

写真点群測量を適用した農地における小規模崩壊地の迅速な復旧に関する研究開発

Research and development on rapid restoration of small-scale landslide areas in farmland using point cloud photogrammetry

五十島 亨*・吾妻 伸哉*・津留 宏介**

By IGASHIMA Akira*, AZUMA Shinya* and TSURU kosuke**

Abstract: With the aim of contributing to disaster prevention and mitigation from natural disasters, which occur frequently all over the country, we are working on research and development that will contribute to the rapid restoration for small-scale collapsed farmland, which is very important to local communities but receives little attention for its damage. Noting that collapsed areas have messy damaged surfaces and automatic matching on stereo-photograph is easy to perform, we investigated methods of creating cross-section required for appraisal design document for disaster restoration, and basic data to be used for specific design and initial survey.

Keywords: farmland disaster, disaster recovery, point cloud photogrammetry, SfM/MVS

キーワード: 農地災害, 災害復旧, 写真点群測量, SfM/MVS

1. はじめに

近年、各地で想定を超える自然災害が頻発し、甚大な被害をもたらしている。このような被害に対し、多くの人々の生活や経済活動に直結する公共の交通網や生活基盤を支える建物等は、優先的に復旧や支援が行われる。一方、農地は、農業従事者の収益源であるため、優先順位は相対的に低い傾向にある。また、土砂の撤去や排水施設の修理、水利システムの復旧等、被害が広い範囲にわたることが多く、復旧作業には時間やコストが掛かる。不便な山間部や過疎地域では、作業が遅れることもある。

当社が拠点とする福島県会津地方でも、令和4(2022)年8月に西日本から東日本の広い範囲で発生した大雨で、JR磐越西線の橋梁倒壊といった幾つかの甚大な被害がもたらされた。その陰で、農地で453カ所、農業用施設で512カ所、林道で133カ所、林地で12カ所¹⁾といった膨大な数の被害が発生した。

道路や建物では、法律上の整備目標が明確にあり、復旧の計画が比較的円滑に進むのに対し、農地や農業施設は、被災箇所が広域に数多く点在し、個別の申請や支援制度を必要とすることが多く、手続きにも時間が掛かる。農地の被害は、作付け時期や収穫時期の影響を受け、発生時期によっては被害が拡大することもある。例えば、台風で被害を受けた水田が、翌年の作付け時期までに復旧できなければ、翌年の収穫もなくなる。一方、草刈りや土壌の涵養等、例年と変わらぬ作業も発生する。過疎化が進む地域では、農業事業者自体の高齢化や人口減少で地域社会の衰退に拍車を掛けることにもなる。

農林関連の災害復旧の迅速化を進めるには、甚大な被害の陰に隠れた多数の小規模被害に対応可能な新たな測量手法の開発が必要である。

昨今の急速な測量技術の進歩は、災害復旧の迅速化を実現すると期待される。UAVを用いた写真点群測量やレーザ点群測量、スマートフォン（以下「スマホ」と呼ぶ。）を用いた同様の方法、さらには地上レーザスキャナを用いた方法等がある。しかしながらUAVや地上レーザスキャナを用いた方法は、専門性を問われると共に、同一地域では頻繁でない災害に対し機材が高価すぎる。スマホを用いた方法は簡便で安価だが、成果の均質性が保証されず、結果が出ないこともあり、業務への使用は適切でない。

このような最新技術の特性を踏まえて、遮蔽物が少ない一方、マッチングに必要な濃淡が多い崩壊地には適用しやすい、SfM/MVS（Structure from Motion / Multi-View Stereo）技術を核とする地上写真点群測量の検討

* 株式会社北斗測量設計社 Hokuto Survey Planning Co., Ltd.

** アイチズ創製株式会社 A1 Maps creation Co., Ltd.

を進めることにした。

2. 迅速な復旧に関する調査手法の検討

2.1. 災害復旧の流れ

農林関連の災害復旧の流れ（図 1）とその内容は、次のとおりである²⁾。

被害把握：いつ、どこで、何が、どのような被害があったのか、市町村内の全容を把握します。

現地調査：災害受付票に整理された「農地及び農業用施設」について、通報内容（被災した範囲や規模）を具体的に確認するため、現地で被害状況の計測や写真撮影します。

補助事業申請：災害復旧事業を国庫補助の対象とするための申請書に必要な資料（一般的には「査定設計書」と呼称され、ここでは主に図面。）を作成・整理します。

災害査定：申請地区ごとに査定設計書を取りまとめ、査定の準備を行います。

実施設計：災害復旧事業の設計図書を作成する業務で、現地測量や調査、詳細設計、数量計算などを行います。

工事発注：申請者は、事業費の決定通知を受け、復旧工事の契約を行います。～ 査定設計書（簡素化された書類） → 工事発注できる詳細設計資料へ見直し ～

増高申請：（筆者注：補助金割り増しの申請に関わる手続きのため説明省略）

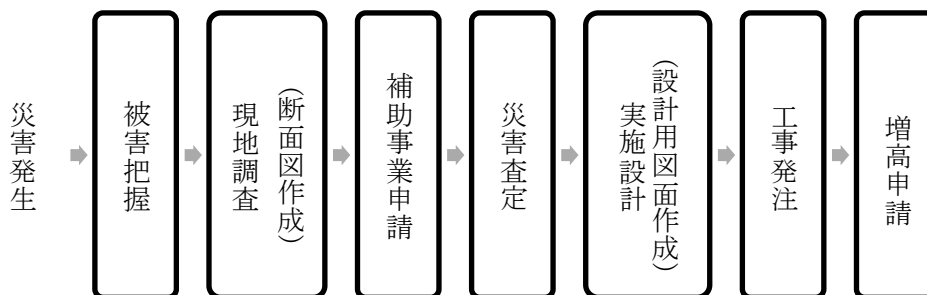


図 1 農林関連の災害復旧の流れ（参考文献2）に加筆）

2.2. 調査手法の検討範囲

農林関連の災害復旧の流れにおいて、本研究開発では次の点に着目した。

現地調査における「被害状況の計測や写真撮影」、補助事業申請における「査定設計書」、工事発注における「詳細設計資料」、そして工事発注の次に行われる復旧工事のための「起工測量」、さらには「情報化施工」、これらの全てに供することができる地形データを、現地調査時に標準的な手法として位置づけられている「ポール横断」と呼ばれる方法に代えて作成できるようにする。

