

メタシェイプを用いた小地形に対する写真測量の方法 及びソフト機能の紹介

吉原 学志^{1,*}

Small area photogrammetric surveying methods using Metashapes and software functions.

Hiroshi Yoshihara^{1,*}

This is a simple method of obtaining the coordinates of a reference point marker without spending a lot of time or money, even for beginners with no surveying skills. The small terrain included buildings, roofs, trees and iron poles in the vicinity, making the area unsuitable for flying a drone. The first surveying method used was to prepare a compact box with a number of marker labels attached, and to record the coordinates of each marker on a scale. Photographs were then taken with the camera around the small landforms, taking care to ensure 60-80% overlap. The photographic data was then analysed by software and the measured distance between two points was compared with the distance calculated by the software to compare the error near the reference point marker with the error at a distance. The results showed that the average error near the marker was 0.190 mm and the average error at a distance of approximately 3 m from the marker was 5.67 mm, indicating that the error near the marker was small and the error increased as the distance from the marker increased. In other words, it was found that a small area of about 5 m square can be surveyed with an accuracy of about 5.6 mm at the edge of a dense area with obstacles that are difficult to fly over with a drone.

キーワード：写真測量, メタシェイプ, 点群, 座標, 基準点

Keywords : photogrammetry, Metashape , point cloud, coordinate, reference point

1. はじめに

近年の測量のトレンドは、UAV（ドローン）写真測量である。それは、予め地形に満遍なく複数の座標を持たせた標識（マーカー）を設置して、連続した空中写真データをもとに、対象物の位置、大きさや形状等を測量する。この設置した複数のマーカーの座標を求めるのに高価な機材及び高度な測量技術が必要となる。中には、座標点の計測を省くために GPS 内臓の対空標識やそもそも対空標識を用いないレーザーを使用した測量により、障害物があっても地形データを正確に取得できるドローンなども開発されている。これらは測量にかかる時間は大幅に削減できるが、いずれも高額な代物である。

今回、測量技術を持たない初心者でも時間やコストをかけずに行う写真測量として、小地形に対して簡易的な基準点を用いてカメラで撮影した写真をもとにソフトで解析してどのくらいの誤差で測量できるのか調査を行った。小地形には、周辺に建物、屋根、木や鉄柱等があり、ドローンを飛ばすには不向きな場所を想定し、あえてドローンではなく市販のカメラを用いて撮影している。

調査内容は、指標の距離の測定、誤差及び土地の高低差の計測であり、合わせてソフトの機能を紹介もする。

2. 方法

Metashape は、画像解析に使用する写真から特徴となるものを見つけ出し、他の写真に撮影された同じものと位置を合わせて点群を構築する。そのため特徴を捉えにくい被写体は点群を構築しにくい⁽¹⁾。点群が集まったものを高密度にして 3D モデルが出来上がる。その点群の位置をより正確にするために座標設定した基準点と他の

¹ 技術・教育支援センター
〒866-8501 熊本県八代市平山新町 2627
Center for Technical and Educational Support,
2627 Hirayama-Shinmachi, Yatsushiro-shi, Kumamoto,
Japan 866-8501

* Corresponding author:
E-mail address: yoshihara@kumamoto-nct.ac.jp (H. Yoshihara).

写真に投影された基準点の位置の微修正をソフト上で行うことで、より精度の高い3Dモデルを構築できる。

Metashapeで解析するには、表1のステップを順に処理する必要がある。今回、すべてのステップの処理に所要時間およそ7時間かかった。以下、詳細を記載する。

2.1 操作A；写真の撮影計画（最重要）

3Dモデルの復元に適した写真を撮るために、しっかりと撮影計画を立てる必要がある。そのためには、カメラの条件設定、オブジェクトとシーン選び、座標ラベルの選定、座標系の設定や撮影方法が重要となる。

2.1.1 カメラ装置と条件設定

Metashapeは写真が50mmのレンズ（35mmフィルム換算）を使用して撮影されたものと想定している。35mm換算で20～80mm間隔の一定の焦点距離を使用することが望ましい⁽¹⁾。一定のズームを使用しないと写真の画角が異なるため、良い解析結果が得られなくなる。

