

ビットから建築を積み上げる

～デジタル技術による、最小単位の設計と構築の提案～



introduction

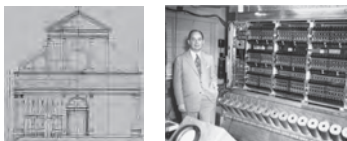
はじめに

建築の存在の再考と時代性の再獲得

建築とは私たちにとってなんなのだろうか。現代の建築にはさまざまな用途があり、その存在については意識することは少ないかもしれない。建築の最も原始的な用途は住むことであり、さらに避れば私達を危険から守る「道具」なのではないかという私の考えである。本研究は建築を道具の1つとして捉え、これからの建築の在るべき姿の探求を行う。現代における技術の進化に伴った建築の在るべき姿を考える中で、**組織造的な建築の作り方とデジタルテクノロジーを掛け合わせることで、建築行為をすべての人に解放することができる**と考え、それを目標に研究を行う。組織造が抱えていた技術的な課題をブロックの形状とその組み合わせ方を検証することで解決する。それは技術的な面に留まらず建築の内外の環境調和も同時に解決することを可能と考える。

02 計算機の発展と建築

建築の高度化による計算量の増加を計算機の発展が支えた



建築をつくる際には寸法や数が重要になるため、計算機なしで作ることは難しい。ルネサンス期には計算量の効率化や正確な施工のため幾何学の導入が試みられた。コンピュータ黎明期には複雑な形態の創生と図面やパースなどのビジュアライゼーションへの挑戦が多く行われ、それに伴い高い施工技術も生まれた。デジタル化に伴い、近代では有機的な曲線を用いた奇抜な建築が乱立するようになる。

04 デジタルの特性

最小単位としての「粒」を有する点で建築とデジタル技術は似た論理によって構築されている。

デジタルと建築の親和性を探っていくと、デジタルに見られる点の集積と建築における組織造が共通点として浮かび上がる。

ビット



ディスプレイ

印刷

ブロック



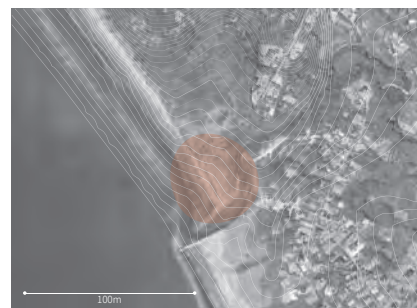
石の家

日干し煉瓦の家

デジタルはビットと呼ばれる小さな点を集積させることで描画する。それに対し組織造はレンガなどの規格化された最小単位の集積によって構成されている。全く別の技術でありながら決まった最小単位の繰り返しによって表している点において共通しており、新たな建築をつくる可能性を秘めていると考えた。

06 敷地・プログラム

敷地 千葉県富津市亀田一



敷地選定条件



コンテキストの強い地域

コンテキストの弱い敷地

文化や歴史、地域性に左右されないよう、コンテキストの弱い地方の集落の一角とした。

→システムの提案としての純度を上げることが容易



平地、急傾斜地、砂浜、川、海といった一般的な地形や地理的要素を内包している

→提案の理想形は全国どこでも適応できるものを目指しているため、その実験地として最適と考案選定

プログラム 一休憩所一



住宅よりも簡素な機能で十分なためより純粋なシステムで建築できる。



宿泊施設



住宅

オーナーと宿泊客で村のようなものを作ることが可能 (建築単体ではなくネットワーク的にデザインできる)

01 道具と建築の発展

建築について知るためには、道具の進化に着目することが重要である。



道具

建築

建築の形態は、常にそれを形作る道具に呼応する。時代の移り変わりによって発展する道具に伴い、建築の形態も変化を遂げてきた。その中でも道具の発展の中で特に大きな影響を与えたのが計算機の誕生である。算木などの原始的なものから始まり、短期間で飛躍的な計算能力の向上と小型化が進み、現代のコンピューターに至る。

