

自然シラス斜面の地盤特性を考慮した 崩壊危険箇所評価方法の一提案

大林成行¹・小島尚人²

¹正会員 工博 東京理科大学教授 理工学部土木工学科 (〒278-8510 千葉県野田市山崎2641)

²正会員 工博 東京理科大学講師 理工学部土木工学科 (同上)

本研究は、「侵食崩壊を伴う自然シラス斜面の危険箇所評価支援」を目的とし、筆者らが開発した斜面安定性評価モデル(SSEモデル)をベースとした新たな評価アルゴリズムを提案し、その実用性を示したものである。SSEモデルでは、衛星データと各種地理情報を融合利用し、崩壊発生箇所をトレーニングデータとして広域にわたる危険箇所を推定する。本研究では、無限長斜面安定解析式から計算される安全率の値を画像化したものを「自然シラス安定化係数(NSSC:Natural Sirasu Stabilization Coefficient)」として定義し、安定化係数の使用の有無に伴う斜面安定性評価図の違いを抽出した「差画像」を提示した。この差画像とその解釈の方法は潜在危険斜面を見出し、斜面崩壊防止計画等への有用な支援手段になることを示した。

Key Words: erosive collapse, Natural shirasu slope, slope stability evaluation, remote sensing data, geographical information, spatial data integration, quantification method

1. はじめに

斜面の崩壊の発生時期、位置、そして規模を事前に予知できる技術の確立は古くから研究され、その成果の活用が強く求められている。これら3つの予測要件のうち、筆者らは斜面崩壊の発生「位置」と「規模」を事前に把握することを目的に、地形や表層地質、土壌といった各種地理情報と衛星マルチスペクトルデータ(以下、衛星データ)を融合利用できる斜面安定性評価モデル(SSE model:Slope Stability Evaluation model using satellite data and geographical information)を開発し¹⁾、数々の適用事例を通して広域にわたる崩壊危険箇所の事前評価に有効であることを示してきた^{2)~3)}。

SSEモデルでは、衛星データと各種地理情報を融合利用し、崩壊発生箇所を判別の基準(以下、トレーニングデータと呼ぶ)として、数量化Ⅱ類およびミニマックス2群判別手法を介して斜面安定性評価図を作成する。今までの研究では、第三紀層や破砕帯で発生する「地すべり」や「斜面崩壊」だけでなく、シラス等の特殊土で構成され、表層侵食に伴って崩壊する急傾斜面の危険性評価にも適用する方法について検討を進めてきた⁴⁾。その成果として崩壊履歴のある箇所を「現状型トレーニングデータ」とし、今後崩壊の危険性が高いと判断される侵食斜面や滑落崖の冠頂部周辺

を「規範型トレーニングデータ」として設定する方法を提案し、その有用性を示した⁴⁾。

しかし、ここまでの研究では、地形や地質、土壌等の地理情報(素因)をベースとして崩壊の危険性のある斜面を推定するといった範囲に限られ、評価図の解釈・信頼性の面において、おのずと限界があった。例えば、自然シラス斜面の崩壊では、降雨によって飽和状態になったシラス土のせん断力が極端に低下することによって突発的かつ広域にわたって崩壊が発生する。このようなシラス特有の地盤特性とでも言うべき因子を考え、何らかの形でSSEモデルに組み込む方法を検討することが、侵食崩壊を伴う崩壊危険箇所評価において不可欠な課題として持ち上がってきた。

そこで、本研究では無限長斜面安定解析式から計算される安全率の値を画像化したものを「シラス自然安定化係数(NSSC:Natural Sirasu Stabilization Coefficient)」と定義し、SSEモデルで使用する素因情報の一つとしての有用性について検討した。シラス斜面が最も「不安定」となる土質条件下で安定化係数を作成し、衛星データを含めた地理情報と融合し、SSEモデルを通して斜面安定性評価図を作成する。安定化係数の使用の有無に伴う斜面安定性評価図の違いを抽出した「差画像」を作成するとともに、安定化係数の情報をベースとして「差画像に対する解釈支援情報」を提示する。この差画像とその解釈の方法を通して、「崩壊安全側・危険側」といった視点から評価が

展開できることを示すとともに、本研究の評価アルゴリズムは、侵食崩壊を伴う「潜在危険斜面」を見い出し、斜面崩壊防止計画等を策定していく上で、今までにない有用な支援手段となることを示す。

