

3. スマートフォン等による三次元データの活用

3-1. 三次元データとは？

スマートフォン等のカメラ機能を活用し、専用のアプリケーションによって三次元データを取得します。この三次元データとは、従来用いられてきた二次元データに奥行きを持ったデータで、大きくは「メッシュデータ」と「点群データ」に分類されます。

【解説】

これまでの測量や設計はXY方向の情報を持った二次元データを用いることが基本でした。三次元データはこれに奥行き方向の情報を持っており、三次元データには「点群」と「メッシュ」データがあります。この2つの違いの詳細は下記の通りですが、対象物の形状を把握するのであれば点群データ、対象物の表面状況を写真のように確認するにはメッシュデータが適しています。

① 点群データ

点群は三次元座標を持った点の集合体です。個々の点にXYZ値（座標）とRGB値（色）が存在しており、それらが千点、一万点、百万点と集合することで三次元モデルを形成しています。

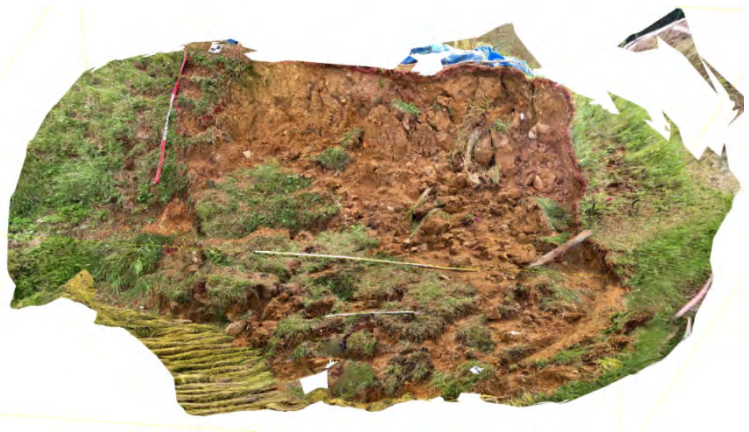
点群データの密度が粗いと、データ量は少なくPCやスマートフォン等への負荷も小さくてすみませんが、その分対象物の表面状況が不鮮明になります。逆に、点群データの密度を密にすると、データ量が大きくなり、データ処理速度が遅くなります。



② メッシュ(ポリゴンメッシュとサーフェースモデル)

ポリゴンメッシュとは、頂点、辺で構成されている三次元モデルです。点群のそれぞれの点を「頂点」とし、それらを「辺」と「面」で接続した形状データをサーフェースモデルといいます。

データ量は点群データより小さいですが画像データを含んでいないため、テクスチャファイル（mtl、jpeg）を包括したファイル構成とすることで対象物の表面状況を示すことができます。



3-2. 災害査定への活用イメージ

三次元データを査定設計書の断面図（CADデータ）に活用できるほか、三次元画像は写真の代替として査定設計書の添付写真に活用することができます。

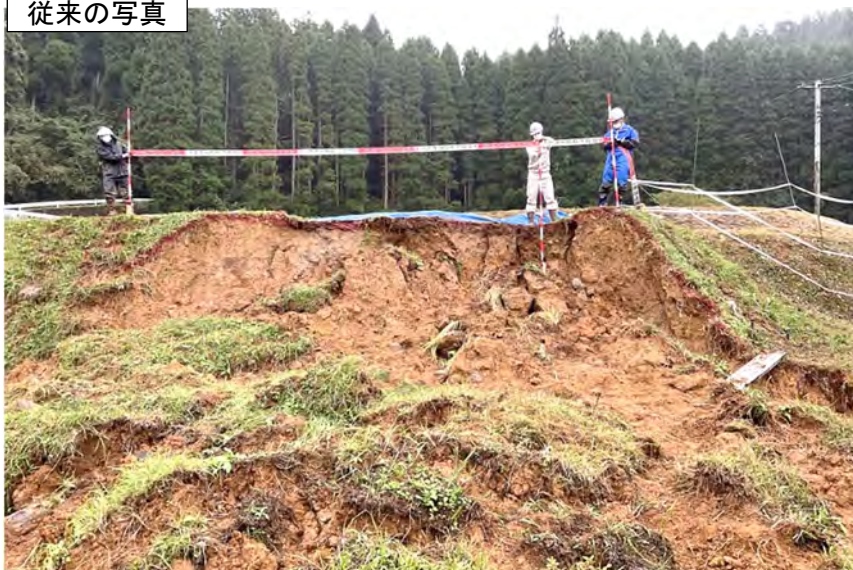
従来の写真撮影は、被災延長などが概定できるようにリボンテープやポールなどを用いて撮影するため多くの人員を必要とし、また、測量はトータルステーションなどの測量機器とそれを扱える技術者が必要でした。

一方、スマートフォン等により取得した三次元データを活用する場合には、従来よりも少ない人員で写真撮影と延長等の計測が可能となり、また、三次元データによる断面図の作成が可能となるため、作業の効率化・迅速化が期待されます。

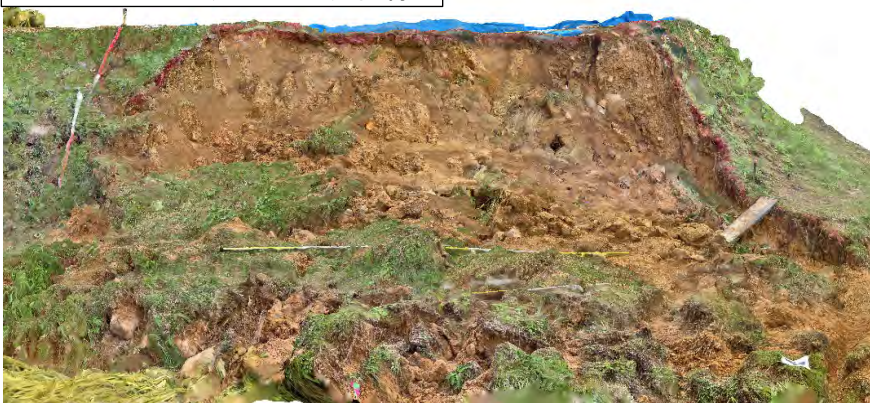
【解説：従来写真と三次元データの比較】

□写真と同等の画質：右図は農地の法面崩壊場所において、従来の手法でリボンテープなどを用いて作成した状況写真（上）と、スマートフォン等で撮影した三次元データ（下）を同じアングルで表示したものです。三次元データの画像は、被害状況を確認するための十分な画質となっており、査定設計書の添付写真として活用することができます。

