

CIM モデルを用いた 3D プリンタ出力の可能性検討

エンジニアリング本部 防災・環境解析部

中屋 豊人

1. はじめに

米 WIRED 誌の元編集長クリス・アンダーソン氏の著書 MAKERS(NHK 出版)をきっかけとして、世界中で 3D プリンタの話題が取り上げられるようになった。

3D プリンタが空前のブームとなった背景として、幾つかの条件が重なったと考えられる。

1つ目は後述する FDM(熱溶解積層法)¹に関する基本特許の期限切れ(2009 年)により、特許料を支払う必要が無くなったこと。

2つ目はインターネットの発達により、自作の 3D データを公開する人が増えたこと。

3つ目は「3D プリンタ」という語のイメージ。名付け親は不明だが、「プリンタ」という単語は「データを入れたら欲しいものが簡単に出てくる」という印象を人々に与えた。

「3D プリンタ」という単語が使われる以前は「Rapid Prototyping」(RP)が一般的だった。3D プリンタの技術や機械は 30 年ほど前(1980 年代)より存在し、製造業を中心に、主に試作部品の造形に使われていた。故に RP という言葉が「試作にしか使えない」と意識の壁を作っていたとも言える。

「3D プリンタ」という呼称が定着したことにより、意識の障壁が取り払われ、低価格化もあいまって、現在の爆発的な普及に繋がっていると思われる。

今回、CIM²データの利活用を考えるという目的で、3D プリンタを試験的に導入する機会を得た。当社で導入した 3D プリンタは、現在ブームとなっている商品カテゴリ(10 万円前後)のものである。本稿では、この「低価格 3D プリンタ」に焦点を当て、データの準備から出力までの操作を行い、CIM モデルを 3D プリンタに出力する際の問題点や留意点についてまとめた。

2. 3D プリンタについて

本稿では初めに 3D プリンタで採用されている代表的な造形方法を整理し、次に低価格 3D プリンタに採用されている FDM 方式の仕組みを理解することで各造形方法の利点・欠点をまとめる。

2.1 3D プリンタの種類

3D プリンタには様々な方式があるが、何れも「材料の積層」という共通した手段を用いている。以下に代表的な 7 種類の積層方式を示す。

① 光造形法

STL(STereo Lithography)法。液体状の光硬化樹脂の入ったプール中にテーブルを浸し、テーブル上に紫外線を照射する。紫外線の当たった部分だけ樹脂が薄く硬化する。テーブルを 1 層分降下させ、再度紫外線を照射して樹脂を硬化させる。この手順を繰り返す。最も歴史が古く、30 年ほど前から使われてい

¹ Fused Deposition Modeling 熱溶解積層法。溶融した樹脂(主に ABS)をノズルより押し出し、造形テーブルに押し出すようにして塗付し、この繰り返し(積層)により造形する方法。

² Construction Information Modeling: 建設分野で広がっている

BIM Building Information Modeling を土木分野にも広げ、公共事業の一連の過程で、ICT ツールと 3 次元データモデルの導入・活用により、建設事業全体の生産性向上を図ろうとする取り組みのこと。

る。3D プリントに用いる 3D データを STL データと呼ぶがこの方式に由来する。

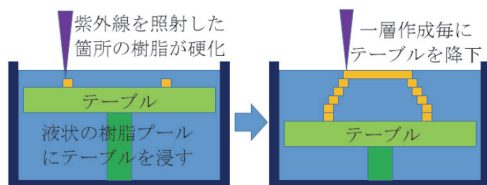


図 1 光造形法

② インクジェット法 (溶融物堆積法)