今回、使用したカメラは35mmフルサイズのCanon Eos 5D Mark IIIである。撮影中、ズームリングが動かないように焦点距離を24mmに固定してマスキングテープを貼った。また、写真枚数を抑えるためにズームレンズを広角に合わせた。

2.1.2 オブジェクトとシーンの要件

今回、基準点のラベルを貼り付けたケースは、アルミ素材で軽く、計測対象の小地形の体積約1/450、外形寸法(w) 29.5×(H) 24.7×(D) 41.7cmである(図1)。精度検証するには十分に面が出ているためスケールで容易にサイズを計測できた。しかし、Metashapeに

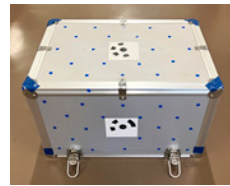


図1 アルミケース



図2 5種類のラベル

よる写真解析では、このケースに特徴となる模様があまりなく、光で反射しやすく平らな面が多いため不向きである⁽²⁾。そのため、ケースに特徴を持たせるために丸の形をした青色のシールを貼り、角は光りやすいためビニールテープで覆い隠した(図1)。また、撮影は光の反射を抑えるために曇りの日を選んで実施した。

2.1.3 座標の基準点、検証点用ラベルと座標系の設定

5種類のラベルには、基準点用4つと検証点用1つがある(図2)。基準点は、撮った写真からソフトで特徴点を見つけ出し、絵合わせを行うときに使用するもので、検証点は精度検証で使用するためのものである。ラベルは目立つもの、動かないもので点が特定しやすいものが推奨である⁽¹⁾。今回使用するラベルは、Metashapeから入手でき印刷して利用した。ラベルの中心に設置した基準点1(図3)と同様に2～4も基準点とし、5は検証点とした。また、4つの側面に4つの基準点用ラベル、上面に1つの検証点用ラベルを貼り付けた(図4)。そして、ケース底面の角を原点座標(x, y, z = 0, 0, 0)とした(図4)。原点からラベル中心1～4の基準点及び5の検証点までの距離をスケールで測り座標を求めた。この計測方法は基準点等の座標を簡易的に計測でき手間が少ない。座標は後述する「2.4 操作D表2」に示す。

表1 Metashape の操作手順

操作A；写真撮影計画（最重要）・座標系の設定
操作B；写真の読み込み・品質検査
操作C；写真のアライニング
操作D；マーカーの設定（重要）
操作E；高密度点群の構築
操作F；メッシュの構築
操作G；テクスチャーモデルの構築
操作H；タイルモデルの構築
操作I；デジタルエレベーションモデル（DEM）の構築
操作J；オルソモザイクの構築

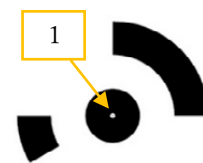


図3 基準点1のラベル

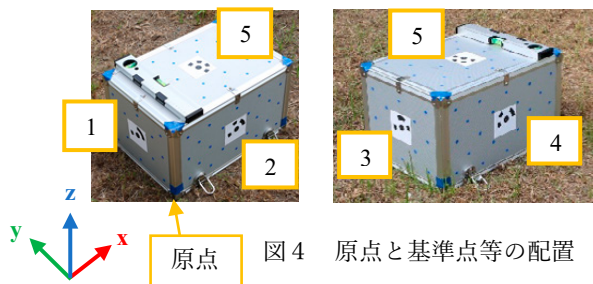


図4 原点と基準点等の配置



図5 撮影範囲の設定



図6 水平器によるケースのレベル出し



図7 中腰姿勢時の撮影

2.1.4 撮影場所と撮影方法

撮影場所はどこでも良いという訳ではない。例えば、土だけや草だけといったシーンは、ソフトで特徴を捉えにくいため点群を構築しにくい。また、草が伸びていると風で動くためソフトで写真の位置合わせをする時にアライメントをかけにくく、精度が悪くなる。そのため、土地にオブジェクトがある方が点群を構築しやすいため、技術センター事務室横の木、室外機や鉄柱等がある土地を選び、撮影前に草刈りを行った。

撮った写真からラベルの中心部（基準点等）をパソコンのモニターで確認できるように事前に撮影範囲を設定した。その後、ラベルに対してなるべく一定距離で撮影するために、ロープを使用してケース設置個所を中心に地面にチョークでラインを引いた（図5）。また、撮影前に水平器を使用してケースのレベル出しを行った（図6）。