従来の写真



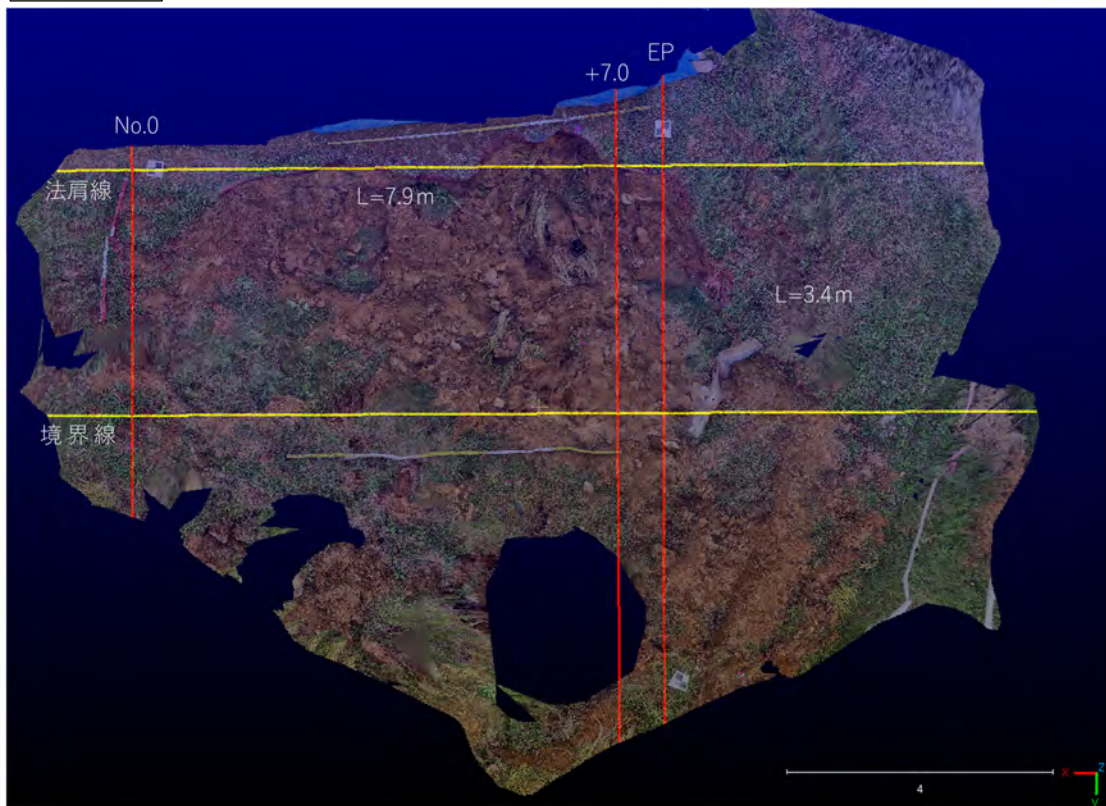
三次元データ（メッシュ）画像



□アングルの変更、延長の計測：三次元データの閲覧ソフトでは、マウス操作により任意の角度で被害状況を確認ことができ、指定したポイント間の延長を計測することが可能です。このため、査定時における説明にも活用することができます。

図 3-1 説明用写真(上)と三次元データ(下)

真上から



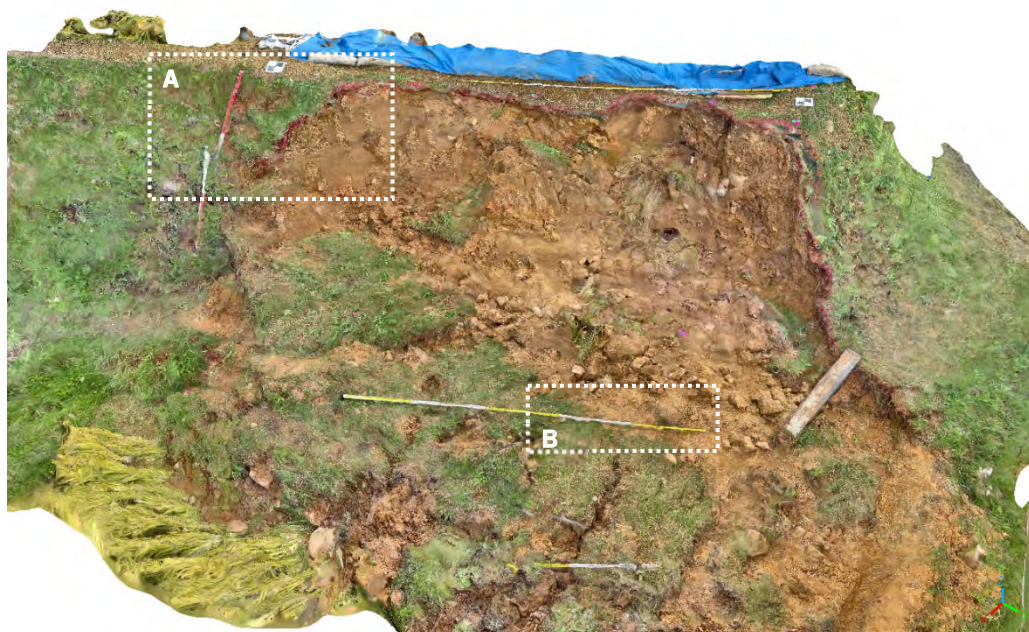
斜め上から



図 3-2 農地被災現場の三次元画像を用いた被災状況説明例

□査定設計書の添付写真への活用と留意点：三次元データの画像は、全体的な被害状況の確認において支障が生じるような画質低下は少なく査定設計書添付写真に活用可能ですが、部分的な画質低下や線形の形状に若干の歪みが生じる場合があることに留意する必要があります。このため、起終点位置の状況や復旧工法に影響する湧水や崩落の深い場所などは、スマートフォン等による三次元データの取得時などに合わせて、別途写真を撮影しておく必要があります。

全景：被災状況は把握できるが部分的に不鮮明な箇所が存在



A部拡大

杭が不鮮明
(アプリによっては
欠測になる場合も)



リボンテープが
途切れている

土の状況が鮮明な
場所と不鮮明な場
所がある

B部拡大



スタッフの表示が不鮮明
形状が歪んでいる

図 3-3 農地被災現場の三次元画像(PiX4D Catch で撮影)