さらに、土質条件の異なる安定化係数を作成し、これを用いて従来までの傾斜区分因子に替わる評価が展開できることを示す。

2. 従来の研究と本研究の意義

(1) 自然シラス斜面の危険箇所評価と本研究の範囲

シラス斜面の崩壊問題を扱った研究は、古くから数多くあり、例えば道路沿線のシラス人工のり面を対象として崩壊要因を分析したものや⁵⁾、シラス自然斜面を対象として、崩壊の周期性と発生場を予測しようとする研究等があげられる⁶⁾。現在に至ってもシラスそのものの土性を研究対象としたもの⁷⁾、シラス斜面の安定解析手法に関わる提案等も見られる⁸⁾。いずれにしてもシラス自然斜面は侵食を伴う表層崩壊であり、「広域にわたって崩壊が発生する位置」を推定することは極めて難しく、地形学的観点から、まず第1に「潜在危険斜面⁴⁾・⁹⁾」を区分し、図化していくことの重要性が指摘されている。

SSEモデルでは、崩壊の発生「位置」と「規模」を「広域的」に評価することを目的に、地形、表層地質、土壌といった各種地理情報と衛星データを併用し、トレーニングデータを判別基準として危険性のある箇所を判定している。特定の斜面を対象として、崩壊の時期を推定する「点」としての斜面崩壊予知研究の分野とは検討の視点を異にするが、本研究では、SSEモデルを通して得られる斜面安定性評価図によって潜在危険斜面を推定していくとともに、様々な斜面安定性評価に関わる研究分野への支援資料を提供していくといった利用形態を想定している。

(2) 斜面安定性評価モデルの新たなニーズ

SSEモデルの特徴は、従来までのような崩壊危険度といったようなランク付けを行うことなく、崩壊危険性の「有・無」のみを判定することにある。従来までの崩壊危険度の判定は、アイテムやカテゴリーに対して人為的に重み付けを行う等、研究者の経験や主観に大きく左右されるといった問題が指摘されていた。これに対してSSEモデルは、数量化Ⅱ類によって各画素に付与されるスコア値を計算した後にトレーニングデータを基準としたミニマックス2群判別によって判別区分点を設定し、崩壊側・未崩壊側のいずれに属するのかを判別する¹⁾。

トレーニングデータは、実際に崩壊が発生した箇所を現地調査や既存資料をもとに設定する。SSEモデルでは、これを「現状型トレーニングデータ」と定義し、「斜面崩壊型」や「地すべり型」といった異なる種類のトレーニングデータに対しても斜面安定性評価図を作成できるようになっている²⁾。しかし、本研究で扱う自然シラス斜面を対象とした場合、SSEモデルを適用する上で次のような問題に直面する。

① SSEモデルの解は、あくまでもトレーニングデータの土地の性状（使用する素因情報）を基準とした判別解であり、自然シラス斜面における崩壊の主誘因となる降雨情報を考慮していない。

② 崩壊発生時の降雨状況とシラス土の状態、いわゆるシラスの「地盤特性」を説明付けることが難しい。

③ 地理情報（素因情報）を構成する画素単位の精度で、降雨情報を面的に表現することが困難な故に、SSEモデルに適用することができない。

自然シラス斜面における崩壊発生の主たる誘因は、降雨であり、素因情報のみから得られる従来までの評価図の解釈には限界があり、多くの専門家からもこの点は指摘されてきた。しかし、前述の問題から誘因情報を直接的にSSEモデルに取り込むことは困難であり、シラスの地盤特性を考慮できる何らかの創意工夫が必要となる。以上の問題に対処することが、本研究の着想の原点であり、全く別の視点から研究を展開する必要に迫られることになった。

上記の問題に対して、降雨条件を考慮した斜面安定解析式から計算される「安全率」の値を用いて崩壊危険度を判定するといった研究等がある¹⁰⁾。しかし、この種の研究においても、将来の降雨パターンを推定することが困難なことから、一様降雨をモデルに与えざるを得ず、安全率の値そのものによって崩壊の危険度を説明する上で限界がある。また、降雨パターンが変化すれば「安全率」の値も変化することから、斜面安定性評価図を作成する上で、いったいどの程度の安全率の値の時に崩壊の危険性があるのかといった根本的な問題が内在している。安全率のみの値で危険性を判断するのではなく、地形や地質、土壌等、種々の土地の性状との因果関係を多角的な視点から分析できるモデルの構築が求められる。SSEモデルは、土地の性状（素因）の因果関係を分析できるようになっているが、安全率等のような地盤の特性とでも言うべき因子の適用可能性については、未知数である。

