

ICT技術の進歩により生じる 建築産業の変化について

工学院大学建築学部建築学科 助教 石田 航星

1 はじめに

2020年の東京オリンピック開催以後もしばらくは東京を中心に大規模開発が継続すると考えられるため、建築産業は、数年は活況を呈する見込みである。しかしながら、人口減少が本格化する2020年代後半以降には新築需要が減少し、同時に労働者不足が深刻化すると考えられる。

そのため、市場が活況を呈している今こそ、生産性を向上させ、国内に存在する膨大な量の建築ストックを効率的に維持するための新技術を開発し、10年後に備え、準備を行う時期にあると考える。特に日進月歩のICT技術を建築工事において適切に導入しておくことが重要であると考え。故に本稿においては建築産業の仕事の進め方を大きく変えると考えられる“BIM”と“写真測量技術”について紹介する。

2 図面と現実の形状の差異を把握する技術

建築施工分野では、1970年代から大手ゼネコンを中心として、3次元設計や施工シミュレーション等を導入することにより生産性を向上させる試みが行われてきた。ただ、多くの建築工事においてBIMや3次元測量の導入が本格化したのは、2010年代に入ってからだと考えられる。このように技術の普及に時間がかかった理由として、BIMや3次元測量を導入し、効果を得るには、建築工

事の一部で導入するのではなく、企画・設計から施工に至る建築プロジェクトに関わるすべての手順において同時に技術導入を図らなければ、その効果を得にくいことによると考えられる。

例えば、3次元レーザースキャナは10年以上前から実用に耐え得る計測精度と計測速度を有する機器が販売されていた。既存の建築物の形状を精緻に把握することができ、目視では把握しきれない施工誤差を取得できる優れた測量機器であるが、改修工事や設備工事を中心に多くの現場で使われるようになったのはここ最近である。図1は鉄筋コンクリート造の床スラブを3次元レーザースキャナで計測し、水平面に対する凹凸を視覚化した画像である。赤い部分が平均水平面よりも沈んでおり、緑が平均水平面近傍、青が高い部分を示している。このように建築物の形状はほとんどの建築物で数mmの微小な凹凸を有しており、躯体工事以降に施工する部材は先行する部位の微小な凹凸に追従させて設置する必要がある。

従来は、現場作業者が熟練した技能によりこの形状に一致する部材の加工を行っていたが、3次元計測技術の登場により、目視で即時に把握しに

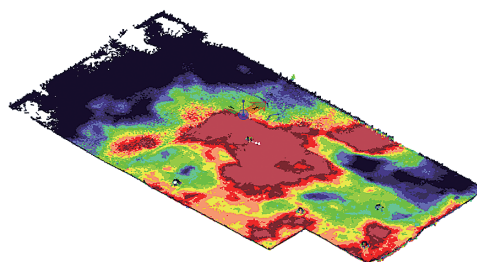


図1 床スラブの凹凸の可視化の例

くい形状も、即時に把握することが可能になっており、その3次元計測形状に一致する部材の設計を行い、仮想空間上の3次元モデルの形状どおりに、部材加工を行うことができれば、現場加工のない工法をあらゆる工種で実現できるはずである。

このように躯体形状を精緻に計測できる3次元レーザースキャナにより既存躯体の形状を把握できれば、正確な加工形状を事前に把握することが可能であり、多くの工種で部材の事前加工が可能になるはずである。この考えに基づいて、筆者は過去に内装工事に3次元計測技術を導入する研究¹⁾を行ってきた。ただ、既存躯体の3次元形状を記録した点群データはそのままでは扱いにくいので、サーフェスモデルなど3次元CADで扱いやすい形式に変換し、その上で既存躯体の形状に正確に合致した内装部材を設計し、その設計図に従い部材を事前加工することで、現場加工を必要としない内装工法が実現されると考えられる。これをまとめると、以下の手順となる。

- ①既存の建造物の形状の計測
- ②計測データの処理
- ③3次元CADへの読み込み
- ④3次元モデルの作成
- ⑤設計案に従い部材の加工
- ⑥加工済みの部材の現場組立て