下記の画像は農業用施設の被災現場(水路周辺の法面が崩壊し、二次製品の水路も一部流亡)をスマートフォン等により三次元データを取得した三次元画像です。被害状況を確認するうえでは支障ありませんが、拡大すると不鮮明な箇所、現地に置いた標定点が2つあるように見える箇所、杭のように小さな物が明確に視認できない箇所が出現することに留意する必要があります。

このため、前述の農地の法面崩壊箇所と同様に起終点位置の状況や復旧工法に影響する湧水や崩落の深い場所などは、スマートフォン等による三次元データの取得時などに合わせて、別途写真撮影しておく必要があります。

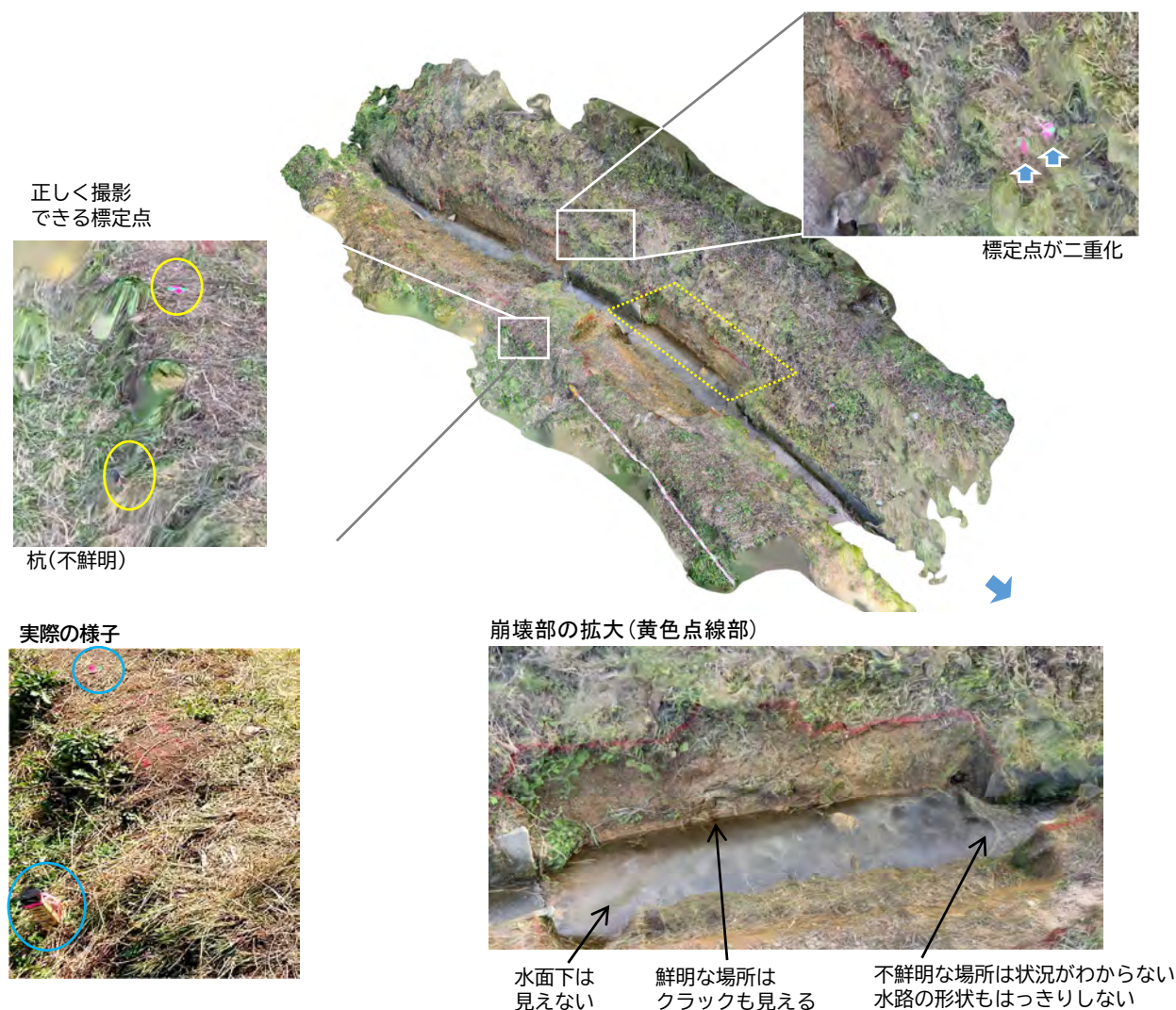


図3-4 農業用施設被災現場の三次元画像の例(PiX4D Catchで撮影)

□水路の断面などは実測しておくことも重要：災害復旧では、現況の水路断面を正確に確認しておく必要がありますが、三次元データの画像から正確な寸法を計測出来ない場合があるため、スマートフォン等による三次元データの取得時などに合わせて実測により寸法を測定しておく必要があります。



図3-5 水路断面の計測状況(2名で対応可能)

【解説：査定設計書に添付する CAD の作成-1（断面図）】

□測量と同等の断面図を作成：下記の断面図は、農地の法面崩壊場所における被災断面をスマートフォン等で作成した場合と従来の横断測量で作成した場合を比較したものです。従来の横断測量は作業員が断面の大きな変化点をとらえるのに対し、三次元データの場合は、より緻密に断面の変化点をとらえることができるため、土工数量などにおける断面積は、従来に比べてより精緻に算定されます。（使用するソフトウェアによっては点数の間引きも可能です）。

