

3D-LiDAR を用いたガリー浸食量の推定

工学院大学 ○配島 異 黒崎翔大 羽田靖史
国際航業株式会社 島田徹

1. 緒言

噴火により火山灰が堆積した流域では、土壌の浸透能が著しく低下するため、降雨による表面流が土壌表面を浸食することで、ガリーが発生・発達する[1]。ガリーは、雨水や土砂を集中させ土石流の原因となる[2]。しかし、噴火中の火口周辺は立入規制となる場合が多く、表面流の発生やガリー形成の過程を現地で詳細に監視することが困難である。この過程を長期に監視するシステムの構築ができれば、土石流の発生を予測するために有効な知見が得られると考えられる。本研究では、ガリーの詳細な監視実現のため、ガリー発生現場での3D-LiDARによる監視手法について検討し、本稿ではガリー監視における浸食量推定手法について述べる。

2. 3D-LiDAR によるガリー監視の利点と課題

LiDAR とは物体にレーザーを照射し、対象物までの往復時間から物体までの距離を測定するセンサであり、レーザー照射方向を高速に動かすことで周囲の物体の形状を計測することができる。ガリー発生現場にて3D-LiDARを用いた監視を行うことで、詳細なガリーの三次元点群データの取得ができることから、ガリーの幅及び深さ、本数、ガリー形成に伴う浸食・堆積量の計測に有効であると考えられる[3]。これらのガリー計測はUAVによるものが主流であるが、UAVの飛行コストから計測は間欠的であり、また上空からの計測では角度や精度が限定される。このため、ガリー付近にLiDARを固定設置することで高精度かつ長期の計測を行うことを目的として、具体的なガリーの幅や深さ、浸食量等の計測手法について提案する。

3. ガリー計測手法

3.1 ガリー計測手法の流れ

ガリーの幅や深さ、浸食体積等の計測手法について、3D-LiDARから取得したガリーの三次元点群から、ガリーの断面形状を取得、断面形状からガリーの幅、深さ、浸食体積を自動で計測する手法を開発した。

本計測手法は、以下の手順でガリーの計測を行う。

- ① ガリーの三次元点群から斜面に垂直方向に一定間隔で断面を複数抽出する。
- ② 断面の極値を求め、極大値を利用し回帰直線を引く。
- ③ 回帰直線とガリー断面の交点を求め、交点間の最大値を求める。
- ④ 最大値の各間の横軸方向の距離を「ガリーの幅」とし、「ガリーの幅」の midpoint と断面の極小値との縦軸方向の距離を「ガリーの深さ」とする(図1)。
- ⑤ 極大値を結んだ直線と、ガリーの断面の線で囲われた面積を「ガリーの断面積」とし算術する。
- ⑥ 各断面のガリーの断面積の総和をガリーの体積と

し、地面の浸食体積を算術する(図2)。

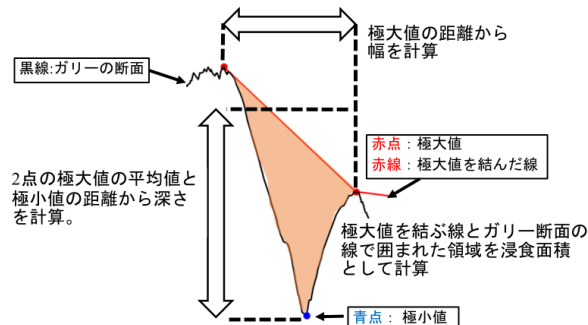


図1 提案する計測手法(1)

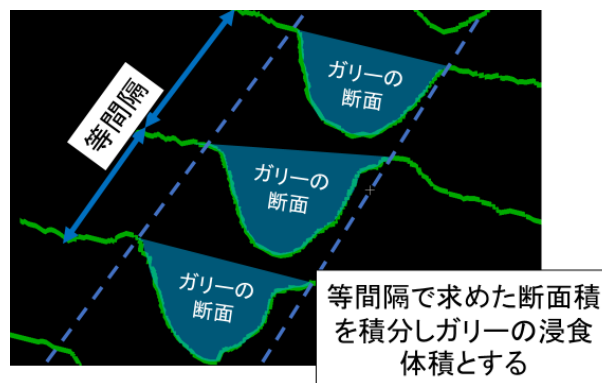


図2 提案する計測手法(2)

3.2 ガリー計測の精度評価

3.2.1 評価方法

本プログラムの精度を確認するため、ガリーに模した溝を作り、計測値と巻尺を使った手動計測による値との比較を行った。

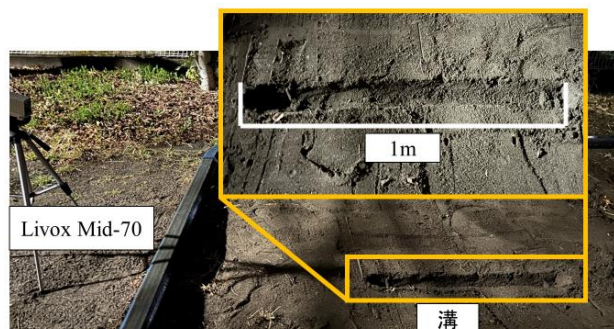


図3 計測を行った溝

手動計測は、巻尺を使って0.20m間隔で幅と深さを計測、浸食体積については容量の記載がある市販のタッパに掘削した砂を入れ測定した。

提案する計測手法で使用した3D-LiDARはLivox Technology社製のMID-70であり、レーザーの照射時間が長いほど分解能が高まる特徴を持つ。仕様を表1に示す。3分間のレーザー照射を行い、三次元点群を取

