

国際航業(株) 瀬戸島 政博

○ 赤松 幸生

柴田 健一

1. はじめに

一般に崩壊発生の予測には、いつ(時間)、どこで(発生地点)、どんな規模で(大きさ)の3点を明らかにする必要がある。なかでも崩壊がどこで発生するかを予測することは防災対策を立案していくうえで、きわめて重要な課題である。これまで斜面崩壊の発生予測については、後述するようないくつかの手法がある。たとえば、これまでの経験に基づく定性的な予測手法や、多変量解析などによる定量的な予測手法などがこれにあたる。どちらの場合にも地表面の形態や浅層部の土質・地質条件、さらには植被状況などを主に、これに降雨強度などの誘因情報を加えて検討しているようである。崩壊発生の素因を主体に考えていくかぎりでは、上記のような個々の土地条件について個別に考えていくのではなく、これらの条件が相互に関連し、トータルな形でバランスを失ったときに崩壊を引き起こすと考えていくことが肝要であろう。その場合、総合的な観点から地表面情報を把握していく必要があり、リモートセンシングがその性格上、きわめて有効な手段となってくる。ただ、リモートセンシングはあくまでも表面の反射あるいは放射特性だけをよりどころとし、地形・地質あるいは三次元の情報を直接収集することはできない。崩壊発生を予測する場合、このような一次的な情報であるリモートセンシングデータだけでは不十分であり、リモートセンシングデータに他の地理情報(たとえば、地質とか傾斜・標高など)を加味した多次元情報から分析していくことが大切である。この際、イメージ・オーバーレイ処理が有効となる。

本文では、リモートセンシングの新しい解析手法であるイメージ・オーバーレイ処理のシステム化とこれを用い、昭和59年9月の長野県王滝村大規模災害地域を事例とした崩壊危険度解析について報告する。

2. イメージ・オーバーレイ処理とその応用

リモートセンシングデータは、通常、画像情報として得られ、その利用分野は土地利用・環境・資源などの多岐の調査にわたるが、いずれの場合にもリモートセンシングデータを加工したものと、従来からある地形分類図・土壌図・地質図等の地理情報を相互に参照して用いることが多い。すなわち、リモートセンシングデータは他の地理情報と同一レベルで並列的に用いることができれば、リモートセンシングデータの長所を生かすことができ、その短所を補うことも可能である。このような目的からリモートセンシングデータを加工したものと、他の地理情報を画像として重ね合せ、定量的・定性的な相互評価をするという“イメージ・オーバーレイ処理”の概念が生まれた。図-1にはイメージ・オーバーレイ処理の概念を示す。イメージ・オーバーレイ処理を崩壊危険度解析等に用いる場合、次のような利点が生まれる。

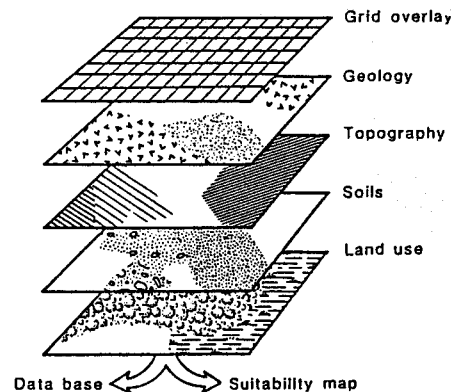


図-1. イメージオーバーレイ処理の概念

(1) 目的とする崩壊危険度の分級や

評価の結果を出力することが可能であり、エンドユーザーが求めているニーズに対応することができる。

(2) 従来からの手法(たとえば空中写真判読等)と有機的な結合を

はかり、リモートセンシングデータの短所(反射・放射特性のみをよりどころする)を補うことができる。

(3) 崩壊地と素因との関係を個別にイメージ化でき、発生素因の分析には最適である。

(4) すでに作成済みの情報(たとえば土地利用図など)と最新のリモートセンシングデータを用いることによって、データの更新をはかっていくことができる。

表-1 崩壊危険度予測手法の比較

手 法	融通性	再現性	処理コスト	処理速度	客観性	使用システム
①点数評価法	可	可	良	良	可	不可
②多変量解析法	最良	良～最良	可	最良	最良	要
③2値分類法	良	良	良	良	可～良	要
④Overlay法	最良	最良	可～良	最良	最良	要