側面から全景



被災断面

側面から全景

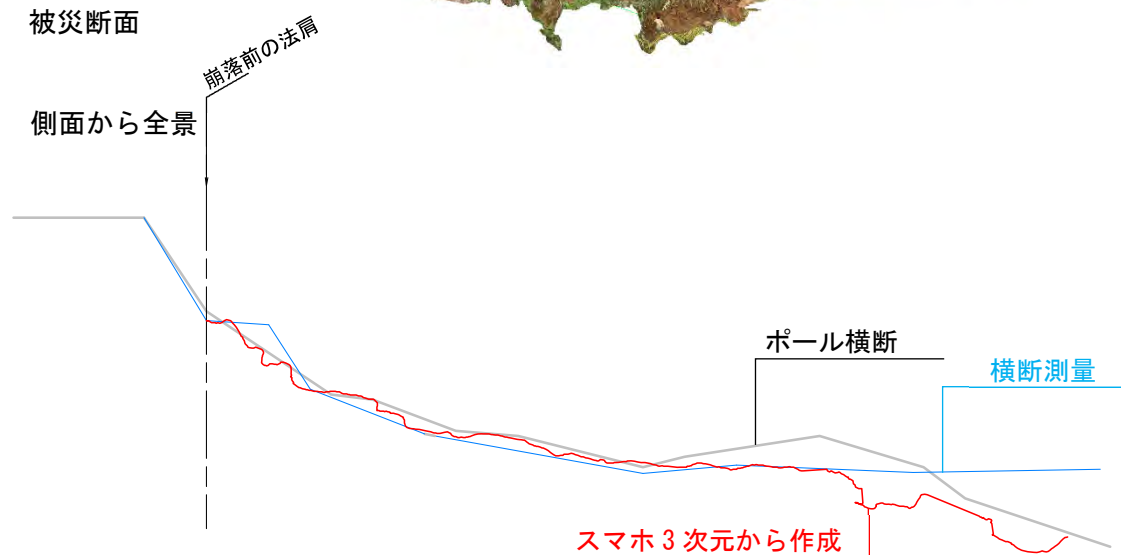


図 3-6 三次元による横断面図とほかの手法による横断面図の比較

【解説：査定設計書に添付するCADの作成-2(平面図)】

□三次元データによる平面図は等高線で地形を再現：下記の平面図は、農地の法面崩壊場所で、通常の平板測量により作成した平面図とスマートフォン等で取得した三次元データにより作成した等高線図(0.2m間隔)です。

□道路や杭等は追記が必要：平板測量は被災場所を法面マークと外周線で表現していますが、三次元データによる等高線図は被災形状が明確にわかります。一方で、通路の位置や杭の位置等は反映されないため、後から等高線図に追記する必要があります。

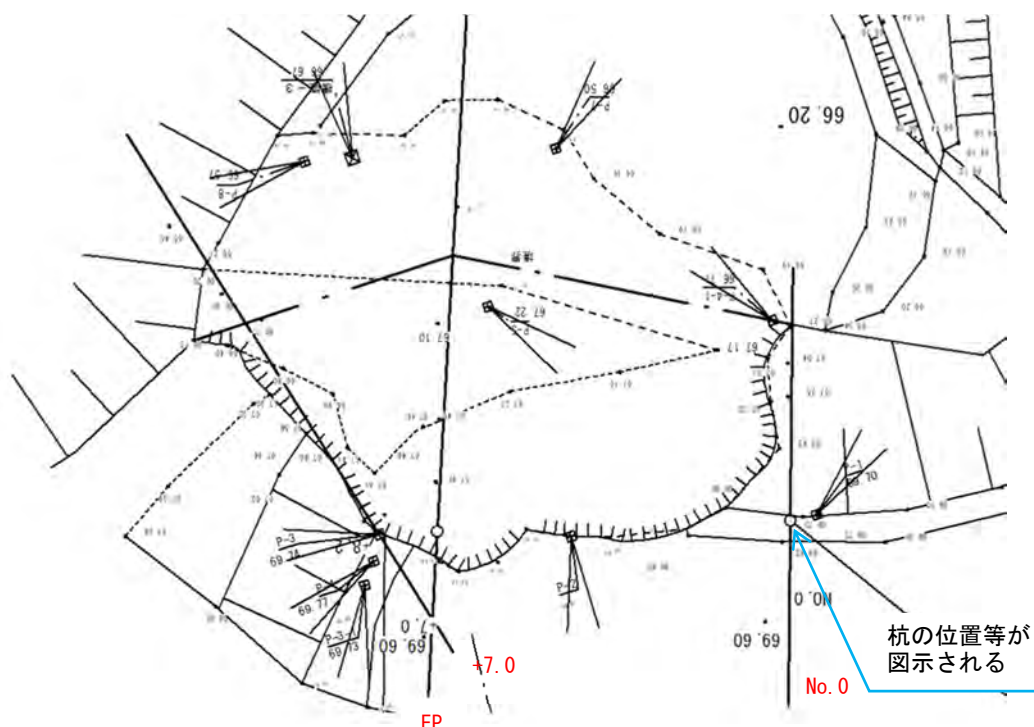


図 3-7 従来の測量成果(農地被災現場、被災部分拡大)

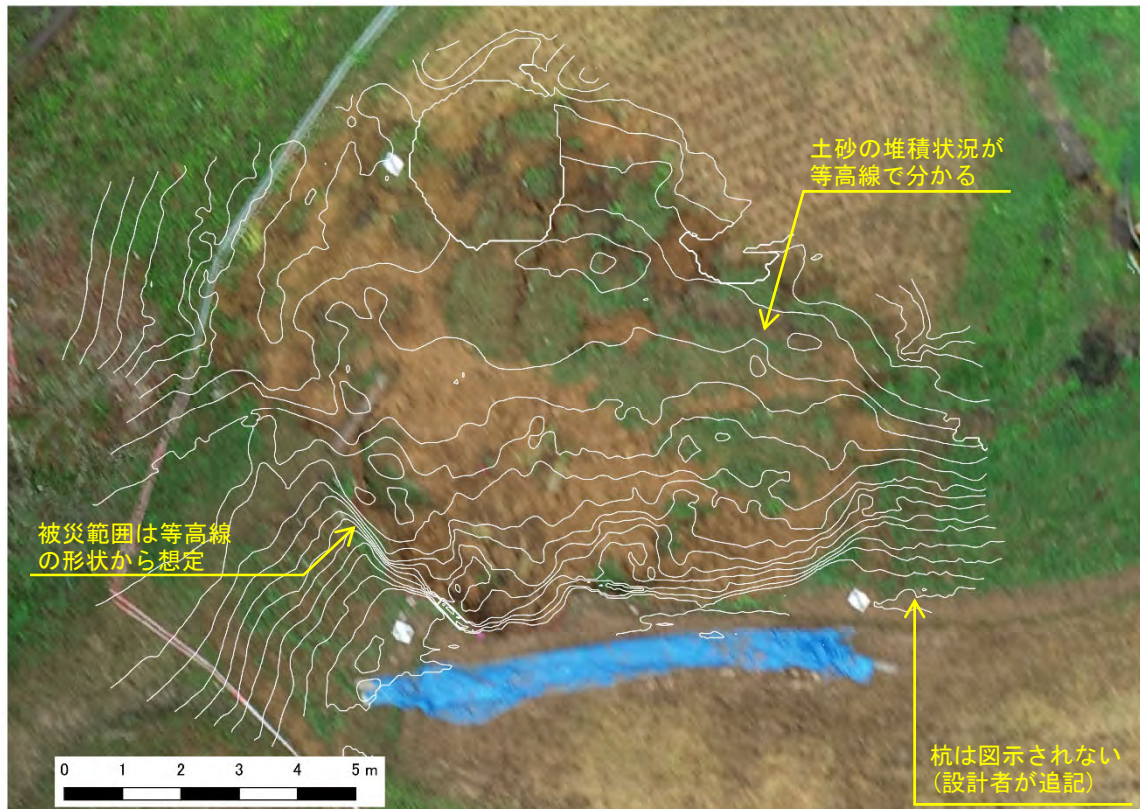


図 3-8 三次元測量成果(農地被災現場)

