

布と3D プリントによる有機形状型枠の開発

Development of Organic Formwork using Fabric and 3D Printing

汪 明靖¹, 河合 慈英², 鳥居 巧¹, 矢田 美涼¹, 谷口 朝洋¹, 松岡 康友³, 田中 浩也²

Minchin WANG¹, Jiei KAWA², Takumi TORII¹, Misuzu YADA¹, Tomohiro TANIGUCHI¹,

Yasutomo MATSUOKA³, Hiroya TANAKA²

¹慶應義塾大学大学院, ²慶應義塾大学, ³株式会社 DigitalArchi

¹Graduate school of Keio University, ² Keio University, ³ DigitalArchi Co., Ltd.

【要約】

布への3Dプリンティング技術は、単なる視覚的な装飾を超え、布の動的な特性と3Dプリントの精密さを組み合わせることで、4Dプリンティングの一種として、新しい形態変化を創出する研究が注目されている。本研究では、立体的な曲面テキスタイルを生み出す手法で布型枠を制作し、コンクリートを用いて制作した布纏材を提案する。有機的な形態を持った立体的な構造を fabric casting の手法に応用し、布の緩やかな形状を転写したコンクリート表面の形成が可能となった。造形的に新たな表現手法としての展開が期待される。現段階では、コンクリート表面の凹凸が雨水を垂直方向に保持する機能を持つ応用事例も紹介する。

キーワード: ストレッチ素材, 3D プリント, 布, ファブリックキャストイング, 型枠

【Abstract】

Research on 3D printing technology for fabrics is gaining attention as a form of 4D printing. It goes beyond mere visual decoration, combining the dynamic properties of fabric with the precision of 3D printing to create new forms of shape transformation. This study focused on the practicality of this technology as a formwork and produced prototypes. Applying the fabric casting technique to create three-dimensional structures with organic forms enables the formation of concrete surfaces that transfer the gentle shapes of the fabric. These holds promise for developing new sculptural expression methods. At the prototype stage, we explored the potential for utilizing the unevenness of the concrete surface to retain rainwater vertically.

Keywords: stretch fabric, 3D print, textile, fabric casting, formwork

1. 序論

近年、デジタルファブリケーション技術の発展に伴い、布と3Dプリントを組み合わせた立体造形技術が注目されている。特に、従来の平面的なテキスタイル表現に対して、布の物性を活かした立体的な造形が可能であり、ファッション、インテリア、プロダクトデザインなど多様な領域で応用が検討されている。

布に3Dプリントする技術とは、ストレッチの素材をあらかじめ引き伸ばして固定した状態で、その上に直接、ロッドを3Dプリントする。印刷後、固定を解除すると、布の元の状態に戻ろうとする収縮力と、ロッドがその収縮に抵抗する力が均衡し、独自の有機的な形態を持った立体的な型枠が自然に形成される。この手法では、4Dプリンティングの一種として、新しい「動き」を実現するための研究が主流となっている。

本研究は、布に3Dプリントする技術をさらに一歩進め、布を単なる「面」としてではなく、「型枠」としての実用性に注目した。具体的には、fabric casting の手法に応用し、布が持つ有機的な形状をコンクリートの剛性と組み合わせる。このアプローチにより、従来の技術では難しかった独自の有機的な形態を保ったまま、布の繊細なテクスチャをコンクリート表面に転写することに成功し

た。これにより、視覚的な美しさと構造的な強度を両立させた、新たな質感の表現を可能にした。

2. 関連研究

2-1. 布と3Dプリンティング

Dianaらは、布と3Dプリントポリマーの組み合わせが、プロトタイプから手の装具へと移行する際に、耐久性とといった課題に直面すると述べていた[1]。3Dプリントポリマーがテキスタイル上の耐久性を向上させるには、両者の組み合わせを最適化する必要がある。また、3Dプリントポリマーを繊維製品にアイロンをかけることで、接着強度が向上するといった点も言及されていた。

2-2. 布型枠(Fabric casting)

Fabric casting は Fabric formwork[2]としても知られる、流動性がある素材(石膏、コンクリート、土など)を流し込む型枠に柔軟な布を使用する造形技術の一種である。この技術は、伝統的な木材や金属の硬い型枠とは異なり、素材の流動性と、布の柔軟性や引張力を利用して、従来の工法では困難だった有機的で曲面的な形状を創り出すことができる。

