

砂防分野における技術開発～斜面防災を中心に～

中谷洋明・杉本宏之・松田昌之

1. はじめに

砂防分野では、豪雨や地震等による突発的な土砂災害の発生に際して、初動段階での緊急的な調査と現場における人命救助、土砂撤去作業の支援が求められる。災害の発生場所は、森林に覆われた山地・上流域といった「奥山」から、都市近郊の山すそ・丘陵地といった「里山」まで現地条件は多様であり、技術の特性、適用性を十分に把握した上で、投入する技術を選定して使い分ける必要がある。

「インフラ分野のDXアクションプラン」に沿った「DX」では、開発し深化させた技術について、逆に、フィジカル世界での応答の方式を変える、フィードバックが不可欠となる。このことは制約のある調査人員や機材の効果的な使用、適時な使用のための大前提ともなる。大規模・広域（マクロ）に数百km²をカバーする技術、中規模・流域程度（メソ）に数～数十km²をカバーする技術、そして狭く、個別箇所（マイクロ）に数十～数百m²をカバーする技術、の組み合わせにより「コスパ」「タムパ」、或は実施可能性自体も左右される。土砂災害の場合には、直接的な現地調査は事故のリスクを伴うため、ドローンを使用する場合も含めて、スケールを階層的に捉える発想が欠かせない。本報では、マクロ、メソ、マイクロの3つの広がりに対して最近の技術的な進捗のうち、実務者に参考になる要素技術として、下記のようなものを簡単に紹介する。

- マクロ：合成開口レーダの使用可否を左右する「不可視部」の分布
- メソ：流域スケールに拡張出来るよう、計算量を軽減した斜面の危険度評価法
- マイクロ：地すべり等個別箇所で展開するカラー点群データの活用法（地すべりBIM/CIM）

2. 衛星SAR観測による土砂移動の早期検知の取組み

近年、夜間や天候に左右されない衛星合成開口

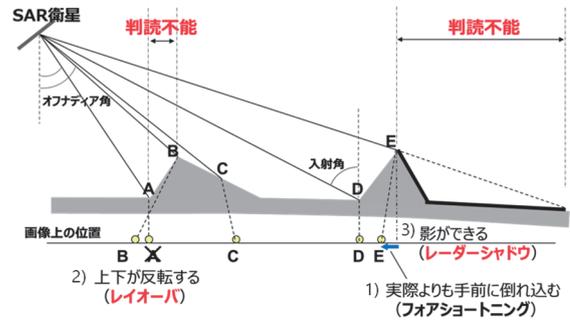


図-1 衛星SAR観測における不可視領域

レーダー（SAR）が、災害初動調査における土砂移動域の把握手法の一つとして活用されている1)。衛星SARは、地上に向けて照射した電波が地表面で散乱・反射し、衛星に戻る電波を観測するため天候に左右されないという大きな利点があるものの、1) フォアショートニングや、2) レイオーバー、3) レーダーシャドウが生じ、情報が取得・利用できない不可視領域が存在する（図-1）。本稿では災害初動調査のネックを解消するため、不可視領域の分布の把握の取組みを紹介する。

2.1 衛星SARの観測状況

SAR観測衛星のうち、災害時に利用されているALOS-2では、観測時の観測角度（オフナディア角）はU1～U5のブロックに区分される。土砂災害の対応にはU2～U3（オフナディア角29.1°～48.0°）が適しているとされており（図-2）、既存のアーカイブもU2での観測が多い。

2.2 衛星SARの不可視領域マップ

不可視領域は衛星と観測エリアの地形との位置関係で決まるため観測角度に依存する。また、観測する方向（東向き及び西向き）によっても影響される。

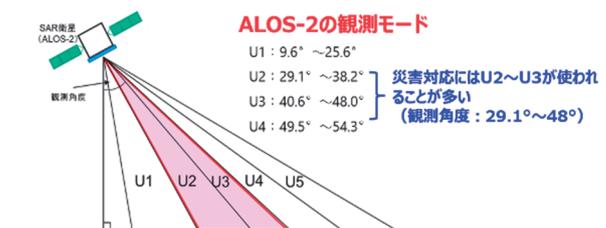


図-2 衛星SARの観測モードと観測実績

そこで観測方向別に不可視領域を算出し、それらを重ね合わせた不可視領域マップを作成した。不可視領域はArcGISの印影起伏ツールを用いて簡易的に算出したものである。

不可視領域マップは、図-3に示す通り西向き観測による不可視領域（黄色領域）と東向き観測による不可視領域（青色領域）、双方の観測ともに不可視領域（灰色領域）で示したものである。

