

ペーストに混合させたデンプンがメモリー効果に及ぼす影響

The influence of mixing starch with paste on memory effect

○馬場龍¹, 中原明生², 村松旦典³,

*Ryu Baba, Akio Nakahara, Akinori Muramatsu,

When a mixture of powder and water, called a paste, is dried, it usually shows cellular desiccation crack pattern. However, when it remembers the direction of its vibration or flow motion before drying, the morphology of crack pattern depends on the memory of its motion (memory effect). In this experiment, the influence of mixing starch with calcium carbonate paste is studied. Usually calcium carbonate paste can remember its vibration but cannot remember its flow motion. It is shown that, by mixing with starch, the paste gets the ability of remembering its flow direction.

1. はじめに

無機質の粉と水を混ぜて作ったペーストを乾燥させると、干上がった沼で見られるような空間的に等方的なセル状亀裂パターンが発生する。一方乾燥する前にペーストを加振し、静置し乾燥破壊をさせると揺すった方向に依存した亀裂パターンが発生する。これをペーストのメモリー効果と呼ぶ。メモリー効果には「揺れの記憶」と「流れの記憶」の2種類ある。加振してから乾燥させた時に現れる揺れた方向に垂直の亀裂パターンを「揺れの記憶」と呼び、加振したときに流れた方向に平行の亀裂パターンを「流れの記憶」と呼ぶ^[1]。炭酸カルシウム (以下 CaCO_3) ペーストは揺れの記憶しかできないことがわかっている。一方炭酸水酸化マグネシウムのペーストは揺れと流れの両方を記憶することができる。

CaCO_3 の密度に対して加振時の最大加速度を変化させたときの形態相関図を Fig. 1 に示す。Fig. 1 では横軸をペースト中の粉末の体積比、縦軸を加振によって生じた加速度の最大値をとっている。Fig. 1 からわかるように高濃度での加振では揺れの記憶が生じ、低濃度では塑性を持たないので何も記憶できないことを示している。

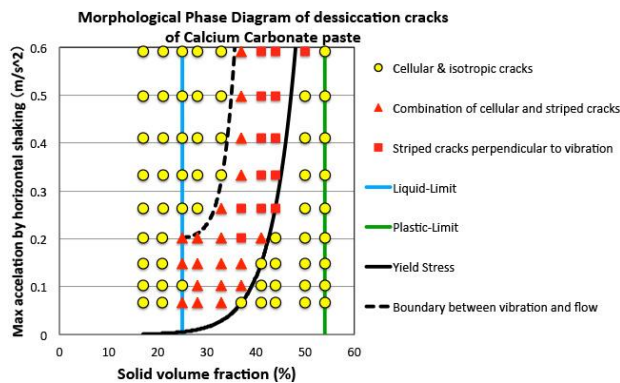


Fig. 1 Morphological phase diagram of desiccation crack pattern of paste of CaCO_3

2. CaCO_3 とデンプンの加振実験

水に溶いたデンプンの性質はダイラタント流体となる。

これは弱い応力のときは流体的な振る舞いになるが、強い応力を加えると固体的な状態になる。このような特殊な流体であるデンプンを混ぜることで揺れの記憶しかできないペーストにどのような影響を与えるのかを調べる。本実験では水 300ml に対して加える CaCO_3 とデンプンの体積比を変化させ、振幅 16mm, 60rpm で 5 分間加振させた後に加振を止めて一定室温、低湿度の環境で乾燥破壊をおこさせた。

実験結果を Fig. 2 に、亀裂パターンの形態相関図を Fig. 3 に示す。Fig. 3 では横軸をペースト中での CaCO_3 の体積比、縦軸をペースト中でのデンプンの体積比をとっている。

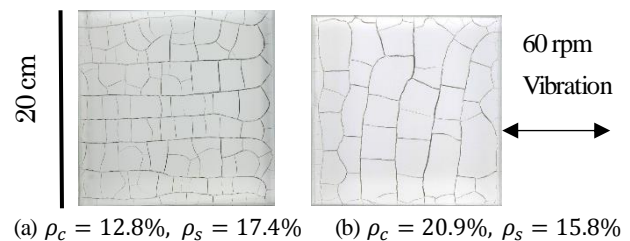


Fig. 2 Desiccation crack patterns of paste of calcium carbonate, starch and water, ρ_c is a volume fraction of CaCO_3 and ρ_s is that of starch (a) Memory of flow (b) Memory of vibration

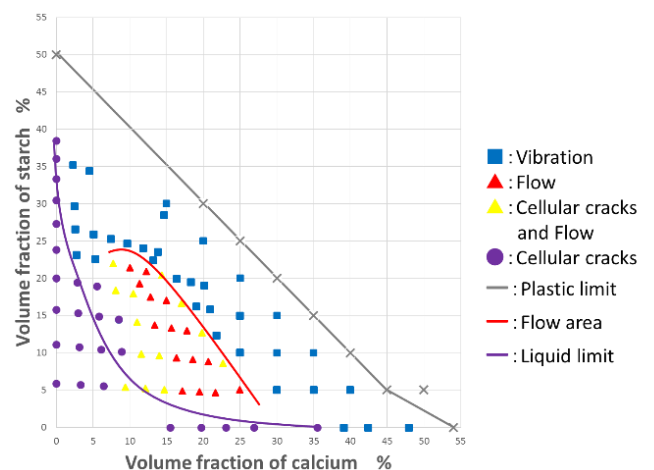


Fig. 3 Morphological phase diagram of desiccation crack pattern (Paste made of carbonate and Starch)

