

LiDAR 機能付きスマートフォンを用いた 地下埋設管データの取得方法及び活用方法の検討

森 義孝・逢坂 直樹・西村 大助・阿部 亮吾・佐藤 明朗（国際航業株式会社）

1. はじめに

近年、インフラ設備の老朽化が深刻化する中、日常点検や施設管理などの維持管理業務における引継ぎや技術継承の課題が挙げられている。この課題に対して、国土交通省はデジタル技術を活用し、担い手不足の解消や業務の効率化・高度化を目指すインフラ分野のDX（デジタル・トランスフォーメーション）を推進している¹⁾。その中で、北陸地方整備局は、道路維持管理分野において、車両搭載型センシング装置（Mobile Mapping System：以下、MMSと記す）にて取得した直轄国道の3次元点群データの活用検討を実施している。

北陸地方整備局は、道路の維持管理を行う事務所や出張所に対し、維持管理に関する業務内容や現状の課題についてヒアリングを行い、3次元道路台帳附図の作成仕様について検討を行った²⁾。特にヒアリングで要望が多く出たのは、地下埋設管の可視化であった。これは地下埋設管施工時の事故防止や省力化を目的とした要望であった。そのため、施設台帳や図面などの既存資料をもとに地下埋設管データを作成し、3次元道路台帳附図に統合を行ったが、地下埋設管の干渉や地盤面からの突出が確認され、現地状況を正確に再現できなかった。

近年では、LiDAR機能付きスマートフォンを用いた計測手法（以下、簡易計測手法）により3次元点群データを取得し、出来形管理³⁾や建設工事のDX化への活用⁴⁾が進められている。本技術を用いて、施工業者が施工時に地下埋設管を計測し、3次元化することで、3次元道

路台帳附図に地下埋設管を可視化することが可能になる。

本論では、簡易計測手法を用いた地下埋設管データを取得することについて、施工業者にデータ取得者とデータ利用者の両方の立場からの要求事項や課題をヒアリングした。そのうえで、実際の施工現場で現地検証を実施して最適な簡易計測手法を検討した。さらに、取得した地下埋設管データを可視化した3次元道路台帳附図を作成して、インフラDXに向けた活用検討を実施した。

2. 施工業者へのヒアリング及び簡易計測手法の選定

施工業者に対して、地下埋設管工事の施工手順や施工内容の確認、データ取得者として施工中の計測するタイミングや計測に割り当て可能な時間、データ利用者として設計、施工計画に必要な要求精度やデータの品質などをヒアリングした（表1）。その結果、①迅速性（計測時間が10分以内）、②簡易性（データ取得の手

表1 施工業者のヒアリング結果

施工内容	延長5~10m、幅1m程度、掘削深度1~2m
	区間毎に、掘削、敷設、埋め戻しを1日で行う
	既設の埋設管から離隔30cmまでは機械で掘削 既設の埋設管を掘り出す時が最も注意を払う
課題	計測時間は10分以内
	後処理は作業負荷が大きい
要望	掘削の底面や管の位置や管径を正確にデータ化
	取得データが現地確認できれば、施工上の効率化につながる

表2 簡易計測手法(案)

	案1	案2
機器	iPhone Pro (Apple社) LIDARスキャナー ※出典：Apple公式HP	iPhone Pro (Apple社) + viDoc RTK (Pix4D社) ※出典：PIX4D公式HP
アプリ	3DScanner	Pix4D Catch
長所	✓ 準備・計測・撤収が迅速かつ簡易に行える	✓ 高い位置精度 ✓ データの保存が簡易
短所	✓ 取得後、データの後処理が必要	✓ 事前準備や撤収作業に時間がかかる ✓ 導入費・維持費が高額