03 建築と機能性の乖離

技術的挑戦に留まったデジタルデザインによる巨匠の建築作品。

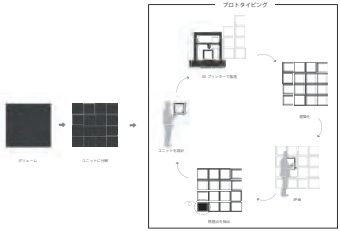


デジタル化に伴い、近代では有機的な曲線を用いた奇抜な建築が乱立するようになる。

奇抜な建築は、常に話題性を生む。しかしその施工方法は、従来の建築に用いていたものと大きな変化はなく、現在の建築の形態に見合っていない。手作業によって建てられる建築はデジタル技術の進化に反地適なものである。また、技術の進化に驕った結果、機能と形状が噛み合わない建築も多く見られるのが現状である。

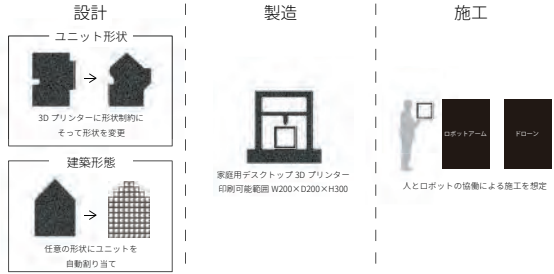
research 1

07 プロトタイピング



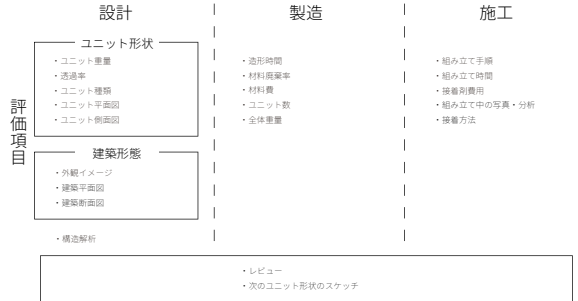
単純なプロトタイプを作り、10を超える評価軸によって評価をし、また新たなプロトタイプを作る一連のプロセスを繰り返すことを「プロトタイピング」と定義する。
今回の研究ではそのプロトタイピングを手法として採用した。