そこで、本研究では、無限長斜面安定解析式から計算される安全率の値を画像化したものを「シラス安定化係数 (NSSC: Natural Sirasu Stabilization Coefficient)」と定義し、SSEモデルで使用する素因情報の一つとする。この安定化係数は、シラスの土性

を考慮した間接的な「素因情報」とみなすことができる。安定化係数の詳細については後述するが(3章)、自然シラスの土質定数において、斜面が「最も不安定な状態(限界危険状態)」となる条件下で安定化係数を計算し、これを各種地理情報と併用して斜面安定性評価図を作成する。

自然シラス斜面の危険性評価において、SSEモデルにおける安定化係数の適用方法とその有用性を示す点が本研究の特色となる。

(3) 潜在危険斜面の推定・支援

シラス斜面崩壊の予測問題では、侵食崩壊の発生の引き金となる箇所を特定することが求められている。このような箇所は潜在危険斜面⁴⁾と言われている。専門の技術者が傾斜区分図や地質図等の資料を判読し、限られた領域の潜在危険斜面を図化する事例も見られるが⁹⁾、広域にわたって図化するためには、多くの時間と労力そして経費を要し、精度上の問題もある。

この問題に対して、本研究ではSSEモデルから斜面安定性評価図を作成することは言うまでもなく、安定化係数を「使用する場合」と「使用しない場合(地理情報のみ)」のそれぞれのケースから作成される斜面安定性評価図の違いを抽出した「差画像」を提案・作成する。この差画像と解釈の内容が、侵食崩壊を伴う潜在危険斜面を推定していく上で、有用な支援手段となることを示す。

3. 本研究におけるシラス安定化係数の定義

(1) 対象とするシラス斜面

シラス斜面の崩壊形態は、研究者によって様々な定義がある。例えば自然シラス斜面では「表層剥離、表層滑落、表層落下」の3つに分類したもの⁶⁾、シラス人工斜面では「斜面内崩壊、全面侵食、地すべり崩壊、のり肩崩壊、のり尻崩壊、雨裂」といった分類も見られる⁹⁾。これらの全てのタイプ別に、SSEモデルの評価精度を検討することも想定できるが、結果の比較・解釈が難しいだけでなく、信頼性の問題もある。本研究では、まず第1に「自然シラス斜面」に対象範囲を絞り、地形や表層、土壌等の素因情報を活用する広域危険箇所評価の問題を扱う。

(2) 安定化係数の定義

シラス地帯を対象とした斜面崩壊は、風化シラスが問題となることが多い。風化シラスは普通のシラスが物理的、化学的に風化を受けたもので、通常、この風化シラスを含めて「自然シラス」としている¹¹⁾。

この自然シラス斜面を無限長斜面と仮定して計算する安全率Fは次式で表される。

$$F = (\gamma_{sub} \cdot \tan \Phi) / (\gamma_{sat} \cdot \tan \alpha) \quad (1)$$

但し、 α : 斜面前面傾斜角(度)

Φ : 内部摩擦角(度)

γ_{sub} : 水中単位体積重量(t/m³)

γ_{sat} : 飽和単位体積重量(t/m³)

以下、本研究における上記4つのパラメータ(傾斜角、内部摩擦角、飽和単位体積重量、水中単位体積重量)の設定の考え方を示す。

a) 傾斜角

傾斜角 α は、一般に安定解析を行おうとする特定斜面の前面傾斜角を想定して設定されるが、本研究では広域的評価が目的となることから、数値地形モデル(DTM: Digital Terrain Model)から計算される画素単位での傾斜角度の値を用いる。本研究で用いたDEMは20m/画素である。安全率の値をすべての画素に対して計算し、画像化したものを「自然シラス安定化係数(NSSC: Natural Shirasu Stabilization Coefficient)」と定義する。

