

1P-6

3次元曲面上で動作する ひび割れの行動モデル

千葉 則茂, 和田 誓一
岩手大学

1. はじめに

これまで筆者らの一部は, 2次元平面上で動作するひび割れの行動モデルと, それによるひび割れ形状のシミュレーションのCGへの応用例を文献[海野88]によって報告してきた. ひび割れ形状をCGに応用するためには, テクスチャマッピング手法によるのが容易である. しかしながら, テクスチャマッピングは物体形状にうまく合わせることが難しく, さらに実際のひび割れ自体が物体形状に依存した形状をもつため, 3次元物体表面上で直接動作する行動モデルが開発されることが望ましい.

本報告では, まずこれまでのひび割れの行動モデルによる陶磁器のうわ薬にできるひび割れのシミュレーションについて述べ, 次にその行動モデルの3次元物体表面上で動作する版への拡張について述べる.

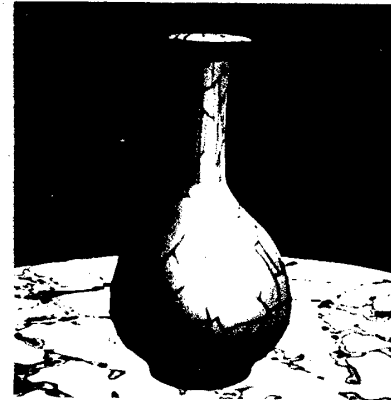


図1 壺の表面にマッピングしたひび割れ形状

2. ひび割れの行動モデル

筆者らは文献[海野88]などで, [平田75]で述べられているひび割れの性格と筆者らの解析によるひび割れの特徴にもとづき以下のようなうわ薬のひび割れの行動モデルを提案した.

ひび割れ形状は材質の粘着性に依存するため, モデルは粘着性のパラメータ η ($0 < \eta < 1$)を用いて記述されている. うわ薬の場合は $\eta = 1$ として得られる. 行動モデルは以下の仮定に従っている.

仮定1 初期割れ目の発生

$\eta \sim 0$ のときはY字型の初期割れ目が多く発生し,
 $\eta \sim 1$ のときは縁または割れ目から垂直に初期割れ目が発生する.

仮定2 割れ目の先端は分岐せず, 成長速度は変化しないとする.

仮定3 割れ目の先端が成長するときにはランダムな力, クーロン反発力および境界に垂直に入るように働く力の3種類の力を受ける. 特に,
 $\eta \sim 0$ のときはランダムな力.

$\eta \sim 1$ のときはクーロン力を主としてうける.

仮定4 割れ目の先端の数 N と交点の数 M の比 M/N は η の増加と共に減少する. 特に,

$\eta \sim 0$ のとき $M/N \sim 1$,
 $\eta \sim 1$ のとき $M/N \sim 0$, である.

仮定5 割れ目の成長は再帰的である.

これらの仮定にもとづいた行動モデルにより発生させたひび割れ形状を, 陶磁器のうわ薬のひび割れのシミュレーションに応用した結果を図1に示す. これは, テクスチャマッピング手法により壺にひび割れ模様を張り付けたものである. 首の部分で縮みが発生しているのが確認できよう.

A Behavioral Model of Cracks Working on a 3D Surface.

Norishige CHIBA Seiichi WADA

Iwate University

3. 曲面上モデルへの拡張について

陶磁器の表面のうわ薬にできたひび割れを観察すると、うわ薬の厚さに関係した以下のようないくつかの特徴が確認できる。

- ・ひび割れが開口部の縁と垂直に交差する。これは、開口部の縁においてうわ薬が非常に薄くなっており、縁が既存のひび割れと同様に振舞うためと考えられる。
- ・厚さの異なる領域の境界に沿ったひび割れが発生しやすい。これは、うわ薬の垂れ下がりにより極端にうわ薬の薄い部分が生じ、その境界に垂直な張力が働くためと考えられる。
- ・うわ薬の厚さにより、ひび割れのスケールが異なる。すなわち、形状の相似性の法則とでもいえるものが成立している。

以上のような特徴から、陶磁器表面のひび割れは、うわ薬の厚さと密接な関係があることがわかった。したがって、行動モデルを以下のように仮定する。

仮定1 曲面には、その形状に応じてうわ薬の厚さが決定されている。

仮定2 初期割れ目の発生

- ・うわ薬のひび割れは、T字型の割れ目だけが発生する($\eta=1$)。
- ・初期割れ目の発生は領域境界の形状に依存する。
- ・初期割れ目を発生可能な領域は、うわ薬の厚さ d の範囲が制限される [$0 < d < D$]。厚さの制限 D は、再帰の段階数 n によって決まる。
- ・初期割れ目発生の際禁止領域の大きさは、うわ薬の厚さに依存する。
- ・初期割れ目の発生可能な境界から距離は、うわ薬の厚さに依存する。

仮定3 割れ目の先端は分岐せず、成長速度は変化しないとする。

仮定4 割れ目の先端が成長するときには、他の先端とのクーロン反発力、境界に垂直に入るように働く力、うわ薬のより薄い表面を進むように働く力をうける。それらの力はうわ薬の厚さに依存する。

仮定5 割れ目の先端は、生き残らない。

仮定6 割れ目の成長は再帰的である。

4. うわ薬の厚さの決定アルゴリズム

うわ薬の厚さの決定アルゴリズムは、ボクセル空間(3次元配列)で表現された物体曲面上で動作する。

ステップ1. 物体表面のボクセルに一定の“うわ薬濃度”を与える。

ステップ2. 以下のようなステップを全ての物体表面のボクセル v に対して繰り返し、“うわ薬”の垂れ下がり濃度の移動としてシミュレーションする。

- ・注目のボクセル v に隣接するボクセル u に対して、 v から u への距離の水平成分を l 、垂直成分を m とするとき、次のように v から u への濃度移動を行う。

$$h := C_1(D(v) - D(u)) + m$$

$$\Delta := C_2 \frac{h}{\sqrt{l^2 + h^2}}$$

$$D(v) := D(v) - \Delta$$

$$D(u) := D(u) + \Delta$$

但し、 $D(v)$ はボクセル v の濃度で、 C_1 、 C_2 は定数である。また $\Delta \leq 0$ の時は濃度移動は行わない。

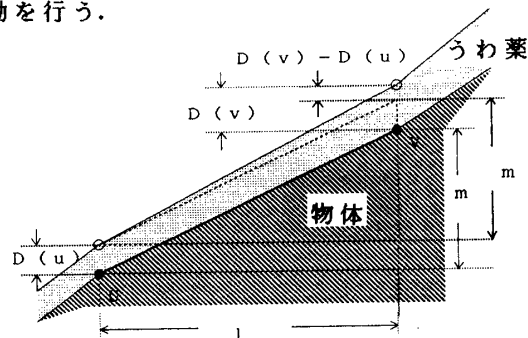


図2 うわ薬の厚さ決定アルゴリズム

5. むすび

本報告では、これまでのひび割れの行動モデルによる陶磁器のうわ薬にできるひび割れのシミュレーションについて述べ、次にその行動モデルの3次元曲面上で動作する版への拡張について述べた。

参考文献

[平田75] 平田森三: キリンのまだら, 中央公論社, 1975, pp.221-246

[海野88] 海野啓明, 千葉則茂, 村岡一信: ひび割れのシミュレーションとCGへの応用, 「グラフィクスとCAD」シンポジウム, 1988.10