

物理的モデルに基づくひび割れパターンの発生

広田 光一[†] 星野 直昭[†] 金子 豊久[†]

ひび割れは、自然物・人工物を問わず、その破壊の過程で生じる最も一般的な現象のひとつである。本研究では、ひび割れのパターンを力学的なシミュレーションにより発生させることを目的とする。ここでは、ひび割れ現象のモデル化に、バネ-マスによるメッシュモデルを応用した。ひび割れは、対象を構成する微小領域の結合が破断することで発生すると考えられる。このモデルでは、対象を微小領域の集合と見なし、この微小領域はノードで代表され、微小領域間の結合力がノードをつなぐバネで表現されるものとした。ひび割れの進展は、一般には物体全体の形状や状態と切り離すことのできない現象であるが、本研究では、表面部分のみに注目したモデル化を試みた。すなわち、ひび割れの発生する表層とひび割れの到達しない深層とを仮定し、両者の相対的な滑りにより表面での応力が発生しひび割れを生じる。このようなモデルに基づくシミュレーションにより、ひび割れのパターンが発生でき、また、物理的特性を変化させることで、これに応じたパターンが生成されることを示した。

Generation of Crack Patterns Based on a Physical Model

KOICHI HIROTA,[†] NAOAKI HOSHINO[†] and TOYOHISA KANEKO[†]

The appearance of cracks is a common phenomenon in the process of the destruction of both natural and artificial objects. In this paper, we will discuss our approach to simulating this phenomenon and generating realistic crack patterns on the basis of a physical model. The simulation model that we propose consists of nodes that represent infinitesimal volume elements on the surface of an object and springs that represent the effects of the physical connection between these elements. The fragmentation of the material is expressed by the cutting of springs. As a simple example, we applied this model to the drying process of something like mud, and confirmed that it is capable of generating cracks similar to real ones, and that the generated pattern can be varied by changing the model parameters.

1. はじめに

ひび割れは、自然物・人工物を問わず、その破壊の過程で生じる最も一般的な現象のひとつである。本研究では、ひび割れのパターンをシミュレーションにより発生させることを目的とする。ひび割れは、模様として幾何学的立場で観察されがちであるが、この現象は本来、破壊という物理学的現象としてとらえられるべきものである。

ひび割れは、構造物の強度に重大な影響を与えることから、これまで材料力学・構造力学などの領域で研究が行われてきた。このような領域では、ひび割れの発生および進展に関して破壊力学に基づくモデル化が行われているが、これは構造物の強度の観点に立ったものであり、ひび割れのパターンに注目したものはなかった⁷⁾。

ひび割れパターンの発生に関する物理的なシミュレーションとしては Meakin ら⁶⁾によるものが知られている。この中では、粒状性を持つポリスチレン膜がガラス板に挟まれた状態で発生するひび割れパターンについて検討が行われ、計算機シミュレーションによっても同様のものが得られることが示されている。また、膜を表現するための物理モデルとして、バネによるメッシュモデルが提案されている。しかしながら、Meakin らにより議論されている対象は粒状性の仮定および境界条件に関して特殊な状況といわざるを得ない。また、フラクタル性に言及しているが、脆性材料の破断面の直線性からも明らかなように、一般のひび割れパターンがフラクタル的であるとは考えにくい。同様のバネモデルについて千葉らも検討を行っているが、実用的な結果が得られたとはいいがたかった⁸⁾。

破壊現象を CG として再現するための試みとしては、Norton らの研究⁴⁾が知られている。この中では、バネモデルにより物体内部の応力を計算し、これに基づいて破壊現象がシミュレートされている。

[†] 豊橋技術科学大学情報工學系
Department of Information and Computer Sciences,
Toyohashi University of Technology

一方、CG を目的としてひび割れのパターンに注目した研究としては、千葉らによる試み¹⁾が知られている。この中では、焼き物などに見られるひび割れの幾何学的特徴を抽出し、これを再現する手続きを定義する手法が提案されている。この方法は、部分的に物理学的要素は採り入れているものの、基本的には幾何学的モデルであり、本研究が目的としている物理学的モデルとは異なるアプローチであると考えられる。

後述のように、木の皮の模様などもひび割れ現象により発生するものと考えられるが、これらに関しては、テクスチャマッピングを応用した方法などが知られている^{3),5)}。また、セルラ・テクスチャ²⁾を利用して木の鱗片を表現する試み⁹⁾もなされている。

