阿蘇大橋地区斜面防災対策工事の取り組み（その２）
～土砂移動のモニタリング～

国際航業株式会社　○鳥田英司　森山裕二　堀川毅信　島田徹
国土交通省九州地方整備局　光武孝弘　野村真一
株式会社熊谷組　中出剛　西尾正隆　土居陽介
日本工営株式会社　柴崎宣之　八千代エンジニヤリング株式会社　池田誠

１　はじめに

熊本地震で発生した阿蘇大橋地区の崩壊地において、航空レーザ計測やUAV計測により三次元データを取得し、斜面防災対策工事の基礎資料とした。

立ち入りが規制された状況下で、豪雨後の地形変化やラウンディング工の進捗に合わせてUAVによる計測を繰り返し実施し、三次元地形解析による崩壊の拡大状況や、工事の進捗状況等を把握した。

工事着手から完了までのUAV計測による三次元地形データの取得と、設計・施工現場における解析データ活用の一連の流れについて報告する。

２　計測及び解析の流れ

はじめに現況把握のために航空レーザ計測を実施した。その後は土砂移動状況のモニタリングと、対策工検討のための地形データ把握を目的としてUAVによる計測・解析を、対策工事と梅雨や台風・秋雨期などの気候の節目に合計6回実施した（図1）。

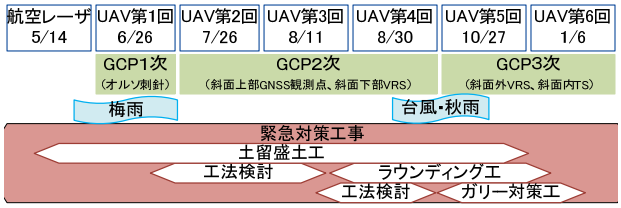

図 1　目的の推移と計測・解析の流れ

対象地域は熊本空港の管制空域下にあり、また、斜面対岸の安全な場所から目視外飛行による撮影を行うため、所定の飛行許可申請手続きを実施した上で、以下の手順により計測及び解析を行った(図2)。

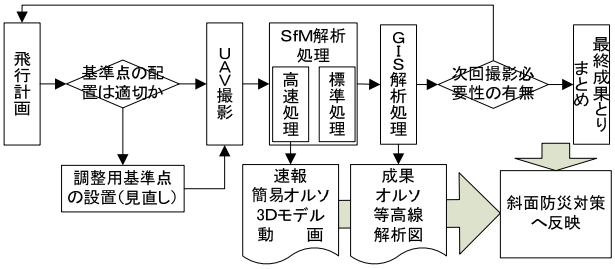

図 2　計測及び解析の実施手順

３　使用機器と撮影計画

３．１　使用機器

UAV撮影では主として以下の機器を使用した(図3)。

◎ UAV本体：エンルート社製Zion QC730（最大飛行時間30～40分、最大積載量2.5kg）

◎ 撮影機器：ソニー社製α6000（撮像素子APS-C：23.5cm×15.6cm、撮影画質6000×4000pixel）

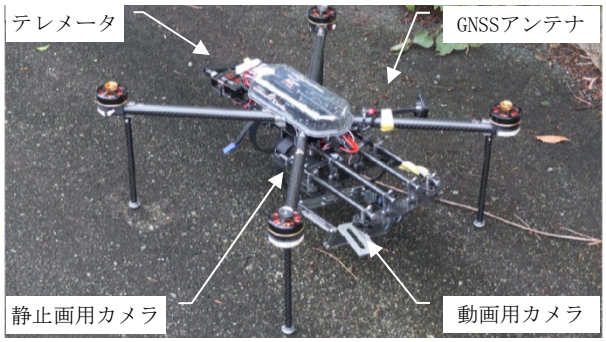

図 3　使用機器 Zion730

画像解析及び地形解析には主として以下のソフトウエアを使用した。

◎ 画像解析：Pix4D社製　Pix4D Mapper Pro

◎ 地形解析：Esri社製　Arc GIS 10.3 forDeskTop（3D-Analyst、Spatial Analyst機能追加）

３．２　撮影計画

航空管制当局からの指示で対地高度上限50mまでという制限のもと、樹高20mを越える杉林に周囲を囲まれた標高420～750m（比高330m）、平均勾配25度の起伏に富んだ崩壊斜面をUAVで安全かつ正確に計測するために、崩壊方向に沿った飛行コースを計画し、地上解像度約3.0cmで、解析に必要なオーバー・サイドラップが確保できる撮影計画を策定した。全ての撮影は、原則として本計画に基づいて実施した(図4)。

