立竹木調査における３Ｄレーザースキャナーを活用した迅速化・効率化について

廣瀬　弘典

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）

これまでの立竹木調査は、現地で直接計測し図面等の作成を行っていた。今般、中部インフラＤＸ行動計画における取り組みとして、３Ｄレーザースキャナーを活用した立竹木調査を実施した。富士砂防事務所では、同時期に発注した２つの用地調査等業務にて３Ｄレーザースキャナーによる立竹木調査を実施した。それぞれの業務で違う機種にて立竹木調査が行われ、据置型レーザースキャナーとハンドヘルド型レーザースキャナーの２種類の機器から検証結果が得られたため、業務の迅速化・効率化について検証結果を報告する。

キーワード： インフラDX、立竹木調査、３Ｄレーザースキャナー、迅速化・効率化

１．事業概要

富士砂防事務所における直轄砂防事業は、降雨に起因する土砂災害対策（降雨対策）に加えて、火山噴火に起因する土砂災害対策（噴火対策）を行っている。砂防施設は山間部に計画されるものが多く、用地取得対象地は主に山林であり、補償対象物件の多くがスギ等の用材林である。（**図-1**）

今回の立竹木調査を実施した２つの業務についても、山間部に計画した砂防施設に伴う用地調査であり、現在調査が完了して用地取得の準備中である。

図-1　砂防事業現場写真

２．用地調査等業務とは

用地調査等業務とは、事業に必要な土地と土地に存する建物、工作物、立竹木等の物件を詳細に調査し、補償額の算定を行う業務であり、適正かつ迅速な補償額の算定が求められる。

立竹木調査は、この用地調査等業務の中の一つであり、専門技術者を含めた２～３名の班をつくり、現地で輪尺等を使用し、一本一本計測する毎木調査を行うのが一般的である。（以下「従来手法」と称する）（**図-2**）従来手法は、調査規模や地形、立木本数、下草の状況などにもよるが、手間と時間を要する業務となっている。また、調査対象地が斜面や崖地であることが多く、悪天候や猛暑の際も屋外での人的作業を要するため、作業員の安全管理についても細心の注意が必要である。

図-2　左写真：輪尺、右写真：調査時の様子

３．目的

中部地方整備局では、2022年4月に「中部インフラＤ

X行動計画」を策定し、2024年7月に「中部インフラＤX行動計画2024」をとりまとめ、建設業の労働生産性向上を図っているところである。用地事務に関しては、「リモート境界確認の実施」「オンライン用地交渉」「用地調査におけるＴＬＳ（地上型レーザースキャナー）等を活用した迅速化・効率化」の三点を挙げ、取り組んでいる。

今回の取り組みは「用地調査におけるＴＬＳ等を活用した迅速化・効率化」として、立竹木調査に３Ｄレーザースキャナーを活用することにより、従来手法による調査と比較し迅速化・効率化を図るために必要な内容を把握することを目的に行ったものである。当事務所では同時期かつ近隣地区での２つの用地調査等業務にてそれぞれ違う機種の３Ｄレーザースキャナーを使用した立竹木調査を実施するとともに、同時に従来手法による調査を実施したうえで比較検証を行うこととした。

４．使用機器について

今回の検証に際し、以下の２つの機器を使用した。

(1)据置型スキャナー

今回の調査では、据置型レーザースキャナーである、OWL（Optical Woods Ledger）（以下「据置型スキャナー」と称する）を使用した。地上に固定した位置から点群を取得する機器の一つであり、赤外線レーザーを使用した森林計測装置である。レーザースキャナーにより空間情報を３次元データとして取得し、得られたデータを専用ソフトで自動解析し、樹高、胸高直径、位置などの情報をデータ化することができる。（**図-3**）