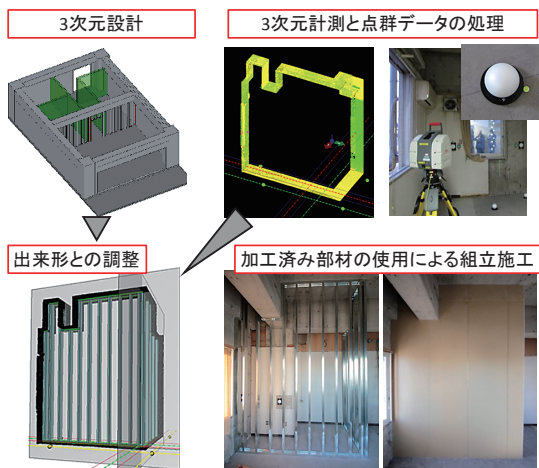


図2 内装プレカット工法のイメージ¹⁾

この手順のうち、どれか一つの手順でも実現できないと、技術全体が完成しないことになる。建築工事においてICT技術の導入を試行した場合、

一つの新技术のみで工事手順全体を代替することが難しいことが多く、工事のプロセス全体を見直し、各手順に関わるすべての技術が実用段階になって初めて新技术を導入するメリットを得られることが多い。特に3次元計測技術を活用するためには、3次元設計も同時に導入することが前提となる。そのため、多くの企業において3次元CADやBIMなどの3次元設計を行うためのインフラが整い始めた今、3次元計測技術もまた、導入によるメリットを享受しやすい環境が整ったと言え、導入を行うべき時期に来ていると考える。

また、どれほど仮想空間上で精緻な3次元モデルを作成しても、現実の建築物に生じる施工誤差を把握し、その結果を反映しなければ、BIMなどで作成した3次元モデルと現実の建築物との形状の差異が積み重なっていき、多くの労力を割いて作成した3次元モデルの利用が難しくなってしまう。そのため、図面と現実の形状の差異を把握する3次元計測技術は、BIMに代表される3次元設計手法を適切に運用するためにも必要な技術である。

このように3次元計測技術を活用するためにはBIMのような3次元設計技術が必要であり、他方で施工誤差や修繕・改修工事の度に形状が変化する建築物の形状を仮想空間上の3次元モデルやBIMデータに反映するためには3次元計測技術が必要であり、図3に示すように計測技術と設計技術は同時に活用すべき技術である。

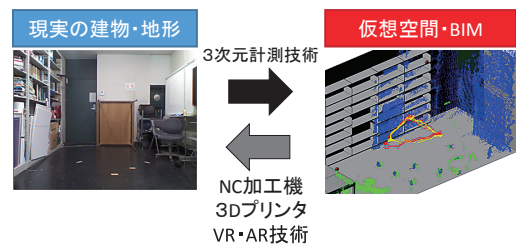


図3 BIM/3次元CADと3次元計測技術の関係

3 3次元測量技術の急激な進歩

建築物の施工において、設計図書に記載された形状どおりに工事を実施することは当然であるが、工事現場で生産される建築物には必ず施工誤

差が存在するため、既存建築物の3次元形状を把握することが重要である。特に、建築物の維持管理においては、建築物を定期的に修繕し、破損した場合には適宜、修理する必要がある。この際にも既存建築物の形状や破損箇所の形状を正確に把握することが重要である。

このように現実の建築物の形状を仮想空間に反映する技術として、前述の3次元レーザースキャナがあるが、昨今、写真測量の技術的進歩が目覚ましく、建築測量においても有力な計測方法になり得るため、ここで紹介したい。特に最新の写真測量ソフトウェアではステレオカメラのような特殊なカメラを用いずに、通常のカメラで取得した静止画や動画から3次元モデルを復元することが可能となっている。これら画像データから既存建築物の3次元モデルを作成する例を図4に示す。このようなドローンを用いて取得した動画から3次元モデルを作成し、現実の工事に活用する方法については、国土院から「UAVを用いた公共測量マニュアル（案）」と「公共測量におけるUAVの使用に関する安全基準（案）」が2016年3月に公表されている。