なお、不可視領域は5種類のオフナディア角で算出し、計算条件は表-1の通りである。

また、不可視領域マップをもとに土砂災害時に着目対象となる山間地の不可視領域の面積を集計したものが図-4である。集計箇所は地形的な違いを考慮した5県（表-1）の任意の山間部（10km×10km：図-3の青枠）である。既存の観測が多いU2～U3の領域に着目すると、U2では3.1%～36.2%が

表-1 不可視領域の算出条件

種別	設定値
衛星の軌道角	N10° E
衛星の軌道方向	昇降軌道 (ASC)
観測方向	右側観測 (R)、左側観測 (E)
オフナディア角	18.0° : U1-3相当、29.1° : U2-6相当、38.2° : U2-9相当 48.0° : U3-14相当、54.3° : U4-19相当
地形モデル	国土地理院10mDEM
計算地域	長野県（木曾・赤石山脈）、奈良県（紀伊山地）、広島県（広島西部山系）、福岡県（朝倉市周辺）、熊本県（球磨川流域）

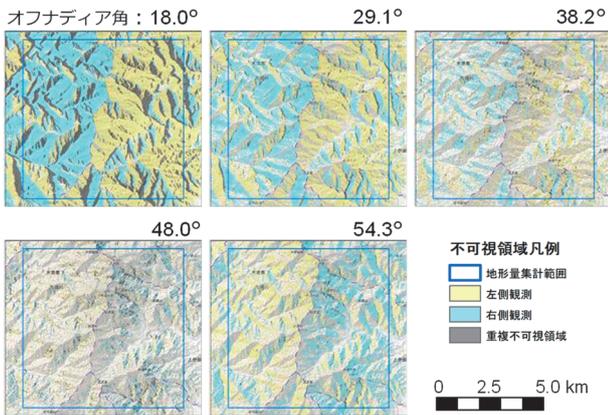


図-3 衛星SARによる不可視領域マップ例（長野県）

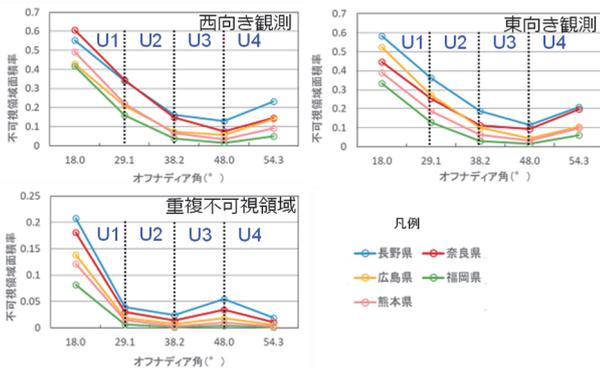


図-4 山間部における不可視領域面積率

不可視領域に、U3では1.3%～18.7%が不可視領域となることわかる。観測向きに関わらず不可視領域となる範囲は、U2で最大4%、U3で最大5.5%であった。このように、不可視領域の面積率は地域的な差があるものの、山間部の2割～4割程度は不可視領域が生じることを認識したうえで、活用することが重要である。

3. 表層崩壊発生危険度評価ソフトウェアの開発

3.1 表層崩壊発生危険度を評価する手法

効果的かつ効率的な斜面崩壊対策を進めるためには、斜面崩壊が発生する危険度の高い箇所を把握した上で、ハード対策およびソフト対策を実施することが有効である。斜面崩壊の発生危険度を把握するための手法については、既往研究においてH-SLIDER法²⁾、³⁾やH-SLIDER法から派生したC-SLIDER法³⁾、idH-SLIDER法⁶⁾などが提案されている。

H-SLIDER法は、地表面地形、土層厚、土質強度、飽和透水係数を実測し、無限長斜面の安定解析及び定常状態を仮定した水文モデルを組み合わせた簡易な評価モデルを用いて、斜面スケールの表層崩壊の発生危険度を評価する手法である。C-SLIDER法は、H-SLIDER法の考え方を比較的広域に適用して土石流危険渓流単位の危険度をおおまかに評価する手法であり、idH-SLIDER法は、H-SLIDER法へ一定降雨強度条件下の地下水上昇過程の式を取り入れてハイトグラフから崩壊発生時刻を予測する手法である。

これらの手法は表層崩壊発生危険度の評価には有効であるものの、これまでは解析する者が独自にモデルを構築する必要があり、利用しやすさの面では十分ではなかった。

そこで、これらの手法を使用できる環境を整備するために、GISソフトウェア上でこれらの手法を計算できる表層崩壊発生危険度評価ソフトウェア（以下「崩壊危険度ソフト」という。）を開発した。

