

iPhone Proを用いた三次元計測

柳瀬 洋輝・飯塚 恒太・折原 雄也・鎗田 俊輔・秋葉 健太（株式会社パスコ）

1. はじめに

近年、フォトグラメトリ技術は著しい発展を遂げており、測量分野への活用が期待されている。最新のフォトグラメトリ技術としてはスマートフォンを用いた手法があるが、測量作業で求められている精度が得られるか明らかになっていない。

実際の測量作業において、空中写真撮影時点と現地調査実施時点の間で工事等による地形変化が生じることがあり、必要に応じて地形変化を反映することが求められる。しかし、地形変化を反映するための補備測量は、トータルステーションや地上レーザ測量などの測量機器を使用する必要があるが、測量機器は高価であり、測量実施には高い専門性が必要となる。そこで本検証では、三次元数値地形図データファイル作成（地図情報レベル500）における補備測量への活用を目的として、従来の測量機よりも安価かつ簡便な方法で三次元計測可能なiPhone Proを活用した。iPhone Proを用いて取得した画像データ、およびLiDARデータにより作成した点群データを組み合わせ、高精度な点群データを作成する手法（以下、本手法）により三次元計測を実施した。なお、LiDARデータにより作成した点群データは、ネットワーク型RTK法により高精度化した。今回は従来手法との比較を通じて、本手法の特徴や精度、コスト面からの利活用可能性について述べる。

2. 本手法の概要

本手法によるデータ取得はiPhoneにインストールした専用アプリによりおこない、データ

はスマートフォン本体に蓄積される。取得データは撮影画像、LiDARデータ、およびGNSS測量機より得られる位置情報である。iPhone ProとGNSS測量機は専用治具により一体化されており、両者のオフセット値も事前にアプリに入力する。機材は小型・軽量であり、データ取得対象にiPhoneのカメラを向けることにより簡単にデータを取得することができる。データ取得対象もiPhoneの画面に表示されるため、リアルタイムで確認することができる。画面上では、GNSSの受信状況およびステータスが表示される（図2.1）。



図2.1 使用機材 (PIX4Dcatch RTK)

3. 実証試験

本稿では、新潟県柏崎地域振興局より借用した検証フィールドにて実証試験を行った。

当現場では、撮影成果を用いて数値地形図修正を実施することを目的としていたが、航空写真撮影後に道路の拡幅工事がおこなわれており、工事による地形形状変化を平面図に盛り込む必要があった。そこで、本手法を用いて補備測量を実施した。地形変化対象範囲は延長

250m、面積7,000㎡の範囲であった(図3.1)。



図3.1 対象範囲

4. 実証試験内容

今回は当手法の有用性を確認し、精度検証をおこなうため、本手法によるデータ取得に加え、トータルステーションによる観測および地上レーザ測量を同日に実施した。本手法と地上レーザ測量結果と比較し、トータルステーションにより得られた座標値にて、両手法の精度確認をおこなった。作業フローを以下に示す(図4.1)。

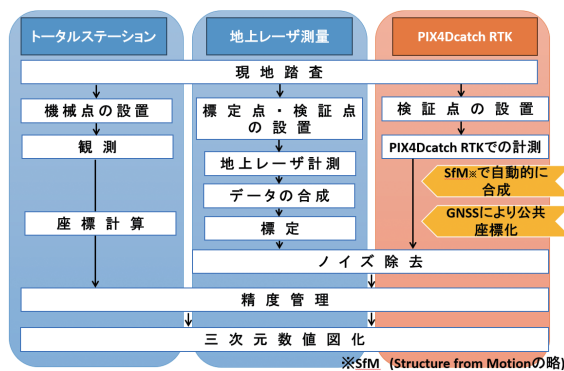


図4.1 作業フロー

① 現地踏査

まずは3つの手法での計測を実施するために現地踏査をおこなった。トータルステーションによる観測のために標定点、検証点間の視通確認をおこなった。地上レーザ測量のために、計測計画を立案し、標定点等の配点状況が適切か確認した。本手法のために、計測ルートを決め、検証点が観測されるかを確認した。また本手法における位置情報の取得はネット