紙へ印刷するプリンタと同様、プリンタヘッドから樹脂の細かい粒子と接着剤を吹き付けながら 1 層ずつ積み重ねる。光硬化性樹脂やワックス等が使われる。

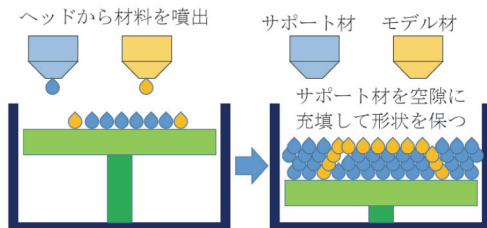


図 2 インクジェット法

③ 粉末積層固着法

粉末状の石膏や樹脂をローラでならし、接着剤を吹き付け、1 層固着するごとにテーブルを下降させて、積み重ねる。

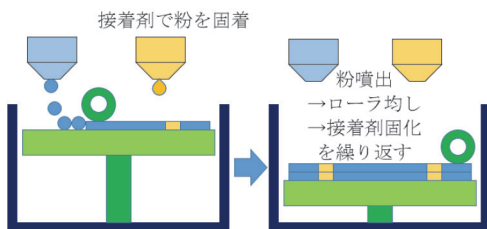


図 3 粉末積層固着法

④ 粉末積層焼結法

SLS(Selective Laser Sintering)法。敷き詰めた粉末状の金属にレーザー照射し、焼結させて 1 層ごとに作る。粉末は金属の他、樹脂も使用可能。2014 年 2 月に特許の期限切れを迎えた。

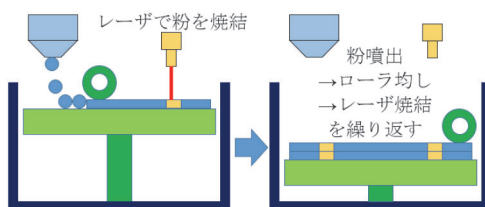


図 4 粉末積層焼結法

⑤ LOM 法 (Laminated Object Manufacturing)

シート状の樹脂を 1 層ずつ加熱ローラで圧着させる。圧着するごとにレーザーで輪郭をカットする。

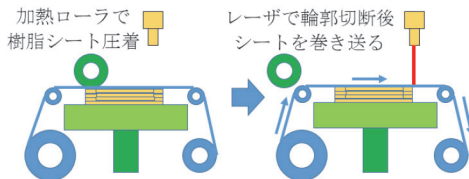


図 5 LOM 法

⑥ Paper 3D Printing

紙を積層する方式。予め 1 層の輪郭線に相当する箇所を印刷した紙を層数分準備しておく。紙と紙の間に接着剤を塗布し、1 層ごと輪郭線をカットで切断する。

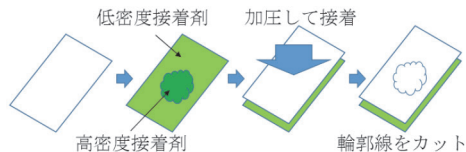


図 6 Paper 3D Printing

⑦ 熱溶解積層法 (FDM)

低価格 3D プリンタで使用されている方式。熱可塑性

樹脂(温めると溶け、冷えると固まる樹脂)を糸状にノズルから出力し、積層していく。主に ABS 樹脂が使用される。

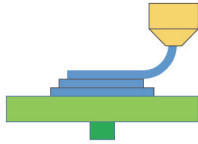


図 7 熱溶解積層法

2.2 低価格 3D プリンタの特色

多くの積層手段がある中で、FDM が低価格 3D プリンタのほぼ全てに採用されている理由は、次の点で他の積層方式と比較して優れているためと考える。

① 特許の期限切れのため、特許料フリー。

特許の期限切れにより、特許料がかからないため、安価に製造できる。またその他の方式では、以下の様に特許の期限が切れるため、今後、SLS の低価格化が期待されている。

光造形:2009 年に期限切れ(Hull 氏特許)

FDM:2009 年に期限切れ(Crump 氏特許)

SLS: 2014 年に期限切れ(Deckard 氏特許)

② 本体構造が比較的簡単で、小型化しやすい。

構造が簡易で部品点数が少なくできることから安価に製造できる。また、材料の融点が低いため消費電力が少なく済む。

③ 材料(ABS 樹脂)の利点

FDM では、素材として、ABS 樹脂を利用することが多いが、ABS 樹脂には以下の様な利点があり、FDM 方式を採用しやすい。

- ・入手性:安価で、流通量も多いため、入手しやすい。
- ・安定性:光造形樹脂と比較して ABS 樹脂は耐候性、耐光性に優れている。
- ・安全性:ABS は無毒では無いが、常温で溶け出さないなので、体内に取り込むリスクが低い。