b) 内部摩擦角、水中および飽和単位体積重量

面的かつ広域にわたって内部摩擦角 Φ の値を推定することは不可能であり、特定斜面の安定解析を行う場合でさえ、小規模構造物の建設時や経済的制約等から土質試験を行わないこともある。このような場合には、過去の室内試験結果に基づいて一般に提示されている代表的なシラス土質定数を適用している。自然シラスでは、一般に $\Phi = 30$ 度~ 40 度の範囲にあり、この値を斜面安定解析・設計等に利用しても差し支えないとも報告されている¹¹⁾。また、式(1)は、シラスのみかけの粘着力がないもの($c = 0$)として導かれおり、斜面中腹部を無限長斜面と仮定した上で適用される⁸⁾。また、潜在危険斜面を傾斜区分図等から判読した上で、特定の斜面の危険性評価に同式を適用するといった事例もある⁶⁾。いずれにしても広域危険箇所評価に際して、シラスの土質定数を計測する上で限界があることは言うまでもない。

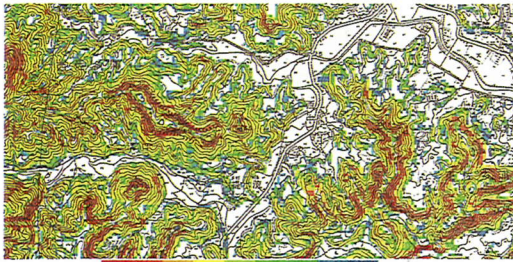
そこで、本研究では、シラス斜面が「最も不安定な状態」になると想定される場合^{10), 11)}、すなわち、内部摩擦角 $\Phi = 30$ (度)

水中単位体積重量 $\gamma_{sub} = 0.55$ (t/m³)

飽和単位体積重量 $\gamma_{sat} = 1.55$ (t/m³)

として安定化係数を作成する。つまり、評価者の立場から見れば「崩壊危険性を最も高く見積もった因子」を作成することになる。画素単位で安定化係数を計算し、画像化したものを写真-1に示す。

式(1)で計算される安全率が1より大きい場合は、



注1) 各色に対応する安定化係数の値の範囲は、表-1を参照。
 2) 赤系色になる程、安定化係数の値は小さくなる。

写真-1 本研究で定義した自然シラス安定化係数

「すべりに抵抗する力」が「すべりを起こそうとする力」よりも大きくなることから、これに該当する画素は斜面が安定な箇所として安定化係数の値は、数量化Ⅱ類で適用するカテゴリーに細分化しない。つまり、写真-1では、式(1)で計算される安全率の値が1以下の場合を色付けして表示してある。安全率の値が小さい程(写真-1では赤系色になる程)、土質力学的に見てシラス土が不安定な状態にあることを意味する。また、安全率が大きい程(写真-1では青系色になる程)、シラス土は安定な状態にあることを意味する。ただし、このことは、前述したとおりシラス斜面が「最も不安定になると想定される」条件での意味解釈となる。

シラス土は広域に分布することから、本研究で定義した安定化係数は、シラス地帯の自然斜面の土性を説明つける素因の一つとしてSSEモデルへの適用可能性が期待できる。ここで注意しなければならない点は、一般に第三紀層の分布する地域や破砕帯域では、岩盤が混在していたり、土性があまりにも複雑なため、本研究で定義する安定化係数はSSEモデルには適用できない点である。ただし、評価領域内で土性が比較的一様であり、内部摩擦角の値をある一定の範囲内で推定・仮定できる場合には、安定化係数を適用できる可能性があるが、この点に関する検討は今後の課題とした。