図-3　据置型スキャナー外観

(2)ハンドヘルド型スキャナー

今回の調査では、ハンドヘルド型レーザースキャナーである、Ligrip　H120（以下「ハンドヘルド型スキャナー」と称する）を使用した。レーザー光線により計測する技術であるLiDAR（Light Detecthion and Ranging）技術及びセンサーが認識する範囲における周辺環境の地図作成と自己位置の推定を同時に行う技術であるSLAM（Simultaneous Localization and Mapping）技術により対象物の周りを歩くだけで点群を取得することができる。（**図-4**）

図-4　ハンドヘルド型スキャナーの外観

2つの機器の性能について比較表にまとめた。（**表-1**）

表-1　使用機器の性能比較表

	据置型スキャナー	ハンドヘルド型スキャナー
計測点/秒	43,200点	320,000点
レーザー到達距離	30m	120m
レーザー走査範囲	上方270°	水平280°
		垂直360°
推奨計測地点間隔	10～15m	なし
本体寸法	66×290×148mm	204×130×385mm
重量	3.70kg	1.83kg
連続稼働時間	5～6時間	4時間

機器の特徴について簡単に説明をする。据置型スキャナーは、1回45秒静止して計測を行い、計測が終わったらその地点から約10m距離をとり、計測を行う。この計測を調査範囲全体にレーザーが当たるように移動し計測を繰り返すことでデータを収集することができる。レーザーの走査範囲に入らないようにして、身体で機器を固定し計測を行う。

ハンドヘルド型スキャナーは、レーザー到達距離が120mあり、崖地などで人が入れない箇所などを対岸から計測することも検討可能である。通常は、機器を手で持ち時速約2kmで歩行しながら連続して計測を行う。今回の調査では、バックパックキットを装着することで、傾斜や崖地等の危険地帯においても両手を使える状態での調査が可能となる。（**図-5**）

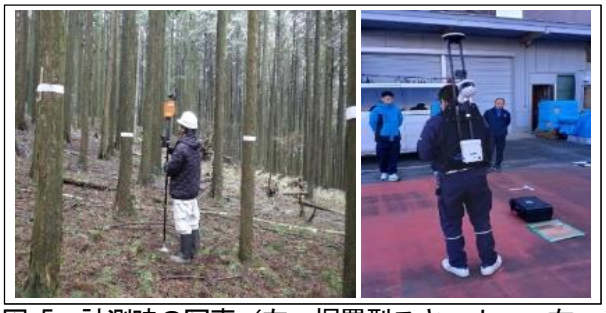

図-5　計測時の写真（左：据置型スキャナー、右：ハンドヘルド型スキャナー）

５．調査方法

据置型スキャナー、ハンドヘルド型スキャナーそれぞれの調査方法について説明する。

(1)据置型スキャナーの調査方法について

a)調査地点の選定

下層植生や低層木が多い場合などレーザーを遮蔽する要素が多い林内においては良好な結果が得られない可能性があるが、据置型スキャナーの特性を試す目的もあることから、①～③の条件を含む３地点を抜粋し計測を行った。（表-2）

①下草がなく見通しが良い箇所
②笹などの下草が繁茂し見通しが悪い箇所
③作業員が手観測するのが困難な急傾斜地

表-2　調査地点の状況について

調査地点	調査方法	林内の状況	面積(㎡)
1	従来手法	①，②、③が混在	2,273.13
	据置型スキャナー		
2	従来手法	①、③が混在	1,042.59
	据置型スキャナー		
3	従来手法	①のみ	2,542.17
	据置型スキャナー		

b)計測前準備

附属のデータ解析ソフト上で樹種の判別を自動で行うため、反射材を立木に巻いた状態で計測を行った。
従来手法と同様に、1本ずつ双眼鏡を用いて葉の形状から樹種を特定し、調査地点内において相対的に多い樹種は何も巻かず、少ない樹種は1本巻、枯木は2本巻とし、3パターンの判別を行えるようにした。

また、基準点や幅杭を点群データに認識させるため、反射材を巻いた支柱を設置する。この作業をすることで解析ソフト上で反射材を巻いた支柱が表示され点群データの位置を図面と一致させることが可能となり、正確な立木の位置を把握することができる。（図-6）

