

自然素材菌糸と生分解性プラスチックを用いたブロック型建材

Fungus Bricksの製作

Potential of Porous Structures Composed of Mycelium and Biodegradable Plastics

鳥居巧¹, 知念司泰¹, 大村まゆ記¹, 田中浩也¹

Takumi TORII¹, Moriyasu CHINEN¹, Mayuki OMURA¹, Hiroya TANAKA¹

¹慶應義塾大学環境情報学部

¹Faculty of Environment and Information Studies, Keio University

【要約】

バイオマテリアルの建材への応用は日々研究されているが、本研究では特に菌糸に注目する。成長した菌糸は他の素材と再結合することで一体化する特徴があるため、他の素材とも組み合わせて使いやすい。しかしこの特徴をもとに、3Dプリントしたプラスチック型枠と組み合わせて応用した実践はまだ見当たらない。そこで我々は菌糸と3Dプリントされた生分解性プラスチック(常温で土壌分解が可能なプラスチック)を組み合わせた、「Fungus Bricks」を提案する。「Fungus Bricks」は天然のテクスチャと滑らかな曲面表現を実現し、分解・組み立てが可能な新たな環境志向建材である。実際に使用される場面を前提に、製造・施工・解体・再利用のサイクルを詳細に設計し、それを通じて見出した可能性と課題を議論する。

キーワード: 3Dプリンティング, 生分解性プラスチック, 菌糸材, マテリアル

【Abstract】

The application of biomaterials to building materials is being researched on a daily basis. This study paid particular attention to mycelium, and a review of related case studies revealed that there are many examples of mycelium being combined with other materials. This is presumably due to the characteristic of mycelium joining together with other materials as it grows. On the other hand, many of these studies on the development and application of new materials show the superiority and novelty of the functions and manufacturing methods of the developed materials, and there is insufficient exploration of the situations and designs in which the materials are actually used. Based on these considerations, 'Fungus Bricks' were produced by combining mycelium and 3D-printed biodegradable plastic (plastic that can be degraded in soil at room temperature) as a practical application. The Fungus Bricks are a dismantlable and re-assemblable building material that overcomes the difficulty of expressing smooth curved surfaces, which is difficult with conventional brick-like building materials, by using the function of covering the entire surface of the growing mycelium and 3D-printing the shape. The possibility of implementation was explored by concretising the scenes of use and the cycle of manufacture, construction, dismantling and reuse in parallel with the production of the product.

Keywords: 3D printing, biodegradable plastic, mycelium, material

1. 序論

Fungus Bricksは、3Dプリントされた型枠に木材や藁といった母材とあわせて菌糸を充填し、成長させた後に乾燥させることで使用することのできるブロック型の建材である。(図1)成長した菌糸は再結合する特徴があり[1]、ブロック同士を接合する役割を担うことができる。菌糸は土壌分解が可能な成分で構成されており、型枠に使用する樹脂も、常温で土壌分解が可能なBioPBS材料である三菱ケミカル社のFORZEAS™[2]を採用した。これによって、Fungus

Bricksは循環能力をもつ素材のみで構成されるため、使用後土に埋めても自然環境への影響を最低限に抑えることが可能である。現在このように製作したFungus Bricksを用いて、本年度11月のWATERS竹芝での展示に向けてパーティションを製作している。(図2)

本研究はこの製作過程を整理し、3Dプリント型枠の設計の変遷や背景、プロセスについて報告するとともに、その可能性と課題を論じる。



図1.Fungus Bricksの製造過程



図2.WATES竹芝で展示を予定しているパーティションイメージ図

2.制作環境

本研究で使用したデスクトップ3Dプリンタは家庭用に市販されているFFF(Fused Filament Fabrication)方式のプリンタである(図3)。本プリンタの造形範囲は幅、奥行き220mm、高さ250mmとなっている。出力ノズルは一般的に0.1mm～1.0mmが使用可能である。多くの樹脂製のブロックは金型成形によって製造される一方で、3Dプリンタは3DCADやモデリングソフトでデザインしたデータをそのまま出力することができるためプロトタイプ製作がしやすく、低コストでの設計・製造の検証・改良が行いやすい。加えて金型成形ではコストがかかるブロックの多品種変量生産も可能になる。ブロック建築スケールの製作に用いられる3Dプリンタは中～大型が一般的である一方で、デスクトップ3Dプリンタによる事例は少ない。デスクトップ3Dプリンタは誰でも比較的扱いやすく研究段階に適した3Dプリンタとして実験・検証を行った。

