

UAVによる災害後の溪流点検手法の高度化へ向けた提案

国土交通省 九州地方整備局 阿蘇砂防事務所 梶原 慎一^{*}、山下 聡^{*}
 アジア航測株式会社 佐藤 厚慈、○鳥田 英司、菊地 瑛彦
^{*} 現所属：九州地方整備局 河川部

1 はじめに

土石流災害や、豪雨・地震の発生後等その危険性が高まったと考えられるとき、初動対応として緊急巡視が実施される。従来はヘリコプター等の有人機に調査者が乗り込み空中から、あるいは徒歩で地上から目視による状況把握を行っていた。近年は無人航空機（以下 UAV という）の技術的進歩により、マルチコプター等の UAV を用いた空中動画撮影が緊急巡視の手法の一つとして多用されている。

空中撮影動画は概況把握に優れる一方で、変状発生箇所的位置や規模の把握が難しいという弱点があった。この弱点を補うために、撮影動画から SfM 解析による三次元地形モデル作成が行われている。精度面でも RTK 測位された位置情報の活用など改善が進んでいる。

しかし、既往地形標高モデルと差分解析を行うための地形モデルの位置精度や、視点場の自由度や画像の鮮明性については未だ改善の余地がある。

本検討では、小型化・高性能化および低価格化が近年著しい 360 度 VR カメラに着目し、高解像度マッピングカメラとの併用による災害後の溪流点検手法のさらなる高度化について検討した。

2 検討手法

熊本県阿蘇市および南阿蘇村に位置する土石流危険溪流「上の小屋川 2」と「三王谷川 1」を対象に、UAV による空中動画・写真撮影を実施し、撮影動画・静止画より三次元地形モデルを作成、その有効性を検証した。

2.1 検討手順

検討の項目および手順を下図に示す。

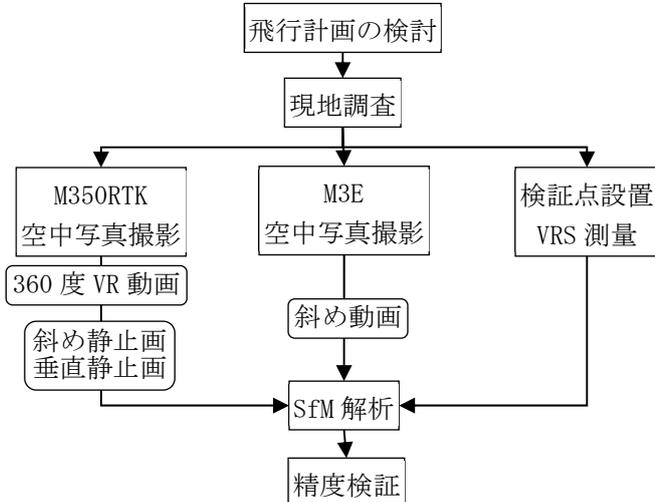


図 1 検討の実施フロー

2.2 使用機器

UAV は 360 度 VR 動画撮影用カメラ (Insta360 社製 X4) と高解像度マッピングカメラ (DJI P1+35mm レンズ) をデュアルジンバルに取り付けた DJI 社製 Matrice350RTK (以下 M350RTK という) と、Mavic3 Enterprise (以下 M3E という) の 2 機種を使用した。SfM 解析は Pix4D Mapper Ver4.9.0 を使用した。



機種	DJI Matrice350RTK	DJI Mavic 3 Enterprise
ジンバル	デュアル	シングル
静止画カメラ	DJI P1	(固定)
焦点距離	35mm	12mm
サイズ	35.9mm×24mm	17.7mm×13.3mm
解像度	8192×5460	5067×6048
FOV	63.5°	35°
動画カメラ	8K (Insta360 X4)	4K

図 2 使用機器の概要

3 飛行計画

飛行計画は撮影機材と方法別に 3 ケースを検討した。

表 1 撮影飛行ケース

ケース	機体	撮影内容
1	M350RTK (P1+X4)	360° VR 撮影、斜め静止画撮影
2	M350RTK (P1+X4)	”、垂直静止画撮影
3	M3E	斜め動画撮影

飛行高度はカメラの焦点距離やセンサーサイズ、FOV 等の基本諸元を元に、斜め撮影時の撮影幅がほぼ同等となるように、M350RTK は 140m (飛行高度制限を考慮)、M3E は 100m とした。

飛行コースは、対象溪流の直轄砂防堰堤を中心に、その上下流に渡って溪流沿いの往復コースを設定した。

4 検討結果

4.1 360 度 VR 動画

M350RTK で撮影した 360 度 VR 動画は、ヘリコプターに搭乗して現場を視察するように、見たい場所を自由に選択可能である。河床部から源頭部まで視点を移動でき視野角を調整できるため、画郭が固定された M3E の動画と比べて、画質の面でやや劣るものの、フレームに収まらない未撮影範囲が生じず、非常に高い臨場感をもたらすものであった。

上の小屋川 2 に設置した各堰堤の左右袖天端及び水通し下流部に設置した検証点を用いて、解析結果の位置精度を検証した。

表 3 検証点位置精度 (M350RTK 斜め撮影)