ワーク型RTK法によるものであるため、計測ルートの上空視界が開けておりGNSSの受信感度に影響がないか、携帯電話の電波状況は良好で補正情報の受信に問題はないか、を確認した。

② トータルステーションによる観測

トータルステーションを用いて地上レーザ測量で用いる標定点・検証点の設置および地物の観測を実施した。

③ 地上レーザ測量

PIX4Dcatchによるデータ取得範囲を網羅できるようにライカジオシステムズ社製のRTC360を用いて計測した(図4.2)。計測は地上レーザ測量システムを用いた三次元点群合成マニュアルに準拠しておこなった。地上レーザでの計測は約15m毎に機械点を設置して計測を行った。



図4.2 地上レーザでの計測

④ 本手法 (PIX4Dcatch RTK)

本手法でのデータ取得方法は、PIX4Dcatch RTKを片手で持ち、計測範囲をiPhoneの画面上にて確認しながら、データを取得、画像の撮影をおこなう方法である。歩行は通常の歩行速度で、なるべく速度変化がないように留意し



図4.3 PIX4Dcatchでの計測

た。左側車線の歩道から計測し、250m先に到達すると反対側車線の歩道に渡り、計測開始地点に戻りながら計測した(図4.3)。またフォトグラメトリを意識して、iPhoneの角度も計測中に変えないようにした。なお、本手法の特徴として、取得可能データはiPhoneのカメラ方向のみであり、地上レーザ測量のように360度方向のデータを取得することはできない。

⑤ 点群データの生成(地上レーザ測量)

地上レーザ測量により取得したデータをライカジオシステムズ社製のCyclone REGISTER 360を用いて、点群データに変換した(図4.4)。今回使用した地上レーザ測量機RTC360で得

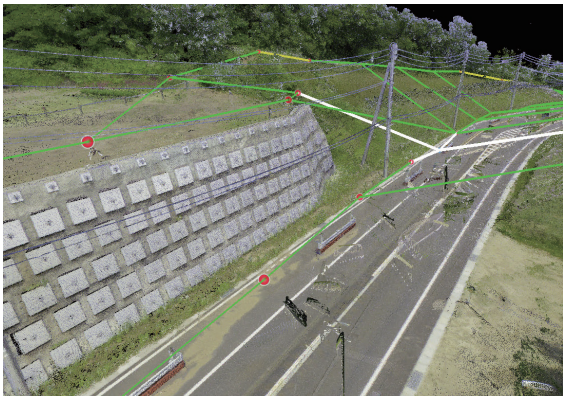


図4.4 地上レーザ測量による点群生成

られるデータは標定点を用いた公共座標変換が必要であり、トータルステーションで観測した点を標定点として用いた。

⑥ 点群データの生成(PIX4Dcatch)

本手法により取得したデータをPIX4D社のPIX4D maticにより点群生成を行った(図4.5)。maticはGNSSにより座標が付与されたLiDARデータと画像データより点群を生成するため、位置座標付きの点群データが取得できる。また点群データ生成と同時に、iPhoneから得られた画像より、位置情報付きのオルソ画像も生成することができる。

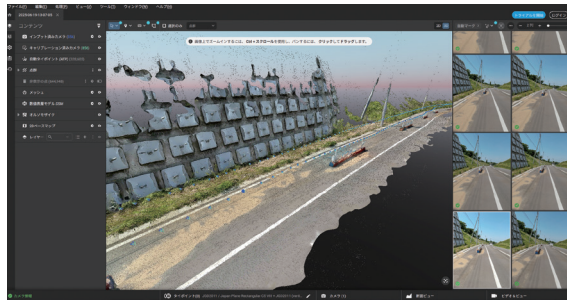


図4.5 PIX4D maticによる点群生成

5. 本手法における点群データの特徴

本手法により作成した点群データ(図5.1)について特徴を述べる。

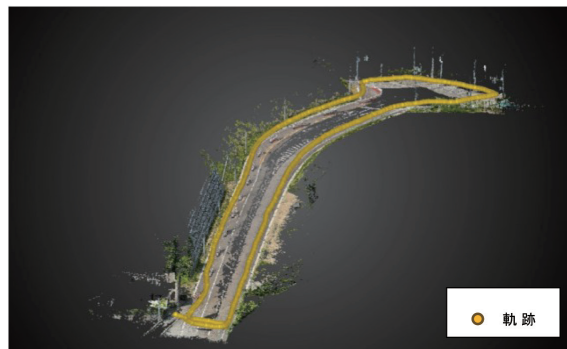


図5.1 本手法で取得した点群データ

① 特徴

データ取得時に、PIX4Dcatch RTKの姿勢をなるべく固定しながらデータを取得するため、進行方向側の点群が得られる。一方、iPhoneの背面側のデータは取得できない。例えば道路