ポール横断とは、図 2のように測量用ポールを水平・垂直に並べ、被災写真を作成する手法で、この写真を基に小規模崩壊地の断面が描かれる。つまり、現地調査時には、被災状況を把握することが目的であり、復旧のための設計に使えるまでは要求されていない。

本研究開発でも、ポール横断と同等以上の簡便さ、迅速さで、より精度の高い地形データが作成できることを目標とした。

なお、本研究開発の適用範囲も、被害数が格段



図 2 ポール横断³⁾（撮影者を含め4人）

に多く、ポール横断の適用対象である農林関連の小規模崩壊地とした。

2.3. 調査手法の検討

ポール横断と同等以上の迅速さ、汎用性（簡便に行えるかの度合い）等で、復旧作業全体に供する地形データが作成できる手法として、SfM/MVSを使用した三次元点群作成技術である写真点群測量が有効と考え、地上写真点群測量として他の手法との適否を検討した（表 1）。

迅速性、網羅性、汎用性、機材費、付属作業、人工、安全性の7つの評価指標を設け、5段階の相対評価とし、優位なものほど高い点数とした。なお、各評価指標は、判断基準の難しさから、重み付けはしなかった。

表 1 三次元点群作成手法の農地関連の小規模崩壊地への適用評価

	迅速性	網羅性	汎用性	機材費	付属作業	人工	安全性	平均値
ポール横断	1	1	5	5	5	1	1	2.7
TS横断	4	2	1	4	5	3	2	3.0
地上レーザ点群	2	4	2	1	2	3	5	2.7
スマホレーザ点群 ⁴⁾	3	3	4	5	3	5	5	4.0
UAVレーザ点群	4	5	1	1	5	3	2	3.0
UAV写真点群	3	4	3	3	1	3	3	2.9
スマホ写真点群 ⁴⁾	3	3	4	5	2	4	5	3.7
地上写真点群	5	5	4	5	3	5	5	4.6

迅速性とは、短時間で測定できるかの評価指標である。実質、一脚等も使えて写真を写すだけの地上写真点群測量を最高点とし、測量用ポールの設置を断面毎に行うポール横断は最低点とした。同じ写真点群でも、スマホ写真点群では一般には多重複撮影を用いるのでやや低くした。レーザ点群系で、横から照射する手法は、遮蔽力所や凹地力所が測定しづらいため、やや点数を下げた。

網羅性とは、被災箇所全体を測定対象とできるかの評価指標である。断面測定は低く、点群測定は高い評価とした。また、点群測定でも上からの測定は高く、横からの測定は低くし、地上写真点群は一脚を使うことで両方ができるため高い評価とした。スマホレーザ点群は測距距離が短い⁴⁾、スマホ写真は欠測や強制終了が起きやすい⁴⁾ため低くした。

汎用性は、専門技術が不要であるかの評価指標である。測量用ポールを設置して写真を写すだけのポール横断やレーザを連続的に照射するだけのスマホレーザ点群は高く評価した。TS横断やUAVレーザ点群は、現段階では専門家にしか取り扱い難いとし、低く評価した。また、地上レーザ点群は、器械点の選点が難しい場合も想定されるので、やや低く評価した。UAV写真点群は、専門機材を使用するが、訓練すれば取り扱えるだろうとし中間の評価とした。地上写真点群も、一般的には専門性が高いが、本開発では様々な仕組みを用意でき、かつ技能が不要なことにより高い評価とした。

機材費は、使用機器の価格による評価指標である。地上レーザ点群やUAVレーザ点群は、機材が高価なため低い、ポール横断及び地上写真点群・スマホレーザ点群・スマホ写真点群は、スマホ程度しか費用が発生しないため高い評価とした。

付属作業は、草刈りや枝払い、標定点設置等の手法特有の付属作業の有無に対する評価指標である。ポール横断やTS横断は、直接的に地表面を測定する手法であるため高く評価した。また、UAVレーザ点群は、上からの照射で遮蔽が少ないとして高く評価した。他の手法は、草刈りの可能性があり、UAV写真点群に至っ

ては枝払いや標定点の設置があるため、最も低く評価した。

人工は、どれほど延べ人数を必要とするかの評価指標である。ポール横断は、垂直ポールの設置や水平ポールの保持、写真撮影と多数の人が必要のため低く評価した。補助者や監視者が必要な手法は、やや評価を抑えた。測定や撮影が一人で行えるスマホレーザ点群や地上写真点群・スマホ写真点群は、高く評価した。

安全性は、作業員の安全が確保できるかの評価指標である。小規模崩壊地内に入る手法、UAVを用いる手法、その中でも機材の質量が大きいものの順（レーザスキャナ、カメラ）で、低く評価した。

