

山地斜面の崩壊要因と安定解析に関する研究

島 重 章*・胡 隆 之**

(平成19年10月31日受理)

Study on Landslide Factor and Stability Analysis of Slope Failure

Shigenori SHIMA and Takayuki EBISU

(Received Oct. 31, 2007)

Abstract

In recent years, the soil disasters very often occur in various places. The average occurrence of the disasters for 20 years is 500 times/year. The slope failures account for over 50%. For that reason, human damage occurs every year. Especially, the disasters caused by the mountain slope failures frequently occur at Mt. Daisen, one of Chugoku Mountains. The mountain slope failures caused the swamp failures, and did a lot of damage to the downstream region. Therefore, this study shows a remote sensing investigation obtained by satellite data, the ground information by multiple regression analysis models, the risk of slope failure is predicted by quantification analysis II based on the information, and dangerous region is compared by stability analysis.

Key Words: remote sensing, slope failure, risk prediction, stability analysis

1. はじめに

日本列島は、地殻変動帯に位置している。地形、地質は複雑であり、急峻な山地に加えてモンスーン常襲地帯に位置するため、豪雨豪雪型の厳しい気象条件下にあるといえる。そのため、気象災害による山地崩壊や土石流などが多発し、人的・物的損失を被っている。

これら自然災害を未然に防ぐために、災害発生場所や規模の予知・予測を確立する必要性が検討されている。そのためには、斜面崩壊の発生要因となると考えられる、地質・地形・植生などの地盤情報が広域に必要である。しかし、一般的な地盤調査では広範囲の地盤情報を得るには多くの時間や経費を費やしてしまう。

そこで、地盤情報を広域にとらえるため、人工衛星データを用いることが有効であると考えられる。人工衛星によるリモートセンシング技術は、可視域から赤外域までの

データを用いた特徴抽出が可能であり、地表面を構成する物質を分類することが可能である。

ここでは、中国山地の大山山腹斜面を対象に、衛星データより得られた地盤情報のデータベース化を行い、そのデータに数量化分析第II類を適用することで、崩壊要因を明らかにし、斜面崩壊の発生する危険箇所の予測を試みた。また、予測した危険箇所について斜面安定解析を行うことで崩壊の危険性を比較検討した。

2. 大山の地域特性

対象とした調査地域は、Fig.2.1 に示す北緯 35°26'5.67" ~ 35°10'34.01"，東経 133°24'2.95" ~ 133°45'5.30" の約 30km 四方の範囲とした。

1) 地形

大山は直径約 30km の大型の複成火山で、山体は最高峰の剣ヶ峰 (標高 1729 m) を中心とする円錐形を呈し、広大な

* 広島工業大学工学部都市建設工学科

** 広島工業大学大学院工学研究科建設工学専攻

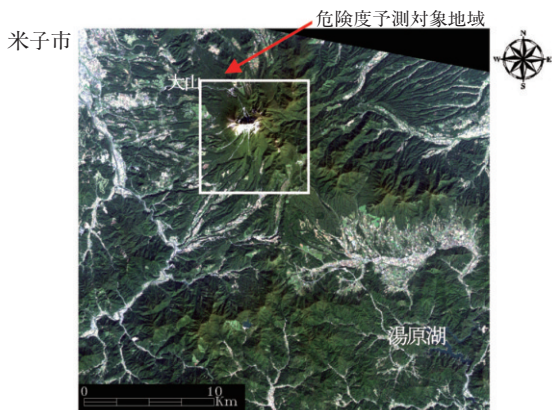


Fig.2.1 調査対象地域（鳥取県西部の大山付近画像）

裾野がみられる。山頂直下からいたるところで山体の崩壊が発生し、特に剣ヶ峰や弥山の北壁、南壁では崩壊が顕著である。

2) 地質

大山の地質は、大部分が安山岩および安山岩質の碎屑物や火山灰から成り立つ。本地域の安山岩や火山岩層は風化しやすく、また容易に崩壊しやすく、急な斜面部では崖崩れや落石を起こしやすい。崩壊土砂は絶えず沢に滑落し、降雨時に土石流型の洪水を引き起こす。また植生が何らかの原因で破壊されると表土がガリー侵食で失われ急速な崩壊を招くことが多い。

3) 傾斜

大山は、30°以上の勾配をもつ急峻な斜面が多く分布している。30°~40°の急斜面は大山トロイテなどの山腹斜面を構成しており、被覆する植生は草地またはブナの原生林が卓越する。40°以上の急崖のうち顕著なものは、大山の北壁・南壁などがあげられる¹⁾²⁾。

4) 気象

日本海からの季節風の影響で、大山山頂では年降水量が3000mmを超し、積雪期間は6ヶ月にも達する³⁾。

3. 人工衛星データの適用

3.1 衛星リモートセンシングの概要

まず、衛星リモートセンシングの特徴として、広い範囲を瞬時に観測することができる（観測の広域性と瞬時性）こと、繰り返し同じ場所を観測することができる（反復性）こと、直接現地に行かなくても現地の状態を知ることができる（非接触性）ことがあげられる。技術の進歩によって観測精度は年々高まる傾向にある。

地上のすべての物体は、太陽光を受け多様な電磁波を反射し、その反射率は物体の種類、状態などにより異なる。その物体の反射特性を地球観測衛星に搭載したセンサーで収集し、それらの強弱を対象ごとに比較することにより対象物の識別、または状態の認識を行うことができる。

