

3D プリンタによる建築模型の制作

勝野 幸司* 田中 裕一** 宮嶋 久幸**

Architectural Model Making with 3D Printer

Koji Katsuno*, Yuichi Tanaka**, Hisayuki Miyajima***

The report examines process and problem of making of architectural models with two types of 3D printers. As a result of modeling, it is clear that 3D printer can output architectural details more correctly as opposed to conventional handmade models.

キーワード：3Dプリンタ，建築模型

Keywords：3D Printer, Architectural Model

1. はじめに

1.1 要旨

1) 目的

建築模型はこれまで、主に部材として壁や屋根および床などの面材と柱などの棒材を用いて構成され、紙や木材を材料として制作されることが一般的であった。こういった模型制作とは制作方法を全く異にする3Dプリンタによる造形は、今後の模型制作方法の選択肢として、これまでの制作方法と比べてどういったメリットやデメリットがあるのかを確認し、整理しておくことが今後の模型制作ならびにその指導に有効であると考え、本報告は本校八代キャンパスに導入された3Dプリンタを用いて建築模型を制作する過程と成果について報告する。尚、本報告でを使用したプリンタの概要は表1の通りである。

2) 考察の要点

3Dプリンタとは、3D CAD データや3D スキャナデータを元に、樹脂の層を細かく積層させていくことで立体モデルを制作できる装置のことである。上述の従来の建築模型の制作方法と比べて、3Dプリンタのメリットとして主に以下の点が挙げられるが、実際に制作を行うことでどの程度のメリットがあるのか、あるいは逆に従来の制作方法の優れている点を整理することが必要である。

- ・精度=3Dデータ通りのものが造形されるため、複雑な形状を高い精度で再現することができる。但し、建築模型はその制作の目的（エスキスか最終成果物か等）、表現方

法（縮尺、彩色等）によって求められる精度は異なるため、これらに応じて従来の方法とどのように使い分けるかを検討する。

表1 使用した3Dプリンタの仕様一覧

プリンタ略称	A	B
品名と写真	Dimension Elite	Projet HD 3500Plus
		
造形方式	FDM 方式	インクジェット方式
造形材料	ABS 樹脂	アクリル樹脂
造形可能サイズ (X×Y×Z) (mm)	203×203×305	298×185×203 (HD) 203×178×152 (UHD) 203×178×152 (XHD)
精度 (mm)	0.178/0.254	0.025~0.5

- ・作業労力と制作コスト=人間にかわり機械が作業するため、制作（造形）にかかる時間は基本的に0である。但し、CADデータの作成や出力の準備など新たな作業時間も生じると考えられ、材料もこれまでのものと比べて高価になる可能性もあるため、どの程度のメリットがあるか検証する。

- ・材料と耐久性=紙や木材に比べ硬質の材料（今回はABSおよびアクリル樹脂）を用いることや、材の継ぎ目が生じないことにより、破損の恐れや劣化が少ないと考えられる。一方で硬質になることにより二次加工が難しいこと等のデメリットが生じることも考えられるため、制作の過程を通じて検証していく。

主に以上の点を中心に、全体として3Dプリンタでの制作にどの程度のメリットがあり、従来の制作方法との使い分けがどのようにできるかを最終的に検証する。

* 建築社会デザイン工学科
Dept. of Civil and Architectural Engineering
** 機械知能システム工学科
Dept. of Mechanical and Intelligent Systems Engineering
*** 技術・教育支援センター
Center for Technology and Education Support
〒866-8501 熊本県八代市平山新町2627
2627 Hirayama, Yatsushiro-shi, Kumamoto, Japan 866-8501

1. 2 制作の方法

1) 使用した3Dプリンタの仕様と特徴

本報で用いた3Dプリンタの仕様は表1の通りである。今回は2台のプリンタを使用し、ほぼ同様の模型を造形することで、両プリンタの比較も行う。3Dプリンタにはいくつかの造形方式がある。造形方式とは、造形材料となる樹脂の層の積層方法のことであるが、今回の2台についてはプリンタ A が FDM 方式、プリンタ B がインクジェット方式となっている。以下にその概要を説明する。