検討の結果、表 1 のとおり地上写真点群（4.6 点／5 点満点）が最も有効となった。

3. 地上写真点群測量の特徴

地上写真点群測量を農地の小規模崩壊地に適用するにあたって、参考文献5) 6) 7) 等を参考に、写真点群測量の要素技術である SfM/MVS の特性を踏まえて検討した。

SfM/MVS は、伝統的な写真測量に照らし合わせれば、SfM が空中三角測量、MVS が標高抽出に該当し、どちらも高度に自動化されている。そのため、次のような特徴がある。

使用するカメラは、非測定用でも構わない。

SfM（空中三角測量）は、精度確保よりも立体モデル形成を優先する。そのためパスポイント・タイポイント（以下「タイポイント」と呼ぶ。）の選点が容易になるように、重複度を多くした写真撮影が求められ、基線高度比は小さくなり、奥行き測定精度を低下させる。タイポイントの位置は、人の判断や直接定位の支援がないため理想的な縦視差除去配置にはこだわれない。そのため、様々な大きさ、解像度を低下させた画像（図 3）からのものも含め、数多くの特徴点が抽出され、タイポイント候補とされる。特徴点は周辺の輝度情報に基づく特徴量を保持し、近似した特徴量を持つ特徴点を重複する写真から検出し、その対がタイポイントとされる。ただ、測定精度が低かったり悪かったりするものが含まれるため、RANSAC（RANdom Sample Consensus）により最適な 5 点の組み合わせによる相互標定要素が選定される。そして、最終的にはバンドル調整によって外部標定要素が求められる。このように SfM では、特徴点を数多く抽出することが必要となるが、特徴点数は写真に写る被写体に依存する。

MVS（標高抽出）は、伝統的な写真測量と同様に画像相関等によって処理されるが、写真がいろいろな方向から撮影されていることが想定されるため、SGM 法（Semi-Global Matching method）⁸⁾ によって適切な標高が選定される。

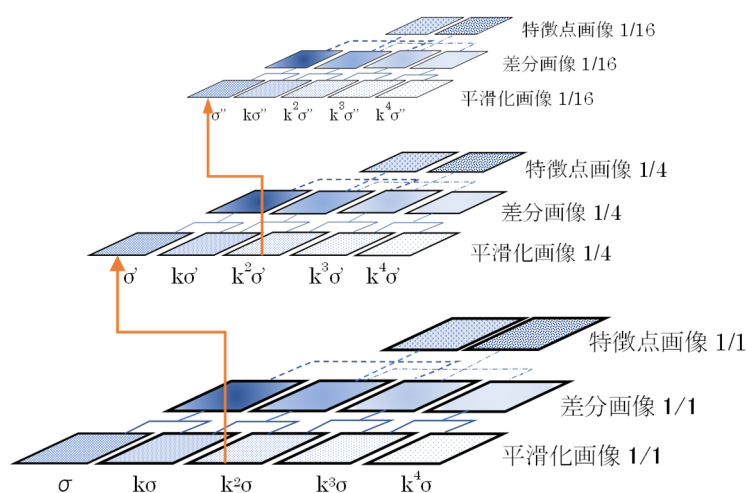


図 3 階層的な特徴点抽出の構造⁷⁾

4. 地上写真点群測量の適用

小規模崩壊地の表面には、崩壊によって生じた植生と土の混在、崩壊面の形状や地質状況等、特徴点候補を多く所持し、写真点群測量が適用しやすい被写体である。

この特性を活かし、地上写真点群測量によって被災農地の迅速な復旧を実現するには、迅速性のみならず測量成果の汎用性や品質確保を含めて適用を図った。

4.1. 撮影方法とカメラ

迅速性を高めるため、航空写真の撮影と同じ光軸を平行にした撮影を基本とし、写真枚数を最少にすることで、撮影やデータの転送、処理する時間の削減を図るとともに、これを実現するために対物距離と基線長の関係を示した基線長目安（表 2）、カメラの設定や現場の照度、写真中心や重複度を示す記号（×）等を記入できる撮影精度管理表（表 3）を作成した。また、撮影精度管理表にカメラの設定や現場の照度を記録させることで、照度に合わせて適切なカメラ諸元の設定ができるカメラ設定基準の基礎資料とする。

品質を確保するためカメラは、単焦点レンズの一眼レフあるいはミラーレス一眼カメラとし、カメラキャリブレーションで内部定位を解析、歪曲収差や解析結果から使用できるか否かを検討することとしている。その上で、使用可能と判断できたカメラを選定し、内部定位に関連する機構は変動しないように撮影する。

なお、現段階では、カメラの使用可否を判断できる具体的な指針を示せる段階には至っていない。迅速性及び品質確保の両方に寄与するものとして、スタンド型かつ3方向雲台を備える一脚を採用するとともに、座標系と標定点を兼ね備える三軸座標規を開発した。

一脚とは、カメラの支柱であり、シャッターを切るときのブレを防いでくれる。また、小規模崩壊地の中にある水路や凹地を撮影する必要がある場合、斜め上からの撮影や釣り下げたような撮影も可能となる。

表 2 撮影基線長目安

対物距離[m] (カメラ～崩落崖)	画郭横撮影		画郭縦撮影	
	60%	80%	60%	80%
2	0.9	0.5	0.6	0.3
4	1.9	0.9	1.2	0.6
6	2.8	1.4	1.9	0.9
8	3.8	1.9	2.5	1.2