筆者らは、はじめに述べたように、ひび割れは純粋に力学的現象としてとらえられるべきであるとの立場から、これをモデル化し、シミュレートする方法に関する検討を行った。一般に、ひび割れの亀裂先端については、微小な領域に応力の集中が著しいことから、そのモデル化は容易でない。とくに有限要素法によって現象を解析する場合は、亀裂先端領域のメッシュを十分に細かく分割する必要があることが指摘されている。また、材料の性質によっては塑性変形領域を仮定したモデル化が行われる。

しかしながら、本研究の目的は、材料に関する精密なモデル化ではなく、むしろ、意図したひび割れパターンをCG を目的として発生させることにある。この立場に立って考えた場合に物理的なモデル化の持つ利点としては、挙動が物理的なパラメータによって規定されること、その挙動を物理的な手段により予測することができること、などがあげられる。

2. ひび割れの物理的モデル化

ひび割れは物体内部の応力の高まりにより、物体を構成する材料に破断が生じることで発生する。このように内部に応力が発生する原因としては、外力の作用と内力の発生とがある。内力の発生は主に材料の不均一な膨張や収縮によって発生し、その原因としては、温度、変質、成長などがある。温度を原因とする場合としては温度差または熱膨張率の違いなどが考えられ、また、変質に関しては、乾燥、化学的变化などが考えられる。また、これらの典型的な例として、それぞれ道路などの表面、焼き物、泥やペンキの表面、木の皮の模様などがあげられる。

多くのひび割れは物体の表面部分のみで発生することから、本研究では表面部分のみに注目したモデル化を試みた。ひび割れは、対象を構成する材料内部の結

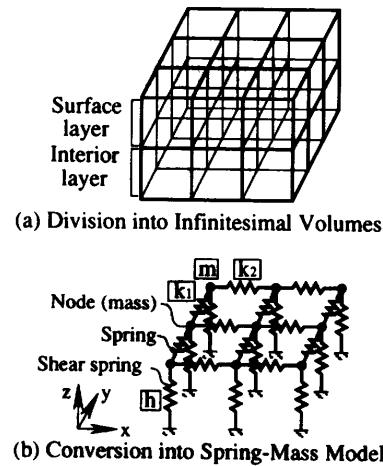


図1 ひび割れ生成のための材料のモデル
Fig. 1 A model of the material.

合が破断することで発生すると考えられる。ここでは、対象を微小領域の集合と見なし、この微小領域はノードで代表され、微小領域間の結合力がノードをつなぐバネで表現されるものとした(図1)。また、深さの方向に関しては、ひび割れが発生する表層およびひび割れが到達しない深層の2層に分けることができるものとした。表層は上述のようなノードとバネによる2次元メッシュで表現され、微小領域の変形に相当するノードの移動はその面内(x-y面内)で生じるものとした。さらに、表層の微小領域相互の結合だけでなく、表層と深層との結合も考慮する必要がある。両者の間には相対的な滑りに対して拘束的な力が発生する必要があることから、この2層を相互に結合する剪断バネが仮定された。

ひび割れの発生は結合の破断を意味し、これは、バネモデルにおいてはバネの破断として表現される。現実の材料の破断の条件は材質などにも依存し、また、応力集中などの効果もあるため単純ではないが、ここではバネの伸び率の限界を定め、これを超えた場合に破断と見なすことにした。これは、歪みに基づく破断をモデル化したことに相当する。また、材質の不均一性がひびの進展に影響を与えることが予想される。ここでは、これを材料強度の分布、すなわち破断条件のばらつきとして与えることとし、このばらつきはガウス分布に従うものとした。

次に、材料の挙動に関する時間的シミュレーションについて考える。このモデルでは、比較的ゆっくりとした内部歪みの変化と、ひび割れの進展などともなう時間的にも空間的にも微小な振舞いとを両方を扱う必要がある。前者は材料の変形や成長ともなうもので、バネの自然長の変化などにより実現される。以下

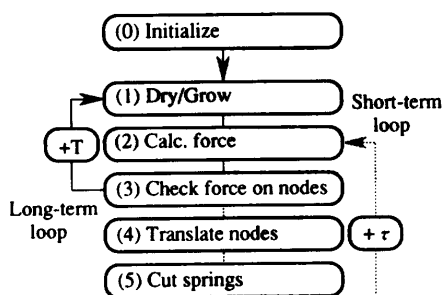


図2 シミュレーションの手順
Fig.2 Calculation flow of simulation.