衛星データは、光学センサーとマイクロ波センサーに大別されるが、ここでは地球表面の物質の分光反射率が異なることを利用した光学センサーについて説明する。人工衛星が地球へ送信してくる観測情報は、反射光に対応したデジタルデータを反射波長データとして提供する。光学センサーは光を波長として捉え、Fig.3.1に示す地表物質の違いをデータ処理することで画像表示が可能となる。

なお、ここに使用した衛星データは、地球観測衛星 LANDSAT-7であり、搭載センサーETM+は光学センサーに分類される⁴⁾⁵⁾。

3.2 使用した衛星データ

衛星データ（観測日：2000年10月19日）は、アメリカ

Table.3.1 LANDSAT-7搭載センサーの緒元

センサ名	バンド	波長	種類	分解能
ETM+	BAND1	0.45~0.52μm	青	30m
観測幅 185km	BAND2	0.53~0.61μm	緑	30m
	BAND3	0.63~0.69μm	赤	30m
	BAND4	0.75~0.90μm	近赤外	30m
	BAND5	1.55~1.75μm	中間赤外	30m
	BAND6	10.4~12.5μm	熱赤外	60m
	BAND7	2.09~2.35μm	中間赤外	30m

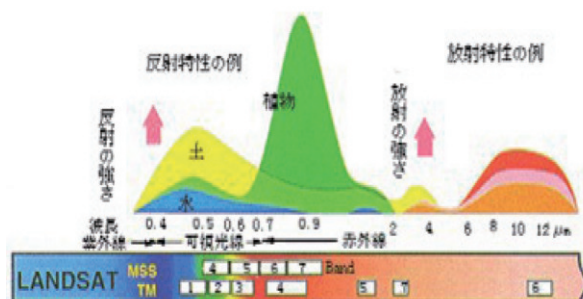


Fig.3.1 物質の反射・放射特性⁶⁾

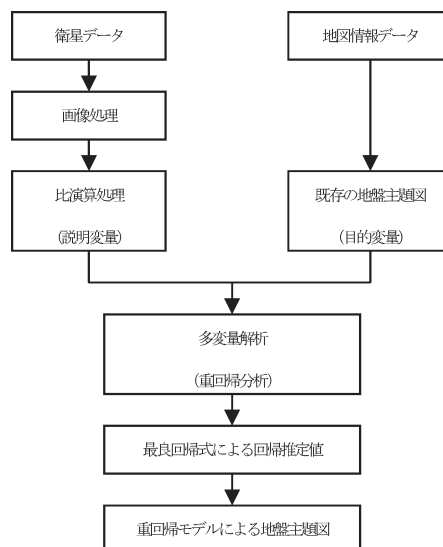


Fig.3.2 重回帰モデル作成の流れ

が1999年4月15日に打ち上げた地球観測衛星LANDSAT-7観測データである。搭載されたETM+センサーは可視から熱赤外まで観測することができる。

LANDSAT-7の搭載センサーの諸元をTable.3.1⁷⁾に示す。

3.3 衛星データから地盤情報の解明

衛星データから地盤情報を解明するためには、地表面に存在する多数の事象との相関関係を分析することが必要である。ここでは、このような空間情報の解析に土地基本調査図をランドトゥールズとする重回帰分析を用いた。

Fig.3.2に示すように、既存抽出データとしての地盤主題図および特徴抽出データとしての比演算処理画像を用い、目的変量と説明変量との設定による重回帰分析を適用した。段階的手法のもとに得られた最良回帰式から、重回帰モデルによる新たな地盤主題図を作成するものである⁸⁾。

3.4 重回帰分析の結果

重回帰モデルを作成するにあたり、ここでは土地分類基本調査図と現地調査データをもとに、土地利用区分、表層地質区分、風化区分、地形区分、傾斜区分、土砂厚区分の重回帰モデル画像を作成した。ここでは、その中から土地利用区分について作成した画像の精度をTable.3.2に、土地利用区分とDN値の相関性を示したものをFig.3.3に、作成した土地利用区分図をFig.3.4に示した。なおDN値とは、衛星が観測した電磁波エネルギーの強さを相対的に256(=2⁸)段階に置き換えたデジタル情報のことである。

Table.3.2 重回帰分析の結果

説明変量 (X)	比演算処理によって得られたDN値	
目的変量 (Y)	土地利用図から得られた土地利用指標	
重相関係数 (R)	寄与率 (R ²)	調整済み寄与率
	0.981	0.962
指標	3: 水域、6: 水田、9: 畑、12: 草地、15: 裸地、18: 天然・人工広葉樹、21: 天然・人工針葉樹	

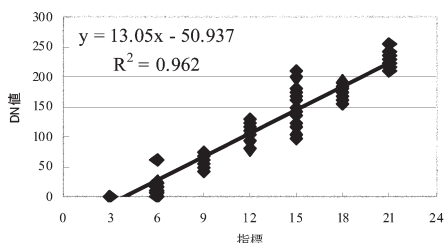


Fig.3.3 土地利用区分とDN値の相関性

3.5 重回帰モデルとしての地盤主題図

地理情報を表現する場合、地図では以前から等高線が利用されてきたが、近年のデジタルマッピングとしてリモートセンシングの利用は更なる利用範囲を広げた。重回帰モ

デルとして作成した地盤主題図は、既存の主題図を更新した地理情報システムとしての利用が可能である。例えば、縮尺1万分の1の画像として作成した地盤主題図は、地盤データベース化を行うことにより平面情報を提供する各種分野への利用が可能になる。

