



Title	Dynamical and Statistical Properties on Desiccation Crack Pattern
Author(s)	伊藤, 伸一
Citation	大阪大学, 2015, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/52296
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

論文内容の要旨

氏名 (伊藤伸一)

論文題名

Dynamical and Statistical Properties on Desiccation Crack Pattern
(乾燥亀裂パターンの動的および統計的な性質)

論文内容の要旨

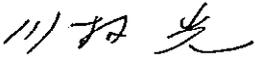
夏の暑い日に水田を観察すると、地面が干上がってできるひび割れを見る事ができる。このような粉-水混合系(ペースト)の乾燥亀裂の時間発展は比較的ゆっくりで、その統計的性質は時間で変化する事が予想できる。例えば破片サイズ分布に関しては、乾ききった終状態の分布形は乾燥している途中の履歴に依存しているはずで、その終状態の分布形から乾燥の履歴などを読み取る事ができるかもしれない。しかし、履歴を考慮した乾燥亀裂パターンの統計的性質はおろか終状態の分布形すらこれまであまり調べられていなかった。乾燥亀裂パターンの時間発展する統計的性質を調べる事は、パターンの予測・制御に対しても重要な知見になり得るので、それを調べる事は重要である。本研究では乾燥破壊パターンの理論モデルの解析を行ない、実際の実験と比較して、その妥当性を検証した。

はじめに、時間の線形関数の乾燥応力(水の蒸発により発生する負圧)を考慮した粘弾性体でペーストを表現し、smoothed particle hydrodynamics (SPH)法を用いた連続体シミュレーションによって計算機上で時間発展する亀裂パターンを再現した。そして、そのパターンの時間発展から、平均破片サイズの時間発展と破片サイズ分布の時間発展を得た。結果として、平均破片サイズは時間に反比例して減衰する事がわかった。さらに、時間発展する破片サイズ分布はその平均破片サイズでスケールする事で時間不変の分布形へ収束する事がわかった。この法則を破片サイズ分布の動的スケールリング則と呼んでいる。

次に、動的スケールリング則が実現する要因を調べる為、乾燥破壊過程を確率過程でモデル化した。その確率過程はGibratの確率過程に前述の乾燥収縮モデルから計算される破片の寿命を取り入れる事でモデル化される。そのモデルは確かに破片サイズ分布の動的スケールリング則を再現する。さらにその確率モデルのマスター方程式のスケールリング解析から動的スケールリング則の成立条件を導く事ができ、動的スケールリング則が成立するためには乾燥応力が時間のべき関数でなければならない事が示される。さらに乾燥応力が時間のべき増加関数で与えられる場合、平均破片サイズはそのべきの負のべき関数で減衰する事が理論的に示される。これはSPH法による連続体計算の結果と整合している。

最後に、炭酸水酸化マグネシウム粉体と水の混合ペーストの乾燥破壊実験を行なった。実験で得られたパターンの写真の時系列を解析し、理論で予測された動的スケールリング則が成立する事を確認した。動的スケールリング則が成立している時間領域では平均破片サイズは時間のべき関数で減衰している事が確認された。

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (伊藤 伸一)			
	(職)	氏 名	
論文審査担当者	主 査	教授	川村 光 
	副 査	教授	中嶋 悟
	副 査	教授	長峯 健太郎
	副 査	教授	菊池 誠
	副 査	准教授	湯川 諭
論文審査の結果の要旨			
<p>水たまりの泥が乾燥したときに見られるひび割れや、古い絵画にかけられたニスのひび割れなど、自然界には、残留応力が経時変化とともに相対的に大きくなることで、ひび割れという破壊に至る現象が多く見られる。これらの破壊現象は工学的観点からはもちろん、理学的観点からもよく調べられているが、完全に理解されたという段階にはまだ至っていない。</p> <p>そのような状況を踏まえ、伊藤伸一氏の博士論文では、泥などの、液体と粉体の混合ペーストが乾燥する際にひび割れていく現象の非平衡統計物理学的理解を目指して研究が行われた。特に、ひび割れで生じる破片分布の動的および統計的性質を解明することを目的として研究が行われた。まずペーストを粘弾性体としてモデル化し、Smoothed Particle Hydrodynamics 法 (SPH法) という数値計算手法で連続体方程式を解いた。その結果、破壊パターンとそのダイナミクスを再現することに成功した。また、破片の大きさ分布を時々刻々計算し、その時間に依存した分布を、破片の大きさとその時刻の平均値で割った新たな変数で書き直すことで、分布が時間によらない一つの分布関数としてかけることを見いだした。これを動的スケーリング則と呼ぶ。乾燥破壊過程における動的スケーリング則は、理論的にも、実験的にもこれまでに知られていなかった新しい性質である。また、動的スケーリング則の起源を理解するために乾燥破壊過程を確率過程としてモデル化し解析することで、動的スケーリング則の起源が乾燥応力の時間変化の性質に帰着できることを示した。さらに確率過程の解析より、破片の大きさの分布関数の小さなサイズのところでの振る舞いが破壊の素過程における分裂比分布と直接対応していること、また分布関数の大きいサイズでの振る舞いが乾燥応力の時間変化の振る舞いと対応していることを発見した。この結果は、現在の破片の大きさ分布を観測することで、破壊の素過程や内部応力のダイナミクスの情報が得られることを示しており、広い分野への応用が期待できる。また、実際に乾燥破壊過程の実験を行うことで、上記の性質の存在を実験的に確認しており、理論的な研究に止まらない成果を得ている。よって、本論文は博士 (理学) の学位論文として十分価値あるものと認める</p>			