FDM (Fused Deposition Modeling) 方式は、熱溶解積層法のこと、ABS 樹脂やポリカーボネート等といった実材料を使用できる。材料はスプール（釣り糸）形状で供給され、ヒータで溶融した樹脂を細いノズルから押し出していき、溶融部分と、射出される造形エリア内の温度差を利用し、射出した瞬間に固着していく。メリットとしては、ABS などの材料を用いるために、穴あけ等の二次加工がしやすいことや、ある程度の強度が確保できる点が挙げられる。一方で、デメリットとして、層間の断層が目立ちやすく表面が平滑な造形が必要な場合には向かない点が挙げられる。

インクジェット方式は、インクジェットヘッドを使い、紫外線硬化性の樹脂を高解像度で噴射する方法で、噴射した樹脂を紫外線で固めながら積層し造形を行う方式である。メリットとして複数の素材を選択できたり混ぜたりすることができることや、表面の平滑度を高くできる点が挙げられる一方、デメリットとして、紫外線硬化性の素材を用いるために、太陽光での劣化が起こりやすい点が挙げられる。

2) 制作の過程

本報で行った3Dプリンタによる建築模型の制作過程は以下①～③の通りである。

①データの作成

資料^{(1)~(3)}をもとに、CAD アプリケーションで造形物のデータを作成する。最終的な造形には3D汎用データ形式である STL 形式等のファイルが必要であるため、これらの形式に変換が可能である CAD アプリケーションを使用する必要がある。今回の造形では、「VecorWorks」(Mac 版)を使用した(造形その1(2章)では version2010, 造形その2(3章)では version2013を使用した)。

②ドライバによるサイズ調整と造形

①で作成したデータを3Dプリンタ付属のドライバで開き、造形可能なサイズであるか確認し、造形可能な大きさを超える場合は縮小する等サイズの調整を行い、その後プリンタでの造形を行う。

③後処理と完成

3Dプリンタによる造形物はその形状によって、造形物本体と共にサポート材が造形される。この除去を後処理として行い、造形は完了する。

今回は試作品として、実在する建築物(図1)を上記の手順で造形し、造形物と制作過程の問題と課題を整理する。

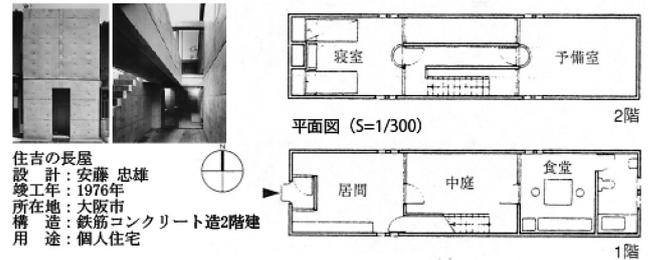


図1 造形する建築物の概要（文献1, 2より引用）

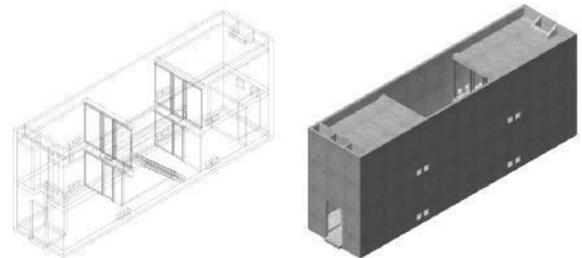


図2 作成した3Dデータ(1回目)のレンダリング結果(左:ワイヤーフレーム/右:ソリッド)

2. 制作過程と造形の結果(その1)

本章では、最初(平成24年5~6月)に行った3Dプリンタ A での制作過程を以下の通り整理し、問題と課題を述べる。プリンタの仕様は表1の通りである。

2. 1 データの作成

文献^{(1)~(3)}に掲載された設計図面や写真を参考に、3Dデータを作成した。当初、1回目の造形は試行的な目的が主であったため、「住吉の長屋」の空間構成が十分伝わる程度の精度でのデータ作成とし、この建築の特徴の一つであるコンクリート打ち放し壁の型枠の打ち継ぎ目地やセパレータ穴は省略した。尚、データは通常の建築 CAD の作業と同様に原寸で入力した(作業画面の縮尺は1/100)。作成したデータのレンダリング結果は図2の通りである。

2. 2 ドライバでの調整

データの入力終了した後、STL形式で出力を行い、ドライバでのデータ確認を行った。尚、STLデータ出力の際に ascii 形式と binary 形式の選択の必要があるが、両方とも確認したところ、それぞれで後の作業での差はなかった。

