

UAV（無人航空機）による溪流地形のモデリングと土石流流動解析 -静岡市清水区小島町の例-

東海大学大学院 学生会員 ○廣林 智史
 元東海大学海洋学部 佐藤 理雄馬
 元東海大学海洋学部 杉山 洋基
 東海大学 正会員 清水 賀之

1. 研究の背景と目的

近年，UAV（無人航空機）の飛行性能の向上や画像解析技術の発展などにより，UAVによる測量が急速に普及している．土砂崩れ発生予想区域等の人が立ち入ることが困難な現場では，UAVによる測量は極めて有用である．特に山岳部の溪流地形は，樹木に覆われているため従来の航空機からでは撮影できず，水辺であるため人が立ち入ったの測量作業も難しい．本研究では，静岡県静岡市清水区小島町地内の砂防堰堤建設予定地の溪流地形を UAV によりモデリングし，土石流が発生した際の流動解析を行なうことで砂防堰堤に加わる衝撃力を推定した．

2. 現場での測定と SfM によるモデリング

砂防堰堤建設予定地である溪流地形のモデリングには，地形を複数のアングルから撮影し，その画像群から 3 次元復元を行う SfM (Structure from Motion) 手法を使用した．図 1 に SfM 手法による 3D モデル作成の流れを示す．現場は樹木が多く，大型の UAV では飛行ルートが限定されてしまうため，小型 UAV である DJI 社製の Phantom 3 Standard を使用した．さらに地形の撮影以外に溪流の傾斜測定を行なった．

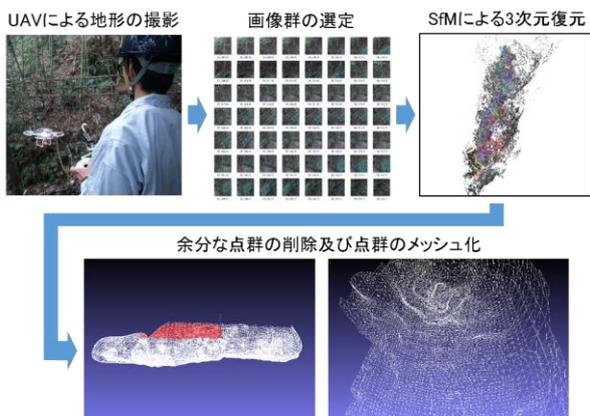


図 1. 撮影からモデリングまでの流れ

SfM 手法では複数の画像内に存在する共通の特徴点を認識し，その写り方から 3 次元的な位置関係を復元する．そのため溪流内にある岩や特徴的な地形の相対的な位置はある程度正確に再現される．しかし地形全体の方向，つまり地形の傾斜は再現が難しい．開けた場所であれば，UAV の位置を GNSS (GPS 等の全球測位衛星システム) により記録しているため傾斜の校正も可能であるが，周囲を山や樹木に囲まれた溪流では，GNSS の電波が届かなかつたり，マルチパスが発生したりして GNSS を使用できない．今回の現場でも UAV が補足した GPS は最低 3 基から最大 8 基と不安定であった．測位には最低 4 基の衛星を補足する必要があるが，UAV の安定した飛行制御には衛星 6 基以上の補足が必要とされている．

3. 傾斜の測定

傾斜を再現するために，UAV によるモデリングを行なった区域内で人が立ち入れる地点を選定し，傾斜測定を行なった．図 2 に示す傾斜測定装置には UAV の機体制御装置であるフライトコントローラを使用した．搭載されている 3 軸加速度センサの情報を読み取ることで任意の 2 点間の仰角を測定する．図 3 は仰角測定のご概念図である．専用の測量器具ではなく UAV のフライトコントローラを流用することで，UAV の機体調整の為に持ち歩く機材と傾斜測定機材が共通化でき，最小限の機材構成で済む．仰角測定は基準点を 3 点設け，そのうちの一番高度が低い点から他の 2 点の仰角を測定した．測定した仰角から地形の重力方向に対する傾斜を求め，地形モデルを校正した．3 回の撮影 (フライト) と 1 回の傾斜測定作業により，溪流約 35 m 区間の地形モデルを約 50 cm メッシュの精度で作成できた．

キーワード UAV, SfM, 土石流, 溪流, 砂防堰堤

連絡先 〒424-8610 静岡県静岡市清水区折戸 3-20-1

東海大学海洋学部 TEL 054-334-0411 (代表)



