

令和3年度 治山技術等推進調査（リモートセンシングを活用した山地災害の復旧手法の検討調査）委託事業

概要版報告書

林野庁

1. 業務概要

1.1 業務目的

気候変動による降雨形態の変化に伴い、山地災害が同時多発化し、特定の地域において、脆弱地、大規模崩壊地における治山事業等の対象箇所が増加する傾向にある。そのため、豪雨や地震により同時多発的に発生した山地災害については、復旧計画の策定や箇所の優先順位付けが重要となることから、現地調査と既存の航空レーザ計測データやリモートセンシング技術を組み合わせた効率的な復旧計画の策定手法について検討する。

1.2 検討項目

検討項目を表 1.2.1 に示す。

(1)、(2) では、リモートセンシングデータによる現況地形の把握などによって、復旧計画を検討した。(3) では、(1)、(2) で検討したリモートセンシング技術の内容を踏まえ、同時多発的に山地災害が発生した場合のリモートセンシング技術の活用方法について、特に復旧計画の策定のために資する観点で整理した。

表 1.2.1 検討項目

仕様書	内容
(1)	北海道胆振東部地震による被災地域（厚真町、安平町）の崩壊地の復旧手法の検討
(1-1)	既存航空レーザ計測データと現況地形の変化の把握
(1-2)	既存航空レーザ計測データ及び既存 GIS データの整理
(1-3)	対策を実施する崩壊地の分類
(1-4)	森林復旧モデルの提案
(1-5)	現地調査
(2)	平成 30 年 7 月豪雨により被災した愛媛県（宇和島市、今治市、四国中央市、伊予市、松山市、大洲市ほか）における復旧手法の検討
(2-1)	既存航空レーザ計測データと現況地形の変化の把握
(2-2)	既存航空レーザ計測データ及び既存データの整理
(2-3)	治山対策の検討
(2-4)	現地調査
(3)	リモートセンシング技術を活用した効率的な復旧計画の策定手法及び ICT を活用した治山工事の施工方法の検討
(3-1)	復旧計画策定のための航空レーザ計測データ等リモートセンシング技術の活用方法の整理
(3-2)	治山事業における ICT を活用した現場施工の検討

2. 北海道胆振東部地震による被災地域の崩壊地の復旧手法の検討

2.1 検討の概要

北海道胆振東部地震による被災地を対象に、現地調査およびリモートセンシングデータ活用した復旧計画策定について検討した。検討の流れを以下に示す。また、検討対象範囲を図 2.1.1 に示す。

1. 既存航空レーザ計測データおよび既存 GIS データの整理
2. リモートセンシングデータを用いた現況地形の変化の把握
3. 胆振東部地震で被災した崩壊地の復旧手法の検討
4. 森林復旧モデルの提案