3.2 崩壊危険度ソフトの開発

開発した崩壊危険度ソフトは、オープンソースの無料で使用可能なGISソフトウェアであるQGISのプラグイン（アプリケーションの機能を拡張するソフトウェア）として導入することで、QGIS上でGUI（Graphical User Interface）で操作することができる。主な使用方法は以下のとおりである（図-5）。

1. 公共測量等で取得されたDEM（数値標高モデル）を読み込む。
2. 読み込んだDEMをもとに、任意の大きさに設定可能な評価対象範囲のメッシュ分割を行う。
3. 分割したメッシュごとに地表面の標高、土層厚を設定し、基岩面の標高を算出する。なお、土層厚は、ポイントデータとして設定し、広域に空間補間する機能も備えている。
4. メッシュごとに勾配や集水面積を算出する。
5. 土質強度や飽和透水係数、降雨強度を設定する。
6. H-SLIDER法、C-SLIDER法、idH-SLIDER法の計算を実施し、表層崩壊発生危険度評価の解析を行う。なお、解析結果は、各メッシュに格納されており、必要に応じてQGIS上で空間的な可視化を行うことができる。

このように、本ソフトウェアを用いることで比較的容易に表層崩壊の発生危険度を評価することができるため、今後本ソフトウェアの利活用が期待される。

4. 地すべり災害対応へのBIM/CIMの活用

4.1 地すべり災害対応のBIM/CIMモデルの概要

地すべり災害時の緊急対応においては、災害状況の把握、発生機構の解析や今後の予測を行い、警戒避難体制や応急対策を検討する必要がある。その際には、地すべり範囲とその周辺の斜面地形や保全対象等を含めた災害の全体像を3次元的に把握し、調査・検討結果を関係機関で共有しながら対応することが重要である。地すべり災害対応のBIM/CIMモデル⁵⁾⁶⁾（図-6）は、①ドローンで撮影した写真から作成したカラー点群データ、②地図等のオープン



図-6 地すべり災害対応のBIM/CIMモデル

データで構成され、1日程度で作成でき、災害の全体像の把握、発生機構の解析、ネットワークを介した情報共有が可能である。

4.2 BIM/CIMの活用による災害対応の迅速化

地すべり災害対応のBIM/CIMモデルを活用した災害対応では、カラー点群データを用いて災害の全体像を把握し、BIM/CIMモデルでの事前分析と現地踏査によって地すべり発生機構の解析と今後発生し得る現象の予測を行う。具体的には、カラー点群データから地すべり現象の状況を判読し、地形・地質的な情報として数値標高モデル（国土地理院）、地質図（産業技術総合研究所）、地すべり地形分布図（防災科学技術研究所）等をBIM/CIMモデルのレイヤーで重ね合わせ、これらを比較分析することで地すべり発生機構の概略的な解析が可能である。例えば、図-7 aは点群データから判読した地すべり範囲（赤点線）と地質図、地すべり地形分布図を重ねた図で、地質構造線と過去の地すべり活動に起因する脆弱な地質が地すべり発生の素因の一つと考察できる。また、図-7 bは数値標高モデルから集水地形を分析した図で、青いピクセルが地表の流水線を示すが、広い集水域などから地すべり範囲への豊富な水の供給の可能性が示唆され、緊急対策として地表水および地下水排除工が優先されることなどが考察できる。

