

ペーストの記憶効果と破壊の制御への応用



中原 明生

日本大学理工学部



松尾 洋介

日本大学理工学部



大信田 丈志

鳥取大学大学院工学研究科

破壊とはいったん壊れたらもとには戻れないという意味で、まさに非平衡・非線形物理における不可逆過程の典型的な例である。どのような状況下で壊れるかなど、壊れる前はある程度予測し対応できても、いったん破壊が始まってしまうともう制御しきれない印象があった。そのため、これまでの破壊の制御の研究では、もっぱら破壊が起きないための制御に力点が置かれていた。

この解説では、最近の乾燥破壊の研究における高濃度固液混合液（ペースト）の記憶効果の発見と、それを利用した乾燥亀裂パターンの制御について紹介したい。ここでいう制御とは破壊を起こさせないための制御ではない。むしろ、積極的に破壊を起こさせる制御なのだが、その代わりに、いつ、どの位置に亀裂が発生し、その亀裂がどの方向に伝播すべきか、など、破壊の進展具合を事前に決めておくという制御である。このような制御が可能となるのは、乾燥前のペーストが経験したことが時間を隔てて乾燥後の亀裂に影響を与えるためであり、これをペーストの記憶効果と呼んでいる。

一連の研究では、まず、ペーストは塑性を持つゆえに揺れや流れなどの力学的な動きを記憶することが分かった。ペーストがどのような動きを記憶したかはペースト自体を顕微鏡などで直接観察しても見出すことは困難だが、ペーストを乾燥させると亀裂パターンとして容易に視覚化される。ペーストには「揺れの記憶」と「流れの記憶」という異なった種類の記憶が存在することが発見され、異なる記憶間の転移現象

も見出された。

ペーストの持つ記憶によって亀裂パターンが決まるということは、ペーストの記憶を書き換えれば亀裂パターンの形状を制御できることになる。特にペーストが記憶した流れの方向に平行に乾燥亀裂が伝播するということが、流線で表現できる亀裂パターンが作れることになる。こうして、通常干上がった沼地で見られる等方的なセル状亀裂パターンだけでなく、縞状、放射状、リング状、螺旋状、格子状などの様々な形状の亀裂パターンを作成することに成功した。

理論的には、高濃度のペーストが揺れを記憶するメカニズムは揺れによって生じた剪断変形を起因とする張力が塑性ゆえに残留し亀裂の進行しやすい方向を決定するとする数理モデルによって説明できる。他方、比較的濃度の低いペーストが流れを記憶するためには水中での粉粒子間の相互作用において引力が支配的である必要があることが実験によって示された。さらに、揺れや流れを記憶したペーストに超音波を照射することで過去の記憶を消去して異方的な亀裂パターンを等方的で一様な状態へと初期化できることも見出された。今後、ミクロ的には記憶を持つペーストの内部構造に迫ることによって、またマクロ的には異なる種類の記憶のメカニズムを両方とも説明できる理論を構築することによって、塑性流体のレオロジーの基礎論の構築と破壊の制御へのさらなる応用に向けて知見を深めていきたい。

—Keywords—

塑性変形：
塑性とは、小さな力に対しては固体として振る舞うような物体が、ある閾値以上の大きな力を受けると一種の粘性流体的な挙動に切り替わる性質を言う。切り替えの閾値を降伏応力と称する。液体側から言えば、応力が閾値を下回ると固化する性質が塑性である。純粋な弾性体の変形では、外力を取り除くと物体の形も自発的にもとに戻るのに対し、塑性がある固体では、外力を取り除いても戻らないような変形が生じ得る。これを塑性変形という。