

2.2 崩壊地の抽出および監視

(1) 背景と目的

平成 23 年の台風 12 号に伴う豪雨により、奈良・和歌山両県を中心に深層崩壊等の大規模な土砂災害が多数発生し、甚大な被害が発生するとともに河道閉塞による天然ダムが出現し、耳目を集めることとなった。深層崩壊については、国土交通省と土木研究所により「深層崩壊推定頻度マップ(2010)」¹⁾や「深層崩壊跡地密度マップ(2012)」²⁾、「単偏波の高分解能 SAR 画像による河道閉塞箇所判読調査手法(案)(2015)」³⁾などが公表されており、災害発生の予兆把握から、土砂災害の発生に備えた監視体制の整備、そして、災害直後に被災位置や範囲を特定するための緊急調査、さらには、災害発生後の土砂移動状況の把握などが実施されている。

平成 26 年 8 月の豪雨では、広島市北部の住宅地を大規模な土石流が襲い、多くの人命が失われるなどの被害が発生した。また、平成 28 年 4 月、熊本県阿蘇地方を M6.5 と M7.3 の地震が襲い、人的な被害とともに大規模な複数の土砂災害が発生したことは記憶に新しい。このように我が国は、豪雨や地震を要因とする土砂災害が毎年いたるところで発生しており、土砂災害防止法に基づく危険箇所の調査や監視が強力に進められている。

本節では、土砂災害のうち「崩壊地の抽出と監視」までをガイドラインの範囲とし、災害時における衛星データの活用方法について、以下に解説する。

(2) 現状の手法と問題点

(a) 航空写真

崩壊地の範囲を把握する手法として、航空機から撮影した航空写真が挙げられる。天候の問題を除けば、被害の概略を早期に把握するという点では有効な手段である。近年では、UAV（無人航空機：固定翼、回転翼）の災害調査における活用が増えてきている。バッテリーによる駆動と地上からのリモートコントロールといった特徴から、飛行に際しての困難さが解消されたことが一因とされている。航空機より低空で飛行できることから、崩壊地に近接した迫力のある写真が撮影できる。機種によっては 1 フライトが 10 数分と短い場合があり、撮影範囲が狭くなるといった欠点もある。

(b) 航空レーザー測量

航空レーザー測量とは、航空機に搭載したレーザスキャナから地上にレーザ光を照射し、地上から反射するレーザ光との時間差より得られる地上までの距離と、GNSS 測量機や IMU(慣性計測装置)から得られる航空機の位置情報より、地上の標高や地形の形状を計測するものである。国土地理院が実施する業務では、レーザ計測点の高さは 1cm 単位で記録され、高さの精度は±15cm 程度、水平方向の位置精度は概ね 1m 程度となる。

航空レーザー測量のレーザ光は、地面ばかりでなく、建物や樹木の上で反射して戻ってくる。このため、航空レーザー測量で直接得られる高さのデータは建物や樹木の高さを含んでいることに注意を要する。このような高さのデータをグリッド化した地表モデルを数値表層モデル（DSM：Digital Surface Model）という。これに対して、建物や樹木の高さを取り除いて地表面だけの高さのデータをグリッド化した地表モデルを数値標高モデル（DEM：Digital Elevation Model）と称する。この DEM の経年変化を把握することで、崩壊地を抽出することができる。

航空写真と同様、航空機での作業となるため機動性に富んでいるが、DEM データを作成するための作業に労力を要する場合があるので注意を要する。

(c) 現地調査

現地の被災現場に直接立ち入って崩壊状況を把握することは、大きな危険を伴う。崩壊地周辺の建物の被災状況、斜面崩壊の形態や土石流の堆積状況を観察するとともに、聞き取り調査を行うことが主な調査内容となる。地上からの調査となるので、崩壊地そのものの位置を正確に把握することは難しい。

(3) 衛星データを用いた手法の解説

(a) 概要

地震や豪雨などを起因とした広域の土砂災害は全容の把握に時間がかかる一方で、被災状況に応じた対策立案のために迅速に被災情報を収集することが求められる。そこで、国土交通省では、「センチネルアジア⁴⁾」、「国際災害チャータ⁵⁾：正式名称：自然または人為的災害時における宇宙設備の調和された利用を達成するための協力に関する憲章」という2つの国際的な協力の枠組みの中で、他国衛星の画像や民間商用衛星による衛星画像を利用して土砂災害監視を続けている。

このように、衛星画像を用いて土砂災害（崩壊地）を判読、抽出する事例には、光学衛星画像や SAR 画像をそのまま判読する事例、画像処理を施して土砂災害（崩壊地）を抽出する事例、干渉 SAR 解析等土砂の移動を計測する事例等がある。具体的には、光学衛星画像では、観測波長帯間の演算から崩壊地（裸地等）を画像分類手法や植生指標を用いて抽出する方法が挙げられる。SAR 画像では、後方散乱係数やコヒーレンスの数値の分析から崩壊地表面が示す特徴量を把握し、崩壊地を抽出する方法がある。また、複数時期のデータを用いる差分干渉 SAR によっても崩壊地を判読することができる。

