(53) GISの三次元建物モデルを対象とした TS実測値による精度検証・高精度化と 側面写真の張り付け

久保寺　貴彦[1]・内藤　ジェシカ[2]

[1]正会員　東洋大学准教授　理工学部都市環境デザイン学科（〒350-8585 埼玉県川越市鯨井2100）
E-mail: kubodera@toyo.jp

[23]学生非会員　東洋大学　理工学部都市環境デザイン学科（〒350-8585 埼玉県川越市鯨井2100）

現在のGISは，三次元建物モデルをオンラインで読み込めるようになっているが，高さ精度が低く，LODは1なので，テクスチャは付与されていない現状である．本研究は，モデルの精度検証のため，TSの対辺測定に着目した．また，モデルの精度向上のため，この実測値を利用して形状と寸法を修正した．さらに，モデルに細かいテクスチャを貼り付けるため，地上で側面写真を撮影した．地上で撮影する写真は，歪みが大きいためにそのまま適用できず歪み補正を行い，適切な縦横比および位置に貼り付けるため，ここでもTSの実測値を利用した．この結果，確からしい形状，細かいテクスチャ，明るい色調のテクスチャのLOD 3に近い高精度の三次元建物モデルを作成できた．

Key Words : *three dimensional building model, texture, ground photo, total station*

1. はじめに

GIS に建物の図形データを展開する際，基盤地図情報などに代表されるよう二次元データ，すなわち，詳細度 Level of detail (LOD) 0 が主であるところの 2021 年，国土交通省都市局都市政策課らは，全国 56 都市の 3D 都市モデルをオープンデータ化した (Project PLATEAU)．この 3D 都市モデルは，航空測量等に基づいて三次元で生成されており，LOD 3 も存在してテクスチャ付で GIS に展開することができる．先駆的であるが，限定地域であること，航空測量によるのでテクスチャが粗い現状である．建物テクスチャで先行している Google Earth Pro でもまだ粗い建物もあり，テクスチャの細かさを追求する必要がある．

既往の研究では，車両に搭載した全方位街路画像から抽出した建物画像に基づいて合成されたテクスチャ画像を建物モデルにマッピングすることで，テクスチャ付き建物モデルを自動生成する手法が提案され，精度検証及び最終的な出力モデルと Google Earth の比較が行われている [1]．また，3 次元建物モデルにおける，近接写真測量を用いた効率的な建物開口部データ生成手法が提案され，その結果，開口部の 3 次元座標の RMSE は約 10 cm とされている [2]．さらに時代を遡れば，建築物周囲の木や車などの写り込みに対して，校舎やビルなど繰り返し構造を持った建築物の特徴を利用し，テクスチャを格子状に分割し，情報が失われている格子に対して同じ構造の格子のテクスチャで置き換える手法が提案されている [3]．ここでの既往の研究も共通して，課題・展望の一つに，さらなる高精度化の旨が挙げられている．

本研究は，Project PLATEAUが公開されていない東洋大学川越キャンパスにおいて，オンラインで三次元建物モデル(以下，モデル)を取得するためArcGIS CityEngineのGet Map Dataを介してArcGIS Proに展開して，細かいテクスチャを貼り付けるため地上での写真を貼り付けることとした．取得したモデルの形状とサイズについて，精度検証を行うため，Total Station (TS)の対辺測定による実測を行った．その後，モデルの精度を向上させるため，このTSの実測値をもとにしてモデルの形状とサイズを修正した．地上での写真は大きな歪みを有しているので遠近法ワープにより補正した．なお，地上での写真は，車や植生まで写ってしまう場面や1枚で全体が収まらない場面が多々ある．本研究では，写真に写り込んだ車や植生を除去するため，壁面タイルを全面に貼り付け，資材置き場やドアや窓といったマルチパッチごとに補正した写真を貼り付けた．このときもTSの対辺測定による実