2-3. コンクリート

建築家ポール・ルドルフ[3]はコンクリートに対する表

現仕方を研究してきた。そのうちの一つの作品はイェール大学の芸術・建築学科棟の壁がある。この壁は、コンクリート表面の隆起した畝をハンマーで削ることで、コーデュロイ効果(corduroy effect)[4]と呼ばれる独特な質感が生まれる。この手法は、コンクリートの表面を面白く見せるだけでなく、汚れを目立たなくし、特有の変色を最小限に抑える効果もあると言われていた。

また、建築家ジョン・パートリジらは、当時、窓台から雨水が落ちることで汚れが避けられない要因となると考えた。これを防ぐため、従来のものとは全く異なる形の「フード付き」窓を考案した。この方法は、表面を流れる雨水を斜めに誘導し、外観が汚れるのを防ぐためのものであった。

3. 目的

本研究では、前章の領域を横断し、布と 3D プリントポリマーを組み合わせた布型枠を用いてタイルを製作することを提案する。このタイルは、コンクリートに転写されることで生まれる細かな凹凸によって、新たな質感を表現する。本研究の目的は、布型枠からコンクリートへ転写される独自のテクスチャに着目し、この表面のテクスチャが水を垂直方向に保持し、水の流れを作る機能を持つ可能性があるという仮説を立て、これを検証する。

4. 布型枠製作

独自のテクスチャを表現できる型枠を制作するため、制作プロセスは Fig1 に示すように一連のプロセスを実行した。

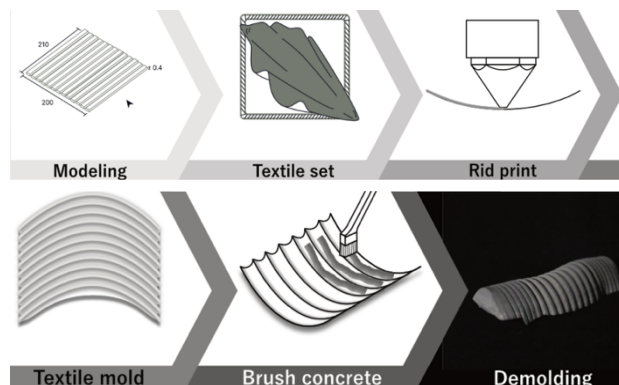


Fig1. Fabric formwork and concrete pouring process

4-1. モデリング

3D プリンタの精密な制御性を活かしつつ、平面なロッドをデザインすることに重点を置く(Fig2)。従来の 3D プリンティングのように立体的な造形物を作るのではなく、布の表面に描かれた 2D パターンが、後工程で立体的な形状を生成するための「設計図」となる。

様々なパターンや密度のロッドを配置することで、プリント後の布の収縮力とロッドの抵抗力の間に、多様な力で均衡を生み出す。これにより、布とロッドの相互作用から生まれる有機的な曲面を創出することが可能となる。このように、本プロセスにおけるモデリングは、最終

的な立体物を直接造形するのではなく、2D パターンが持つ潜在的な形態生成能力をデザインすることにある。

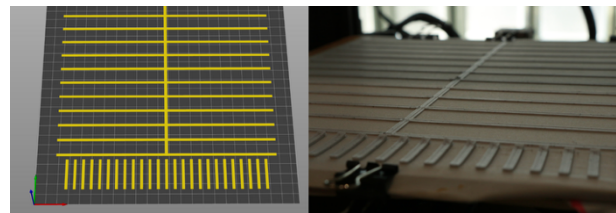


Fig2. Flat rod design

4-2. 3D プリントの改造と布の設置

市販の卓上 3D プリンタ (Creality Ender 3) を改造し、材料を布に物理的に接着させる方法を採用した。この手法は、低速での押し出しやノズルの低い位置での調整が必要だが、布の伸縮性を維持し、最終的な形状の変化に反映させることができる。この手法の実現にあたり、以下の 2 点の改良を行った。

4-2-1. プリンタベッドの変更

布への直接接着にはベッドの加熱が不要なため、従来のヒートベッドを撤去し、より薄い木材のベッドに交換した。これにより、ノズルの位置を下げることで、布の表面に正確に押し出すことが可能になった。

4-2-2. 布固定器具道具の製作

布をあらかじめ伸縮させた状態で固定するため、専用の固定道具を製作した。この道具は、直径 10mm の螺旋状の金属棒を曲げて枠状にしたもので(Fig3)、布を引っ掛けやすくした。さらに、印刷中に布が外れるのを防ぐため、ダブルクリップで補強する工夫を施した。布は「すっきりポンチニット」を使用した。