図 2. 傾斜測定装置

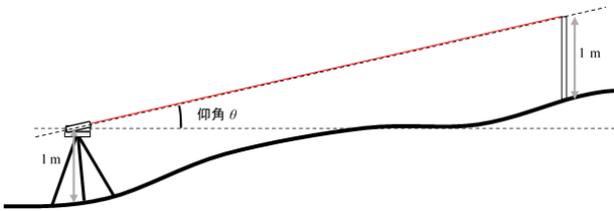


図 3. 傾斜 (仰角) 測定の概念図

4. 土石流の解析

作成した地形モデル上に高さ約 4 m の仮定の砂防堰堤を配置し、個別要素法により土石流の流れを解析した。図 4 に解析に使用した地形及び砂防堰堤モデルを示す。砂防堰堤に土砂が衝突する状況を想定し、堰堤の約 20 m 手前から 45 km/h の初速度を与えた粒子群を流し、砂防堰堤への衝撃力を求めた。衝撃力は、堰堤のモデルを 50 cm×50 cm の矩形領域に分割することで、それぞれの領域への単位面積当たりにかかる力を求めた。結果、土石流の先頭粒子が堰堤に到達したときには最大 48.91 kPa の衝撃力が加わったが、その後は 20 s 足らずで堰堤に加わる力が一定となり、堰堤下部でも加わる力は 25 kPa 程度であることが分かった。図 5 は土石流衝突時と、土石流がほぼ停止した時の衝撃力の分布を示している。

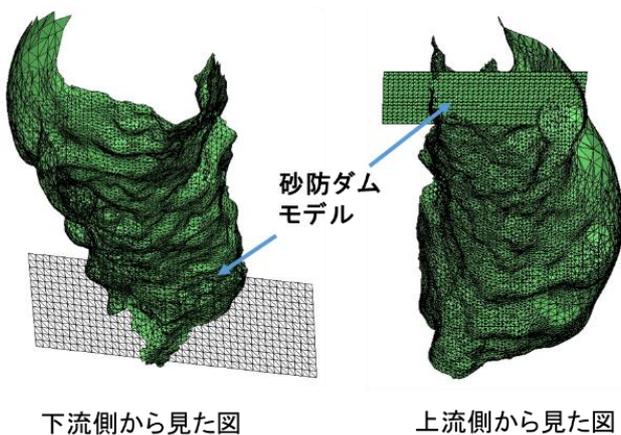


図 4. 渓流の 3D モデル

表 1. 粒子(土石流)の条件

粒子数	30000
直径	10 cm
密度	2650 kg/m ³
全粒子の体積	15.7 m ³
全粒子の重量	41.6 t
初速度	45 km/h
剛性係数(垂直)	1.0×10 ⁸ N/m
剛性係数(せん断)	1.0×10 ⁸ N/m
摩擦係数	0.6

表 2. 壁(地形)の条件

壁数	16639
一辺の長さ	平均 50 cm
剛性係数(垂直)	1.0×10 ⁸ N/m
剛性係数(せん断)	1.0×10 ⁸ N/m
摩擦係数	0.6

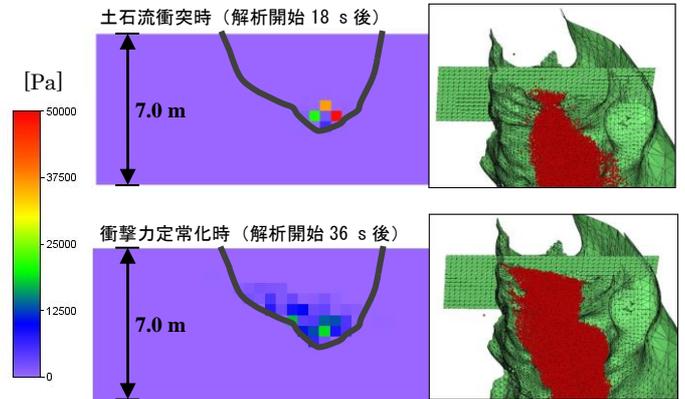


図 5. 砂防堰堤への衝撃力解析の様子

5. 今後に向けて

今後、他の溪流地形や砂防堰堤建設予定地でも本手法による地形モデル作成と土石流流動解析が有効か検討する必要がある。また、傾斜測定など人が直接溪流に入って行なわなければならない作業を極力減らし、誰でも現場作業が行なえるように UAV やその他測定装置のオートメーション化を目指す。さらに土石流流動解析について、流体力による影響、粒子の初速度による違いなど、パラメータを変更して、土砂災害の減災に向けて多角的な解析及び評価を行う必要がある。

謝辞

本研究を遂行するにあたり、現場をご提供いただいた静岡県交通基盤部の関係各位にお礼申し上げる。

参考文献

- 国土交通省国土地理院： UAV を用いた公共測量マニュアル (案)。
- 佐藤理雄馬 (2017)： 土石流シミュレーションツールの開発 -UAV(無人航空機)による航空撮影と情報処理技術、静岡県清水区小島町の地形モデル作成- 東海大学海洋学部卒業論文。