

3Dレーザースキャナーを活用した 立竹木調査の迅速化・効率化について

藪田 明香吏

中部地方整備局 富士砂防事務所 用地課 (〒418-0004静岡県富士宮市三園平1100)

本研究は、3Dレーザースキャナーを用いた立竹木調査について、従前の調査との比較により、測定精度および業務効率化に対する効果を検証したものである。本調査では2種類のスキャナーに加え、ゲームエンジン等の各種機器を用いた。機器性能の向上と点群解析手法の高度化を踏まえ従来手法と比較検証を行った結果、毎木調査と同等水準の測定精度および作業時間の縮減効果が確認され、作業の迅速化・効率化に資することが明らかとなった。以上により、本研究は用地調査分野におけるDXの一事例として3Dレーザースキャナー活用の有効性を示すとともに、将来的な標準手法としての実務への適用の可能性を示唆するものである。

キーワード DX, 3Dレーザースキャナー, ゲームエンジン, 用地調査, 立竹木調査

1. はじめに

(1) 研究背景 富士砂防事務所の事業

富士山には八百八沢と呼ばれるほど多くの溪流が存在し、融雪期や豪雨期には土石流や雪代（スラッシュ雪崩）が発生してきた。富士砂防事務所の直轄砂防事業ではこれらの土石流対策のため、砂防施設を建設している。また、近年は活火山である富士山の噴火時を想定した計画が進められており、砂防施設の果たす役割が大きくなっている。（図-1）



図-1 砂沢上流遊砂地工（静岡県富士市大淵）

富士砂防事務所における富士山周辺の事業用地取得箇所の多くは山林である。用地調査において、山林での物件調査は用材林の調査が主となる。調査は、作業員が立木の胸高直径や樹種等を一本一本現地で測定する毎木調査（以下「従来手法」という）により行われている。調査の際には屋外での長時間作業が必要となり、熱中症の危険や急峻な土地で作業を行う可能性もあるため、実施にあたっては安全管理に細心の注意を払う必要がある。

(2) 研究目的

昨今の建設業界における課題の1つとして担い手不足が挙げられており、中部地方整備局では担い手不足解消に向けた施策の一つとして、インフラDXを推進している。「中部インフラDX行動計画」によると、用地分野においては既にリモート境界立会やオンライン用地交渉等が本運用されているほか、2023年度からは、3Dレーザースキャナー等を活用した立木調査業務の迅速化・効率化の検討が続けられている。

富士砂防事務所においても、2023年度に3Dレーザースキャナーを用いて用地調査を行った実績（以下「2023年度調査」という）があることから、本研究では、2023年度調査の成果を踏まえ、2025年度の用地調査（以下「2025年度調査」という）を対象とした。3Dレーザースキャナーの活用による労働生産性の向上について、従来手法および2023年度調査との比較を実施し、本運用に向けての検討を行った。

2. 調査概要および調査手法

本研究では、立竹木調査における従来手法、2023年度調査および2025年度調査の3点を対象として、比較・検証を行う。

(1) 調査対象地の概要

2025年度調査は、静岡県富士市の丘陵地にて行った。調査地にはスギとヒノキが混在している。

また、比較対象である2023年度調査では、静岡県富士宮市の丘陵地にて実施しており、調査地には2025年度調査と同様にスギとヒノキが混在している。

2023年度調査・2025年度調査ともに、調査範囲内で1区画の対象地を選定し、3Dレーザースキャナーの調査を試験的に実施した。なお、いずれの調査時においても、従来手法による毎木調査も実施している。

(2) 従来手法

従来の用地調査では熟練の作業員が目視で樹種判定を行い、輪尺にて胸高直径を計測する手法で毎木調査を実施している。その後、地権者毎に色の異なるテープを巻き、立木に番号を振り分けるナンバリングを行う。（図-2）これらの作業は、担当する作業員それぞれの経験を基に実施しており、経験の浅い作業員であれば樹種判定等の外業作業に多くの時間を要することになる。その後、外業作業にて作成した観測手簿を基に、図面や調査書作成等の内業作業を行う。（図-3）