(b) 解説

ここでは、複数時期の高解像度光学衛星画像をもとに、ステレオ画像解析により時系列的に DEM を作成し、崩壊前後及びその後の土砂流出による地形変化を把握した事例を示す。図-2.2.1 にフローを示す。

(ア)幾何学モデルの作成と画像マッチング

ステレオペア衛星画像を選定し入手する。画像の各画素の視線方向を表した幾何学モデルを作成し、これに基づきステレオ対象画像の各画素位置を画像マッチング処理により照合する。

(イ)3次元座標の生成と DSM 作成

対応付けた2つの画素位置から視線方向の交点を推定して3次元座標を生成する。その結果を一定のグリッド間隔に再構成した DSM (Digital Surface Model) を作成する。

(ウ)基準点補正と樹高補正

地上基準点を用いて、主に衛星の位置や姿勢に起因する DSM の水平・鉛直誤差を補正する。樹林地域において地盤高を求める場合には、樹高補正を行い、DEM (Digital Elevation Model) を作成する。

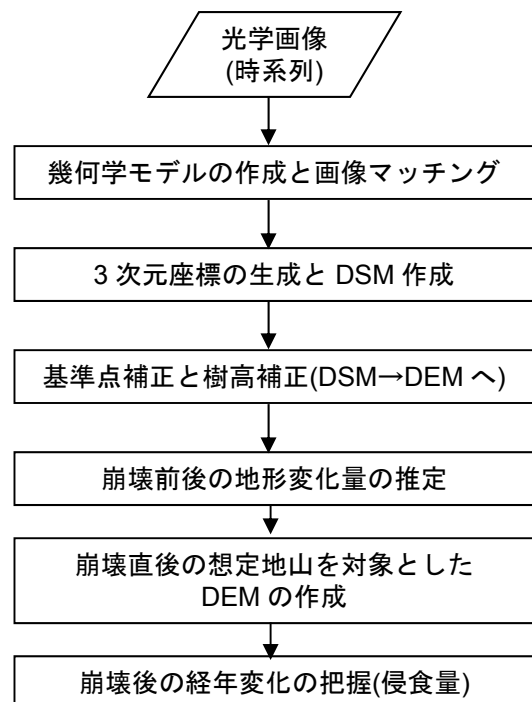


図-2.2.1 DEMを用いた地形変化抽出フロー

(エ)崩壊前後の地形変化量の推定

時系列的な変化を把握する場合には、上記の(ア)~(ウ)を繰り返す。より正確に位置合わせされた2時期のDEMの比較により、侵食量や崩壊深、堆積量や堆積深を求めることができる。

(オ)崩壊直後の想定地山を対象としたDEMの作成

崩壊時に崩壊してすぐ崩積土に埋もれたエリアについては、現地ボーリング調査結果等が無い限り、正確に崩壊後地山の表面を推定することは困難である。よって、崩壊前後のDEMを比較し、各メッシュでより低い標高値を、崩壊直後の地山と想定してDEMを作成する。

