

建築分野における 3D モデリング

西 乃 輔・木 寺 浩 紀

我が国に大量に形成されている建築ストックの老朽化への対応が社会的課題となっており、3D モデルの活用が設計段階や施工段階だけでなく、既存建築物の維持管理段階にも広がりを見せている。しかしながら、既存建築物は設計図面や竣工図面が残っていない場合や、改修や増築が反映されていない図面のみしか残っていないために、現況の3D モデル作成が難しいことが多くある。そこで、3D レーザースキャナにより現況を計測して3D モデリングを行い、補修や改修等の維持管理目的に使用する事例が増えてきている。

本稿では、3D レーザースキャナの計測データをもとにした3D モデル作成の特徴を示し、建築物維持管理における活用事例を紹介する。

キーワード：建築、3D レーザースキャナ、モデリング、維持管理

1. はじめに

戦後60年余の中で大量に形成された建築ストックについて、老朽化や不十分な耐震性が問題となっている¹⁾。それらの建築物を効率的に活用していくためには、改修を行うことで、現在の基準に合わせた建築物に更新する必要がある。しかし、建設から時間が経っており図面が残っていない、既存図面と現況が変わっているため現況がデータ化されていないといった事例が多い。そこで、建築物の現況を正確にデータ化するための計測機器として、3D レーザースキャナ(図-1)の活用が広がっている。3D レーザースキャナは、数mm～数cmの間隔で並ぶ(x, y, z)の座標値を持



図-1 3D レーザースキャナ (FARO 社 Focus S350)

つ点の集まり(点群データ)として、計測対象物を瞬時にデータ化する。点群データで表現される建築物の形状は正確な寸法情報を持つため、効率的に図面を作成することができるというメリットがあり、これまでは主に2次元の図面を最終の成果とする業務が主体であった。

一方、建築業界では、BIMの広がり等により、設計段階から3Dモデルを活用する事例が増えてきており、構造物の改修といった維持管理段階でも、3Dモデルによる計画・検討を行うことに対する需要が高まっている。そこで近年では、既存建築物の計測したデータの最終成果が3Dモデルとなるケースが増加している。しかしながら、外壁等の外観や配管設備、梁や柱といった構造材、天井等の非構造材というような計測対象の違いや、3Dモデルをどのように活用するかといった目的の違いによって、モデリングに対するアプローチが異なることになる。

そこで本稿では、建築物のモデリングに関する事例を紹介することで、建築物の改修や維持管理等において3Dモデルが果たす役割と、目的に応じたモデリング手法の違いについてまとめる。

2. 点群データをもとにしたモデリング手法

(1) 概要

点群データは数mm～数cmの間隔で計測対象物

表一 点群データを基にしたモデリング手法の比較

点群データの扱い	参考情報としてモデル化	直接モデル化
データ形式	サーフェスまたはソリッド	メッシュ
長所	<ul style="list-style-type: none"> ・データが軽い ・きれいなモデルデータが作成できる 	<ul style="list-style-type: none"> ・自動的にモデルを作成できる ・複雑な形状でもモデル作成可能
短所	<ul style="list-style-type: none"> ・2次元の断面形状等を抽出する必要がある ・複雑な形状への対応が難しい 	<ul style="list-style-type: none"> ・データが重い ・現況に正確なモデルデータが作成できる

を高密度に面的に計測したデータであるが、面としての情報を持たないため、点群データのままで取り扱いが難しい。また、点群は1点1点が座標値と反射強度や色（RGB）情報を持つため、データ処理や表示、編集にはパソコンに高負荷がかかることになる。そこで、点群データから3Dモデルを作成することになるが、その手法は主に2種類ある。表一に両手法の比較の概要をまとめ、次項以降で詳述する。

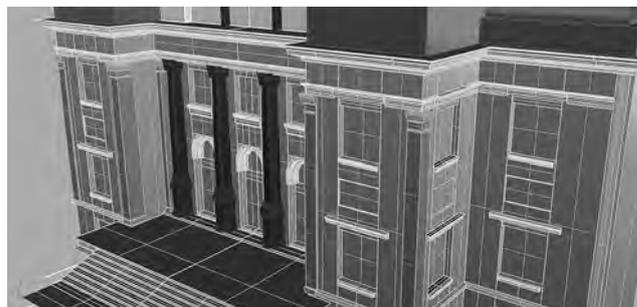
(2) 点群データを参考情報としてモデル化する手法

平面と曲面で構成される比較的単純な形状の部材で構成される構造物では、点群データからモデリングに必要な断面形状と寸法情報を抽出して、その情報をもとに3Dモデル化する手法を採用する。すなわち、3Dで表現される点群データから、直接3Dモデルを作成するのではなく、情報の2次元化というステップを踏む。モデルのデータ形式としては、サーフェスまたはソリッドとなり、用途に応じて使い分けることになる。この手法でモデル化した建築物を図一2に示す。