図-6　事前準備状況（左：樹種ごとにテープを巻く　右：反射材の支柱）

c)計測

レーザーの照射距離は水平で30mであるが、スキャンデータ同士を結合させるため共通認識する立木が５～６本必要であることから10m毎のスキャンを推奨している。そのため各調査地点内において、およそ10m間隔でのスキャンを行った。（図-7）

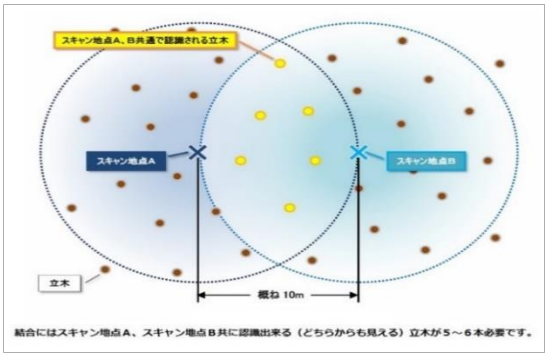

図-7　据置型スキャナーの取扱説明書（抜粋）

d)解析

専用ソフトを使用し解析を行う。専用ソフトにより取得したデータをPCに読み込めば、瞬時にPCに映し出すことが可能である。

(2)ハンドヘルド型スキャナーの調査方法

a)調査地点の選定

事前に現地踏査を行い、従来手法による調査に適した地点とハンドヘルド型スキャナーによる調査に適した地点を選定し計測を行った。

調査地点の状況について前項で述べた①～③の条件をもとに下記の表にまとめた。（表-3）

表-3　調査地点の状況について

調査地点	調査方法	林内の状況	面積(㎡)
1	従来手法	②が多く、一部③	4,816.37
2	ハンドヘルド型スキャナー	①が多く、一部③	1,253.55

b) 計測前準備

歩行ルートに従い、調査範囲内外の座標を持った測量点に対空標識を設置する。解析時に対空標識と測量点を重ね合わせることで立木の位置が正確なものとなる。（図-8）

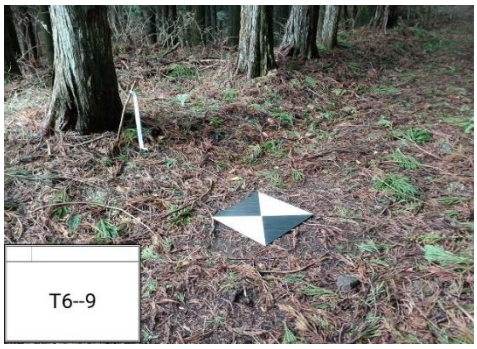

図-8　座標を持った測量点に設置した対空標識

c) 計測

機器を稼働させ、あらかじめ計画したルートに従い一定の速度を保って歩行による測量を行う。地形の変化や立木の密度に応じて、ルートを臨機応変に修正する。（図-9）

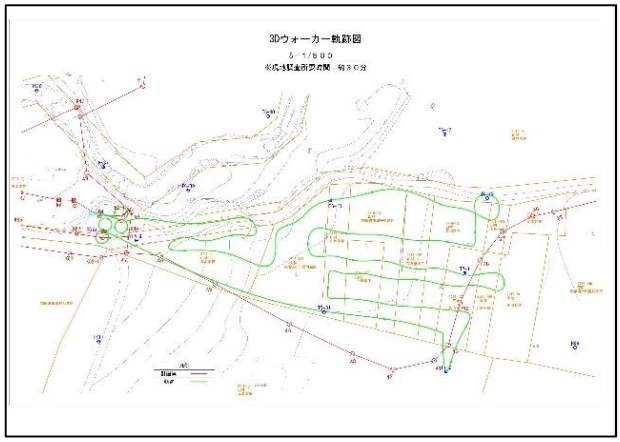

図-9　ハンドヘルド型スキャナーのルート図

d) 解析

４つの解析ソフトを使用して解析を行う。まず、点群解析を行う。収集した複数の点群データを対空標識を基準に繋ぎ合わせ、不要な点群を除去するなど、PCによる解析作業を行う。次に、立木の計測点群による立木の胸高直径を1本ずつ計測するのに、解析に使用したソフトでは時間が掛かるため、今回は様々なソフトを用いて自動的に計測を行う。最後に点群データによる位置情報を基に立木配置図を作成する。（図-10）