材料強度:脆性材の石膏と比較して、樹脂は延性が高く割れ難い。

- ・廃棄性:造形時に排出される廃棄物の量が造形物の体積比で少ない。

すなわち、現状では「自宅・オフィス」での使用を想定する場合、FDM は最適であると言える。

ただし、FDM には次のような制限事項があるため、留意が必要である。

- ・透明材は造形不可。

光造形法、またはインクジェット法で可能。

- ・フルカラー出力は不可。

基本は1色で造形する。塗装が必要な場合は、造形後に手作業で行う。粉末積層固着法、またはインクジェット法で可能。

3. 具体的な使用手順

当社で購入した3D プリンタ Da Vinci 2.0 Duo (XYZ Printing 社製)で実際に3D データをプリントした。その作業手順を以下に記す。

3.1 プリントする前に用意するもの

(1) 3D データ

3D データを準備するためには、インターネットからフリーデータをダウンロードするか、3D-CAD を用いて作成するか何れかの方法がある。

① インターネットからダウンロードする方法

近年、3D プリンタの普及等により3D データを取り扱うユーザが増えたため、3D データをフリーでダウンロードできるサイトが増えている。主な例として以下のサイトが挙げられる。

- ・地理院地図 3D

<http://cyberjapandata.gsi.go.jp/3d/>

- ・モノログ

<https://www.mono-logue.com/> 等

② 3D-CAD を用いて作成

3D-CAD とは、PC 画面上で3次元形状を作成・編集するソフトウェアである。例えば、断面形状となる長方形を画面上に描き、これを押し出すことで直方体を作成する。(図 8)

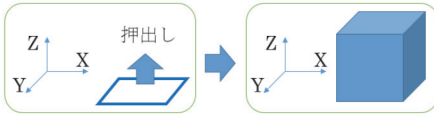


図 8 3D-CAD によるモデリングイメージ

これらの基本形状となる直方体や円筒形などを組み合わせたり、穴を開けたりする作業の積み重ねで任意の立体形状を作成することができる。3D-CAD には対象物や用途別に多くの種類がある。本稿では CIM で一般的に使用されている 3D-CAD (Autodesk® Revit®) を使って、3D データを作成した(図 9)

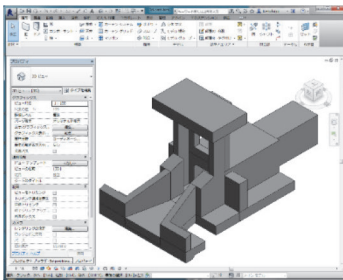


図 9 Autodesk® Revit®で作成した3D データ

(2) プリンタ出力用データの作成

作成した3D データをプリンタ出力用データに変換する。Da Vinci 2.0 Duo では、プリンタ出力用の形式としては STL(Stereo Lithography)形式が便利である。今回使用した Autodesk® Revit®では直接 STL データを出力する機能が無いため、一旦、DWG 形式 (AutoCAD® 形式) に出力した後、AutoCAD® Civil3D®を用いて、STL データを出力した。

(3) スライサソフトによる制御コード変換

3D データ(STL 形式)を、スライサソフトを介して 3D プリンタの制御コードに変換する。フリーソフトも存在するが、3D プリンタ Da Vinci 2.0 Duo の付属ソフトを使用した。(XYZ-Ware:図 10)

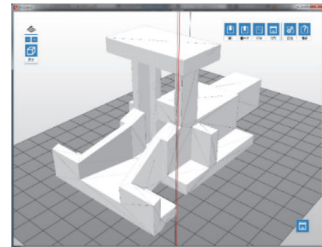


図 10 スライサソフト(XYZ-Ware)

スライサソフトの主な機能は、制御コードの計算及びサポート材とラフト材の作成計算2点である。

① 制御コードの計算

制御コードの計算は、次の二段階で行われる。

・Z(高さ)方向のスライス

球体を例に取る。高さ(Z 方向)にスライスし、平面的な形状の積み重ねに変換する。(円盤の積層)