Fig3. Metal fabric retainer

4-3. 3D プリント

3D プリントのデータ準備には、スライサーソフトウェアの「PrusaSlicer」を使用し、主に PLA と TPU を材料として使用した。本研究の手法は、布に材料を直接押し付け、接着させるため、印刷の成否は以下のパラメータに大きく左右される。

4-3-1. 押し出し率(Extrusion Multiplier)

布地にフィラメントをしっかりと定着させるため、通常よりも高い押し出し率(1.2-1.5)を設定した。これにより、ノズルから出る材料が布の繊維に深く食い込み、強固な接着が可能となる。

4-3-2. 最初の積層速度(Initial Layer Speed)

印刷開始時の速度を低速に設定した(5-10mm/s)。これは、ノズルが布に触れる際の衝撃を抑え、材料が滑

ることなく、確実に第一層を形成させるためである。

これらの設定を検証・調整することで、布の伸縮を妨げない、柔軟でかつ強固なロッドを形成することができた。印刷が完了したら、造形物がわずかに冷えるのを待ってから、固定していたダブルクリップを外す。すると、引き伸ばされた布が収縮し始め、ロッドと布の自己均衡によって、目的とする立体的な型枠が自然に完成する。

4-4. 布型枠の試作とコンクリートの打設

布型枠にコンクリートを流し込む際、一度に大量の流動性の高い混合物を入れると、コンクリートの重みで型枠が変形し、意図したテクスチャが損なわれる。この問題を解決するため、本研究ではブラシを用いて、コンクリートを一層ずつ塗り重ねる手法を採用した。(Fig4)



Fig4. Apply a thin layer of paint to the surface of the fabric form with a brush.

4-5. 離型

最終工程では、固化したコンクリートから布型枠を慎重に剥がす。この時、布型枠に施された繊細なテクスチャがコンクリートの表面に忠実に転写されていることを確認する。

本研究で用いる布型枠は、一度の使用で廃棄される従来の型枠とは異なり、剥がした後に再利用できるという特徴を持つ。これにより、多様なテクスチャのプロトタイプを効率的に制作することが可能となり、材料の無駄を削減できる。この工程を経て、布の有機的な表情とコンクリートの剛性を併せ持つ、独自のデザインを持つ構造体が完成する。

5. 成果物

本研究の制作手法は、布型枠がコンクリートを柔らかく「纏う」ことで、布の持つ繊細なテクスチャをコンクリートに転写する新しいアプローチを可能にした。この特性から、私はこの技術で制作された布型枠を布纏材(ふてんざい)」と命名した。

この方法を用いたコンクリート成果物は、2024 年 11 月に慶應義塾大学湘南キャンパスにて開催された展示会で初めて公開し、8 種類の異なるテクスチャを持つ作品を制作した(Fig5)。中でも波のような形状を持つテクスチャは、見る人に豊かな質感を伝えることができた。このテクスチャは、水との組み合わせることで、また別の表情を見せることができた。

5-1. 水との可能性

布纏材で制作したコンクリートの表面テクスチャは、水に触れると独自の微細な表現を見せる。多くの水は

テクスチャの谷に沿って流れ、余分な水は Fig7 のように、テクスチャの隙間に垂直方向に滞留する現象が観察された。乾燥時とは異なり、このコンクリートが水に付着する際に隙間に溜まる水たまり(Fig8)がテクスチャに変化して、意図せぬ表情を生み出すことができる。