図4 ドローンを用いた建築物外形の記録手法

この写真測量技術が秘めた大きな可能性として、スマートフォンで動画を取得すれば、ある程度の測量結果を得られる点にある。図5はある建築物の階段室の3次元モデルである。この階段室は図6に示すような破損箇所を有しており、この部分を含む画像を200枚取得し、写真測量ソフトウェアを用いて図5左下に示すように写真撮影位

置を推定した上で、3次元モデルを作成している。この3次元モデルをCADに読み込み、破損箇所を含む壁面を切り出すことで、破損箇所の立面図に近い画像を作成することができる。更に図7に示すように破損箇所の寸法を割り出すことも可能である。

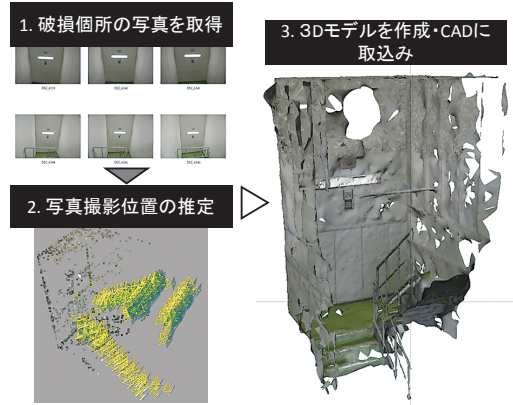


図5 写真測量技術を用いた破損箇所の把握手順

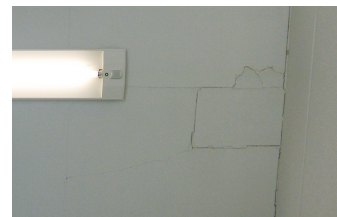


図6 階段室にある破損箇所

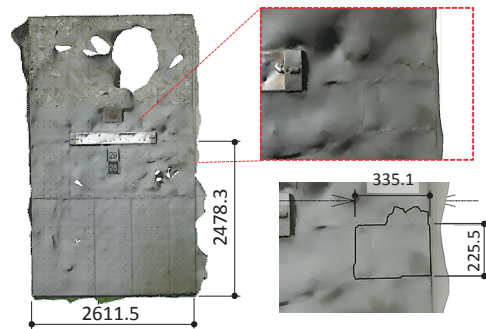


図7 破損箇所の位置と寸法

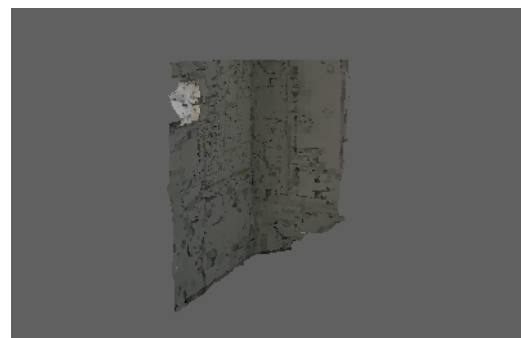


図8 3D-pdfに変換した写真測量モデル[※]

このように写真測量技術は、専用の測量カメラを用いずに、スマートフォンやコンパクトデジタルカメラで取得した画像や動画を用いて3次元形状の復元を行っても、既存形状をある程度、把握することができる。つまり、各自が持つスマートフォンが簡易な測量機器として使えるため、破損箇所など計測対象物を動画撮影し、その動画データを送信すれば、遠隔地にいる技術者が現地に行かずに形状や寸法を把握することが可能になっている。また、図9に示すようなVR技術と組み合わせることで、現地で現物を閲覧するのと同様の効果を期待することも可能になりつつある。