の例では材料の縮小を仮定しており、これはバネ自然長の減少で表現された。なお、木の皮などのように成長にともなうひび割れの場合については深層のノード間隔の拡大などで表現できると考えられる。一方、後者は微小領域の変形を差分計算で解くことにはかならず、このための離散時間の刻みは前者に比べてはるかに小さいのが普通である。この点を考慮して、ここでは、ノードの移動にともなう短い時間経過と、膨張・縮小にともなう長い時間経過の2つの時間に基づいてシミュレーションを行うものとした(図2)。また、上述の差分計算における振動の発生を抑えるために、ノードの移動にともなう粘性抵抗が仮定された。

以下では、モデルの計算の詳細を述べる。

(0) モデルの初期化

はじめに、材料の物理的性質をモデルに反映させる。シミュレーションの条件として与えられるものは、ひび割れの発生する表層の厚さ H [cm]、微小要素の大きさ W [cm]、長期の時間間隔 T [s]、短期の時間間隔 τ [s]、長期の単位時間に対する収縮率 γ [-]、シミュレーションに許容される変位誤差 δx [cm] である。変位誤差は、歪みによるバネの切断における精度を規定する。

一方、物体の性質を規定する物理的パラメータとしては、物体の密度 ρ [g/cm³]、ヤング率およびせん断弾性係数 E, G [g/s²/cm]、破断の条件として最大伸び率の平均値 $\bar{\kappa}$ [-] およびその単位面積での平均値に関する標準偏差 σ [/cm] である。これらをもとに、バネモデルの定数を以下のように決定する。

まず、バネのバネ定数を、微小領域の引っ張りおよび剪断変形を考慮して以下のように求める(図3)。

$$k = \frac{AE}{l_0}, \quad h = \frac{BG}{H}$$

ここに、 A および B はバネにより表現される結合面の面積、 l_0 は2つの微小領域を代表するノードの自然状態での間隔であり、これらはいずれも要素の大

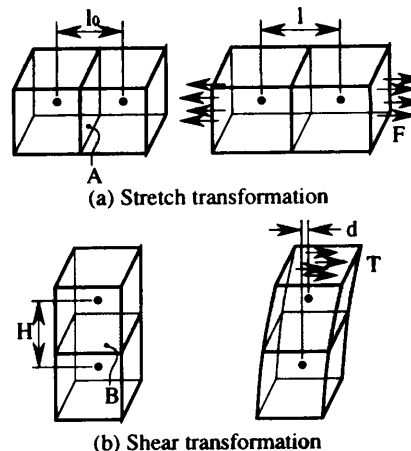


図3 変形に関連するパラメータの反映
Fig.3 Reflecting physical parameters on to spring constants.

きさ W および H より求められる。なお、 l_0 は表面ノード間を結ぶバネの初期の自然長にほかならない。次に、個々のバネ i の最大の伸び率を次で与えた。

$$\kappa_i = \bar{\kappa} + \frac{\sigma}{\sqrt{A_i}} \text{Gauss}()$$

ここに、 $\text{Gauss}()$ は正規化されたガウス分布乱数を発生する関数である。 σ を $\sqrt{A_i}$ で除しているのは、分散 σ^2 の母集団からサンプル数 A を取り出したときその平均の分散が σ^2/A となることに基づくものである。なお、せん断バネは破断しないものとした。

ノードの質量 m [g] は、要素の体積と密度の積で求められた。また、ノードの持つ粘性抵抗 c [g/s] は以下のように決定された。

$$c = 2\sqrt{k_{\max} \cdot m} \times \alpha$$

これは、係数 α が1.0の場合に質量 m およびバネ k_{\max} よりなるバネ-マス系を最も速やかに収束させるためのダンパの定数となる式であるが、実際には、1つのノードには様々な方向から複数のバネが接続され、さらにこれらがネットワークをなしていることから、その挙動を解くことは不可能である。ここでは、経験的に安定となる $\alpha = 20.0$ [-] とした。なお、 k_{\max} はノードに接続されているバネのバネ定数のうち最大のものを指す。

