

電場に応答する可変弾性エラストマの基礎特性解析

慶応義塾大学 ○石田 磨仁, ◎柿沼康弘

要旨

機能性エラストマのひとつである電気粘着ゲルは、表面の粘着特性が電場印加により変化する特徴をもつ。これに加え、電気粘性流体で見られた粒子鎖形成によりエラストマの弾性が変化すると考えられる。そこで本研究では粒子鎖を内部に形成したエラストマにおける電場に対する弾性変化を調べた。実験により電場を 2.0 kV/mm 印加した場合において、粒子鎖に対して平行方向の弾性率が 46.6% 増加することを確認した。

1. 緒論

電気粘性流体 (Electro-Rheological fluids ; ER 流体) は電場印加により内部の ER 粒子が誘電分極を起こし、粒子鎖を形成する。この粒子鎖は溶媒の流れに対して抵抗力を発生させ、流体の粘性を変化させる特性をもつ。しかし、ER 流体は粒子沈殿により、粒子鎖形成が行われないことによる性能低下や液体を保持するためのシール構造が機構の大型化を招くという欠点がある。そこで ER 流体をゲル化した電気粘着ゲル (Electro-Adhesive Gel ; EAG) が開発された。EAG は電場印加によって表面の粘着特性が瞬間的かつ可逆的に変化する特性をもつ¹⁾。従って、EAG は表面特性に目が向けられ、エラストマ内部の粒子配置が材料特性に与える影響は考えられていない。そこで本研究では、ER 流体の粒子鎖形成を応用し、電場印加により弾性変化が期待できる新しい機能性エラストマを提案する。また、その機能性エラストマの基礎特性を実験的に評価した。

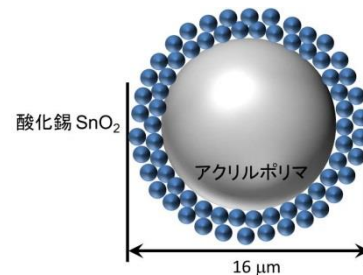
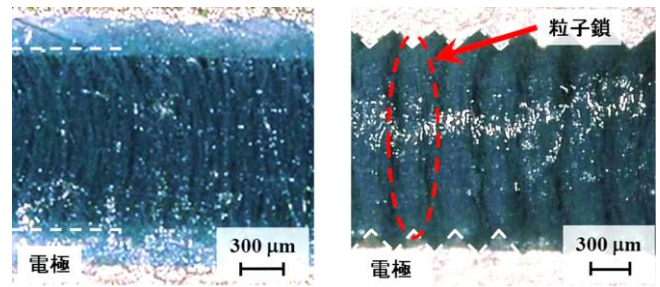


図1 ER粒子の構造



(a)電極1 (b)電極2

図2 エラストマ内の粒子鎖形成

2. 可変弾性エラストマの概要

提案する機能性エラストマを可変弾性エラストマと定義する。本研究では、液状のポリマーに平均粒子径 $16 \mu\text{m}$ の複合微粒子型 ER 粒子(図1)を分散させ、 1.0 kV/mm の電場印加によりエラストマ内部に架橋させた。このとき、 $100 \text{ }^\circ\text{C}$ で加熱することで架橋状態を維持したままエラストマを硬化させた。使用する電極には平行平板電極(電極1)と、表面に溝幅 $300 \mu\text{m}$ の微細溝加工を施した電極(電極2)を準備した。微細溝を施すことによって、電極間の電場に強弱をつけ粒子鎖の配置を溝に沿って制御できると考えられる。これより粒子鎖配置を制御した可変弾性エラストマを作製した。

架橋後の可変弾性エラストマ内部の粒子鎖形成の様子を図2に示す。電極1を用いたときは細い粒子鎖が不規則な配置で形成された。一方で、電極2では電極の凸部分に粒子鎖が集中した規則的な配置になり、複数の粒子鎖が絡み合った太いカラムを形成した。