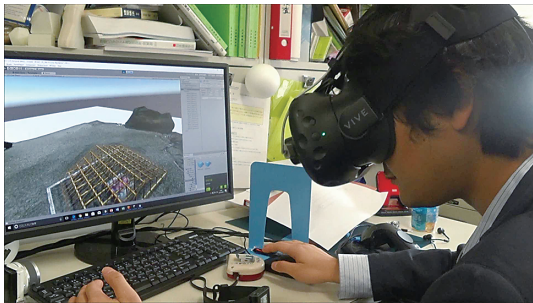


図9 VR空間を閲覧する状況

4 3次元設計における設計規則の記述方法

現在、3次元CADやBIMなど扱いやすいソフトウェアが登場し、多くの工事において3次元設計が導入されている。BIMや土木分野のi-Constructionでは、3次元設計と計測技術とをセットで活用するようになってきている。このBIMを中心とした3次元の設計におけるモデル作製の規則は当初はあまり明らかではなく、各人各様の3次元モデル作成方法が存在した。ただ、2次元図面の製図に比べると表現方法に関する規格の整備が遅れていた3次元設計のモデル作製の規則も、徐々に整備されつつあり、本誌No.95の特集「IT系から見た建築生産システムの現状と課題」において、米国の事例や日建連BIM専門部会における取組状況が示されている。

このように我が国においても3次元モデルの作成における規則が整備されてきた結果、多大な労

力をかけて作成した3次元モデルを企画から施工、運用に至るまで活用するための環境が整い始めていると言える。ただ、筆者は3次元モデルの作製の規則を記述する方法は、コンピュータ・プログラムによる設計の自動化を前提にした条件式や数式で整備することを検討するべき時期に来ていると考えている。

BIMソフトウェアを用いた3次元モデルの作成には多大な労力がかかるため、パラメトリック・モデリングのようにモデル作製を自動化するツールを出来るだけ整備することが重要である。大幅な省力化が可能になる設計の自動化ツールを各自で作り込む仕組みが、どのソフトウェアにも実装されている。この事例として、柱鉄筋のフープ筋の3次元モデルのパラメトリックな作成方法を示す。なお、フープ筋の形状については、日本建築学会刊『鉄筋コンクリート造配筋指針・同解説2010』を基に作成している。

135°フック付きフープ筋の形状は、鉄筋の太さや柱の寸法については、設計者が決定する項目だが、表1に示すように鉄筋の曲げ直径やフックの余長は鉄筋の太さから決定する。

表1 鉄筋の折曲げ形状・寸法

折曲げ角度	鉄筋の種類	鉄筋の径による区分	鉄筋の折曲げ内法直径(D)
180° 135° 90°	SR235	D16以下	3d以上
	SR295 SD295A SD295B SD345	D19 ~ D41	4d以上
	SD390	D41以下	5d以上
90°	SD490	D25以下	6d以上
		D29 ~ D41	

※表1は『鉄筋コンクリート造配筋指針・同解説』のP102の「表4.1 鉄筋の折曲げ形状・寸法」より作成した。なお、dは異形鉄筋では呼び名に用いた数値とする。

また、かぶり厚さも柱の各面が接する外部の条件により決定される。他方で仕様書等に記載はないが、鉄筋を折り曲げてフープ筋形状にする場合、フック部分で鉄筋が重なる部分が生じるため、フープ筋を構成する鉄筋が1周した際に、鉄

筋の太さをせり上げる必要がある。

以上の条件を整理すると、フープ筋の形状を定義するために必要な変数は以下の表2に示すとおりとなる。また、各変数が対応する部位を図10に示す。

表2 フープ筋の形状を決める変数（パラメータ）

変数	名称
Cx, Cy	柱の縦・横寸法
Fd	鉄筋の公称直径
X1, X2, Y1, Y2	柱の各面におけるかぶり厚さ
n_R	フープ筋の曲げ直径
n_135L	フック余長
H	鉄筋がせり上がる高さ
Fx, Fy	フープ筋の直線部分のXY平面長さ