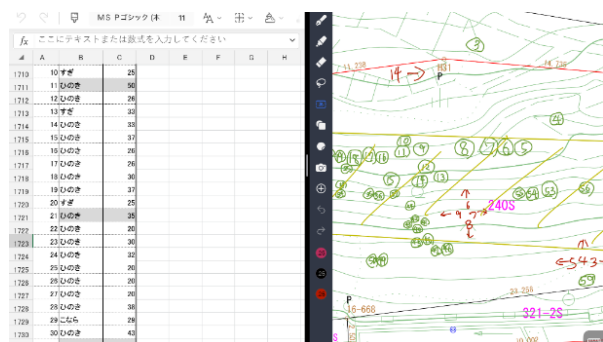


図-2 従来手法におけるナンバリング作業の様子

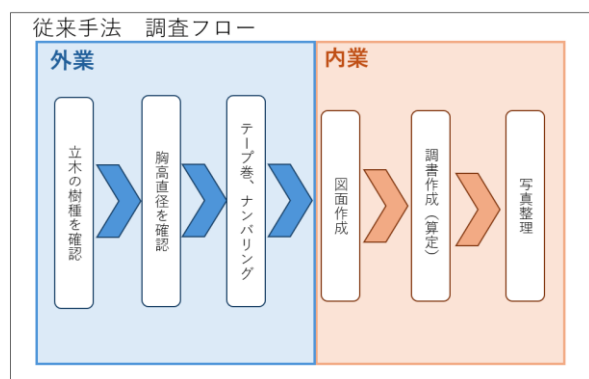


図-3 従来手法における調査フロー

(3) 2023年度調査の手法

2023年度に実施した用地調査では、背負型スキャナー（LiGrip H120）（以下「背負型スキャナー（2023）」という）を使用した。外業の作業手順として、まず、現地踏査を実施し地形を踏まえた歩行ルートを設定した。次に、背負型スキャナー（2023）を稼働させ、あらかじめ計画したルートに従って一定の速度で歩行し、対象範囲の点群データを取得した。樹種の判別については従来手法と同様に人力や目視で実施している。内業では、取得した点群データを基に立木の位置および胸高直径の計測を実施した。（図-4）

従来手法と比較した結果、2023年度調査の方法は、以下の3点において優れていた。

- ・胸高直径を容易に算出できる点
- ・計測した座標に基づき、立木配置図を正確に作成できる点
- ・従来手法では手簿等を携行しながらの調査となるが、本手法では機器を背負うため両手が自由に使える点

一方、以下の課題も明らかとなった。

- ・山林という衛星通信が不安定な環境により、計測者の位置にずれが生じ、立木位置や胸高直径に誤差が発生した点
- ・機器の精度不足により現地での再調査（点群データの再取得）が発生し、照査に多くの時間を要した点
- ・樹種判別は作業員が現地で行う必要がある点

背負型スキャナー（2023）を活用し、点群取得後にフィルタリングを行うことで、立木の直径計測および高精度な立木配置図の作成を期待したが、調査精度に関して十分結果が得られず、実際には正確なデータを取得するため再調査を行う必要があった。

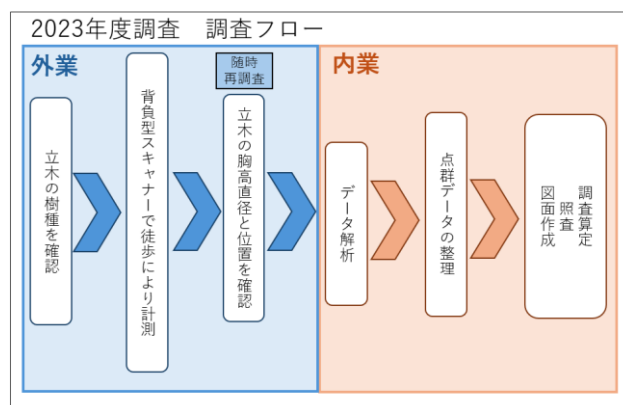


図-4 2023年度における調査フロー

(4) 2025 年度調査の手法

2025年度調査では、背負型スキャナー（LA03-1）（以下「背負型スキャナー（2025）」という）、ハンドヘルド型スキャナー（LiGrip 02Lite）（以下「ハンドヘルド型スキャナー」という）およびデータ解析のためのゲームエンジン「Unity」の3種類の機器を使用した。

（図-5）

まず対象となる立木の樹種をスギ類、ヒノキ類、マツ類および天然生林の4種類に分類し樹種に応じてテープを巻き付ける。次に歩行ルートを設定し、「背負型スキャナー（2025）」および「ハンドヘルド型スキャナー」を用いて、歩行により対象範囲の3Dデータを取得した。この際「背負型スキャナー（2025）」により点群データ、「ハンドヘルド型スキャナー」により色情報を取得している。色情報を取得することで、内業の作業時にテープの色から樹種の判別が可能となり、現地で記録を取る必要がなくなる。これらの点群データをゲームエンジンである「Unity」に取り込み、地形等の現地情報を再現した計測可能な仮想空間を作成している。（図-6）

