

航空レーザ計測データと UAV を用いた土石流被災状況把握事例

岐阜大学工学部 国際会員 沢田和秀
中日本航空株式会社 正会員 ○小野貴稔 非会員 千田道弘
株式会社アンドー 非会員 坪井利幸 青木英之

1. はじめに

土石流などの災害が発生した場合、第一に求められるのが被災状況の迅速な全体把握である。土砂の氾濫・堆積範囲、家屋や橋梁等の被災状況、上流域における不安定土砂による 2 次災害の危険性の有無、など多岐にわたる。このような情報を広域的に効率よく把握するためには、航空機による計測が最適な手段である。従来手法として、セスナやヘリコプターなどの有人の航空機からの計測が主流であるが、近年は普及しつつある無人航空機（UAV：Unmanned Air Vehicle）による計測も実施されはじめた。

図-1 は、平成 26 年 7 月 9 日に長野県木曾郡南木曾町梨子沢で発生した土石流災害現場の位置図である。ここで航空機（セスナ）によるレーザ計測及び航空写真データと、UAV による点群データ（写真解析データ、LAS フォーマット）について、点群データを可視化するソフトウェア「Mierre（ミエール）：中日本航空(株)製」を用いて可視化し、それぞれのデータから読み取れる被災状況を確認した。なお、航空機（セスナ）による撮影・レーザ計測は 7 月 12 日、UAV による撮影は 7 月 16 日に実施している。

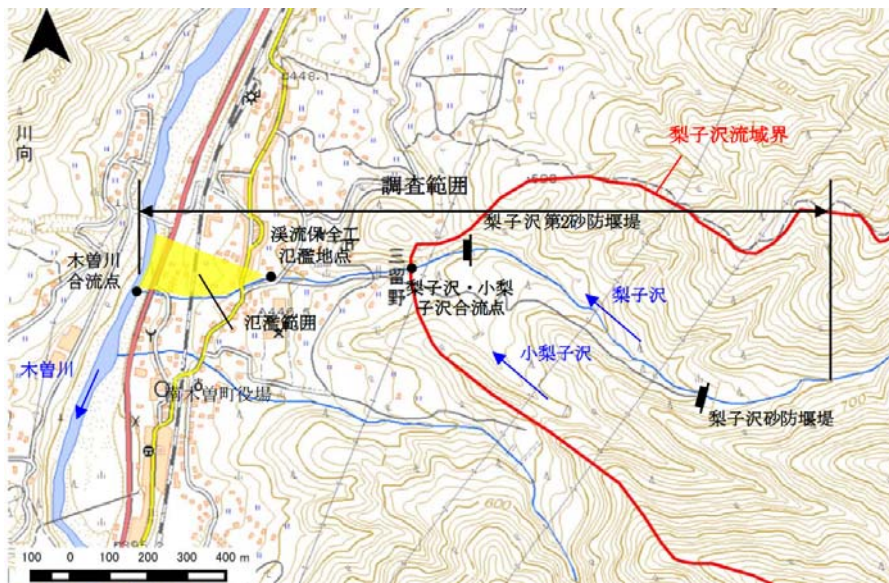


図-1 調査対象位置図（土木研究所：「長野県南木曾町梨子沢土石流調査報告」より）

2. 撮影及び計測機材と諸元

2.1 撮影及び計測機材・諸元（セスナ）

航空機（セスナ）の撮影及び計測機材・諸元は表-1、表-2 のとおりである。梨子沢を含む木曾川の左右岸のエリアー帯を航空写真撮影（垂直写真）とレーザ計測を行った。航空写真からデジタルオルソ画像（地上画素寸法 20cm）を作成した。航空レーザ計測点群データは、オリジナルデータから自動フィルタリングにより地表面のみのグラウンドデータを作成した（0.5mグリッドデータ）。

Investigation of disaster area due to debris flow using LiDAR data and photo from UAV : K. Sawada (Gifu University), A.Ono, M.Senda(Nakanihon Air Service Co. Ltd), T. Tsuboi and H. Aoki(Ando Co. Ltd)

表-1 撮影機材および撮影諸元

項目	仕様
搭載航空機（セスナ機）	セスナ C208 キャラバン
デジタル航空カメラ	UCXpWA（GNSS/IMU 装置付）
撮影地上画素寸法（撮影基準面）	16cm（地図情報レベル 1,000）
対地飛行高度（撮影基準面から）	約 1,600m
撮影重複度	オーバーラップ 60% サイドラップ 30%以上