撮影時はオーバーラップ率を考慮して横移動時は一歩、縦に対して撮る角度を変える時は、脚立に乗った状態で、立つ、中腰やしゃがむといった3つの姿勢で撮影を行った（図7）。進行方向のオーバーラップ率は80%以上、横方向のオーバーラップ率は60%以上を目安とした⁽²⁾。

2.2 操作B；写真の読み込みと品質検査

2.2.1 写真の読み込み

Metashape で読み込んだ写真のステータス表示欄で、以下のような表示がされたら写真を削除すべきである。

- NC | カメラの焦点距離を推定するのに十分でない
- NA | 写真のカメラ方向のパラメータが推定できない

2.2.2 品質検査

Metashape は、自動画質推定機能を保有している。品質値が0.5未満の画像は解析結果に悪影響を与えるので除外することが推奨である⁽¹⁾。

今回、撮影した写真の枚数は195枚、品質値は0.78～0.94、ステータス状態はNC、NAも無く全ての写真を解析に使用した。

2.3 操作C；写真のアライニング

この工程では、複数のオーバーラップ写真から三角測量によりカメラ位置、角度、距離を推定し、カメラのキャリブレーションパラメータを調整後、カメラのショット位置と共通点（低密度点群）を形成した（図8、9）。低密度点群は、写真の位置合わせの結果を表し、点群の元となるデータである。共通点の出来具合が精度の良し悪しを決める為、写真の撮影計画が非常に重要となる。

今回、撮影した195枚の写真すべてをアライメントすることができ、低密度点群の数は、115,422点となった。

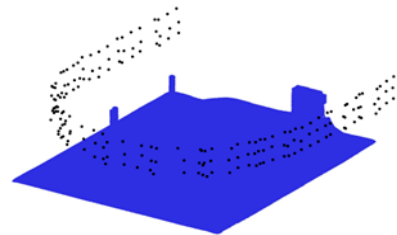


図8 ショット位置

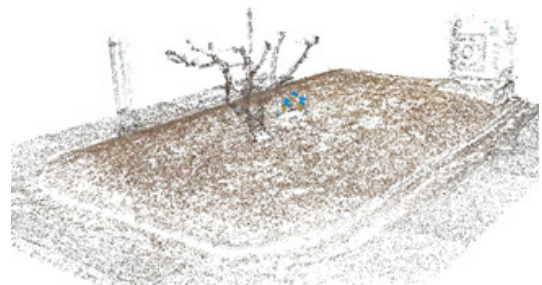


図9 低密度点群

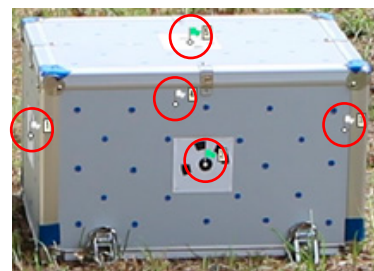


図10 位置修正済み緑旗と位置不特定の未修正白旗

2.4 操作 D；マーカーの設定（重要）

この工程では、撮影した写真上にてラベルの中心部の基準点や検証点の位置にガイド付きマーカーを利用してマーカー（旗）を配置した。これは、最初に写真上にて配置したマーカーが写り込むすべての写真に対して、その位置を推定して自動投影される。各々の写真に自動的に定義されたマーカー投影は、実際多少ズレが生じていたので手で微調整を根気強く行い、精度は誤差 19.8 mm から 0.718 mm と良くなった。ここでの精度が、次の工程の高密度点群の構築結果に大きく影響する。

マーカーは、旗の形状で表記されており、緑、青、白色の 3 種類ある（図 10）。緑旗は、ユーザーが旗の位置を修正済みという表示である。青旗は未修正ということであり、このままだと次の工程の計算に使用されるという表記である。白旗は基準点等の位置が不明確ということであり、そのままだと計算に使用されないため無理に位置修正する必要はない。また、マーカーは表 2 に示すマーカー欄のチェックを付けるか外すかで基準点、検証点に変更できる。チェックが入っている 1~4 を基準点用、5 を検証点用マーカーとした。

今回、精度検証に使われる検証点の誤差は 0.718 mm であった。それは x, y, z 軸方向の誤差の合計値であり、推定された座標と実測された座標の差である。