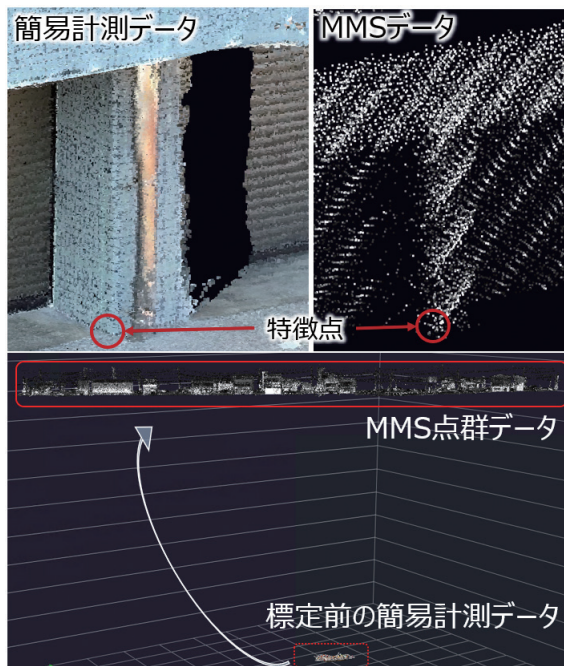


図1 上段：各種データの特徴点イメージ
下段：標定作業のイメージ

順や計測の難易度)、③高精度(絶対位置精度の許容誤差が30cm以内)の3つの性能が求められることが明らかになった。

ヒアリング結果をもとに、2つの簡易計測手法(案1と案2)を選定(表2)し、前述した3つの性能に対する現地検証を実施した。なお、案1と案2は、アプリケーションを起動し、スマートフォンに対象物が写るように歩きながら写真及びレーザデータを取得し、3次元データを作成する技術である。ただし、案1と案2では、取得したデータの位置精度が異なる。以下にそれぞれの特徴を示す。

案1の場合、無料のアプリケーションをインストールするだけで計測ができ、相対位置の誤差は±10%以内の精度⁵⁾で計測が可能である。ただし、絶対位置の座標はスマートフォンの衛星受信状況等に依存するとともに、水平座標は緯度経度であり、標高値は付かない(原点0m)。したがって、3次元道路台帳附図に取得した3次元データを可視化するためには、標定点や特徴点を用いて標定作業を行う必要がある(図1)。

案2の場合、カタログスペックは相対位置の誤差は地上解像度の1~3倍以内⁶⁾と報告されている。絶対位置精度は、有償アプリ(Pix4DCatch)及びネットワーク型RTK装置(以下、viDoc RTKと記す)をスマートフォンに外付け装着する必要があるが、水平方向、垂直方向の誤差が5cm以内で計測が可能と報告されている。

3. 簡易計測手法の検証及びその評価

選定した案1と案2について、2つの現地検証を実施した。1つ目は、3つの要求性能(迅速性、簡易性、高精度)を検証するため、1日の工事区間(延長10m)を対象に簡易計測を行った。

将来的に簡易計測による地下埋設管データの取得は施工業者にて実施することを想定している。そのため、2つ目は、施工業者が維持管理に活用できる品質のデータを取得できるかを検証するため、7日間の施工工事(延長150m)を対象に、施工業者にて簡易計測を行った。なお、この検証は事前に地下埋設管に特化した計測マニュアルを施工業者に提供し、現地で実演を交えながら計測時の注意点を説明した。

3.1 3つの要求性能に対する検証

3つの要求性能に対して、①迅速性は計測準備・計測・撤収作業の時間及びデータ処理時間、②簡易性はデータ取得の手順や計測の難易度、③高精度は検証点との精度について検証した。以下では、各性能に対する結果と考察を示す。

3.1.1 検証結果

迅速性:

現地を計測する場合、案1はスマートフォンに無料のアプリケーションをインストールするだけで現地作業が可能であるため、準備時間はかからない。計測後はスマートフォンを撤収させるだけで完了する。案1に対して、案2は計測準備（機材のセッティングやRTKの初期化作業など）に2~3分程度の時間を要する。また、計測後の撤収作業は、viDoc RTKを取り外すなどの作業が発生するため、案1と比較すると、トータルで+5分程度の時間を要する。なお、案1と案2で取得したデータは計測完了後にアプリケーション内で数十秒~1分以内に確認でき、データ処理時間に大幅な差異はなかった。

簡易性:

