

1 はじめに

現在多くの建設工事の現場会議では、施工に関する情報として書面の設計図等を用いている。2次元の図では、人によって立体の捉え方が異なる場合があり、あいまいな情報を共有してしまう可能性がある。的確に情報を共有していないと、関係者同士の施工手順の食い違いが起き、手順を間違えて作業のやり直す、手戻りと呼ばれる事態が発生することがある。建設工事現場では、手戻りを防ぐために現場の情報を取りまとめ、現場に関する情報をデータとして一元化することが最重要である。

工事現場の情報を一元化する手段として、BIM(Building Information Modeling)がある。BIMのソフトウェアを用いて建造物の3Dモデルを作成し、そのモデルに種々の属性情報を付与できるというものである。BIMの導入により、設計段階から竣工時のイメージが3Dモデルで確認出来るようになった。しかし、BIMソフトは施工前に施工計画の可視化を行うことができるが、現場の情報を3Dモデルに逐次反映できる手段が少ない[1]。

本研究では、施工過程において現場が変化する様子を捉えた3Dモデルの作成を行う。変化する建造物の3Dモデルの作成を目的とし、3Dレーザスキャナ測量と写真測量を用いることで、時間を隔てて継続的に現場の3Dモデルを作成し、一貫性のある座標空間で可視化する手法を提案する。

2 BIM

BIMが持つ数多くのツールの1つに干渉チェック機能が存在する。干渉とは、工事現場において建造物や仮設、重機などが互いの役割を妨げ合うことである。そこで干渉チェックを行い、重機等の位置や大きさを確認し、干渉が起らないようにすることが重要となる。BIMを導入して3Dモデルを作成すれば、常に意匠・構造・設備が3次元で重ねあわせているので干渉チェックが容易となる。干渉チェックを3Dモデルでシミュレーションすることにより、説得力があり設計変更もスムーズである。[2]

しかし、工事現場においてシミュレーション通りに施工が進むとは限らず、必ず変更事項や誤差が発生する。そこで干渉チェックのツールの1つとして、施工段階において、今の工事現場の状態を3Dモデルで表示し、さらに時間軸を加えた、経時変化する3Dモデルの作成を行う。常に変化していく工事現場を3次元座標的に捉えることで干渉チェックに活かし、事前に作成するシミュレーションと比較し合うことで干渉チェックの現実性が高まると考えられる。

3 提案手法

本研究では、3Dレーザスキャナによる点群取得とデジタルカメラを用いた写真測量を行う。ここで、建造物以外で位置合わせの基準となる点をランドマークと呼び、写真測量時の基準点に用いる。3Dレーザスキャナでは主にランドマーク用の点群取得を行う。デジタルカメラを用い

た写真測量では、建造物に変化する様子を経時変化ごとに捉える。レーザスキャナ測量、写真測量によってそれぞれ3Dモデルを作成し、座標変換を行うことで2つの3Dモデルを参照させる。経時的3Dモデル作成フローは以下のようなになる。

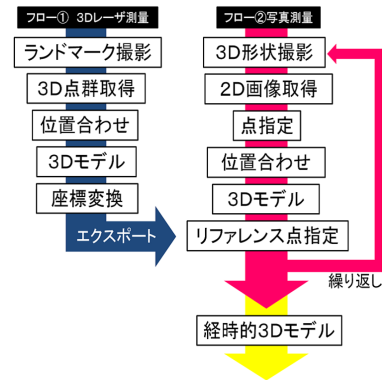


図 1: 提案手法のワークフロー

3.1 3D レーザスキャナ測量

3Dレーザスキャナとは、対象物の3次元形状を取得する機器の1つである。レーザ光を走査しながら、測定対象物に照射して反射光が戻ってくる時間から距離を測定し、同時にレーザを発射した方向から照射角度を測定して測定対象物の3次元座標を取得する。

3.2 写真測量

3次元空間上のある1点を複数の視点から撮影した画像上にはエピポラ幾何(図2)と呼ばれる幾何関係が存在する。3次元空間上の点をM、それに応じた画像上の点をx、x'とする。回転行列R、並進ベクトルtとすると、2枚の画像上には、

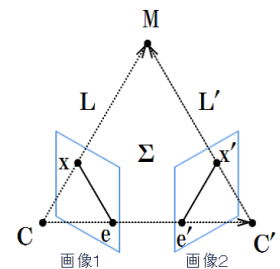


図 2: エピポラ幾何 [3]

$$\tilde{x}^T(t \times (R\tilde{x}' + t)) = 0 \quad (1)$$

の関係がある。E = [t]_xR と表現すると、

$$\tilde{x}^T(t \times (R\tilde{x}' + t)) = \tilde{x}^T[t]_x(R\tilde{x}' + t) = \tilde{x}^T E \tilde{x}' = 0 \quad (2)$$