標識は片面のみしかデータが取得されないため、標識背面側のデータが必要な際には、事前の現地踏査で標識の位置を確認しておき、別途背面のデータを取得する必要がある。また電柱などの構造物も片面のみのデータ取得となるため、注意が必要である。

またデータ取得時の工夫として、検証点付近では、確実なデータ取得のために歩行速度を低下させた。

② 点群生成範囲

点群データの取得範囲の確認をおこなった。進行方向に対し、点群データが取得できる点群取得幅は約6mであった(図5.2)。

また鉛直方向の有効な点群生成高は約4mであった(図5.3)。本手法における点群生成範囲は、幅6m、高さ4mであることが確認できた。

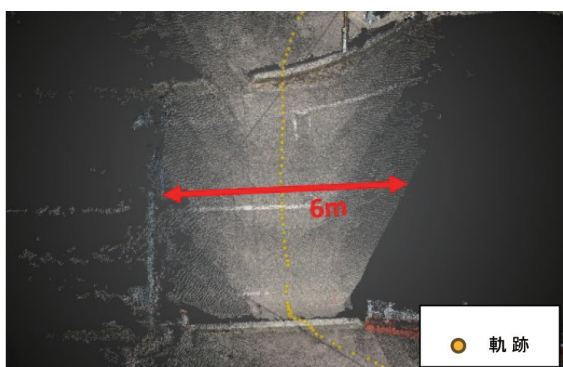


図5.2 水平方向の取得幅

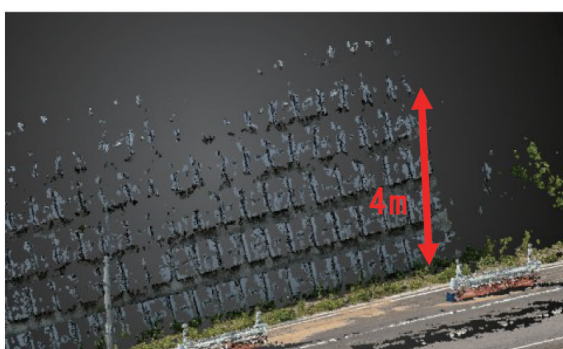


図5.3 鉛直方向の取得高

6. 実証試験結果

本手法および地上レーザ測量で取得した点群データを項目ごとに比較した。

① 作業時間の比較

地上レーザ測量と本手法の作業時間を、データ取得時間と解析時間で比較した。まずはデータ取得時間であるが、地上レーザ測量は約1時間を要し、本手法は5分で完了した。地上レーザ測量の場合、15m間隔で機械を据え変える必要があり、データ取得に時間を要した。一方、本手法は通常の歩行速度で対象範囲を歩くのみであるため、非常に短時間でデータ取得することができた。(表6.1)。

表6.1 作業時間の比較

| | 地上レーザ測量 | PIX4Dcatch RTK |
|------|---------|----------------|
| 取得時間 | 1時間 | 5分 |
| 解析時間 | 5時間 | 1時間 |

② データ取得範囲の比較

地上レーザ測量と本手法で取得した点群データの取得範囲を比較した。青が地上レーザ測量で取得した範囲、赤が本手法で取得した範囲である(図6.1)。本手法にて得られる点群データ範囲は非常に限定的であり、計測目的を明確にした上で計測する必要がある。特に空中の送電線を点群データとして取得したい場合、iPhoneを斜め上に傾ける必要があるが、特徴点が少なくなるため(上空視界が開けている場所で計測していることが前提のため)、フォトグラメトリが機能しづらくなることが考えられ、当手法では不向きであると言える。