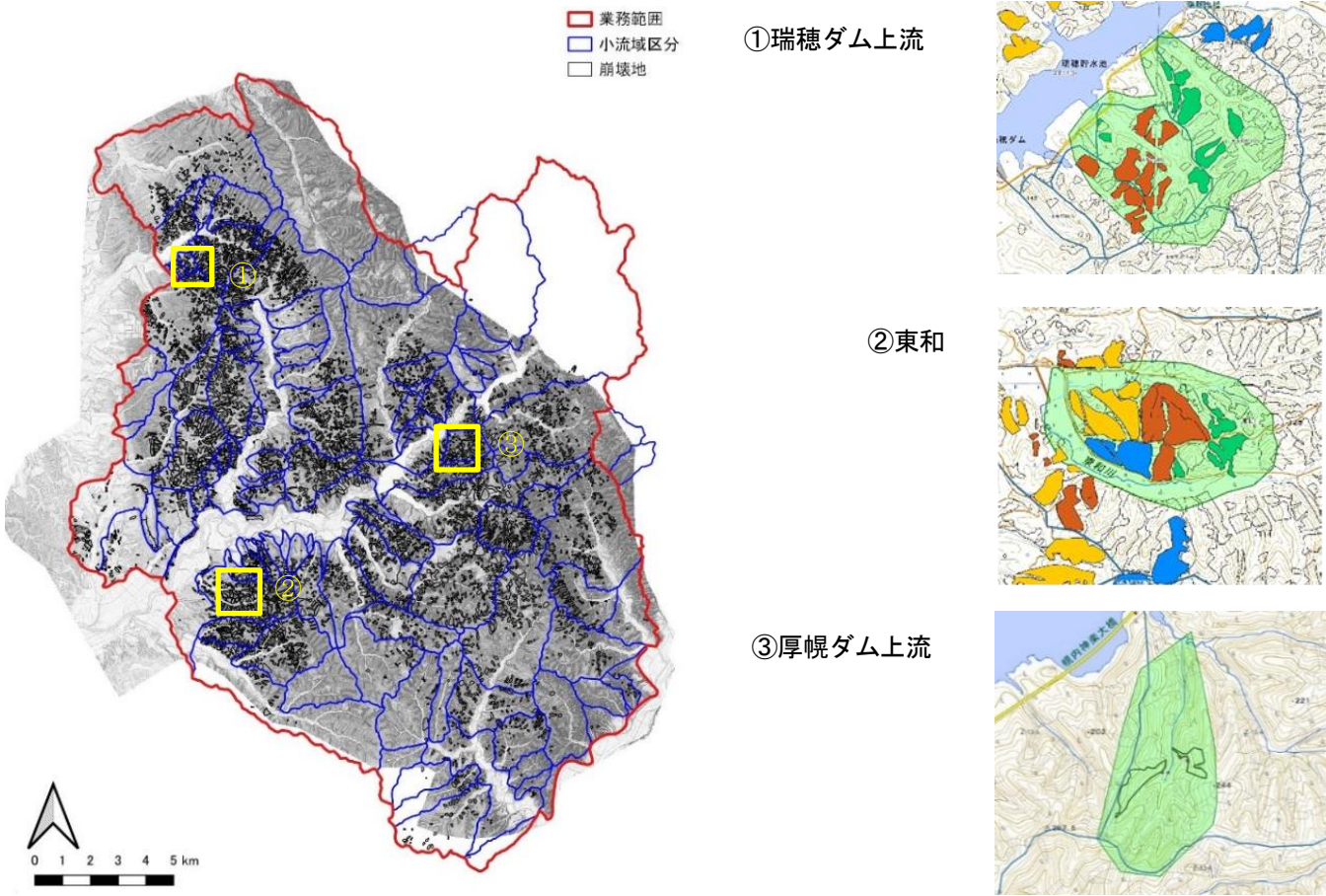


図 2.1.1 検討範囲（赤枠：検討範囲全体，黄枠：現地調査箇所）

2.2 既存航空レーザ計測データおよび既存 GIS データの整理

調査対象範囲の航空レーザ計測データおよび GIS データを収集し、整理した。収集したデータは、災害直後の航空レーザ測量データと、小流域区分、崩壊範囲、事業実施位置、保全対象位置のシェープファイルである。

2.3 リモートセンシングデータを用いた現況地形の変化の把握

調査対象範囲において取得されているリモートセンシングデータを用いて、発災直後から現在までの地形の変化を検討した。本調査では、人工衛星光学画像による拡大崩壊箇所の把握、災害直後の LP データと AW3D による標高データを用いた検討、災害直後の LP データと UAV 簡易写真測量による点群データを用いた検討、複数のリモートセンシングデータの比較を行った。

検討結果を以下にまとめる。

人工衛星光学画像による拡大崩壊箇所の把握（図 2.3.1）

- ・ 現地を確認した 4 箇所のうち、1 箇所については、新たな土砂移動が発生した所見は確認されなかった。残り 3 箇所は山腹工が施工されており、実態の確認は不可能であった。
- ・ 判読の課題として、衛星画像の倒れこみなどにより複数時期の画像で崩壊地が同じ形状で見えないことが挙げられる。拡大崩壊を正確に判読するためには、同一条件で撮影され、複数時期で崩壊地が同じ形状で見える画像を入手する必要がある。

災害直後の LP データと AW3D による標高データを用いた検討（図 2.3.2）

- ・ 標高が変化した箇所がいくつか見られたが、現地を確認すると、復旧工事に伴う地形改変が行われた箇所であった。この結果から、人工的な地形改変のような変化の大きい箇所については、LP と AW3D を用いた差分解析の結果から把握することが可能であると考えられる。
- ・ AW3D と LP データの差分解析では、広域のデータが得られるが、溪流や斜面の侵食などの土砂移動を捉える目的には適していないと考えられる。

災害直後の LP データと UAV 簡易写真測量による点群データを用いた検討（図 2.3.3）

- ・ ガリー侵食箇所が差分値として現れ、実測値とも近い値であった。本調査範囲では、0.5m 前後の地形変化までは捉えられた。
- ・ 航空 LP と UAV 簡易写真測量を用いた差分解析は、地表物の影響を受けない裸地においてガリー侵食などの土砂移動を捉えるには有効な計測方法であると考えられる。一方で、UAV 簡易写真測量により一度に得られるデータは狭い範囲であることや前述の地表物の影響などから、樹幹に遮蔽される溪流や、面積の広い流域単位の土砂移動の把握などには適していないと考えられる。

