

運動形態分類に基づく衛星データからの斜面崩壊検出法

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

豊橋技術科学大学大学院

辻野和彦

1.緒言 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や集中的な降雨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。ここで確認される崩壊の殆どは人間が介在しないような急傾斜地に点在し、その情報は現地調査よりもむしろ航空写真等により間接的に得られている。このように航空写真を利用して判読を行う場合、経済的な負担以外にも判読に要する人材の確保や判読者の熟練度の差異による判読精度の問題、さらに判読に一定の指針を与えるのに要する時間などの問題が指摘される。一方、人工衛星リモートセンシング画像データ（以下衛星データ）は航空写真と比較して広域性・周期性・同時性、さらに経済性の面で有利とされており、被災域の範囲が予測できない場合特に効果的である。

このような見地から、多くの研究者により衛星データを用いた斜面災害危険度予測手法が提案されてきた。これらは主として災害に関する要因（誘因・素因）を取り上げ、統計的な観点から災害への寄与率を推定するものである。この場合衛星データは土地被覆分類等の2次的情報として、あるいは画素単位の特徴ベクトルとして

取り扱われる。しかし、特徴ベクトルを用いる方法で検出を行う場合、小規模の斜面災害に対してミクセルに起因した問題が指摘される。

以上より、本研究ではミクセルとして現れる小規模な斜面崩壊を、土砂の平面的な広がり方に基づいて検出することを最終目的とする。

2.斜面災害の分類とその特徴 衛星データは鉛直方向からのセンサーにより観測されることから崩壊を平面的に、すなわち真上から見た土塊の移動後の形状を分類する必要がある。そこで本研究では、運動形態に基づき分類を以下のように設定した。

- (1)落下…通常崖の部分に発生するため平面形状は崖に沿った線状を呈する。（図-1）
- (2)転倒…土塊の体積の差を除けば平面形状は落下と変わらない。（図-2）
- (3)滑動…通常面的な広がり方を呈するため鉛直方向からのセンサーで捉えやすい。（図-3）
- (4)水平展開・流動…力学的な作用力の違い以外は滑動と同じであると考えられる。（図-4）