(カ)崩壊後の経年変化の把握

崩壊後については、(エ)に示すような手法で、基準とするDEMと当該調査のDEMとの対比から、定期的に侵食量を求めることもできる。

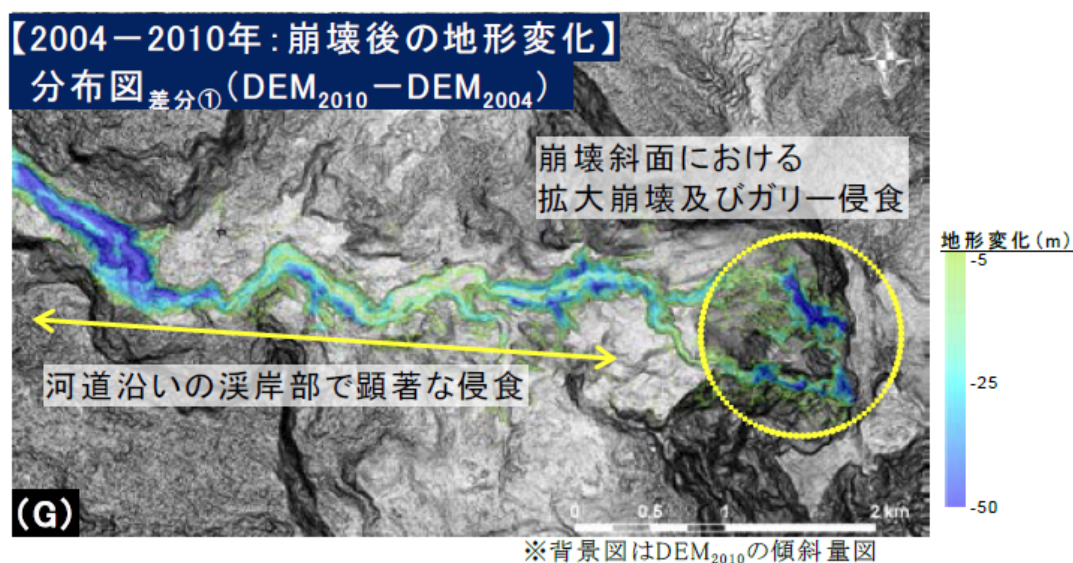


図-2.2.2 光学衛星画像より作成したDEMから抽出した崩壊地⁶⁾

(c) 使用する衛星データの条件

計算されるDEMの精度は、幾何学モデルの精度と画像間位置合わせ精度、画像解像度と視差角度に基づく、幾何学条件の精度の3要素に依存する。

参考文献5)によれば、SPOT-5 (地上分解能 2.5m) の5mメッシュで相対標高誤差は3m、QuickBird (地上分解能 0.6m) の2mメッシュで相対標高誤差は2m、IKONOS (地上分解能 1.0m) の2mメッシュで相対標高誤差は2mとしている。このように、崩壊地抽出に必要なDEM精度から利用する衛星画像を選定する必要がある。

(d) その他：光学衛星とSAR衛星の使い分け

昼夜天候を問わず取得できるSAR画像は有用であるが、その処理は高難度であるため汎用化が進まず、処理に時間を要する場合がある。一方、光学衛星による画像は多くの汎用処理ソフトウェアが存在しているので、多少の訓練を行うことで災害対応をする職員にでも手軽に被災状況を示す画像を閲覧することができる。すなわち、災害現場における衛星画像のデリバリータイムの観点では、光学衛星が優位であると言える。

「崩壊地の抽出と監視」を対象とした場合の光学衛星とSAR衛星の利用メリットとデメリットを表-2.2.1に整理した。

表-2.2.1 「崩壊地の抽出と監視」を対象とした場合の衛星利用のメリット・デメリット

| | 光学衛星 | SAR 衛星 |
|-------|---|---|
| メリット | <ul style="list-style-type: none"> ■ 広域を短時間に見落としなく調査可能 ■ 肉眼ではわかりにくい情報を抽出（近赤外画像） ■ 繰り返し観測が比較的 low コスト ■ 多くの汎用処理ソフトウェアが存在 | <ul style="list-style-type: none"> ■ 広域を短時間に見落としなく調査可能 ■ 昼夜、天候に依存せずに調査可能 ■ 肉眼ではわかりにくい情報を抽出 ■ 繰り返し観測が比較的 low コスト |
| デメリット | <ul style="list-style-type: none"> ■ 観測範囲と地上分解能はトレードオフの関係 ■ 雲と雲影の影響を大きく受ける ■ いつも観測に適した位置に飛来しない ■ 高頻度解析を前提とした場合、衛星画像が高コストである | <ul style="list-style-type: none"> ■ いつも観測に適した位置に飛来しない ■ 高度な解析を伴うことが多い ■ データ処理は高難度 ■ モノクロ画像による視認性が低い ■ 高頻度解析を前提とした場合、衛星画像が高コストである (上記は、地形によるところが大きい) |

(4) 利活用のイメージ

光学衛星画像から求めた NDVI (Normalized Difference Vegetation Index : 正規化植生指標) を時系列的に比較することで、崩壊地内の植生回復状況を把握することも可能である。2.4 節の「林野火災による延焼範囲の把握」において、植生回復状況の把握方法を詳述しているので参照されたい。

また近年、光学衛星画像を分類して得た土地被覆データと SAR 画像からのコヒーレンスデータの組み合わせから、より正確な土地被覆状況を抽出する研究が進んでいる⁷⁾。この手法により植生の回復状況を追跡できる可能性がある。

【参考文献】

- 1) 国土交通省：深層崩壊に関する全国マップについて、<http://www.mlit.go.jp/report/press/river03_hh_000252.html> (2016.8.15 アクセス)
- 2) 国土交通省：深層崩壊に関する溪流（小流域）レベルの調査について、<http://www.mlit.go.jp/report/press/mizukokudo03_hh_000552.html> (2016.8.15 アクセス)
- 3) 水野正樹，神山嬢子，江川真史，佐藤匠，蒲原潤一，林真一郎：単偏波の高分解能 SAR 画像による河道閉塞箇所判読調査手法(案)，国土技術政策総合研究所資料，第 760 号，2013.
- 4) センチネルアジア：<https://www.aprsaf.org/jp/initiatives/sentinel_asia/> (2017.2.28 アクセス)
- 5) 国際災害チャータ(International Charter “Space and Major Disaster) : <<http://www.disasterscharter.org/>> (2017.2.28 アクセス)
- 6) 水野正樹，江川真史，清水孝一，筒井健：光学衛星画像による大規模崩壊の土砂移動状況の経年把握，土木技術資料，Vol.55, No.12, pp.38-41, 2013.
- 7) 国土防災リモートセンシング研究会：日本リモートセンシング学会誌、Vol.33、No.5、pp.394-396、2013.