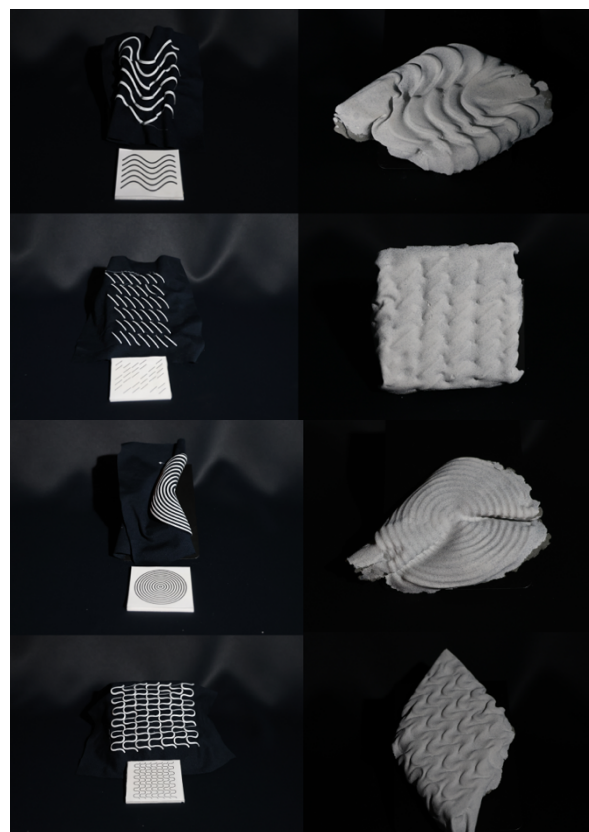


Fig5. Part of the concrete prototypes on display

5-1-1. 水の流れ

打ちっぱなしコンクリート(Fig6)は、雨の日には濡れた部分が比較的濃い色になり、汚れて見えることがある。しかし、布纏材で制作したコンクリートは、テクスチャの効果で汚れが目立ちにくくなる。凹凸のあるテクスチャの中を流れる水は、コンクリートに動きのある質感をもたらす。

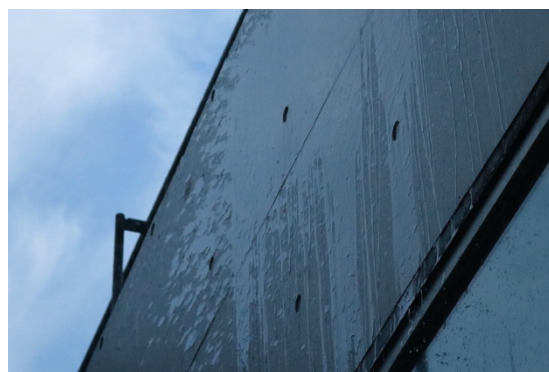


Fig6. Water flow on the surface of exposed concrete

5-2. 光との可能性

波状のテクスチャは、表面に水が付着することで、光の当たり方によって多様な表情を見せる。布の細かいテクスチャまで転写されているため、水が付着しやすくなる。水が染み込んでいる部分と乾いた部分の間で、テク