モデルの安定については、各ノードが受ける力の総和を観察することで判断することができる。すなわち、完全につりあった状態ではノードに現れる力は0となる。ここではこの力に許される誤差 δF を、変位に許される誤差 δx から以下のように換算した。

$$\delta F = k_{\min} \times \delta x$$

ここに、 k_{\min} はノードに接続されているバネのバネ

定数のうち最小のものを指す。すなわち、最も弱いバネについて δx の位置誤差を生ぜしめる力を求めており、複数あるいはより強いバネが結合されているノードにおいても十分に厳しい条件となっている。

(1) 材料の収縮

材料の収縮は $x-y$ 面内のバネの自然長を縮小させることで表現される。以下の実験においては、時間 t における初期状態に対する収縮率 $r[-]$ は次のようになる。

$$r(t) = \gamma^{t/T}$$

ここに、 T は長期の時間間隔、 γ は長期の単位時間に対する収縮率であった。

(2) 力の計算

表層ノード i が受ける力 F_i は、これに接続されているバネが発生する力の総和として計算される。

$$F_i = - \sum_j k_{ij} \frac{\mathbf{x}_i - \mathbf{x}_j}{|\mathbf{x}_i - \mathbf{x}_j|} (|\mathbf{x}_i - \mathbf{x}_j| - l_{ij0}) - h(\mathbf{x}_i - \mathbf{X}_i)$$

ここに、右辺の第1項は隣接する表層ノードとの結合により発生する力であり、 j はすべての隣接する表層ノードを指す。第2項は深層ノードとの結合による力である。 \mathbf{x} および \mathbf{X} はそれぞれ表層および深層のノードの $x-y$ 平面における位置である。

(3) 安定の判断

すべての表層ノードに発生している力の大きさが δF より小さくなった場合に安定したものと見なされる。

$$\forall i: F_i < \delta F \rightarrow \text{Stable}$$

モデルが安定していれば、現在の収縮率ではこれ以上ノードの移動にともなうバネの切断はないと考えられるので、長期の時間を進め材料を収縮させる。

(4) ノードの運動の計算

得られた力に対してノードの位置は次のように更新される。これは、粘性抵抗を持つ質点に一定の力が作用した場合の運動を解析的に解いたものである。

$$\begin{aligned} v_i &= v_i^p + (v_i^p - \frac{F_i}{c}) \left\{ \exp\left(-\frac{c}{m}\tau\right) - 1 \right\} \\ x_i &= x_i^p + (v_i^p - \frac{F_i}{c}) \left(-\frac{m}{c}\right) \\ &\quad \left\{ \exp\left(-\frac{c}{m}\tau\right) - 1 \right\} + \frac{F_i}{c}\tau \end{aligned}$$

ここに、肩付き p は、短い時間間隔 τ だけ前の値を意味する。なお、 m はノードの質量、 c はノードの持つ粘性抵抗の係数、 τ はシミュレーションの短期の時間間隔であった。

(5) バネの切断

このように与えられた κ_i に基づくバネ i の切断の条件は次で表現される。

$$l_i > \kappa_i \cdot l_{0i}$$

ここに、 l_i および l_{0i} はそれぞれ現在のバネの長さおよび自然長である。バネの切断は、バネ定数を0とすることで等価的に実現された。なお、せん断バネの破断は生じないものとした。

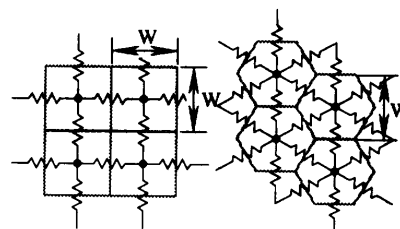
3. ひび割れの発生

ここでは、以上の力学的シミュレーションに基づくひび割れの発生と、そのパターンの描画について述べる。シミュレーションの実行に先立ち、まず、バネのネットワークの構造がパターンに与える影響について検討するために、材料を正四角形および正六角形の微小領域で表現するモデルを実現した。すなわち、各々周囲の4ノードおよび6ノードとの間にバネによる結合を持つモデルが試作された(図4)。