08 検討環境



建築が建つまでを設計・製造・施工の3つのフェーズに分けて検討を行う。

09 評価項目



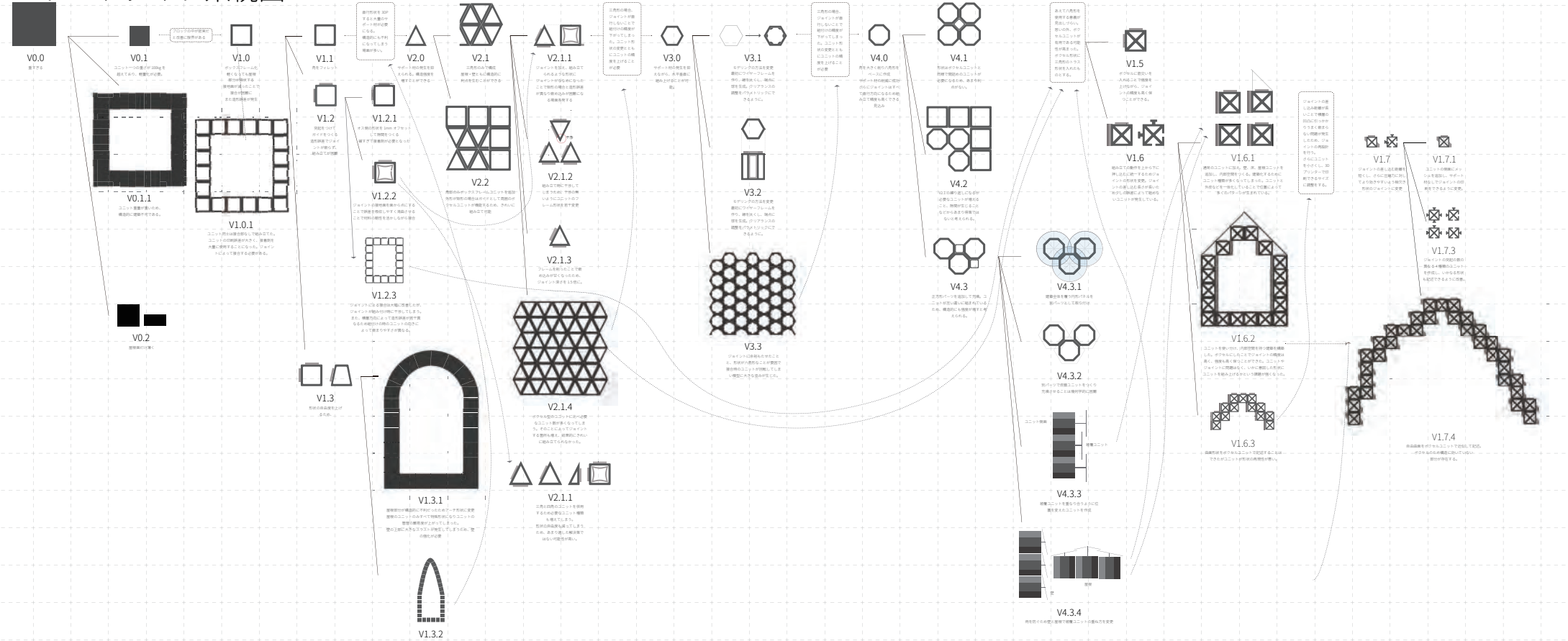
10 建築材料

3Dプリントしやすく、強度のある材料としてPETを選定。

	名前	PET
	ヤング係数	108.7 (kN/cm ²)
	せん断弾性係数	77.643 (kN/cm ²)
	密度	12.5 (kN/m ³)
	線膨張係数	0.000058 (1/°C)
	引張強度	1.34 (kN/cm ²)
	圧縮強度	-8.95 (kN/cm ²)

3dプリント材料としては扱いやすいが、建築構造材料として使用することは現実的には難しい。あくまで今回の研究では現在の3Dプリント材料として使用できるものから私のスキルと予算の都合に合わせて選定した。

12 プロトタイプ系統図



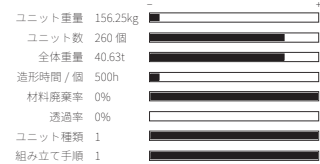
13 プロトタイピングシート

プロトタイプを繰り返しながら、簡単な手順で素早く安く作ることでできる建築を模索した。以下に重要なプロトタイプをピックアップしている。

0.1



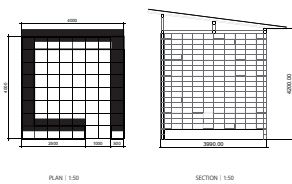
DATASHEET



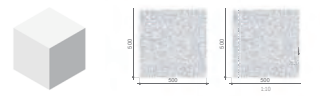
SUMMARY

このプロトタイプはもっとも単純な形状の形を行なった。内側は単純で完成されているため、その造形時間は非常に長く、重量も重い。また、開口部をつくることもできないため、居住性としては高い性能を有している。従来のコンクリートブロックよりも多量に積層が必要であるため、ユニットの軽量化と多量化は必要であろう。

DRAWING



UNIT



このユニットは接合部なども対応していないため、ユニット間の接合が難しくなる。今回はアクリル接着剤を使用することで解決した。また、開口部をつくることもできないため、居住性としては高い性能を有している。また、従来のコンクリートブロックよりも多量に積層が必要であるため、ユニットの軽量化と多量化は必要であろう。

ASSEMBLE



接着方法	アクリル用接着剤
組み立て時間	約 3h
接着剤費用	900円
材料費	2,400円
材料費合計	4,400円

このユニットは接合部なども対応していないため、ユニット間の接合が難しくなる。今回はアクリル接着剤を使用することで解決した。また、開口部をつくることもできないため、居住性としては高い性能を有している。また、従来のコンクリートブロックよりも多量に積層が必要であるため、ユニットの軽量化と多量化は必要であろう。

