

構成比と分布を考慮したコンクリートの、ひび割れの再現

加藤悠[†] 齋藤豪^{††}[†]東京工業大学 情報理工学研究所 ^{††}お茶の水女子大学 大学院人間文化創成科学研究科

1 はじめに

コンクリートは現代において建物や壁を作る上で基礎的な材料である。しかし、完璧な材料ではないため、破損や劣化など、様々な状況が想定される。

コンピュータグラフィックスを用いて、ある場面にあった古いコンクリートを再現しようとした時、その状況に合った割れ、欠け、ひび割れ、更には鉄筋を含むコンクリートならば赤錆の露呈などの現象の考慮が必要であると考えられる。

本研究では、ボリュームデータを保持することで構造比と分布を考慮したデータを考え、よりコンクリートらしいひび割れについての質感を再現したCGを実装することを目的とする。

2 手法の提案

コンクリートの強度シミュレーションで用いられる有限要素法(文献[1])でもひび割れの発生を計算で求めているが、本手法では簡便にかつユーザーの操作によりひび割れが指定できるよう手法を設計する。

コンクリートは、セメントに砂と砂利と水を混ぜて作られる。これを、ボクセルデータで表現する。各ボクセルは砂と砂利(以降、石成分として同列に扱う)、セメント、水(水が蒸発して抜けた後「気孔」となる。ここでは気孔と水は同義とする。)と鉄筋の体積比を保持する。

ひび割れの始点と終点は、ユーザーが指定する。ひび割れの経路は最短経路探索問題を解くことで決定する。

2.1 初期化

コンクリートのモデルを作るにあたって、必要な要素を配置する必要がある。

まず鉄筋を配置する。次に骨材を鉄筋及び既に配置されている石成分と重ならないように配置し、残りをセメント分と気孔とする。これには Poisson Disk Sampling(文献[2])を用いる。

各成分の体積比は自由に設定できる。今回では一般的なコンクリートの成分(文献[3])である、「粗骨材40%、細骨材30%、水+気孔20%、セメント10%」とする。粗骨材と細骨材のおよその直径はそれ

ぞれ5~20mm、1~5mmである。この骨材は実際には球ではないものがほとんどであるがすべて球形とする。骨材は石成分のみで構成されるものとする。

最初に、粗骨材を Poisson Disk Sampling で配置し、配置し終えた粗骨材の体積が40%を超えた時点でこの操作を終える。粗骨材の直径は White な乱数で決めた上で、配置できるかどうかの試行を10回繰り返し、配置できないならば直径から決め直すことにする。粗骨材を配置し終えたら、次は細骨材を粗骨材と同様に配置し、配置した細骨材の体積が30%を超えた時点でこの操作を終える。

なお、Poisson Disk Sampling で球を配置するにあたり、境界部分のボクセルでは、ボクセルの体積に対するボクセルと球の積部分体積の比により充填率を決定する。

この処理を終えた後で、充填された体積が100%となっていないボクセルに対し、残りをセメント:気孔=1:2となるようにして全てのボクセルの体積比を決定し、初期化を終了する。

図1は初期化を行った結果、表面($z=0$)である。図2は、その表面の1層下($z=1$)である。

2.2 ひび割れ

ユーザが指定したひび割れの始点と終点から、以下のように定めた移動コスト c が最小となるような経路をつくる。これに関しては最短経路探索問題として扱う。

$$c = 1.01 - (\text{気孔の体積比})$$

図3の赤線で示された線は、このようにして得られた最短経路曲線である。

次に、「ひび割れの膨張制御」パラメータ s をひび割れの経路及び周辺に設定する。ひび割れの膨張制御パラメータはひびの始点と終点を0、最大値を1/40とし、変分量をランダムとした中点変位法(文献[4])を複数回適用し、経路を中心とした幅10ドットの範囲に設定する。ひび割れは鋭いくさび形状になることを考え、Z軸方向には膨張制御パラメータを2倍する。図4でこの分布の例を示す。黒い部分がより s が大きい。

次に「ひび割れている度合い」 k を決定する。初期値として、ひび割れの経路上のボクセルには1を、それ以外のボクセルには0を代入する。全てのボクセルに対し、あるボクセル p に対して適用する以下の処理を複数回繰り返し、ひび割れの経路を膨張させ、

Reappearance of a crack of the concrete in consideration of a structure ratio and distribution

[†] Haruka KATO

^{††} Suguru SAITO

Tokyo Institute of Technology ([†])

Ochanomizu University, Tokyo Institute of Technology (^{††})