データを通常の図面作成と同様に原寸で入力し作成しており、造形可能サイズ(203×203×305mm)を大幅に超えていたため、サイズの調整(縮小)が必要となった。建築模型は空間の大きさを確認することが求められるので、通常は縮尺をキリのよい数字(1/50, 1/100, 1/200など)とするが、今回は造形可能な最大サイズで造形することを選択しデータの縮小(を行ったため、結果的に縮尺は約1/72(=模型の長手方向199mm/長手方向の原寸14250mm)となった。

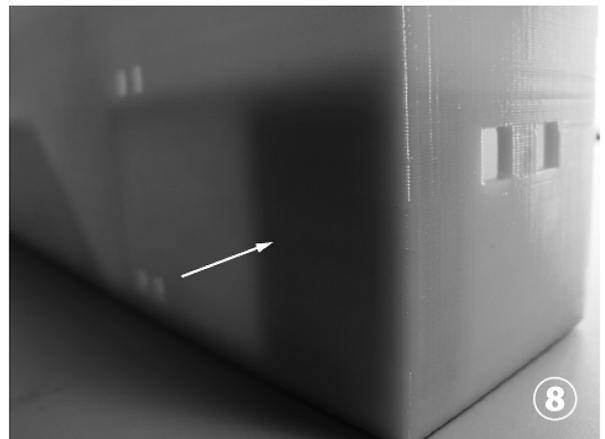
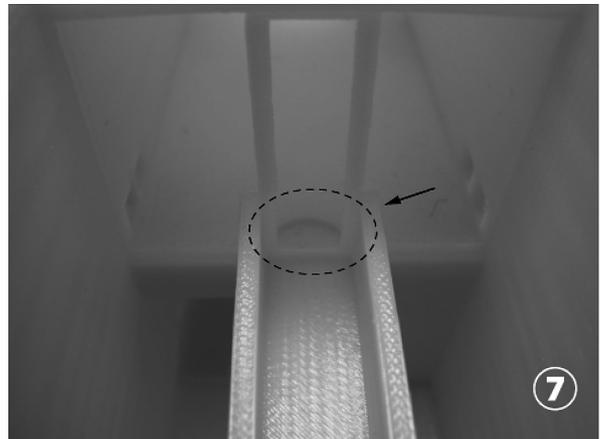
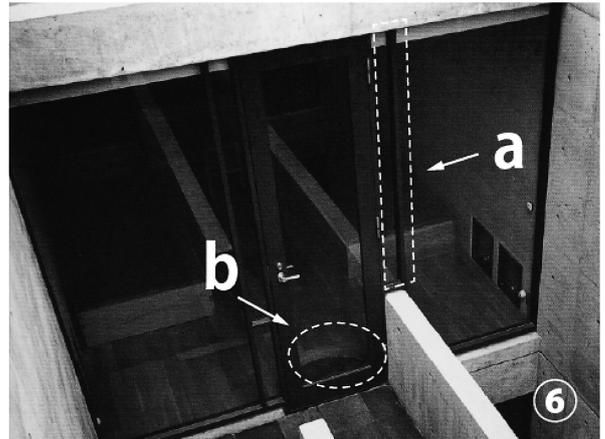
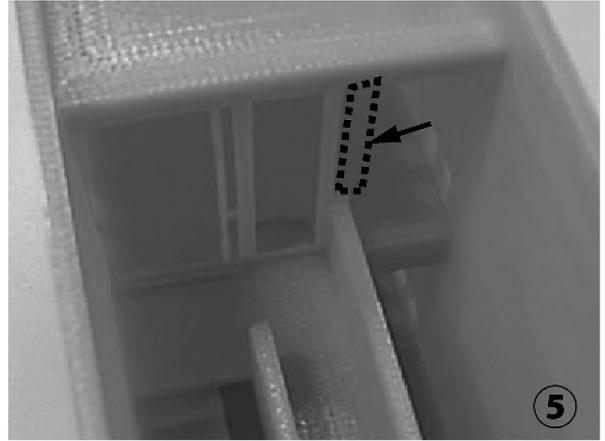
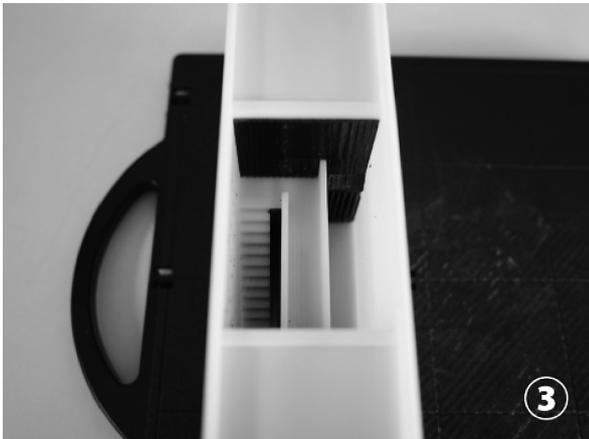
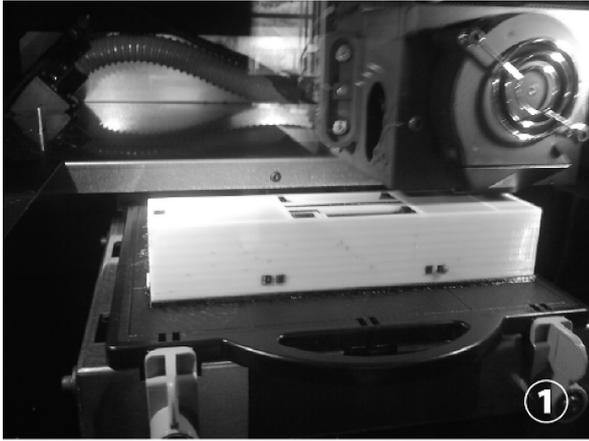