この仮想空間内において樹種の分類、立木ごとのナンバリングおよび胸高直径の計測を行った。（図-7）なお、ナンバリングはデータ解析時に自動的に付与される。

立木配置図においては、解析データにより自動生成された位置に点を配置することで作成した。また、調書の作成では、自動計測されたデータをテキスト化して立木の補償額の算定等が可能な独自のシステムに貼り付けることにより、従来手法で実施していた手入力作業や照査作業の削減が可能となった。

2025年度使用機器

機器・ソフトウェア	特徴・使用目的
 LA03-1 背負型LiDAR	歩行によって取得した点群データをもとにポリゴンを生成し、GIS上で面積を計測・提出可能な形式で解析・出力が可能 樹木の樹高、胸高直径等が自動検出可能 目的：樹木位置、胸高直径の自動計測データ取得に使用
 LiGrip 02 Lite ハンドヘルド型LiDAR	点群にリアルなカラー情報を付与し、フォトリアルな3D空間を構築可能 目的：リアルな仮想空間を構築するためのデータ取得に使用
 Unity ゲームエンジン	目的：上記2つの機器から得たデータをもとに計測可能な仮想空間を作成

図-5 2025 年度 使用機器一覧

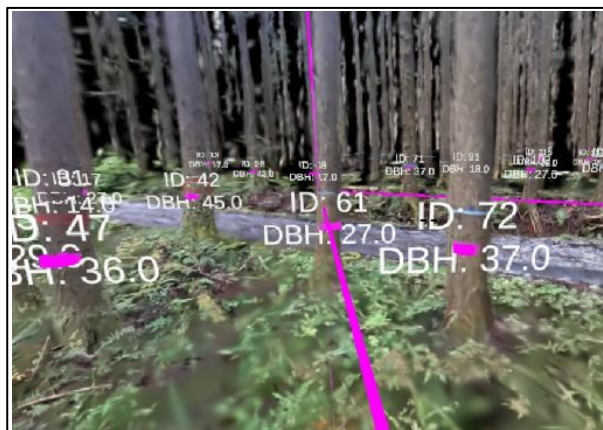


図-6 Unityにて作成した仮想空間

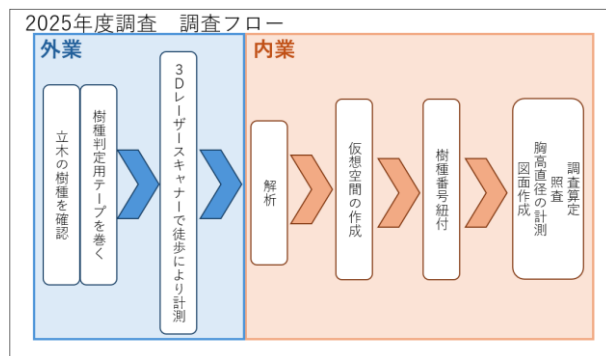


図-7 2025 年度における調査フロー

3. 検証結果

(1) 使用機器の比較

2023年度調査と比較して、使用機器の面で大きく変化した点は、機器の軽量化および小型化である。2023年度調査において使用した背負型スキャナー（2023）は重量が約6kgと大型であり、枝に接触しないよう注意を払いながら作業を行う必要があった。これに対し、2025年度調査に使用した背負型スキャナー（2025）（2.2kg）およびハンドヘルド型スキャナー（1.3kg）は、小型化・軽量化が図られており、枝との接触リスクの低減および作業時における身体的負担の軽減につながった。（図-8）

また、2023年度調査では1種類のスキャナーを使用した。2025年度調査においては点群データ取得可能なスキャナーに色情報を取得可能なスキャナーを追加して、作業を実施した。さらに、ゲームエンジンの使用により、現地状況を再現した着色付きの仮想空間の構築が可能となった。



図-8 左：2023 年度調査時の使用機器

右：2025 年度調査時の使用機器

(2) 測定精度の比較

2023年度調査と2025年度調査の胸高直径を精度確認のため実施をした従来手法と比較すると、2025年度調査は従来手法と同程度の精度を確保できた。

2023年度調査においては胸高直径や立木位置のずれが発生し、精度について不十分な点が多数見受けられた。

が、2025年度調査では精度不足が解消されている。また、立木の配置位置について、2023年度調査では4 mもの誤差が生じることもあったが、2025年度調査においては現地とのずれがほとんど見られず、再調査の作業は発生しなかった。

