

土砂の拡散を考慮した衛星データからの斜面崩壊形態検出

豊橋技術科学大学 正会員 河邑 眞
豊橋技術科学大学 正会員 ○辻子裕二

1. はじめに

急峻な山地と風化土が顕著に存在するわが国においては、地震の度に斜面災害が発生し貴重な生命や財産に甚大な被害をもたらしている。1995年兵庫県南部地震を直接の誘因とする斜面崩壊は約200を超え、その後の余震や降雨による崩壊はその数倍を数える。被災後には応急復旧計画における山岳地輸送経路の確保等を目的とした現状の把握が求められ、広域の被災地域のどの地点で、どの程度の規模の斜面災害が生じているのかを短時間で把握する必要がある。このような背景から、本研究では、上述から要求される広域性・即時性を満足する情報源として衛星データを取りあげ、斜面崩壊を検出する手法の一提案を行う。とくに、崩壊形態（落下、滑動）を判別する方法について示す。

2. 解析対象領域と使用データ

解析対象領域は、国土地理院発行1:25,000地形図で有馬、宝塚、神戸首部、西宮に相当する矩形領域である。衛星データとしては兵庫県南部地震前後（1993年3月23日、1995年1月24日）のLANDSAT TMデータ（path=110, row=36）を選択した。

3. 斜面崩壊検出手法の構築に用いる知見の整理

筆者らのこれまでの研究によって得られた知見をまとめると以下のである。

(1) 崩壊検出に有効な波長帯（知見A）

TMにおける7バンドの中で、最も斜面崩壊検出に有効なのはバンド5である。この結果は、多くの研究者による報告に等しい。

(2) 崩壊規模とTMデータとの関係（知見B）

滑動の崩壊形態に対しては、崩壊重心におけるバンド5と崩壊規模（崩壊面積）との間に正の相関（比例関係）がある。ただし、落下の崩壊形態に対しては、この関係が成立しない。滑動の崩壊形態に対する上述の関係より、バンド5から統計的な斜面崩壊面積（部分崩壊面積）を推定することができる。

(3) 滑動の崩壊形態における崩壊の特徴（知見C）

滑動・水平展開および流動によって斜面崩壊が生じる場合には、崩壊によって移動・被覆する土砂の量は崩壊重心からの距離に従って減少し、これに伴い衛星データの値も変化する。この変化過程を経験的に求めると、輝度値に関する拡散方程式の解に最も近似する。

(4) 落下の崩壊形態における崩壊の特徴（知見D）

落下によって斜面崩壊が生じる場合には、標高差のある崖からの落下により植生の被覆上に崩落した土壌が

散在するため多少の輝度値の変化があるものの、崩壊の幅が狭いため衛星データから崩壊を検出することは困難となる。ただし、岩盤の倒壊のように被覆物の飛散が見られない場合には、崩壊重心における画素の輝度値および周辺画素の輝度値から得られる部分崩壊面積に極端な差が生じるため、この特徴を利用した崩壊の検出が可能となる。

(5) 崩壊形態と崩壊方向との関係（知見E）

落下の崩壊形態における崩壊形状が線状を成すとき、崩壊方向は崩壊の短辺方向付近となる。滑動の崩壊形態における崩壊形状は円形に近い地形に沿った形状であるため、崩壊の進展方向と崩壊方向とが一致する。

4. 斜面崩壊検出手法

上述の知見に基づき、提案する斜面崩壊検出手法の流れを以下に示す。

(1) バンドの選定

本手法は衛星データの平面的な分布状態から斜面崩壊を検出するため、一つのバンドを選定する必要がある。ここでは、知見Aに基づきバンド5を用いる。

(2) 原画像マスクの作成

$n \times n$ 画素のマスクを考え、中心画素が最大画素となるマスク $G(z)$ を検索する。ここに z はマスク内の座標、 $G(z)$ はバンド5の値である。

(3) 部分崩壊面積の推定

知見Bの関係式から、 $G(z)$ の最大値および平均値から推定される部分崩壊面積を計算する。

(4) 理想的な滑動による崩壊マスクの作成

知見Cに基づき、 $G(z)$ の中心（崩壊重心）から任意の距離 x における輝度値 $C(x)$ を求め、 $n \times n$ のマスクを作成する。

(5) 崩壊形態の分類

$S(z) = K(z) - G(z)$ を計算し、 $S(z)$ に対してしきい値マスク ($P1(z)$, $P2(z)$) を定め、知見CおよびDに基づき以下の3タイプに分類する。滑動の検出を例にしたこの概念を図-1に示す。

TYPE 1 ($S(z) > P1(z)$) : 崩壊重心に輝度値の大きい物質が露頭した落下の崩壊形態である可能性が高い。

TYPE 2 ($P1(z) > S(z) > P2(z)$) : 知見Cの関係式を満足する滑動の崩壊形態である可能性が高い。

TYPE 3 ($S(z) < P2(z)$) : 崩壊重心の画素および隣接画素共に輝度値が卓越しているため大規模な崩壊である可能性が高い。次のステップ（(6)および(7)）で落下か滑動を判断する。