次に、各々のモデルについて、発生したひび割れの描画方法を検討した。ここでは、ひび割れの幅は、破断したバネに相当する長さからそのバネの持つ自然長を差し引いたものであると考え、また、切り口はバネの中央部に発生するものとする(図5)。バネにより囲まれる三角形(六角形要素の場合)または四角形(四角形要素の場合)に注目し、もし、バネが1つだけ切断されている場合には、この領域を囲むノードの重心位置を端点と見なす。2つのバネが切断されている場合については、切り口を相互に直線的に結ぶ。3つ以上が切断されている場合には、重心位置でひび割れが交差しているものとする。

この描画アルゴリズムに基づいて表現されたひび割れについて、モデルの構造やパラメータの違いなどにともなうパターンの変化を観察した。なお、以下の実験では断りのない限り以下のパラメータを用いた。

$$\begin{aligned} E &= 1.0 \times 10^6 && [\text{g/cm/s}^2] \\ G &= 2.0 \times 10^5 && [\text{g/cm/s}^2] \\ \kappa &= 1.02 && [-] \\ \sigma &= 0.001 && [\text{/cm}] \end{aligned}$$



(a) Square model (b) Hexagonal model

図4 結合の幾何学的構造
Fig. 4 Topology of connections.

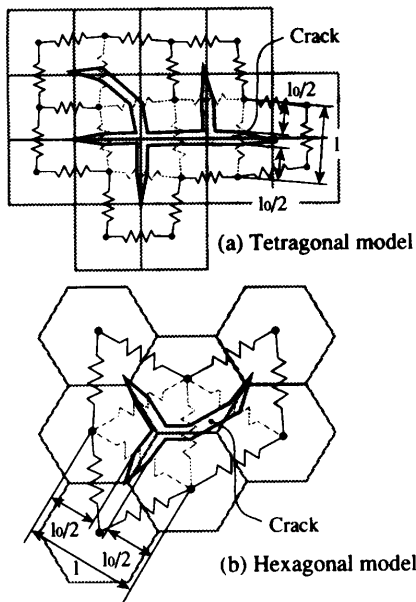


図5 ひび割れの視覚的表現
Fig. 5 Visualization of cracks.

$$\begin{aligned} \gamma &= 0.9999 \quad [-] \\ \tau &= 0.001 \quad [s] \\ \delta &= 0.0001 \quad [cm] \end{aligned}$$

まず、モデルの構造の違いに関して考えると、四角形微小領域によるモデルでは、比較的縦横方向のひびが目立ち、また、ひびの連鎖が短く細かい模様が発生しがちであることが分かる (図6(b))。四角形モデルのこのような欠点はこのモデルが面内での剪断力を表現できないことに由来していると考えられる。これに対して六角形微小領域によるモデルは比較的等方的なひび割れが発生している (図6(a))。

次に、パラメータの変化について考えると、ヤング率などの値を変化させることで、ひび割れの細かさを変化させることが可能であることが確認された (図6(c), (d))。

