

乾燥亀裂における多角形パターン形成

水口 毅, 西本 明弘, 狐崎 創^{†)}, 山崎 義弘京大理, 奈良女理^{†)}

干潟などで見られるひび割れは、土（粉体と液体（水）の混合物¹⁾）が乾燥する際に起こす非一様な体積変化にもとづく応力集中が原因でおこると考えられている。容器に入れた粉体と液体の混合物（ペースト）を乾燥させる実験は古くから行われており、パターンに関する研究は少なくない。本研究では、ペーストとしてコーンスターチと水の混合物を用い、見出された二種類の亀裂に関して報告する。

上面を開放したガラスまたはアクリルの容器にペースト（コーンスターチ+水）を入れたものを試料とし（図1）、電気炉にいれ一定温度/一定湿度に保つ。乾燥によりペーストは収縮を始め、十分時間がたつと割れ目が現れ、ペースト全体の含水量が外気と平衡状態になると乾燥過程は終了し、割れ目の進展も終わると考えられる。実験条件としては、粉体、液体の種類および量（ペーストの厚さ）、容器の材質、形状、表面の状態、温度、湿度等が考えられる。パターンは、乾燥過程終了後に上面からカメラにて撮影し、スキャナにて計算機に取り込み解析を行った。また、厚い試料に対しては、樹脂で固化後、切削断面の画像を直接スキャナで取り込むことも行った。

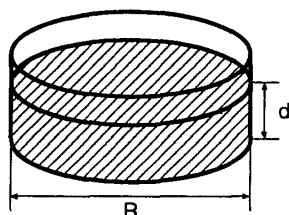


図 1: サンプル

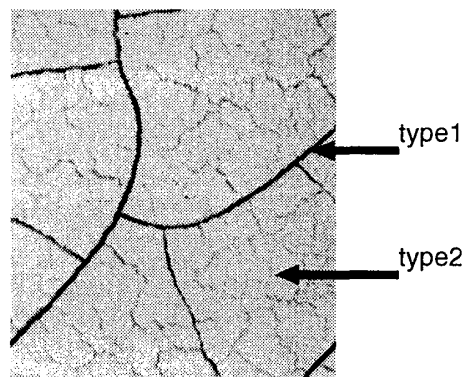


図 2: タイプ1とタイプ2の亀裂

サンプルが薄い ($R = 60\text{mm}$, $d \sim 5\text{mm}$) 場合の表面パターン（反射光）を図2に示す。二種類の亀裂（タイプ1、タイプ2）が認められる。透過光による画像と比較すると、タイプ1の亀裂がつくるパターンは二次元的であり、水平断面のパターンは断面の高さにほとんど依存しないことがわかる。このような割れ目は、他の材質の組合せでも知られている。また、亀裂によって分割されたセルの平均面積がペーストの厚さ d にべき的に依存することや、亀裂間交差角度が 90 度もしくは 180 度に近いといった特徴を持つ²⁾。平均セル面積の厚さ依存性や容器表面の状態依存性を考えると、亀裂生成のための応力集中はペーストと容器の収縮率の違いおよびペーストと容器の間の摩擦によるものと思われる。

一方、タイプ2の亀裂の構造は深さ方向に変化している。このため、亀裂間交差角や平均セル面積などは深さに依存することが予想される。このパターンの深さ依存性を調べるため、厚いサンプルを ($R = 40\text{mm}$, $d = 20\text{mm}$) を用いた実験を行った。この時、サンプルの底面積がサンプルの厚さ d で決まる典型的なセルサイズよりも小さければタイプ1は現れず、タイプ2のみが現れることになる。乾燥終了後、サンプル全体を樹脂で固化し、切削することによって異なる深さの水平断面画像を得た。典型的なものを図3、4に示す。表面でははっきりしなかったが、等方的な多角形のセル

¹⁾実際の土はもっと複雑である。

²⁾ペーストが極端に薄い場合や、異なる物質を使った場合にはこの限りではない（文献参照）。

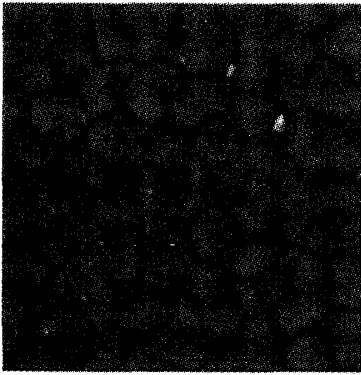


図 3: 表面から 4.0mm の切断面. 一辺 13mm.