崩壊発生の危険度を予測する場合の手法には、従来からの経験に基づき、各カテゴリーに点数を与え、その加減乗除による簡便法(点数評価法)や、多変量解析による危険度分級などがその代表的なものである。また、最近では、リモートセンシング解析を応用した土地被覆状況のちがいに基づく、崩壊発生予測などの手法が提案されている(参考文献(1)、(2))。これらの手法は、表-1に示すように一長一短がある。点数評価法は、これまでの解析者の経験に基づく定性的な手法である。したがって、判別基準も画一的で、融通性や再現性という面では、他の手法に比べて劣るが、処理コスト面では廉価ですむ。多変量解析は、最も客観性に富み、処理の融通性や再現性は高いが、解析のための準備作業に多大な労力を要し、コスト面での課題を残す。2値分類は、リモートセンシングの画像解析を応用したものであり、リモートセンシングデータが十分に整っている場合(災害前・後のデータ)には、有効な処理手段となる。以上の手法に加えて、イメージオーバーレイ法では崩壊発生の危険度予測には、きわめて有効な手法といえよう。とくに、この方法ではメッシュ情報として各データを扱うため、さらに多変量解析法へ結びつけていくことが可能である。

3. システム化にあたって

システム化にあたっては、次のような視点より検討を加えた。

- (1) 従来から行なわれてきたリモートセンシング解析では、得られた結果は、すべて表面情報のみによる一次的なものであり、その応用範囲にも限界がある。そこで、リモートセンシングの長所(広域性、周期性、同時性)を生かしながら、その解析結果にリモートセンシングでは得られない情報を付加することにより、総合的な評価を行なうことが必要であり、とくに、崩壊発生予測の場合には、多次元の情報を扱うことが必要である。
- (2) 各情報の整合性をはかることと、各情報の重ね合せ処理の二つの課題がある。各情報の整合性については、1) LANDSATデータと地図との互換性をとり、地理的な位置の整合をはかる。このためには、従来からリモートセンシング解析で用いられてきた幾何補正技術を適用する。2) MTベース化されていない各種の調査図(ポリゴンデータ)をメッシュデータに変換する。このためには、ポリゴン/メッシュ変換ソフトの構築が必要である。
- (3) 従来から分級や評価の際に用いてきたメッシュオーバーレイによる分析では、その結果が視覚的にわかりにくいという欠点があった。そこで、メッシュオーバーレイデータを画像データと同程度まで高密度化し、イメージオーバーレイにより、解析結果を画像として表現することにより、視覚にうったえる効果を得る必要がある。この場合、各情報の重ね合せ処理では、LANDSATデータと各種の調査図と同一メッシュでオーバーレイしていく必要がある。その処理手法については、2つの情報の重ね合せ、あるいは、多種情報の重ね合せを行なうためシステム化を計る必要がある。

(4) 出力として得られるものが、数値リストあるいはメッシュ図から画像として表現できるため、視覚的にわかりやすい成果を得ることができる。

なお、本解析に使用したシステム構成は図-2～3に示すとおりであり、従来からのリモートセンシングの画像処理に加え、前述のような視点からイメージオーバーレイ処理の整備をおこなった。

