

K6-20

磁性流体のメモリー効果と乾燥破壊制御

Memory effect of magnetic fluid and its application to control desiccation crack patterns

○内田恭輔¹, 柴崎純², 中山寛士³, 松尾洋介⁴, 出井裕⁵, 狐崎創⁶, 大信田丈志⁷, 中原明生⁸

*Kyôsuke Uchida¹, Jun Shibasaki², Hiroshi Nakayama³, Yousuke, Matsuo⁴, Hiroshi Izui⁵, So Kitsunezaki⁶, Ooshida Takeshi⁷, Akio Nakahara⁸

近年、ペーストの乾燥破壊時に発生する亀裂を制御する研究はサイエンスとしての面白さから工学的な応用を含めて広く注目されている。ペーストを加振しないでその状態のまま乾燥させると、干上がった沼地のような等方的なセル状の亀裂パターンが発生するのだが、事前にペーストを水平に加振すると、ペーストは加振した方向を記憶し、その後静止させて乾燥した時に発生する亀裂のパターンは、初期に揺すった方向に依存した縞状パターンとなる^[1]。フランスのグループの研究によると、揺れや流れだけでなく、ペーストが乾燥しきるまで磁場をかけ続けることによっても亀裂が制御できる可能性が報告されている^[2,3]。そこで、我々は、短時間磁場をかけるだけでもペーストが磁場の方向を記憶し、亀裂の方向が制御できるのではないか（磁場のメモリー効果）と考え実験を行った所、磁場のメモリー効果が成立する事が確認された。

1. 緒言

本研究の目的はペーストの弱い磁場によるメモリー効果を調べることである。メモリー効果を用いて、あらかじめペーストに「磁場の方向」を記憶しておくことで、ペーストの亀裂方向を制御する事ができれば、万が一破壊が起きた時に最悪の事態を防ぐことができ工学的な応用価値が高まると考えられる。

具体的には、磁性を持たない酸化鉄(III) α -Fe₂O₃ および磁性を持つ酸化鉄(III) γ -Fe₂O₃ の粉を純水に混ぜてペースト状にして、シャーレに流し込み、直流電磁石を用いて一様な磁場を短時間流し、止めてペーストを自然乾燥させる。その結果、 α -Fe₂O₃ と水のペーストでは、乾燥亀裂は生じたものの等方的なセルパターンで磁場による影響は見られなかった。一方 γ -Fe₂O₃ と水のペーストでは、亀裂の方向は磁場と平行になるものの乾燥亀裂がほとんど入らなかった。

そこで、我々は、磁場の影響を受ける γ -Fe₂O₃ (磁性あり) と亀裂が発生しやすい α -Fe₂O₃ (磁性なし) と純水で混合ペーストを作成して、磁場による亀裂の制御を試みた。そして全体の体積比率及び粉全体における γ -Fe₂O₃ の比率を変化させることによって、そのデータをもとに縦軸に体積比率、横軸に粉全体における γ -Fe₂O₃ の比率をとり、乾燥亀裂パターンの形態相図を作成した。

2. 実験装置・材料

以下に本実験に用いた実験装置、材料を示す。

日大理工・院(前)・航宇¹, 元日大理工・学部・航宇², 日大・習高・教諭³, 日大理工・研究員⁴, 日大理工・教員・航宇⁵, 奈良女大・理⁶, 鳥取大・工⁷, 日大理工・教員・一般⁸

- ・ 直流電磁石 鉄心外径 75mm 内径 60mm
- ・ γ -Fe₂O₃ (関東化学, 磁性あり, 密度 5.24g/cm³)
- ・ α -Fe₂O₃ (和光純薬, 磁性なし, 密度 5.24g/cm³)

3. 実験手順

実験手順は次のとおりである。

- ・ γ -Fe₂O₃ と α -Fe₂O₃ を合計で 5cm³ となるよう混ぜ合わせ、純水を加えペースト状にし直流電磁石のコイルの間にセットしたアクリル円形容器に注ぐ。
- ・ 直流電磁石を用いて磁場かける。ここで磁場の強さは 25[mT]、かける時間は 5 分とする。
- ・ 磁場を止め乾燥破壊させる(平均 2, 3 日)。この時室温 25°C、湿度 20%~50%である。

4. 実験結果

ペースト中に粉全体が占める体積比率は、次式で定義する。

$$\text{体積比率} = \frac{\text{粉の体積}}{\text{粉+水の体積}} \times 100 \quad (1)$$

粉全体における γ -Fe₂O₃ の比率は次式で定義される。

$$\text{粉における } \gamma \text{ の割合 } (\gamma \text{ 比}) = \frac{\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3\text{の体積}}{\text{粉全体の体積}} \quad (2)$$

