

高解像度衛星画像を用いた 3D 地形変化の定量的時系列モニタリング

正会員 ○筒井健^{1,2} 六川修一² 中川英朗³ 宮崎早苗¹ Chin-Tung CHENG⁴ 白石貴司⁵

(1) (株) NTT データ, (2) 東京大学大学院, (3) 西日本技術開発 (株), (4) SINOTECH Engineering Consultants, (5) 九州電力 (株)

1. はじめに

近年に、アジア各地では相次ぐ大地震の発生、異常気象に伴う台風・集中豪雨の増加に起因した、地すべり・崩壊・土石流による土砂災害被害が増加している。

・2004 年 10 月 23 日 日本：『新潟県中越地震（M6.8）』に伴い 3,000 箇所以上の地滑り・崩壊発生。

・2005 年 10 月 8 日 パキスタン：『パキスタン北部地震（M7.6）』で複数の大規模地滑り発生。

・2006 年 2 月 17 日 フィリピン：レイテ島で降雨と地震に伴う大規模地滑り発生。

大規模地すべり・崩壊・土石流の被害は、山岳で広域に分布する場合が多い。その移動土砂の定量的把握は、災害復興計画の策定ならびに 2 次災害危険度把握のために極めて重要であり、リモートセンシングを用いた定量的な災害観測技術の高度化が求められている。今までに、筆者らは、SPOT-5 衛星画像からの 5m メッシュ数値標高データ (DEM: Digital Elevation Model) 抽出方法を開発し、それを応用した斜面災害検出・規模分析法を研究し、2004 年新潟県中越地震に実証的に適用した^[1]。本研究では、提案手法を複数時期に拡張して、時系列の地形変化モニタリングを試みた。実験対象地は、台湾中部に位置する大甲溪上流域であり、2003 年、2004 年、2005 年の計 3 時期の地形観測を行った。大甲溪上流域は、1999 年集集大地震 (M7.6) 以降に、台風・降雨に伴う崩壊・土石流が頻発している地域であり、特に 2004 年 7 月ミンドリ台風豪雨に伴い大規模な崩壊・土石流災害が発生した。

2. 3次元地形変化観測手法

衛星画像には、2.5m または 5m 解像度の SPOT-5 衛星ステレオペア画像を用いた。3 時期ステレオ画像から、3 次元幾何学モデルと画像マッチングに基づくステレオ画像解析により 3 時期の 5m メッシュ DEM データを抽出し、各時期の DEM データの標高変化を図 1 に示す解析フローに従って自動的に解析して、3 次元地形変

化を観測した。

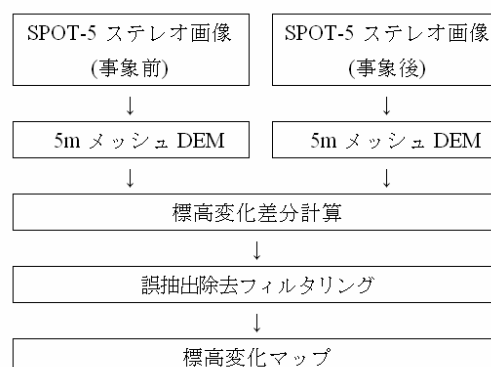


図1. 衛星画像に基づく3次元地形変化観測フロー

3. 高さ変化検出精度

高さ変化検出精度を、2 時期 DEM データの差分誤差（相対精度）を用いて、地形変化が発生していない領域で検証した。検証結果の『相対精度と斜面傾斜角の関係』を、新潟県中越地震への適用結果^[1]と比較して図 2 に示す。

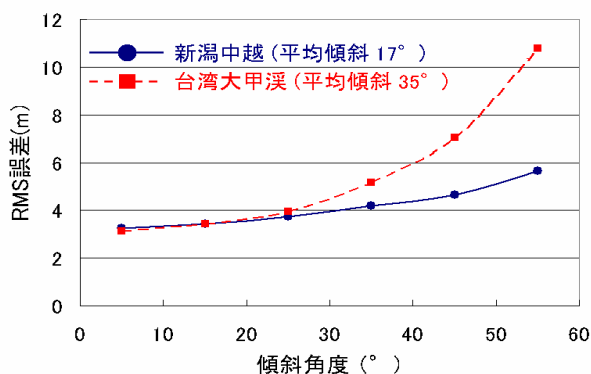


図2. 5mメッシュDEMデータの相対精度と傾斜角の関係

精度は、傾斜角度が大きくなるにつれて低下した。傾斜角 30 度以内では、約 3-4m (RMSE, 1σ) である。傾斜角 30 度-60 度では、新潟では約 4-6m の精度であり、大甲溪では約 5-11m であった。この理由には、2 地域間の斜面特徴の違いが挙げられる。傾斜角 30 度以上の領域が、新潟中越では局所的・狭域に存在する（面積約 7%）のに対し、台湾大甲溪では連続的・広域に存在（面積約 75%）している。

キーワード：斜面崩壊、土石流、地形変化、数値標高データ、リモートセンシング、衛星画像

連絡先：株式会社NTT データ 第一公共システム事業本部、住所：〒104-0044 東京都中央区明石町 8-1、E-mail:tsutsuikn@nttdata.co.jp

4. 複数時期観測に基づく地形変化モニタリング

本研究では、2003 年 8 月、2004 年 11 月、2005 年 11 月の計 3 時期に観測した DEM データを基に、大甲溪上流域の地形変化解析を行った。表 1 に、各観測期間の土塊移動に関する主要因事象を示す。

