SC-05

Differential Growth Model を用いた建築スケール 3D プリンティングへの通気性付与

Adding Permeability to Architectural Scale 3D Printing Using Differential Growth Model

名倉 泰生 [1], 青山 新 [2], 河井 萌 [3], 知念 司泰 [1], 松木 南々花 [1], 田中 浩也 [1]

Yasuo NAGURA[1], Shin AOYAMA[2], Meg KAWAI[3], Moriyasu CHINEN[1], Nanaka MATSUKI[1], Hiroya TANAKA[1]

[1] 慶應義塾大学環境情報学部, [2] 慶應義塾大学大学院政策・メディア研究科, [3] 慶應義塾大学総合政策学部

[1]Faculty of Environment and Information Studies Keio University, [2]Graduate School of Media and Governance Keio University, [3]Faculty of Policy Management Keio University

【要約】

本研究は建築スケール 3D プリンタ(以下「建築3D プリンタ」とする)による造形における、設計手法の提案を行うものである。建築 3D プリンタの分野で一般的な、ペースト材を用いた 3D プリンティングに存在する様々な制約に対し、Differential Growth Model による設計手法を開発した。自由形状であっても造形可能なツールパスを低コストで生成した。更に、単位時間に細分化した新たな Gcode(Time-Based Gcode)を開発した。これにより、データ設計段階で硬化不十分となる箇所を検出することが可能となった。

本研究の成果は建築 3D プリンタでの造形を想定した設計のコストを削減するものである。

キーワード:建築, ペースト, 設計, Gcode, 手法

【Abstract】

This study proposes a design method for architectural scale 3D printer (hereinafter referred to as "architectural 3D printer"). We have developed a design method using a differential growth model for architectural 3D printers, which are commonly used in architectural 3D printing, to overcome various constraints that exist in 3D printing with pastes. We developed a toolpath for low-cost fabrication of free-form shapes. Furthermore, a new Time-Based Gcode (Time-Based Gcode), which is subdivided into units of time, is developed. It is possible to detect the points that are not sufficiently hardened at the data design stage.

The results of this research are expected to reduce the cost of designing for architectural 3D printer fabrication.

Keywords: Architecture, Paste, Design, Gcode, Method

1. 序論

建築 3D プリンタは多くの場合、セメントや土などの常温硬化ペースト材料を用いる。ペースト材料の 3D プリンティングには、一筆書きでなければならない、一層毎に時間を置かなければならないといった設計上の制約が生じる。これに対し、Differential Growth Model による設計手法を開発し、自由形状であっても 3D プリント可能なツールパスを低コストで生成した。更に、移動座標と速度を指定する従来 Gcode に対し、単位時間に細分化した新たな Gcode(Time-Based Gcode)を開発した。これにより、任意地点の直下に存在するパスが出力されてからどの程度経過しているかを取得することが容易となり、データ設計段階で硬化不十分となる箇所を検出できる。

2. コンセプト

建築 3D プリンタが一般的に用いる常温硬化ペースト材料は、流動性が高く吐出動作を停止した後も自重で吐出が継続してしまう。また、硬化にある程度の時間を要するため、時間を置かずに積層をすると自重で流れ出し造形が崩れてしまう。こういった特徴から、建築3D プリンタで出力することを想定した設計に求められる要件は以下の通りである。

- ・一筆書きで造形でき、吐出を中断する必要がないツールパスであること
- ・硬化に必要な時間が経過していない部分の上に積層してはならない

建築 3D プリンティングの制約は上記 2 点以外にも様々存在するが、ここでは省略する。本研究はこれら 2 点を踏まえ、幾何学的アルゴリズムを用い、Gcode の作成基準となる要素の工夫を行うことで造形可能性の高い設計を行う。

3. ArchiFAB NIWA

本研究の成果は当研究室の所有する建築 3D プリンタ「ArchiFAB NIWA」への適用を目指すものである(図 1)。ArchiFAB NIWA は土等を主材料としたウィンチケーブル式プリンタで、展開することで 30m^2 の造形を行える。ノズル先端部に距離センサが配置されており、造形面とノズルとの距離を適切に補正する。