測値を利用して，歪み補正した側面写真の縦横比の補正と同時に，適切な位置にテクスチャを付与した．

2. 三次元建物モデルの取得，精度検証と修正

(1) 三次元建物モデルの取得

2000 年代，GIS を開いたら真っ白な画面が主流であった．背景地図を読み込むには，基盤地図情報を DL してインポートする必要があった．このときの LOD は，0 である．それから 2010 年代，オンラインで背景地図を読み込めるようになって利便性が格段に向上した．2023 年現在，ArcGIS Pro，ArcGIS CityEngine や Blender GIS では三次元建物をオンラインで読み込めるようになっている．なお，三次元建物をオンラインで読み込めるようになっていても，高さ精度が低く，LOD は 1 なので，テクスチャは付与されていない現状である．先述の Project PLATEAU がテクスチャ付き三次元建物を公開していることからも，LOD 1 の先には，テクスチャ付きが主流となる時代が到来すると予見できる．

ArcGIS Pro では東洋大学川越キャンパスのモデルを取得して直接編集することは困難であったため，一旦，ArcGIS CityEngine の Get Map Data を用いた(図-1)．赤丸内は，対象とした都市環境・建築実験棟である．都市環境・建築実験棟の高さについて，現実では一定でないが，モデルでは一定になっている．また，他の建物の高さについても，現実とは異なってモデルではほぼ一定になって単純化されていることがわかる．テクスチャがないことがわかる．座標系は平面直角座標系第 9 系とした．

このモデルを，ジオデータベースとしてエクスポートして，ArcGIS Pro でインポートした(図-2)．背景地図は，地理院地図と DEM である．

(2) TSの対辺測定

TSの対辺測定は，任意の地点にTSを整準させて，目標2点間の水平距離と高低差をミリメートルオーダーで観測できる．TSが直接観測しているのは，鉛直角，水平角と斜距離である．鉛直角と斜距離から水平距離と高低差それぞれが求まる．そこで，TSから目標AB水平距離それぞれと水平角(なす角)から余弦定理によって2点間ABの水平距離が求まる．TSから目標AB高低差それぞれから2点間ABの高低差が求まる．

ノンプリズムモードではプリズムの設置が困難な目標であって光波が反射できれば観測でき，著者の経験では 270 mほど先の建物もノンプリズムモードで観測できた．

著者は，既往の研究でSfMにより作成した三次元建物モデルの精度検証と精度向上のため，TSの対辺測定を用いており[4]，その手法を応用した．



図-1 Get Map Data の都市環境・建築実験棟

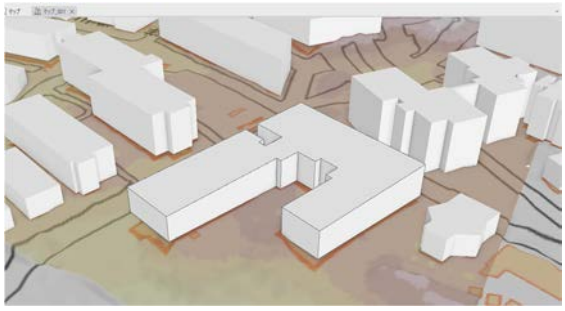


図-2 GIS に展開したモデル



図-3 都市環境・建築実験棟を対象とした TS の対辺測量

表-1 TS の実測値を真値と仮定したときのモデルの最大誤差

	最大誤差 [m]
長辺方向	0.7
短辺方向	0.6
高さ方向	3.1

(3) TSによる実測値と比較した三次元建物モデルの精度検証

ArcGIS Proでインポートしたモデルについて，精度検証を行うため，現実の都市環境・建築実験棟を対象としてTSのノンプリズムモード対辺測定による実測を行った(図-3)．用いたTSは，SOKKIA SET650RXSである．TSを観測しやすい任意の地点に整準させたが，障害物により視通の確保が困難な一部箇所には，TSとコンベックスによる実測を組み合わせた．