さらに、非等方なひびの表現について検討した。非等方パターンは材料の非等方性由来すると考えられ、材料の硬さや強さに方向性を持たせることで非等方な

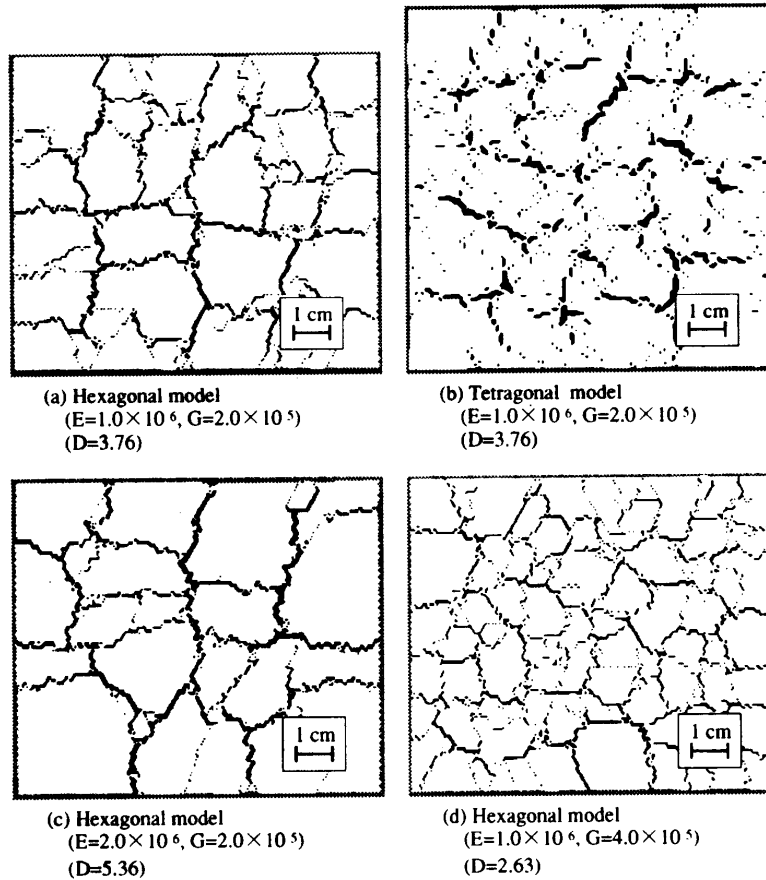


図6 パラメータの違いによるひび割れパターンの変化
Fig. 6 Variation of generated patterns due to the change in physical parameters.

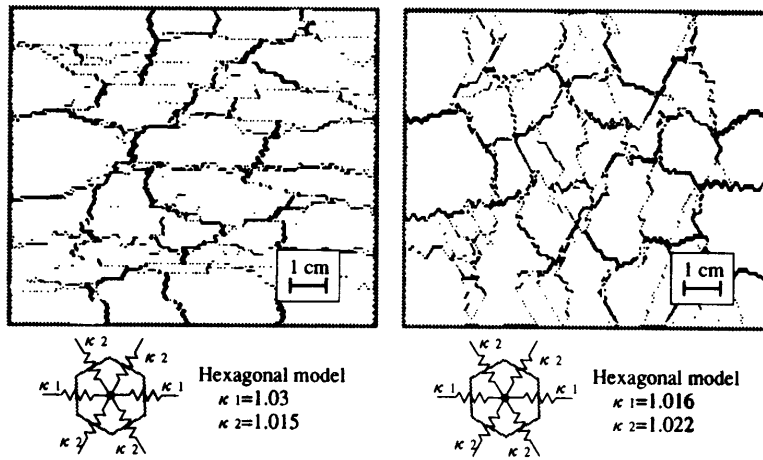


図7 非等方なひび割れの発生
Fig. 7 Examples of cracks on non-isotropic materials.

材料に発生するひび割れパターンをシミュレートすることが期待される。図7は、バネの最大伸び率 κ に方向性を持たせることで、方向性のあるひび割れを発生させたものである。

4. 議 論

4.1 ひび割れ間隔の予測

CGにおけるひび割れパターンの生成を目的とする場合、期待するパターンの性質をモデルのパラメータに容易に対応づけることが必要である。以上でシミュレートしたひび割れには、これを特徴づける量として、ひび割れに囲われる領域の大きさをあげることができる。これは、バネの係数 k および自然長 l_0 、深層部のノードの間隔 L 、破断の際の伸び率 κ などから決定されると考えられる。ここでは、このような系の振舞いを1次元のバネモデルに単純化して考える(図8)。いま、 $2N$ 個のバネが連なっているとすると、このときに釣合いの式とバネの変位-力関係は次のように表現される。

$$F_n = k(L - l_0 - d_n + d_{n-1}) \quad (n = 1 \sim N)$$

$$F_n - F_{n+1} = hd_n \quad (n = 1 \sim N)$$

$$d_0 = 0, \quad F_{N+1} = 0$$

ここに、力学的な対象性から、中心ノードでの変位 d_0 が0となり、また、方程式を片側のみについて解くことが許される。この結果、各ノードの変位は次のように与えられる。

$$d_1 = k(L - l_0) / \left\{ (k + h) \frac{\alpha^N - \beta^N}{\alpha - \beta} - k \frac{\alpha^{N-1} - \beta^{N-1}}{\alpha - \beta} \right\}$$

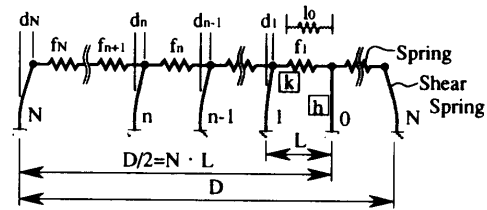


図8 1次元モデルによる挙動の解析
Fig. 8 Analysis of the behavior of the model.