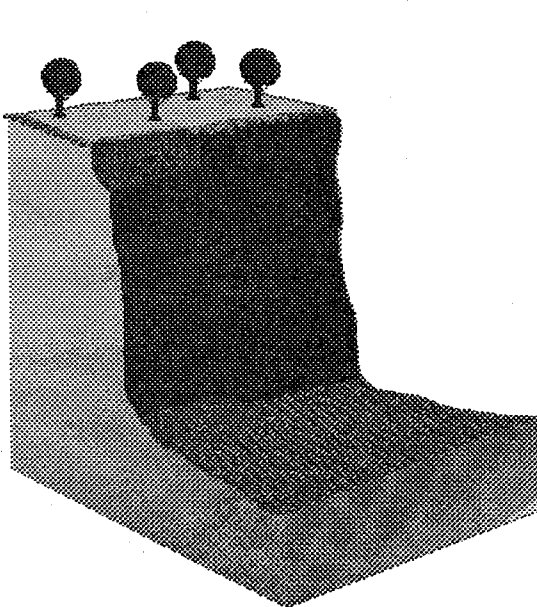


図-1 落下

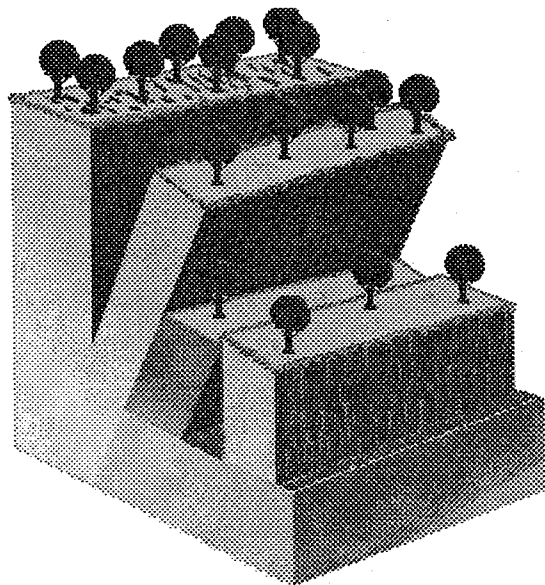


図-2 転倒

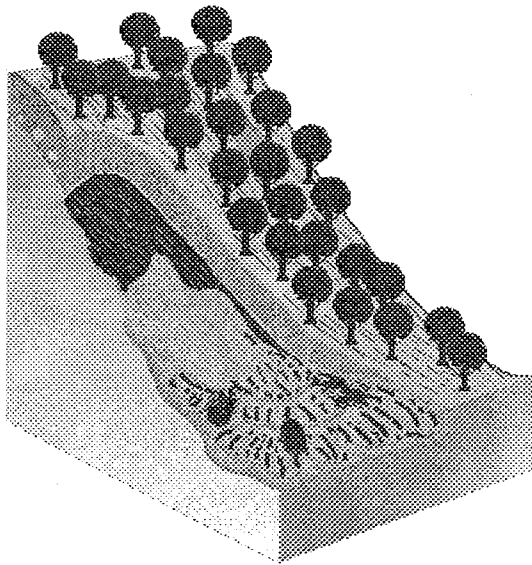


図-3 滑動

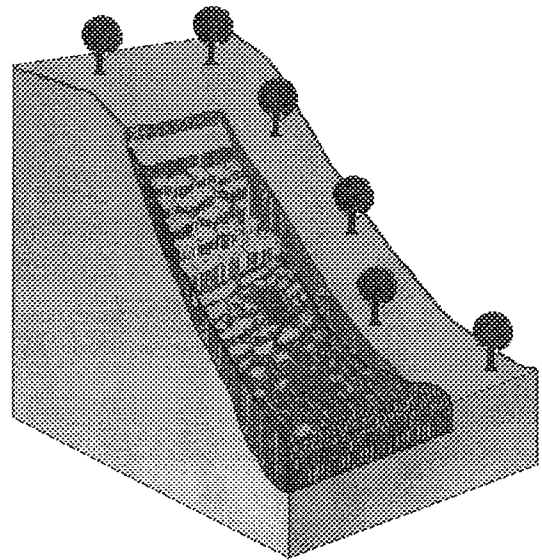


図-4 水平展開・流動

ここで上記の四分類は航空写真や衛星データの空間分解能では判読できないため落下グループ(落下, 転倒)と滑動グループ(滑動, 水平展開・流動)の二分類にカテゴリーを圧縮した。

3.使用データ 本研究では 1995 年兵庫県南部地震を直接の誘因として発生した斜面崩壊をケーススタディーとして用いた。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。この領域の植生図と地質図から地盤に関しては殆どが花崗岩質であり植生に関してはバラツキが認められるものの同一樹種であったため, これらの違いによる補正を行わずに処理を進めた。

4.崩壊形態と崩壊方向との関係

(1)崩壊地点における分光反射特性

TM データにおける斜面崩壊地点についての各バンドごとの輝度値の平均値およびその変化を調べた結果を図-5 に示す。この結果より, 特にバンド5の輝度値の変化が崩壊地点を特徴的に捉えていることが判る。

(2)崩壊規模と衛星データとの関係

緑被成分と土壌成分の 2 相物質の混合による輝度値がこれらの面積占有率により決定されるとすると, 崩壊面積と輝度値の関係は図-6 のように表現される。同図に示されるバイリニアの傾斜部分(a-b)は, 緑被成分と混合比が崩壊面積に比例するという仮説を表している。同図の水平部分(b-c)は, 崩壊面積が大きくなることによって