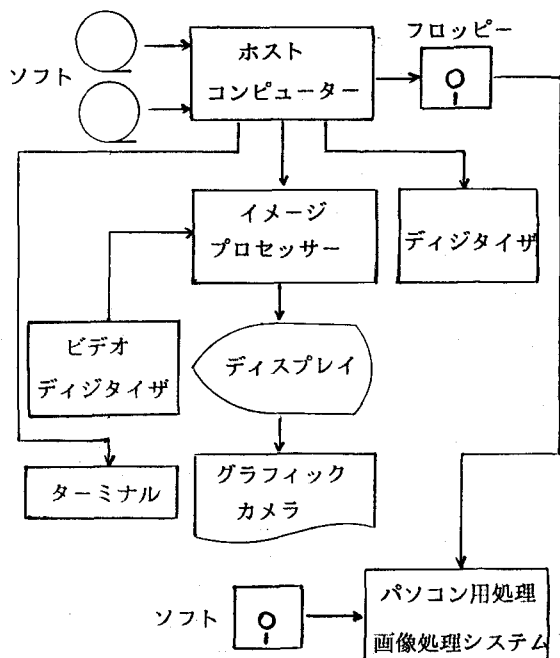


図-2 使用システムのハード構成

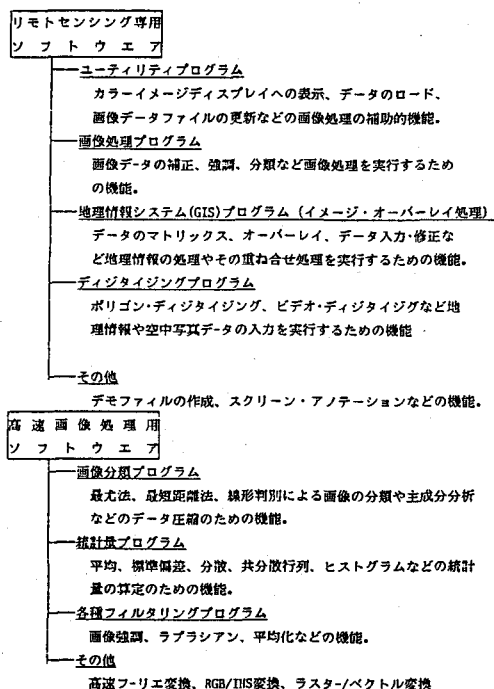


図-3 主要ソフトウェアの概要

4. 代表的なイメージ・オーバーレイ処理の内容

イメージ・オーバーレイ処理については、さまざまな処理手法が提案されている（たとえば参考文献(3)など）。ここでは、INDEX法、MATRIX法、OVERLAY法の3手法について述べる。

(1) INDEX法

INDEX法は、用いるカテゴリーごとに効用値と重みづけを行ない、次式によってオーバーレイの結果を出力するものである。

$$R = \frac{[(W_1 \times P_1) + (W_2 \times P_2) + \dots]}{(W_1 + W_2 + \dots)}$$

R : 結果値 W_n : 重み P_n : 効用値

(2) OVERLAY法

OVERLAY法は、オーバーレイしようとする情報のうち、特定なカテゴリーについてのみオーバーレイ処理するものである。

(3) MATRIX法

MATRIX法は、2つの情報を使い、各カテゴリーに応じたマトリックスを作成し、各マトリックスに効用値を定め、これによってオーバーレイ処理していくものである。

今回の解析では、MATRIX法とINDEX法を用いた。

5. 本解析手法の適用例 ―長野県王滝村大規模災害を例として―

ここでは、イメージ・オーバーレイ機能を活用して、長野県西部地震による王滝村大規模災害の斜面崩壊個所の素因を分析し、今後の斜面崩壊の危険度分級を試みた。

5-1. 災害概況

長野県木曽郡王滝村周辺の御岳山南山麓では、昭和59年9月14日午前8時48分すぎにマグニチュード6.8の地震を被った。地震と同時に土石流が御岳山頂付近で発生し、伝上川上流から下流の濁川沿いに約10kmの距離を流下して、王滝川に合流した。この堆積土砂は王滝川の流路を遮断し、上流からの水をたたえてしまった。これ以外にも大又川での土石流、松越地区・滝越地区・御岳高原地区などで大規模崩壊が発生した。この地震災害では、王滝村を中心に木曽郡の町村に広く被害をもたらしたが、震央距離は約80kmの範囲までに被害が集中していることが判明した。また、被害額では、震源地の王滝村で203億円にのぼり、隣村の三岳村ではその1/20、他の町村ではさらに1桁低い額であり、王滝村に集中していることが分かる（参考文献(4)）。