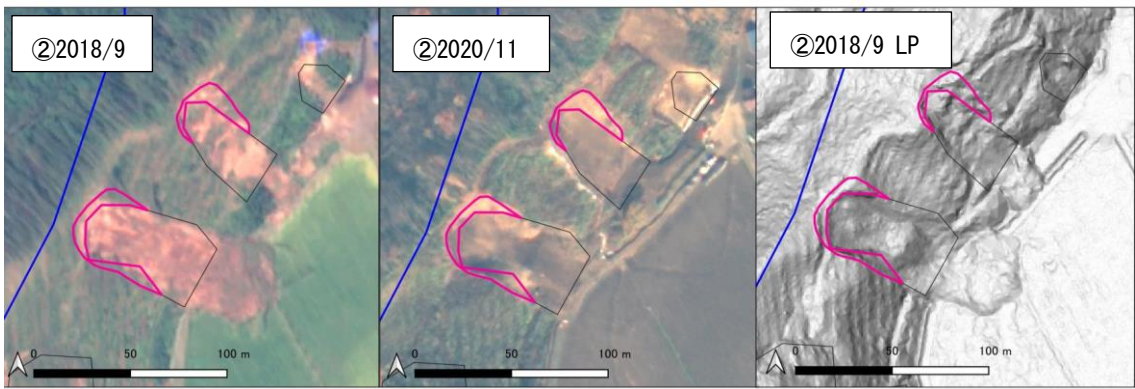


図 2.3.1 人工衛星光学画像による拡大崩壊箇所の判読結果

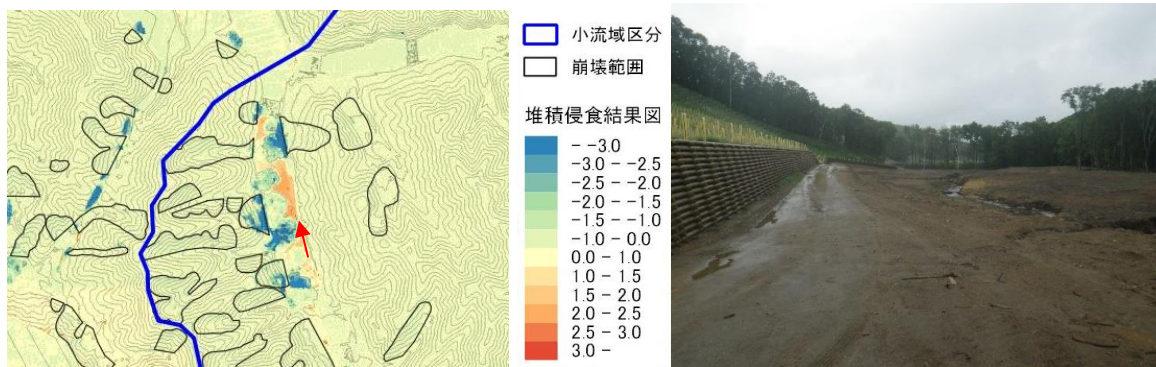


図 2.3.2 災害直後の LP と AW3D による差分解析図と写真（赤矢印は写真撮影箇所と方向）

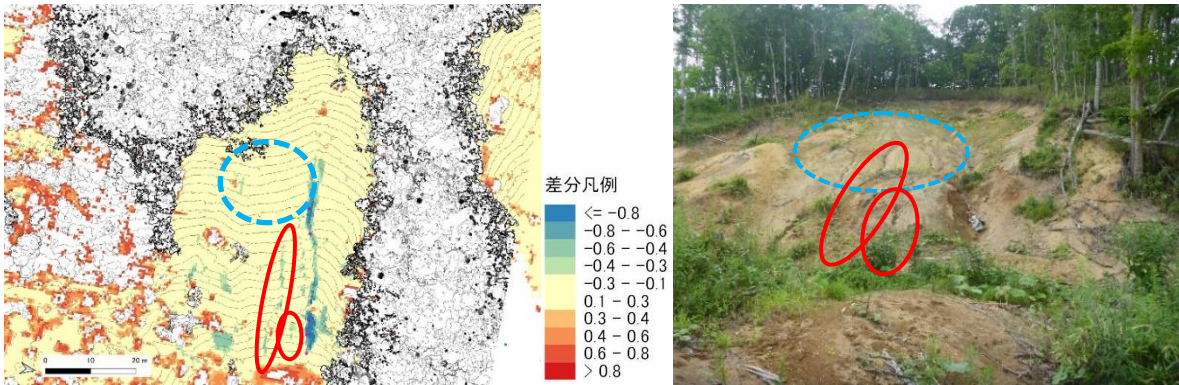


図 2.3.3 災害直後の LP データと UAV 簡易写真測量の差分解析結果と写真
(左, 2021/8 月撮影, 右, UAV 簡易写真測量－災害直後の LP 差分解析結果 (UAV の 1m 等高線を表示))