図3 造形の結果 (その1)

2.3 造形の結果と考察

図3に造形の結果を示す。①はプリンタ内での造形の様子である（2階床レベルの造形中）。②③は造形が終了し、台座から外す前の状態である。内部空間や2階ブリッジ下部などの空隙部分に茶色のサポート材が入っているのが確認できる。この後、台座から模型を外し、模型をアルカリ水溶液に漬ける後処理を行い、サポート材を除去したのが④である。データ入力されていたほとんどの部分は問題なく造形されたが、サッシの一部の造形が非常に細かったため、図3⑤の通り作業途中で折れて紛失してしまった（⑥は実物の写真：矢印a部分が当該サッシ）。折れたサッシの実物での断面形状は長方形で、その短手寸法は原寸で30mm、今回の1/72スケールでは約0.4mmとなる。この細さまで造形されることは確認できたが、サッシのように細長く撓みやすい部材については壊れやすいため、実物よりも大きい断面寸法でデータ作成するか、省略して造形終了後に別部材として追加することを検討する必要があるといえる。一方で、2階寝室と予備室に設けられている半円形の踏込（段差）部分（⑥：矢印b部分）は⑦の通り、問題なく造形されていた（⑦）。踏込と2階床の段差は原寸で60mm、今回の1/72スケールでは約0.8mmとなる。この程度の段差は十分に造形できることがわかった。⑧の矢印はサポート材が残ってしまっている部分を指している。ここは浴室隣のボイラー室で、開口部がないため閉鎖された室として造形され、後処理を施してもサポート材が溶け出さなかったことによる。開口の無い空間を造形する場合は予めサポート材を抜き出す穴を開けるなどの注意が必要である。また、材の表面はデータ上では平滑であってもこの3Dプリンタの特性（1.2（1）参照）もあって多少ざらつきがあった。平滑な面を追求するのであればヤスリがけなどの二次加工が必要となる。

3. 制作過程と造形の結果（その2）

本章では、2回目（25年9月）に行った3DプリンタBでの制作過程を以下の通り整理し、問題と課題を述べる。プリンタの仕様は表1の通りである。

3.1 データの作成

1回目の造形と異なる点として、カットモデルとして作成し、内部空間を把握できる様にした。切断位置は短辺方向の中央とし、中庭やブリッジを中心とした空間構成がわかるようにした。また、表1の通り、プリンタBはAに比べ造形精度が高く、2.1では省略したコンクリート打ち放し壁の型枠パネルの目地やセパレータ穴も十分に造形できると考え、文献を参考にデータ作成を行った。打ち継ぎ目地とセパレータ穴の寸法は図4の通りである。パネル間の目地寸法は実物での寸法は規定されていない（施工の結果生じるものである）が、模型の表現上目地が表れるよう、適宜寸法を設定した。床スラブ上端部分にあたる打ち継ぎ目地は20mmとなり、他の目地よりも目立つ（図4写真参