【参考：点群データを用いた通常の平板測量と同等の図面の作成】

点群データから例えば法面等表現する場合、別途トータルステーションで法肩ライン（ブレイクラインという）を取得し、TIN（地表面を三角形の集合体で表現するデジタルデータ）作成時にそのラインを踏襲できるようにする処理が必要です。

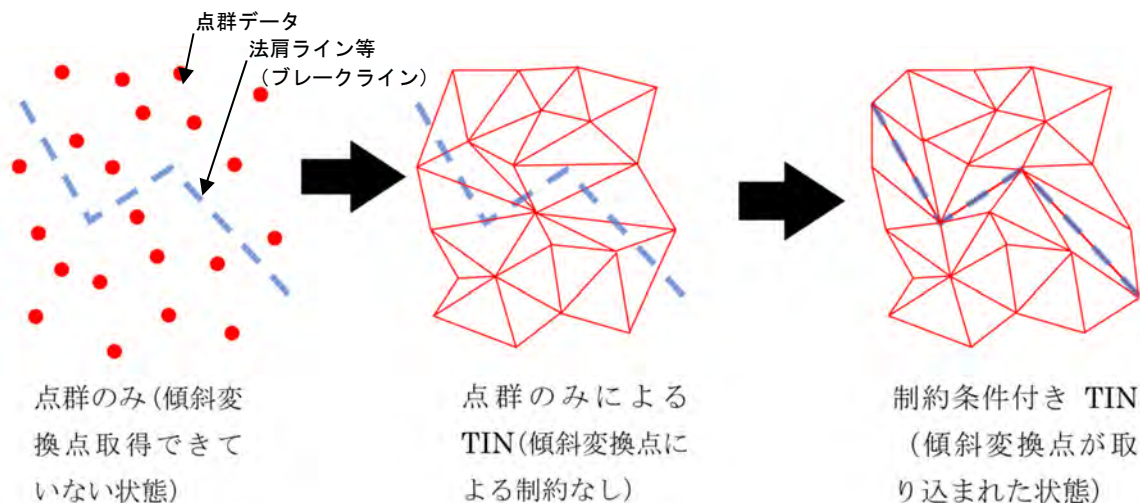


図3-9 傾斜変化点取得のイメージ

出典：三次元点群データを使用した断面図作成マニュアル（案） 令和5年3月 国土地理院

【解説：査定設計書の添付図面への活用】

スマートフォン等により取得した三次元データから、CAD による断面図や平面図（等高線図）を作成することが可能であり、被害状況図や復旧計画図の基図として活用することが可能です。下図は前述した農地の被災現場の三次元データを基に作成した等高線図と横断面図を基に作成した復旧計画図です。