図 1.建築 3D プリンタ「ArchiFAB NIWA」

4. Differential Growth Model

・一筆書きで造形でき、吐出を中断する必要がないツールパスであること

上記要件を満たすため幾何学的アルゴリズムであるDifferential Growth Model を用いて生成的にツールパスを設計する。Differential Growth Model は、曲線を弛緩させ、弛ませることにより曲線を生成する(図 2)。

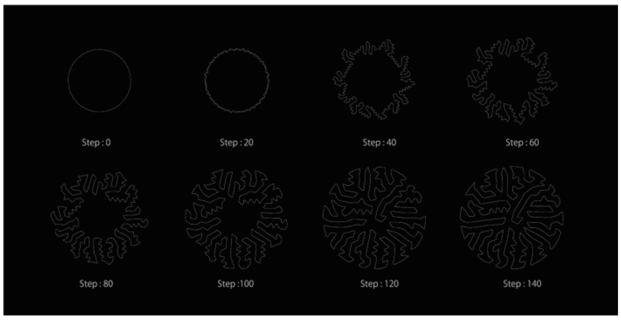

図 2.Differential Growth Model の生成過程

これによって生成された曲線は以下の特徴を持つ。

・1 本の線分、若しくは閉じた曲線から生成した場合、結果は必ず一筆書きとなる。
・自由形状の面を任意の密度で均一に満たす。

断面形状が単一の平面となる立体形状であればどのようなものであっても一筆書きであり均一なツールパスが設計可能となる(図 3)。

図 3.Differential Growth Model によって設計された造形物

5. Time-Based Gcode

・硬化に必要な時間が経過していない部分の上に積層してはならない

上記要件を満たすため、単位時間に細分化した新たな Gcode(Time-Based Gcode)を開発した。ツールパス上に無数の評価地点を設定し、その直下に存在する最近傍点を取得する。2 点の造形開始からの経過時間の差分が、硬化に必要な時間以上であるかを判定することを考える。

3D プリンタ(工作機械)の動作を指示する Gcode は目標座標、移動速度、吐出速度などを記述したものである(図 4)。このデータ上での経過時間は、各ツールパスの動作時間の累算となる。ツールパス上の任意の点における経過時間を取得する場合、そのツールパスの始点座標、開始時間、移動速度等から算出する必要がある(図 5)。

Time-Based Gcode は 100 ミリ秒毎の目標位置を記述したものである(図 4)。当研究室の所有する ArchiFAB NIWA の動作速度がおおよそ毎分 1000mm であるから、1mの造形距離ごとに 600 地点がデータ上で指定されることとなる。各点の距離は約 1.67mm となり、評価地点としては十分な解像度を有すると考える。直下に存在する最近傍点からの経過時間は、自身が造形開始から何番目に指定されたものであるか、直下の点が同様に何番目であるかの差分に 100 ミリ秒を掛けたものである(図 5)。