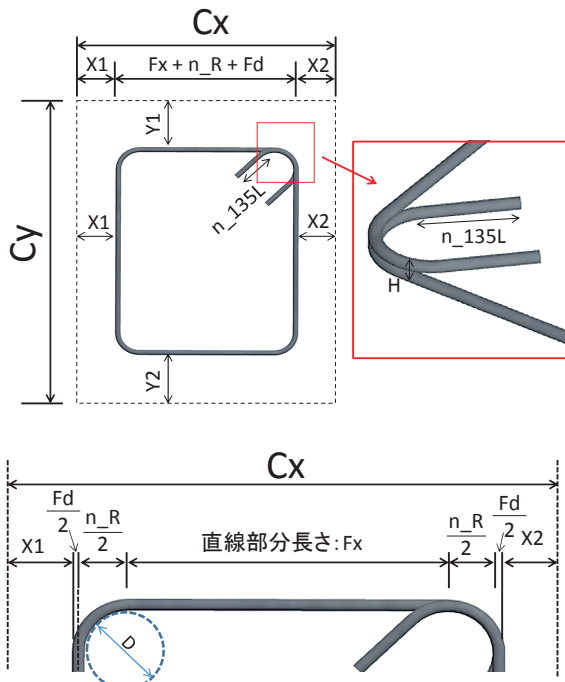


図10 フープ筋の各部形状の定義

この各変数のうち、表1で示したように初期に入力すべき項目は柱寸法と鉄筋の直径のみで、あとは、仕様書に記載されている規則に基づいた計算により算出可能である。各変数間の関係を図11に示す。

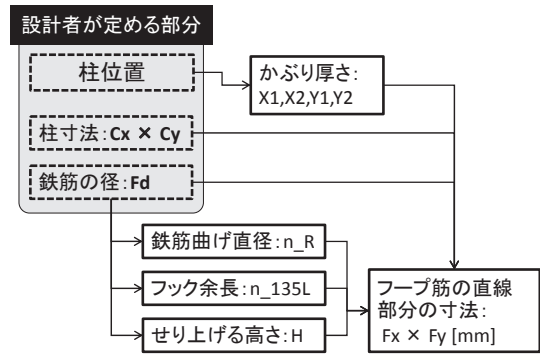


図11 各パラメータ間の処理手順

このように建築部材は様々な形状があるが、その多くは各種仕様書や法令により、ある程度形状が制限されており、形状を決定する変数と変数間の関係性を事前に整理し、3次元モデルを作成するツールを用意しておけば、モデル作成作業の大幅な省力化が可能になる。本稿で示す3次元モデルはArchiCADのGDLを用いて各種鉄筋の部材の3次元モデルを作成するツールを用意し、これらを組み合わせることにより図12に示すような3次元モデルを作成している。

また、ArchiCADやRevitなどのBIMソフトウェアは、作成した3次元モデルに基づいて自動的に積算することが可能であり、フープ筋や主筋などの同一種類の部材であっても入力時の変数が異なれば形状も異なるため、各形状ごとの部材数を拾うことが可能である。図13は図12に示した3次元モデルを構成する部材の数をまとめた表の一部である。