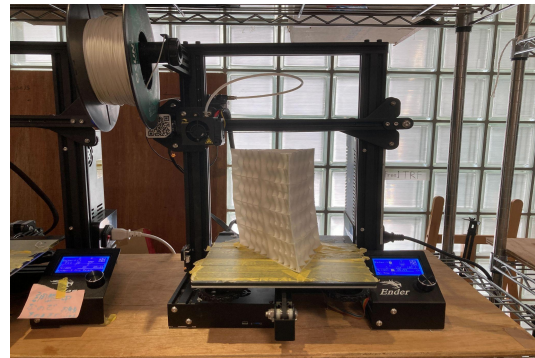


図3.本研究で使用したデスクトップ3Dプリンタ

3.型枠の設計

生分解性樹脂で製作した型枠は、内部に詰められた菌糸と一体化するため、完成するブロックひとつの概ねの形状を決定する役割を果たす。加えて型枠の表面は菌糸の再結合の働きにより、ブロックどうしの一体化を強固にする役割を担う。このようにFugus Bricksの実現にあたっては、3Dプリンタの特性を活かした型枠の設計がその鍵を握る。本研究では、よりよい型枠の設計方法について、試作を繰り返して検証してきた。その経緯について論じる。

①ver1.0 Catenoid like

比較的少ない種類の図形で構成され、ドーム形状を構築しやすい多面体のひとつにゾーン多面体がある。このバージョンではゾーン多面体を構成する図形を1つのモジュールとし、一筆書きのツールパスにすることで3Dプリント可能なブロックにした。(図4)ブロックの形状は乾燥行程で内部空間に熱せられた空気を通すことで乾燥させる『ダクト乾燥方式』を採用するため、極小曲面のひとつである懸垂曲面(catenoid)をモチーフに設計した[3]。

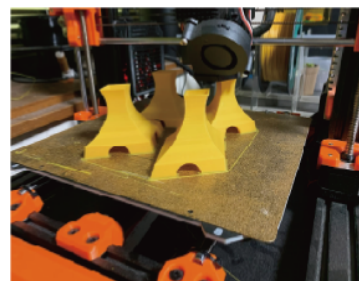


図4. ver.1.0 Catenoid like

②ver2.0 Rhombic Dodecahedron型

ver.1.0を踏まえて単一のモジュールでドーム形状を構築し、『ダクト乾燥方式』の乾燥効率を向上させ

るために菱形十二面体(Rhombic Dodecahedron)を模した形状に設計されたバージョンを製作した(図5)。菱形十二面体は一種類で空間充填が可能で、12枚の構成面がすべて合同な多面体である。このバージョンではブロックを一回の造形で製造するのではなく、12枚の同じパネルを造形し組み立てることによって一つのブロックを構築する。このパネルを設計するにあたって菌糸と熱せられた空気が触れやすくするために底面を網目状にすることで、乾燥効率の向上を図った。パネル同士の接続のために3Dプリンタで製造が可能で、かつ組み立てやすいジョイントも同時に製作し、樹脂と菌糸のみで構築されるブロックを目指した。

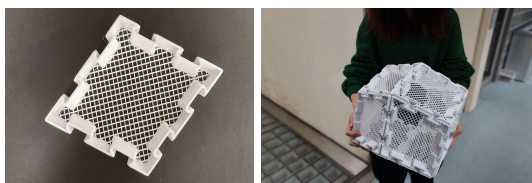


図5.ver2.0 Rhombic Dodecahedron型

③ver.3.0 Free Form型

ver1.0,ver2.0はドーム形状の建築物のための建材を目指して製作したためデータ管理が容易な単一のモジュールで設計することが前提となっている。一方で曲面を多角形で近似しており、人間の身体が直接接する家具やパーティション等への利用には適していない。そこで曲面を近似することなく構築するために、それぞれ異なる形状をしているブロックを製作することにした(図6)。3DCADで作成した3Dデータから直接特殊な表面形状を造形できるツールパスを生成するスライサを開発し、新たな型枠を製作した。しかしこのブロックでは鉛直方向に菌糸が区切られてしまい、水平方向で菌糸が再結合できない課題があるとわかった(図7)。