4. 研究の構成

本研究の構成を図-1に示す。

(1) STEP1: 領域設定と素因データの準備

a) 対象領域

評価対象領域は、鹿児島県吉田町に位置する佐多浦地区である。この地区では、自然シラスの侵食谷と侵

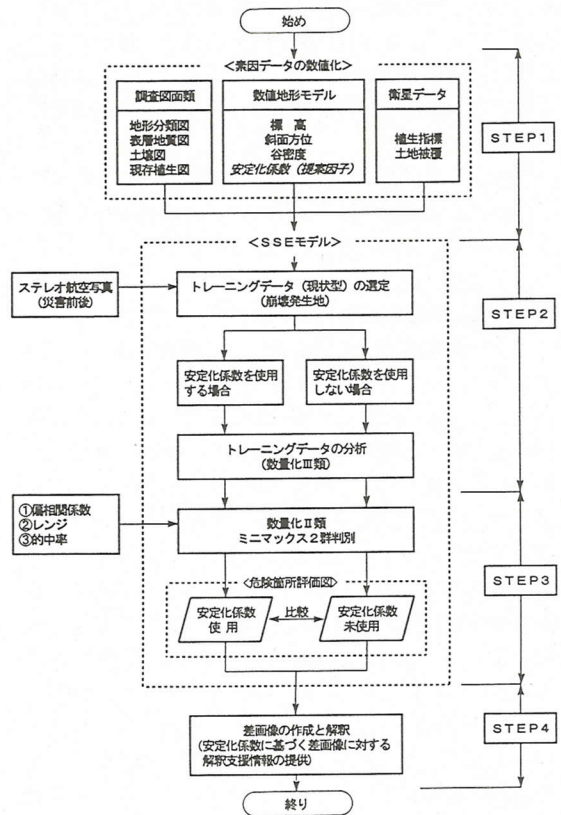


図-1 研究の構成

食崖が広く分布し、1993年8月の集中豪雨によって広域にわたって数多くの崩壊が発生している¹²⁾。

b) 素因データの準備

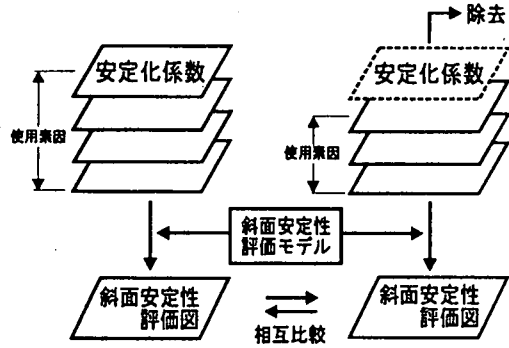
本研究で使用した10種類の素因データを表-1に示す。土地分類基本調査の成果図面を数値化した土地分類図(地形、表層地質、土壌、現存植生)と数値地形モデル(DTM: Digital Terrain Model)からコンピュータ処理によって作成される数値地理データ(標高、斜面方位、谷密度)と、前述の安定化係数である。これらは土地に内在する潜在的な因子であり、崩壊危険箇所の評価を進める上で基本となるものである。

c) 衛星データの選定

本研究では20m/画素という高分解能を有し、広く利用されているSPOT・HRVデータを用いた。データの観測時期は、1993年3月4日、観測エリアはPATH315-ROW286であり、画像ノイズのないデータを選定した。この衛星データから教師付き最尤法を用いて土地被覆分類図を作成し、素因データの一つとする。これはSSEモデルにおける衛星データの一般的

表-1 素因データ

土地分類基本調査成果図から作成			衛星データから作成	
表層地質	土 壤	地形分類	植生指標 (NVI)	土地被覆
砂、礫	粗粒風化火山	中起伏火山地	レベル1 レベル8	樹林
泥、砂、礫	黒ボク土壌	丘陵地	レベル2 レベル9	市街地
泥岩	乾性褐色森林土壌	火山灰(砂)台地	レベル3 レベル10	水田
シルト岩	褐色森林土壌	谷底平野	レベル4 レベル11	裸地
シラス	細粒灰色低地土壌	崖	レベル5 レベル12	
溶結凝灰岩	粗粒灰色低地土壌	火山麓地	レベル6 レベル13	
安山岩質岩石	灰色低地土壌		レベル7 レベル14	
	グライ土壌			
	市街地、その他			
現存植生図から作成		数値地形モデルから作成		
植 生	標 高	斜面方位	谷密度	安定化係数
・スタジイ群落	以上～未満:m	北 南南西	0(個)	以上～未満
・ミズバイ	0～50	北北東 南西	1	0～0.2
・スタジイ群落	50～100	北東 西南西	2	0.2～0.3
・スギ、ヒノキ	100～150	東北東 西	3	0.3～0.4
・サワラ植林	150～200	東 西北西	4	0.4～0.5
・モウソウチク林	200～250	東南東 北西	5	0.5～0.6
・畑地雑草群落	250～	南東 北北西		0.6～0.7
・水田雑草群落		南南東 平坦		0.7～0.8
・緑の多い住宅地		南		0.8～0.9
・常緑果樹園				0.9～1.0
				1.0～