(3) 作業時間の比較

表-1は立竹木500本あたりの調査をした際にそれぞれの作業時間をまとめたものである。2025年度調査では特に外業において作業時間の大幅な短縮が確認された。従来手法と比較すると約63%もの削減となり、2023年度調査との比較においては外業の作業時間が約36%削減された。ただし、表-1で示した2023年度調査と2025年度調査の時間については、一度の調査で正しく胸高直径が測定された場合の作業時間としている。2025年度調査は再調査は発生していないが、対する2023年度調査では胸高直径や立木位置の誤差が大きく、再調査の実施により、多くの時間を要した。再調査に要した時間を考慮すると、機器の精度が向上した2025年度調査においては外業時間が大幅に短縮されたこととなる。

また、従来調査では最低でも3人1班で調査を行うことが必要だったのに対し、3Dデータの計測においては2人1班と少人数での作業が可能となった。

内業において2023年度に行った調査では、初めてで慣れない作業が発生し、作業時間の短縮には繋がらなかった。また、2025年度調査においても作業時間の大幅な削減に至らなかったが、2023年度と作業別で比較すると照査や図面、調査算定書の作成においては作業時間の短縮が確認できる。新たに仮想空間の作成や樹種番号紐づけ作業（樹木番号は計測機器がデータ解析時に自動で割り振るため、割り振られた樹木の樹種を仮想空間内でテープ色から樹種判定を行う作業）を行ったため、作業内容の追加による作業時間の増加が見受けられるが、内業全体の時間は横ばいである。

表-1 500本あたりの作業時間比較表

O4726㎡(約500本)の用材林調査別作業時間比較表				
	外業：現場調査等		内業：図面調査作成等	
	作業内容	時間	作業内容	時間
従来調査	樹種判定・胸高計測…1人		図面作成…1人	2.0h×1人
	テープ巻・ナンバリング…1人	6.0h×3人	調査算定書作成…1人	1.5h×1人
	計測手簿…1人		照査…1人	4.0h×1人
	写真撮影…2人	0.5h×2人	写真台帳等整理…1人	1.0h×1人
	計	19.0h	計	8.5h
D×調査	3Dデータ計測…1人	1.0h×1人	点群データ整理…1人	1.0h×1人
	樹種判定・胸高計測(確認)…2人	3.0h×2人	図面作成…1人	1.0h×1人
	配置確認…1人	3.0h×1人	調査算定書作成…1人	1.0h×1人
	写真撮影…2人	0.5h×2人	照査…1人	4.0h×1人
2023年度	計	11.0h	写真台帳等整理…1人	1.0h×1人
	(再調査の計測時間は作業時間に含まない)		計	8.0h
D×調査	樹種判定用テープ巻…2人	2.5h×2	仮想空間の作成…1人	3.0h×1人
	3Dデータ計測…2人	1.0h×2	樹種番号紐付け作業…1人	2.0h×1人
	計	7.0h	図面作成…1人	0.5h×1人
			調査算定書作成…1人	0.5h×1人
2025年度			照査…1人	2.0h×1人
			計	8.0h

(4) 総合評価

以上の結果より3Dレーザースキャナーを用いた用地

調査を行うことで次のa～eの利点があると推測できる。

a) ヒューマンエラーの減少

計測データを解析することにより、立木の情報を手入力する必要がなくなった。

b) 危険個所での作業における事故防止

3Dレーザースキャナーを用いることにより、崖地等の危険個所に近づかなくても安全な計測が可能となる。

c) 外業における作業時間の減少

外業の調査手順が少なくなり、作業時間が減少した。これにより、次の効果が期待できる。

- ・野生生物（クマ・イノシシ・ハチ等）との接触機会の減少

- ・熱中症対策効果

- ・作業効率化

d) 仮想空間における視覚的な分かりやすさ

仮想空間は調査当時の現地情報を元に再現している。現地の地形が視覚的に伝わりやすく、土地所有者に対する説明や事務所内での打合せ等に使用することも可能である。（図-6）

e) 買収範囲の変更に対応可能

立木毎の配置が座標データとして記録されるため、買収範囲の変更時に取得しない立木の排除が容易になる。

（図-9）

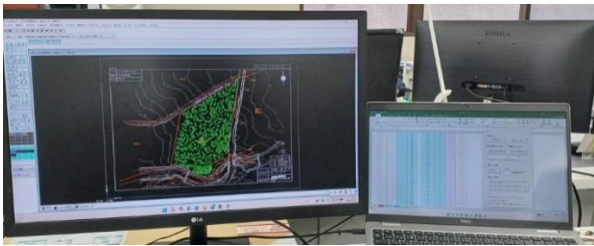


図-9 立竹木配置図

4. 考察

以上の検証結果より3Dレーザースキャナーを用いた用地調査は試験的な取り組みとしてだけでなく、実用化が可能と考え、（1）精度向上要因の分析（2）熟練依存性の低減効果（3）実務適用上の課題の3点について考察を行った。