2.4 胆振東部地震で被災した崩壊地の復旧手法の検討

総合対策区域内で発生した崩壊地を対象として、復旧対策の考え方の整理および斜面形状ごとの復旧工法の例について検討を行った。

崩壊地の分類に応じた復旧例を表 2.4.1、図 2.4.1 に示す。

表 2.4.1 崩壊地の分類に応じた復旧例

崩壊地分類	①治山施設の整備による復旧が必要な崩壊地	②簡易工作物および植栽や播種等により森林を復旧する崩壊地		③自然回復を図る崩壊地
分類方法 (崩壊地の発生場)	人家や道路など重要な保全対象に近接した崩壊地	①以外で傾斜が30°未満の崩壊地		①以外で傾斜が30°以上の崩壊地
		崩壊がR:2次谷以上の河川に面する斜面で発生	崩壊がV:1次谷程度の谷に面する斜面で発生	
表面侵食の抑制	法枠工	植栽工		自然回復
	実播工(吹付)	柵工		—
	土留工	伏工		—
	柵工	植栽工		—
	伏工	航空実播工		—
	植栽工	—		—
土砂流出の抑制	溪間工(下流の渓流)	水路工・暗渠工	溪間工(下流の渓流)	溪間工(下流の渓流) ※崩壊地の箇所数が特に多い場合
保全対象	建物 道道 その他道路(町道クラス)	林道 徒歩道など 種別不明の道路 農地		