表-2 計測機材および計測諸元

項目	諸元	備考
使用センサ	SAKURA-F1（LMS-Q780）	RIEGL 社製レーザ測距儀
対地飛行高度	1,600m	計測基準面から
飛行速度	259km/h	—
レーザ発射回数	400kHz	全波形記録方式
スキャン角度	±30°	全角 60°
コース進行方向・直行方向点間隔	0.70m	単コース設計値
コース間隔	約 900m（ラップ約 50%）	計測幅 1,847m

2.2 撮影及び計測機材・諸元（UAV）

UAV の撮影及び計測機材・諸元は表-3 のとおりである。UAV は動画及びデジタル写真撮影（斜め写真）を行った。UAV は、オペレータの目視範囲内で主に溪床沿いを飛行した。

表-3 撮影及び計測機材・諸元

項目	諸元
使用カメラ	SONY NEX7
使用レンズ	16mm（F2.8） ※24mm（35mm 換算）
画素寸法	1.5cm～3.0cm
対地高度	50m～100m
重複度	オーバーラップ 65%以上、サイドラップ 35%以上
飛行速度	5m/s（18km/h）
撮影範囲	13ha
外部評定点	19点

3. 撮影及び計測結果

3.1 撮影結果（セスナ）

セスナから撮影した垂直写真からオルソ画像を作成し、氾濫域から流域までの全体写真及び一部を拡大したものを図-2 に示す。写真-1 は氾濫域の末端（木曽川）から流域の源頭部までのデジタルオルソ画像であり、流路の延長は最大約 4km である。写真-2 は、土石流の氾濫域の状況である。氾濫範囲においては、植生と土砂との色調の変化から砂礫や流木が広く散乱している状況が把握できることから、土石流の氾濫範囲を判読することができる。写真-3 は、氾濫域内を通る県道 264 号の梨子沢橋付近を拡大したものである。被災した橋梁が歪んでおり、周囲に氾濫した礫が散乱している状況が分かる。写真-4 は、梨子沢砂防堰堤の状況写

真である。本堤と副堤が識別でき、土砂は本堤のみならず副堤とその左岸側にも土砂が堆積していることが分かる。写真-5 は中流域の主流路の溪床の状況である。写真からは堆積土砂か侵食痕跡かの判読は困難であるが、土砂の移動区間であることは確認できる。写真-6 は、流域の源頭部に近い溪床の状況である。日陰になっておりやや見づらいが、土砂の移動痕跡が確認できる。よって、氾濫域から最上流域まで溪床には土砂の移動痕跡が確認できることから、今回の土石流は最上流域から発生していることが把握できる。