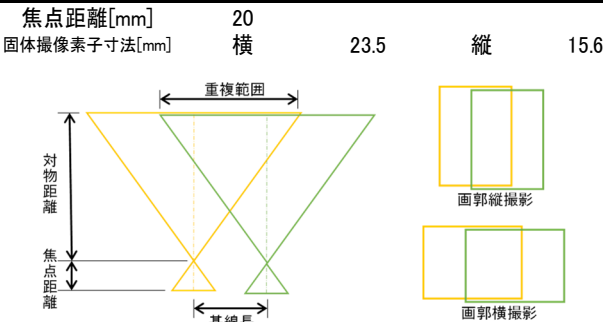


表 3 撮影精度管理表(一部)

作業地区: 緯度: 経度: 作業年:

撮影機	記号	対物距離[m]	露出値 f /	露光時間1/	感度(ISO)	照度 Lux	Y軸方位[度]
A		10	10	320	200	48000	358
B							
C							

NO	時間	諸元記号	ファイル名	NO	時間	諸元記号
1	11:36	A	DSC00026	2	11:37	A

4.2. 標定方法と標定点

三次元点群は、三次元座標系で定義することによって、縮尺や水平方向を与えることができる。これにより、査定設計書や詳細設計資料を作成することができる。また、起工測量成果とすることができるとともに、平面直角座標系で設置された標定点へ標定することによって情報化施工での利用も可能となり、本研究開発の目標とする汎用化を高められる。ただ、現段階では、小規模な被災農地にまで情報化施工が行われるような状況には至っていないため、当面は局地座標系で三次元点群を作成することとしている。

なお、被災農地は、補助事業申請のための現地調査において小規模崩壊地の幅を明示する必要があるため、上端の両側に杭を打たなければならない。この杭に、公共測量作業規程の準則に準拠した方法で平面直角座標系での座標を与え、局所座標系で作成した三次元点群を縮尺補正と平行移動、回転で平面直角座標系に変換することができる。

局所座標系を与えるための器具として、近接写真測量で用いられる基準尺⁷⁾を三次元に拡張し、かつ大型化したものを考案、開発した。また、大型化にあたっては、土台と定規に分離し、土台は三軸の組み立て式とし、定規は測量用ポールとして土台に挿入することで、三次元座標軸を現地に設置できるようにした。これによって携行しやすくした。なお、土台は『三軸ん』、測量用ポールを挿入して三次元座標を表す器具は

『三軸座標規』と命名した（図 4）。

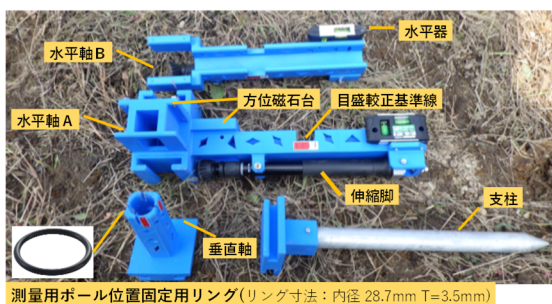
『三軸ん』のX軸とY軸には、水平器台を備え、ともに備えた伸縮脚によって三軸座標規を水平に保つことができる。

また、X軸とY軸には方位磁石台も備え、近接する小規模崩壊地との間でコンパス測量が行え、統一した座標系にすることができるようにした。磁石に影響を与えないように、樹脂で製造している（図 5）。

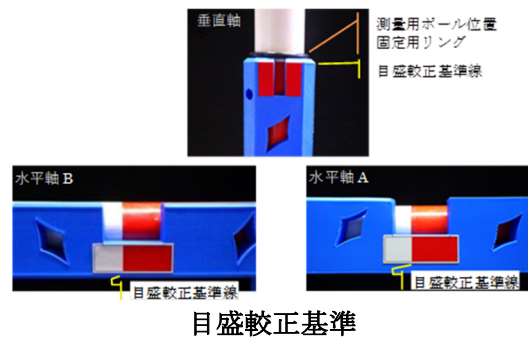
座標の原点は、3つの軸が交わる『三軸ん』の中心に置き、それぞれの軸に目盛較正基準線（図 5右上）を備え、その位置に測量用ポールの赤白の境を合わせることで、測量用ポールの赤白の境が、常に同じ座標となる目盛りとした。これによって赤白の境及び測量用ポールの先端が標定点となり、赤と白の模様及び測量用ポールの先端が対空標識の役割を果たす。したがって、SfM/MVSソフトで処理するとき、これらの標定点を測定することで『三軸ん』局所座標系の三次元点群が作成できる。



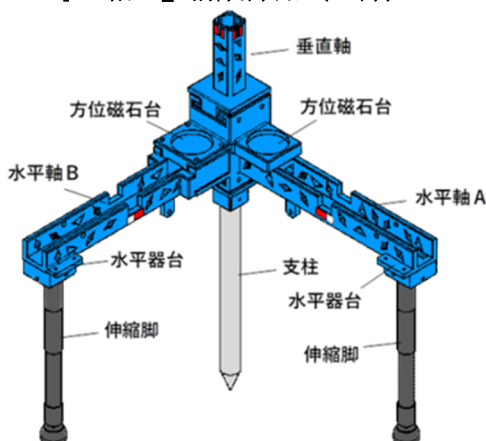
図 4 三軸座標規
(測量用ポールを支えるのが『三軸ん』)