3. 垂直方向定荷重試験による弾性変化の評価

試験装置の概要を図3に示す。粒子含有率 $30 \text{ wt}\%$ の可変弾性エラストマを基板に設置し、上部電極を電極面に対して垂直方向に押し込んだときの応力とひずみを測定した。押し込み力測定にはフォースゲージを、押し込み変位測定には渦電流変位計を用

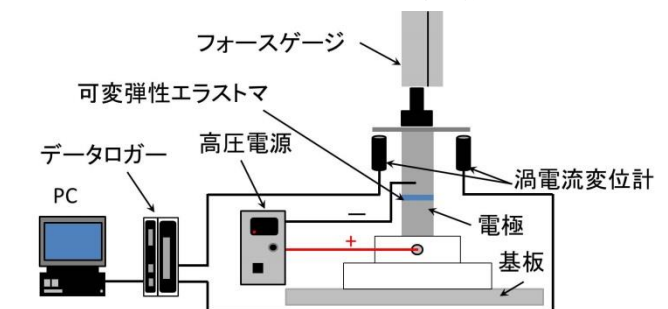


図3 垂直方向定荷重試験装置

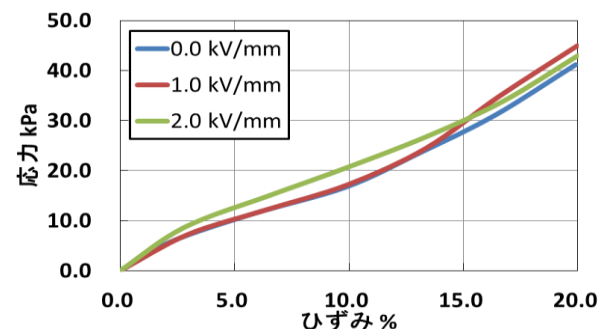


図4 応力ひずみ線図(電極1)

いた。また、弾性率は応力とひずみの関係により算出し、電極間に 0.0 kV/mm, 1.0 kV/mm, 2.0 kV/mm の電場を発生させそのときの弾性変化を評価した。電極 1 の結果を図 4 に示す。電場印加による弾性率の変化は、あまり見られなかった。次に、電極 2 の結果を図 5 に示す。印加電場の増加に伴い弾性率が増加した。電場強度 2.0 kV/mm の電場印加によって無電場時と比較して弾性率が 46.6% 増加した。これは粒子鎖配置の制御により可変弾性エラストマ内で生じた粒子分布の差が原因と考えられる。電場印加により粒子間力が電場の 2 乗に比例し強固になることで弾性を向上させると考えられる。

4. 垂直方向動荷重試験による弾性変化評価

図 3 に示す定荷重試験装置の基板を動力計(KISTLER 社 9256C1)に接続した。また、荷重部分に加振器を接続し 1 Hz の正弦波を入力した。押し込み変位は渦電流変位計を、押し込み力は動力計を用いて測定した。動荷重では複素弾性率 G として(1)式に表される。ヒステリシスループの概要図を図 6 に示す。

$$G = \frac{\tau_2}{\gamma_1} + i \frac{\tau_0}{\gamma_1} = G_1 + iG_2 \quad (1)$$

最大ひずみ γ_1 における応力 τ_2 よりエラストマの弾性成分を示す貯蔵弾性率 G_1 が求まる。また、ひずみが 0% での応力 τ_0 よりエラストマの粘性成分を示す損失弾性率 G_2 が求まる。また、損失弾性率を貯蔵弾性率で割ることで損失正接が求まる。これはエラストマが自身の変形エネルギーを熱として吸収する度合いを示している。加振試験によって導出した、各電場による応力ひずみ線図を図 7 に示す。これより算出した各評価指標を表 1 に示す。2.0 kV/mm の電場印加により無電場時と比較して貯蔵弾性率、損失弾性率はそれぞれ 15.0%, 31.6% の増加が見られた。これより可変弾性エラストマは電場印加により弾性成分に加え、粘性成分も高まることがわかった。損失正接は 2.0 kV/mm の電場印加で大きく増加し、可変弾性エラストマが振動を吸収し、エネルギーを熱に変換することが示された。

