

ペーストのメモリー効果：流れの記憶のメカニズム

日本大学 理工学部 中原 明生¹, 松尾 洋介

ペーストは揺れや流れを記憶し、その記憶は乾燥破壊時に現れる亀裂パターンとして視覚化される。我々はペーストが流れを記憶するメカニズムの解明に努めた結果、水中での粒子間の相互作用の種類が本質的であることが突き止めた。流れを記憶するためには、粒子間引力によって粒子が水中でゆるやかなネットワークを形成せねばならず、クーロン斥力によって粒子が反発しあう状況では流れを記憶できないことが分かった。

1 はじめに

粉と水を混ぜて作ったペーストを容器に入れ温度・湿度一定の条件下で乾燥させると、干上がった沼地で見られるような空間的に等方的なセル状のひび割れ（亀裂）パターンが発生する。我々はペーストに揺れや流れの記憶を覚えさせることによって乾燥破壊時に現れる亀裂パターンを制御できることを報告してきた [1]。例えば、高濃度の炭酸カルシウムのペーストを乾燥前に水平に揺すっておくと、ペーストは揺すられた方向を記憶し、乾燥時に発生する亀裂パターンは揺すられた方向に垂直な縞状パターンになる。ここで、ペースト中の炭酸カルシウムの濃度が低く、塑性を持たないときは揺れを記憶できないことから、ペーストが揺れを記憶する現象には塑性が重要な役割を果たしていることが分かる。ところが、粘土や活性炭素や炭酸水酸化マグネシウムなどのペーストは高濃度で揺れを記憶するだけではなく、中濃度では流れの方向を記憶し、乾燥時に発生する亀裂パターンは流れた方向に平行な縞状パターンになることが見出された [2]。

2 流れの記憶のためには

では、なぜある種のペーストは揺れだけでなく流れも記憶できるのでしょうか？流れを記憶できる粘土系のペーストと流れを記憶できない炭酸カルシウムのペーストについてその違いを調べてみた。扱った試料について、粒子のサイズ分布はほぼ同じであったが、粒子形状は粘土系は板状粒子、一方炭酸カルシウムは粒状粒子、と形状に違いがみられた。しかし、それよりも重要な点として、水中での粒子間の相互作用の違いが見つかった。高濃度ではどちらのペーストも粒子間引力でネットワークを組むので揺れを記憶することができる。しかし、炭酸カルシウムの粒子は負に帯電していたのでクーロン斥力で反発しあい、そのため、中濃度ではネットワークを組まず、流れを記憶できなかったのだ。中濃度で形成されたゆるやかなネットワークは流れの中で引

¹E-mail: nakahara@phys.ge.cst.nihon-u.ac.jp

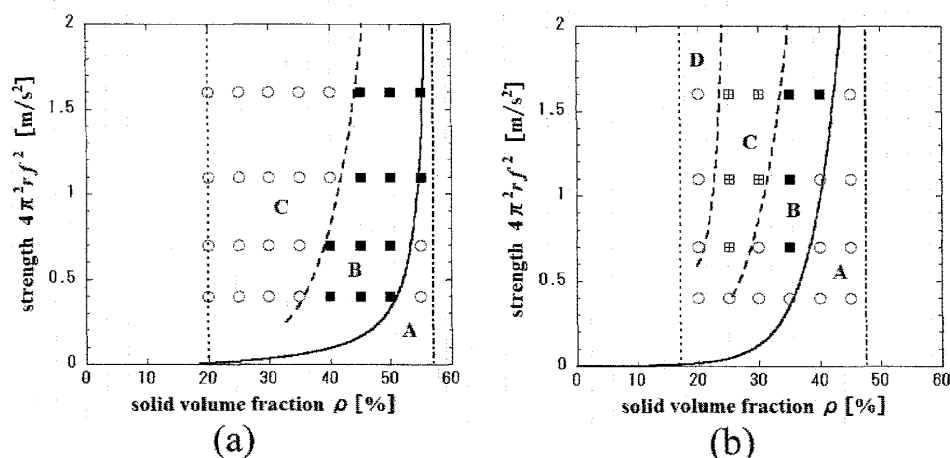


図 1: 亀裂パターンの形態相図 (a) 炭酸カルシウム (b) 炭酸カルシウム+塩。横軸は粉の体積比 ρ 、縦軸は初期振動の加速度 $4\pi^2 r f^2$ 。○：等方的なセル状亀裂、■：揺れの記憶（垂直縞）、田：流れの記憶（平行縞）。実線：降伏応力曲線、点線：液性限界、一点鎖線：塑性限界 [3]。

き延ばされて、その結果流れの方向に平行な構造を形成することになる。実際に、流れを記憶できない炭酸カルシウムのペーストに 0.1m/l のモル濃度で NaCl を添付したところ、クーロン斥力の遮蔽効果によって図 1 のように流れを記憶させることに成功した [3]。

3 まとめ

以上の結果より、ペーストが流れを記憶するためには粒子間引力でゆるやかなネットワークを形成していることが必要であることが実験によって分かった。そのため、粒子が水中で帯電しクーロン斥力を及ぼしあう炭酸カルシウムなどのペーストはこれまで流れを記憶できなかった。今回塩を加えてクーロン斥力を遮蔽することによって炭酸カルシウムのペーストが流れを記憶できるようになったことは、記憶のメカニズムには粒子間の相互作用が本質であることを表している。今後の破壊の制御への応用を考えると、塩水を添加するだけでペーストの記憶能力をコントロールできるということはこの破壊制御法の大きな汎用性を示している [3]。

この研究を遂行するにあたり、日本大学理工学部の高橋雄氏、星野健太郎氏、中山寛士氏には研究室のメンバーとして実験を一緒におこなっていただき、感謝いたします。鳥取大学工学部の大信田丈志氏、青山学院大学理工学部の大槻道夫氏、奈良女子大学理学部の狐崎創氏には有意義な議論をしていただき、感謝いたします。本研究は科学研究費補助金の基盤研究 (B)22340112 と基盤研究 (C)21540388 の助成を受けて行われました。

[1] A. Nakahara and Y. Matsuo, J. Phys. Soc. Jpn. **74** (2005), 1362.

[2] A. Nakahara and Y. Matsuo, Phys. Rev. E, **74** (2006), 045102(R).

[3] Y. Matsuo and A. Nakahara, arXiv:1101.0953v1 [cond-mat.soft].