5-2. 解析方法と使用データ

本論では、長野県西部地震で発生した崩壊と地形・地質・傾斜・土地利用といった素因とがどんな関係を持っているかについて、イメージ・オーバーレイ処理という新しい画像解析手法を用いて検討した。図-4にその解析フローを示す。

(1) 崩壊分布図作成とそのイメージ化

災害前・後のカラー空中写真を比較判読し、本災害による崩壊地を抽出し、1/2.5万崩壊分布図を作成した。この図をポリゴンディジタイザーを使い、システム内に入力し、ポリゴン→メッシュ変換をおこない、50m×50mのメッシュに自動分割し、イメージデータを作成した。

(2) LANDSATデータによる土地被覆分類

災害前のLANDSAT MSSデータを使い、幾何補正を施したうえで、土地被覆分類データを作成した。この場合1画素の大きさは50m×50mとした。

(3) 各情報図のイメージ化

災害前のカラー空中写真と既往資料等により、崩壊発生と因果関係の深い素因ごとの情報図を作成した（リニアメント分布、傾斜、標高区分、斜面方位、地質……などを1/2.5万地形図にまとめた）。これらの情報図をポリゴンデータのまま入力し、メッシュ変換によりイメージデータ（50m×50m）を作成した。

(4) 因子ごとの分析

イメージ・オーバーレイ処理機能を用い、崩壊分布を基準に各情報を1対1で重ね合せ、崩壊発生要因を分析した。

(5) イメージ・オーバーレイ処理による崩壊危険度分級

(4)の分析結果に基づき、各アイテムとカテゴリーの重みと効用値を設定し、再度イメージ・オーバーレイ処理機能を使い、今後の崩壊発生の危険度分級を試みた。

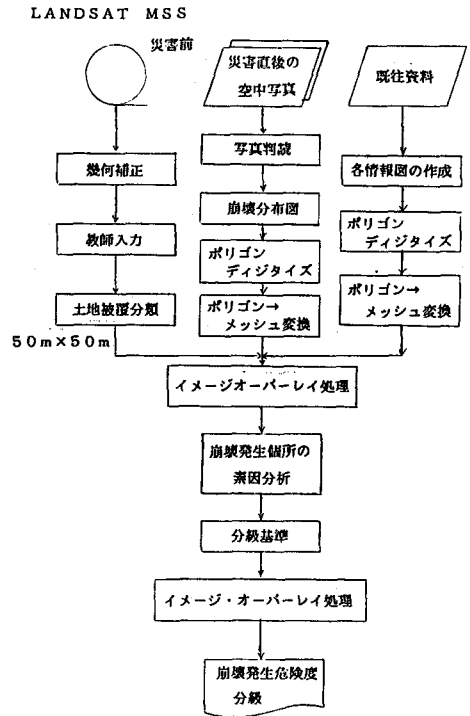


図-4 解析方法

5-3. 解析結果

5-3-1. 崩壊素因の分析

ここでは、今回の災害による崩壊発生個所の各素因情報をオーバーレイ処理し、崩壊発生に關与する素因について分析した。素因は、1)地質、2)断層からの距離、3)リニアメントからの距離、4)遷急線からの距離、5)遷緩線からの距離、6)傾斜、7)標高、8)斜面方位、9)水系からの距離、10)土地被覆、11)降雨、12)震央からの距離などとした。写真-1~2にはオーバーレイ処理による結果を示す。