土壌成分のピュアピクセルとなることを表している。含水比等の物性値および地形傾斜などが同じであればピュアピクセルとして現れる斜面崩壊面積より大きな斜面崩壊に対しては輝度値は一定になることは明らかである。この仮説を検証するために滑動グループにおいて崩壊規模とバンド5の関係を調べたところ, 図-7 ような

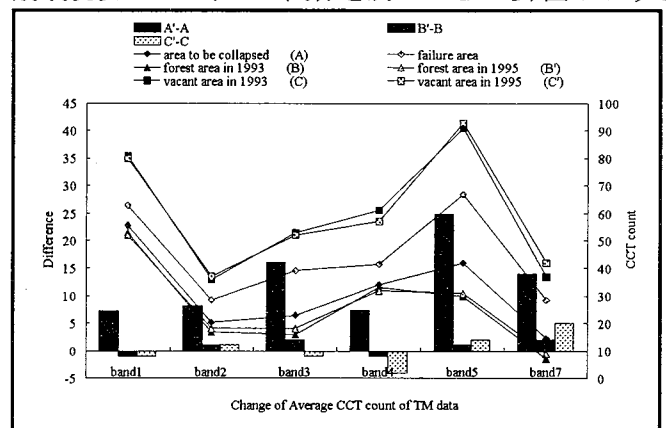


図-5 崩壊前後の TM データの変化

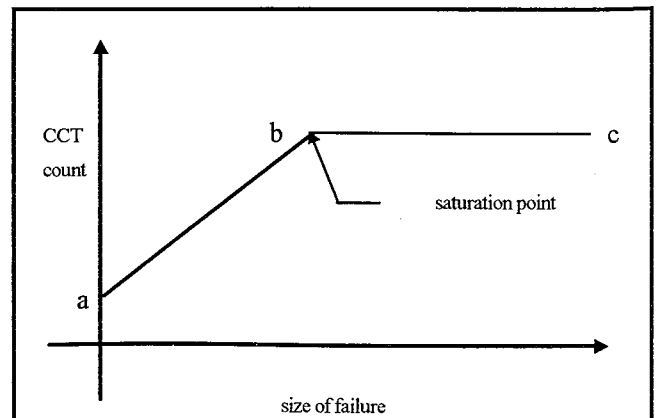


図-6 斜面崩壊面積と衛星データの関係

正の強い相関が見出された。しかし、図-8 に示されるように、落下グループに関しては相関が確認できなかった。

(3)崩壊の平面的な広がり方

崩壊の規模をより詳細に把握し、その形態を分類するには、崩壊の平面的な広がり方を把握する必要がある。本研究では、崩壊重心からの距離に従う輝度値の変化を表層地盤の土砂埋没に起因する反射エネルギーの変化（低減）として取り扱い、拡散方程式を用いて定式化した。

$$C(x) = C_0 \cdot \exp \{ -x^2 / 4D \}$$

(1)

本解析では、中心画素に対する輝度値($C=C_0$ at $x=0m$)とその近隣画素に対する輝度値($C=C_r$ at $x=30m$)のそれぞれに対する斜面崩壊面積との関係を用いて D を定め、輝度値の変化を阪神大震災の実例を用いて図-8 のように描いた。仁川地区の崩壊を例に、この関係を検証したところ、線形式に対して上式の有用性が確認できた。

5.斜面崩壊検出手法 本研究で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、図-5 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

図-7 に示される関係式から、 $G(z)$ 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)理想的な滑動の崩壊形態による崩壊マスクの作成