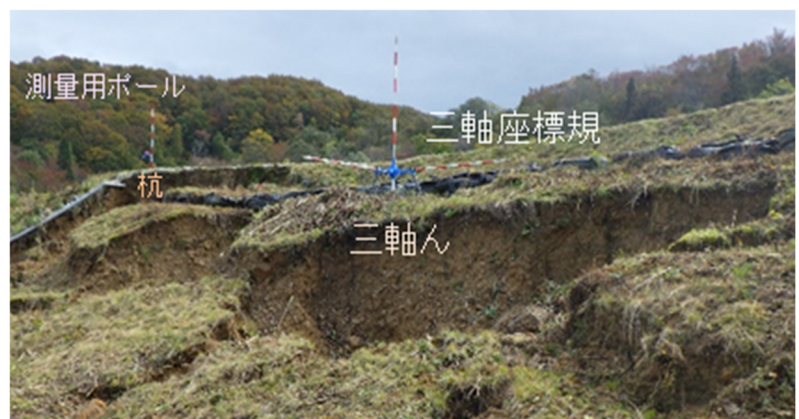
『三軸ん』構成部品（一部）



目盛較正基準



『三軸ん』の部品と名称



三軸座標規の設置状況

図 5 三軸んの詳細と三軸座標規の設置状況

5. 地上写真点群測量の検証

開発した地上写真点群測量手法の小規模崩壊地への適用における有用性を確認するため、測定精度、測定間隔、作業時間について検証した。

5.1. 測定精度の検証

測定精度の検証は、農地における崩壊地の大きさ及び形状が標準よりもやや小規模である表 4に示す大きさの超小規模崩壊地（図 6）を対象に、現在、被災調査の査定に使われることも多いTS横断測量で作成した断面図と比較した。また、作成する写真点群に縮尺と方向を与えられるよう、超小規模崩壊地の中間に三軸座標規を整置した。ここで整置とは、TSの整置と同様で、三軸座標規に備えた水平器（気泡管）で三軸座標規を水平に設置するとともに、崩壊面と平行に三軸座標規のY軸（右手座標系）を合わせるとともに、その方位を備え付けのコンパスで測定した。崩壊面に沿う方向をY軸とするのは、断面図作成の利便性を図るためである。

図 6に示すBP、+3.4、EPは、断面図を作成した位置で、検証に使用する断面の測定には表 6に示す性能のTSを用いた。

地上写真点群測量に使用したカメラはソニー社製ミラーレス一眼カメラα 6000で、その仕様等は表 7のとおりである。事前にカメラキャリブレーションを実施し、その際にフォーカスリングをテープ止めし、焦点距離が動かないようにした。表 7の画面距離は、カメラキャリブレーションの結果によるものである。露光時間、絞り値、ISO感度は、撮影時の値であり、これ以外の設定、手ぶれ補正やホワイトバランスといったレンズと固体撮像素子の関係を変えたり、画像を加工したりする機構は、停止している。

写真点群測量に使用した写真を、表 5及び図 7に示す。図 7は、撮影した写真の精度管理表の一部である。図中の×印は、写真中心を表し、この位置は隣接写真にも転写し、重複度が分かるようにしている。なお、この精度管理表は、撮影直後に現場で作成する。これによって撮影不良を検出するとともに、撮影者に必要最低の枚数で小規模崩壊地の写真を撮影できる感覚を身につけさせ、災害対応への迅速化を進める。

表 4 検証した超小規模崩壊地の大きさ

位置	長さ[m]
最大幅	7.1
最大高さ	4.3
最大奥行き	9.3



図 6 測定精度を検証した超小規模崩壊地と検証位置

表 5 使用した写真の数量

写真枚数	3枚
立体モデル数	2モデル

表 6 検証断面の測定機器

機種	TS
機種名	OS-205
製造会社	トプコン
測角性能	5"
測距性能	(2 + 2ppm × D) mm

表 7 使用カメラと設定

カメラ	製品名	ソニー製 α 6000
	種類	ミラーレス一眼カメラ
	センサーサイズ	23.5 x 15.6mm
	画素数	2400万画素
	素子寸法	3.7 μ m
レンズ（校正諸忬）	製品名	ソニー製 SEL20F28
	校正画面距離	20.4830mm
	校正精度	0.10画素
	露光時間	1/320秒
	絞り値	F10
	ISO感度	200

図 8は、SfM/MVSソフトによる写真点群から作成した写真地図である。超小規模崩壊地の形状が分かるように等高線を重ねた。

SfM/MVSの設定等及び対地標定結果（バンドル調整による残差）は、表 8及び表 9のとおりである。表 8中の「処理画像の解像度」とは、原画像に対する解像度の向上と低下を表すもので、最高・高・中・低・

最低の5段階から選べる使用ソフトの設定である。「高」を原画像とし、「最低」は原画像の64分の1に低下してある。幾つかの設定での試行により標定精度（表 8）及び測定精度（表 10）には有意な影響がなかったため、「最低」で処理することにした。これにより処理時間の迅速化を図った。

作業地区：

緯度：

経度：

作業年月：

撮影者：

撮	記号	対物距離[m]	露出値 f /	露光時間1/	感度(ISO)	照度 Lux	Y軸方位[度]	備考
影	A	10	10	320	200	48000	358	
緒	B							
元	C							

備考欄：三次元形状復元(SfM)処理

全体撮影：三次元形状復元(SfM)処理

当該写真及び隣接写真

補備撮影：全体撮影の低解像度域や

三軸座標規：測量用ボールの校正

全体 撮影	NO	時間	諸元記号	ファイル名	NO	時間	諸元記号	ファイル名	NO	時間	諸元記号	ファイル名	
	1	11:36	A	DSC00026	2	11:37	A	DSC00027	3	11:37	A	DSC00028	
													
	備考	70%											
					備考	60%							

図 7 地上写真点群測量した写真と撮影精度管理（一部）

この結果は、三点のみでの対地標定の結果であるため、意味を持たないが、三軸座標規の各軸は直交して取り付けられ、接続標定の開放状態を最大限抑制するとともに、測定間違いが生じる確率を小さくするため、標定点位置を測量用ボールの先端とし、標定の確からしさを確認できるようにした。これにより操作性、迅速性を高めた。なお、座標の原点は三軸座標規の各軸が交わる箇所に設定しているため、標定結果の良否を容易に判断できる。表 10からも表 9の妥当性が判断できる。