データの取得手順について、案1は計測準備から計測、データ確認、撤収作業がスマートフォン1台で完結できる。一方で、取得したデータの絶対精度が低くヒアリングで得られた位置の要求精度（30cm以内）を満たさないため、後処理が発生する。具体的には、標定点（本稿の場合は既存のMMS（地図情報レベル500））との標定作業を行う必要がある。案2の場合、作業手順で案1と異なるのは、計測開始前のviDoc RTK取り付けや終了時に取り外しする作業が発生すること、計測時にはGNSS衛星と接続ができていないか確認してから計測を行うこと、標定作業は必要がないという3点である。

また、計測時の難易度については、案1の場合、標定作業を実施するために特徴点（白線や雨水桝など）を含んだ範囲のデータを取得するといった注意すべき条件がある。そのため、地下埋設管データを連続した3次元データで管理するためには、上記の条件を満たしたデータを計測する必要があり、計測の難易度は高い。一方で、案2は専用のクラウドにデータをアップ

ロードすると自動的に絶対位置精度が付与された3次元データが作成されるため、標定作業は不要である。すなわち、計測時の難易度は案1に比べて低い。

高精度:

案1と案2で取得したデータに対して、相対位置と絶対位置の精度を検証した。水平方向の検証データは、特徴点となる白線、側溝、桝などに対して巻き尺にて距離を計測した。垂直成分は、道路面と掘削した地盤面との比高差を計測するとともに、端部に対してネットワーク型RTK測量機を用いて検証点を取得した。なお、案1は絶対位置精度を有しないデータであるため、既存のMMS点群データ（地図情報レベル500）を用いて標定作業を行ったデータに対して精度検証を実施した。

精度検証を行った結果を表3に示す。相対位置の精度は案1と案2ともに5cm以内であり、高精度な3次元データが取得できていた。一方で、絶対位置の精度については、案1の精度が水平成分:16.7cm、垂直成分:6.8cmと案2に対して低かった。

表3 精度検証表

	写真(例)	相対位置	絶対位置
水平成分		○案1: 5cm以内 ○案2: 5cm以内	△案1: 16.7cm ○案2: 4.1cm
垂直成分		○案1: 5cm以内 ○案2: 1cm以内	△案1: 6.8cm ○案2: 1.0cm

3.1.2 要求性能に対する簡易計測手法の考察

以上の検証結果より、現地作業における案2の簡易計測手法の方が最適であると考えられる。すなわち、計測準備に多少時間がかかるものの、現地作業時間が変わらず、後処理（標定作業）が不要で、さらに高精度な3次元点群

データを取得できる。一方で、案2は有償ソフトと追加機材の購入という点などの初期費用及びランニングコストがかかる。全体の工程を考えて費用対効果については今後の検討課題である。

3.2 施工業者が取得した地下埋設管データの品質検証

実際に施工業者にて取得したデータの品質が適切であるか検証した。なお、簡易計測手法は、現地作業において迅速かつデータの取得手順が少ない案1を採用した。

以下では、取得したデータに対する品質確認の結果及び品質向上に向けた取組について示す。

3.2.1 施工業者が取得した地下埋設管データの確認結果

施工業者は33ファイル分(約150m/7日間)の地下埋設管データを計測した。しかし、全ファイルのうち標定作業が可能であったデータは、2ファイル分(各10m未満の延長)であった。残りの31ファイルは、撮影画像のブレ、撮影範囲の矮小、作業員の映り込みがあり(図2)、現地



図2 撮影画像の不備(例)

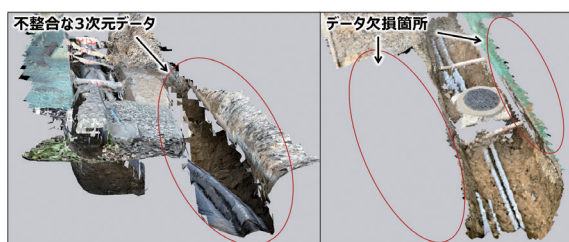


図3 左図：不整合な3次元データ
右図：特徴点が欠損した3次元データ

状況と不整合が生じている3次元データ、あるいは特徴点が不明瞭な3次元データであった(図3)。

この原因として、以下の3つが挙げられる。

原因①：3次元モデルが高精度に取得できない条件等の共有が不足していたこと(伝達不足)