(6) 土砂の拡散範囲の推定

(3) で得られた部分崩壊面積が衛星データの空間分解能から推定される崩壊面積より大きい場合は、隣接画素に対して (2) から (5) の作業を繰り返す。

(7) 崩壊方向との整合性の検証

知見 E に基づき、(6) まですで得られた崩壊形状と DTM より得られる崩壊方向の整合性をとる。すなわち、崩壊が線状を形成し、かつ崩壊方向が崩壊形状の短辺方向の場合、TYPE 1 と判定する。

(8) 全体崩壊面積の算定

(3) で得られた部分崩壊面積の重ね合わせにより、全体崩壊面積を計算する。

(9) 最終結果の出力

以上の操作を全画素および全画像 (多時期) に対して実行する。被災前後二時期のデータを用いる場合、それぞれのデータに対して検出した結果を差し引いたものを最終結果とする。

5. 斜面崩壊検出結果と考察

対象地域全域に対して本手法を適用した結果について、精度を誤差マトリクスの形式で評価したものを表-1 に示す。ここに、CASE1, CASE2, CASE3 は、誤検出画素の出現状態を左右するパラメータ (初期条件) を変えたものである。なお、精度検証に用いた斜面崩壊データは、TM データの 1 画素の大きさを約 900m² と仮定し、崩壊面積がその半分 (450m²) から 1 画素分 (900m²) まで、1 画素分 (900m²) から 2 画素分 (1800m²) まで、およびこれ以上の 3 段階に分けて選択した。

同表に示されるように、900m² 以下でも崩壊箇所か否かの判断は可能であり、1800m² 以上であれば崩壊形態までほぼ正確に検出可能であるという結果が得られた。統計的には約 2800m² 以下の崩壊は pure pixel として現れる画素が存在しないという事実を踏まえると、この結果は本手法の有用性を充分示すものと解釈する。

図-3 は、対象領域内で実際に生じた崩壊の一例である。図-4 は、図-3 に対する検出結果である。ここに、3×3 画素のグレースケールで表示される図は、色が濃い (黒い) ほど斜面崩壊の面積占有率が高いことを示す。図-3 に示される例よりも細い平面形状を成す落下の検出は不可能であった。このことは、滑動において谷地形に沿った形状を有する場合にも当てはまる。平面形状が円形に近い滑動による崩壊は、土砂の拡散を考慮した判別式に良く適合することから、比較的精度良く検出されることが確認できる。

6. まとめ

本研究では、斜面崩壊と衛星データに関する知見を整理し、斜面崩壊の状態 (崩壊規模、崩壊形態、崩壊形状、崩壊方向) を推定する方法を提示し、ケーススタディーを通して本手法の有用性を検証した。ただし、課題とし

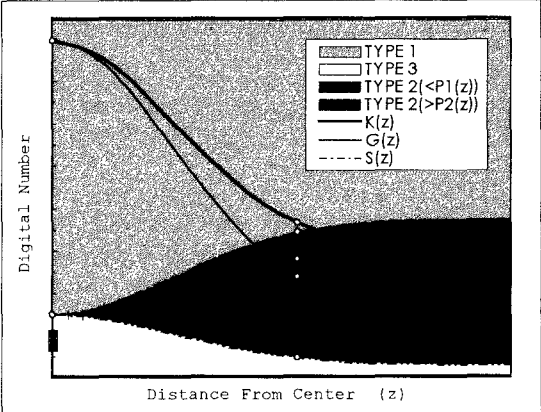
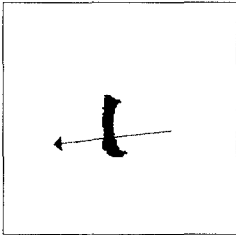


図-1 崩壊検出の概念 (滑動に対する例)

表-1 検出結果の精度 (%)

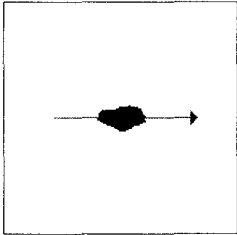
Actual Area of Failure			less than 900m ²		less than 1800m ²		over 1800m ²	
Actual TYPE			1	2	1	2	1	2
C	CASE 1	CT	-	40	0	73	50	75
	N=2151	WT	-	0	0	0	0	25
A	CASE 2	CT	-	48	0	73	100	75
	N=3916	WT	-	0	33	0	0	25
E	CASE 3	CT	-	48	33	80	100	75
	N=6304	WT	-	0	33	0	0	25

N: 検出総画素数, CT: タイプ合致, WT: タイプ違い



斜面崩壊面積: 1910m²

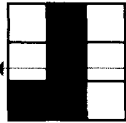
崩壊形態: 落下



斜面崩壊面積: 2150m²

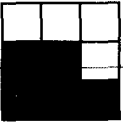
崩壊形態: 滑動

図-2 阪神大震災における斜面崩壊の一例



type 1: 落下

推定崩壊面積: 2250m²



type 2: 滑動

推定崩壊面積: 2150m²

図-3 検出結果の一例 (図-2 と対応)

て以下のことが挙げられる。

- (1) 本研究で求めた衛星データと崩壊状態との関係には、パラメータとしていくつかの仮定が含まれているため、この仮定の適用範囲について検討する必要がある。
- (2) 空間分解能の違いやパラメータの意味づけを含めた手法の汎用性を確保するためには、提示したモデルを体系化された形態論的手法による定式化が望まれる。