SIMULATION

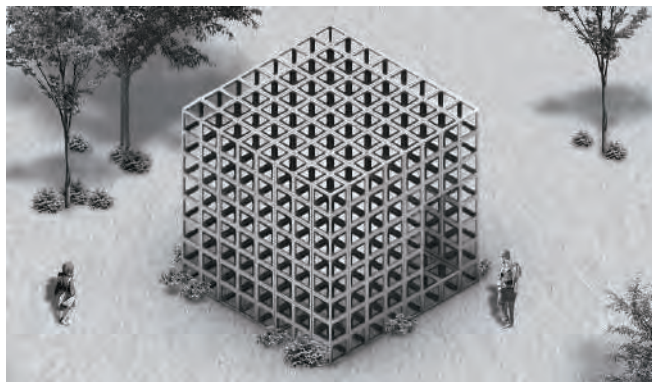


接続タイプ	穴なし	穴あり	穴あり
重量	156.25kg	156.25kg	156.25kg
透気性	N/A	N/A	N/A
透水性	N/A	N/A	N/A
透風性	N/A	N/A	N/A

REVIEW

本タイプでは単純な立方体の形状で行った。内側は単純で完成されているため、その造形時間は非常に長く、重量も重い。また、開口部をつくることもできないため、居住性としては高い性能を有している。従来のコンクリートブロックよりも多量に積層が必要であるため、ユニットの軽量化と多量化は必要であろう。

1.0.1



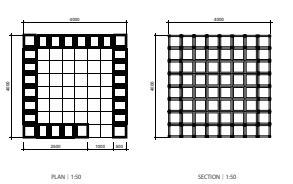
DATASHEET



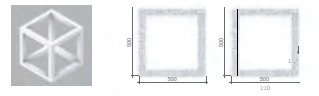
SUMMARY

このプロトタイプでは単純な形状の形を行なった。内側は単純で完成されているため、その造形時間は非常に長く、重量も重い。また、開口部をつくることもできないため、居住性としては高い性能を有している。従来のコンクリートブロックよりも多量に積層が必要であるため、ユニットの軽量化と多量化は必要であろう。

DRAWING



UNIT



このユニットは接合部なども対応していないため、ユニット間の接合が難しくなる。今回はアクリル接着剤を使用することで解決した。また、開口部をつくることもできないため、居住性としては高い性能を有している。また、従来のコンクリートブロックよりも多量に積層が必要であるため、ユニットの軽量化と多量化は必要であろう。

ASSEMBLE



接着方法	アクリル用接着剤
組み立て時間	約 6h
接着剤費用	300円
材料費	250円
材料費合計	1,250円

このユニットは接合部なども対応していないため、ユニット間の接合が難しくなる。今回はアクリル接着剤を使用することで解決した。また、開口部をつくることもできないため、居住性としては高い性能を有している。また、従来のコンクリートブロックよりも多量に積層が必要であるため、ユニットの軽量化と多量化は必要であろう。

SIMULATION

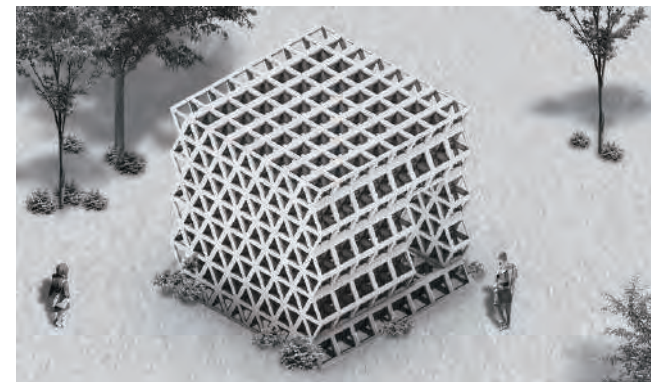


接続タイプ	穴なし	穴あり	穴あり
重量	16.25kg	16.25kg	16.25kg
透気性	N/A	N/A	N/A
透水性	N/A	N/A	N/A
透風性	N/A	N/A	N/A

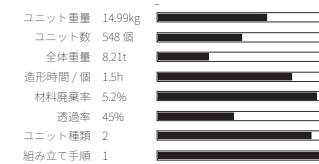
REVIEW

本タイプでは単純な立方体の形状で行った。内側は単純で完成されているため、その造形時間は非常に長く、重量も重い。また、開口部をつくることもできないため、居住性としては高い性能を有している。従来のコンクリートブロックよりも多量に積層が必要であるため、ユニットの軽量化と多量化は必要であろう。