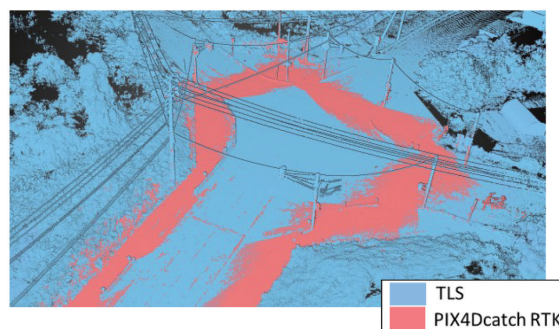


図5.3 鉛直方向の取得高

③ 点密度の比較

地上レーザ測量と本手法により得られた点群

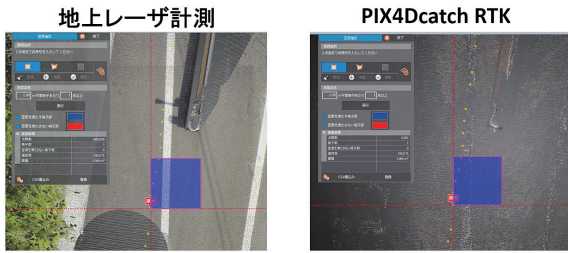


図6.2 点密度の比較

表6.2 点密度比較表

| | 地上レーザ計測 | PIX4Dcatch RTK | 数値地形図作成 (レベル500) ※ |
|------------------------|---------|----------------|--------------------|
| 点密度(点/m ²) | 403,676 | 3,697 | 400(地物) |

データの点密度を比較した(図6.1)。任意に抽出した1m²の範囲内の点群データ数をカウントする手法を用いた。地上レーザ測量では約40万点/m²であったが、本手法では約4千点であり、点密度は1/100の差があった(表6.2)。しかし「地上レーザ測量システムを用いた三次元点群合成マニュアル」の数値地形図作成(レベル500)の”地物”を対象とした要求点密度は400点/m²であり、本手法で得られる点群データはマニュアルの規程と比較し10倍の点密度であることから、十分に活用可能といえる。

④ 絶対位置精度の比較

対象フィールド内にはトータルステーションを用いて検証点を設置しており、検証点と地上レーザ測量および本手法により得られた点群データの座標値を水平方向、高さ方向毎に較差を検証した。(図6.3)。

本手法の較差は、水平方向および高さ方向ともに地上レーザ測量結果よりは劣るが、作業規程の準則の数値図化(地図情報レベル500)の精度要件を満たした。精度上問題ない手法であることが確認できた(表6.4、表6.5)。

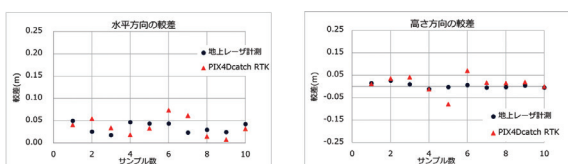


図6.3 検証点による較差の比較

表6.3 水平方向の較差

| | 標準偏差 | 最大較差 |
|--------------------------|--------|--------|
| 地上レーザ測量 | 0.011m | 0.047m |
| PIX4Dcatch RTK | 0.020m | 0.074m |
| 公共測量作業規程 精度 (地図情報レベル500) | 0.25m | - |

表6.4 高さ方向の較差

| | 標準偏差 | 最大較差 |
|--------------------------|--------|---------|
| 地上レーザ測量 | 0.011m | 0.026m |
| PIX4Dcatch RTK | 0.037m | -0.079m |
| 公共測量作業規程 精度 (地図情報レベル500) | 0.25m | - |

⑤ 相対位置精度の比較

検証フィールド内の2つの地物(マンホール)の距離をトータルステーションと本手法により得られた点群データで比較した。2点間の距離差は3cm程度で良好であった(図6.4)。

