delayed fracture of BNT-BT-ST lead free piezoelectric ceramics

知能機械工学コース

材料強度学研究室 1235085 新屋 文隆

1. 緒言

圧電セラミックスは、電気・機械エネルギーを可逆変換できる特性を有し、センサやスピーカーなど広く使用される。一般的な圧電材料には、その優れた圧電性から PZT(チタン酸ジルコン酸鉛)が使用されている。しかし、近年では、RoHS 指令による鉛の使用制限を背景に、圧電材料の無鉛化の研究が行われている。非鉛圧電材料を使用する上では、圧電特性のみならず強度特性の把握も重要となる。

セラミックスの長期使用において重要となる疲労挙動には、遅れ破壊や繰返し疲労の存在が知られているが、非鉛における研究報告は多くない。そこで本研究では、楠本⁽¹⁾が示した圧電性に優れた BNT-BT-ST 系非鉛圧電セラミックスを製作し、遅れ破壊に及ぼす繰返し荷重の影響の調査した。

2. 実験方法

2.1 材料

実験で使用する BNT-BT-ST 系セラミックスの組成式 $[85(\text{Bi}_{0.5}\text{Na}_{0.5})\text{TiO}_3-12\text{BaTiO}_3-3\text{SrTiO}_3]$ に基づき原料粉末を化学量論的に計量した。遊星ボールミルにより湿式混合粉碎後、電気炉にて仮焼き(900°C, 3hr)を行った。仮焼き後 10 wt% のバインダー(PVA)を添加し、一軸加圧成形(90MPa, 60s)を行い、25×40 mm の矩形板型と直径 12 mm の円板型に成形した。成形後、電気炉で焼成(1180°C, 6hr)を行った。焼成後、矩形板型は 5×20×1 mm に加工後、片面を鏡面研磨、面取りを行い曲げ試験片とした。円板型は、圧電性および電気的特性測定のため両面を鏡面研磨、厚さ 1 mm に加工後、銀極を焼き付け、分極処理を行った。分極は、高圧電源を使用し、2kV/mm の電界を 90°C のシリコンオイル中で 30 分間印加した後、12 時間のエイジングを行った。

2.2 三点曲げ試験

電磁力サーボ試験機(容量 100N)を用いて静的強度を測定した。試験条件をクロスヘッド送り速度 0.5 mm/min, 支点間距離 16 mm とした。

2.3 静的疲労試験

図 1 に示す自作の三点曲げ試験機を用いた。実験室環境下(14°C, 20%~28°C, 70%)において静荷重を負荷した。荷重負荷後の打ち切り時間を 48 時間とした。

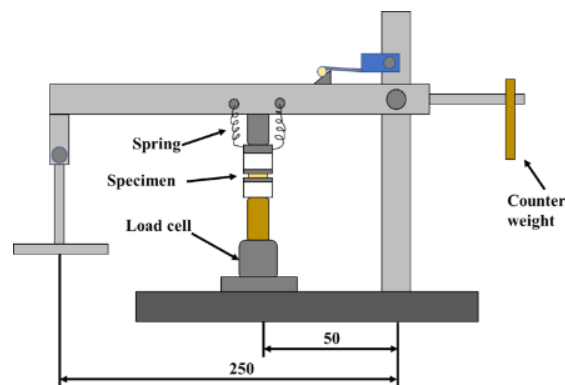


Fig. 1 Static fatigue testing equipment

2.4 繰返し疲労試験

実験室環境下で、繰返し荷重による疲労試験を行った。試験片および試験機は、三点曲げ試験と同様のものを用いた。試験条件は、支点間距離 16 mm, 応力比 0.1, 周波数 20 Hz とした。また、応力波形(三角波, 矩形波)で、試験を行い、荷重負荷後の打ち切り繰返し数を 10^7 回とした。

3. 実験結果および考察

3.1 分極材の特性

表は、圧電定数と比誘電率の測定結果および公表されている同材料の参考値⁽¹⁾を示す。両者ともに近い値を得られた。

Table1 Piezoelectric and electric properties

	d_{33} [pC/N]	$\epsilon_{33}^T/\epsilon_0$
Measured value	132	782
Reference value	128	840

3.2 静的強度

試験片 21 本分の平均曲げ強さは 138 MPa となった。セラミックスは脆性材料であり、強度にばらつきが生じやすい。そこで、曲げ試験の結果をワイブル統計により整理した。図 2 に示したワイブルプロットより形状母数 14.8 が得られた。一般的なセラミックスの形状母数は 10~20 程度であり、ばらつきの範囲内であることが確認された。

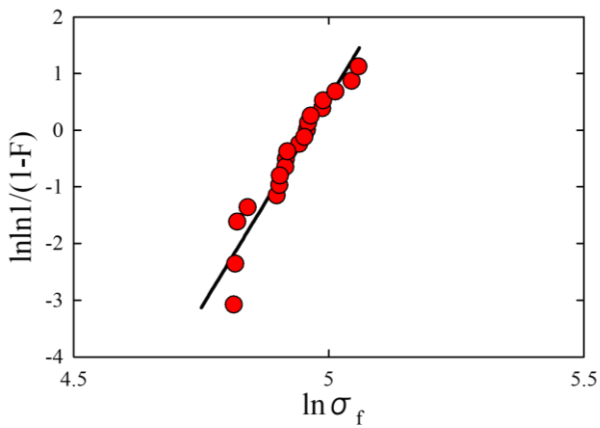


Fig. 2 Weibull plot of fracture stress

3. 3 静的疲労試験

実験室環境下における静的疲労試験の結果を図3に示す。縦軸は曲げ応力、横軸は静荷重による負荷時間を対数軸で表している。図中の矢印は、未破断のデータである。曲げ応力90~110 MPaの範囲において遅れ破壊が生じた。曲げ応力は110 MPaの場合1本を除き10⁵ s以内で破壊が生じた。曲げ応力が小さくなるとばらつきあるものの疲労寿命が増加する傾向が見られた。遅れ破壊が生じた曲げ応力は、静的強度の65%程度となった。打ち切り時間に対する強度は85 MPaが得られた。