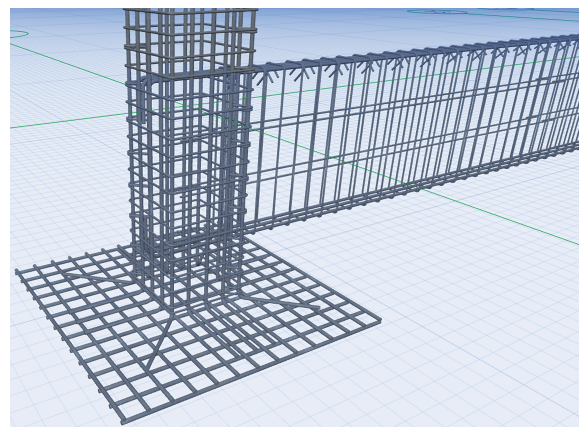


図12 部材モデルを自動作成した鉄筋モデル

オブジェクト名	フープ筋	直線 (主筋)	直線 (主筋)	直線 (主筋)
壁	184	4	4	56
長さ(A)	1,000	1,000	1,000	1,000
幅(B)	1,000	1,000	1,000	1,000
高さ(Zサイズ)	1,000	1,000	1,000	1,000
2Dシンボル				
3D前面平行投影				
柱幅X	600	---	---	---
柱幅Y	600	---	---	---
鉄筋径	12.7	12.7	12.7	22.2
鉄筋135°曲げ時の余長さ	8.00	---	---	---
鉄筋の90°曲げ時の重後の倍率	3.00	---	---	---
かぶり厚さX1	40	---	---	---
かぶり厚さX2	30	---	---	---
かぶり厚さY1	40	---	---	---
かぶり厚さY2	30	---	---	---
全体長さ	---	4,000	4,200	1,700
アンカー長さ	---	---	---	---
曲げ半径	---	---	---	---
レイヤー	1F-A-柱鉄筋	1F-A-柱鉄筋	1F-A-柱鉄筋	0F-A-ベ-ス筋
X軸回転	---	90.00	90.00	90.00
Z軸回転	0.00	---	---	---

図13 パラメトリックなモデルの積算結果

このようにBIMにおける3次元設計においては、3次元モデルの作成を自動化するツールを用意し、マウスを用いて手入力で3次元モデルを作成する部分を極力削減することが一般的である。この際に作成するツールは法規制や仕様書に記載された「設計規則」に準拠して作成するが、これら設計規則を示す文言はすべての図面を手書きで作成した時代から、表現様式は変化していない。コンピュータ上での3次元設計が一般化しつつある現代において、設計の自動化を前提として、法令や仕様書の設計規則を条件式と数式で記載された表現様式に変更することを検討すべき時期に来ていると筆者は感じている。

5 おわりに

建築産業全般において様々なICT技術の導入が行われ、これにより生じた変化は不可逆のものである。また、建築工事における生産性向上を目指すにあたり、BIMや写真測量技術などのICT技術が重要な役割を果たすことは明らかである。ただ、本稿で示したソフトウェア群の多くは、我が国の建築産業の内部で開発されたものではなく、建築・土木分野の外からもたらされた技術を基に作成されていることが多い。そのため、これらICT技術の研究・開発においては建築産業外の動向もよく注視する必要がある。

また、設計や測量という建築工事における最も

重要な技術が他分野からもたらされたICT技術により大きく変化しつつあるという事実は、建築分野に所属する関係者の合意により決められた手順や規則を外的要因も考慮して見直す必要があることを意味している。故に、特にソフトウェア技術の進歩と、それに伴う建築プロジェクトの進め方への影響について、今後も、注意深くその動向を見守っていきたい。

注：コスト研ホームページでは、機関誌PDF版が閲覧可能となっており、第100号の本稿中図8は3次元コンテンツである3D-PDFを埋め込んでいる。3D-PDFはAdobe社のAcrobat Readerがあれば閲覧可能であるが、初期設定では3D機能は閲覧できない状態になっている。本稿のPDFデータを開いた後、黄色部分のメッセージ「① 3Dコンテンツは無効になっています。この文章を信頼できる場合は、この機能を有効にしてください。」の右の「オプション」で「今回のみこの文章を信頼する」を選択すると閲覧可能になる。

なお3D-PDFでは、マウス操作により画面移動、回転、拡大が行える。基本操作を以下に示す。

- (1) マウスの左右ボタン同時押し->画面移動
- (2) マウス左ボタン->回転
- (3) マウス右ボタン->拡大縮小

(参考文献)

- 1) 石田航星(筆頭), 嘉納成男, 五十嵐健, 藤井裕彦, 大澤雄司, 酒本晋太郎, 富田裕行「内装部材のプレカット化のための3次元レーザースキャナーを用いた計測と生産設計の手法に関する研究」『日本建築学会計画系論文集』Vol.78 No.688, pp.1355-1363, 2013.6