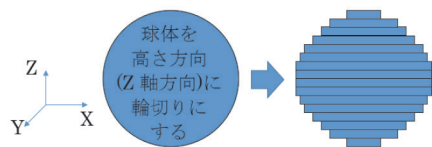


図 11 高さ方向にスライス

・XY 方向のパス作成

板状にスライスした層ごとに、一筆書きとなるように吐出ノズルが移動するパス(通り道)を作成する。このパス経路の計算を全ての層に対して実行する。

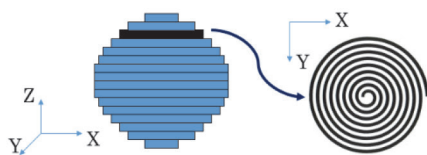


図 12 層ごとに経路計算

スライス厚さ、パス太さは、作業者が指定できる。経路計算はスライサーソフトが自動で行う。これら一定の太さを持つ線の集合の状態に変換した制御コード(3W 形式)として出力・保存する。3W 形式とは、3D プリンタ(Da Vinci 2.0 Duo)の製造元 XYZ Printing 社の独自形式である。

② サポート材とラフト材の作成計算

サポート材とラフト材の計算は次のように行われる。

下段の層は新しく積層される層より面積が広くなると、吐出された樹脂が垂れ下がってしまうことがある。(図 13)

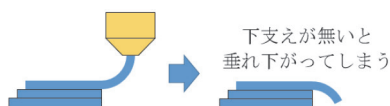


図 13 支えが無く、垂れ下がり発生する場合

サポート材とは、垂れ下がりを防ぐ目的で配置される足場である。底面積よりはみ出すような形状がある場合、自動認識して、その隙間を埋めるように足場が計算される。サポート材は同じ ABS 樹脂を使い、造形後に取り去ることを前提として、粗い密度の柱状で作成される。3D プリンタ Da Vinci 2.0 Duo はダブルノズルのため、2 色の樹脂を用いて判別しやすくできている。(図 14)

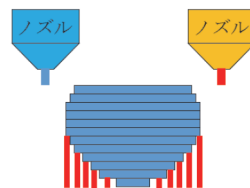


図 14 垂れ下がり防止のサポート材配置

ラフト材は、造形途中に発生する、めくれ上がりを防ぐ目的で配置される足場である。(ラフト=raft:筏の意味)

ABS 樹脂は冷却後の収縮率が大きく、これが原因でテーブルからのめくれ上がりが発生する。(図 15)

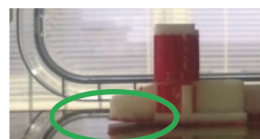


図 15 めくれ上がりの例

めくれ上がりのメカニズムは次の通り。

収縮した 1 層目の上に、暖められた 2 層目が置かれる。2 層目が冷却する際に 1 層目を引っ張る。この繰り返しで、テーブルに接する 1 層目の収縮による引っ張り力が密着力を上回るとめくれ上がりが発生する。(図 16)

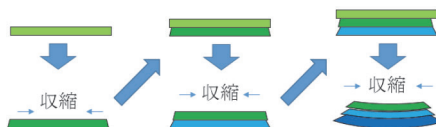


図 16 めくれ上がりの仕組み

これを防ぐためには、収縮による引っ張り力を上回るようなテーブルへの密着力があればよい。そこで、造形物の底面積よりも大きな面の捨て材を作成する。ラフト材も、ダブルノズルの機器であれば 1 色目: 本体造形用、2 色目: サポート・ラフト材用として使い分けことが可能となる。

3.2 データ作成から出力まで

データ作成から出力までの手順を樋門の CIM モデルを例にとって説明する。

(1) 3D-CAD によるモデリング

樋門の3D データを3D-CAD (Autodesk® Revit®) を用いて作成した。

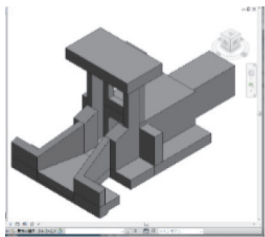


図 17 3D-CAD で作成した樋門モデル

(2) STL データ出力

Autodesk® Revit®で作成した DWG 形式のデータを AutoCAD® Civil3D®を用いて、STL データに変換した。

(3) スライサソフトによる STL データの制御コードへの変換

スライサソフトに STL データを読み込み、本体の制御コード、及びサポート材とラフト材の制御コードを出力した。出力例を図 18、図 19 に示す。図 18 では樋門の操作台の下にサポート材、躯体底面の下にラフト材が自動作成されているのが確認できる。また、図 19 ではノズルの移動する経路(パス)が一筆書き状に自動作成されていることが分かる。