表 2 基準点及び検証点の誤差 (mm)

マーカー	x (m)	y (m)	z (m)	誤差 (mm)
<input checked="" type="checkbox"/> 旗 1	0.000	0.150	0.125	1.16
<input checked="" type="checkbox"/> 旗 2	0.208	0.000	0.125	2.68
<input checked="" type="checkbox"/> 旗 3	0.417	0.150	0.125	2.38
<input checked="" type="checkbox"/> 旗 4	0.208	0.295	0.125	1.75
<input type="checkbox"/> 旗 5	0.208	0.150	0.247	
合計誤差				
基準点				1.99
検証点				0.718



図 11 構築された高密度点群

2.5 操作 E；高密度点群の構築

この工程は、3D モデルの基礎である高密度点群を生成した（図 11）。高密度点群の数は 4,096,910 点と低密度点群数 115,422 点に比べ著しく増加している。しかし、図からも分かるように点群の粗さが目立っている。この後のテクスチャーモデルの構築で高品質な写真を張り付けて仕上がりの良い 3D モデルが出来上がる。

2.6 操作 F；メッシュの構築

この工程では、高密度点群をソースデータとしてシーンの表面を表す三角メッシュを構築した。

2.7 操作 G；テクスチャーモデルの構築

この操作では、前工程で作成したメッシュに高品質な写真を貼り付けて立体物の質感をあたえた。3D モデルの中で実物に一番近い状態である。以下、構築したテクスチャーモデルのアルミケースや様々な視点の小地形モデルを掲載する（図 12~15）。



図 12 アルミケース



図 13 小地形（北東視点）



図 14 小地形（東視点）



図 15 小地形（南視点）

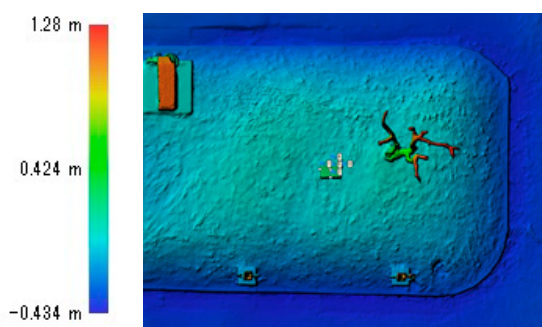


図16 DEM(標高モデル)

2.8 操作H；タイルモデルの構築

この工程は、階層型タイル形式で都市スケーリングに適したソリューションである。この平坦な小地形ではタイルモデルに向かないため図を割愛する。

2.9 操作I；デジタルエレベーションモデル (DEM) の構築

この工程では、地表面の高さを表示する数値標高モデルのDEMを生成した(図16)。画像中心にあるケースは、周りの土よりも高さが高いため濃い緑色を示し、室外機や木はさらに高いのはっきりと褐色を示した。また、アルミケースの底面の角が原点で高さが高さが0.00 mmのため、それよりも低い周りの土地の高さはマイナスの値で青色を示している。

2.10 操作J；オルソモザイクの構築

オルソモザイク画像は、一般的には航空写真用として使用される。通常、空中からの写真は人間が真上から見下ろした時と同じように、写真の端の方に行けば行くほど位置のずれや傾きが発生してしまうため、正しい大きさや位置が掴めない。そこで、写真の中の画像の位置ズレをなくし、空中写真を地図と同じく、真上から見たような傾きのない、正しい大きさと位置に表示される画像に変換したものを「オルソ画像」といい、それは建物等の側面が見えなくなる特徴がある。

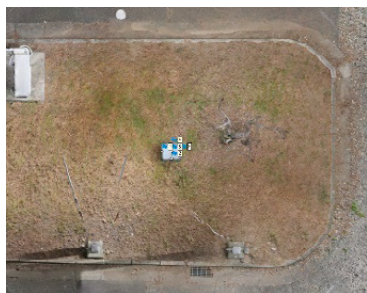


図17 オルソモザイク画像

今回、作成したオルソモザイク画像は、この土地に対して垂直に写真撮影した正射投影の写真がないため、不鮮明な画像となった(図17)。

3. 調査結果とソフト機能の紹介

ここでは、指標とする3か所の2点間距離、断面図によるケースの高さ測定と誤差や土地の高低差の調査結果を示す。合わせて等高線・面積・体積などのソフト機能の紹介をする。