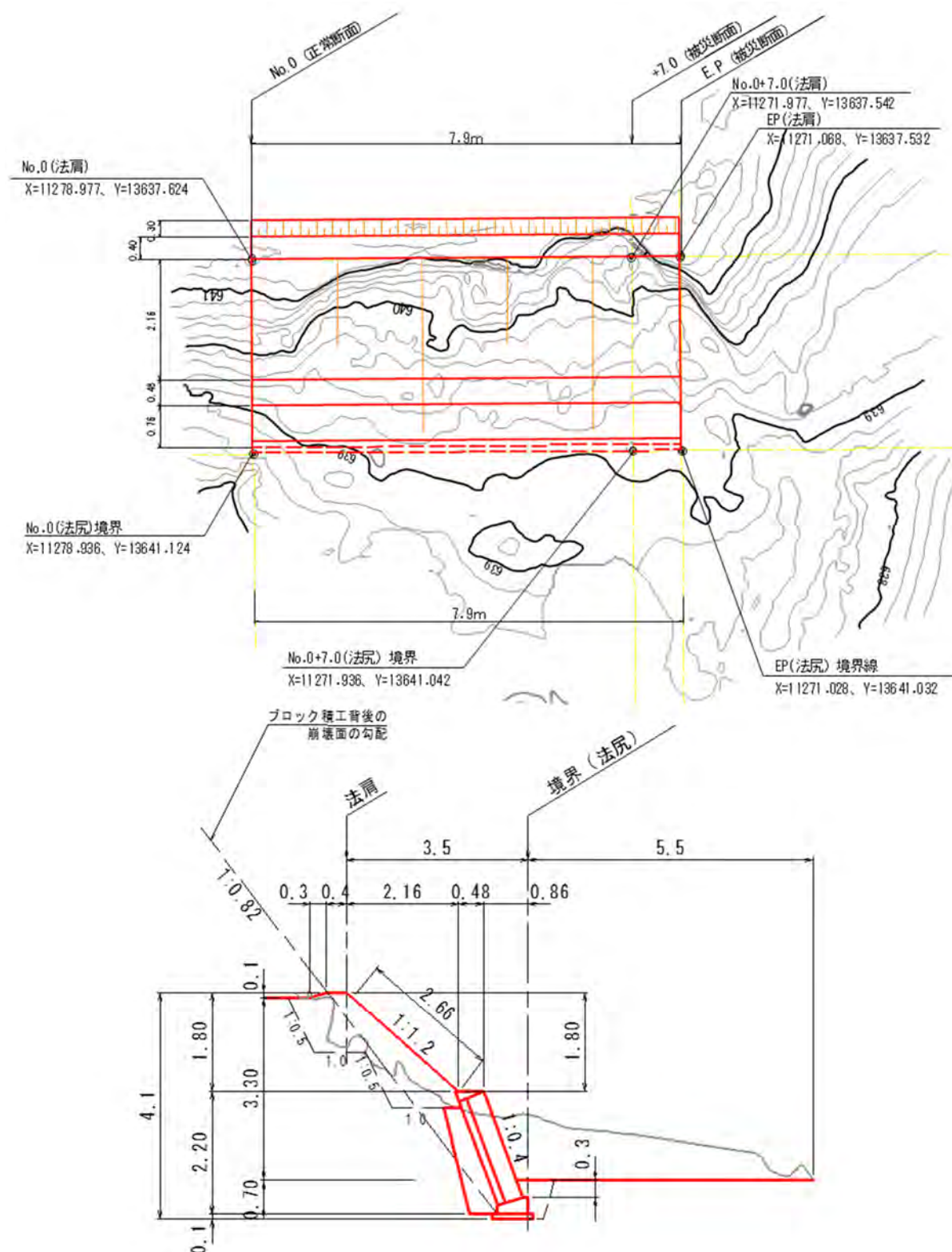


図 3-10 三次元測量で作成した CAD データを用いた復旧計画図の例（上：平面図、下：横断面図）

【解説：スマートフォン等による三次元データ取得（撮影）における留意点】

□スマートフォン等での撮影の目安は5m×5m：本マニュアルの作成にあたり、複数人で、複数のアプリケーションを使用して撮影作業を行ったところ、一部のアプリケーションでは三次元化の処理中に強制終了することがありました。このため、撮影範囲が5m×5mよりも広い場合は、おおむね5m×5mの単位で複数回撮影し、内業で合成する方が効率的です（合成する場合は、各撮影を同じ座標系で補正する必要があります。現地に標定点を置き、これに基づき補正を行ってください）。

□撮影時間は約10分：撮影ルートや足場の状況にもよりますが、平面寸法が5m×5m前後の現場で約10分の撮影になります。

□ほかの手段の方が有利な場合も：LiDAR機能（「3-4. スマートフォン等を用いた三次元データ取得の測量方法の種類と留意点」参照）を用いる場合は相当近接しないと撮影できません。このため、高低差が大きく近寄れない被害箇所やあまりにも広範囲に及ぶ被害箇所（広範囲となる仮設道路の計画基図、水張面積算定の基図としての活用を含め）では、従来の測量、航空写真、既往の地形図の活用、UAV（ドローン）での撮影等の方が有利になると考えます。

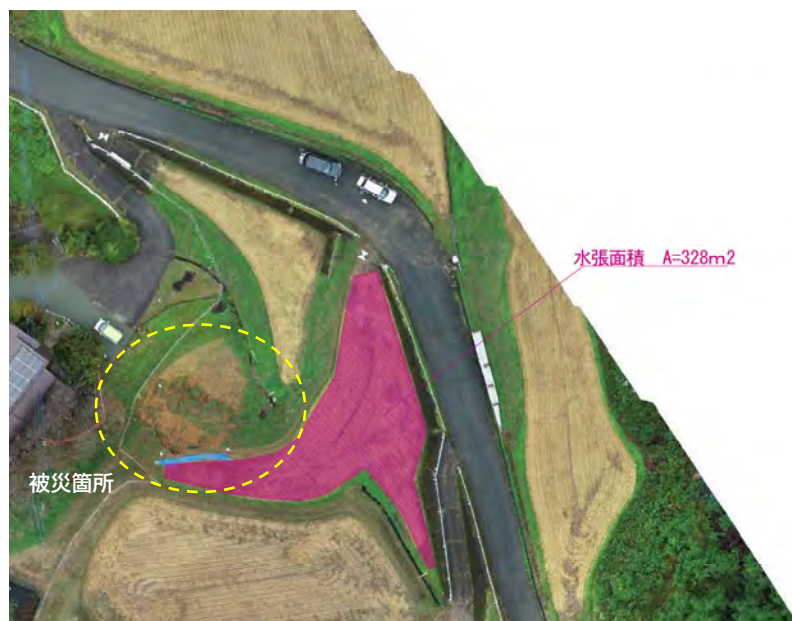


図 3-11 水張面積 UAV（ドローン）オルソ画像から算定した例

□全景写真の撮影における留意点：三次元データの画像は、被災範囲とその外周の健全部を対象に取得しますが、被災現場の概要や復旧工法と必要な事業費を算定するためには、周辺の地形や道路の状況等も把握していくことが重要です。このため、従来の写真撮影や既存の図面を活用して周辺状況を把握する必要がありますが、UAV（ドローン）を活用すれば、効率的にこれらを把握することが可能となります。



図3-12 ドローン空撮による全景写真

3-3. 作業時間の軽減

スマートフォン等による三次元データを活用して査定設計書を作成する場合には、被災現場の作業時間が大きく短縮します。

【解説】

ここまで示した通り、スマートフォン等により取得した三次元データを用いて査定設計書を作成することができます。

三次元データを活用する目的の一つは査定設計書作成における「作業時間の縮減」、「現場の人員削減」です。本マニュアル作成時に災害現場で実施した試行調査における作業時間を基に軽減効果を試算した結果を示します。

【試算条件】

- ☐ 小規模な災害現場を対象とする。
- ☐ スマートフォン等による撮影は現場2人体制
- ☐ 従来の方法による撮影は外業4人体制(撮影担当1名+ポール・リボンテープ担当3名)
 - ・現地では断面計測3断面(正常断面上下流、被災断面1断面)と被災延長計測を実施
- ☐ スマートフォンによる撮影時間は試行調査での平均値
- ☐ 内業はどちらの手法も1人体制とする。(作業員の個人差があるため目安)
- ☐ 現地調査(外業)と図面作成等(内業)にかかる作業時間とこれに作業人員数を乗じた延べ作業時間(≒人員削減効果)で比較した。

【結果】 現地調査から図面作成等まで要する作業時間は約1割、作業人員を加味した延べ作業時間は約4割削減された。なお、現場作業における延べ時間は大幅に縮減された。

表3-1 スマホ等による作業時間

項目		作業時間 (分)	延べ 時間 (分)	備考
外業 (2名)	準備作業	10	20	
	杭設置等	10	20	
	標定点設置	15	30	5 か所程度
	座標計測	15	30	1箇所2分
	計測	7	14	
	小計	57	114	
内業 (1名)	座標補正	30	30	
	中心線等設定	20	20	
	点群データ	10	10	
	横断図作成	90	90	3断面当たり
	平面図作成	20	20	
	小計	170	170	
合計		227	284	

表3-2 ポール横断による作業時間

項目		作業時間 (分)	延べ 時間 (分)	備考
外業 (4名)	準備作業	10	40	
	杭設置等	5	20	
	ポール設置	30	120	3断面当たり
	写真撮影	15	60	
	写真確認	15	60	
	小計	75	300	
内業 (1名)	写真整理	90	90	3断面当たり
	横断図作成	60	60	3断面当たり
	平面図作成	30	30	
	小計	180	180	
合計		255	480	