2次元の断面形状と寸法情報から3Dモデルを作成するという手法は、3Dモデルを作成する上で最も一般的な方法である。設計段階のモデリングや2次元図面をもとにモデリングを行う際にも採用されていることから、3D CADソフトやモデリングソフトにおける基本機能となる。そのため、3Dデータである点群データを3Dモデル化するという場合でも、一度2次元化したほうが、効率よく作成できる場合が多い。

この手法でのモデリングの特徴は、設計段階でのモデル作成と同様の作り方になることから、建築物の構造等のモデル化に適している。また、設計図面は残っているものの、改修等により現況の構造が変わっている建築物のモデリングを行う場面でも、あらかじめ作成しておいた設計図面からのモデルと現況の点群データとを比較したうえで、差分のみを新たにモデル化するという手法が採れるため、効率的なモデリングを行うことができる。

しかしながら、直線や平面を一枚の面として単純化して表現し、点群データとして取得した1点1点の座



図一2 点群を参考情報としてモデル化した建築物

標値の情報は失われることから、部材のひずみやたわみを反映することは難しくなる。また、曲面を多用した複雑な形状の場合には寸法や形状の2次元化が難しいため、この手法を採用することは適さない。

(3) 点群データを直接モデル化する手法

点群データから直接モデリングを行う手法としては、メッシュデータの生成による方法がある。点群データから生成するメッシュデータの最も一般的な形式は、TIN (Triangulated Irregular Network) と呼ばれる大きさや形状の異なる三角形の集合体である。TINデータは、点群データのすべての点を頂点（ノード）として結線した三角形により構成され、点の密度の濃い箇所は小さな三角形で、密度の薄い箇所は大きな三角形で表現されるため、点の密度の調整により必要に応じた詳細度を決定することができる。この手法でモデル化したモニュメントを図一3に示す。

この手法では、近似的な補完を行わず、点群データの座標値がそのまま保持されるため、現況を精度よく反映したモデルが作成できるが、点群の持つ座標情報はメッシュの頂点に引き継がれるため、データの軽量化効果は大きくない。高密度なデータでは曲面の組み合わせによる複雑な形状も表現可能であり、微小な凹凸まで表現できる点の特徴である。そのため、たわみやひずみ等による部材の変状も反映した正確な現況のモデリングを行うことができる。また、この手法でのモデル化は、モデリングソフトにより自動的に行うことができる。

一方で、すべての点がモデルデータに反映されてしまうため、計測データに含まれるノイズや3Dレーザースキャナの性能や計測対象物の素材に起因するデータの厚みといった、モデル化に不要となる点を事前に入念に削除しておかなければならないことに留意しておく必要がある。点群データの不要点の削除については、多くの点群データ解析ソフトに自動削除機能が実装されており、自動削除の精度も向上しているものの、特に本手法を採用するような形状が複雑なモデル作成で求められる丁寧な不要点削除では、最終的には手動での削除が必要となるのが現状である。

さらに、3Dレーザースキャナの死角となって点群データが欠損している箇所は、モデルデータに穴が開いてしまう、あるいは、実際の形状を無視して強制的に点を結んだモデルとなってしまう。そのため、データ欠損のない点群データを取得できるように現場計測作業を行う必要がある。

このように、データ計測やモデル化にあたっての留意事項や制約は、点群データを参考情報として使用する場合に比して大きくなるが、点群として得られた精度の良いデータが活かされたモデルが作成されるという点は、非常に大きなメリットである。



図-3 点群を直接モデル化したモニュメント

3. 建築分野における3Dレーザースキャナ及び3Dモデルの活用事例

(1) 多目的ホール天井の改修事例

多目的ホールの特定天井の改修でも3Dモデルが活用されている。特定天井については、平成26年に改正された建築基準法施行令で、落下防止措置を講ずべきことが定められており²⁾、既存構造物に関しても改修が進められている。特定天井の改修は、足場を設置

して行うことになるが、当該施設では、特定天井の構造だけでなく、座席や舞台・音響といった多目的ホールとしての設備の位置や大きさ等も考慮に入れて足場設置計画を立てる必要がある。特定天井の構造とホール設備の両方を計測できる3Dレーザースキャナで計測したうえで、モデリングを行う。