ケース1：安定化係数・使用 ケース2：安定化係数・未使用

図-2 検討ケース

なお、筆者らは、現状型トレーニングデータだけでなく、滑落崖や崩壊斜面冠頂部近辺をトレーニングデータとして設定する方法も提案している。これを「規範型トレーニングデータ⁴⁾」と呼ぶが、本研究では、SSEモデルにおける安定化係数の適用性について検討することが、まず第1の目的であることから、規範型トレーニングデータの設定に伴う斜面安定性評価図への影響に関する問題は今後の課題とする。

な適用方法であるが、シラス台地では地形の遷緩線や遷急線の近辺における植物の生育状態が崩壊発生の周期性と因果関係があると言われていることから⁹⁾、衛星データから計算される植生指標 (NVI: Normalized Vegetation Index) も素因の一つに加えた。

(2) STEP2: データ構造の分析 (5章)

本研究では、1993年8月の集中豪雨によって崩壊が発生した箇所をトレーニングデータとして設定した。これをSSEモデルでは「現状型トレーニングデータ」と呼ぶ⁴⁾。広域にわたってトレーニングデータを選定することから、崩壊発生前後それぞれにおいてステレオ空中写真を購入し、立体視鏡を通してトレーニング領域を選定する。

安定化係数の適用性を検討する上で、図-2に示すように安定化係数を「使用する場合(ケース1)」と「使用しない場合(ケース2)」といった2つのケースを設定し、斜面安定性評価図を作成する。それぞれのケースについて、安定化係数の使用の有無に伴うトレーニングデータの性質の違いについて分析(数量化Ⅲ類)する。さらに、SSEモデルの中核をなす数量化Ⅱ類を通して、素因データを構成するカテゴリーとトレーニングデータ間の因果関係について分析する。これらデータ構造分析の結果から安定化係数の有効性について明らかにする。

(3) STEP3: 斜面安定性評価図の作成 (6章)

図-2で示した2つのケースからそれぞれ斜面安定性評価図を作成し、SSEモデルの中核をなす数量化Ⅱ類を通して、評価結果の違いを定量的に分析する。さらに、斜面安定性評価図上にどのような違いが現れるのかについて検討する。安定化係数を適用する場合には、斜面安定性評価図上に有意な違いが現れることを示し、その解釈の方法について検討を進める。

(4) STEP4: 安定化係数の活用方法の検討 (7章)

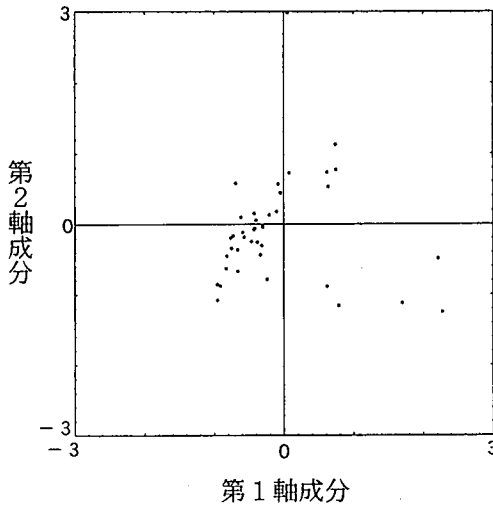
安定化係数の使用の有無によって現れる評価図の違いを表現した「差画像」を作成し、その解釈の方法を提示する。さらに、安定化係数の情報をもとに差画像に対する解釈支援情報を作成し、その有用性について検討する。

5. データ構造の分析

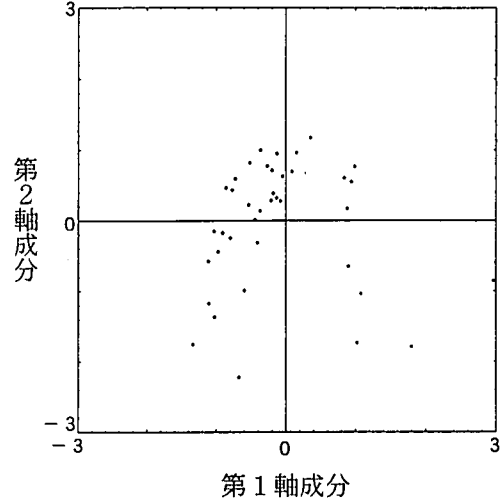
本章では、トレーニングデータに対する分析(数量化Ⅲ類)、および表-1で示した素因データを構成する各カテゴリーの分析(数量化Ⅱ類)について述べる。