得、点群から 0.05m 間隔でガリー断面を抽出し、断面形状をもとにプログラムを用いて幅、深さ、浸食断面の面積を求め、計測した。各断面面積を積分し浸食体積の算術を行った。

表 1 今回使用した 3D-LiDAR の仕様

3D-LiDAR	
型番	Livox Technology 社製 Mid-70
解像度	レーザー照射時間が長いほど分解能が高まる
視野角 / deg	70.4(円形の視野)
距離精度 / m	0.02
撮影(測定)可能距離 / m	0.05 ~ 260
重量 / g	580
撮影可能な距離と寸法の実測値	3 分間のレーザー照射で 10m 離れた箇所から 3cm のものが撮影可能

3.2.2 比較結果

センサ側の溝の先端から 0m とし、溝 0.20m 間隔の各手動計測の値を表 2 に、手動計測の値に対してのプログラムの推定値を表 3 に示す。

表 2 手動計測による溝の値

	幅 / m	深さ / m
0.0m	0.081	0.055
0.2m	0.100	0.065
0.4m	0.100	0.061
0.6m	0.100	0.057
0.8m	0.097	0.070
1.0m	0.100	0.070
浸食体積 / m ³	0.0037	

表 3 プログラムによる算術結果

	幅 / m	深さ / m
0.0m	0.067	0.007
0.2m	0.117	0.063
0.4m	0.123	0.058
0.6m	0.122	0.067
0.8m	0.139	0.079
1.0m	0.009	0.009
浸食体積 / m ³	0.0030	

溝の深さの手動計測の値とプログラム結果を比較すると、0.2m から 0.8m 地点で平均 0.006m の差があった。またプログラムによる計測結果では溝の先端と終端が、0.007m および 0.009m であり平面に近い値であることがわかる。これは先端及び終端の手動計測が若干中心よりに計測してしまったことで生じたものと考えられる。浸食体積について、手動計測の値が 0.0037m³ に対し、プログラムによる算術結果は 0.0030m³ であり、

0.0007m³ の差が生じた。

3.2.3 考察

溝の幅の手動計測の値とプログラム結果の差について各地点で平均 0.01m の差が生じている。先端及び終端を除き、各地点は真値より値が上回っている計測結果について、図 3 に示されているような幅の算出方法が問題の可能性が考えられる。プログラムは断面の点群から回帰直線を引き、回帰直線と断面の点群を結んだ線の交点をもとに、幅とする点と深さとする点を求めるため、回帰直線と断面の点群を結んだ線の交点が必ずしも幅としたい点とはならない可能性がある。そのため図 3 のような幅のずれが生じる。この幅のずれから、浸食体積についても差が生じたと考えられる。この差を解消するためには、1 つの点群データから幅や深さ、断面面積を求めるのではなく、ガリーが発生する前の地形との差分を取ることで、図 3 のようなずれの原因が起これなくなり真値との差が縮まることができると考える。

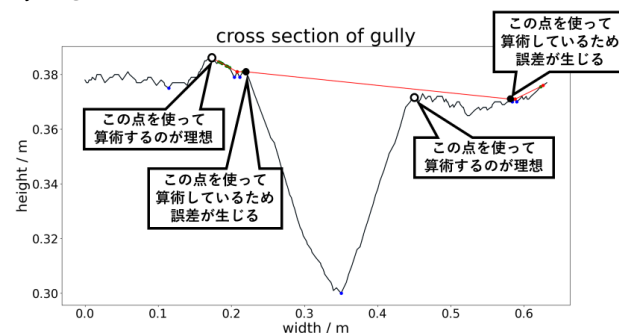


図 3 ガリーの断面の様子と計測手法の様子

4. 結言

本稿では、ガリー発生現場での監視について、3D-LiDAR を用いたガリーの浸食量推定手法について考案した。考案した推定手法について、巻尺を用いた手動計測と比較した結果、ガリーの両端部分を除き、ガリーの幅約 0.006m の差、ガリーの深さ約 0.01m の差で推定することができた。また浸食体積については、手動計測と比較した結果、0.0007m³ の差で推定することができた。この差をより縮めることで、UAV によるガリー監視よりも浸食の詳しい経過が高解像度で監視が可能と考える。

参考文献

- [1] 小橋澄治, 水山高久, 小杉賢一朗, ヘンドロヤント, “雲仙火山における降下堆積物の浸透特性”, 新砂防=Journal of the Japan Society of Erosion Control Engineering: 砂防学会誌 47(1), p47-50, 1994-05
- [2] “降灰後の土石流対策について”, 火山防災行政に係る調査企画委員会 (第 2 回), 2019 年 3 月 27 日, 国土交通省 砂防部 砂防計画課
- [3] 配島巽, 羽田靖史, 島田徹, 皆川淳, 金井啓通, 永谷圭司, “噴火降灰後の土石流発生の検知を目的としたガリー浸食監視手法の提案”, 令和 5 年度砂防学会研究発表会概要集, p.407-408