照）。以上の通り作成したデータのレンダリング結果を図5に示す。

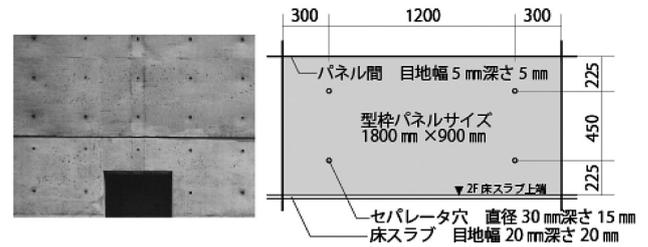


図4 型枠パネルおよび周辺の実物写真と寸法

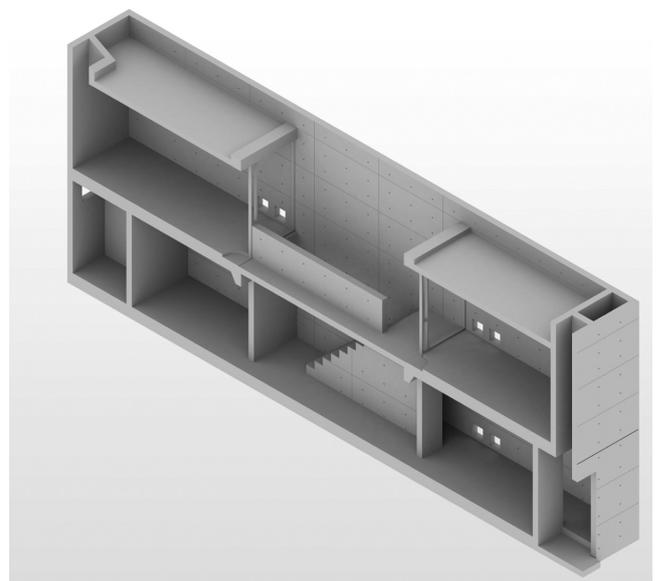


図5 作成したデータのレンダリング結果

3.2 ドライバでの調整

データの入力が終了した後、STL形式で出力を行い、ドライバでのデータ確認を行った。今回の造形物はカットモデルで、内部が露出した状態となるため、サポート材の消費を少なくするために切断面を造形台の上部に向けるよう設定を行った。尚、造形する模型の縮尺は1/100とした。その結果、出力サイズは1回目の造形に比べ72%程度のサイズとなった。

3.3 造形の結果と考察

プリンタでの造形後、後処理を行った。プリンタBの後処理は、オープンでサポート材をある程度溶かした上で、溶液に漬けることで除去を行っている。図6に造形の結果を示す。

今回の造形材料はアクリル樹脂であることから、造形物は乳白色のスケルトン模型となった。部分的に白みがかっているのは、今回の造形の際にプリンタでの造形後、後処理までの期間が1ヶ月程度空いてしまったために、除去されずに一部のサポート材が残ってしまったためである。