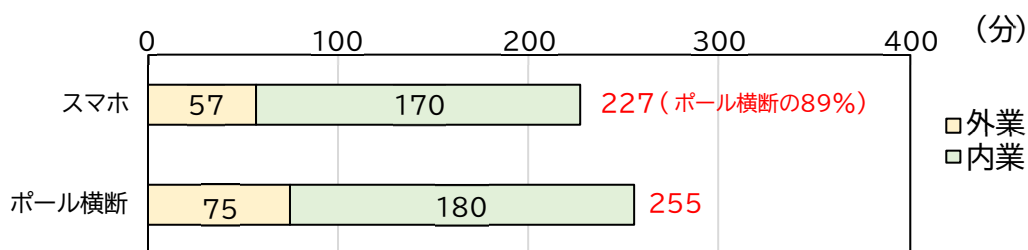


図3-13 現地調査から図面作成等までの現場時間の比較

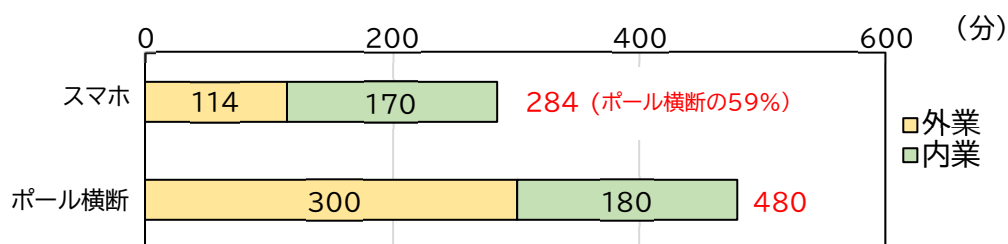


図3-14 作業人員を加味した延べ作業時間の比較

3-4. スマートフォン等を用いた三次元データ取得の測量方法の種類と留意点

航空測量で利用されている複数の写真をオーバーラップさせることで三次元化する方法（以下「写真測量等」という）と、一部スマートフォン等に搭載されているLiDARセンサーを用いたレーザー測量の二種類があります。（令和5年2月時点）
これらのデータ取得（撮影）、補正などの留意点は以下のとおりです。

【解説：写真測量等について】

写真測量等による三次元化はUAVで撮影した写真を用いて三次元画像やオルソ画像を作成する方式と同じです。

□隣接する写真の撮影範囲が重複するように撮影する必要があります：この方式は写真を所定の割合以上でオーバーラップするように撮影する必要があります。例えば「UAVを用いた公共測量マニュアル(平成29年3月改定版)」によればオーバーラップ率として60～90%以上※を確保することが記載されており、スマートフォンを用いる場合もこのラップ率を参考とすることが考えられます。なお、最近の三次元撮影を行うアプリケーションは、このような撮影をせずとも、画面上で撮影状況を確認できるようになっています。

※UAVを用いた公共測量マニュアル(平成29年3月改定版)、国土交通省国土地理院P26では、以下の重複度で撮影計画を策定することが記載されている。

- ・ 同一コース内の隣接写真との重複度 : 80%以上
 - ・ ・ 撮影後に写真重複度の確認が困難な場合 : 90%以上
- ・ 隣接コースの写真との重複度 : 60%以上
 - ・ ・ 撮影後に写真重複度の確認が困難な場合 : 60%以上

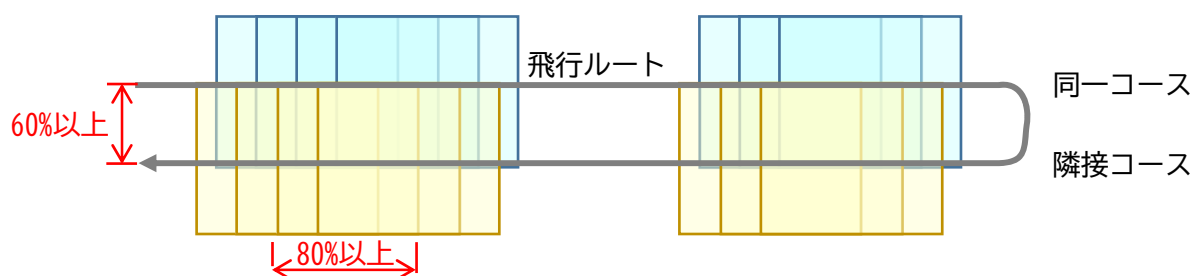


図3-15 オーバーラップ率のイメージ (UAVによる公共測量の場合)

□尺度を与えるための補正が必要です：三次元データは基本的に長さの次元を持っていませんので、標定点による補正が必要です。具体的にはP38 図4-4のように標定点を置きます。また、何らかの方法で標定点の中心点座標（X，Y，Z）を計測します（「4-10. 標定点の座標計測」参照）。三次元データをパソコンに取り込んだ後、撮影した標定点に計測した座標値を与えることで補正が行われます。標定点の設置間隔は、「地上写真測量（動画撮影型）を用いた 土工の出来高算出要領（案）」（令和2年3月 国土交通省）によれば、「撮影対象外縁に50mごとに1点以上の標定点を設置する。」とされています。一方で、あるメーカーは5mに1か所を推奨しています。標定点が欠測されることもありますので、撮影範囲の外縁部には、概ね5mに1か所程度設置することが望ましいと考えます。

□精度の確認は「検証点」を利用：三次元データの精度を確認するために検証点が必要と考えています。また、検証点の実測値の計測方法は4-10.を参考としてください。具体的には、標定点と同様に現地に目印を配置し、その座標を計測します。標定点を用いて補正した後の三次元データにおいて検証点座標を読み取り、これが実測値(真値)に対し±200mm以内であることが許容値となります。

【解説:LiDARによるレーザー測量について】

LiDARとは「light detection and ranging (光による検知と測距)」の頭文字をとった言葉です。レーザー光をパルス状に照射し、対象物に当たって跳ね返ってくるまでの時間差を計測し、距離や位置、形状を三次元で測定する機能です。

□i-Phone、i-Padの上位機種が対応：令和5年2月時点ではLiDARセンサーを搭載しているスマートフォン等はi-Phone・i-Padの一部上位モデルに限られています。