定型の人工構造物であり、改修計画や足場設置計画を立てるにあたってのデータの取り扱いやすさという観点から、点群を参考として扱いモデリングを行っている。モデリングしたデータは、構造物全体のBIMモデルと統合して活用される事例もある。

(2) 配管設備の維持管理への適用事例

配管等の設備のモデリングに関しては、専用のモデリングソフトが開発され、モデリング作業の自動化が進んでいる。これは、配管の径の規格がいくつかのパターンで決まっており、点群データを解析して得られる配管の形状と配管の規格を比較して、最適な規格の配管を点群データにフィットさせる形でのモデリングが容易であるためである。3Dレーザースキャナでは、配管を下から計測することが多いことから、管の1/3～1/2程度しか点群データを取得できないが、径の規格情報を参照することで自動モデリングを行うことが可能である。しかしながら、図-4上図のように管が曲がっている箇所や著しくデータが欠損している箇所等では、形状を自動認識できずに配管が分断され、

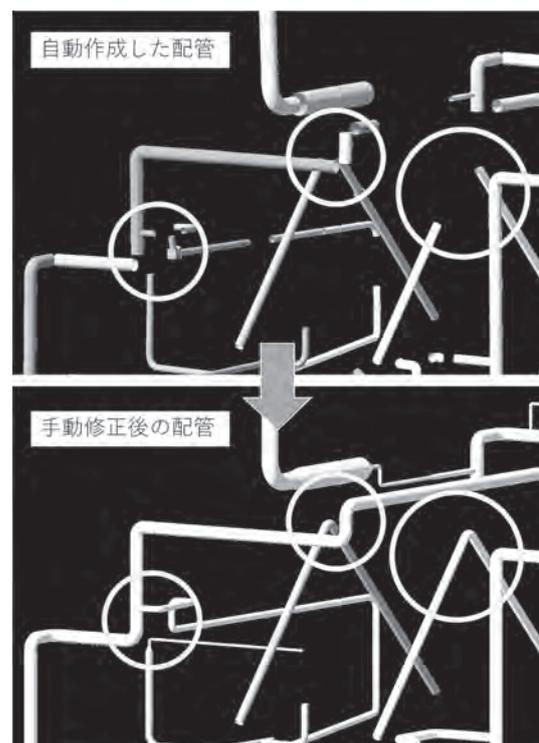


図-4 自動作成された配管の修正

起点から終点までつながらない形でのモデリングや、誤ったつなぎ方でのモデリングとなる場合もあるため、図一4下図のように配管をつなぐように手動で修正を施すことになる。

(3) 工場や倉庫でのモデル活用

急速に自動化が広まっている工場や倉庫では、従来とは違う形での3Dモデルの活用が広がりつつある。これまでは、工場自体の維持管理や前項で述べたような配管等の増設や設備の配置計画に使われることが多かったが、工場・倉庫内の不陸計測が新たな需要となっている。これは、工場・倉庫内を自動的に動き回るロボットのためのデータ作りの一環で、人間にとっては問題にならないが、ロボットの移動には妨げとなる微小な段差を把握するという目的での活用となる。

このような活用では、床面の高さの基準となる平面をサーフェスで作成、現況の床面をメッシュで作成し、高さの差を算出することで、床面の勾配や段差、凹凸を解析し、図一5のようなヒートマップや等高線図として視覚化する。

また、モデルの差を解析して可視化する方法は、構造物の変位解析にも用いることができる。例えば、ビルの外壁パネルを季節ごとに計測して、それぞれメッシュモデルを作成し、メッシュモデル同士の比較解析をすることで、気温の違いによる外壁パネルの浮きの変化を明らかにする用途でも活用されている。また、サーフェスで作成した設計モデルと、メッシュで作成した現況モデルを比較することで、設計と現況の差を明らかにする用途での活用実績もある。

(4) 歴史的建物の保存

老朽化の進む歴史的な建物の保存という目的でも3Dレーザースキャナによる計測と3Dモデル化を行っている。



図一5 工場床面の不陸解析

例えば、日本における近代建築の黎明期に建てられて、現在も営業されている商業施設で、外観の大幅な改築により、外壁の一部となっている意匠的な彫刻ごと取り壊すという建築物で、取り壊し予定の施設外観を3Dレーザースキャナで計測して、そのモデルデータをデジタルアーカイブデータとして保存するという目的で活用された実績がある。また、データをモデル化することで、3Dプリンタで出力し、資料として保管するといった活用の広がりの可能性も考えられる。