3.1 計測地点3か所の2点間距離の計測、誤差及び計測箇所までの距離の結果

指標となる3か所の2点間距離の実測値とソフト上の計算値を比較して誤差を求めた。計測箇所は、①室外機のコンクリート土台の横幅(図18)、②鉄柱の土台のコンクリート間の距離(図19)、③小地形の東側の南北に設置された緑石の継ぎ目から継ぎ目までの距離(図20)の3か所である。結果を表3に示す。アルミケースの中央付近から2点間距離を計測した3か所の線分の中点までの距離は、平均して3.13 mであった。3 m程離れた3箇所における2点間距離の平均誤差は5.67 mmとなった。

表3 計測地点3か所における2点間距離の平均誤差とケース中心からの計測箇所までの距離

	実測値 (m)	計算値 (m)	誤差 (mm)	計測箇所までの距離 (m)
計測地点①	1.030	1.026	4.00	3.20
計測地点②	2.727	2.721	6.00	2.80
計測地点③	2.787	2.780	7.00	3.40
平均			5.67	3.13



図18 室外機のコンクリート土台の横幅



図 19 鉄柱の土台のコンクリート間の距離

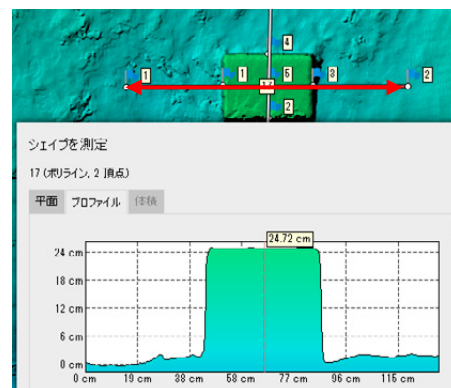


図 21 長辺の断面から計測したアルミケースの高さ

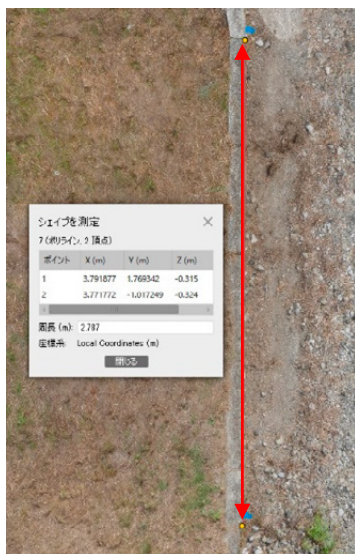


図 20 小地形の東側の南北に設置された緑石の継ぎ目から継ぎ目までの距離

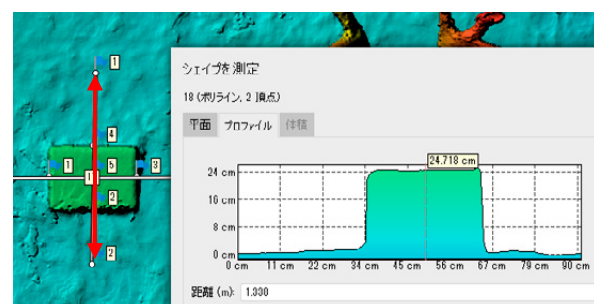


図 22 短辺の断面から計測したアルミケースの高さ

3.2 2方向の断面図によるケース高さの計測及び誤差の結果

DEM上でケースの断面図を生成して、ケースの高さを測定した。ケースの高さは実測値 24.700 cmである。計測箇所は、④ケースの長辺に対する断面図によるケースの高さ(図 21)、⑤ケースの短辺に対する断面図によるケースの高さ(図 22)の2か所である。結果を表4に示す。アルミケースの高さのソフト計算値と実測値の平均誤差は 0.190 mm となった。

表 4 計測地点2方向の断面図によるケース高さの平均誤差

	実測値 (cm)	計算値 (cm)	誤差 (mm)
計測地点④	24.700	24.720	0.200
計測地点⑤	24.700	24.718	0.180
平均誤差			0.190

3.3 小地形の北側と南側の地面の高低差の比較結果

目視では分かりにくい小地形の北側と南側の高低差を調査するためにソフトを使ってどちらが低いか計測した。地面の高さを比較するために北側と南側に高度を解析できる直線を引いた(図 23, 24)。