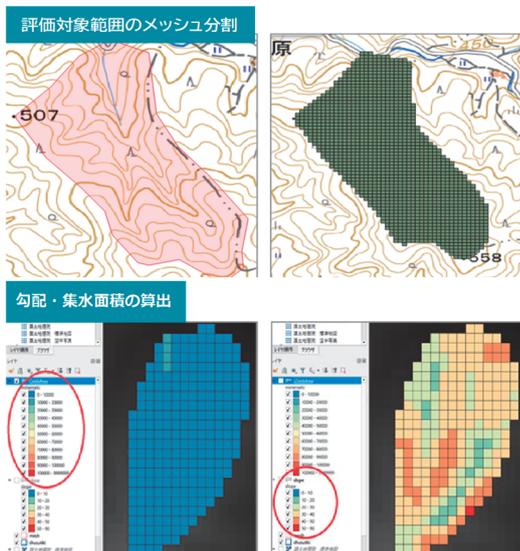


図-5 ソフトウェアの操作のイメージ

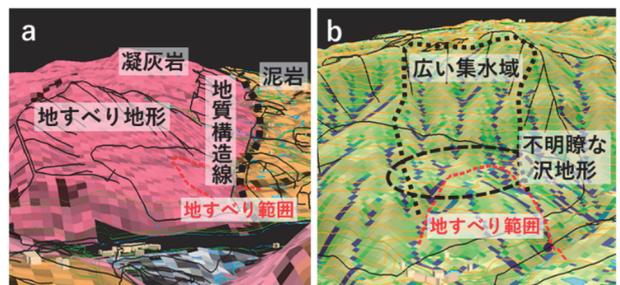


図-7 BIM/CIMによる地形・地質分析
(a: 地質に関する分析 b: 集水地形に関する分析)

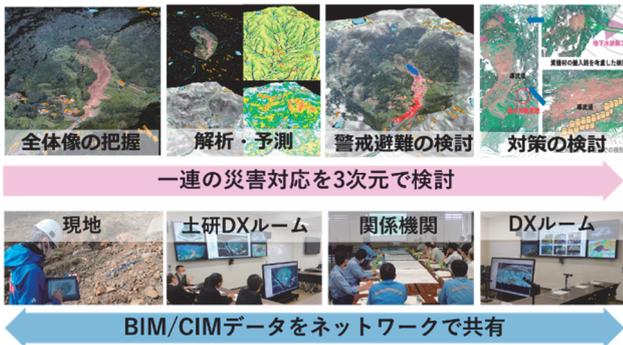


図-8 BIM/CIMの活用による災害対応の迅速化のイメージ

また、BIM/CIMモデルは離れた場所の関係者間でもネットワークによって即時共有が可能である。一連の災害対応を3次元で検討し、BIM/CIMの「見える化」効果によって、複数の関係機関が連携する場合などの共通理解や意思決定の迅速化に寄与すると期待される。また、国土交通省等で整備されているDXルームで活用することで、広域的な同時多発災害の場合でも技術支援が可能となるなど、今後の災害対応のやり方を変えていく可能性を有している(図-8)。

5. おわりに

本報では、砂防分野で最近進んでいる技術開発のうち、基礎的ではあるが、避難指示や解除の助言に資する等、実装に向けて「ラスト(ワン)マイル」を超えるのに有益と考えられるものを3つ選んで紹介した。

土砂災害は、毎年1千件、多い年には3千件と膨大な数が発生し、個別には小さくても人命を奪うものである。しかも、深層崩壊等、法令に基づいて実施される緊急調査時には個別箇所で複雑高度な作業を迅速に行う必要がある。被災自治体、事業実施者、管理者を確実に支援出来るよう、どの技術がどの程

度の実力を持っているか、本報を通じて行政実務に携わる方々の理解が深まれば幸いである。

参考文献

- 1) 鈴木 大和、松田 昌之、瀧口 茂隆、野村 康裕、山下 久美子、中谷 洋明：合成開口レーダ(SAR)画像による土砂災害判読の手引き、国総研資料第1110号、2020
- 2) 内田太郎・盛伸行・田村圭司・寺田秀樹・瀧口茂隆・亀江幸二：場の条件の設定手法が表層崩壊発生箇所の予測に及ぼす影響、砂防学会誌、Vol.62、No.1、p.23~31、2009.
- 3) 独立行政法人土木研究所土砂管理研究グループ火山・土石流チーム：表層崩壊に起因する土石流の発生危険度評価マニュアル(案)、土木研究所資料、第4129号、2009.
- 4) 秋山怜子・木下篤彦・内田太郎・高原晃宙・石塚忠範：簡易な水文モデルを用いた崩壊発生時刻予測手法、砂防学会誌、Vol.68、No.2、p.3~13、2015.
- 5) 国土交通省：BIM/CIM活用ガイドライン(案)第3編砂防及び地すべり対策編、2021.
- 6) 国立研究開発法人土木研究所土砂管理研究グループ地すべりチーム：地すべり災害対応のBIM/CIMモデルに関する技術資料、土木研究所資料 第4412号、2021.

中谷洋明



国土交通省国土技術政策総合研究所土砂災害研究部 土砂災害研究室長、博士(農学)
Dr. NAKAYA Hiroaki

杉本宏之



土木研究所土砂管理研究グループ地すべりチーム 上席研究員
SUGIMOTO Hiroyuki

松田昌之



研究当時 国土交通省国土技術政策総合研究所土砂災害研究部土砂災害研究室 交流研究員、現 アジア航測株
MATSUDA Masayuki