図6. ver.3.0 Free Form型

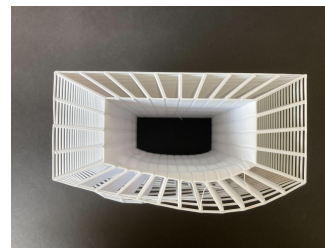


図7. 菌糸を詰めるスペースが区切られてしまう

④ver4.0 Free Form(wavy)型

ver.3.0のブロックの課題を踏まえ、菌糸がどの方向でも再結合できるような表面形状を付与できるようにスライサを改良した(図8)。このスライサによって、3Dモデルのデザイン,デスクトップ3Dプリンタで造形可能な大きさに分割,ツールパスの生成といったブロックの型枠製造のワークフローを単一のソフトで行うことが可能となった(図9)。最終的にはこのモジュールを数百個中量生産することで、曲面状のパーティションを構築することにした。

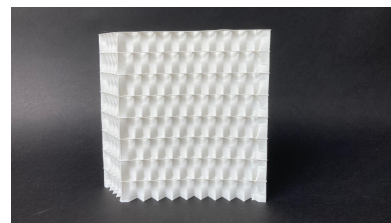


図8.ver4.0 Free Form(wavy)型

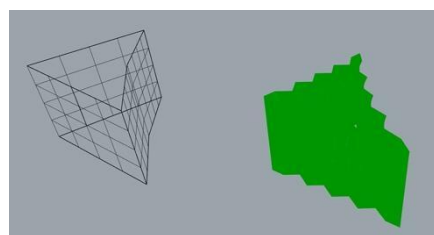


図9.スライサによって3Dデータからツールパスを生成している様子

4.生産設計

パーティションを構築するために必要な個数の型枠を製造するため、プリント時間、3Dプリンタの造形範囲や稼働台数を考慮して、3Dモデルの分割を行った。全章で述べたver.4.0 free form(wavy)型は、縦方向のブロックと横方向のブロックを組みあわせることで一体化し構造を実現できる。(図10)この時3Dモデルは2分割する必要がある。



図10.ver.4.0 Free Form(wavy)型の組み方

3DCADで作成した全体の3Dデータから個々のブロックを3Dプリントするに至るまでの手順と条件は以下の通りである。

- 1 パーティションの全体大きさ:
幅850mm 奥行き850mm 高さ900mm
- 2 使用する3Dプリンタ造形範囲:
幅220mm 奥行き220mm 高さ250mm
- 3 稼働台数: 5台
- 4 3Dプリントが完了するまでの合計期間:
60日

この条件に基づいて分割を行った結果は次の通りである。

- 1 必要プリント数: 220個(横方向120個, 縦方向100個)
- 2 一個あたりに必要なプリント時間:
横方向 7時間21分~8時間3分/個
縦方向 4時間40分~5時間13分/個
- 3 合計出力時間:
1397時間 < 1440時間(60日)

5. 結論

Fungus Bricksを製作するために、3Dプリンタの特徴を活かした型枠ひとつの設計と、型枠220個を中量生産するための生産設計を行った。現在製造を行っているが(図11)、実際に製造過程で生じた想定外の問題も多く生じた。それらを整理し、次回以降の製作に反映させていくことで3Dプリンタで型枠を安定して製造するために考慮すべき点を整理したい。

今後は、型枠の上で菌糸を栽培して再結合を行い、結果としてできあがった曲面パーティションの試験設置を通じてその可能性を検証することで、Fungus Bricksの幅広い社会実装へと繋げていく予定である。

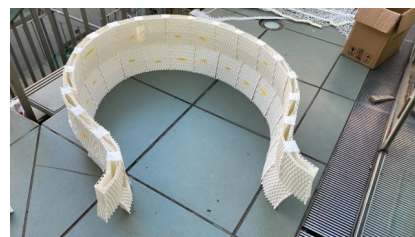


図11.製作途中のパーティション

謝辞

本研究の一部は、三菱ケミカル株式会社より、生分解性樹脂コンパウンドFORZEAS™の提供、支援を受けたことで進めることができた。ここに感謝の意を表します。

参考文献

1. Mitchell Jones¹, Tanmay Bhat, Chun H. Wang, Khalid Moinuddin and Sabu John. Thermal degradation and fire reaction properties of mycelium composites, 21st International Conference on Composite Materials At: Xi'an, China, (2017).
2. MITSUBISHI CHEMICAL. FORZEAS™.
https://www.m-chemical.co.jp/products/departments/mcc/sustainable/product/1209172_7166.html
(参照2021-09-15)
3. 知念司泰, 鳥居巧, 名倉泰生, 田中浩也
菌糸と生分解性プラスチックを複合した多孔質構造体の可能性Conference on 4D and Functional Fabrication 2021(4DFF2021). OP-15.2021
<https://sig4dff.org/conference/2021/proceeding/OP15.pdf>.