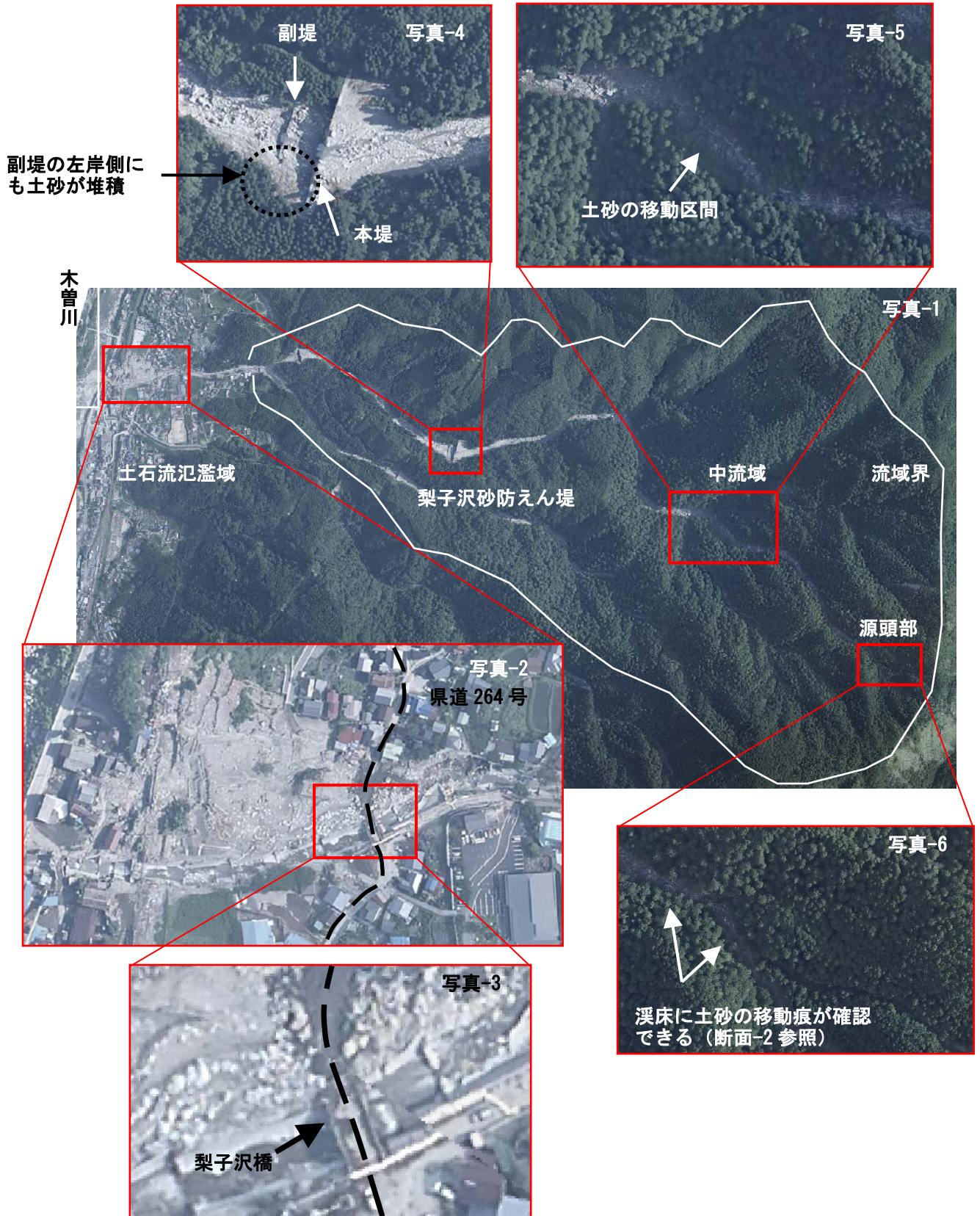


図-2 航空写真（セスナ）による撮影結果

3.2 計測結果（セスナ）

連続波形記録方式によりレーザ計測した点群データを自動フィルタリングし、グラウンドデータから地形を可視化した地形起伏図を作成した（起伏図-1、起伏図-2）。図-3 は図-2 と同じ領域で、起伏図等の配置を示した。写真-7 は前項のデジタルオルソ画像である。起伏図-1 は梨子沢砂防堰堤より下流域の地形の状況を示している。起伏図のみでは、土砂の氾濫域を詳細に把握することは困難であり、災害前の地形モデルとの標高差を表現するなど、二時期の地形解析が必要である。また、断面-1 は梨子沢砂防堰堤下流域の溪床の横断面図である。左右岸の地盤面と河床との比高が 10m 程度あることが分かる。断面図のみでは今回の災害による侵食幅と侵食深は分からないが、災害前の断面と比較することにより把握可能である。起伏図-2 は、源頭部付近の地形の状況を示している。写真-6 で確認できた土砂の移動痕跡の位置より下流域は明らかに幅が狭い溪床となっており、侵食により溪床堆積物が流出した形状となっている。このように、地形起伏図からは溪床内の侵食区間や砂防堰堤の堆砂域を把握することができる。また流域内の溪床付近の断面図を作成し、左右岸の溪岸勾配や溪床幅等を読み取ることによって、不安定土砂の有無等を推定することができる。

