

K-5

## ペーストに混合させたひも状高分子がメモリー効果に及ぼす影響

### The influence of mixing polymer with paste on memory effect

○馬場龍<sup>1</sup>, 中原明生<sup>2</sup>, 村松旦典<sup>3</sup>

\*Ryu Baba<sup>1</sup>, Akio Nakahara<sup>2</sup>, Akinori Muramatsu<sup>3</sup>

When 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 mixing saccharide with calcium carbonate past is studied especially on desiccation crack formation and memory effect. It is shown that, by mixing saccharide powder, the paste gets the ability of remembering 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に垂直の亀裂パターンを「揺れの記憶」と呼び、加振した時に流れた方向に平行の亀裂パターンを「流れの記憶」と呼ぶ<sup>[1]</sup>。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, 二糖類, 単糖類の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

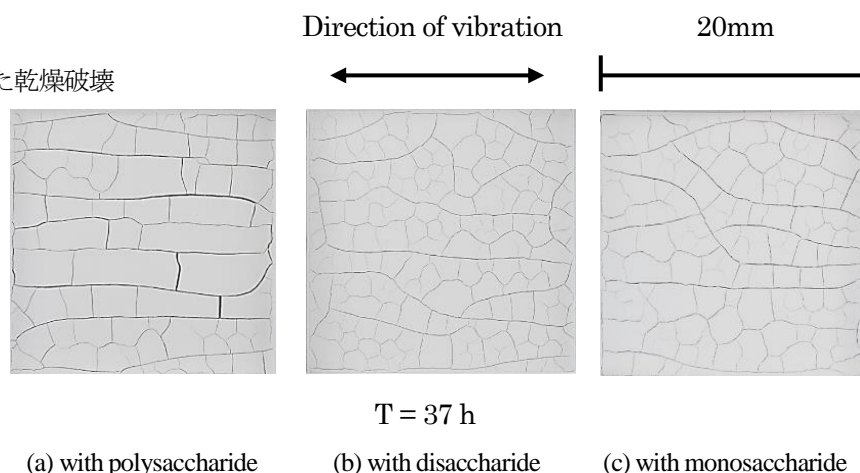


Fig. 1 Crack patterns of memory of flow of CaCO<sub>3</sub> paste mixed with saccharides

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 より多糖類を混ぜたときが一番流れの記憶をし、二糖類と単糖類は流れの記憶をしているがあまり強くないことがわかる。このことより流れの記憶の強さは糖類の長さに依存していると考える。

#### 3. 画像解析

##### 3-1. 目的

今まで主観的だった記憶の強さを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, 二糖類, 単糖類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

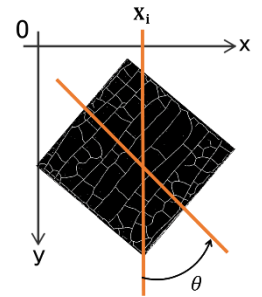
亀裂部分を白、亀裂ではない部分を黒として二値化された画像に対して亀裂の異方性を評価する。評価のための値として情報エントロピーを採用する。確率  $P_i$  の事象が実現した際に状態を確定するために情報量  $I_i$  は以下になる。

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

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<sup>[2]</sup>。ここで  $P_i$  を基準となる  $Y$  日大理工・院(前)・航空<sup>1</sup>, 日大理工・教員・一般物理<sup>2</sup>, 日大理工・教員・航空<sup>3</sup>

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.

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



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  $1^\circ$  ずつ回転させて情報エントロピーを計算することで亀裂パターンの異方性の角度 $\theta$ 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<sup>[3]</sup>.

3-3. 計算結果

Fig. 2 Calculation method of Shannon's Entropy

情報エントロピーの計算結果を図 3 に示す. 図 3 より流れの記憶なので全て  $90^\circ$  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. しかし記憶の強さが糖類の長さに依存していると考えていたので単糖類より二糖類のピークが深くなると考えていた. しかし結果は単糖類の方が深くなった. そこで二糖類の亀裂の入り始めで計算を行ったところピークが深いことがわかった. 図 4 に二糖類の亀裂の入り始めと情報エントロピーを示す.