2.1.4



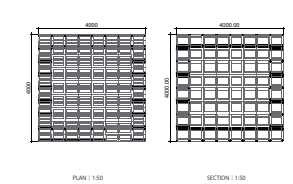
DATASHEET



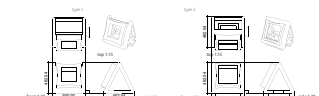
SUMMARY

ここでは、ユニットの形状を三角形にすることで、サポート材の削減、構造強度の向上を図っている。材料廃棄率は1.0に比べて、構造強度は大幅に向上を遂げている。また、外側には三角ユニット設計の形状が特徴的なユニットの形状を組み合わせることで解決している。

DRAWING



UNIT



このユニットは接合部なども対応していないため、ユニット間の接合が難しくなる。今回はアクリル接着剤を使用することで解決した。また、開口部をつくることもできないため、居住性としては高い性能を有している。また、従来のコンクリートブロックよりも多量に積層が必要であるため、ユニットの軽量化と多量化は必要であろう。

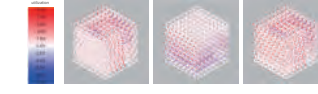
ASSEMBLE



接着方法	アクリル用接着剤、接合の摩擦剤
組み立て時間	約 15h
接着剤費用	600円
材料費	1,100円
材料費合計	1,700円

このユニットは接合部なども対応していないため、ユニット間の接合が難しくなる。今回はアクリル接着剤を使用することで解決した。また、開口部をつくることもできないため、居住性としては高い性能を有している。また、従来のコンクリートブロックよりも多量に積層が必要であるため、ユニットの軽量化と多量化は必要であろう。

SIMULATION



接続タイプ	穴なし	穴あり	穴あり
重量	14.99kg	14.99kg	14.99kg
透気性	N/A	N/A	N/A
透水性	N/A	N/A	N/A
透風性	N/A	N/A	N/A

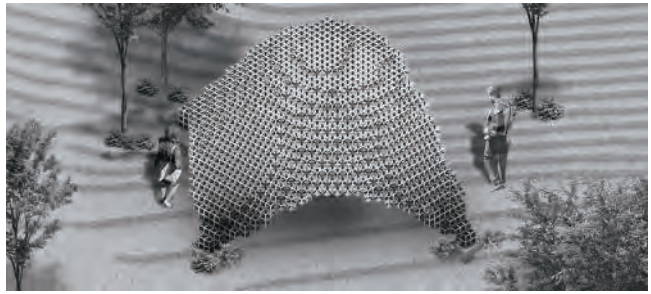
REVIEW

本タイプでは、三角形の形状で行った。内側は単純で完成されているため、その造形時間は非常に長く、重量も重い。また、開口部をつくることもできないため、居住性としては高い性能を有している。従来のコンクリートブロックよりも多量に積層が必要であるため、ユニットの軽量化と多量化は必要であろう。

conclusion/Future

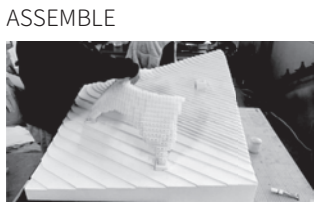
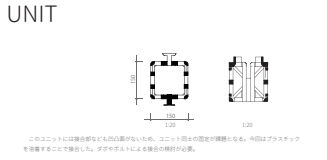
14 最終モデル

1.7.4



DATASHEET

ユニット重量	1.08kg
ユニット数	1581個
全体重量	1.7t
造形時間/個	2.8h
材料廃棄率	0%
透過率	24%
ユニット種類	5
組み立て手順	1