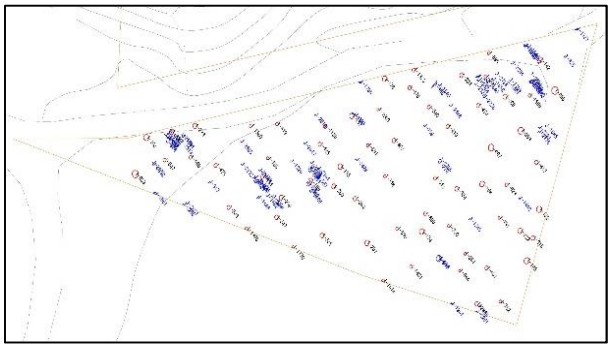

図-10　ハンドヘルド型スキャナーのデータによる仮立竹木配置図

６．３Ｄレーザースキャナーにおける調査の留意点

３Ｄレーザースキャナーを活用した立木調査を実施したところ、作業において以下の留意点が必要であることが判明した。

(1) 外業

a) レーザーに死角がある（据置型スキャナー、ハンドヘルド型スキャナー）

立木が密に植生している箇所については、2つの機器は周囲の立木等でレーザーが遮られ対象立木に届かないことがある。（図-11）

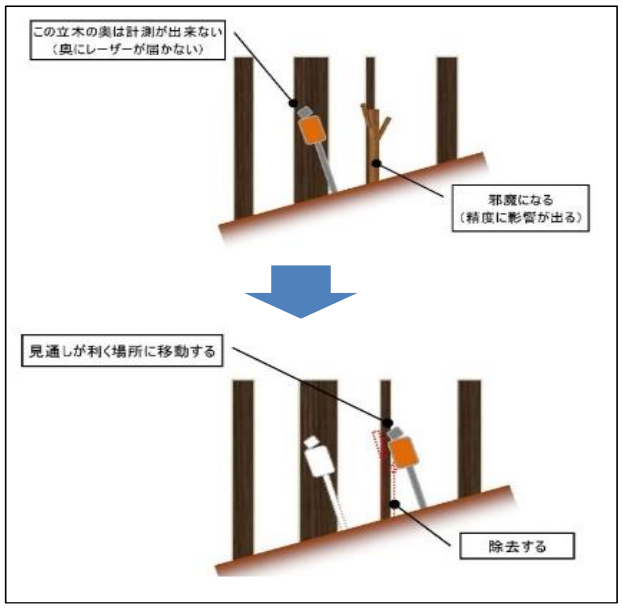

図-11　レーザーの死角について

据置型スキャナーは、機器の下部90度にレーザー照射されないデッドゾーンがあるため、機器の特性上やむを得ず死角となり検出できない場合がある。（図-12）

ハンドヘルド型スキャナーは、動きながら点群データを収集するため、計測する際に角度を調整し計測を行うことでデッドゾーンによる未検出は起こりにくい。

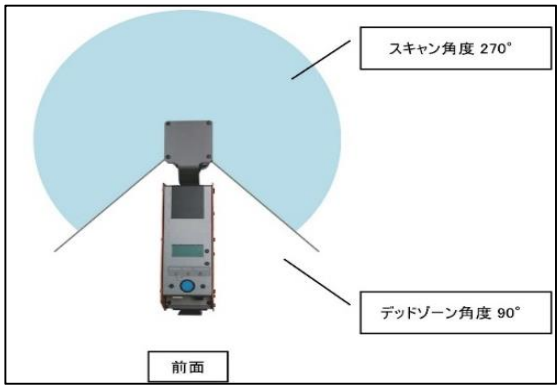

図-12　据置型スキャナー取扱説明書（抜粋）

b) 立木がダブルカウントされる（据置型スキャナー）

据置型スキャナーでは樹種・直径の属性がある立木として検出されたものの、現地には存在しない立木が8本あった。要因としては、スキャンデータ同士がうまく結合できず、1本の木として認識すべきものを複数本として検出してしまうことが考えられる。