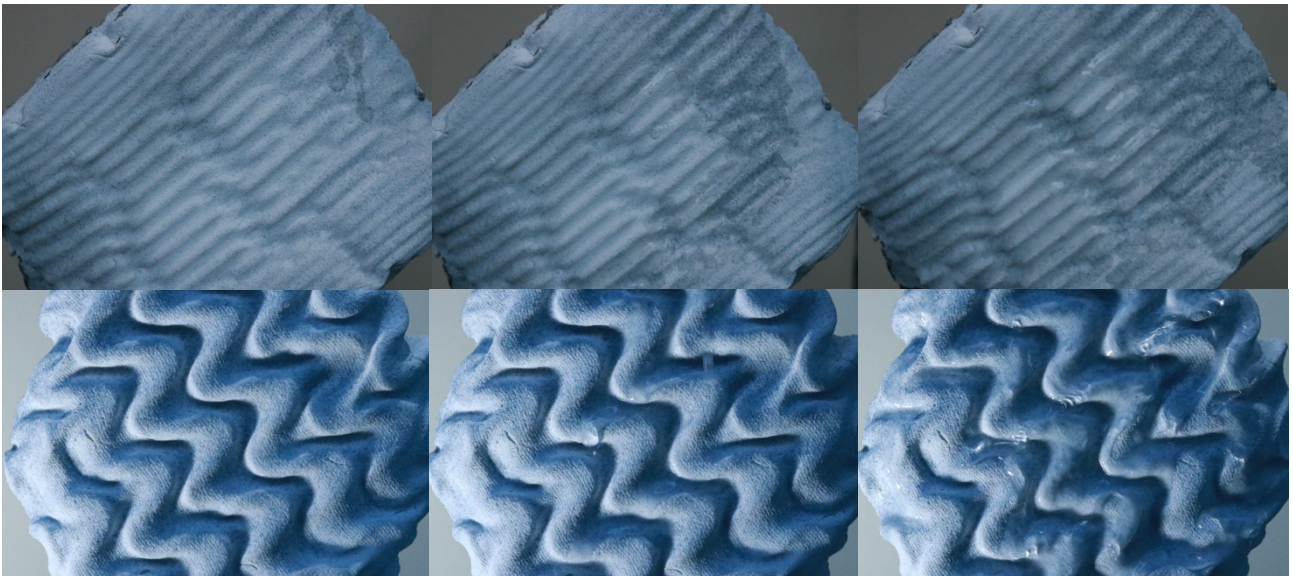


Fig7. Texture splits and divides the water flow into multiple streams

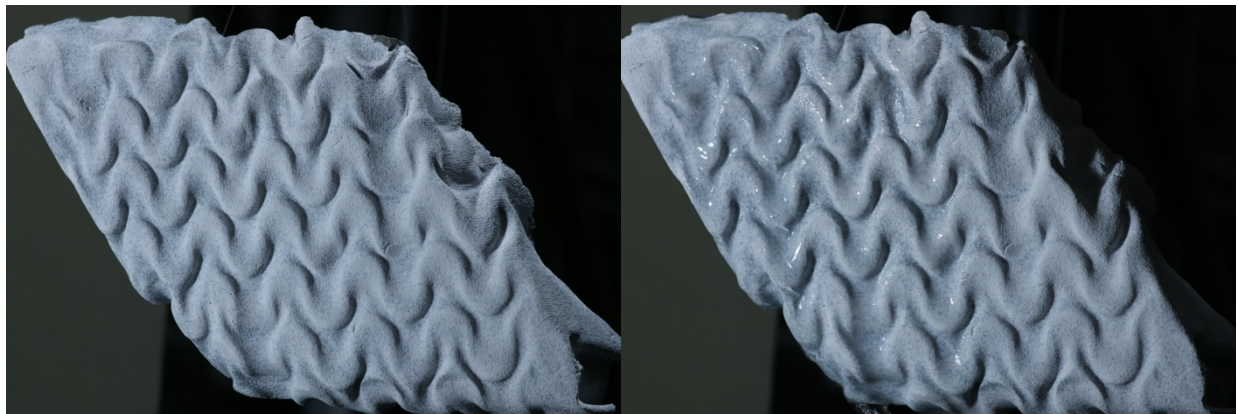


Fig8. Dry and wet fabric-wrapped concrete

スチャが持つ立体感や奥行きがより強調され、色の濃淡が際立つ。光や水といった自然要素と協調することで、コンクリートの質感を豊かにし、新たな表現の可能性を示している。

6. 結論

本研究は、布に3Dプリントする技術をFabric castingに応用することで、布の柔軟性と3Dプリントの精密な制御性を組み合わせた新しい布型枠を制作した。これにより、従来の型枠では実現が困難だった、微細かつ有機的なテクスチャを持つコンクリートの造形に成功した。

成果物の中でも、特に波状のテクスチャは、その複雑な凹凸が豊かな質感を与え、注目を集めた。この特性に着目し、今後はコンクリートと水との相互作用に焦点を当てた研究を進めている。布型枠で制作されたテクスチャが、水を有効に保持したり、意図した通りに流れを制御したりする機能性の開発が今後の課題である。

タイルのような一面的な造形は可能である一方、多面体において複数のテクスチャを同時に造形することを、将来的な目標の一つとしている。

謝辞

本研究は JST 共創の場形成支援プログラム JPMJPF2111 の支援を受けたものです。

参考文献

1. Diana Popescu, Cătălin Gheorghe Amza. “3D Printing onto Textiles: A Systematic Analysis of the Adhesion Studies”. 3D Print Addit Manuf. 2024. (参照:2025.9.3).
<https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11057686/>.
2. Alan Chandler, Remo Pedreschi. “Fabric Formwork”. RIBA Publishing. 2007. (参照: 2025.9.3).
[https://repository.uel.ac.uk/download/0e6d3a56953f51ca476b3cf09aac35647c4a933b154ce382de80d616e72295ba/4774282/Chandler%2C A \(2007\) Fabric Formwork.pdf](https://repository.uel.ac.uk/download/0e6d3a56953f51ca476b3cf09aac35647c4a933b154ce382de80d616e72295ba/4774282/Chandler%2C%20A%20(2007)%20Fabric%20Formwork.pdf).
3. Tony Monk. “Paul Rudolph Philosophy”, Paul Rudolph Institute for Modern Architecture. (参照: 2025.9.3).
<https://www.paulrudolph.institute/paul-rudolph-philosophy>
4. Kouichi Yasuda. “On the Material in Modern Architecture: Tradition and Innovation”. 『10+1』 No.43 .2006. (参照:2025.9.3).
<https://db.10plus1.jp/backnumber/article/articleid/1297/>