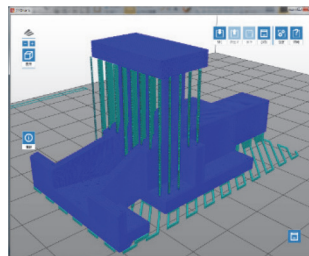


図 18 制御コードに変換したデータ

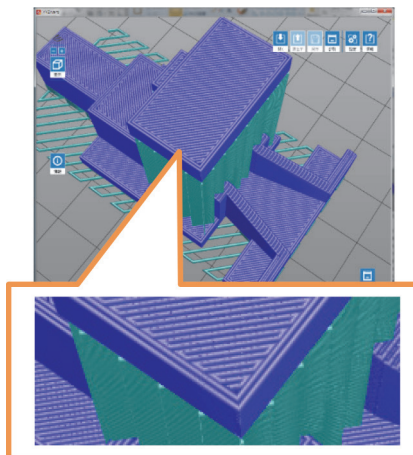


図 19 パスの拡大図

(4) プリント(造形)

(3)で出力した制御コードをプリンタに読み込ませて造形を行った。出力の大きさは、以下の通りとした。出力にかかった時間は約 80 分であった。

モデル寸法 (縮尺:1/200)

X:33.0、Y:62.15、Z:33.75[mm]

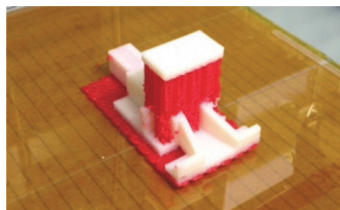


図 20 出力直後のモデル

3.3 プリント(造形)後の作業

造形後は不要となる、サポート材及びラフト材を手作業で取り去った。(図 21)

まず、ピンセットやニッパーで大まかに切り取り、残った部分はデザインナイフ、ヤスリ等で除去した。

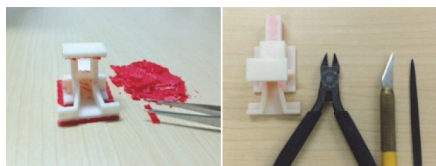


図 21 不要箇所の除去と工具類

不要箇所を除去した完成モデルを図 22 に示す。

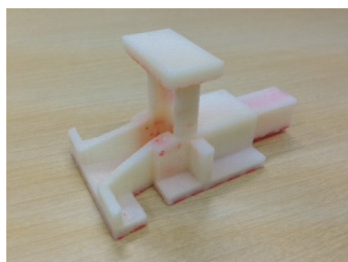


図 22 完成したモデル

3.4 3D プリンタを扱う上での注意点と対策

造形を実施した結果、次の2点に注意し、対策を行う必要があると思われた。

(1) めくれ上がり

ラフト材が自動計算されるものの、必ずしもめくれ上がりが防げるとは限らない。造形途中でめくれ上がりが発生した場合は、次のような対処方法を取り、密着性を高める手立てを取った。

- ・ テーブル面に予めプラスチック糊を塗布する。
- ・ ラフト形状を広くする。
- ・ 絶縁耐熱ポリイミドテープをテーブルに貼る。

なお、3D プリンタ(Da Vinci 2.0 Duo)には吐出後の急激な収縮を少なくするため、ニクロム線の入った

耐熱ガラスがテーブルに使用されている。出力前に通電が行われ、テーブルが保温された状態で出力が行われる。(温度は自動設定される)

(2) テーブルへの強固な密着

めくれ上がりとは逆に、樹脂とテーブル面の密着力が強すぎて、容易に外せないケースも発生した。

(図 23)