(1) トレーニングデータの分析

図-2で示したように安定化係数の適用の有無の違



(a) ケース1：安定化係数・使用



(b) ケース2：安定化係数・未使用

図-3 トレーニングデータに対する個体数量散布図(数量化Ⅲ類)

いが、必ずしも評価結果に反映されるとは限らない。そこで、数量化Ⅲ類によるデータ構造の分析を通して、トレーニングデータの性質の違いの有無について分析する。数量化Ⅲ類は、目的変数を設定せずにスコア値が付与された個体の分布状態からデータ構造の分析を行うものである。SSEモデルにおける数量化Ⅲ類の適用概念は文献(1)に詳述してあるので紙面の都合上割愛するが、トレーニングデータに対する個体数量散布図上での分布状態の違いによって、土地の性状の違いの有無を説明付けることができる。対象領域の全個体(画素)に対する個体数量散布図を図-3に示す。なお、第1軸から第3軸までの固有値(λ_n)は、
 ケース1： $\lambda_1=0.344$, $\lambda_2=0.278$, $\lambda_3=0.253$
 ケース2： $\lambda_1=0.361$, $\lambda_2=0.299$, $\lambda_3=0.266$
 である。いずれも第3固有値は、第1固有値および第2固有値に比べて比較的小さいことから、ここでは第1軸と第2軸で構成される特性空間内で分析した結果を示した。

図-3を見ると、安定化係数を使用しない場合には、トレーニングデータの分布状態は、第2象限から第3象限にかけて個体が集まってきている。分布状態の違いは顕著ではないが、この違いが評価図上にどのような違いとなって現れるかについて6章で検討する。

次項では、さらにトレーニングデータを外的基準として数量化Ⅱ類による分析を行い、素因データを構成するカテゴリーの分析を進める。

(2) 数量化Ⅱ類による分析

SSEモデルは、外的基準であるトレーニングデータと素因との因果関係を分析する機能に数量化Ⅱ類を

適用している。図-2で示した検討ケース別に処理した結果を表-2に示した。なお、表-2の外的基準欄の「評価対象領域」とは、トレーニングデータ以外のすべての個体を意味する。

外的基準の欄を見ると、トレーニングデータに対して負の値、評価対象データには正の値が付与されており、数量化Ⅱ類では、この符号の違いから「外的基準と各カテゴリーとの関連性」を分析できる¹¹⁻¹⁴⁾。安定化係数の適用の有無の違いに伴う結果の違いに着目して分析すると、以下のようにまとめられる。

安定化係数を使用する場合(ケース1)と安定化係数を使用しない場合(ケース2)のそれぞれに対して、表-2から偏相関係数の高い順に素因を列挙すると次のとおりとなる。

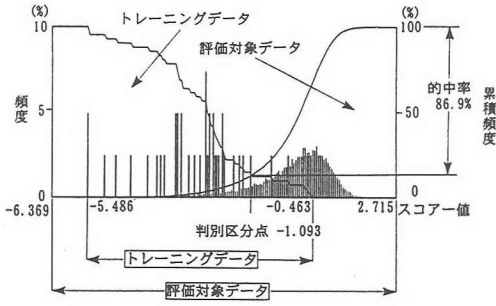
ケース1：安定化係数、標高、斜面方位、土壌、表層地質、谷密度、現存植生、植生指標、地形分類、土地被覆

ケース2：標高、土壌、斜面方位、表層地質、谷密度、現存植生、植生指標、地形分類、土地被覆

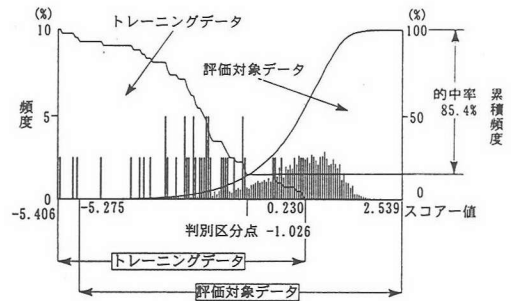
この偏相関順位と表-2から次の4つのことが読みとれる。

①表-2(a)を見ると、安定化係数は第1位に位置しており、レンジの値も最も大きいことが判る。安定化係数はトレーニングデータを説明付ける上で、他の素因以上に寄与するものと考えられる。