マンホール間距離

PIX4Dcatch RTK

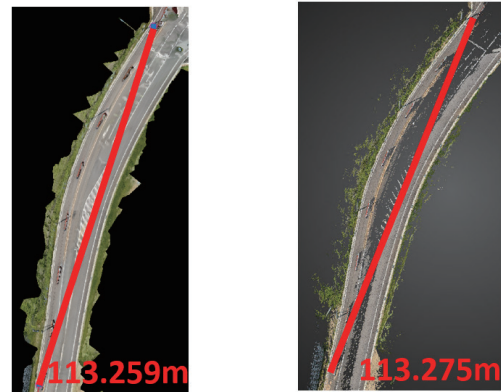


図6.4 相対位置精度の比較

7. 点群を用いた数値図化

本手法で得られた点群データは地図情報レベル500の精度要件を満たしていることが確認できたため、点群を用いた数値図化をおこない、拡幅後の道路形状を数値地形図に反映することができた(図7.1)。また、高さ方向も精度要件を満たしているため、三次元数値図化も可能である。今後本手法を用いることにより、三次元数値図化だけでなく、三次元モデル作成や継続計測による2時期差分比較など、様々な利活用が期待できる。

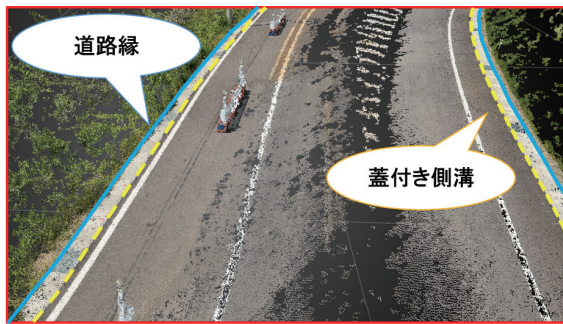


図7.1 点群図化の例

8. まとめ

今回はiPhoneを用いた三次元計測を実施し、同一地区で実施した地上レーザ測量結果との比較を通じて、本手法の精度検証をおこなった。

本手法を用いることにより、地上レーザより若干精度は劣るが、地図情報レベル500の数値図化の精度要件を満たすデータが取得できる。計測作業も片手で簡単に、特別な専門技術を必要とせずに点群データ取得が可能のため、作業人員削減も期待でき、作業コストの低減および効率化することができる。またデータ解析時間も短縮することができる。

ただし、計測可能範囲は限定的であり、使用の用途・目的を明確にして、十分な現地踏査と作業計画の立案が肝要である。

計測精度について十分に実用可能な結果が得られたが、今回はネットワーク型RTK法による測位が常にFIX解が得られた状態での計測であった。実証試験を通じ、フォトグラメトリやLiDARデータは高精度の点群生成が可能であることが確認できたため、点群の精度はGNSSの位置精度に依存すると考えられる。GNSSの受信感度が低い箇所や、携帯電話が圏外のエリアにて本手法を利用する際には、より綿密な計測計画の立案や、座標変換用の基準点を設けるなど、精度向上の工夫が求められる。

また今後の展開として、安価で簡単に計測が可能な手法であるため、あらゆる場面での活用

が予想される。測量成果の品質担保のため、作業フローの統一や、正しい精度確認手法の定義など、早急なマニュアルの整備が必要となるであろう。

謝辞

本論文の作成にあたっては、新潟県柏崎地域振興局に検証フィールドをご提供していただいた。ここに感謝の意を表する。

付記

本稿は、第47回測量調査技術発表会(2025年8月)の発表内容に、改良と検討を加えたものである。

■参考文献

- ・公共測量作業規程の準則
- ・地上レーザ測量システムを用いた三次元点群合成マニュアル

■執筆者

柳瀬 洋輝(やなせ ひろき)

株式会社パスコ 東日本事業部 第一技術センター 国土情報部 地理情報四課

(共著者)

飯塚 恒太(いづか こうた)

株式会社パスコ 東日本事業部 第一技術センター 国土情報部 地理情報四課

折原 雄也(おりはら ゆうや)

株式会社パスコ 東日本事業部 第一技術センター 国土情報部 地理情報四課

鎗田 俊輔(やりた しゅんすけ)

株式会社パスコ 東日本事業部 第一技術センター 国土情報部 地理情報四課

秋葉 健太(あきば けんた)

株式会社パスコ 東日本事業部 第一技術センター 国土情報部 地理情報三課