c) 天然生林が検出されない（据置型スキャナー、ハンドヘルド型スキャナー）

据置型スキャナー、ハンドヘルド型スキャナーともに天然生林といわれる曲がりが強く枝分かれしている立木は検出できなかった。（図-13）

図-13　曲がりが強く枝分かれしている天然生林

(2) 内業

a) データ解析時間を要する（据置型スキャナー、ハンドヘルド型スキャナー）

据置型スキャナーとハンドヘルド型スキャナーともにデータ解析について、時間を要する結果となった。膨大な点群データであるため、ハイスペックPCを使用する必要があった。また、取得した点群データを集計するソフトも様々な種類があり、データを抽出するにあたり適したソフトを使用する必要がある。

7．検証結果

(1) 据置型スキャナー

表-4に計測に要した外業時間についてまとめた。外業時間には樹種判別を行えるように反射材を巻く作業など計測前準備の時間が含まれている。

表-4　据置型スキャナーの外業時間一覧表

	従来方式		据置型スキャナー	
調査地点	外業時間（日数）	作業人数	外業時間	作業人数
1	5時間40分（2日）	5名	4時間10分(2日)	4名
2	4時間20分（2日）	4名	3時間10分(3日)	4名
3	9時間10分（2日）	8名	4時間50分(2日)	4名

計測は調査地点1から2、3と順に実施した。従来手法と比較して据置型スキャナーは、いずれも外業時間を短縮できる結果となった。

また、据置型スキャナーで計測した立木の直径の精度は、地点3が最も良い結果となり、地形変化や下層植生など含めた林内環境の良さが結果に対応するかたちとなった。初めて使用する機材であり、取扱説明書を参考に使用方法や調査手順を確認していたため、地点1では取扱について不慣れであったことが精度が悪いことの一因となっている可能性もある。機器の使用方法については環境に応じて注意が必要である。

しかし、時間が短縮される一方で、現地にはない立木が検出されるなどデータの精度が低いという課題がでた。今回は従来手法と比較検証のため実施しており、現地とデータを照合したため発見できたが、調査を据置型スキャナーの計測のみとした場合、３Ｄ画像や360度カメラ映像から発見することは困難であると考えられる。

また、様々な樹種が多数混在する調査箇所については、事前に樹種判断のため反射材を樹種ごと分けて巻く作業を行うのは手間がかかり効率が良くないことがわかった。

(2) ハンドヘルド型スキャナー

調査方法により調査面積が違うため、比較できるよう調査面積を2,000㎡に調整し比較検証を行う。（表-5）

表-5　面積2000㎡あたりの外業時間一覧表

従来方式		ハンドヘルド型スキャナー	
外業時間	作業人数	外業時間 （うちハンドヘルド型スキャナーによる調査時間）	作業人数
15時間	3名	29時間（1.5時間）	2名

従来手法と比較してハンドヘルド型スキャナーによる調査は、少人数で行えるが、外業時間は増大する結果となった。しかし、外業時間のうちハンドヘルド型スキャ

ナーによる立木調査時間は、1.5時間であり、樹種判定やナンバリングを行うため、再度現地での外業に時間を要した結果となった。ハンドヘルド型スキャナーによる立竹木調査のみとなれば、大幅な時間短縮となることが考えられる。

内業時間について、従来手法、据置型スキャナー、ハンドヘルド型スキャナーについて内業時間を調査面積2,000㎡に調整し平均時間を比較表にまとめた。（**表-6**）