原因②：限られた時間内で不慣れな作業を実施したこと(時間制限)

原因③：縁石の撤去や安全通路用マットや敷鉄板で道路面を覆うことにより、標定作業に必要な特徴点が欠如したこと(工事事情)

31ファイルの内、原因①が全体の約8割、原因②が5割、原因③が3割の割合を占めていた。

3.2.2 品質向上に向けた今後の取組

原因①と原因②については、施工業者の機材に対する理解や現地計測の習熟度の低さがあげられる。これに対しては、より分かりやすいマニュアルの更新やレクチャー時の追加説明等が有効と考えられる。例えば、現状のマニュアルは実施すべき手順が記載されているが、巻末に現地計測時のエラー集やイレギュラーな施工時の対応などがあると習熟度が向上すると考えられる。原因③に関しては、標定作業が不要となる案2を実施することで解決できる。

4. 地下埋設管データの活用方法の検討

地下埋設管データを3次元道路台帳附図に統合(図4)し、活用方法の検討を行った。3次元道路台帳附図は、道路面や歩道、側溝といった地盤面をMMSで取得した3次元点群データから面化处理し(以下、面データという)、それ以外は3次元点群データを地物や施設ごとにクラス分けをして表現した²⁾。地下埋設管のデータは案2で取得した3次元点群データを搭載した。地下埋設管データは絶対位置精度で計測



図4 地下埋設管データを統合した3次元道路台帳附図(左図:平面表示、右図:側面表示)

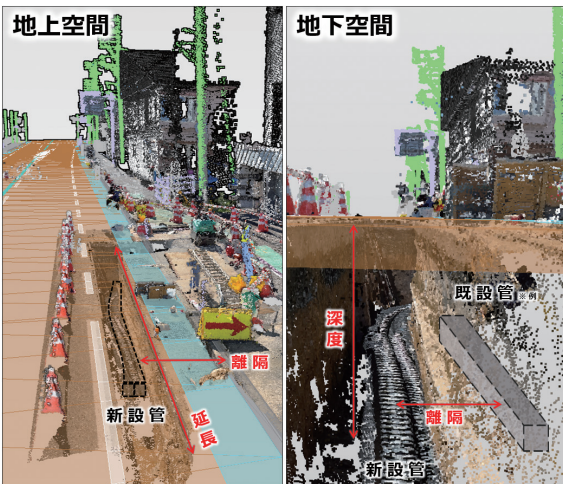


図5 3次元道路台帳附図の活用イメージ

しているため、3次元道路台帳附図の面データに5cm以内の精度で統合できており、地上空間と地下空間をシームレスに扱うことができるデータとなった。

本データは、地下埋設管の位置や深度を可視化するだけでなく、地上空間にある施設や占有物との位置関係も明瞭になる。そのため、新たな地下埋設管を敷設する場合に、設計や施工工程で既設管との離隔を計測することが可能となる(図5)。さらに維持管理者、設計業者、施工業者が本データ上に3次元設計図や施工イメージを重ねて協議をすることで、設計時や施工時における意思決定の効率化・高度化に寄与すると考えられる。将来的には3次元道路台帳附図を中心に地下埋設管データをはじめとしたさまざまな3次元データを統合したデジタルツインを構築することで、現地でしか確認でき