これにより各点間の経過時間を算出することが容易となり、大規模な Gcode の解析が可能になる。

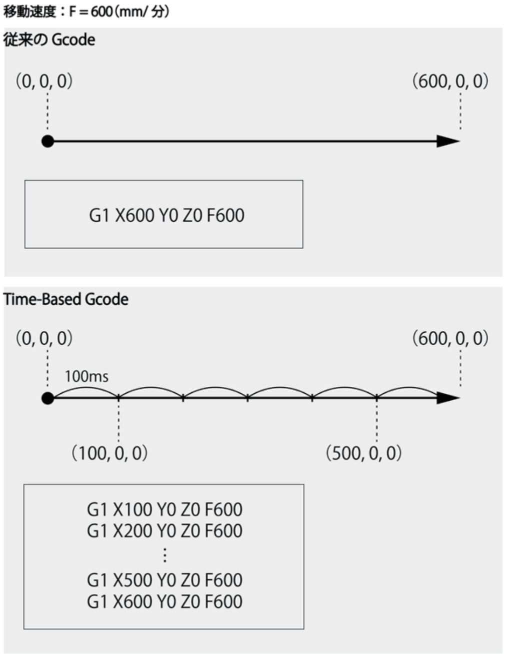

図 4.従来の Gcode と Time-Based Gcode の比較

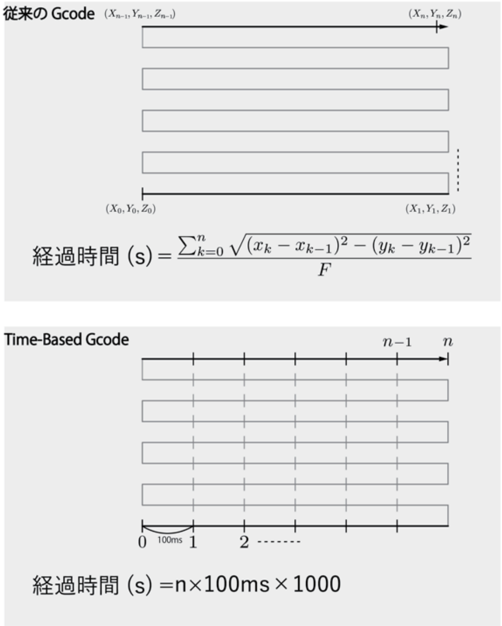

図 5.Time-Based Gcode における経過時間の算出

6. 結論

以上 2 手法を組み合わせ、建築 3D プリンタに適合した設計手法を提案した。従来難易度の高かった設計を低コストで実現したことが成果である。更に、Differential Growth Model のパラメータを変更し、構造の粗密を無段階に制御可能となった(図 6)。これにより、今後通気性、保水性、断熱性等を有した構造の設計が可能になると展望している。

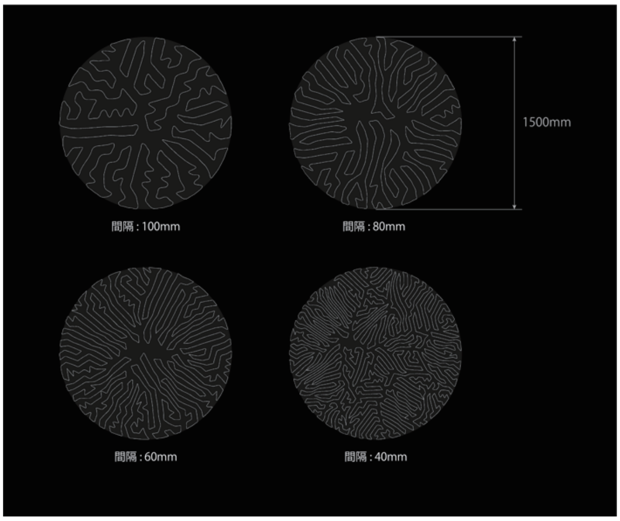

図 6.パラメータによる Differential Growth Model の密度差

参考文献

1. Pacewicz, Katarzyna & Sobotka, Anna & Gołek, Łukasz. (2018). Characteristic of materials for the 3D printed building constructions by additive printing. MATEC Web of Conferences. 222. 01013. 10.1051/matecconf/201822201013.
2. Ma, G., Wang, L., & Ju, Y. (2017). State-of-the-art of 3D printing technology of cementitious material—An emerging technique for construction. Science China Technological Sciences, 61(4), 475-495. doi:10.1007/s11431-016-9077-7
3. Freek Bos, Rob Wolfs, Zeeshan Ahmed & Theo Salet (2016) Additive manufacturing of concrete in construction : potentials and challenges of 3D concrete printing, Virtual and Physical Prototyping, 11:3,209-225,DOI:10.1080/17452759.2016.1209867
4. 中村 航, 輿石 直幸, 固化材として酸化マグネシウムを用いた組積耐力壁用非焼成土ブロックに関する研究, 日本建築学会構造系論文集, 2017, 82 巻, 740 号, p. 1527-1535, 公開日 2017/10/30