表-6　内業時間一覧表

従来手法		据置型スキャナー		ハンドヘルド型スキャナー	
内業時間	作業人数	内業時間	作業人数	内業時間	作業人数
2時間	2名	10時間	1名	23時間	1名

従来手法と比較し、３Ｄレーザースキャナーによる立木調査は、取得した点群データやカメラ映像と言った膨大なデータを解析するため、従来手法より内業時間は増大する結果となった。

その一方で、作業人数は省人化が可能であるという結果となった。さらに、PCによる解析を実施している時間は人が張り付いている必要がないため、他業務の作業が可能となり、結果として生産性向上につながることが考えられる。

８．調査におけるメリット・デメリット

これまでの考察と今回調査を行った業者への聞き取りから、３Ｄレーザースキャナーによる立竹木調査のメリットとデメリットについて表にまとめた。（**表-7**）

表-7　メリット・デメリット

メリット	【共通】 ・調査が短時間で可能である ・調査が少人数で可能である ・立木配置図が正確に作成できる ・専門的な知識が必要なく作業ができる 【据置型スキャナー】 ・360度カメラによりスキャン地点の写真撮影が可能 【ハンドヘルド型スキャナー】 ・危険箇所に行かなくても測定が可能 ・スキャン中360度カメラで動画撮影が可能
デメリット	【共通】 ・樹種の判別ができないため、目視調査が必要 ・下草が繁茂し見通しが悪い場所では検出されない ・曲がったり枝分かれしている立木が検出できないことがある ・機械が高価である 【据置型スキャナー】 ・レーザスキャンされないデッドスペースがある 【ハンドヘルド型スキャナー】 ・データ量が大きいため、ハイスペックのPCが必要

メリットとして、立木位置図を正確に作成できることが挙げられる。また、３Ｄレーザースキャナーによる調査では専門的知識を必要としないいため、経験の浅い若手技術者を起用することが可能であることもメリットと感じたようだ。

デメリットとして、３Ｄレーザースキャナーでは行えない樹種の判別や精度の確認のため、再度同一箇所を調査する必要性があることや機械的要因による精度の低下、調査立木の状況による検出の差が出ることがあげられた。また、３Ｄレーザースキャナーの機器については高価であると感じていることがわかった。

９．まとめ

今回の調査結果により、２つの機器の特性や精度、計測に要する時間について差が生じることがわかった。

今回調査を行った受注業者の２社は、３Ｄレーザースキャナーによる立竹木調査の経験が少なかったこともあり、作業工程や機器の操作、解析データの作成等不慣れな部分は考慮しても、まだ３Ｄレーザースキャナーによる立竹木調査を本格運用するのは難しいと考えられる。

今後運用に向けては、技術革新が重要と考えられる。３Ｄレーザースキャナーの技術が向上することで、未検出等の事象が減らすことが可能である。また、ＡＩ技術により３Ｄレーザースキャナーに搭載したカメラ映像・写真での樹種判定が可能となることで作業時間の短縮につながるだろう。

今回調査に協力いただいた業者からは、補償コンサルティング業界における担い手不足が深刻であると話を伺った。そのため、３Ｄレーザースキャナーによる立木調査は高度な専門性が必要なく、危険を伴う現場作業が軽減されるため、若手技術者や女性技術者に活躍の場を提供することができ、業界における担い手確保に大きな効果をもたらすことを期待したい。

最後に、今回の検証結果から「従来手法と３Ｄレーザースキャナーによる調査をミックスした調査」を提案する。今回の検証結果から、３Ｄレーザースキャナーによる調査に適した地形の条件や環境、測定方法が明らかになった。例えば、下草がなく整備されている立竹木が植生している箇所や崖地などの危険箇所においては３Ｄレーザースキャナーによる調査を行うなどが考えられる。精度が低いから活用をやめるのではなく、発注者と受注者が３Ｄレーザースキャナーによる調査を積極的に活用を続けていくことで、作業に慣れ、業務の迅速化、効率化につながると考える。今後も積極的に３Ｄレーザースキャナーを活用した調査を実施されることが重要である。