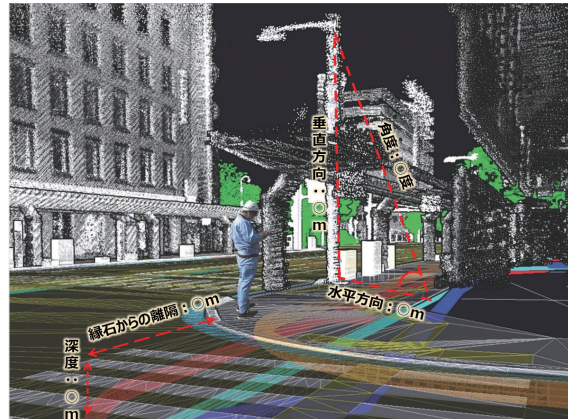


図6 デジタルツインのイメージ

ないような作業がデジタル空間で行えるようになり(図6)、インフラDXのさらなる効率化・高度化が期待できる。

5. 今後の検討課題

今後の検討課題として、以下の2つを挙げる。

①多様な環境下における実証実験

本論にて検証した場所は、周辺に衛星電波の受信に影響を及ぼす高い建築物や市街地、樹木が繁茂する山間地がなく、絶対精度の検証する上では障害が少ない環境下であった。今後は、実運用を想定した多様な地形条件、気象(雨天時など)、時間帯(夜間施工)などの検証を進め、最適な現地作業手法をマニュアルに反映することが必要となる。

②活用に向けた運用方法の検討

本論で作成した地下埋設管を含む3次元道路台帳附図について、維持管理者のニーズに

沿った活用方法の検討を進める必要がある。例えば、3次元道路台帳附図をプラットフォームとすることで、地下埋設管データだけでなく、日常点検資料や施設台帳データを紐づけ、一元管理することも可能である。また、設計・施工分野においては、既にMMSを用いたICT舗装繕工への活用⁷⁾が取り組まれている。すなわち、本論で作成した3次元道路台帳附図はICT技術に活用可能であると考えている。一例として、マシンコントロール/マシンガイダンス技術等に用いる3次元設計データとして活用が考えられる。今後は、維持管理・施工の他、設計分野にもヒアリングの幅を広げ、多様な分野に対応したプラットフォームの構築を検討していきたい。

6. 最後に

近年、ライフラインとなる地下埋設物を損傷する公衆災害が一定数発生している⁸⁾。その原因の一つには、道路管理者が把握する位置と異なる位置に地下埋設管が敷設されていることが挙げられる。地下空間を効率的かつ正確に計測するとともに、そのデータを3次元的に活用することでこのような災害の防止につながる。さらに、計画、設計、施工、点検、管理といった道路業務の中で本データを活用することはインフラDXの実現や新たなイノベーションの創出につながる可能性がある。

謝辞

本発表では、国土交通省北陸地方整備局のデータを用いて、実証させていただきました。この場をお借りして感謝申し上げます。

■参考文献

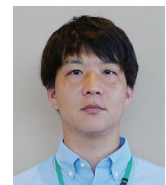
- 1) 国土交通省：第1回国土交通省インフラ分野のDX推進本部、2020 (https://www.mlit.go.jp/tec/tec_tk_000074.html)

- 2) 森、逢坂、高木、西村、藤木、政野：3次元道路台帳附図検討業務における仕様検討について、先端測量技術116号 (Vol.116, No.5, pp.92-98)、2022
- 3) 国土交通省：3次元計測技術を用いた出来形管理要領(案)、2022 (<https://www.mlit.go.jp/tec/constplan/content/001612930.pdf>)
- 4) 池田、寺崎、水谷、大屋：LiDAR機能を搭載したモバイル端末の活用による建設工事のDX化、第35回日本道路会議、2023
- 5) 木庭元晴：フィールド科学のためのアップルLiDAR測量 Part 2、關西大學文學論集 (2023, 73.3 : 209-244)、2023
- 6) Pix4D社HP：<https://support.pix4d.com/hc/en-us/articles/202558889-What-is-the-relative-and-absolute-accuracy-of-drone-mapping>
- 7) 国土交通省北陸地方整備局：第5回北陸地方整備局インフラDX推進本部会議、2023 (<https://www.hrr.mlit.go.jp/hokugi/dx/meeting/>)
- 8) 国土交通省北陸地方整備局：安全北陸234号、2023 (<https://www.hrr.mlit.go.jp/gijyutu/anzenhokuriku/pdf/234.pdf>)

■執筆者

森 義孝 (もり よしたか)

国際航業株式会社



(共著者) 所属は筆頭著者に同じ

逢坂 直樹 (おおさか なおき)

西村 大助 (にしむら だいすけ)

阿部 亮吾 (あべ りょうご)

佐藤 明朗 (さとう あきお)