- (1)地質と崩壊分布をみると、中規模崩壊(50m~150m)・大規模崩壊(150m以上)では御岳火山噴出物分布域とかなり相関が高いが、小規模崩壊(50m以下)では前者ほどの傾向は認められない。
- (2)リニアメントからの距離と崩壊分布では、どの崩壊の場合にもその距離が50m以内で崩壊発生面積の60%近くを占めている。
- (3)遷急線からの距離と崩壊分布については、どの崩壊ともその距離が50m以内で崩壊発生面積の約30%,100m以内で約40%に達している。
- (4)傾斜と崩壊分布との関連性では、小規模崩壊の場合には30°以上の地域で崩壊発生面積の90%近くを占めている。中規模崩壊で約80%,大規模崩壊で約75%である。
- (5)傾斜と崩壊分布の関連では、小規模崩壊は1000m~1400mの標高域に集中している。大規模崩壊では1800m以上の標高域に集中する。
- (6)降雨と崩壊分布とについては、小規模崩壊で連続雨量60~70mmの地域と、中~大規模崩壊で連続雨量85mm以上の降雨地域と関連性が高い。

表-3 素因情報と崩壊との関係

アイテム	カテゴリー	小規模崩壊 (50m以下)	中規模崩壊 (50m~150m)	大規模崩壊 (150m以上)
地 質	1 段丘堆積物	4.0 %	4.7 %	1.4 %
	2 崖線堆積物	5.4	9.9	21.2
	3 御岳火山噴出物	47.0	74.5	76.8
	4 花こう斑岩	4.7	0.9	0.0
	5 花こう閃緑岩	0.7	1.2	0.0
	6 輝緑凝灰岩 1	0.7	0.0	0.0
	7 輝緑凝灰岩 2	1.4	0.0	0.0
	8 輝緑凝灰岩 3	5.7	0.0	0.0
	9 輝緑凝灰岩 4	1.4	1.6	0.0
	10 角れき岩	0.4	0.0	0.0
	11 凝灰岩	3.9	0.0	0.0
	12 古生層 1	15.0	7.2	0.6
	13 古生層 2	9.7	0.0	0.0
リ ニ ア メ ン ト か ら の 距 離	1 リニアメント地点	23.3	21.4	16.7
	2 地点から50m	42.0	42.3	40.5
	3 地点から100m	12.2	13.7	19.3
	4 地点から150m	7.9	6.5	12.9
	5 地点から200m	3.6	6.2	7.8
	6 地点から250m	2.1	3.4	2.3
	7 地点から300m	1.1	3.7	0.5
	8 地点から350m	2.5	2.2	0.0
	9 地点から400m	0.7	0.6	0.0
	10 地点から450m	2.1	0.0	0.0
	11 地点から500m	0.4	0.0	0.0
	12 地点から550m以上	2.1	0.0	0.0
傾 斜	1 8°以下	1.8	4.0	0.0
	2 8~15°	1.0	3.7	5.1
	3 15~30°	3.6	11.8	17.1
	4 30~45°	21.9	14.0	24.8
	5 45°以上	71.7	66.5	53.0
標 高	1 1000m以下	1.8	0.0	7.3
	2 1000~1200m	25.8	12.1	1.5
	3 1200~1400m	35.9	19.9	17.3
	4 1400~1600m	10.0	3.7	3.3
	5 1600~1800m	10.8	18.3	3.0
	6 1800~2000m	3.2	10.0	25.9
	7 2000~2200m	6.8	17.7	23.8
	8 2200m以上	5.7	18.3	17.9