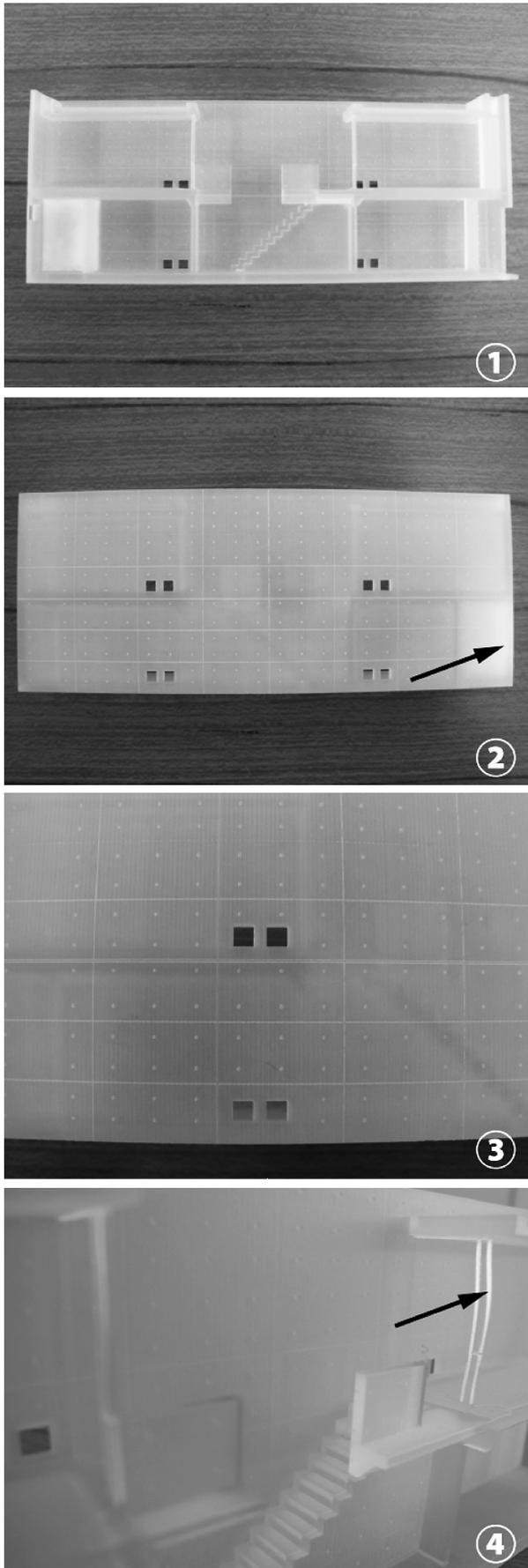


図6 造形の結果 (その2)

①は切断面側からみたものである。図5のレンダリング結果と異なるが、ブリッジ部分は短手方向にも切断してその断面形状が確認できるようにしてある。壁梁や柱の切断面は精度高く造形されている。面は多少のざらつきは残るが、1回目の造形に比べれば平滑に仕上がっている。建築模型の階段部分は精度が低いと全体的に粗い仕上げに見えるが、今回の造形では階段の一段ずつが精度高く造形され、美しく見える。本来的には階段の手前には壁があり、階段の裏面は見えないはずであるが、アクリル樹脂で造形されたことにより透過されていて、階段の形状を確認しやすい。

②は外壁側からみたものである。型枠パネルの目地とセパレータ穴が造形されているのが確認できる。矢印部分は1回目の造形でサポート材が残ってしまったボイラー室部分である。今回はサポート材が溶け出すことを意図して、プリンタでの造形後に底面にピンバイスで穴を2カ所開けたが、穴の径が小さかった ($\phi=1\text{mm}$) こともありサポート材が溶け出さなかった。このことから、閉塞空間(周囲に開口の全く無い空間)の造形にあたっては、より大きな穴を開けるか、データ作成の段階でスラブを抜いておくなどの対策が必要と考える。外壁は材料の影響で透過され、反対側の床スラブ断面を確認することができる。

③は②を拡大したものである。セパレータ穴は微小なぼみであるが、全ての穴について等間隔で造形がなされていた。型枠パネルの目地もほぼ正しく造形され、若干深い溝となっている2階床スラブ上端にあたる目地(図4:床スラブ目地)は他の目地(図4:パネル間目地)に比べ、より目立つ。1/100の造形での両者の目地のサイズはそれぞれ0.20mmと0.05mmであるが、正確に造形されたことで双方の差(0.15mm)を明確に確認することができる。通常の建築模型の制作において、このような目地を制作するには、面材の上にプリンタなどで印刷した目地を貼付けたりするが、そういった方法ではくぼみは再現されないため、この点に3Dプリンタのメリットを見いだすことができる。

④は中庭上部部分を拡大したものである。矢印部分は図3の写真⑥のa部分のサッシを造形したものであるが、若干歪んでいるのがわかる。歪みの原因は、サポート材を溶かす際のオープンの熱であると考えられる。この部分は、1回目の造形では破損してしまった部分である。今回の造形では歪みはしたものの破損には至っていない。造形材料と方法の相違の結果と考えられ、線材の造形についてはFDM方式よりもインクジェット方式の方が優れているといえるかもしれない。但し、2回の造形の結果からわかるように、細い材の造形の方法には課題が残る。