Fig.3.4は、大山における土地利用区分を示した画像である。そして、Fig.3.4の拡大図は作成した画像に地形図を重ね合わせGIS画像として表した。その結果、緑色を示した地域が山頂から沢にかけて多く分布していた。また、地形図で広葉樹林・針葉樹林の表示がある地域と、重回帰分析によって作成した土地利用区分図の広葉樹林・針葉樹林の位置がほぼ一致していることがわかる。以上のことから、作成した土地利用区分図の相関性は良いものといえる。

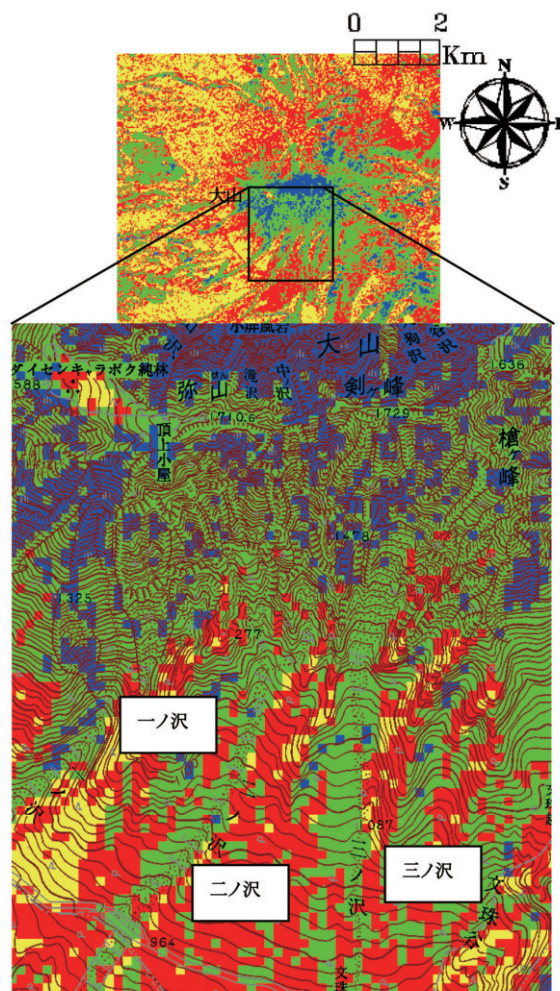


Fig.3.4 土地利用区分図 (全体図と拡大図) 1 pixel=30m

Table.3.3 各区分のDN値と配色

土地利用区分	DN値	画像の色
水域	0~40	青
水田・畑・草地・裸地	41~155	緑
天然・人工広葉樹林	156~215	赤
天然・人工針葉樹林	216~255	黄

4. 大山山腹斜面の危険度予測

4.1 斜面の崩壊危険場所の予測

重回帰モデルによる地盤主題図から得られた地盤情報をデータベース化し、そのデータを用いて崩壊場所の予測を試み、危険度評価図の作成を検討した。なお、Fig.4.1 に危険度評価図作成の流れを示す。

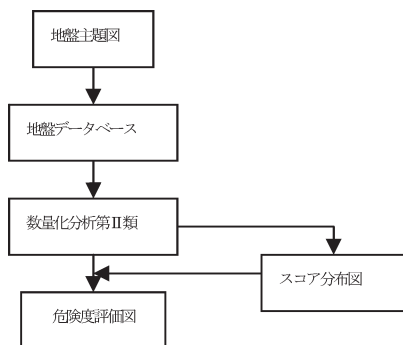


Fig.4.1 危険度評価図作成の流れ

ここでは、斜面崩壊の危険箇所を予測するにあたり、データベース化した地盤情報に、多変量解析の中から判別分類を行うことを目的とする数量化分析第II類を適用した。

斜面崩壊の危険箇所の予測に数量化分析第II類を用いた理由は、例えばある地域で風化度の進行が大きいというデータを得たとする。その要因だけで判断すれば、崩壊が発生する危険度が大きいと考えることができる。しかし、一方で同地域は植生活性が高く、傾斜が緩やかであるという要因が加われば危険度の評価は変わってくる。様々な要因を考慮したうえで、危険場所の予測が評価できると考えたからである⁹⁾。

なお、Table.4.1 に示すアイテム/カテゴリーは、重回帰分析によって得られた地盤情報のうち、Fig.2.1 の実線で囲んだ地域の情報を用いた。また、Table.4.1 に示す植生指標はBAND 4とBAND 3の比演算処理 (NDVI) によって求めたものである。そして数量化分析第II類では、危険度を評価する基準となる外的基準を決める必要がある。危険度を評価する基準として、傾斜区分・風化区分などが考えられるが、大山は地形の特性上、20°以上の急斜面が多い。そのことから、危険度評価の基準となる外的基準を傾斜区分とすることで、良い相関性が得られると考えた。

その結果、Fig.4.2 に示すスコア分布図を得た。そして、Fig.4.2 で示すように危険度を特大・大・中・小と4区分した判別区分を設定した。まず、スコア範囲-4.63~-3.00の範囲では、傾斜40°以上の分布があるが、他の傾斜の分布はほとんど見られない。よって、この範囲の危険度を特大とした。次に、-3.00~0.90では、傾斜30°以上の急傾斜の区画数が多くみられることから、この範囲の危険度を大とし