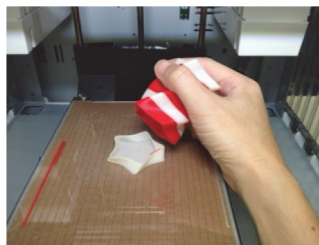


図 23 取り外しに失敗して壊した例

対処法としてはめくれ上がり対策の逆の方法を取ればよいが、造形する形状・大きさ・高さよって取りうる対策が異なってくる。ここでは Trial & Error を繰り返し、最適な対処方法のノウハウを蓄積する必要がある。例に取った樋門モデルの完成に至るまで、数度の失敗があり、糊量の増減やラフトの密度調整を行った。

テーブルからの取り外しにスクレーパ等を使用するが、ガラス面の破損や手の怪我等に注意して、作業を行い必要がある。

テーブルと造形物間の接触面への対策の他、めくれ上がりや取り外し困難な状態を起こしにくいようにモデル形状を作成する工夫も一定の効果があると考えられる。以下にその例を挙げる。

- ・ 外見上の形状が変わらないならば、接触箇所に切れ込みを入れる等して、テーブル接触面積を小さくする。
- ・ 密着力が高い場合は、部品分割を行い、部品 1 つあたりのテーブル接触面積を小さくする。

・ 捨て用の足場形状のモデリング

自動計算によるラフトの最大高さは 1mm 程度が限界である。そのため、ラフトを用いても外れない場合は、捨て用の足場をモデル化する。足場以外の空間は、サポート材を指定する。テーブルから取り外し後、足場は切り落とす。

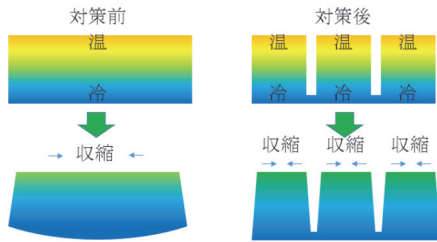


図 24 切れ込みの作成

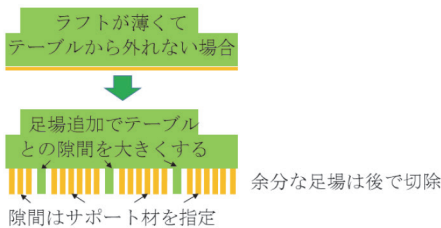


図 25 捨て用足場の作成

4. まとめ

本稿では、購入した低価格 3D プリンタを使用して、作業手順、また造形時に起こしやすい失敗とその考えうる対策を紹介した。

4.1 実際に作業してみてわかったこと

3D プリンタに 3D データをそのまま流しこむだけで造形が完成するのではなく、スライサーソフトにより生成される制御コードをもとにプリンタが出力をすることにより、造形が完成することを理解した。

また、スライサーソフトは現時点では万能ではなく、めくれ上がりや強固な密着、及び垂れ下がり等の不

具合を防ぐために様々な工夫が必要であり、そのために多くのノウハウの蓄積が必要であることがわかった。

4.2 今後の課題

本稿では河川構造物(樋門)を例に取り、試行錯誤をしながら一体成型を出力することができた。今後、様々な形状や大きさのモデルを出力するに当たっては、以下の点をはじめとする様々なノウハウを蓄積していく必要がある。

(1) 出力限界サイズ

Da Vinci 2.0 Duo では、テーブル広さとノズル駆動域より、出力可能範囲は幅 150mm×奥行 200mm×高 200mm となる。

出力サイズを大きくすることで、自重による潰れや重心位置の変化による転倒も考えられるため、そういった現象が起こらない、限界のサイズや形状についてノウハウを蓄積していきたい。

(2) 河川構造物以外の出力

モデルの解像度はノズル吐出径(最小 0.1mm)で決定される。本稿では比較的部材が厚めの樋門の 3D モデルを出力したが、鋼製橋脚など部材厚が薄い形状、または地形についても試験出力を行い、出力時のノウハウを蓄積していきたい。

<参考文献>

- 1) 「3D プリンター革命」(2013 年 7 月 31 日発行、株式会社ジャムハウス)
- 2) 「3D プリンターがわかる本」(2014 年 2 月 14 日発行、株式会社 洋泉社)
- 3) 「3D プリンタで遊ぼう」(2013 年 10 月 20 日発行、株式会社 工芸社)
- 4) 「トコトンやさしい 3D プリンタの本」(2014 年 5 月 27 日発行、日刊工業新聞社)