表 1.モニタリング期間内の土塊移動に関する主要因事象

観測期間	2003年8月～2004年11月	2004年11月～2005年11月
事象名	ミンドリ台風	ハイターン台風
事象日時	2004年7月1日～6日	2005年7月17日～22日
雨量	1,434mm/7日間	363.5mm/7日間

河川沿いを解析対象として、主に『崩壊・土石流による堆積』、『降雨による侵食』に伴う地形変化の検出を試みた。河川沿いは傾斜 30 度以内であるため、約 3m 精度（1σ）の高さ変化検出が見込める（図 2）。図 3-1 に 2003 年 8 月～2004 年 11 月の間の解析結果（以降、2004 年解析結果と略称）を、図 3-2 に 2004 年 11 月～2005 年 11 月の間の解析結果（以降、2005 年解析結果と略称）を示す。

2004 年の解析結果からは、大甲溪本流・支流で 2004 年ミンドリ台風に伴う土石流より引き起こされた+10 ～+20m の河床上昇（堆積）が検出された（図 3-1）。一方で、図 3-2 の 2005 年の解析結果からは、小雪溪（大甲溪支流）で-3m～-10m の侵食が検出された（図 3-2）。2 時期の解析結果に基づき、例えば小雪溪では、2004 年ミンドリ台風に伴う崩壊・土石流による堆積土砂が、2005 年の降雨により侵食されている土砂移動現象を把握できる。提案手法の定量的性能を検証するため、2004 年の小雪溪の平均堆積高さ と堆積土砂量を計算して、航空測量に基づく計算結果と比較した（表 2）。その結果、平均堆積高さの推定誤差は+0.7m で、堆積量の推定誤差は+6%であった。平均堆積高さ推定精度は、高さ変化検出精度よりも約 5 倍高い。その理由は、DEM データの高さ誤差が統計的な誤差であり、平均化により収束した結果と考えられる。提案手法が地形変化を高精度で定量的に観測できる性能を示している。

5. まとめ

衛星画像を用いた地形変化の時系列モニタリング法を研究し、実証実験を行った結果、以下の結論が示された。(1)変化検出精度は、SPOT-5 衛星を利用した場合、

傾斜 30 度以内で約 3-4m である。(2)時系列モニタリングにより、堆積・侵食に伴う土塊移動現象を検出した。堆積土砂量の推定誤差は、航空測量と比較して約 6%であった。(3)提案手法は、広域土砂移動の場所・深さ・体積の定量把握が見込めるため、災害復旧、危険度推定のための時系列モニタリングに極めて有用である。

謝辞：本研究は（財）先端建設技術センターの研究開発助成を受けて実施しました。ここに感謝の意を表します。

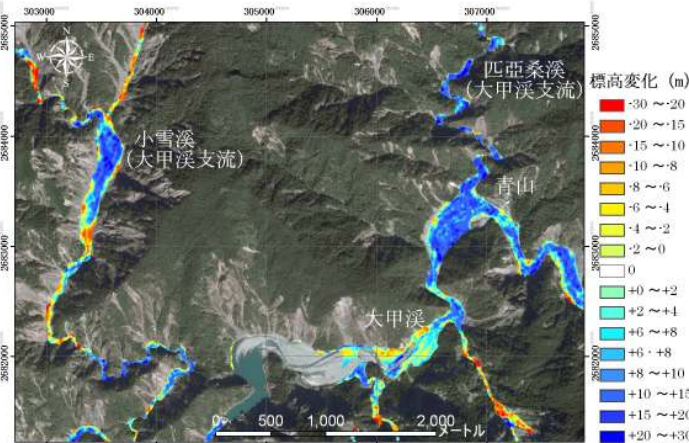


図3-1 2003 年 8 月～2004 年 11 月の地形変化解析結果

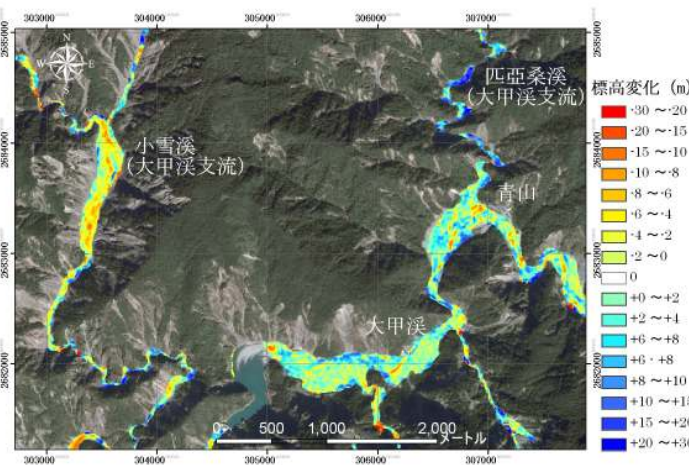


図3-2 2004 年 11 月～2005 年 11 月の地形変化解析結果

表 2. 堆積土砂量推定精度の検証結果（小雪溪, 2004 年）

手法 項目	衛星画像に基づく 結果（提案手法）	航空測量に基づく 結果（評価データ）
平均堆積(m)	12.1	11.4
堆積量(m³)	1,390,660	1,314,190

【引用文献】

[1] 筒井健, 宮崎早苗, 六川修一, 中川英朗: 高分解能衛星画像からの高精度標高変化抽出による 2004 年新潟県中越地震に伴う斜面崩壊規模の推定, 応用地質, Vol.46, No.3, pp.125-137, 2005.