また、実際の作業においては、発注の仕様上、崩壊地の幅を示す杭を、崩壊地上端の両脇に設置し、写真で記録する必要がある。この両脇の杭間の距離を巻き尺等で測定し、三次元点群での測定値と比較あるいは縮尺補正をすることでも、SfM/MVSの処理結果の正確さが確保できる。

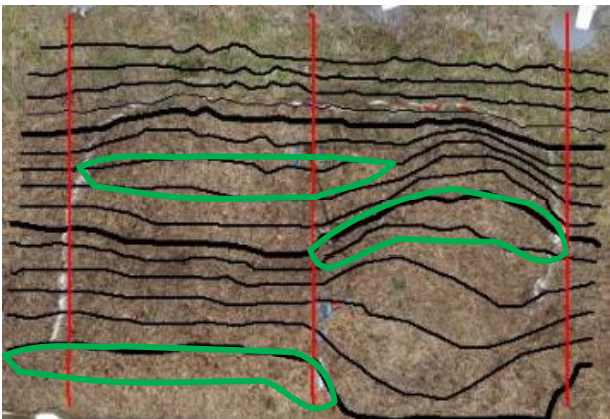


図 8 作成した写真点群からのオルソ画像

表 8 SfM/MVS処理の設定等

項目	設定等
写真点群ソフト	Metashape
処理画像の解像度	原画像の1/64
標定点位置	各軸の測量用ボール先端

表 9 バンドル調整の残差[単位：cm]

標定点名	x 残差	y 残差	z 残差
X軸先端	-0.4	0.7	-0.4
Y軸先端	0.7	-0.4	-0.4
Z軸先端	-0.4	-0.4	0.7

図 9は、測定精度検証位置付近の鳥瞰図である。

図 10は、検証位置とした3つの断面で、TSによる測定値と写真点群による測定値を比較している。断面は、断面の正面にTSを整置し、TSの視通方向の断面上段と下段に杭を打つとともに、その視通上に反射ミラーを、20箇所と比較できるように一定間隔で移動させながら下端の杭からの距離と鉛直角を測定した。