Table.4.1 アイテム/カテゴリー

アイテム	番号	カテゴリー	アイテム	番号	カテゴリー
植生指標	1	活性度 大	傾斜区分 (外的基準)	1	3° 未満
	2	活性度 中		2	3° 以上8° 未満
	3	活性度 小		3	8° 以上20° 未満
	4	植生 なし		4	20° 以上30° 未満
土地利用区分	1	水域	5	30° 以上40° 未満	
	2	天然・人工広葉樹林	6	40° 以上	
	3	天然・人工針葉樹林	土砂厚区分	1	0~2m
	4	田・畑・草地・裸地		2	2~5m
表層地質区分	1	火山性岩・変成岩・深成岩		3	5~10m
	2	火山性岩 (未~半固結)		4	10m~
	3	水域・未固結堆積物	風化区分	1	水域
地形区分	1	水域		2	風化度弱 (α)
	2	山地・丘陵地		3	風化度中 (β)
	3	台地		4	風化度強 (γ)
	4	低地			

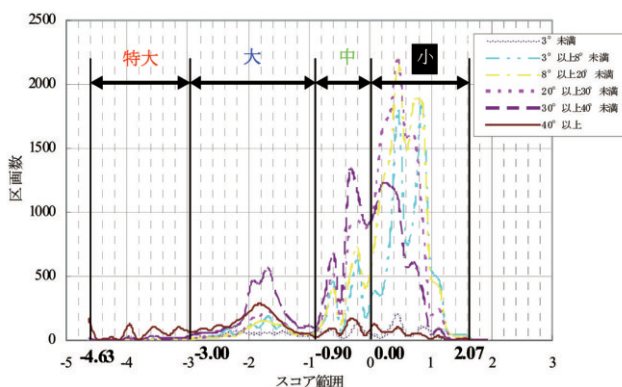


Fig.4.2 スコア分布図

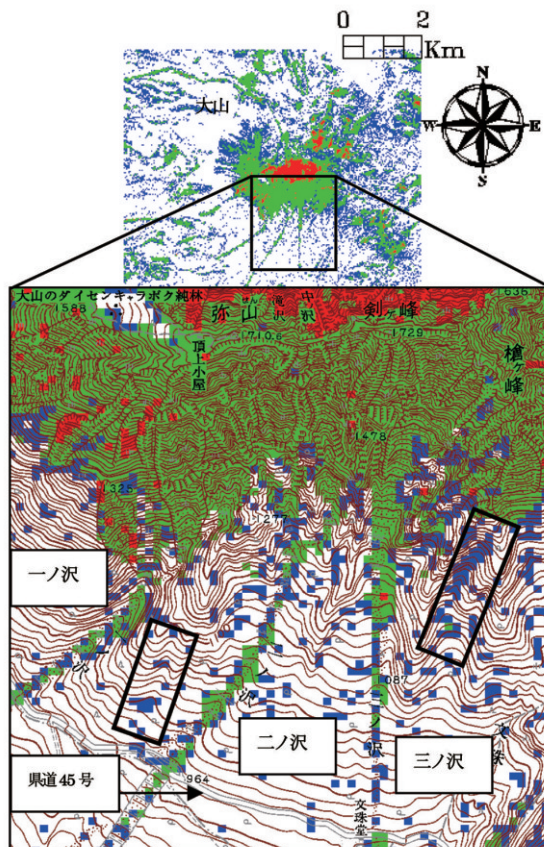


Fig.4.3 危険度評価図 (全体図と拡大図) 1 pixel = 30m

Table.4.2 危険度と配色

危険度	画像の色
特大	赤
大	緑
中	青
小	白

た。また、危険度中と小の区分を0の位置とした理由は、このあたりから傾斜 8° 未満の区画数が増加しているの、ここで区分することが良いと考えたからである。

なお Fig.4.3 に示した画像は、判別画像に地形図を重ね合わせたものであり、これを危険度評価図と称する¹⁰⁾¹¹⁾。

Fig.4.3 および Table.4.2 より危険度の大きい箇所は、大山の山頂周辺から沢にかけての地域に多いことが示された。また、沢以外の山腹斜面は、危険度中～小の分布が主となっていることから、沢部に比べ災害発生の危険性は低いと考えられる。

ただ、Fig.4.3 の実線で囲んだ斜面は、谷筋である地域に危険度中がまとまって示されている。このあたりの植生は比較的良いが、未固結堆積物が多く存在する。また傾斜 20° 以上の急斜面でもあることから今後、豪雨により斜面崩壊の発生する危険性があると考えられる。

大山の山頂から沢にかけては、豪雨により土砂災害が頻繁に発生している¹²⁾¹³⁾。このことから、作成した危険度評価図は危険地域を判別しているものと考えられる。

4.2 沢部の傾斜と危険度の関係

危険度評価図より、大山では山頂周辺から沢にかけて崩壊の危険度が大きいことが示された。そこで、ここでは危険度区分の傾向を確認するため、一ノ沢・二ノ沢・三ノ沢の縦断面図(県道45号～山頂、参：Fig.4.3)と危険度の比