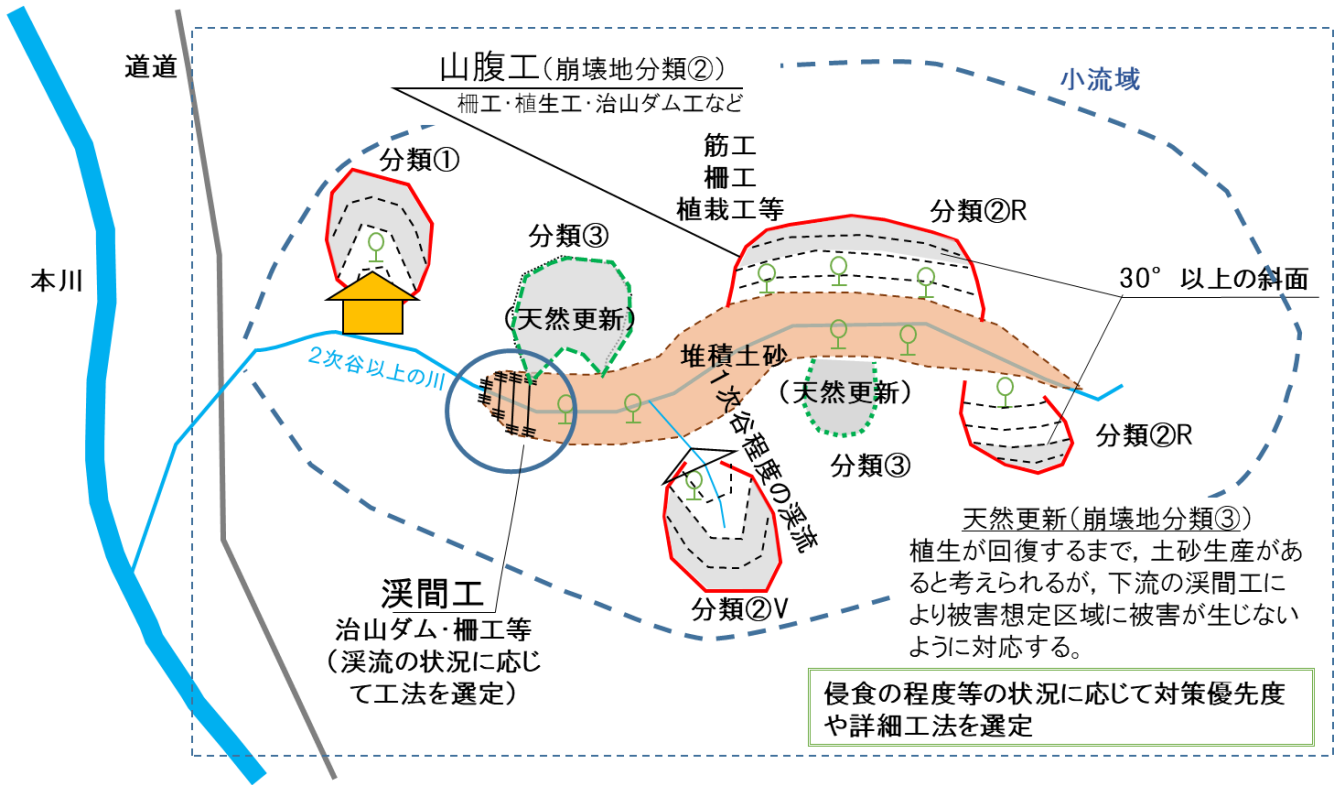


図 2.4.1 崩壊地の分類と復旧方法の例

2.5 森林復旧モデルの提案

図 2.1.1 に示す瑞穂ダム上流地区、東和地区において、土壌調査を行った。瑞穂ダム上流と東和間で比較すると(図 2.5.1)、崩壊地ごとや調査地点ごとに判定がバラつく場合があったものの、瑞穂ダム上流より東和地区の方が、土壌の評価が“悪”と判定された調査地点が多かった。

土壌調査結果や北海道立総合研究機構林業試験場の検討結果および有識者へのヒアリング結果を踏まえ、復旧工種としてあげられている植生工(実播工、植栽工)のうち、植栽工について検討した。現地調査の結果を図 2.5.1 に、土壌条件ごとの植栽木の案を表 2.5.1 に示す。

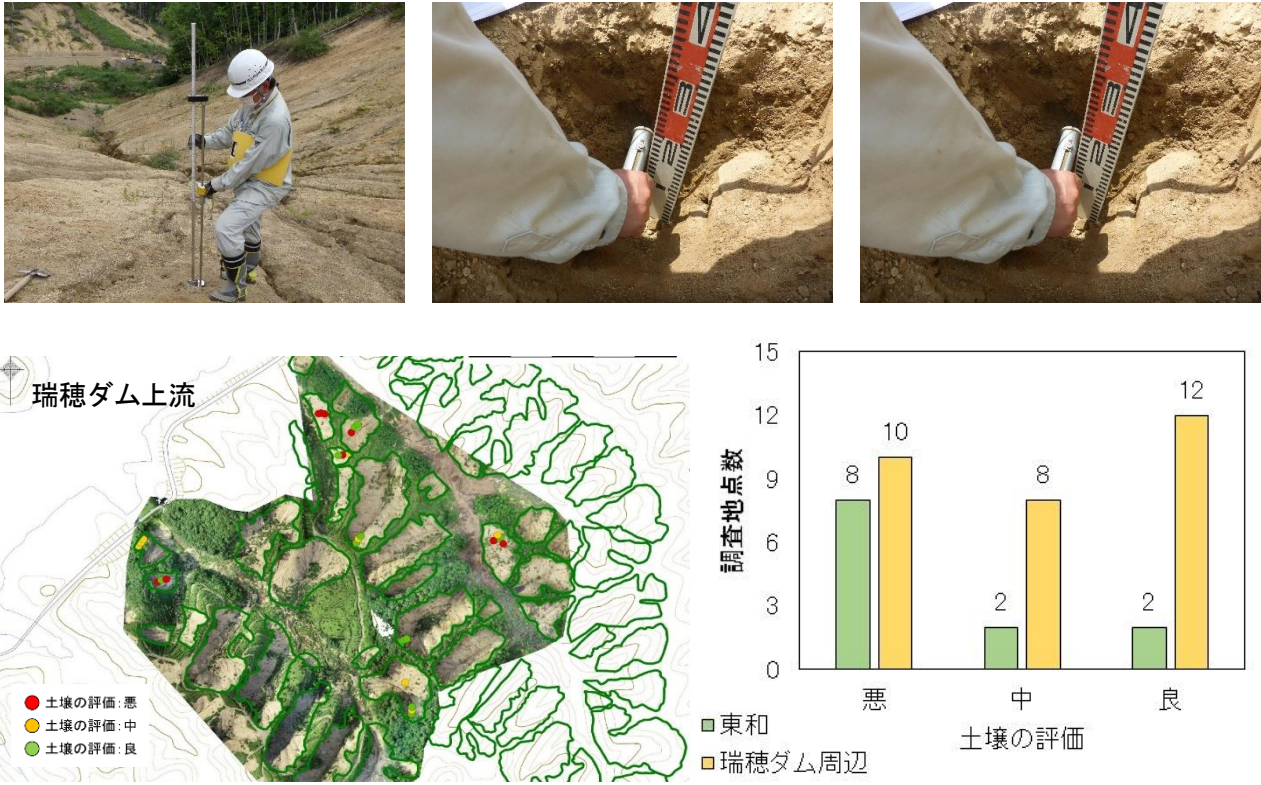


図 2.5.1 土壌調査結果(上:調査状況写真,左:調査地別の土壌評価)