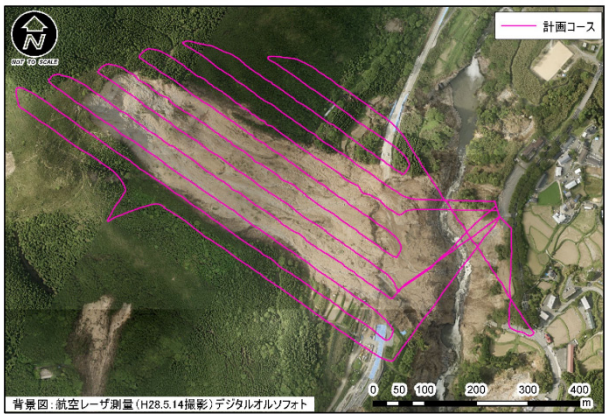

図 4　飛行計画

４　斜面防災対策工事における活用

撮影した画像は、その日のうちにSfM解析処理を行い、翌日には、簡易オルソフォトや撮影動画を速報として工法検討や工事担当社に報告、数日後には、デジタルオルソフォトや三次元地形モデル、等高線、差分解析図等を報告し、斜面防災対策工事の基礎資料として活用した（図2）。

４．１　排土及び斜面の土砂移動状況把握

撮影毎にDEMの差分解析を実施し、斜面内の土砂移動状況と工事の進捗状況を計測した。崩壊発生直後の航空レーザ計測とラウンディング工終了後(1/6 UAV撮影)のDEM差分解析の結果、頭部不安定土塊の排土量及び斜面途中の堆積量等を推定した（図5）。

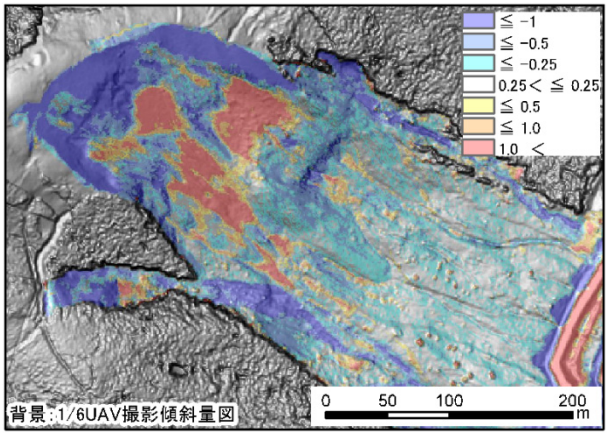

図 5　差分解析図（UAV1/6 － LP5/14）

４．２　熊本側崩壊地の土砂移動状況把握

大規模崩壊斜面本体に注目が集まる一方で、UAVによる連続計測によって斜面西側（熊本側）の小崩壊地で、新たなガリー侵食の発生が確認された。ガリーは5月から8月までの3ヶ月間で延長100m、幅16mまで発達した（オルソフォトGIS計測）。このガリー浸食の拡大を放置した場合、頭部の岩塊の崩壊による危険性が予想された。そこで、ガリー上部に残る岩塊の除去を追加で実施した（図6）。