□撮影時はかなり近接する必要があります：最大照射距離は5mとされていますが、実際に使ってみると2～3mが限界です。

□LiDARでも原則補正が必要です：LiDAR単体では形状を取得するのみですので、別途カメラで画像を取得し、両者を合成することで見た目上で現地条件が再現された三次元データとなります。原理上、距離を計測し、スマートフォン等内部のIMUなどを用いて多少の補正を行いますが、撮影範囲が広くなれば誤差が大きくなっていくため、写真測量等と同様に補正は必要です。

※精度を求めない場合は省略しても構いません。詳細は「4-9. 標定点の座標計測」の参考-2を参照してください。

□反射する場所は撮影できません：なお、LiDARセンサーはレーザーのため、水面やガラス面等は反射してしまい計測ができません。水深が浅い場合は多少の計測は可能ですが、精度は確保できません。

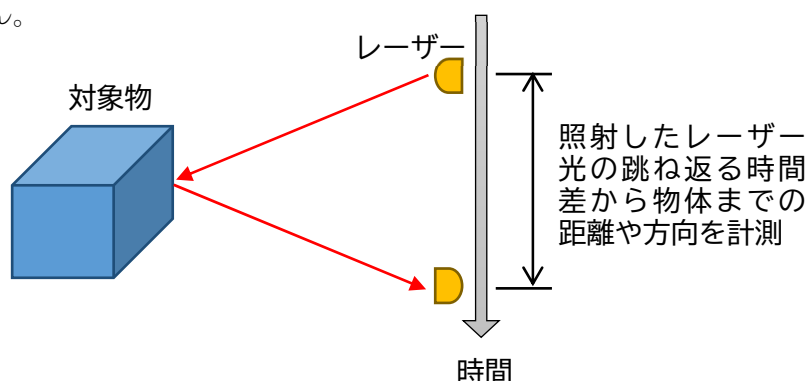


図3-16 LiDARの仕組み

3-5. 三次元データ作成に必要なアプリケーションと機器

三次元化のための撮影、撮影した写真等を三次元化する処理、パソコンでの閲覧、CADデータへの変換には専用のアプリケーションが必要です。アプリケーションによって機能や出力可能なデータ形式等は様々です。また、費用も無料・有償と様々です。

また、現場ではスマートフォン等のほかに位置補正のための機器も必要になります。

【解説】

スマートフォン等を用いた三次元測量によるデータ作成の大まかな流れを下図に示します。

□外業は撮影と標定点の座標計測：現場での作業は、専用アプリケーションをインストールしたスマートフォン等での撮影のほか、位置補正のための座標計測が必要です。

□内業は位置補正と査定資料に使用するデータへの加工：撮影したデータや標定点の計測値を基に補正を行う作業、説明用の画像処理を行う作業、断面図や等高線図等の査定設計に必要なCADデータを作成する作業を行います。その処理を行うアプリケーションが必要です。



図 3-17 スマートフォン等を用いた三次元測量の作業の概要(アプリによっては手順・内容が異なる)

【参考-1：アプリケーションを用いずに三次元化する方法(連続写真または動画からの作成)】

写真測量等による三次元化はカメラさえあればアプリケーションを用いずに作成することもできます。ただし、前述のように隣接する写真がオーバーラップするように撮影する必要があります。撮影技術が要求されます。

一定の時間間隔で連続撮影する写真アプリや動画から一定の時間で写真を切り出す方法がありますが、試行調査を行った際には失敗も多く、画像解析に数時間以上の時間を要する等、災害の実務でアプリケーションを用いずに利用することは現実的ではありません。

【参考-2：有償のアプリと無償のアプリの違い】

□**多くのアプリが公開されている**：スマートフォン等で使用するアプリケーションも内業のパソコンで使用するアプリケーションのいずれも多くの種類が公開されています。また、有償・無償も様々です。有償版の契約方法は買い切り（最初にお金を払えばずっと使える）、月間契約のものがあります。金額も数百円から数万円と幅も広いです。

□**用途も様々。土木に特化したアプリも**：三次元は様々な分野で注目されていることから、たとえば3Dプリンターで制作するモデルの撮影、家具等の室内の器具の撮影、土木も含め広い範囲の撮影などです。土木分野では測量や土工管理等を目的としたアプリケーションが開発・販売されています。メーカー担当者に聞き取ると小規模な災害現場での活用も念頭に置いているようです。

□**多用途向けアプリは視認性がよい**：用途によっては視認性が重視されるためメッシュデータが作成されます。操作画面は英語が多いです。Google PlayやApple Storeからダウンロードできますが、説明書也没有ありません。ただし、操作内容を紹介するサイトは多数存在しますし、使ってみればそれほど難しくありません。

□**土木向けアプリは計測が強い**：測量や土工管理を目的としており、LiDARセンサーとGNSS受信機等を活用した正確な計測を可能とするアプリが開発販売されています。ベンチャー企業のほか、大手建設会社等が販売しています。作成されるデータは基本点群データです。視認性を確保するために内業でメッシュ化するか、点群密度を増やすことで事実上メッシュと同じような視認性を確保する仕様となっています。

□**「誰でも手軽に利用できる」観点から全ての作業を無償で完結させたい**：災害査定に三次元測量を導入する大きな目的は作業の効率化、現場の負担軽減です。例えば数万円のアプリを複数のスマートフォン等に導入すればその支出が大きくなり導入も難しくなります。どのようなアプリケーションを採用するかはアプリケーションの機能、利用性、価格などから使用される方の判断となり、必ずしも有償がすべてにおいて優れるものではないため、それぞれのアプリケーションの長所や短所を踏まえて選択することが望ましいと考えられます。

3－6．測量成果としての取扱い

スマートフォン等とアプリケーションを活用して取得した三次元データをもとに査定設計書に添付する図面や写真として利用することが可能ですが、公共的な測量成果として扱うのは今後の課題となります。

【解説】

スマートフォン等とアプリケーションを活用して取得した計測データは、検証点を設けて較差から精度管理を行うことはできますが、現段階では実績が少ないこと、測量の作業規程やこれに準ずるマニュアル等は作成されていないことから、公共的な測量成果とすることは今後の課題となります。

本マニュアルでは一部で「測量」という言葉を用いていますが、各機関が定めている測量作業規程に基づく「測量」と同じ扱いにはならないことに留意してください。

なお、検証点による精度の確認方法に係る参考資料は以下のとおりです。

☐ 空中写真測量（無人航空機）を用いた出来形管理要領（土工編）（案）

令和2年3月、国土交通省

☐ 地上写真測量（動画撮影型）を用いた土工の出来高算出要領（案）

令和2年3月、国土交通省