表 2.5.1 土壌条件別植栽木(案)

土壌条件	植栽木の適性		
	最適	適	普通
良	カラマツ ケヤマハンノキ	トドマツ	ミズナラ アカエゾマツ
中		ミズナラ	トドマツ アカエゾマツ
悪			トドマツ

※最適:北海道立総合研究機構中間結果で明示され、かつ有識者ヒアリングで推奨された樹種
※適:北海道立総合研究機構が生育「良好」とランク付けした樹種
※普通:北海道立総合研究機構が生育「普通」にランク付けした樹種

新技術導入の検討として、苗木運搬および播種への利用を想定し、重量物を運搬可能な産業用 UAV について事例を収集した（図 2. 5.2）。木や資材を UAV で運搬する機体や技術は既に実用化され、活用が始まっている。今後のさらなる開発・改良が期待され、運用事例が増えるにつれて、UAV の適用条件、判断基準についても最適化が進んでいくものと考えられる。



図 2. 5.2 苗木運搬 UAV「No.1 いたきそ」機体（左）と苗木運搬状況（右）（FOREST JOURNAL vol.5（2020 年秋号）に加筆）

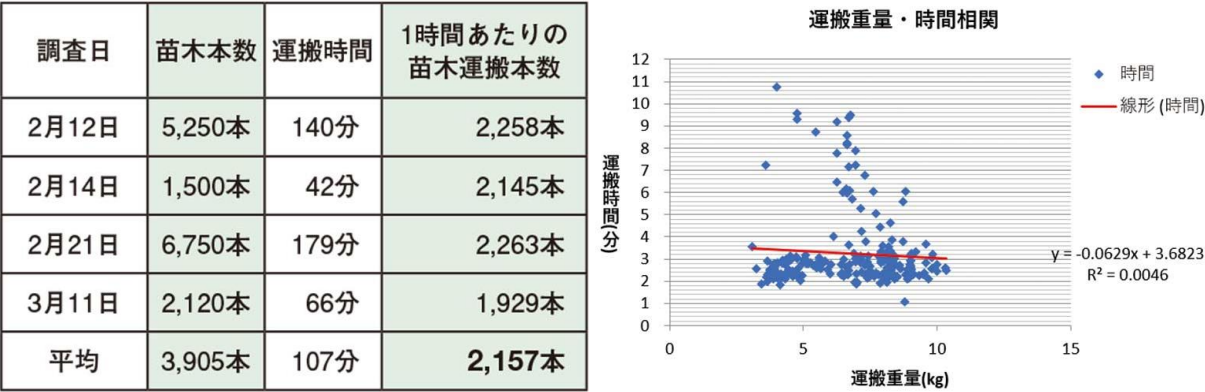


図 2. 5.3 「いたきそ」による苗木運搬の生産性データ（出典：FOREST JOURNAL vol.5（2020 年秋号））

3. 平成 30 年 7 月豪雨により被災した愛媛県における復旧手法の検討

3. 1 検討の概要

平成 30 年 7 月豪雨により被災した愛媛県における崩壊地を対象に、復旧手法を検討した。検討の流れを以下に示す。

1. 既存航空レーザ計測データおよび既存データの整理
2. 既存航空レーザ計測データと現況地形の変化の把握
3. 治山対策の検討
 - ・ 0 次谷対策の検討
 - ・ 愛媛県大洲市田処地区で発生した崩壊の対策

3. 2 既存航空レーザ計測データおよび既存データの整理

調査対象範囲の航空レーザ計測データおよび GIS データを収集し、整理した。収集したデータは、発災直後の航空レーザ測量データと、航空写真および微地形表現図の TIFF データ、崩壊箇所等位置、治山事業位置、等高線、路網のシェープファイルである。

3. 3 既存航空レーザ計測データと現況地形の変化の把握

平成 30 年 7 月豪雨によって発生した崩壊地を対象に、UAV レーザ計測を実施し、現況の地盤標高データ (DEM) を取得した。また、平成 30 年 9 月の DEM と差分解析を行うことで地形の変化状況を把握し、荒廃特性（崩土堆積状況、土砂流出状況等）を検討した。

UAV レーザ計測の結果を図 3. 3.1 に示す。裸地部で約 51 点/m²（約 14cm/点）、植生下でも約 15.5 点/m²（約 25.4cm/点）の DEM データを得ることが出来た（DSM データは約 1110 点/m²（約 3cm/点））。航空 LP による DEM データが 4 点/m²（25cm/点）であることを鑑みると、今回の UAV レーザ計測により十分に高精度な地表の地形情報を得ることが出来たと考えられる。

