

K-13

ペーストに混合させる高分子の長さがメモリー効果に及ぼす影響

The influence of mixing polymer's length with paste on memory effect

○馬場龍¹, 中原明生², 村松旦典³*Ryu Baba¹, Akio Nakahara², Akinori Muramatsu³

When a mixture of powder and water, called paste, is dried, it usually shows cellular desiccation crack pattern, but when it remembers the direction of vibration before drying, the morphology of crack pattern depends on the memory of vibrational motion (memory effect of paste). In this experiment, the influence of dissolving saccharides with calcium carbonate paste is studied especially on desiccation crack formation and memory effect. It is shown that, by dissolving saccharides, into CaCO₃ paste, the paste gets the ability of remembering flow direction. By changing the length of saccharides polymer, we find that longer polymer induced stronger memory in paste.

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させ静置させ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。加振した時に揺れた方向を記憶しその方向に垂直に割れる亀裂パターンを「揺れの記憶」と呼び、加振した時に流れた方向を記憶しその方向に平行に割れる亀裂パターンを「流れの記憶」と呼ぶ^[1]。水中で粒子が帯電している炭酸カルシウムペーストは揺れの記憶しかできないことが先行研究でわかっている。

2. 炭酸カルシウムペーストに糖類を混ぜた乾燥破壊

2-1. 目的と実験方法

揺れしか記憶しない炭酸カルシウムペーストに分子の長さが異なる糖類を混ぜることでメモリー効果に及ぼす影響について調べた。水 300 mL に対して多糖類の水溶性デンプン、多糖類であるが水溶性デンプンよりも高分子の長さが短めのデキストリン、単糖類、それぞれの糖類の質量と炭酸カルシウムの体積比を変化させ、振幅 16 mm, 振動数 60 rpm で5分間加振させた後に乾燥破壊を起こさせた。

2-2. 実験結果

図1にそれぞれの糖類の代表的な流れの記憶の亀裂を示す。図1より多糖類の水溶性デンプンを混ぜたときが一番綺麗に流れの記憶をし、単糖類はほとんど流れの記憶をしていない。そして水溶性デンプンよりも分子が短いデキストリンは、(c)よりもはっきりと、そして(a)と同様に流れを記憶していることがわかる。このことより流れの記憶の強さは糖類の分子の長さに依存していると考えられる。

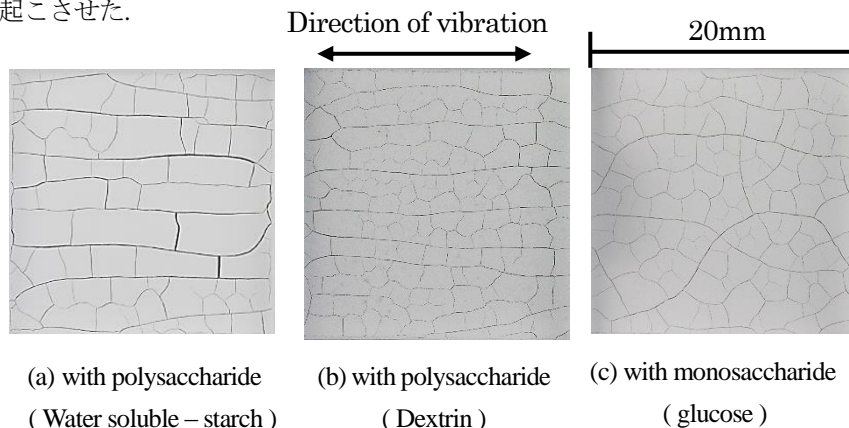


Fig. 1 Crack patterns of memory of flow of CaCO₃ paste mixed with saccharides
Polymer length (a) > (b) > (c)

3. 画像解析

3-1. 目的

記憶の強さは画像解析で定量的に判断する。今回は実験を行った多糖類(水溶性デンプン)、短め多糖類(デキストリン)、単糖類(グルコース)それぞれを混ぜたときの代表的な流れの記憶について解析を行った。

3-2. 方法

亀裂部分を白、亀裂ではない部分を黒として二値化された画像に対して亀裂の異方性を評価する。評価のための値として情報エントロピーを採用する。確率 P_i の事象が実現した際に状態を確定するために情報量 I_i は以下になる。

日大理工・院(前)・航空¹, 日大理工・教員・一般物理², 日大理工・教員・航空³

$$I_i = -\log_2 P_i \quad (1)$$

情報エントロピー S は情報量 I_i の期待値であるため確率 P_i を掛け合わせ総和を取る [2]. ここで P_i を基準となるY軸から距離 X_i だけ離れた位置に白いピクセルの存在する確率と考える. 図2より画像の左端からの距離 X_i に存在する白ピクセルの個数を n_i , 画像全体に存在する白ピクセルの個数を N とすれば確率 P_i は n_i を N で割った値になる.

