

炭酸カルシウムを使った乾燥破壊の実験

日本大学 理工学部 一般教育（物理） 中原 明生¹、松尾洋介

1 乾燥破壊の実験

乾燥に伴って進行する破壊は「田んぼや沼地でのひび割れ」や「塗料が乾燥して割れたり」など自然界ではありふれた現象であるが、実験室で定量的に調べられるようになったのは最近のことである¹⁻³⁾。それらの乾燥破壊の実験で問題となっているのは、「1. 乾燥破壊が進行して最終的に残る亀裂パターンの形状や特徴的な長さはどうなっているか?」と、「2. 亀裂はどのように発生し進行していくか」、の2点である。

Allain と Limat⁴⁾ はコロイド溶液を2枚のガラス板でサンドイッチし、その隙間から乾燥していつてできる亀裂を実験的に調べるとともに、「ひずみ場と水分の拡散場をカップルさせた」モデルに「すでに生成された亀裂のすきまのみから水分が蒸発する」という境界条件を課したシミュレーションもおこない、「2. 新しい亀裂は、すでにできている亀裂より一定間隔離れたところに発生する」し、「1. その間隔 r は厚さ h に比例($r \propto h$)する」、と導いた。

それに対し、小松・佐々⁵⁾は「蒸発は亀裂のすきまからのみではなくすべての表面から一様におこる」として「新たな亀裂が発生する前後の自由エネルギーの大小関係」を議論する Griffith 条件を調べ、「2. 亀裂の生成はまずは粗く割れ、その間に細かな亀裂が順次入っていき」、「1. 最終的に残った亀裂間の間隔 r は厚さ h に対して $r \propto h^{2/3}$ で与えられる」、と得た。

本報告では、上の2つの論文に対しどちらのメカニズムが正しいのか調べるために、以下のような乾燥破壊の実験をおこなった。

2 実験方法

実験方法は、まず一定量の炭酸カルシウム（もしくは炭酸水酸化マグネシウム）の粉末を水に溶かしてかき混ぜ、シャーレ（直径88mm、194mm、500mmの3種類）に流し込む。ちなみに、実験室全体の温度・湿度は一定（温度20°C、湿度40%）に保たれるように調整しておく。CCDカメラとタイムラプス・ビデオを用いて、乾燥に伴う亀裂の発生・進行を記録し、画像解析をする。

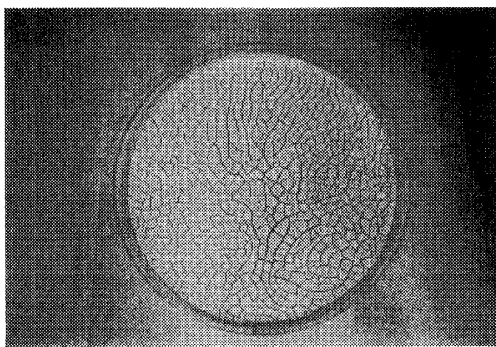
¹ E-mail: nakahara@phys.ge.cst.nihon-u.ac.jp

3 実験結果

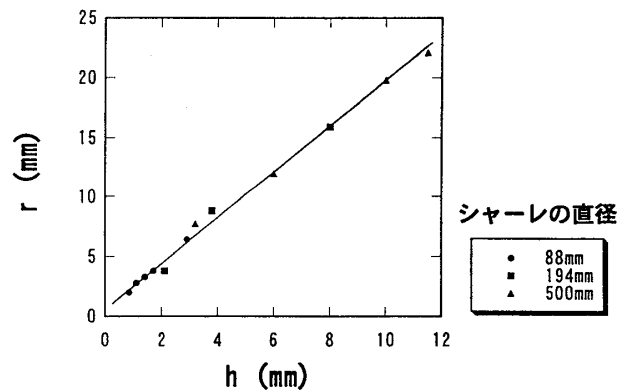
炭酸カルシウム、炭酸水酸化マグネシウムの両ケースとも、乾燥後のひび割れのパターンはサイズの差こそあれ基本的には図1(a)のようなセル構造になっている(タイプI)。ここで、図1(a)は、炭酸水酸化マグネシウム250gを水2000gで溶かし、直径500mmのアクリルシャーレに流し込み、乾燥亀裂の成長が終了した後(作成時より6日後)の写真である。しかし、後述するように、作成時の条件によっては、異方性をもった縞構造も得られた。

3.1 厚さの依存性

まず、「特徴的な長さがどう決まるか？」であるが、シャーレに入れる炭酸水酸化マグネシウムの粉末の量を制御して、厚みを変化させる実験をおこなった。ここで、炭酸水酸化マグネシウムの粉末と水は重量比1:8で溶かしている。シャーレ全体の面積を S 、セルの総数を N としたとき、特徴的な長さを $r = \sqrt{S/(\pi N)}$ で定義しよう。図1(b)は、特徴的な長さ r を最終的な厚さ h の関数として示したもので、結果として $r \propto h$ が再確認された。



(a)



(b)

図1: (a) 炭酸水酸化マグネシウムを用いた乾燥亀裂のセル状パターン、(b) 特徴的な長さ r を厚さ h の関数として表す。

3.2 パターンの形状

次は、パターンの形状の解析である。乾燥亀裂パターンは上述したように基本的にはセル構造をとるが、粉末として炭酸カルシウムを使い、大きいシャーレ(直径500mm)を用いて実験をすると、図2(a)のように縞状のパターンができやすいことが分かった⁶⁾。ちなみに、この場合の組成は、炭酸カルシウムが3000g、水が1500gである。縞状のパターンのできた原因は、シャーレに試料を流しこんだ直後にシャーレを縦方向にゆすったため、結果として乾燥が進むと横方向に縞模様の亀裂が優先的に成長したからである。これは、乾燥以前の液状の粉末に加えられた初期ひずみの情報が粉末に記憶されていたことを意味する。ちなみに、同じ組成の液状粉末の入ったシャーレを初期に意図的に数回まわしたところ、図2(b)のような放射状の亀裂パターンとなった。