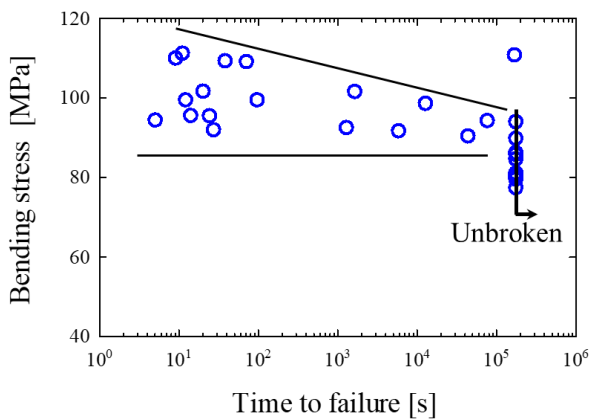


Fig. 3 Relationship between bending stress and time to failure under static fatigue

3. 4 繰返し疲労試験

繰返し荷重による疲労試験より得られた S-N 曲線を図4に示す。縦軸は最大曲げ応力、横軸は破断までの繰返し数を対数軸で表している。図中の矢印は、未破断のデータである。矩形波において100 MPa以上、三角波において80~100 MPaの範囲で遅れ破壊が生じた。これより、三角波は矩形波に比べ、平均17 MPa低い曲げ応力で破断が生じた。応力波形より最大応力の負荷時間に違いが生じる。すなわち、最大応力が負荷される時間は矩形波の場合が1サイクル中に1/2の時間であるのに対し、三角波では、極めて短い時間となる。このため、矩形波による場合の強度の低下が予想されたが、逆の結果が得られた。

セラミックスの静疲労は、環境(湿度)の影響により生じる応力腐食割れによるとされている。今回の実験では、波形によ

る疲労の影響に比べ、環境的要因が支配的となり、このような結果が得られたと考える。

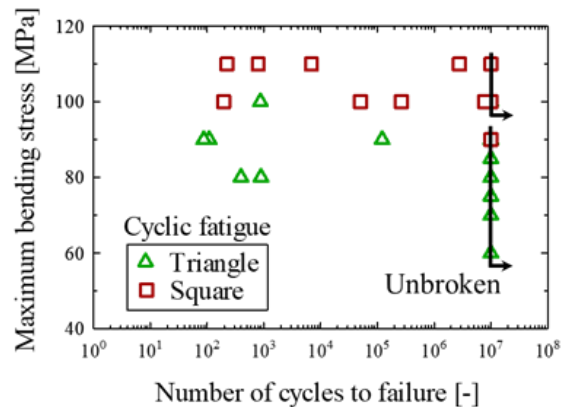


Fig. 4 S-N curves

遅れ破壊に対し、繰返し荷重の効果を検証するため、矩形波の結果を時間で整理し、静疲労と比較したものを図5に示す。縦軸は曲げ応力、横軸は負荷時間を対数軸で表している。図中の矢印は、未破断のデータである。図より、100 MPa以上に着目し、矩形波と静疲労での疲労寿命に有意な差は見られなかった。90 MPaでは静疲労で破断が生じたが、矩形波では3本未破断となっており、破断、非破断の限界については更なる調査が必要である。

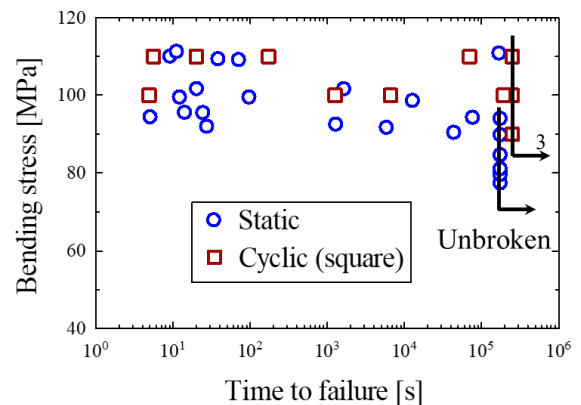


Fig. 5 Comparison of static fatigue and dynamic fatigue

4. 結言

BNT-BT-ST系非鉛圧電セラミックスの実験室環境下における疲労特性を調査した結果、以上の結論を得た。

- (1) 作製した材料の曲げ強さは138 MPaであった。
- (2) 静的強度の65%程度の曲げ応力で遅れ破壊が生じた。
- (3) 繰返しの影響に比べ、荷重の負荷時間に依存した破壊の傾向が得られた。

5. 参考文献

- (1) 楠本 慶二 85(Bi_{0.5}Na_{0.5})TiO₃-12BaTiO₃-3SrTiO₃系無鉛圧電セラミックスの圧電特性 独立行政法人産業技術総合研究所(2005)