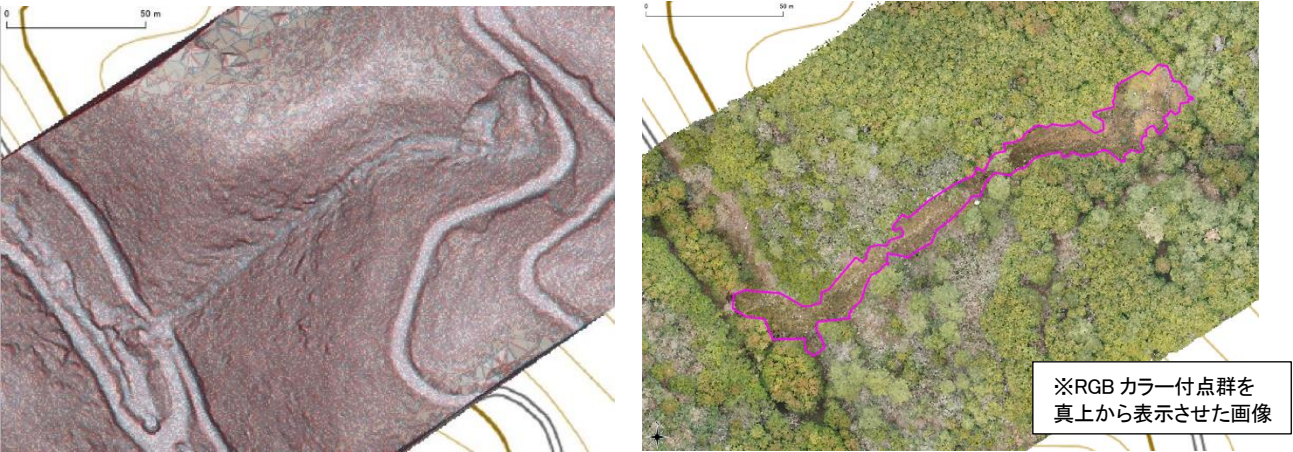


図 3. 3.1 UAV レーザ計測結果（左：DEM の CS 立体図、右：カラー点群）

平成 30 年 7 月豪雨の被災地を対象に、差分解析を行った。結果を図 3. 3.2 に示す。

差分解析結果では、崩壊地上部の林道および 0 次谷出口付近の林道で差分値が-1m 程度となっている。林道は不動点と考えられるため、航空 LP と UAV レーザ計測間の誤差は 1m 程度であると言える。この誤差を考慮すると、崩壊地内の差分値が-2~-1m 程度の箇所があるが、オルソ画像からは倒木（図 3. 3.2 黄色丸）の移動は確認できないため、倒木が移動するような規模の土砂移動は発生していないと考えられる。また、誤差の範囲内の土砂

移動は差分解析結果として現れなかったと考えられる。

本調査地では、航空 LP と UAV レーザ計測の差分解析による土砂移動の把握は困難であった。このことは、計測精度の差によるものと考えられる。発災直後の航空 LP は被災地の四国全域を計測しており、UAV レーザ計測は一つの崩壊地を低空で計測していることから、メッシュサイズが同じでも取得できる地形の詳細度合いは異なると考えられる。