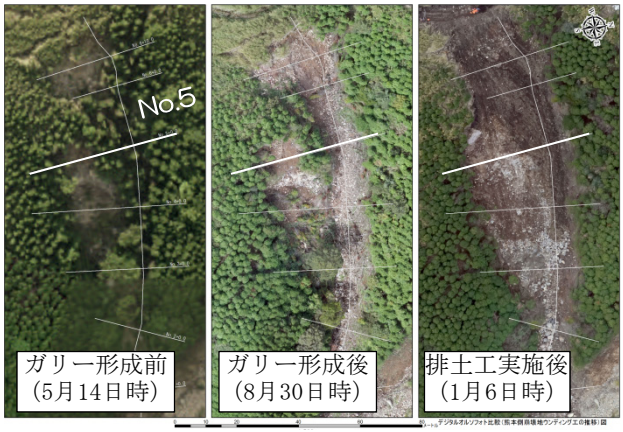

図 6　ガリー発達状況と不安定土塊排土後の状況

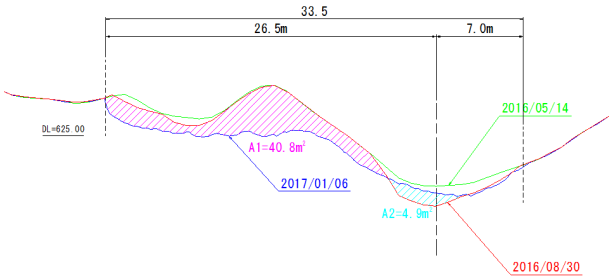

図 7　ガリー代表横断図（No.5）

岩塊の除去は、オルソフォトや地形モデルから作成した縦横断図を基礎資料として必要な範囲を決定し、実施、その実施状況についても同様に確認した(図7)。

４．３　頭部滑落崖の土砂移動状況把握

オーバーハング状の斜面頭部の地質や浮石の状況を把握するために斜め方向から撮影を行い、三次元地形モデルを作成し、不安定土塊を除去するためのラウンディング工の範囲検討の基礎資料とした。

４．４　排水工位置決定のための水文解析

第3回（7月26日）の地形モデルを元に水文解析を実施、崩壊地内の主な澪筋を抽出し、土留盛土工の排水工位置検討の基礎資料とした。

５　計測精度

５．１　ＧＣＰ（標定点）配置の推移

梅雨期の豪雨直後の現況把握から、工法検討の基礎地形データ取得、工事進捗状況把握と計測の目的は変化した。また、工事後半にはラウンディング工実施のために、それまで使用していた斜面上部のGCPが撤去された。これら計測目的と状況の変化を踏まえて、GCPの配置は逐次見直した（図8）。

◎ 当初：オルソフォト（航空レーザ）GIS座標計測
◎ 2～4回：上部 GNSS観測点座標、下部 VRS計測
◎ 5～6回：上部下部 VRS計測、内部 TS測量

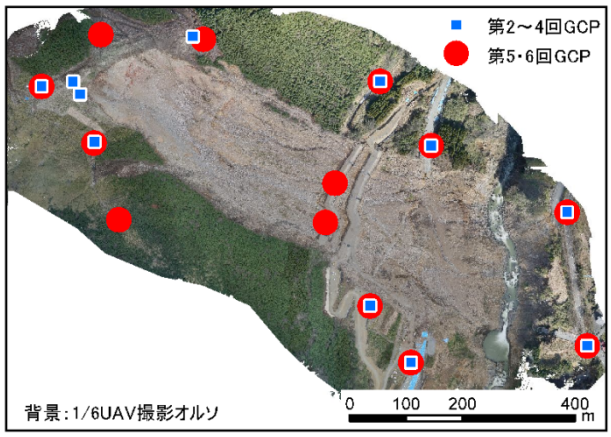

図 8　GCP配置図

５．２　計測誤差

第3回と第5回計測時に、斜面内に検証用の対空標識を遠隔操作式建設機械を用いて設置し、計測誤差を確認した。測量規程に定める内部標定点が設置できないという偏った配置だが、航空レーザ計測のレベル1,000相当の精度を有することが確認できた(表1)。

表 1　計測誤差一覧

	X較差	Y較差	Z較差
第3回	+0.390	+0.250	+0.138
第5回内部検証点1	-0.025	+0.018	+0.031
〃　2	+0.009	-0.008	+0.162

６　おわりに

一連の作業で、立ち入り困難な大規模崩壊地でのUAV計測の有用性が確認された。特に、繰り返し計測で対象斜面の経時変化を把握、対策工の進捗や問題点を把握できた点は注目される。一方で、崩壊地内部のGCPの配置方法や精度の検証方法等に課題が残された。今後、災害現場以外の様々な砂防領域においても活用の幅が広がることが期待される。