検証点名	X 誤差	Y 誤差	Z 誤差
GCP201	-0.071	-0.068	-0.345
GCP202	-0.086	-0.069	-0.311
GCP203	-0.080	-0.083	-0.329
平均	-0.078924	-0.073368	-0.328720
標準偏差	0.005893	0.006555	0.013950
RMS エラー	0.079144	0.073661	0.329016

表 4 検証点位置精度 (M350RTK 垂直撮影)

検証点名	X 誤差	Y 誤差	Z 誤差
GCP201	-0.004	0.031	-0.383
GCP202	-0.020	0.066	-0.371
GCP203	0.005	0.039	-0.423
平均	-0.006460	0.045377	-0.392142
標準偏差	0.010340	0.014692	0.022106
RMS エラー	0.012192	0.047696	0.392764

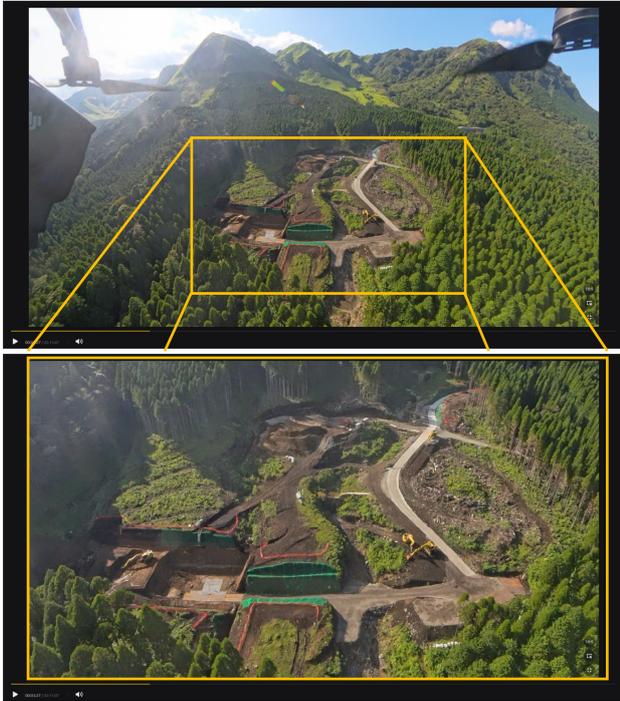


図 3 360 度 VR 動画撮影事例

4. 2 高解像度静止画

M350RTK による静止画解像度は、斜め撮影 2.41cm/画素、垂直撮影 1.72cm/画素と、M3E の動画 5.44cm/画素と比べて 2~3 倍の分解能であった。

緊急巡視を想定して標定点を使わず、ジオタグ情報のみで SfM 解析を実施した。M350RTK の解析写真枚数は斜め垂直共に M3E サンプルング画像のほぼ 1/2 だったが、画像 1 枚あたりのデータサイズが 16MB と M3E 0.95MB の 16 倍であり、処理時間は約 3~6 倍を要した。処理面積は M350RTK と M3E より M3E 斜め画像はほぼ同等だったが、M3E の垂直撮影は半分以下の範囲だった。

表 2 SfM 解析の概要

ケース	撮影方法	解像度 (cm)	写真枚数 (枚)	面積 (Km ²)	解析時間 (分:秒)
1	M350RTK 斜め撮影	2.41	145	0.227	98:26
2	M350RTK 垂直撮影	1.72	142	0.097	48:44
3	M3E 斜め撮影	5.44	285	0.389	15:45



図 4 SfM 解析結果 (上: 斜め、下: 垂直撮影)

地形モデルの位置精度は、M350RTK 斜め及び鉛直撮影共に、検証点での誤差は水平方向 10cm 以内、高さ方向 40cm 以内と、M3E の斜め動画の水平 20~60cm、高さ 30~60cm 以内と比較して、1.5~2 倍程度向上した。オルソフォトの画質についても垂直静止画、斜め静止画の順で、斜め動画より作成したものより高品質であった。

ただし、M350RTK の垂直撮影はモデル作成範囲が極端に狭くなった。一方、同機の斜め撮影は解像度的には垂直撮影にやや劣るが、位置精度はほぼ同等であった。

水平 10cm、高さ 30cm の誤差は、有人機による航空レーザー測量メッシュデータの要求精度に相当し、既往の地形標高モデルとの差分解析にも適用可能であった。

5 まとめ

中型の M350RTK に 2 つのカメラを搭載し、モニタ上で見る場所や拡大を自由に調整できる 360° VR 動画と、高精度の三次元地形モデル作成用の斜め静止画を同時に撮影する方法が、1 回のフライトで把握できる範囲や、精度と言う点では最も優れた方法と言える。

一方で、比較した M3E も小型で機動性に優れ、高い測位精度を持つ安価な機体である。4K 画質の斜め動画撮影と位置精度が水平・垂直共 1m 未満のモデル作成が可能であり、緊急時の溪流点検では有効と言える。

実際の緊急巡視にあたっては、点検実施者の機材保有状況と、VR360° 動画の必要性、点検対象の溪流数等、条件に応じて最適な方法を選択するのが望ましい。

【参考資料】

- 1) 砂防関係施設点検要領 (案) (令和 4 年 3 月、国土交通省砂防部保全課)
- 2) 砂防設備点検における UAV 活用の手引き (案) (令和 2 年 3 月、北陸地方整備局河川部)