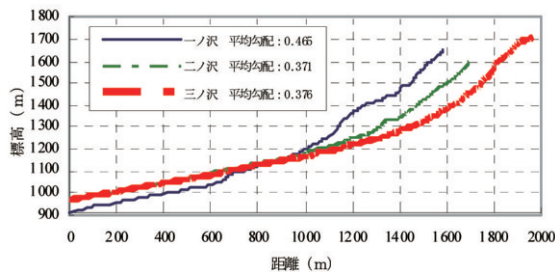


Fig.4.4 沢の縦断面図

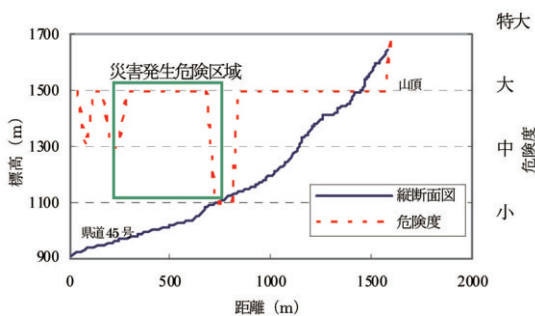


Fig.4.5 危険度と傾斜の関係(一ノ沢)

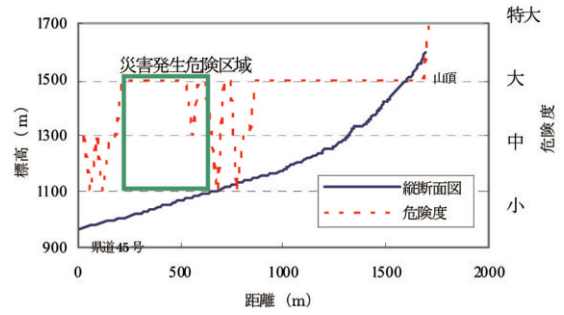


Fig.4.6 危険度と傾斜の関係(二ノ沢)

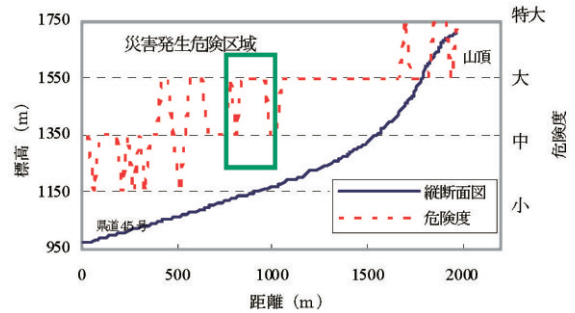


Fig.4.7 危険度と傾斜の関係(三ノ沢)

較を試みた。Fig.4.4 に沢の縦断面図と平均勾配を示す。

結果は、Fig.4.5～Fig.4.7 に示すように、三箇所の沢に共通して山頂周辺の斜面が急な地域では危険度大が主となり、緩斜面へ変化したところでは、危険度大～小が混在した傾向となった。しかし、一ノ沢と二ノ沢では、急斜面から緩斜面へ変化し、少し下流へ進んだ地域に危険度大が主として示される地域がある。この地域は、山頂側で崖崩れなどによる山地崩壊が発生し、その土砂が勾配の緩やかに変化した場所で多く堆積したと考えられる。その結果、Fig.4.5～Fig.4.7 において実線で囲んだ地域は、様々な要因(傾斜・植生・土砂厚など)から、土砂災害の発生する危険性が高い地域であると考えられる。豪雨が発生した場合、土石流などの土砂災害が発生しやすい地域であると考えられる。

5. 沢部の安定解析による評価

続いて、一ノ沢・二ノ沢・三ノ沢について、それぞれの沢の斜面崩壊の危険性について比較を行うため、無限長斜面と円弧すべり面を仮定する斜面安定解析を試みた。

5.1 無限長斜面による安定解析

まず Fig.5.1 に示す無限長斜面で、すべる土塊が斜面の表面に平行な層を仮定し解析を行った。なお、それぞれの沢の勾配と層厚は、急斜面から緩斜面に変化した地点から県道45号までの平均勾配と平均土砂厚とした。また、ここで用いた土砂厚は、282点ある現地調査データ¹⁴⁾を重回帰分析によって相関し作成した、土砂厚区分図から判読した

ものである。以下に、解析に用いた式を示す¹⁵⁾。

$$F_s = \frac{\tau_f}{\tau} = \frac{c' + \sigma'_v \cos i \tan \phi'}{\sigma'_v \sin i} \quad \dots \dots (5.1)$$

ここに、 $\sigma'_v = (r_{t1} \cdot H_1 + r_{t2} \cdot H_2) \cos i$
 $\sigma'_v = \sigma_v - r_w \cdot H_2 \cdot \cos i$

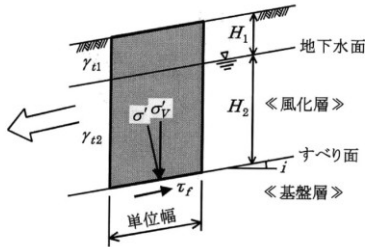


Fig.5.1 直線斜面内の微小要素における応力の釣合い

なお、土質条件は湿潤密度： $r_{t1}=12\text{kN/m}^3$ 、飽和密度： $r_{t2}=16\text{kN/m}^3$ と仮定し、内部摩擦角： $\phi=30^\circ$ 、 35° 粘着力： $c=10\text{kN/m}^2$ 、 15kN/m^2 と地下水位をそれぞれ変化させ解析を行った。そのため、出力された安全率は実際の数値でなく、三箇所の沢の斜面の傾向を比較するためのものである。