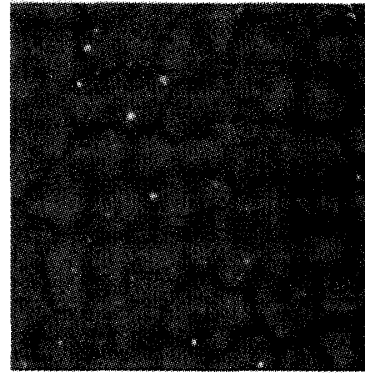


図 4: 表面から 4.9mm の切断面. 一辺 13mm.

パターンが認められる。また、図 3, 4 を比較すると亀裂のネットワークが徐々にではあるが変化していることもわかる。異なる深さのパターンを比較するのに平均セル面積はあまり良い量ではないので、以下の手続きによって得られる亀裂の全長 L を採用する。第一に、グレイスケール画像に二値化処理を施し、得られた白黒画像の黒い部分を亀裂とみなす。次に黒い部分に対して細線化を行い、残った幅一の線の総面積を亀裂の全長 L とする。図 5 に L の深さ依存性を示す。 L が深さに対して減少していることから、セルの平均サイズは深くなるにつれて増大していることがわかる。また、亀裂交差角を上述の細線化画像の各三点バーテックス近傍での線分交差角と定義することによってその分布関数が得られる。図 6 は図 3 に対する分布関数であるが、タイプ 1 のものと異なり、120 度近辺にピークがあることがわかる。この傾向は深さによらない。

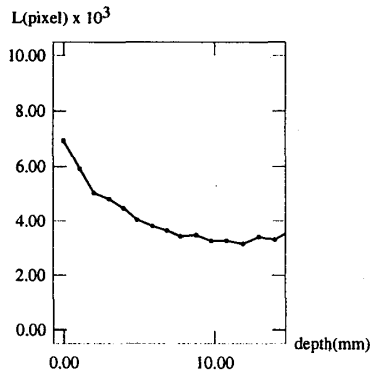
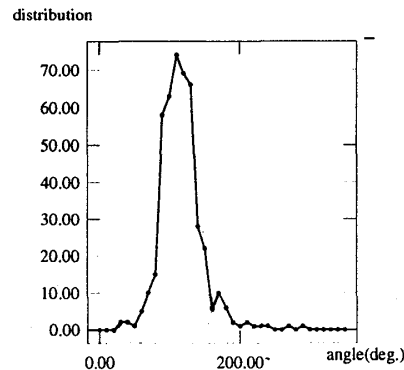
図 5: 亀裂の全長 L の深さ依存性

図 6: 図 3 の亀裂交差角度分布関数

以上述べたタイプ 2 の亀裂に対する結果は、ペーストの厚さ d には殆ど依存しない。このことから、タイプ 2 はタイプ 1 のようにペーストと容器との収縮率の違いによって起こるのではなく、ペースト内部の収縮率の違いによって起こると思われる。タイプ 2 の亀裂がみせる角柱状構造は地質学における柱状摂理の構造と形態的に似ていることから、亀裂の生成メカニズムにも類似性が示唆される。亀裂パターンの動的発展過程も興味深い。

参考文献

J.Walker, J.Sci.Am.**255**(1986)178; A.Groisman and E.Kaplan, Europhys.Lett.**25**(1994)415; H.Ito and Y.Miyata, Jour.Geol.Soc.Japan**104**(1998)90; C.Allain and L.Limat, Phys.Rev.Lett.**74**(1995)2981; T.S.Komatsu and S.Sasa, Jpn.J.Appl.Phys.**36**(1997)391; S.Kitsunozaki, private communication; Y.Hayakawa, Phys.Rev.E**50**(1994)R1748.