Eにはカメラの回転と平行移動のパラメータが含まれ基本行列と呼ばれる。また、F = A^{-T}E A⁻¹とすると、式(3)のエピポラ方程式が得られる。

$$\tilde{x}^T E \tilde{x}' = \tilde{m}^T F \tilde{m}' = 0 \quad (3)$$

この関係から空間上にある1点の3次元座標を復元する．連続するビデオカメラフレームから画像対を多数用いることで、被写体の特徴点と各フレームを撮影した時のカメラの位置姿勢を3次元空間上に復元することができる．

4 実験

提案手法の有効性を検証するために、提案手法に沿って3Dモデルの作成を行い、作成した3Dモデルと実像との誤差を比較する．



図 3: 構造物模型

3D レーザスキャナを用いてランドマークの点群を取得することにより、3Dモデルが持つ誤差に

どれだけの影響があるかを実験する．本実験では、同一の対象物に対して異なる手法を適用して、経時変化を記録することを繰り返す必要があるため、机上にて構造物模型(株式会社 河田製 ナノブロック)を組み立てる様子を実験対象とし、再現性を確保する.(図 3)

本研究では、デジタルカメラ (Panasonic Lumix DHC-FX37) で得られた構造物の写真を Photomodeler6 を用いて写真測量を行う．3D レーザスキャナ (NEXTENGINE 3D SCANNER) で得られた点群は付属のソフトウェア ScanStudio HD PRO を用いて編集処理する．

4.1 実験 ①:基準点の数による誤差比較

実験 ① では、位置合わせに用いる点の数を増やすことで誤差が変動する様子を観察した．工程ごとに新たな計測を行い、既に計測されたデータとの位置合わせに用いる参照点の個数を変えた場合に、出来あがったモデルの誤差を比較した．結果を図 4 に示す．

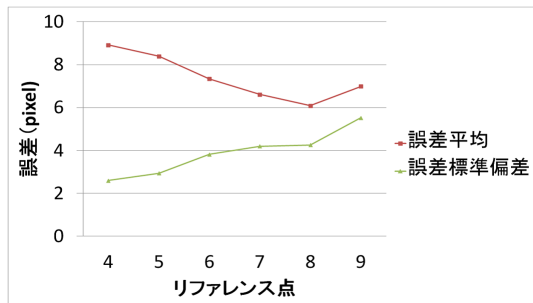


図 4: リファレンス点と誤差の関係

4.2 実験 ②:ランドマーク設置に関する誤差比較

初期段階にのみ基準点としてランドマークを設け、以後経時変化する中でランドマークのみを使用して3Dモデルを作成する．最初に様々な方向から撮影可能で、点として

捉えやすいランドマークを設置する．ランドマークの有無で誤差比較を行った結果を図 5 に示す．

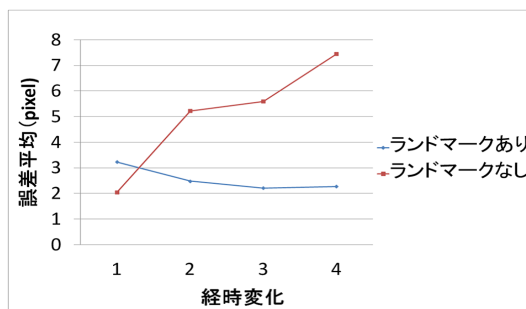


図 5: リファレンス点と誤差平均の関係

4.3 実験 ③:レーザスキャナ使用に関する誤差比較

3D レーザスキャナを用いてランドマークの取得を行った．ランドマーク以外は写真測量を行い、スキャナで得られたデータのスケール、座標系を写真測量と同一に変換した．結果を表 1 に示す．

表 1: 実験 結果 (誤差の単位は pixel)

	誤差平均	誤差標準偏差	最大誤差
スキャナ使用	3.106	2.061	10.222
スキャナ未使用	2.486	1.659	8.982

5 おわりに

実験 ①, ② の結果により、基準点の増加とランドマーク設置が精度向上に繋がることが確認できた．実験 ③ ではランドマークの撮影に3D レーザスキャナを使用した．結果、レーザスキャナを使用しないモデルの方が精度が高いことが確認された．この原因は2つ考えられる．1つ目は、レーザスキャナで得られた点群をランドマークとして指定する際に手動でプロットしたために生まれた誤差であると考えられる．もう1つは、レーザスキャナの点群を写真測量時の座標に変換する際に、手動による位置合わせのために発生した誤差と考えられる．一貫してランドマークを用いる方法の効果が確認されているため、3D レーザスキャナによるランドマークの取得において、手動に頼らない効率的かつ正確な特徴点の選択が今後の課題である．

参考文献

- [1] BIM ナビ
(<http://www.cadjapan.com/special/bim-navi/>)
- [2] AutodeskBIMDesign
(<http://bim-design.com/about/index.html>)
- [3] 徐剛, 写真から作る3次元CG, 近代科学社(2001)