Table.5.1 にそれぞれの沢の平均勾配と平均土砂厚を、Fig.5.2～Fig.5.5 に解析結果を示す。なお、地下水位は平均土砂厚に対して約30%を地下水位：下、約60%を地下水位：中、100%を地下水位：上と示した。

Table.5.1 沢の平均勾配と平均土砂厚

	平均勾配(°)	平均土砂厚(m)
一ノ沢	18	10
二ノ沢	15	14
三ノ沢	15	15

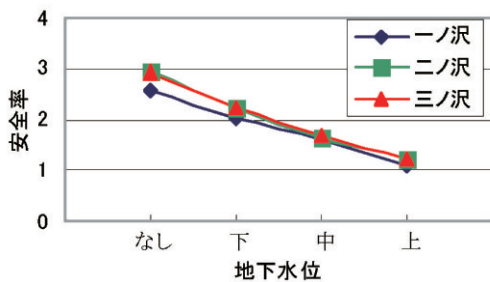


Fig.5.2 地下水位と安全率の関係 ($\phi=35^\circ$, $c=15\text{kN/m}^2$)

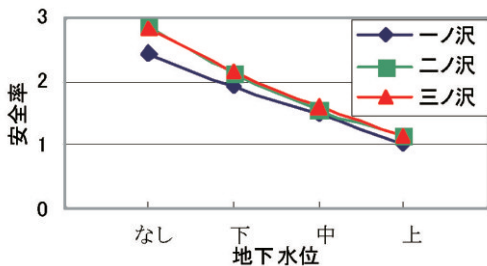


Fig.5.3 地下水位と安全率の関係 ($\phi=35^\circ$, $c=10\text{kN/m}^2$)

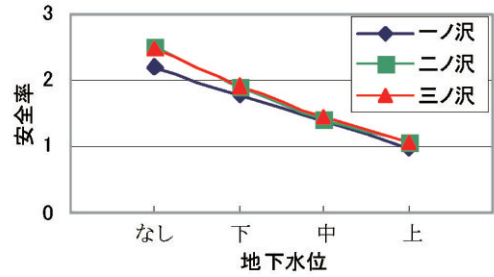


Fig.5.4 地下水位と安全率の関係 ($\phi=30^\circ$, $c=15\text{kN/m}^2$)

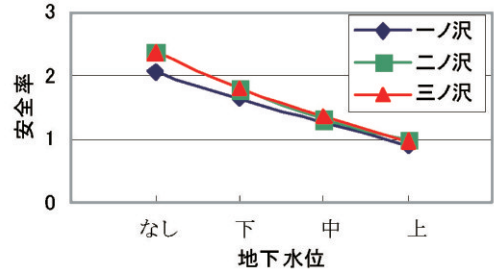


Fig.5.5 地下水位と安全率の関係 ($\phi=30^\circ$, $c=10\text{kN/m}^2$)

解析の結果三箇所の沢は、二ノ沢と三ノ沢は似た傾向を示し、一ノ沢が最も危険であると示された。Fig.5.1の縦断面図より、傾斜の傾向も二ノ沢と三ノ沢は似ており、一ノ沢が最も急である。ただし、地下水位が上昇すると3つの沢の安全率は同程度の数値を示した。

5.2 円弧すべり面による安定解析

次に、沢の斜面のなかでも Fig.4.5～Fig.4.7 に示した災害発生危険区域について Fig.5.6 に示すよう円弧すべり面を仮定し地下水位を変化させ、安定解析を試みた。

その方法は、Fig.5.6(a)のすべり面上のブロックを数個の細長いスライスに分割し、Fig.5.6(b)に示すように i 番目のスライスで釣合いを考える。以下に、円弧すべり面による解析の概要を示す¹⁶⁾。

すべりを起こす力は T_i であり、この T_i のすべり円の中心 O に対するモーメントは $R \cdot T_i$ になる。すなわち、 $R \times (W_i \sin \beta_i)$ である。全スライスについてすべりを生じさせるモーメントは、

$$\sum R \cdot T_i = R \sum (W_i \sin \beta_i)$$

となる。これに対して、すべりに抵抗する力は、摩擦力 $N_i \tan \phi_i$ と、 l_i 間の粘着力 $c_i \cdot l_i$ との和である。

したがって、すべりに抵抗する力のすべり円の中心に対するモーメントは $R(N_i \tan \phi_i + c_i \cdot l_i)$ であり、全スライスについては、

$$R \sum (N_i \tan \phi_i + c_i \cdot l_i)$$

となる。

よって、すべり面の安全率は、次式で示される。

$$F_s = \frac{\text{すべり面に抵抗するモーメント}}{\text{すべりを起こすモーメント}}$$

$$= \frac{R \sum (W_i \cdot \cos \beta_i \cdot \tan \phi_i + c_i \cdot l_i)}{R \sum (W_i \sin \beta_i)}$$

$$= \frac{\sum (W_i \cdot \cos \beta_i \cdot \tan \phi_i + c_i \cdot l_i)}{\sum (W_i \sin \beta_i)} \dots \dots \dots (5.2)$$