接着方法 アクリル用接着剤

組み立て時間 約11h

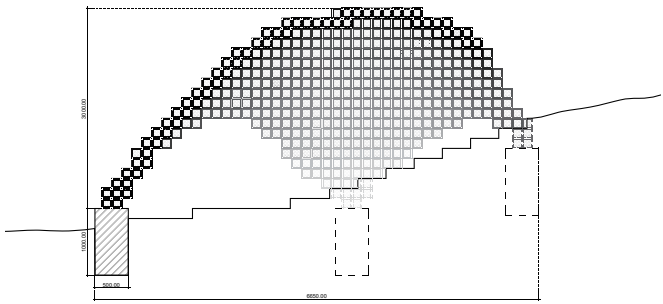
接着剤費用 300円

材料費 2250円

材料費合計 2550円

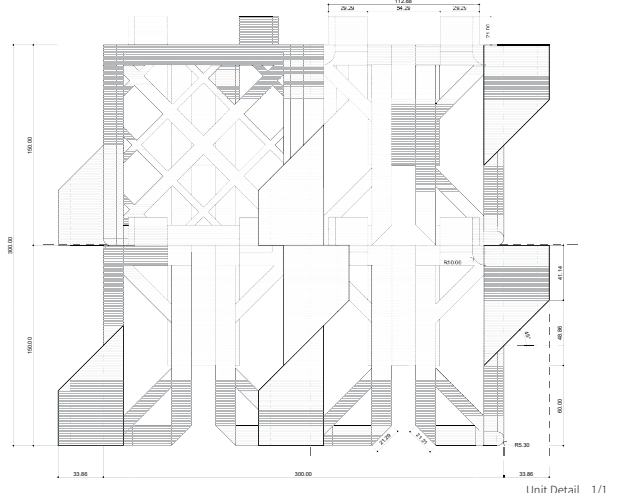
ユニットサイズを 50mm から 55mm にサイズアップしたため単位にユニット数が少なくなった。しかし、再設計したユニットの強度が高く、組み立てミスははかりやすくなった。組み立ての精度が高く、大きな量でも簡単に接続し、1000個程度のユニットを組み立てることができた。

Section



Section S=1/10

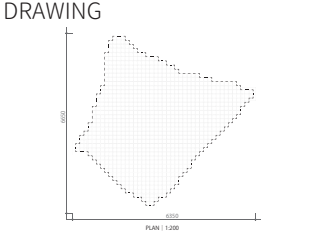
Detail



Unit Detail 1/1

SUMMARY

本研究の試作モデルとなるプロトタイプは様々なプロトタイプの変遷を経て、最終的にユニットに三角形状のラスタ形状を組み合わせたことで最終的に適切な構造強度を確保することができた。さらにジョイントの配置位置によってプロトタイプの種類によるユニット数の増加に組み立て難易度の高化にも対応することができた点で特徴のあるプロトタイプとなった。



SIMULATION

要素	結果	最大応力	最大変位	最大変位 - 最大応力
単位サイズ	0.7x0.7	0.7x0.7	0.7x0.7	0.7x0.7
単位数	1581	1581	1581	1581
単位重量	1.08kg	1.08kg	1.08kg	1.08kg
単位強度	0.27	0.27	0.27	0.27

この図は、単位ごとの応力分布を示している。最大応力は、単位ごとの強度に達していないことが確認できる。

REVIEW

本研究は、建築の設計・制作手法は極めて有機的である。私の最終的なゴールは建築を生物に昇華させ、人を外界から守ってくれる自律した存在とすることである。そのゴールの第一歩として本研究を行った。プロトタイプングを繰り返す作業は生成淘汰される生物の交配や進化のプロセスに近く、3Dプリンターによって半自動的に構造体が生み出されるのは生物の成長や代謝のようである。本研究で設計した建築物は単細胞生物のようだ。一度生まれたら形など変えずに寿命を迎える。私は次のレベルとして多細胞生物のような建築を作りたい。それらはセルが今よりも自律していて、セルの中で得た情報が周囲のセルとやり取りされることで建築を形作るものである。この時、人が任意の形を指示することもできるが外的要因からのみによって自動的に建築が生まれる。そのような建築をどのように考えるのか。ペットに対して愛情を覚えるように建築に対しての愛情も芽生えやすくなる可能性があるかと私は考えている。そんな存在に建築を昇華させることが私の一番の目標である。

15 結論

家庭用の3Dプリンターによって製作したボクセルのユニットによって、あらゆる形状を表すことが容易にできる環境を実現した。

さまざまなユニットの形状を経由しながら、最終的にもっとも単純なボクセル形状の優位性を帯びた。ジョイントを直交方向に限定できることや3Dプリントする際の効率性から決定されている。ボクセルのユニットの組み立ては上からはめ込むだけで、6種類のユニット形状を組み合わせることであらゆる形状を表すことを可能にしている。最終モデルでは複雑な形状として、3次元面を持つシェルとした。この形状の実現によって、あらゆる形状の記述が可能であることを示している。任意の建築形状に対してGrasshopperによってボクセルユニットの配置を割り出し、6種類のユニットの使い分けすることで入力した形状の建築化をすることができる。本モデルに対して実行した構造シミュレーションでは、キューブ形状で作ったこれまでのプロトタイプよりも大幅に構造強度を増すことができていることがわかった。