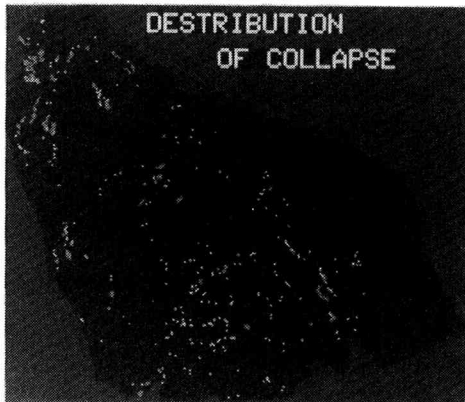


写真-1 崩壊分布

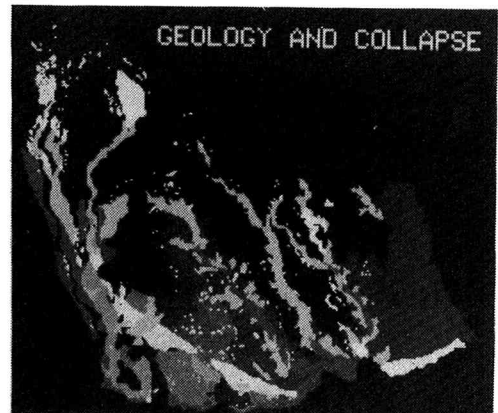


写真-2 地質と崩壊分布

5-3-2. 崩壊発生危険度分級

崩壊発生危険度分級にあたっては、前述の素因分析結果を踏まえ、イメージオーバーレイ処理により、崩壊規模別に解析した。どの崩壊の場合でも各溪流の源頭部が危険箇所として判別された。中～大規模崩壊の発生危険箇所は御岳火山噴出物地域に限られるが、小規模崩壊の場合には御岳火山噴出物地域に加えて溶結凝灰岩や古生層の地域にも認められた。写真-3は、前期の分級結果をさらに重ね合せ、総合的な崩壊発生危険度を分級したものである。

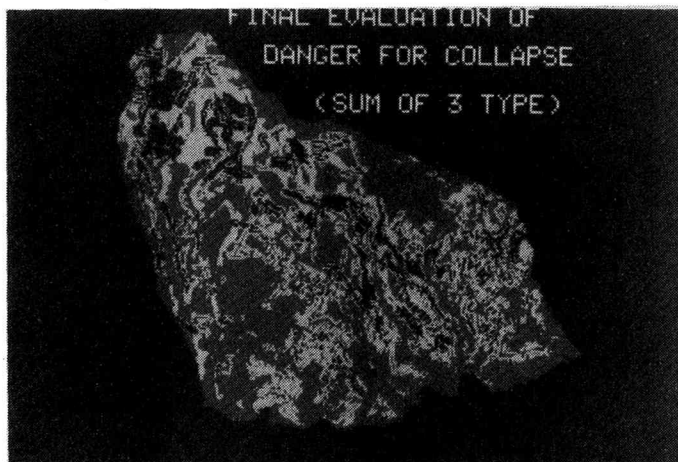


写真-3. 総合的な崩壊発生危険度分級

6. おわりに

本文は、斜面崩壊の発生危険度をリモートセンシング手法、とくにイメージ・オーバーレイ処理を用いて予測するための方法論を展開し、1984年9月14日に土砂災害を発生した長野県王滝村一帯をテストエリアに選んで崩壊発生危険度の分級を試みたものである。従来からの崩壊発生危険度分級の際に用いられてきた点数評価法(経験などに基づく)やメッシュオーバーレイ法に比べ、その解析結果を視覚に訴える効果があり、だれにでもわかりやすい成果を得ることができる。また、数量化解析にみられるような煩雑な処理課程を経なくても、きわめて容易に、リアルタイムな処理をしていくことができる。ただ、あくまでもリモートセンシング本来の持つ性格に限定されてしまうことも否めない。したがって、本解析手法を利用していく場合、たとえば崩壊発生直後の被害地域の算出や応急対策段階での今後の危険箇所指摘といった面では効果的であろう。また、本解析手法による結果を基に、数量化によるより定量的な危険度分級解析へ結びつけていくことが可能である。

[参考文献]

- (1) 後藤・瀬戸島(1985.6): 山岳道路建設のための地形・地質調査における航空機データな活用 土木学会論文集 第358号/Ⅲ-3
- (2) 後藤・瀬戸島(1985.6): リモートセンシングによる斜面崩壊発生地点の予測方法 土質工学会論文報告集 VOL.25, No.2
- (3) 島津康夫(1975.5): 環境アセスメント - 原則と方法、スコープリポート1 環境情報科学センター
- (4) 島担(1985.2): 昭和59年(1984年)長野県西部地震報告 土木学会誌 VOL.70
- (5) 瀬尾克美他(1984.11): 長野県西部地震に伴う土砂災害(速報) 新砂防 VOL.37 No.4