$$d_N = \frac{\alpha^N - \beta^N}{\alpha - \beta} d_1$$

なお、 α および β は k および h より次のように計算された値である。

$$\alpha, \beta = \left(1 + \frac{h}{2k}\right) \pm \sqrt{\left(1 + \frac{h}{2k}\right)^2 - 1}$$

さて、バネがこのように $2N$ 個の連なって表現されている領域で破断が生じないための条件は次のように考えることができる。まず、このような系では、バネに作用する力が領域の中心部で最大となる。したがって、バネの伸び率も中心部で最大となり、破断が発生するとすると、この中心部に生じることになる。そこで、破断が生じないための限界の条件は、中心ノードに接続されているバネの伸び率が最大伸び率に等しいというもので、次のように表現される。

$$(L - d_1) / l_0 = \kappa$$

これらの関係式をもとに、バネ定数などのモデルパラメータから、 N の値を解析的に求めることは難しいと考えられるが、近似解は繰り返し計算により容易に得られ、この N の値より、ひび割れの間隔 D は $D = 2N \cdot L$ で与えられる。また、このときのひび割れの開口部の幅 w は、 $w = 2d_N$ と見積もられる。図6および図9の中に示した D の値は、このようにして

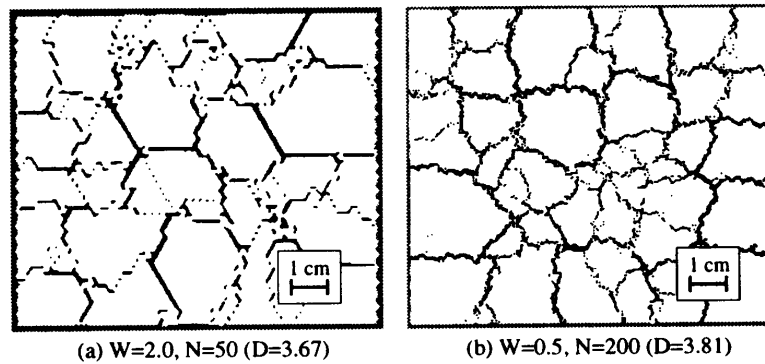


図9 モデル精度の影響

Fig. 9 Change in the scale of mesh.

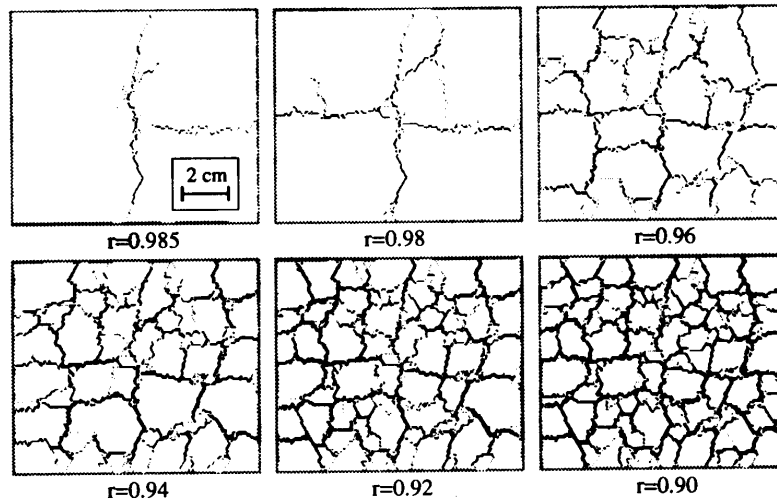


図10 ひび割れの成長過程

Fig. 10 Growing process of cracks.

求めたものである。実際に得られた映像から観測される値より幾分大きなものとなっているが、ひび割れの性質を表現する有効な指標であると考えられる。

4.2 メッシュスケールへの非依存性

物理的なモデルを利用することの利点として、現象を物理的なパラメータのみで記述できることをあげた。これは、シミュレーションの精度、ここではすなわちモデルを構成するノードの間隔に依存せず、様々なスケールのメッシュで同様な性質を持つ結果が得られることを意味する。このような特徴は、精密で時間を必要とするシミュレーションに先立つプレビューなどへの利用が期待される。ただし厳密には、ノードによる表現から発生する誤差の程度がスケールによって異なってくることから結果に違いを生じることになる。ここでは、様々なスケールのメッシュで計算を行い比較することで、類似の結果が得られることを確認した(図9)。このような結果は、上述の1次元モデルによる解析に基づくひび割れ間隔の予測結果(D の値)か