建物のすべての側面の長辺，短辺，高さについて，ノンプリズムモードで水平距離と高低差をミリメートルオ

ーダーで観測した．この結果を表-1に示す．TSの実測値を真値と仮定したときのモデルの誤差は，長辺方向で最大0.7 mほど，短辺方向で最大0.6 mほど，高さ方向で最大3.1 mほどあった．公共測量作業規程の準則　第106条数値地形図データの位置精度及び地図情報レベル[5]の水平位置と等高線の標準偏差に照査すると，取得したモデルの地図情報レベルは水平位置で1000程度，高さ方向で10000程度といえる．建物の高さは，いくつか同じであったことから，数段階に割り当てていると考えられる．

(4) TSによる実測値にもとづいた三次元建物モデルの形状とサイズの修正

実際の都市環境・建築実験棟の形状と高さは，取得モデルと異なる．モデルの精度向上のため，TSの実測値をもとにしてモデルの形状とサイズを修正した(図-4)．モデルを部分的に削除して新規作成した．その結果，モデルを4分割して，高さを個々に修正した．図-2と比較して高さが修正されていることがわかる．なお，モデルの長辺と短辺方向もそれぞれ修正した． この結果，モデルの地図情報レベルは，250程度まで向上した．

3. 歪み補正した側面写真の適切な縦横比および位置への貼り付け

(1) 地上で撮影した建物の側面写真と歪み補正

2018年10月，ArcGIS Pro 2.2で，3D オブジェクトに色または画像をテクスチャとして対話的に適用できるようになった．これはモデルに側面写真を貼り付けられることを意味する．しかしながら，地上で撮影する写真の歪みは大きいためにそのまま適用できず補正する必要がある．現在のArcGIS Pro 3.0ではテクスチャに画像を貼り付ける際，画像の歪みを補正できない．そのため，地上で撮影した写真に対して，マルチパッチに必要な歪み補正した側面写真を作成するため，Photoshopの遠近法ワープと切り抜きツールを利用した．

地上で撮影した都市環境・建築実験棟の側面写真を図-5に示す．地上での写真は，車や植生まで写ってしまう場面や1枚で全体が収まらない場面もある．建物の歪みが大きく生じていることが確認できる．資材置き場の角の赤丸は，歪み補正の対象の角である．遠近法ワープにより歪み補正した側面写真を図-6に示す．マルチパッチに必要な範囲，ここでは資材置き場だけを切り抜きツールにより抽出した．しかしながら，歪み補正して切り抜いた写真の縦横比は，必ずしも適切ではない．

(2) 適切な位置のマルチパッチへの貼り付け

資材置き場，窓，ドアなどのマルチパッチを適切な位置に作成するため，図-7に示すように建物の各境界の寸法をTSの対辺測定により実測した．マルチパッチの厚み(飛び出す値)は，一律0.01 mとした．

この作成した資材置き場のマルチパッチに歪み補正した側面写真を貼り付けた(図-8)．TSの実測値を利用することで，側面写真の縦横比は，より適切になった．同様にして，窓やドアを作成した．なお，モデル側面には写