また、別の類似事例では、一度取り壊して補修を行った後、再び意匠を補修後の外壁に復元するときの資料として活用したり（図一6）、別の場所に復元するための資料として活用したりといった事例もあった。

このような歴史的な建物の事例では、多くの場合、細かな装飾が施された意匠的な箇所を含むため、点群データから直接モデルデータを作成することになる。



図一6 外壁壁面彫刻の保存

(5) 建築物の耐震工事計画

建築物の耐震工事でも3Dモデルは活用される。例えば、文化財としての価値もある大規模建造物の事例では、建造物自体が曲面を多く使った複雑な形状であったことに加え、内部にも多数のモニュメントが配置されていたため、耐震工事のための足場の設置が非常に難しい状況であった。そこで、内部の構造に加え、多数のモニュメントもモデル化を行うことでモニュメントの位置を正確に割り出し、モニュメントを移動することなく足場を架設することができ、工期を短縮することができた。

この事例では、内壁等の建造物の構造にあたる部分は点群データを2次元してモデリングする手法を採用し、2次元では表現することが非常に難しいモニュメントは、点群データから直接モデルを作成する手法を採用した。そのため、モニュメントのデータに欠損箇所が発生しないよう、点群データの取得は多数の器械

点から綿密に行っている。サーフェスのデータとメッシュのデータは、一つのデータとして取り扱うことができないが、この事例では、内壁とモニメントが独立していたため、両手法を組み合わせることで、効率的かつ必要十分な精度でのモデル化に成功している。

(6) 新たな活用の提案

スタジアムの3D計測事例では、新たな活用の提案を行っている。この事例では、当初の目的では、スタジアム内設備の維持管理目的での2次元図面作成が目的であり、3Dモデルを作成する予定はなかったが、新たな活用への提案のために3Dモデルを作成している。この事例では避難経路シミュレーション(図-7)や洪水シミュレーション(図-8)、設備増設のイメージ映像の提供(図-9)等で新たな活用を提案している。



図-7 避難経路シミュレーション

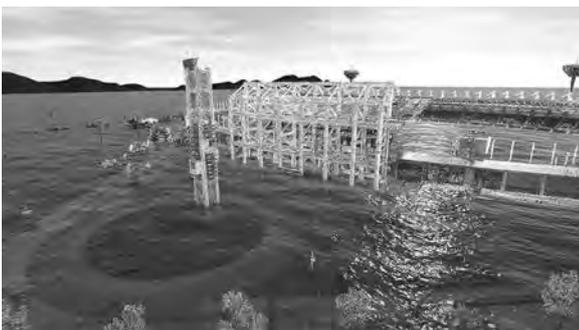


図-8 洪水シミュレーション



図-9 屋根の増設イメージ画像

2次元化した情報からのモデル作成手法を採用しているが、あくまで提案のためのモデル化であることから、断面形状を簡易的に押し出す、見た目上重要でない箇所は省略する等、CG的なモデリング手法を併用することで、モデル作成に掛かる時間を短縮している。当然のことながら、このような手法で作成したモデルは、実業務目的で活用する精度は保持していない。しかしながら、一度計測した点群データがあることから、再計測することなく目的に応じた詳細度でモデルを再作成することができる。

4. おわりに

本稿では、点群データを用いたモデリング手法について述べ、その適用事例を通じて、モデル化手法の選択方法や留意すべき事項について紹介した。

点群データをもとにしたモデリングと言っても、その目的や計測対象に応じて最適な手法や計測時・点群データ解析時・モデル作成時の各段階で留意すべき事項が異なる。一方で、モデル作成時の詳細度の設定でモデル作成にかかる手間を増減できることから、モデルの活用が進み、別の目的でモデルを活用したいという場面でも、一度点群データを取得しておけば、再度計測を行うことなく、より詳細なモデルを新たに作成し直すという活用ができる点も3D計測の魅力となる。

点群データの活用やモデルデータの作成手法は日進月歩で進歩しているため、今後も新しい技術を取り入れながら、建築分野の維持管理の一助となり、新たな価値を付加できるような活用方法の提案を進めていきたい。

JICMA

《参考文献》

- 1) 全国営繕主管課長会議：全国営繕主管課長会議付託事項 公共建築物の老朽化対策に係る事例集, 2014年
- 2) 国土交通省：平成25年国土交通省告示第771号, 2013

【筆者紹介】



西 乃輔 (にし だいすけ)
クモノスコポーレーション(株)
企画開発部
主席技師



木寺 浩紀 (きでら ひろき)
クモノスコポーレーション(株)
空間情報事業部
部長