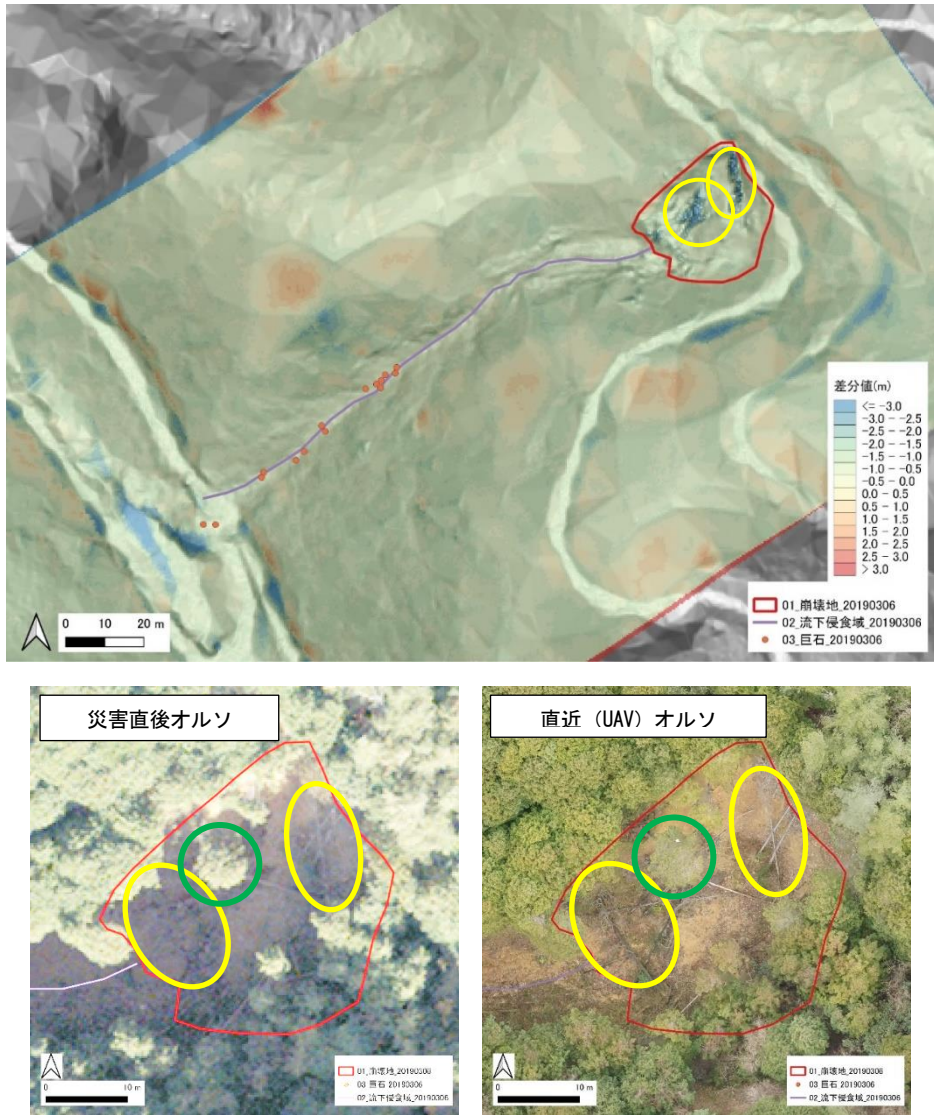


図 3.3.2 差分解析結果（上：UAV レーザ計測と災害直後の航空 LP の差分，下：災害前後のオルソ画像）

3.4 治山対策の検討

治山対策の検討平成 30 年 7 月豪雨における山地災害の発生形態を踏まえつつ、復旧・予防治山的な治山対策手法について、特に 0 次谷に対する予防治山的な対策手法及び復旧治山的な対策手法について検討した。

3.4.1 0 次谷に対する復旧的な対策工法

愛媛県における復旧事例を踏まえて、復旧的な治山工法についてまとめる。

山腹工	● 保全対象に近接している場合には、土留工によって土砂の移動を抑止する必要があると考えられる。 ● 崩壊地内部の急傾斜部には法枠工，その他の範囲は伏工や植生工などの山腹緑化工による表面流出の防止が考えられる。 ● 凹地形を呈している場合には、水路工または暗渠工の併用が望ましい。 ● 崩壊地が山林の奥地にありアクセスな困難な場合、資材搬入が困難であるところが予想されるため、より簡易な山腹工（筋工，柵工，航空実播工）での対策が考えられる。
溪間工	● 治山ダムによって溪床の安定および土砂流出の防止を図るのが望ましい。 ● 溪流内に巨石が堆積している場合には、落石防止工や、除石などの対策が考えられる。

3.4.2 0 次谷に対する予防的な治山対策

0 次谷の位置する場所は、山林の奥地である場合もあれば、保全対象に近接した山腹斜面である場合も考えられる。それらの予防的な治山対策を行うには、保全対象との位置関係や 0 次谷内部の状況によって工法を選定する必要がある。

想定される 0 次谷の状況をいくつか挙げ、それぞれに適した治山対策について表 3.4.1 にまとめる。

表 3.4.1 予防的な治山対策として考えられる工法	
● 保全対象が 0 次谷の直下にある場合	
山腹工	筋工，柵工 荒廃状況に応じて簡易な法枠工や補強土工 落石の危険がある場合には落石防止工 ガリー侵食等がある場合は水路工，暗渠工
溪間工	土石流の危険がある場合には治山ダム
● 保全対象が 0 次谷の直上にある場合	
山腹工	筋工，柵工 荒廃状況に応じて簡易な法枠工や補強土工
● 0 次谷が保全対象から遠い奥地にある場合	
山腹工	筋工，柵工，航空実播工
溪間工	0 次谷下流に保全対象があり，土砂流出による影響がある場合には治山ダム