

粘土への記憶の刷り込みと乾燥破壊によるその視覚化

日本大学 理工学部 中原 明生、松尾 洋介

細かい粉と水との混合液（粘土）を容器に入れて乾燥させた時に現れる亀裂パターンは通常図1のような等方的なセル構造になる[1]。ところが、炭酸カルシウムの粉末と水とを質量比2：1で混ぜた混合液を入れた容器を図2のように1分ほど水平方向に振動させた後、温度・湿度一定の条件下で乾燥させた時に発生する亀裂模様は、あきらかに異方的な縞模様であり、その縞の方向は初期振動の方向と垂直な関係となっている[2]。

この現象では、粘土に初期外力を加えることにより一種の記憶の刷り込みをおこなっており、その後乾燥破壊で現れるパターンは刷り込まれた記憶を視覚化したものになっていることがわかる。

では、粘土はどのような状態の時に外力を記憶するのだろうか？「混合液全体に対する粉の質量比 (powder-to-mixture ratio) ρ [%]」と「振動外力の振動数 f [rpm]」をパラメーターとして亀裂パターンの変化を系統的に調べた。ここで、粉末としては炭酸カルシウムを使い、混合液を入れる容器のサイズは縦横20cm四方の直方体、容器に入れる粉末の質量は360g、振動外力の振幅は1.5cmに固定した。温度25%、湿度30%でおこなった乾燥破壊の亀裂模様の結果を図3に示す[3]。

図3において、 $\rho < 50\%$ の領域では混合液は液状であり、実際水分が多すぎるために乾燥途中で上澄み液が発生して混合液が一部分離してしまう。このような状況では、乾燥後の亀裂パターンも等方的なセル状になっている。一方、 $\rho > 75\%$ の領域では混合液は半固体状態であり、水分が少なすぎるために混合液を一様に混ぜることが難しく、結果的に得られる亀裂パターンも等方的なセル状である。

このため、図3の $50\% < \rho < 75\%$ の領域においてのみ初期外力を記憶した縞状亀裂パターンが発生することが可能なわけだが、実際にはこの領域も図3のように領域A、B、Cに分かれており、領域Bでは縞状亀裂が発生するが、領域AとCでは等方的なセル構造になっている。(○セル、■縞、△中間)