しかし、自由な形状を表現できるがまだ使い手のオーダーを完全に再現できるわけではない。実際的には構造の制約から角のあるような形状はその部分に荷重が集中するため形状を変えざるを得なくなっている。また、今は構造体の組み上げのみ成功しているため、仕上材や配管、配電、可動部などの実際に建築するために必要な要素の検討がまだできていない。

16 将来の展望

他の分野との協働を生むための種としての研究

本研究は3Dプリント建築の基礎研究の一つである。まだまだ研究の内容として不足している部分があることは重々承知しているが、一方で他の要素を受け入れる器としての研究の可能性が内在しているのではないかと考えている。建築はあらゆる技術を統合して作り上げるものである。また、3Dプリンターもいくつかの技術を統合した工作機械であり、さらにその制作能力の高さ故、様々な適応可能性を認めている。つまり、両者をかけ合わせることは技術の統合のプラットフォームとして建築を機能させ、それを加速するためのツールとして3Dプリンターを活用する関係性が生まれる。例えば、ユニットにセンサーと可動部をつくることで周辺環境に応じて形を変える建築を作ることができるだろう。また、ユニットに土を入れてプラントのようにしたり、植物の絡みつくメッシュを付けたりとすることで構造体としての機能だけではなくユニットのあり方も生まれてくる。さらに条件や設計が変わってもすべてデジタルで完結した建築のためパラメーター調整だけですぐに適応することが可能になるだろう。既存の建築と比べ、作る・変えることのハードルが大幅に下がったことでより多くの人に建築というものに触れてもらい、さらに建築の進化が加速することが考えられる。

メタポリズムのアップデートの側面

私の研究の小さなユニットの集積によって建築をつくる点はメタポリズムに通ずるものがある。メタポリズムは新たな思想として当時世界的に注目されたが、実際にそれを成功させた建築家はいないと言っている。黒川紀章は中環カプセルタワーの設計によってメタポリズムの成功にもっとも近づいたと考えられるが結果的にはカプセルの交換は一度も実現されず、失敗に終わった。代謝する単位の大さが失敗の最大の原因と言われている。カプセルのような大きな単位を交換することは容易ではなく、構造的にも無理が生じる。しかし、小さな単位を代謝させるためにはそれだけ多くの単位を交換する必要があり、その作業に大きなコストがかかることや接合部などの設計の高度化にもつながる。

本研究ではユニットを代謝させることは成功したが、ユニット同士の接合や小さなユニットで建築をつくるための手法の確立に少し近づくことができた。また、デジタルプロセスによって統一に作られていることで自動施工への接続も容易であり、変更や更新タイミングの管理なども比較的しやすいと考えている。この点は私の今後の課題でもあるため、社会人となる来年度からも考え続けるべき点である。

デジタルによる建築が建築を生物へと昇華させる

本研究で設計した建築やその設計・制作手法は極めて有機的である。私の最終的なゴールは建築を生物に昇華させ、人を外界から守ってくれる自律した存在とすることである。そのゴールの第一歩として本研究を行った。プロトタイプングを繰り返す作業は生成淘汰される生物の交配や進化のプロセスに近く、3Dプリンターによって半自動的に構造体が生み出されるのは生物の成長や代謝のようである。本研究で設計した建築物は単細胞生物のようだ。一度生まれたら形など変えずに寿命を迎える。私は次のレベルとして多細胞生物のような建築を作りたい。それらはセルが今よりも自律していて、セルの中で得た情報が周囲のセルとやり取りされることで建築を形作るものである。この時、人が任意の形を指示することもできるが外的要因からのみによって自動的に建築が生まれる。そのような建築をどのように考えるのか。ペットに対して愛情を覚えるように建築に対しての愛情も芽生えやすくなる可能性があるかと私は考えている。そんな存在に建築を昇華させることが私の一番の目標である。