デンプンのみのペーストは揺れも流れも記憶せず、CaCO₃ のみのペーストは揺れの記憶と等方的な亀裂パターンしか発生しないが、Fig. 3 に示されるようにデンプンを混ぜた CaCO₃ のペーストは揺れを記憶するだけでなくある体積比の範囲では流れを記憶することがわかった。

3. 粒子の表面電位測定

流れを記憶する条件は水中で粉粒子が帯電していないことが先行研究でわかっている^[1]。実際に流れを記憶できない CaCO₃ ペーストは水中で粒子は正に帯電し、デンプンを混ぜたことで流れを記憶することができたことからデンプンが負に帯電していると考え、デンプン粒子が負に帯電しているかを名古屋市立大学の山中研究室にてゼータ電位測定装置 ZEECOM(Microtec. Co.)を使用して調べた。CaCO₃ 粒子については正に帯電していることがわかっているが、電位量はきちんと測定できていなかったので今回測定を行った。

Table 1 に ZEECOM で測定したときのデンプンの各粒子、CaCO₃ の各粒子、デンプンと CaCO₃ を混ぜたペーストの各粒子のゼータ電位を示す。荷電粒子は電場下でクーロン力と粘性抵抗力がつりあう速度で移動するので、各粒子のサイズも同時に測定することで荷電量やゼータ電位(粒子の表面電位)を見積もることができる。

Table. 1 Zeta potential colloidal of particles in water

	Starch	CaCO ₃	Mixture
1	-29.23 mV	11.14 mV	3.20 mV
2	-34.75 mV	21.02 mV	-1.23 mV
3	-30.35 mV	9.53 mV	-2.88 mV
4	-30.83 mV	8.30 mV	0.48 mV

Table. 1 よりデンプン粒子は負に帯電していることがわかった。ここでデンプンの大きい粒子は沈殿速度が速くゼータ電位測定には通さないで、Table 1 のゼータ電位にはデンプンの小さい粒子での測定になった。CaCO₃ 粒子が正に帯電していることも確認できた。CaCO₃ とデンプンを混ぜた状態の凝集体の表面電位を確認するため CaCO₃ とデンプンを混ぜて測定を行ったところ、Table 1 の結果より混合状態のゼータ電位が平均 0mV で揺らいでいることから、正に帯電する CaCO₃ と負に帯電するデンプンを混ぜることで中性の状態の凝集体が形成され、流れの記憶をする条件を満たしていたことがこの段階で考えられた^[2]。

4. デンプンを濾した水と CaCO₃ の加振実験

CaCO₃ が流れの記憶をする原因がデンプン粒子ではなく、

デンプン粒子から水中に溶けだした成分がメモリー効果に影響を及ぼしているのではないかと考え、水に溶いたデンプンを 3 μm の濾紙で濾した水、さらにデンプン粒子を除くため 0.45 μm の濾紙で濾した水で CaCO₃ を混ぜ加振実験を行った。なお測定によりデンプン粒子は 41 μm が多く存在していることが確認できている。

濾したデンプン水と炭酸カルシウムの亀裂パターンの形態相図を Fig. 5 に示す。横軸をペースト中での CaCO₃ の体積比、縦軸を加速度の最大値をとっている。3 μm 以下のデンプン粒子が存在していない状態の濾した水と CaCO₃ を混ぜたペーストは、高濃度の体積比では揺れの記憶、中濃度では流れの記憶をすることができた。また 0.45 μm で濾したデンプン水でも同じように流れの記憶をさせることができた。

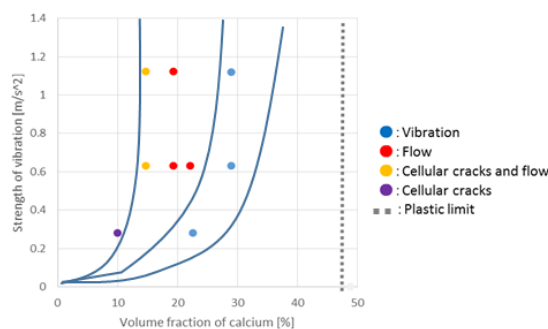


Fig. 5 Morphological phase diagram of desiccation crack pattern (Paste made of carbonate and water which filtered starch powder)

5. まとめ

4. までの実験では正に帯電している CaCO₃ 粒子と負に帯電しているデンプン粒子を混ぜることで中性状態になり流れの記憶ができるようになったと考えていたが、5. の実験でデンプンのコロイド粒子が流れを記憶させていたのではなく、デンプン粒子から水中に溶けだした何かの成分が流れの記憶をさせる原因であったとわかった。今後は水中に溶けた成分を調べることや、その成分がどのように影響して流れの記憶をさせたのかを調べる。

6. 謝辞

名古屋市立大学のコロイド化学の山中研究室においてゼータ電位測定させて頂きました。ここに謝意を表します。

7. 参考文献

[1] 中原明生, 松尾洋介, 大信田丈志, 「ペーストの記憶効果と破壊の制御への応用」日本物理学会誌 第 70 巻 (2015 年) 第 3 号 179.
 [2] 小山洋平, 馬場龍「ペーストに混合させた有機粉末が乾燥破壊とメモリー効果に及ぼす影響」日本大学理工学部航空宇宙工学科 卒業論文 (2018 年)