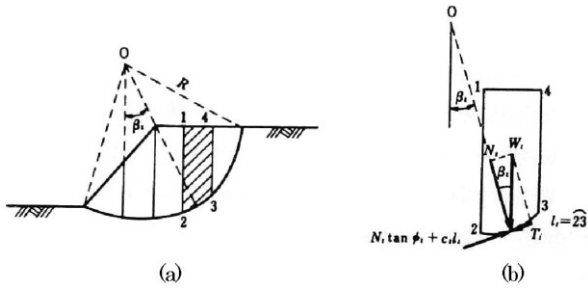


Fig.5.6 分割方法及力の釣合い

ここに W_i : i 番目のスライスの奥行き 1 m あたりの土の重量 (tf/m)

T_i : W_i のすべり面に平行な分力 $W_i \sin \beta_i$ (tf/m)

N_i : W_i のすべり面に垂直な分力 $W_i \cos \beta_i$ (tf/m)

R : すべり面の半径 (m)

l_i : スライスの弧の長さ (m)

ϕ_i : 弧の部分の土の内部摩擦角 (°)

c_i : 弧の部分の土の粘着力 (tf/m²)

解析地域は地形図で読み取った砂防ダムに挟まれた最も斜面が急な箇所とした。土質条件は、無限長斜面と同様と

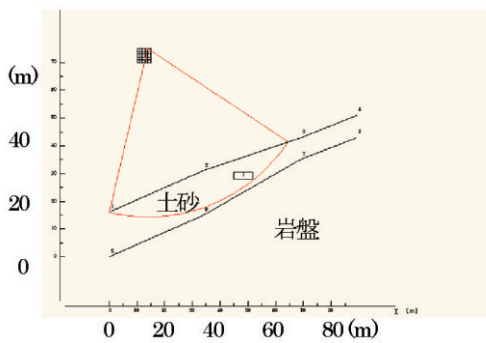


Fig.5.7 モデル図 (一ノ沢)

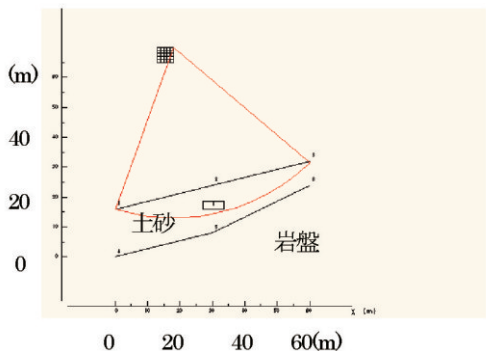


Fig.5.8 モデル図 (二ノ沢)

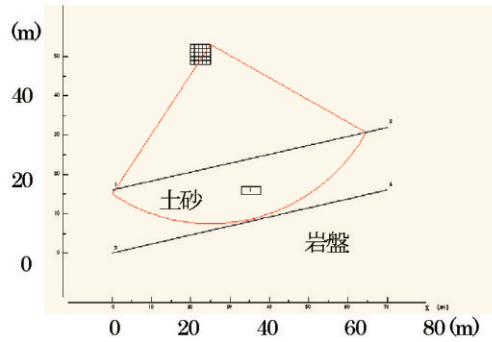


Fig.5.9 モデル図 (三ノ沢)

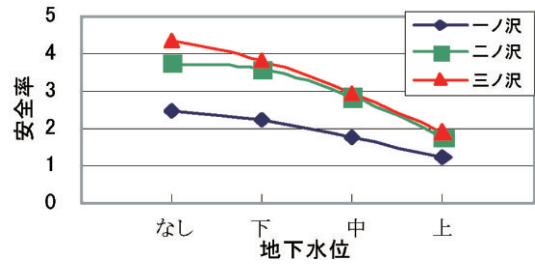


Fig.5.10 地下水位と安全率の関係 ($\phi=35^\circ$, $c=15\text{kN/m}^2$)

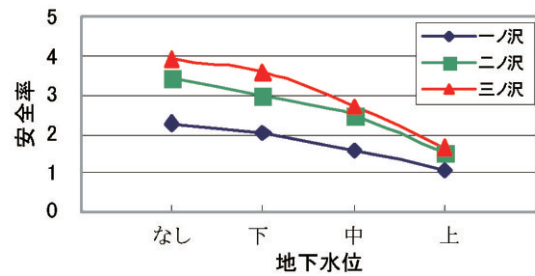


Fig.5.11 地下水位と安全率の関係 ($\phi=35^\circ$, $c=10\text{kN/m}^2$)

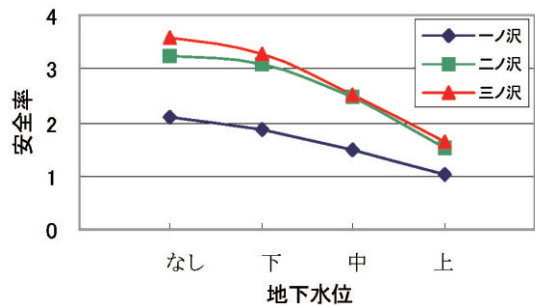


Fig.5.12 地下水位と安全率の関係 ($\phi=30^\circ$, $c=15\text{kN/m}^2$)