計測結果より、北側の一番低い箇所で-38.37 cm(図 23)、南側の一番低い箇所で-41.46 cmであった(図 24)。グラフの縦軸の高さを比べても全体的に4~5 cmほど南側の方が低いことが分かった。

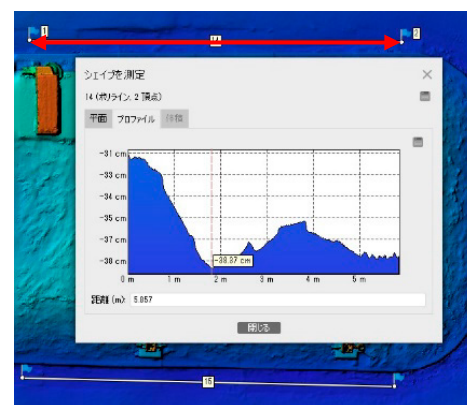


図 23 北側の地面の高さ

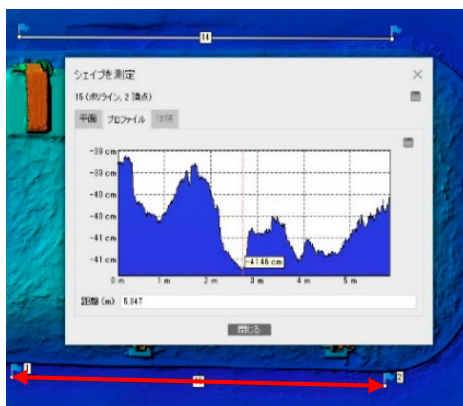


図 24 南側の地面の高さ

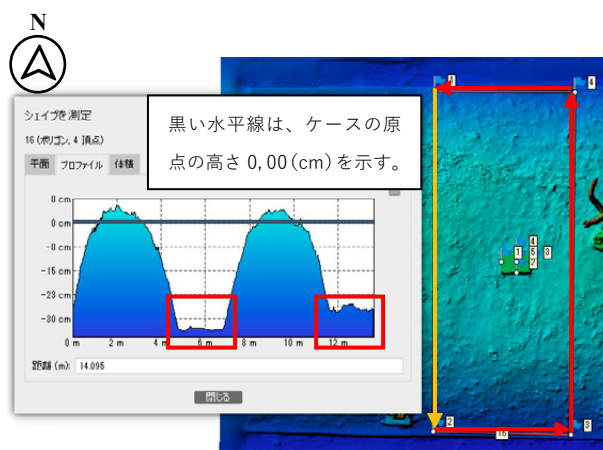


図 26 高度値を反映した周長の起伏

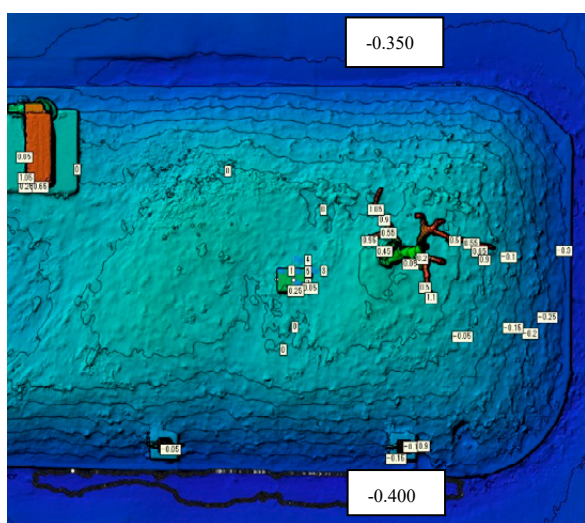


図 25 DEM 上の 0.05 m 刻みの等高線

3.4 等高線による小地形の北側と南側の地面の高低差の比較結果

生成した等高線は 0.05 m 刻みであり、単位は m 表記である (図 25)。小地形の南側の太黒の等高線は高さ -0.400 m を表し、小地形の北側の等高線は高さ -0.350 m であることから南側が 5 cm 程低いことが分かった。