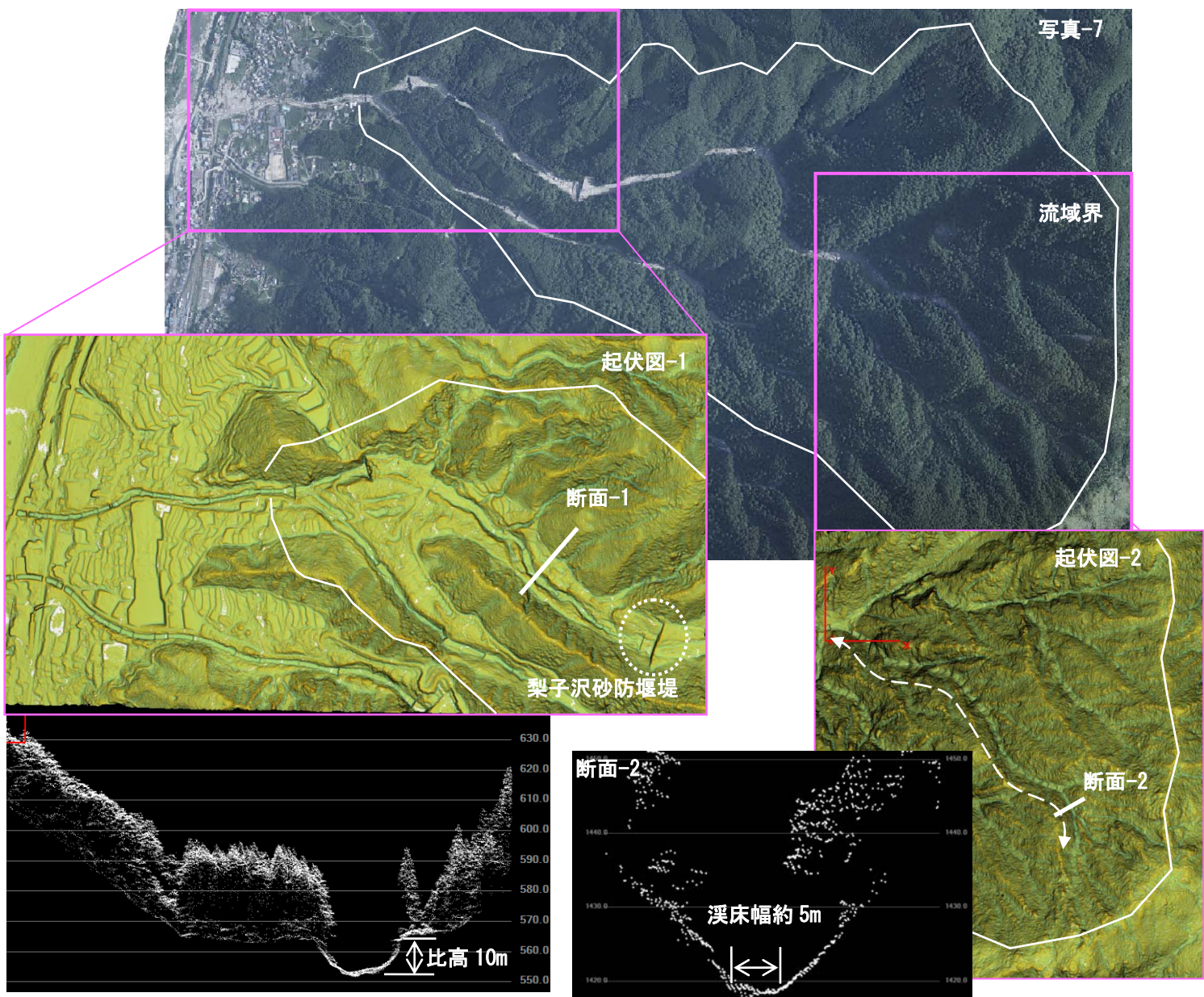


図-3 航空写真（セスナ）による計測結果

3.3 撮影結果 (UAV)

図-4は UAV によって撮影したデジタル写真(斜め)からステレオマッチングによる点群データを自動作成し、点群にデジタル写真の色(RGB)を付けたものである。写真-8は撮影範囲の全体写真である。写真-9は氾濫域を拡大した写真であるが、流木の一本一本や土石流によって流下したと思われる礫の形状、流路工の形状をはっきり認識することができる。災害発生後7日間が経過しており、仮設道路や道路わきに礫がよけられていることが分かる。写真-10は梨子沢橋付近の拡大写真である。被災した梨子沢橋は架け直されているなど、施設の形状が明瞭に判読できる。写真-11は、梨子沢橋を上流側より撮影した斜め写真から UAV の目線で地形モデルを合成したものである。特に護岸のブロック積み工の破損の状況や礫の形状、構造物・建築物の壁面など側方からの被災状況を立体的に把握することができる。写真-12は被災建築物の状況である。災害復旧により流出物の撤去が進んだ可能性もあるが、破損の程度や堆積物の状況(流木、土砂など)がよく把握できる。



図-4 UAVによる撮影結果

図-5は流域内の2地点の溪床の状況を立体的に示した写真である。写真-13は、梨子沢第2砂防堰堤の状況である。当該堰堤は水通り部を中心に縦方向、横方向に堤体が破損しており、堤体直上には被災前は堆砂していた土砂が流出している状況が把握できる。写真-14は、写真-13の水たたき部を拡大した状況である。暗くて明瞭ではないが石積み工の堰堤であることが分かるとともに、本堤と副堤との間の水叩き部が破損し、深さ約2m洗堀していることが分かる。写真-15は左支川（子梨子沢）の溪床の状況である。溪床の右岸側の侵食が激しく、左岸側に土砂が堆積している状況が分かる。写真-16は、写真-15の地点を拡大し、俯角を浅くしたものである。この写真により溪床と左右岸の侵食の状況が把握できる。当該地点では、右岸側の流下痕跡から土石流の波高が約8mであることが推定できる。