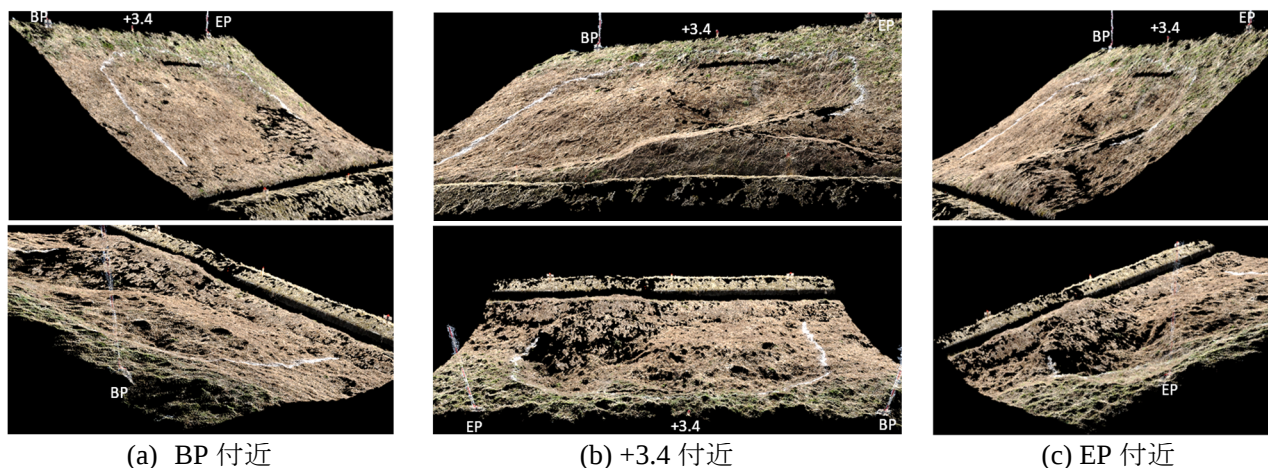


図 9 作成した写真点群の鳥瞰図

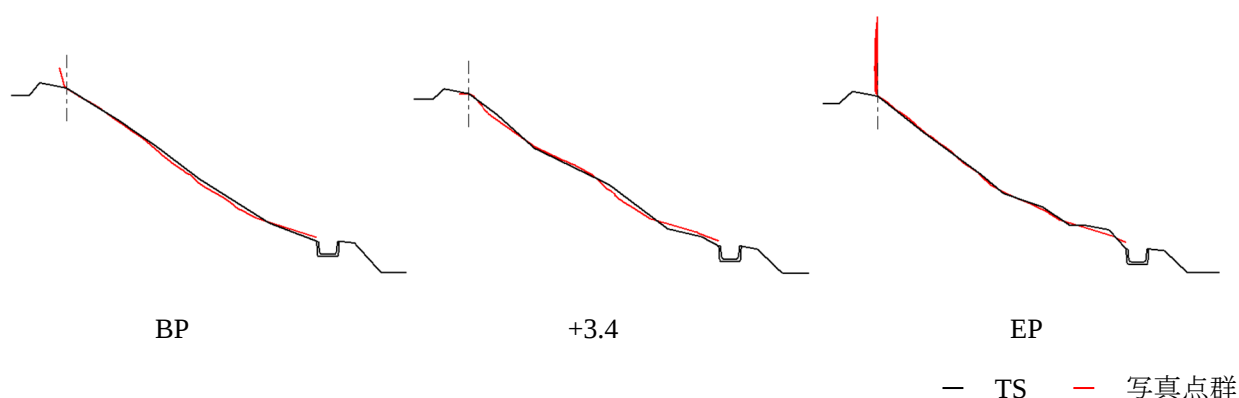


図 10 検証結果（断面図）

表 10に、較差の統計値を示す。平均値が6cm、最大値が15cm、標準偏差が4cmであった。平均値がプラス方向に標準偏差より大きく、最大値が標準偏差の3倍以上となったのは、検証地が被災から時間が経過し、枯草が倒れて積もっていたためであり、現行の20cm目盛の測量用目盛を使用するポール横断による査定設計書では無視できる値である。TSによる断面に比べると大きいですが、線状の3箇所断面図と面的に網羅的な三次元点群とを比べると、河川横断が200m間隔の深浅測量から面的な航空レーザ測量・測深に移行したのと同様、詳細設計資料、起工測量成果としても活用できると考える。ただし、状況によっては事前の草刈りや事後の精度管理が必要となる。精度管理では、植生範囲を示したり（図 8）、点群を編集したり（異常範囲の除去と内挿による再生）することを想定している。その際は、現地調査や実体視により確認する。

表 10 断面の検証結果（統計値）

位置	BP	+3.4	EP	合計	単位
検証箇所数	20	20	20	60	点
平均値	0.067	0.073	0.036	0.059	m
最大値	0.117	0.151	0.141	0.151	m
標準偏差	0.031	0.037	0.033	0.037	m

5.2. 測定間隔の検証

断面図に必要な測定間隔を検証する基礎資料とするため、測定間隔を検証した。

検証は、各断面の上部と下部から0.5m四方の範囲、合計6箇所測定点を数え、表 11のとおり整理した。最大で63mmであり、詳細設計資料、さらには情報化施工基礎資料としても利用できると考える。なお、3断

面ともに下部の方が広いのは、カメラ光軸と斜面のなす角が小さいためである。また、+3.4上部は主滑落の先端に膨らみがあって写真の解像度が低くなるため、BP上部やEP上部よりも点数は少ない。

表 11 測定間隔の検証結果（各検証範囲0.5 m×0.5m）

位置	BP上部	BP下部	+3.4上部	+3.4下部	EP上部	EP下部	単位
測定数	421	107	283	63	427	195	点
平均測定間隔	24	48	30	63	24	36	mm/点

5.3. 作業時間の検証

迅速性を確認するため2024年7月の豪雨で被災状況を査定するための発注業務『農地崩壊地断面図作成』に、本手法を適用した。被災場所及びデータ処理場所は次のとおりで、現況の写真は図 5右下に示したもので、農地崩壊地としての規模は標準的である。

- 被災場所（写真撮影）：山形県最上郡鮭川村
- データ処理場所：福島県会津若松市

使用カメラや撮影設定は、表 7に準じているが、露光時間と絞り値は、1/200秒とF5.6とした。地上写真点群測量の諸元は表 12、小規模崩壊地の大きさは表 13のとおりである。稼働時間は、表 14のとおりである。ここで稼働時間とは、実際に作業が行われた時間や要員をいう。

表 14には、地上写真点群測量の迅速性を検証するため、技術は要するが小規模崩壊地の断面作成の標準手法であるポール横断よりも迅速で、かつ一般的に採用されるTSによる断面図作成（以下「TS断面測量」と呼ぶ。）の場合の値も添えた。なお、農地崩壊地断面図作成では、平面図は標準成果とされているが、写真地図に代えることができる。

稼働時間は、地上写真点群測量が148分（実測値）、TS横断測量が182分（経験値）と、19%程度の差となった。

所要時間で比較すると、表 15のとおりである。ここで所要時間とは、待機を含めて要員の全員（表 14では最多要員に当たる）が費やした延べ時間をいう。また、SfM/MVS処理のような自動処理で、その時間を他の作業に使用できる自由時間（表 14では10分）は省く。

表 12 写真点群測量の諸元

項目	値
使用カメラ	ソニーα6000
写真枚数（全体）	6枚
同（補備）	40枚
作業人数	2人
断面数	3断面

表 13 小規模崩壊地の大きさ

位置	長さ[m]
最大幅	22.0
最大高さ	5.0
最大奥行き	15.2

表 14 稼働時間

作業区分	地上写真点群測量			TS断面測量（経験値）		
	項目	時間[分]	要員[人]	項目	時間[分]	要員[人]
外業	草刈り	30	2	草刈り	20	3
	杭設置等	10	2	杭設置等	7	3
	準備	10	2	査定用写真撮影	15	3
	三軸標定規の設置	3	2	測量準備	10	1
	立体写真の撮影	20	1	TS設置・断面観測	30	2
	写真の精度管理	5	1	TS設置・平面観測	30	2
	送信	10	1	—	—	—
	移動	—	2	移動	—	3
	時間小計／最多要員	88	2	時間小計／最多要員	112	3
	SfM/MVS準備	15	1	—	—	—
内業	SfM/MVS処理	10	0	横断手簿作成	10	1
	断面図作成	30	1	断面図作成	30	1
	写真地図作成	5	1	平面図作成	30	1
	時間小計／最多要員	60	1	時間小計／最多要員	70	1
計	時間合計／要員合計	148	3	時間合計／要員合計	182	4