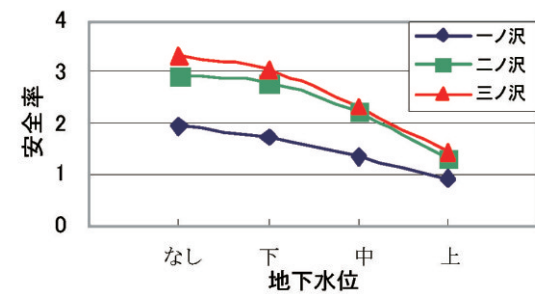


Fig.5.13 地下水位と安全率の関係 ($\phi=30^\circ$, $c=10\text{kN/m}^2$)

仮定した。斜面のモデル図を Fig.5.7～Fig.5.9 に解析結果を Fig.5.10～Fig.5.13 に示す。

解析の結果、崩壊の危険性は、ここでも二ノ沢・三ノ沢は似た傾向を示し、一ノ沢が最も危険であると示された。ただし、無限長斜面を仮定したケースと違い、地下水面が上昇したときの二ノ沢と三ノ沢の数値は、一ノ沢に近づかなかった。これは、円弧すべり面を仮定したケースは、無限長斜面を仮定したケースと違い、現地の斜面途中にある砂防ダムを考慮したためだと考えられる。そのため、このような違いが生じたものと考えられる。

今回、衛星データより作成した危険度評価図は、沢の斜面に砂防ダムがある条件は、考慮されていない。そのため、無限長斜面の結果と同様に、三箇所とも崩壊の危険性は同程度と示されたのだと考えられる。

このように、衛星データの解析によって危険箇所を絞り込み、更なる箇所について斜面安定解析を行うことで効率良く、危険斜面を特定することが可能であると考えられる。

6. おわりに

大山の山腹斜面の斜面崩壊発生の危険箇所を予測するために、地球観測衛星 LANDSAT-7 の ETM+データを用い、地形要因データを重回帰モデル画像として作成した。そのデータをもとに、数量化分析第II類を適用し崩壊の高い場所の予測を行った。更に、斜面崩壊の危険性が高いと示された沢部の堆積土砂量を衛星データより推定し、また斜面安定解析を試みることで危険度の比較を行った。ここに得られた結果を以下に要約する。

- 1) 空間情報データとして得られた人工衛星データは、広域性、周期性、継続性などの特性を有すると共に、観測時の地被地覆情報との相関性を示すデジタルデータを提供する。
- 2) 重回帰モデルは、説明変数として用いた比演算処理データとして、地被地覆データのうち反射特性および放射特性を特徴抽出データとする相関性を示した。それらのデータから地盤表層データの抽出が可能である。
- 3) 作成した危険度評価図と既存の地形図を比較した結果、崩壊の危険度が大きいと示された箇所は、大山の山頂から沢にかけての地域に多く示された。その一方、沢部以外の山腹斜面の崩壊の危険性は低いと示された。ただし数箇所、沢部以外の山腹斜面の谷筋で危険度が中として示された地域があった。その地域は今後、豪雨により斜面崩壊の発生する可能性があると考えられる。
- 4) 衛星データより得られた地盤情報は、数量化分析第II類を適用することで、斜面崩壊の可能性をランク付けした位置情報として、危険度ランクの表示が可能である。
- 5) 危険度ランクは、対象地域の平面情報として広域情報を提供する。それにより、斜面崩壊予測箇所の絞り込みが可能である。
- 6) 安定解析は、危険度評価図から危険箇所を絞り込み解析することで、効率良く危険斜面を特定することが可能である。

謝 辞

本研究に使用した LANDSAT-7 ETM+データは、宇宙航空開発機構(JAXA)から研究者用配布データとして提供を受けたものである。また、現地情報は国土交通省日野川工事事務所および応用地質(株)中国支店のご配慮による。ここに記して謝意を申し上げます。

参 考 文 献

- 1) 鳥取県農林部農業指導課：「土地分類調査図」, 1974.
- 2) 小泉武栄, 青木賢人：「日本の地形レッドデータブック」, 古今書院, p 149, 2000.
- 3) 気象庁：<http://www.data.kisyuu.go.jp/etrn/index.html/>.
- 4) 日本リモートセンシング研究会：「図解リモートセンシング」, 日本測量協会, pp 2~28, 2001.
- 5) 財団法人リモートセンシング技術センター (RES-TEC)：「宇宙から地球を守るリモートセンシング」, 朝倉書店, pp 4~5, 1998.
- 6) RESTEC：<http://www.restec.or.jp/>.
- 7) 前出 5)
- 8) 島重章, 後藤恵之輔：「衛星リモートセンシングを適用した広島豪雨災害の予測と評価」, 日本地すべり学会誌, 第 40 巻, 第 5 号, pp 55~57, 2004.
- 9) 河口至商：「多変数解析入門」, 森北出版, pp 69~88, 1982.
- 10) 胡隆之, 島重章：「衛星データを用いた山地斜面崩壊の危険度予測」, 第 41 回地盤工学研究発表会公演集, 2006.
- 11) 胡隆之, 島重章：「衛星データを用いた斜面モニタリング技術と崩壊予測」, 降雨時の斜面モニタリング技術とリアルタイム崩壊予測に関するシンポジウム発表論文集, pp.37~44, 2006.
- 12) 前出 1).
- 13) 前出 2).
- 14) 応用地質(株)中国支店：大山現場調査データ.
- 15) 澤孝平, 渡辺康二：地盤工学, 森北出版, pp 199~203, 2003.
- 16) 前出 15)：地盤工学, 森北出版, pp 203~215, 2003.