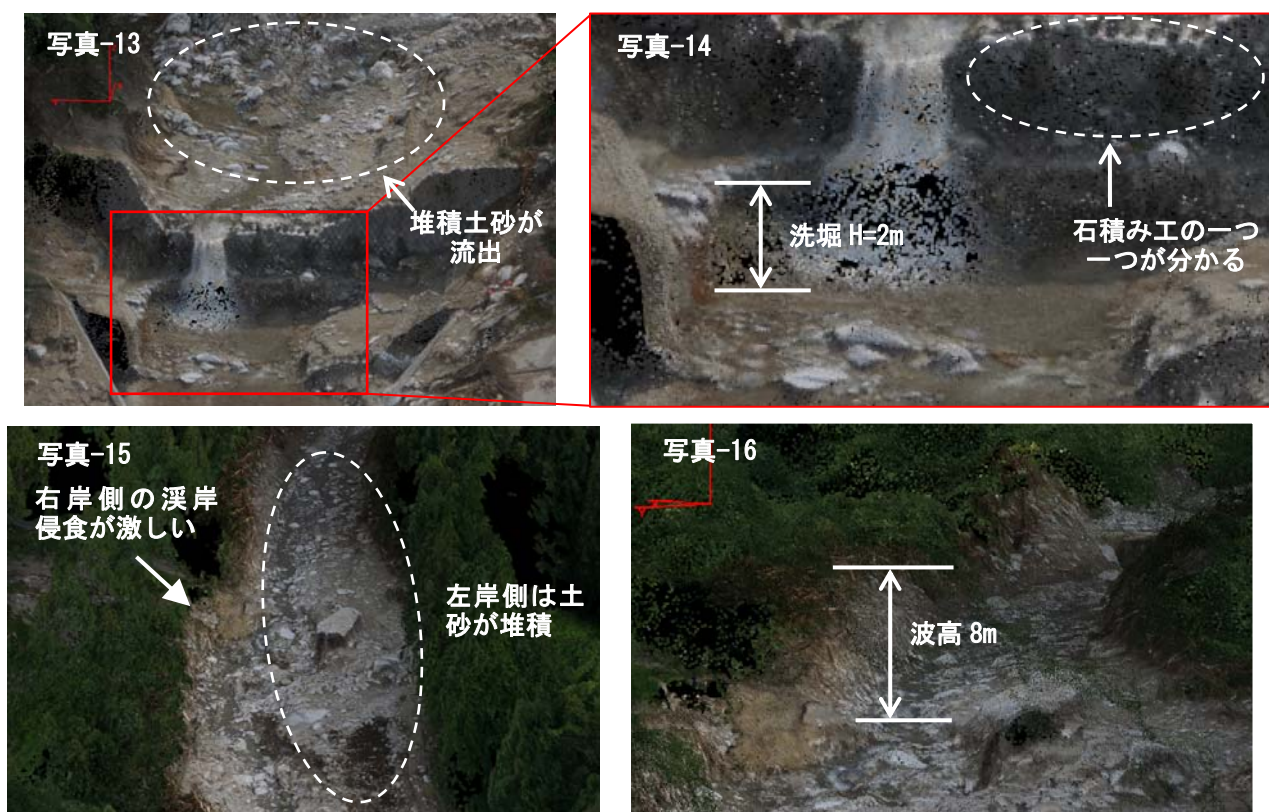


図-5 各溪床の詳細表示

4. あとがき

本論文は、岐阜大学工学部附属インフラマネジメント技術研究センターが事務局となっている UAV（小型無人航空機）利活用研究会の活動の一環として実施したものである。

航空機により撮影した航空写真からは、氾濫域末端から流域の源頭部までの広域を網羅し、概略の被災状況を把握することができた。また、レーザ計測結果から植生下のグラウンドデータを抽出し、地形起伏図による土砂の堆砂域やV次谷の有無（土砂流出区間）、点群断面図による溪岸の侵食状況などが把握可能であった。一方 UAV は、河床の上空を低高度で撮影するため、河床及び溪岸の侵食、堆砂、堆積している礫の形状、砂防堰堤や護岸などの破損状況など詳細な情報を把握することができた。また、地形モデルによる礫の大きさや土石流の波高と思われる溪岸侵食の範囲なども把握することもでき、航空機にはない詳細な情報を収集することができた。

今後は、航空機と UAV によるデータを一つのシステムに集約し、それぞれの長所を活かしたデータを効率的に利用することで、災害対応・災害復旧のための基礎データとして利用することが期待できる。さらに、災害発生前後のデータを比較することにより、迅速な被災状況の把握と災害復旧や発生現象を解明することが可能となることから、継続的にレーザ計測や UAV 撮影を実施しデータを蓄積することが重要である。