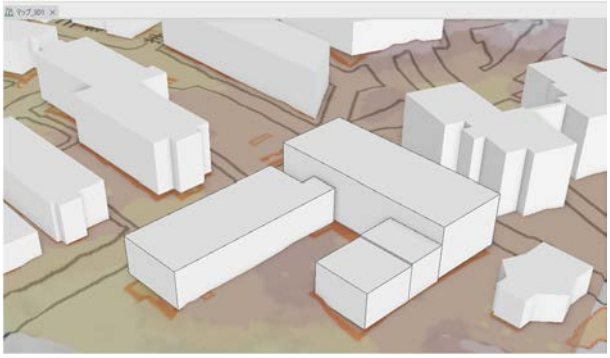


図-4　TS の実測値をもとに形状とサイズ修正したモデル



図-5　地上で撮影した都市環境・建築実験棟の側面写真

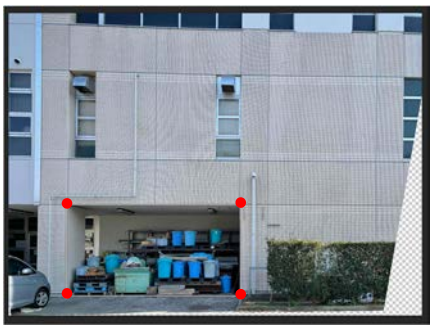


図-6　歪み補正した側面写真



図-7　TS の対辺測定による建物の寸法の実測値

真に写りこんだ車や植生を除去するため，壁面タイルを全面に貼り付けた．

4. テクスチャ付きモデルの比較検証

比較対象として，Google Earth Proの都市環境・建築実験棟の側面を図-9に示す．Google Earth Proは，都市環境・建築実験棟以外にも全国的にテクスチャ付きモデルが生成されており無償で利用できて利便性が非常に高い．しかしながら，形状の歪み，テクスチャの粗さ，テクスチャ色調の暗さなどが見られる．これは航空写真により自動生成されているためと考えられる．

一方，本研究により作成したモデルを図-10に示す．写真撮影で映り込んでしまった車や植生を除去できていることがわかる．今回，写真の色調を変化させていないが，日陰や天候などによる色調の暗さを必要に応じて画像編集により色調を明るくさせることが可能である．

比較の結果，本研究により作成したモデルは，確からしい形状，細かいテクスチャ，明るい色調のテクスチャであることがわかる．局所的であるが建物の外構(窓，ドア)を正確にモデル化できたことからLOD 3に近いモデルを作成できた．

5. おわりに

モデルの精度検証のため，TSの対辺測定に着目して，モデルの精度向上のため，この実測値を利用して形状と寸法を修正した．この結果，モデルの地図情報レベルは，取得時では水平位置で1000程度，高さ方向で10000程度であったが，修正後は250程度まで向上した．

さらに，モデルに細かいテクスチャを貼り付けるため，地上で側面写真を撮影して歪み補正を行い，適切な縦横比および位置に貼り付けるため，ここでもTSの実測値を利用した．この結果，確からしい形状，細かいテクスチャ，明るい色調のテクスチャの局所的であるがLOD 3に近い高精度の三次元建物モデルを作成できた．

高精度テクスチャ付き三次元建物モデルを作成するため，本研究の手法は，GIS，カメラ，画像処理，TSそれぞれを用いたが，将来，TSのみにより作成できる時代が到来するかもしれない．なぜならば，TSと連動アプリケーションは進化し続けており，現在，カメラ搭載TSやインターネット接続した背景地図上に座標値を展開するアプリケーションが存在するからである．そのような時代ならば，スムーズで迅速な高精度のテクスチャ付き三次元建物モデルの作成が期待できる．本研究の手法がその礎になれれば幸いである．



図-8　資材置き場マルチパッチに歪み補正した側面写真を貼り



図-9　Google Earth Pro の都市環境・建築実験棟の側面



図-10　GIS による三次元建物モデルの側面写真の貼り付け

参考文献

1) 中村遼斗，佐藤剛，小川芳樹，前田紘弥，関本義秀：街路の全方位画像に基づくテクスチャ付き3次元建物モデルの自動生成手法の検討，第 30 回地理情報システム学会講演論文集，C31-2-2，2021.
2) 須﨑純一，黒川雄太：建物モデルの属性データ生成における近接写真測量を用いた建物開口部の抽出，土木学会論文集 F3 (土木情報学)，Vol.69，No.2，pp. I_1-I_12，2013.
3) 塩田真之，古谷雅理，宮村 (中村) 浩子，斎藤隆文：イメージベースレンダリングのための建築物テクスチャの対話的修正，画像電子学会誌，Vol.36，No.4，pp.390-397，2007.
4) 久保寺貴彦，政春尋志，里見裕己，川井純也：SfM と TLS による三次元建物モデルの TS に着目した精度の検証と向上，土木学会論文集 F3 (土木情報学)，Vol.73，No.2，pp. II_1-II_6，2017.
5) 日本測量協会：－公共測量－作業規程の準則 令和 2 年 3 月 31 日改正，p.45，2020.