以下にペーストの形態相図と実験結果の図を示す。

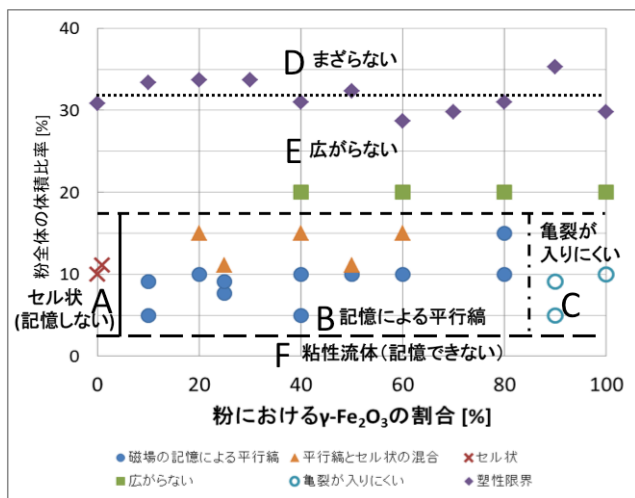


図 1 亀裂パターンの形態相図 (体積比- γ 比)

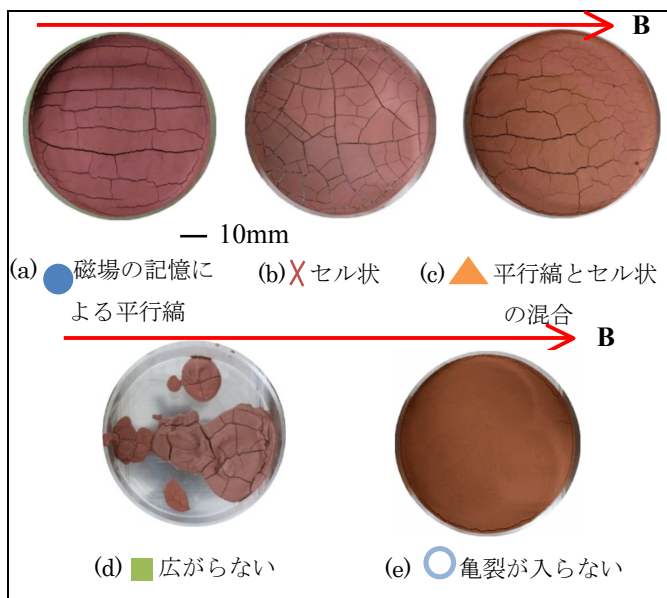


図 2 相図に表す記号の状態図

図 1 では酸化鉄の亀裂パターンをペースト中の粉全体の体積比及び、粉における γ - Fe_2O_3 との関数として表す。図 2 においては、図 1 の各領域における亀裂パターンの写真を掲示する。

領域 A では、図 2(b) のように α - Fe_2O_3 の量が多いため亀裂が入ってはいるが、磁性を持つ γ - Fe_2O_3 が全く含まないか少ないため磁場の方向とは無関係に等方的に亀裂が入っていることを示している。これは γ - Fe_2O_3 (磁性あり) が全く入っていないか入っていても亀裂の方向を制御できる割合に達していないためだと考えられる。 α - Fe_2O_3 (磁性なし) の割合が相対的に多いため、割れはするが、磁性が弱いため亀裂の方向が制御できない結果になった。

領域 B では図 2(a) のように磁場の方向に平行な亀裂パターンが得られるのでメモリー効果により磁場によって亀裂方向が制御されたことが確認できた。また粉全体の体積比率が高いときは図 2(c) のように平行縞とセル状の混合パターンも見られた。これは、ペースト中の γ - Fe_2O_3 粒子の配置が完全に変化できなかったためであると考えられる。今後はより磁場の強さやかける時間をかけてみて、亀裂パターンがどのようなかを調べることも必要である。

一方領域 C は図 2(e) のように γ - Fe_2O_3 (磁性あり) の割合が高い。そのため、磁場の影響は受けていると考えられるが、 γ - Fe_2O_3 の特徴である割れにくい性質が結果として表れている。 α - Fe_2O_3 と γ - Fe_2O_3 の割れにくさの違いが何に起因するものなのか。粒子系の違いか磁性の有無が影響しているのではないかと筆者は考えているので、粒径分布や SEM 画像等を用いて調べていく必要があると考えている。

領域 D は粉の割合が多いため混ざらない。領域 F は粉が少ないためペーストが塑性を持たず記憶することができない。

領域 E は、図 2(d) のように塑性が強くペーストをシャーレに注ぎ込んだ際に均等に広がることのなかった結果を表す領域である。

5. まとめ

磁性を持った γ - Fe_2O_3 と磁性を持たない α - Fe_2O_3 と水の混合ペーストに短時間磁場をかけたところ、磁場に平行に亀裂が進行したのでメモリー効果が起き亀裂方向が制御できることが分かった。また、混合ペーストの亀裂パターンの形態相図を作成することで混合ペーストにおいて亀裂が制御できる領域を特定した。

参考文献

[1] A. Nakahara and Y. Matsuo, "Imprinting memory into paste and its visualization as crack patterns in drying process", J. Phys. Soc. Jpn. **74** (2005) 1362.
 [2] L. Pauchard et al., "When a crack is oriented by a magnetic field," Phys. Rev. E **77** (2008) 021402.
 [3] A. T. Ngo et al., "Do Directional Primary and Secondary Crack Patterns In Thin Films Of Maghemite Nanocrystals Follow a Universal Scaling Law", J. Phys. Chem. B **112** (2008) 144