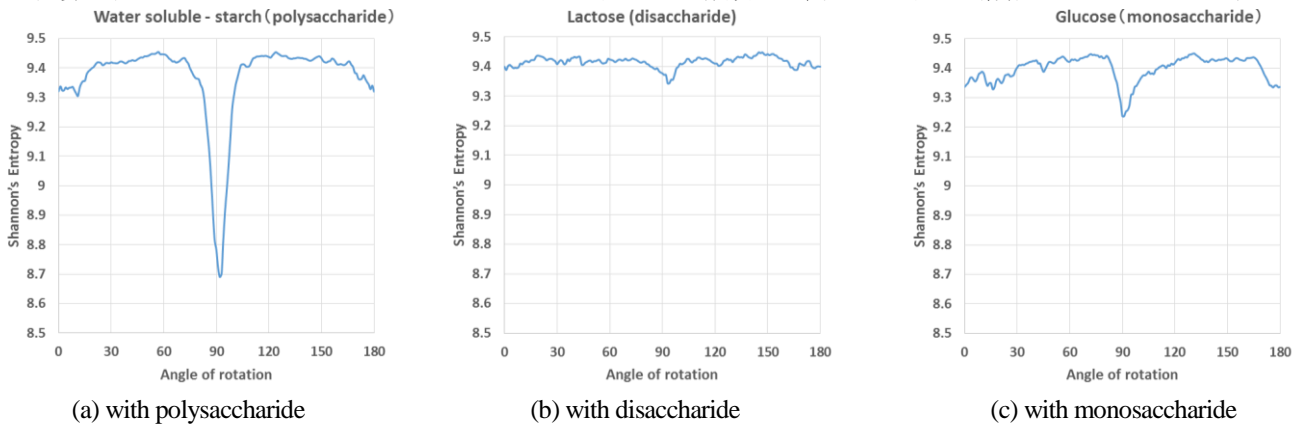
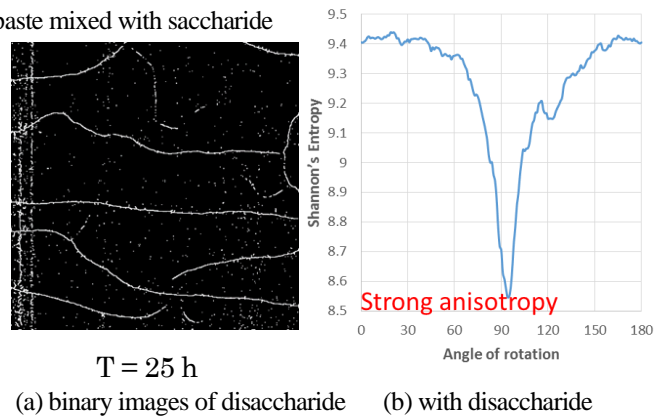


Fig.3 Result of image analysis for  $\text{CaCO}_3$  paste mixed with saccharide

図 4 より最初に記憶を反映した異方性のある亀裂が入り, この段階で情報エントロピーを計算すると  $90^\circ$  方向に深いピークが出ていることがわかる. そして時間が経過すると異方性を持った亀裂の間にランダムな細かな亀裂が入ることで見た目上の亀裂の異方性が低下しエントロピーの値も浅くなっていることがわかる. 図 3 (b)参照. このことから画像解析では亀裂が全て入り終わった段階ではなく, 初期段階で画像解析を行い記憶の強弱を判断する必要があると考える.



T = 25 h

(a) binary images of disaccharide (b) with disaccharide

Fig. 4 Result of image analysis for initial cracks

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できることがわかった. 時間発展を追うことで記憶を反映した異方性を持つ亀裂の間に細かなランダムな亀裂が発生し見た目上の異方性が低下することよりこのことから画像処理での異方性の評価は初期段階で行った方が良いことが示された.

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 一基礎編一」, 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)