その結果、地上写真点群測量の総合所要時間（226分）は、TS横断測量（406分）の44%となった。

この値には会社から現場、現場から現場への移動時間における要員数（地上写真点群測量2人、TS断面測量3人）の削減が含まれないため、実質的な所要時間の差はさらに大きいといえる。

以上により、大幅な省人化が実現できた。

表 15 所要時間

手法	区分	稼働時間 [分]	最多要員 [人]	自由時間 [分]	所要時間 [分]	総合所要時間 [分]
地上写真点群測量	外業	88	2	0	176	226
	移動	—	—	—	—	
	内業	60	1	10	50	
TS断面測量	外業	112	3	0	336	406
	—	—	—	—	—	
	内業	70	1	0	70	

6. 課題

本研究開発では、SfM/MVSを基幹機能とする、農地の小規模崩壊地における三次元点群、延いては査定設計書を作成する技術開発を行った。

一方、SfM/MVSは、誤解を恐れずにいえば、誰でもが三次元点群を作成できる技術である。そのため写真枚数が多くなる重複度の大きい撮影が必要で、撮影や処理時間、データ管理時間等が長くなる。正確さの確保に不安が伴うなど、自動処理ならではの欠点がある。

そこで、これらを解決する方法をカメラの性能や撮影の方法に取り入れている。それらは、例えばTS観測における正準、求心、視準、対回観測、倍角観測、気象補正、辺数制限、節点間距離制限、路線長制限といった正確さの確保に相当する技術であり、簡単に身につけられるものではない。ただ、写真点群測量では技能は要しないため、作業マニュアルに相当するものも整備していて、それを実践で試し、よりよい教育法を確立したり、作業マニュアルの質を上げたりすることで解決する。

『三軸ん』は、予算や製造ロットの都合から、3Dプリンターを使用し、樹脂で製造している。その結果、強度を確保するために構成部品の外壁と内壁の間の厚みが厚く、質量が大きくなっている。格納ケースを含め、6.8キログラムである。

強度を維持し、安価に軽量化した製造が望まれる。

立体写真が開放状態となる三軸座標規の外側は、崩壊地の範囲を示す崩壊地上端両脇の杭を使用して縮尺補正することとしているが、どのくらいの規模から補正が必要なのか、補正の結果は適切となるのか、カメラの性能と合わせて検証する必要がある。

鮭川村で作成した三次元点群は、別途、検証して詳細設計に利用している。今後は、起工測量や情報化施工に供する基礎資料としての検証も必要である。

本研究開発の目標である防災・減災への測量による貢献は、当社のみで行えるものではない。

今回、開発した手法を広く、かつ合理的に普及させていくためには、前述の教育や軽量化を踏まえ、普及のための仕組み作りや組織作りが必要と考える。

7. まとめ

各地で頻発する自然災害に対する防災・減災への貢献を目指し、地域にとっては重要である農地の小規模崩壊地の迅速な復旧に寄与する研究開発に取り組んでいる。

崩壊地が、被災表面が雑然とし、立体写真の自動マッチングが良好に行えることに着目し、災害復旧のための査定設計書に必要な断面図の作成方法について検討した。

その結果、小規模崩壊地を適用範囲とすることで、SfM/MVSでも精密測定に適用できることを示した。

デジタル一眼レフカメラの登場以降、デジタル一眼レフ、現在ではミラーレス一眼のカメラが、TSと同等に測量として利用できるようになった。しかしながら撮影や処理の難しさから、適用範囲は工業計測や文化財調査等に限られていた。

本研究開発では、精密な撮影・測定方法と操作性の高い処理方法との統合による、新たな地上写真測量のあり方を示した。

SfM/MVSソフトを使用したのが、実態としては公共測量作業規程の準則で規定する自動標高抽出にあたる写真測量による高精度で高密度な三次元点群作成方法を示した。

その結果、測定精度は、TS横断測量と同等であることを示した（表 10）。作業時間は、TS横断測量で行う場合に比べ、稼働時間の19%、所要時間の44%が削減でき、移動時間等を加えるとさらに効果が高く、迅速性が大きく向上することを示した。

農地の小規模崩壊地への復旧に関わる迅速化、省人化を示した。また、詳細設計資料にも利用できることも考慮すると、有効性は非常に高いといえる。

参考文献

- 1) 福島県農林水産部：令和4年8月3日からの大雨・洪水による農林水産業被害状況 - 福島県ホームページ <https://www.pref.fukushima.lg.jp/uploaded/attachment/530345.pdf> （2025年5月16日 閲覧）
- 2) 農林水産省農村振興局整備部防災課災害対策室：災害復旧事業の流れが解る大規模災害時における災害復旧の手引き～発生時から復旧完了まで～，農林水産省，2022
- 3) 農林水産省農村振興局防災課監修：農地・農業用施設・海岸等 災害復旧事業の復旧工法，pp.86-105，農林水産省，2015
- 4) 農林水産省農村振興局防災課：スマートフォン等による三次元データを活用した災害復旧の効率化マニュアル，pp.19, 24, 38-41，農林水産省，2023
- 5) 古川泰隆：複数画像からの三次元復元手法，pp.33-70，－CVMチュートリアル－ コンピュータビジョン最先端ガイド5，2012
- 6) 藤吉弘亘，山下隆義：Scale-Invariant Feature Transform（SIFT），pp.5-28，－CVMチュートリアル－ コンピュータビジョン最先端ガイド2，2010
- 7) 津留宏介，村井俊治：デジタル写真測量の基礎～デジカメで三次元測定をするには～，pp.42-44, 87-113，日本測量協会，2017
- 8) Hirschmuller,H.：Stereo processing by semiglobal matching and mutual information. pp.328-342, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 30(2), 2008