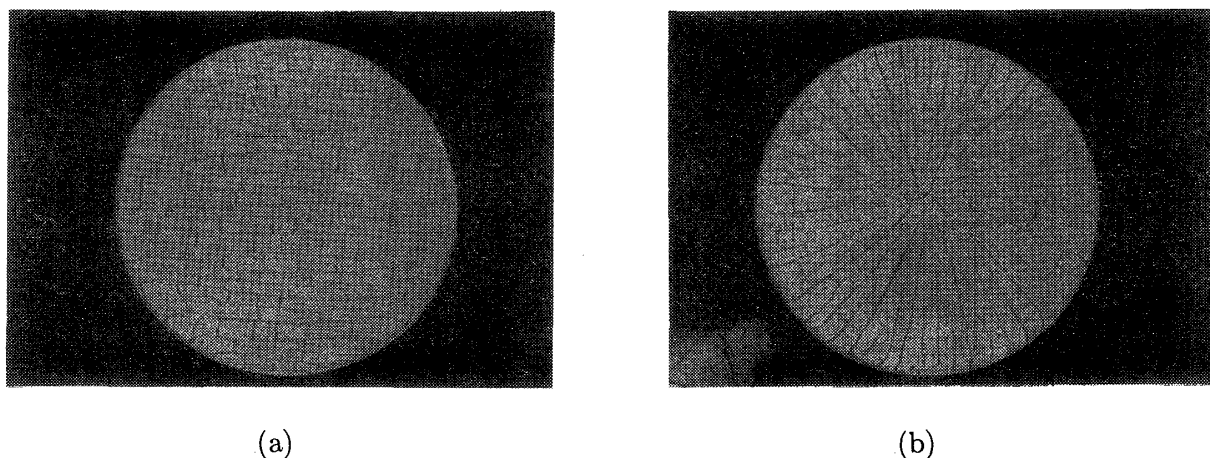


図 2: 炭酸カルシウムを用いたパターン (a) 縦方向にゆすった場合、(b) まわした場合。

3.3 クラックの時間発展

最後に、クラックの発生と成長をビデオを用いて解析した。例えば、図 2(b) の放射状亀裂パターンの形成過程を例にとると、図 3 のように、(a) まず境界から粗く亀裂が入り、(b) しだいに細かく亀裂が入っていく。そして、亀裂間の間隔が厚さの数倍程度までになると、今度はすでに生成された亀裂に垂直な方向にも亀裂が入り、最終的には図 2(b) のようになって破壊が終了することが分かる。

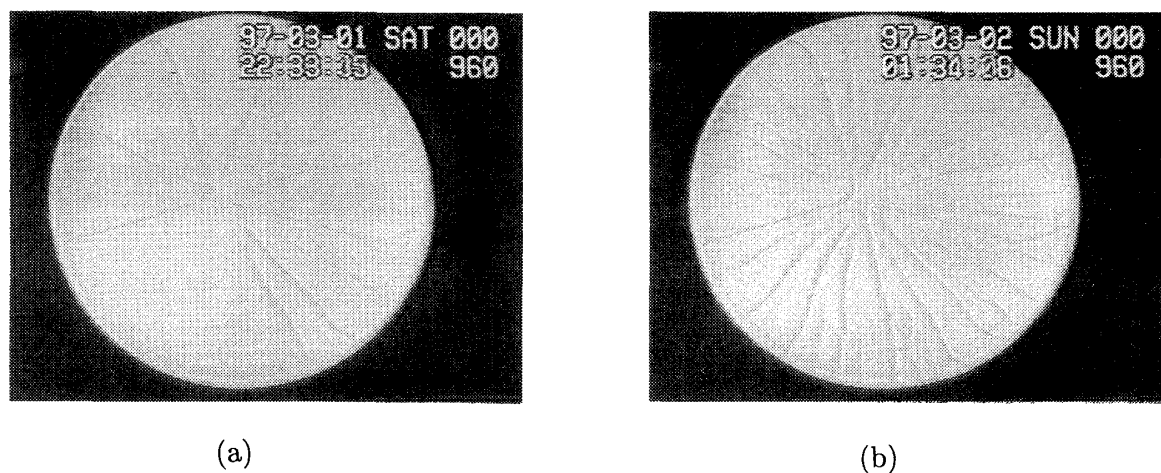


図 3: 亀裂パターンの発生・成長 (a)33 時間後 (b)36 時間後

3.4 まとめ

以上の実験結果によって、「1. 最終的な亀裂パターンの形状は基本的にはセルパターンであり、その特徴的な長さは厚さに比例する」、「2. 亀裂の生成はまずは粗く割れ、その間に細かな亀裂が順次入っていく」、ことがわかった。

参考文献

- 1) Y. Brechet, D. Bellet and Z. Neda, Diffus. Defect Data B., Solid State Phenom. (Switzerland) **42-43** (1995), 247.
- 2) A. Groisman and E. Kaplan, Europhys. Lett. **25** (1994), 415.
- 3) 水口毅、狐崎創、西本明弘、(private communication).
- 4) C. Allain and L. Limat, Phys. Rev. Lett. **74** (1995), 2981.
- 5) T. S. Komatsu and S. Sasa, Jpn. J. Appl. Phys. **36** (1997), 391.
- 6) 植松英隆, 中央大学理工学部・卒業論文 (1994).