4. まとめ

4.1 3Dプリンタの長所と留意点

造形の結果から、従来の方法との比較を加え、それぞれのメリットなどについてまとめる。

表面や精度など全体的な仕上がりをみる。いずれの方法

においてもほぼデータ通りに造形されたことから、仕様と同程度以上の精度は確認できたといえる。表面の平滑度については2回ともざらつきがあるため、一般的な面材に比べれば平滑度は劣る。平滑度を上げたい場合はヤスリがけなどの2次加工や塗装が必要であるが、本報では試していないので今後の課題としたい。平滑度について2回の造形を比較すると、2回目の造形の方が面の平滑度は高かった。2回目で用いたアクリル材料は壁の反対側が透過する特徴があり、この特徴は外部から内部空間をやや見せることが可能であり、内部に照明を組み込む等、応用した使い方も期待できる。

作業労力についてであるが、これは3Dプリンタによる出力でどこまで作り込むかに大きく影響されるといえる。基本的にはデータの作成が終わってしまえば、後の制作についてはプリンタが行うので、データの作成にどれだけの時間をさくか、またはCAD操作の習熟度合いにもよるといえる。また、3Dプリンタの造形での課題は、造形の途中で問題点に気づいたとしても、その段階では手直ししがしにくい点が挙げられる。2回の造形の結果、データ作成や後処理の段階で留意すべき点をいくつか挙げる事ができたが、今回造形したモデル以外で造形した場合は、また異なる問題点とそれに応じた対策が必要となってくるであろう。この課題をクリアするためには事前に留意すべき点を予めよく認識して対策を講じることと、これに対応するために制作（出力）スケジュールに余裕をもっておくことが挙げられる。

材料と耐久性について検証する。従来の面材と線材を組み合わせる方法では、接着部分が生じる。建築模型の破損と劣化は経験上、接着面の劣化や破断がほとんどの原因を占める。一方で、3Dプリンタによる出力は、少なくとも一体成形の場合において接着面は全くなく、今回の造形物をみても面と面の交差する部分などは堅牢で、落下などしない限り破損の心配は感じられない。この点は大きなメリットといえる。

4.2 3Dプリンタ使用の上での課題

造形の結果を踏まえ、建築模型に3Dプリンタを用いる上での課題を整理する。

1) 材料費

一つ目の課題として材料費用が挙げられる。3Dプリンタによる造形の場合、造形1を例に挙げると、消費したモデル材料およびサポート材、実際に必要となった材料費は表2の通りである。結果的に約2.6万円を要しているが、同等のサイズの建築模型をスチレンボードなどで制作した場合の材料費は数百円程度であると考え、相当に高額であることがわかる。このことから、費用面からのみ考えた場合では、現段階で3Dプリンタを用いた造形は、手作業では造形が困難であると考えられる詳細な部分や複雑な形状、または木材やスチレンボードでは強度の不足する部分といった、模型全体ではないある一部分に使用を限定する

か、ある程度制作費に余裕があって恒久的に保存を要するような模型の制作に向いているといえる。但し、プリンタの普及に伴い、材料費の低下が実現すれば、使用の幅は更に広がることは期待できる。

表2 造形（その1）に要した材料費

使用材料量 (cm ³)		材料単価 (円/cm ³)		造形材料費 (円)	
モデル材料	サポート材	モデル材料	サポート材	モデル材料	サポート材
165.042	170.263	81.52		13,454	13,880

2) 造形に要する時間に対する考え方

1回目の造形では38時間54分を要した。これに後処理の時間を加えると、丸二日程度の時間が造形に必要となった。当然、造形物の大きさや形状で時間は異なってくるが、使用にあたっては「時間対効果」を吟味することが求められる。これに加え、前節に触れた通りCADデータ作成の時間が必要となる。例えば1棟の建築物を丸々作り込むような場合では相当の時間を要することもあるため、注意が必要といえよう。

4.3 今後の展開

データが正しく作成されていれば、精度も高く一定以上の造形成果が期待できることが今回の2回の造形で確認できた。今後は、従来の方法では制作が難しかったより複雑な形状の造形などについて、出力と検証を行いたい。

(平成25年9月25日受付)

(平成25年12月3日受理)

参考文献

- (1) 安藤忠雄：「Tadao Ando Houses & Housing 安藤忠雄の建築1」, TOTO 出版 (2007)。
- (2) 安藤忠雄：「家 1969→96 住まい学体系076」, 住まいの図書館出版局 (1996)。
- (3) 日本建築学会編：「建築設計資料集成一居住」, 丸善 (2001)