らも期待されたものである。

4.3 ひび割れ成長過程の表現

このモデルのもうひとつの特徴として成長モデルであることがあげられる。成長モデルであるとは、最終的なひび割れ形状の幾何学的パターンだけでなく、その生成の過程を時間を追って生成することができることを意味する。たとえば、図10は上述のアルゴリズムに基づくひび割れについてその成長過程を時間を追って記録したものである。このような特徴は、このモデルのアニメーションへの応用の可能性を示唆するものである。

5. おわりに

本論文では、物理モデルによるひび割れのシミュレーション手法を提案し、これを物体の表層のみに注目したモデルとして実現した。また、実験および理論的計算を通して、このモデルの振舞いが理解された。

その一方で、このモデルの表現力に関する検討は、

今後の課題である。ひび割れパターンの性質に影響を与える要因として、最も代表的なものは材料の脆性である。脆性とは材料に作用する応力が降伏点を越えたときに塑性変形を生じないで破断する性質で、ガラスに代表される典型的な脆性材料では、ひび割れの破断面が直線的になることが知られている。ここで述べた実験では、破断に至る伸び率にばらつきを与えることで、脆性を下げている。脆性材料における直線的なひび割れの表現については、千葉らによる幾何学的な方法¹⁾により良好な結果が得られているが、このようなパターンの物理的なモデルによる再現は今後の研究の興味のひとつである。これに対して、脆性の低い材料におけるひび割れについては実用的なレベルで検討された例は知られておらず、本研究の成果のひとつと考えている。

参考文献

- 1) 千葉則茂ほか：ひび割れの行動モデルとそのCGへの応用，電子情報通信学会論文誌，Vol.J73-D-II，No.10，pp.1742-1750 (1990).
- 2) Fleischer, K.W., et al.: Cellular Texture Generation, *Proc. SIGGRAPH '95*, ACM, pp.239-248 (1995).
- 3) Musgrave, F.K., Peachey, D. and Steven: *Texturing and Modeling - A Procedural Approach*, Academic Press (1994).
- 4) Norton, A., et al.: Animation of Fracture by Physical Modeling, *Visual Computer*, Vol.7, pp.210-219 (1991).
- 5) Oppenheimer, P.E.: Real Time Design and Animation of Fractal Plants and Trees, *Computer Graphics*, Vol.20, No.4, pp.55-64 (1986).
- 6) Skjeltorp, A.T. and Meakin, P.: Fracture in Microsphere Monolayers Studied by Experiment and Computer Simulation, *Nature*, Vol.335, pp.424-426 (1988).
- 7) 矢川, 吉村: 計算力学とCAEシリーズ1: 有限要素法, 倍風館 (1991).
- 8) 佐藤, 千葉ほか: 樹木のCGシミュレーション

のための樹皮のひび割れの成長モデル, 平成2年度電気関連学会東北支部連合大会論文集, p.291, 情報処理学会 (1990).

- 9) 村岡, 千葉: 樹木のビジュアルシミュレーションのための一樹皮生成法, 平成7年度電気関連学会東北支部連合大会論文集, p.359, 情報処理学会 (1995).

(平成8年5月24日受付)

(平成8年9月12日採録)



広田 光一 (正会員)

1988年東京大学工学部産業機械工学科卒業, 1990年同大学院産業機械工学専攻修士課程修了, 1994年同博士課程修了, 1995年豊橋技術科学大学情報工学系助手. 日本機械学会, 計測自動制御学会各会員.



星野 直昭 (正会員)

1996年豊橋技術科学大学工学部情報工学科卒業, 同大学院修士課程在学中.



金子 豊久 (正会員)

1962年東京大学工学部電気工学科卒業, 1964年同大学院電気工学専攻修士課程修了, 1970年プリンストン大学電気通信工学博士課程修了 (Ph.D.), 同年IBM入社ワトソン研究所研究員, 1982年日本IBM東京基礎研究所・サイエンティフィックセンター長など歴任, 1994年豊橋技術科学大学情報工学系教授. 主に医用画像処理とCGの応用に関する研究に従事. ACM, IEEE, 電子情報通信学会各会員.