式(1)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、右側に示す 3 タイプに分類する。

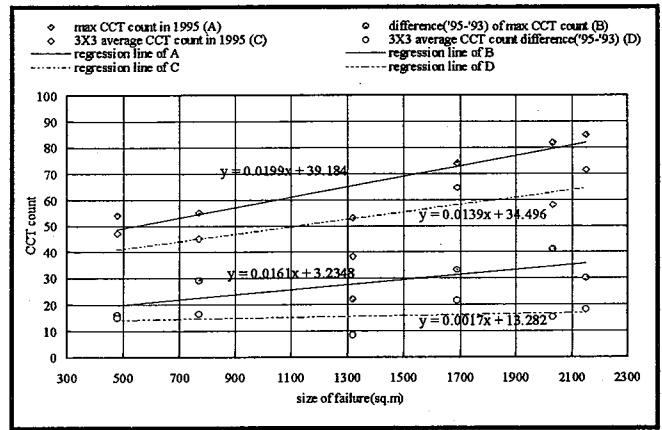


図-7 斜面崩壊面積と TM バンド 5 の関係 (滑動グループの場合)

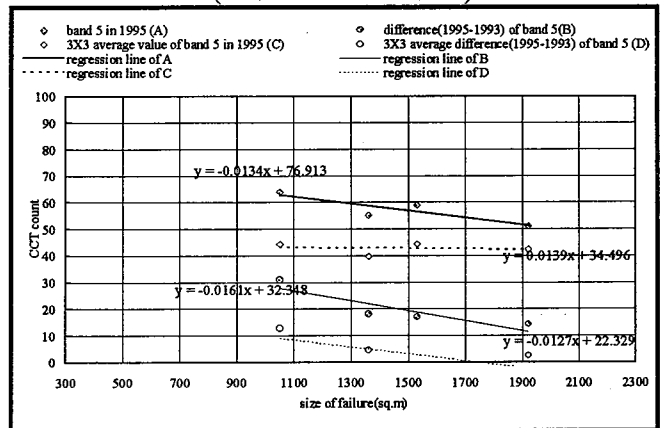


図-8 斜面崩壊面積と TM バンド 5 の関係 (落下グループの場合)

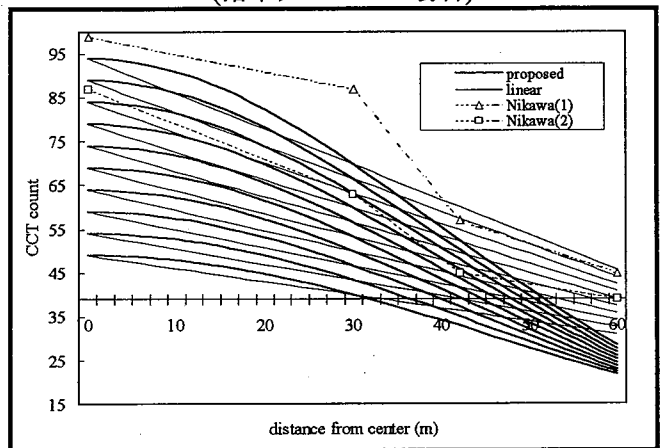


図-9 崩壊重心からの距離と TM バンド 5 の関係

- 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 ($P1(z) > S(z) > P2(z)$) : 式(1)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

(6)まで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。

6.結果 図-10 は、対象領域内に実際に生じた崩壊の一例である。3×3 画素のグレースケールで表示した図は、同図左列の崩壊の検出結果である。色が濃い（黒い）ほ

ど斜面崩壊の面積占有率、正確には植生の被覆に対する土壌成分の割合が多いことを示す。滑動に対しては、式(1)の関係式を用いることにより、比較的精度良く検出していることがわかる。

7.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（規模・形態・形状・方向）を推定する方法を提示しケーススタディーにより、良好な結果を得た。

謝辞：本研究における斜面崩壊データは、神戸大学沖村孝教授の御好意により利用させていただいたものである。また、本研究で用いた衛星データは、宇宙開発事業団より阪神大震災に関する研究のために無償で提供されたものである。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- (1)沖村孝：土木学会阪神大震災震災調査第二次報告会資料，社団法人土木学会，pp.163-168，1995.
- (2)河邑眞・辻子裕二：衛星データを用いた山地斜面崩壊地点の時系列抽出手法に関する研究，第 15 回自然災害学会学術講演会，pp.163-168，1995.