3.5 小地形の北側と南側の縁石の高低差の比較、線状の周長、線内の面積と体積の結果

オレンジ線からスタートして反時計回りに赤線で描画し四角に囲った (図 26)。この線に対する土地の縁石の高低差、高度値を反映しない周長と反映させた周長、面積や体積を計測した。体積は囲った線よりも高さが高いところを計測しているのでアルミケースの体積も含まれている。「分類でフィルタリング」機能を使えば、アルミケース、木、室外機や鉄柱等の不要な物を削除することができ、小地形の体積を測定することもできる⁽¹⁾。

表 5 線上の周長と四角の線内の面積と体積

高度値を反映していない周長 (m)	13.6
高度値を反映した周長 (m)	14.1
面積 (m ²)	9.47
体積 (ケース込み) (m ³)	2.32

今回、南側の縁石は、北側の縁石より 5~6 cm 程低いことが分かった (図 26)。また、線上の周長と線内の面積と体積の結果を表 5 に示す。

3.6 点群を構築した範囲の面積と体積の計測結果

3D モデルの表面積や体積を測定した (表 6)。体積測定はクローズされた形状のモデルのみ実行できる。このモデルは縁石周りの点群数が少なく閉じていなかった (図 11)。そのためモデル表面のサーフェスの穴を埋めた (図 27)。埋めた箇所は縁石周りのグレー部分である。グレー部分に特徴を捉えにくい少量の土が堆積していることを確認できる (図 13~15)。

表 6 点群を構築した範囲の面積と体積の計測結果

小地形周辺を含む面積 (m ²)	142
木、鉄柱、室外機やアルミケース含む体積 (m ³)	7.12



図 27 穴のあいたサーフェスを埋めた 3D モデル

4. 考察

結果3の「3.1」と「3.2」より、マーカー付近のアルミケースの高さの平均誤差 0.190 mm は、アルミケースの中央から 3 m 程離れた箇所の平均誤差 5.67 mm と比べ、精度が高いことからマーカー付近は誤差が小さく、マーカーから離れると誤差が大きくなると考えられる。今回、ソフト解析に使用した写真 195 枚の中にマーカーが映っていない写真がいくつもある。アライメントをかけるとき、基準点となるマーカーが映っている写真同士はマーカーで写真と写真をつなぎ合わせやすい。しかし、マーカーが映っていない端の方の写真は、特徴を捉えにくい土や草などでつなぎ合わせるため、誤差が大きくなるのではないかと考察する。改善方法として、特徴が少ない箇所に形や模様の特徴のあるオブジェクトを設置して写真を撮ることで、アライメントの精度が良くなり、点群の位置関係が正しく構築され、誤差がさらに少なくなると推察する。

結果3の「3.3」と「3.4」より、目視でははっきりと分かりにくい地形の高低差も Metashape の DEM モデルにより、5 cm 程の高さの違いを得られた。この計測箇所は、マーカーから 3 m ほど離れているので誤差は 5~6 mm 程となり、高低差の 1/10 程度であるため北側の地面より南側の地面が低いといえる。

5. まとめ

今回、測定対象の土地に対して体積約 1/450 のケースにマーカーラベルを張り付け基準点と検証点の座標を求める簡易的写真測量法及び Metashape ソフトを用いて以下のことを調査できた。

- (1) ドローンで飛行しにくいような障害物で密集したところも約 5 m 角の小地形なら端の方で誤差 5~6 mm 程度の精度で測量ができる。
- (2) マーカー付近は指標とする長さのソフト計算値と実測値の誤差が小さく、マーカーから離れた箇所は誤差が大きくなる。
- (3) 目視では分かりにくい小地形の北側と南側の高低差もソフトで解析すると、誤差を考慮して南側の地面の方が 5 cm 程低い。

謝辞

本報告書の作成にあたり、熊本高専 技術・教育支援センター 技術職員 下田誠氏にはカメラの使い方等で適切なご指導を賜りました。ここに深謝の意を表します。

(令和 6 年 10 月 8 日受付)

(令和 6 年 10 月 28 日受理)

参考文献

- (1) クウサツ・ドットコム株式会社：Agisoft PhotoScan Professional Edition Version 1.2.6, 日本語ユーザーマニュアル, Ver.1.0, pp.2-73(2015)
- (2) 「株式会社オーク」, Agisoft Metashape, <https://oakcorp.net/agisoft/>, (2024.09.06 閲覧)