ひび割れとする。その後、ボクセルの各成分のうちの $k \times 100\%$ を空洞 (気孔) にする。

$$k(p) = \min(k(p) + \sum_q [k(q)] \times s, 1)$$

ただし「 $q \in p$ の上下左右前後 6 近傍」

複数本のひび割れを作るのであれば、ひび割れ生成の最初の処理に戻って繰り返す。

2.3 表示

1 ボクセルを 1 ドットとし、ある Z 座標における XY 平面を表示する。体積比でデータを管理しているため、各成分に色を予め割り当て、それを相加平均した色を使って表示する。作成するコンクリートのモデルは $400 \times 400 \times 20$ ボクセルとする。

また、縮尺は全て図 1 枚の縦横が 80cm となるように設定している。

2.4 結果

1 組の始点と終点を与えてひび割れを生成した結果が図 5 である。図 6、7、8 は、複数組の組み合わせを与えてそれぞれ枝分かれするひび、大きな折れ線状のひび、断続的なひびを生成した例である。

3 まとめ

ポリュームデータを利用したコンクリートモデルを使った、ひび割れの太さ、枝分かれを作成することができた。このようにして得られた結果も勿論そうだが、この後錆びた鉄が空洞を通じて外に出てきたり、セメント成分が二酸化炭素を吸収し中性化し析出するといった外観にも影響してくるため、そちらの方面への発展も期待できる。

参考文献

- [1] Okamura H., Maekawa K., "Nonlinear Analysis and Constitutive Models of Reinforced Concrete", Gihodo Co Ltd.Tokyo, 1991
- [2] McCool, Michael, and Eugene Fiume. "Hierarchical Poisson disk sampling distributions." Proceedings of the conference on Graphics interface. Vol. 92. 1992.
- [3] 国土交通省九州地方整備局 遠賀川河川事務所 第 1 回建設技術講習会資料 麻生セメント株式会社, "コンクリートについて考える その 2", http://www.qsr.mlit.go.jp/onga/cpds/images/h25/siryou_0222_1.pdf
- [4] CG-ARTS 協会, "コンピュータグラフィックス" ISBN978-4-903474-00-7,pp.88

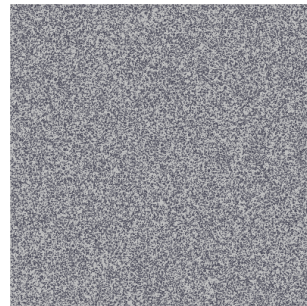


図 1: 初期状態 $z=0$

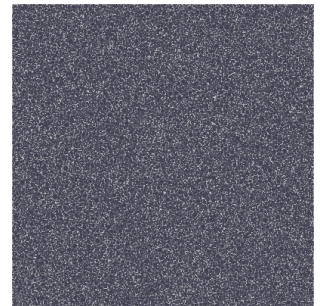


図 2: 初期状態 $z=1$

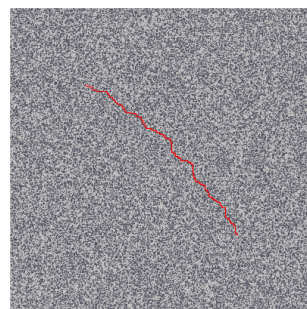


図 3: ひび割れの経路

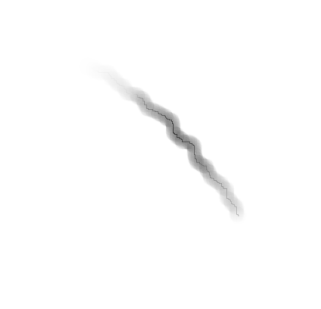


図 4: 膨張制御パラメータの分布

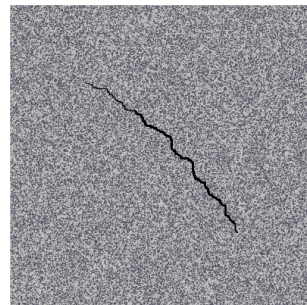


図 5: ひび割れ

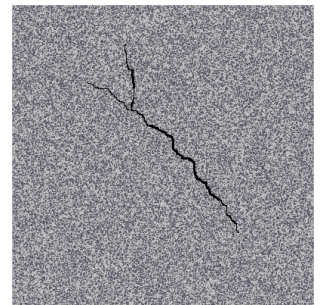


図 6: 枝分かれ

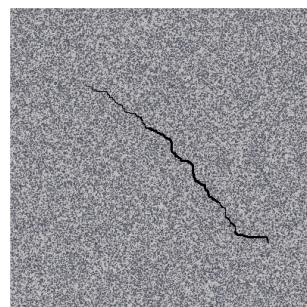


図 7: 大きな折れ線

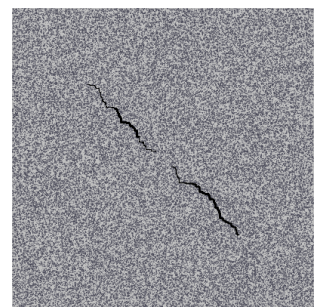


図 8: 断続的ひび割れ