(1) 精度向上要因の分析

2023年度調査に比べ、2025年度調査は大幅に精度が向上している。この精度向上は、使用した機器の性能向上が大きな要因となっている。

2025年度調査に使用した機器は、カメラとIMU（慣性計測ユニット）の性能が向上している。これにより、計測者の位置の把握がより正確になり、2023年度調査で課題となっていた点群データにおけるゆがみ等が少なくなったため、誤差が大幅に減少したと考えられる。

(2) 熟練依存性の低減効果

従来手法においては、作業員の経験に依拠して計測が行われていたが、3Dレーザースキャナー等の機器を用いることにより、経験の少ない作業員であっても正確な計測を行うことが可能となる。

(3) 実務適用上の課題

過年度調査と比較する中で、最も重要な精度向上については改善ができたが、効率化を図る上で未だ改善点も存在する。

a) 樹種判定の自動化

2023年度調査に引き続き、2025年度調査においても樹種判定は作業員が目視で判断をしているが、この作業の自動化が外業の完全な機械化を目指すにあたって大きな壁となる。例えばAI画像認識による樹種判定システムの開発・導入を行うことにより樹種判定までを自動化することができれば、外業時間の大幅な短縮が期待できる。

b) 胸高直径における誤差について

現時点の調査要領において、胸高直径を機械で測定することが想定されていないため、誤差の許容範囲に規定がないことが課題となっている。限りなく高い精度の機器を使用しても現時点では必ず誤差が発生するため、技術の導入にあたっては誤差の許容範囲の設定が必要となると考える。

また、機器導入にあたってどの程度の精度が必要かをあらかじめ請負業者に対し提示することで、機器の選定の指標とし、精度の担保を可能にすることができると考える。

c) 機器導入の負担について

本手法を導入するにあたり機器のレンタルや購入が必要となるが、使用機器は高価なものが多く、受注業者の金銭的な負担が大きくなる。しかし、本手法が標準手法として確立し、多くの企業が導入することにより、安価で機能性に優れた機器を使用することが可能となると考えられる。

以上の課題を改善することで、実用化に向けた実施要領の作成が可能となり、大きな進展となると考える。

(4) 用地調査分野におけるDXの意義

今回の調査結果から用地調査業務について3Dレーザースキャナーを用いることにより、現場での作業が減少

する結果となった。また、それにより多くのメリットがあることが判明した。

用地調査業務においてDXを積極的に取り入れていくことで外業作業を減少させ、現場の作業員の負担軽減・人手不足の解消に資することが期待できる。

5. まとめ

(1) 本研究の成果

本研究では、3Dレーザースキャナーを用いた用地調査が有効な手法であり、かつ標準手法となり得るかという観点から検証を行った。検証の結果、過年度と比較して使用機器の性能向上により、精度の向上が確認され、従来手法と比較すると、外業における作業員の生産性および安全性の向上が認められた。

また、これを導入することで業界全体の生産性向上に寄与するものと考えられる。しかしながら、本手法をそのまま標準手法として適用するためには、機械での計測時に発生する誤差に許容範囲の設定が必要な点が課題として明らかとなった。さらに、現時点において現地作業の中で大きな割合を占めているのは樹種判定である。現段階では、スギやヒノキの判別を画像のみから目視で行うことは困難であるが、樹種判定をAI画像認識により実施可能となれば、外業時間のさらなる短縮が見込まれるとともに、安全性の向上にも繋がると考えられる。

(2) 今後の展望

最後に、今後3Dレーザースキャナーを用いた立竹木調査が標準手法として確立されることで、業界全体における作業効率の向上が期待される。また、熟練度への依存が解消され、担い手不足の解消にも寄与すると考えられる。現時点では試行段階にあるものの、今後の実用化に向けてさらなる進展が期待される。

謝辞：本稿の執筆にあたり、ご協力をいただきました株式会社フジヤマの皆様、中部地方整備局用地部の皆様、富士砂防事務所職員の皆様に深く感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 国土交通省中部地方整備局：中部インフラDX行動計画（2025.3）