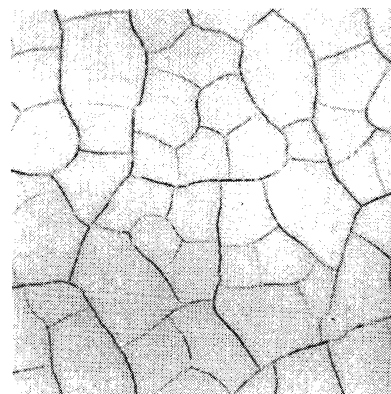


図1：セル状亀裂

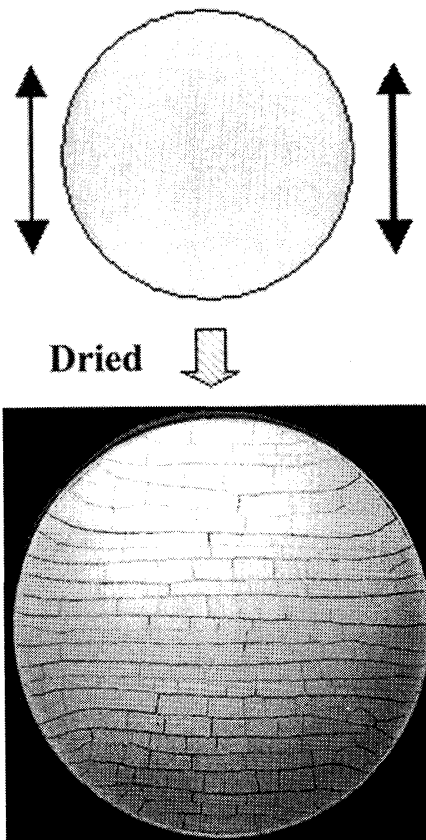


図2：縞状亀裂

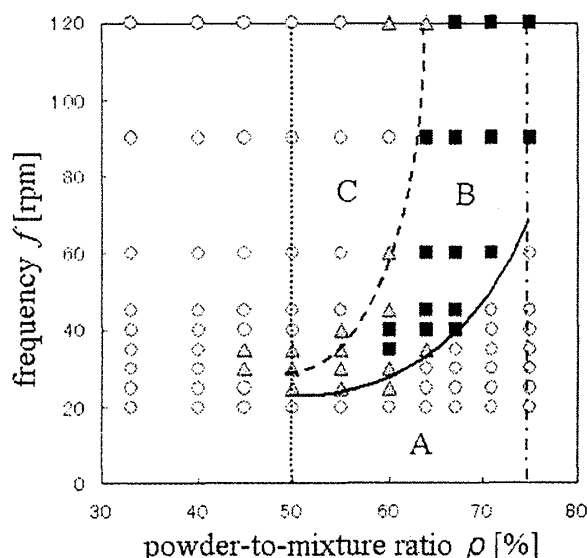


図3：亀裂パターンの相図

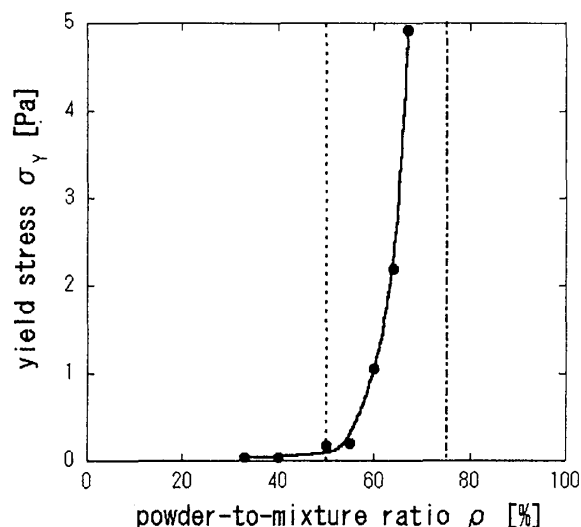


図4：降伏応力

それでは、外力を記憶できる $50\% < \rho < 75\%$ の領域では混合液はレオロジー的どのような状態にあるのだろうか？レオロメーターを用いて応力制御のもと、応力曲線を作成し、降伏応力 σ_y [Pa] を粉の質量比 ρ [%] の関数として求めたのが図4である。 $\rho < 50\%$ では降伏応力がほとんどなく混合液は粘性流体とみなせるが、 $\rho > 50\%$ では質量比 ρ の増加にともない降伏応力 σ_y の値が急激に増加しており混合液は塑性状態にあることが分かる。すなわち、粉と水の混合液が塑性を示す時に外力を加えると、外力は記憶されるのである。同じ塑性状態にありながら、図3の領域AとCでは記憶の刷り込みがおこなわれていないことにも注意しよう。実はこの違いは、初期の外力を加えた時の混合液の応答（いわゆる流動性）を見れば理解できる。振動数 f の値が小さい領域Aでは外力が弱いので外力の効果が小さく、一方、領域Cでは振動数 f の値が大きすぎて混合液に波が立ってしまいこの乱れが記憶をかき消していたのだ。

まとめると、粘土（細かい粉と水の混合液）が塑性状態にあるときに適度な強さの外力を加えることによって記憶の刷り込みができること、またこの記憶は乾燥破壊の亀裂パターンとして視覚化できることが、実験的に見出された。

謝辞：この研究を遂行するにあたり、元中大の植松英隆氏、東大の佐々真一助教授・大槻道夫氏、学習院大の小松輝久助手に有意義な議論をしていただき、感謝いたします。また、レオロジー測定の際は山形大の小山清人教授、谷口貴志専任講師、杉本昌隆助手の指導と協力をお願いしました。重ねて感謝いたします。

参考文献

- [1] G. Groisman and E. Kaplan, Europhys. Lett 25 (1994), 415.
- [2] 中原明生、松尾洋介、物性研究 74 (2000) 650、81 (2003) 184.
- [3] A. Nakahara and Y. Matsuo, submitted to Phys. Rev. Lett..