5. 結論

- (1) ER 粒子の粒子鎖配置を制御した可変弾性エラストマを開発した。
- (2) 開発したエラストマは 2.0 kV/mm の印加電場で弾性率が 46.6% 増加した。
- (3) 印加電場が強くなるに伴い、貯蔵弾性率 G_1 、損失弾性率 G_2 はともに増加した。

参考文献

- 1) Y. Kakinuma, T. Aoyama, H. Anzai, K. Isobe, K. Tanaka: "Basic Properties of Gel-structured Electro-rheological Fluids", International Journal of Modern Physics B, Vol.19, No.7-9, (2005), pp.1339-1345.

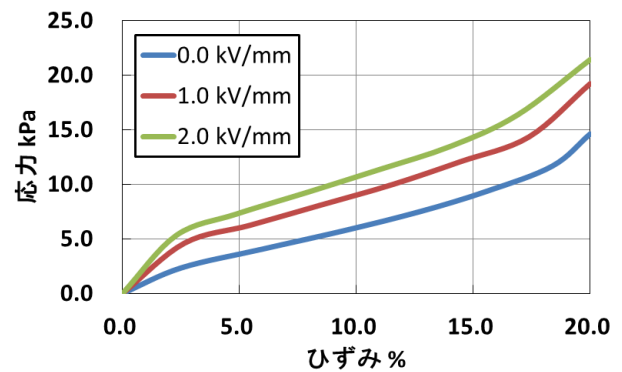


図 5 応力ひずみ線図(電極 2)

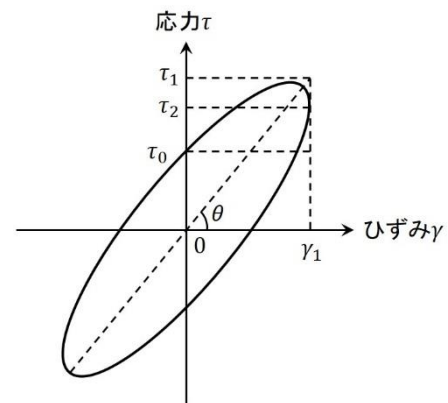


図 6 応力ひずみヒステリシスループ概要図

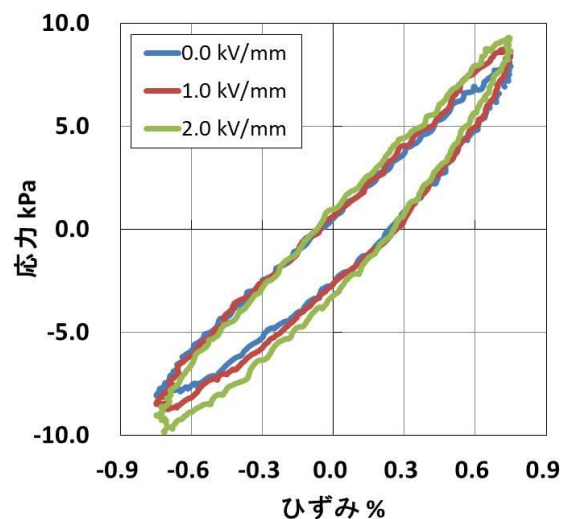


図 7 応力ひずみヒステリシスループ

表 1 動荷重試験結果

| 印加電場 kV/mm | 0.0 | 1.0 | 2.0 |
|-----------------|-------|-------|-------|
| 貯蔵弾性率 G_1 kPa | 1.06 | 1.13 | 1.22 |
| 複素弾性率 G_2 kPa | 0.212 | 0.222 | 0.279 |
| 損失正接 | 0.198 | 0.196 | 0.230 |