$$S = \sum_i P_i I_i = -\sum_i P_i \log_2 P_i = -\sum_i \frac{n_i}{N} \log_2 \frac{n_i}{N} \quad (2)$$

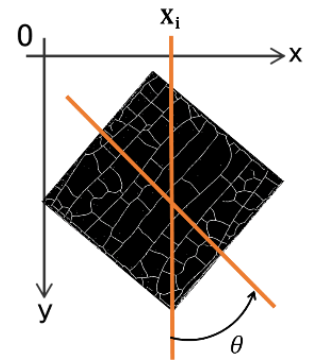


Fig. 2 Calculation method of Shannon's Entropy

式(2)を用いて二値化画像の情報エントロピーを計算する. そして画像の中心を回転中心として反時計回りに 1° ずつ回転させて計算することで亀裂パターンの異方性の角度 θ 依存を調べる. この計算によって亀裂が長く繋がっている方向に対して情報エントロピーの値が下がるので縞状亀裂の方向と角度依存と記憶の強さを判断する [3].

3-3. 計算結果

情報エントロピーの計算結果(図3)より, 流れの記憶なので 90° でピークが現れ, ピークの深さによって亀裂の記憶の強さの判断ができる. 図3より高分子が長いほど a, b, c の順でピークの深さが深く記憶が強いことがわかる.

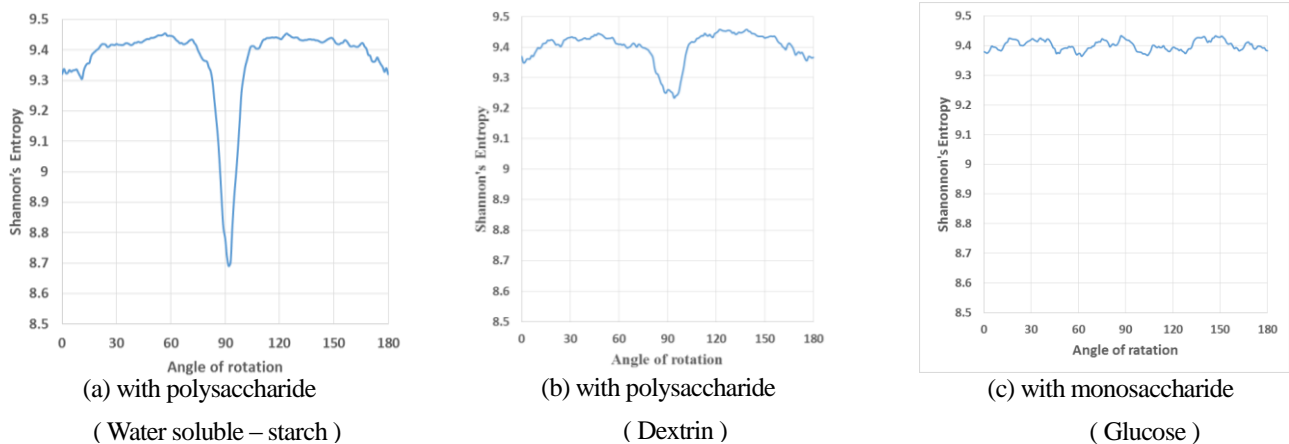


Fig.3 Result of image analysis for CaCO_3 paste mixed with saccharide

4. まとめ

糖類を混ぜることで炭酸カルシウムペーストは本来できない流れの記憶をすることがわかった. また実験から記憶の強さは高分子の長さに依存していることが考えられる. このことは画像解析からも定量的に示せることがわかった.

炭酸カルシウムペーストは水中で粒子が帯電しており, 粒子間に斥力が働き加振して流れた方向に粒子がネットワークを組むことができないので流れの記憶をすることができない. そこで炭酸カルシウムペーストに少量の塩化ナトリウムを加えることで炭酸カルシウム粒子は中性状態になり斥力を除かれることで粒子間引力が支配的になり, 流れた方向に粒子がネットワークを組むことができ流れの記憶をすることが先行研究でわかっている. 今回の実験では塩化ナトリウムではなく高分子である糖類を少量混ぜることで流れの記憶をさせることができた. これは朝倉・大沢理論より溶液中にコロイド粒子と高分子が存在するとき溶液中の高分子のエントロピーを最大にするためにコロイド粒子間に引力(枯渇相互作用)が働くので, 高分子である糖類を入れることで炭酸カルシウム粒子間に引力が加わることになりペーストが流れた方向にネットワークを組めるから流れの記憶をすることができるのではないかと考えられる.

5. 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, Vol. 70, No. 3(2015), pp. 179 - 187
- [2] 中易秀敏, 坪野博宣, 「情報科学 —基礎編—」, 共立出版株式会社, 1998年, pp. 15 - 16
- [3] 藤巻和宏, 山崎喬輝, 「ペーストの亀裂の電氣的制御と画像処理による亀裂の評価」 平成30年度 日本大学理工学部 航空宇宙工学科 卒業論文, (2019)