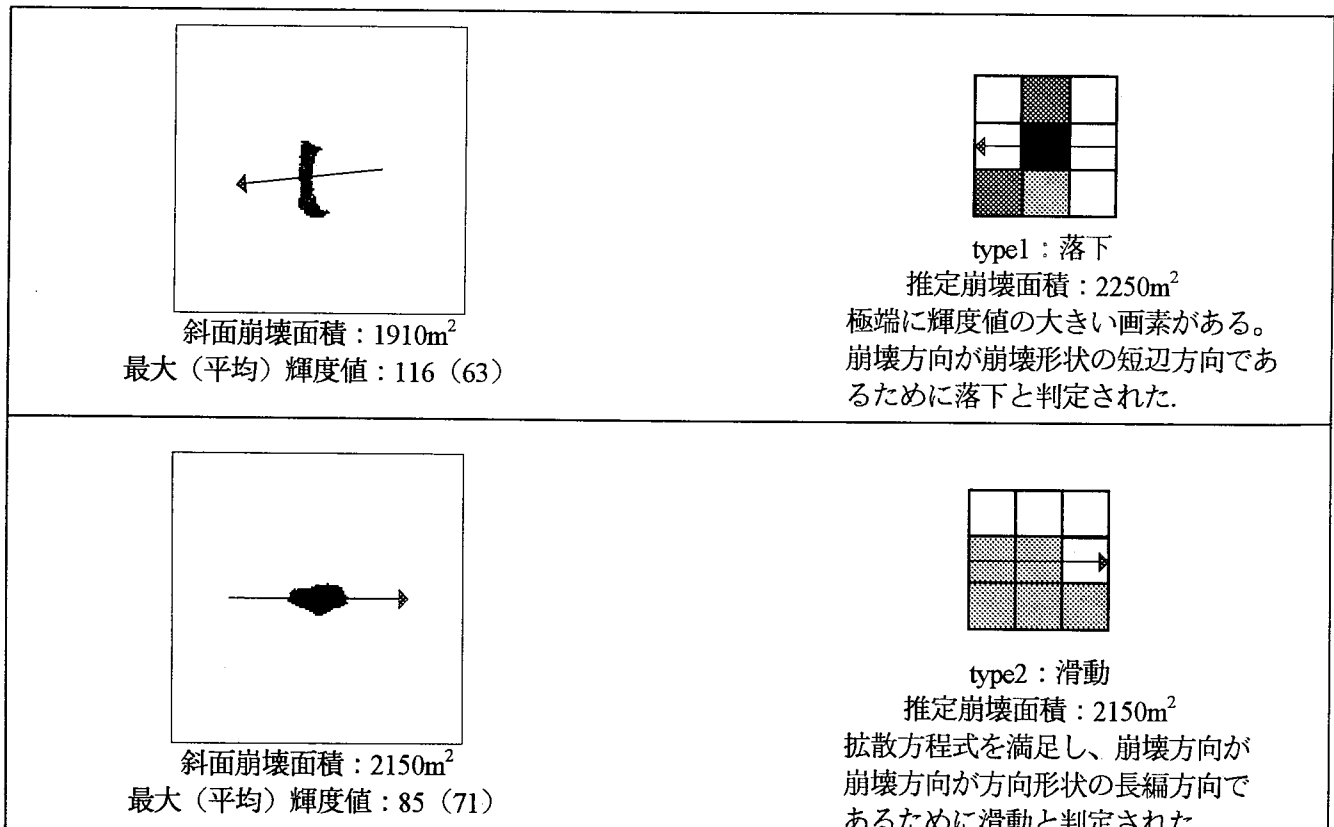


図-10 阪神大震災における斜面崩壊の一例とその解析結果
上段：落下・転倒による斜面崩壊，下段：滑動・水平展開および流動による斜面崩壊，
黒：崩壊領域，矢印：崩壊の向き