②安定化係数のカテゴリーのうち、0.5以下のものには負の値が付与されており、これらのカテゴリーがトレーニングデータと因果関係があるものと考えられる。さらに、安定化係数の値が小さくなる程(シラ



(a) ケース 1 : 安定化係数・使用



(b) ケース 2 : 安定化係数・未使用

図-4 個体の分布状態とミニマックス2群判別結果

表-3 ミニマックス2群判別結果

判別事象		ケース1	ケース2	評価図上の色付け	
		安定化係数 使用	安定化係数 未使用		
判別前	トレーニングデータ	41	41	—	
	評価対象データ	16,033	16,033		
2群 判別後	トレーニング データ	危険性有	36	35	赤色 青色
		危険性無	5	6	
	評価対象 データ	危険性有	2,047	2,296	緑色 白色
		危険性無	13,986	13,737	
合計		危険性有 13,991	2,331 13,743	—	
的中率		86.9%	85.4%		

表-4 斜面安定性評価図の凡例

(写真-2と写真-3参照)

トレーニングデータ (現状型)	赤色	トレーニングデータのうち、 「危険性・有」として判別されたもの
	青色	トレーニングデータのうち、 「危険性・無」として判別されたもの
評価対象データ	緑色	評価対象データのうち、 「危険性・有」として判別されたもの
	白色	評価対象データのうち、 「危険性・無」として判別されたもの

図-4と表-3から次の2つのことが読み取れる。

①安定化係数を使用する場合(ケース1)と使用しない場合(ケース2)の的中率は、それぞれ86.9%、85.4%である。トレーニングデータに対する判別精度はいずれのケースも高く、後述する斜面安定性評価図の信頼性を裏付けることができる。また、図-4から、安定化係数の使用の有無に伴う個体の分布状態の違いも認められる。図-4(a)の評価対象データの分布を見ると、図-4(b)に比べて連続性を示す。この違いが斜面安定性評価図の結果に反映されるものと考えられる。

②表-3の合計欄を見ると崩壊の危険性・有として判別された画素は、ケース1では2,083画素、ケース2では2,331画素である。その差は、248画素に及ぶ。つまり、安定化係数を使用した場合には、崩壊の危険性有と判定される画素が全体として減少し、崩壊危険性のある箇所を絞り込む効果が得られる。

以上の定量的な違いが斜面安定性評価図上にどのような違いとなって現れるのかについて以下に検討する。

(2) 斜面安定性評価図の比較

ケース1およびケース2の斜面安定性評価図をそれ

ぞれ写真-2および写真-3に示した。評価図上の色の意味は表-4に記載した。両ケースとも等高線が密になっている急崖地が様に危険地帯として判定されている。さらに細部を見るとそれぞれの評価図上では危険箇所の違いが見られる。これは、安定化係数の使用の有無に伴って現れたものである。

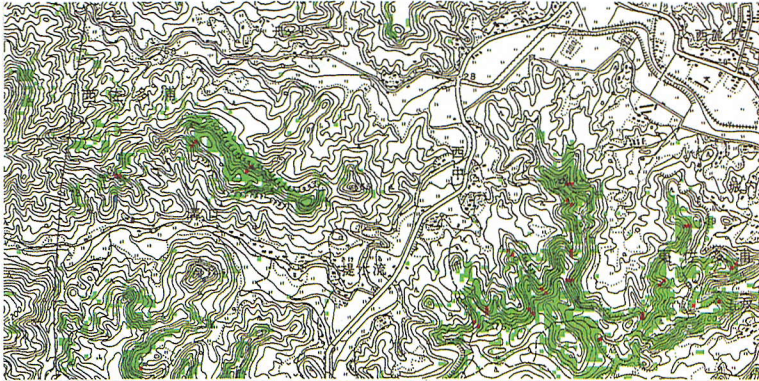
次章において、この違いを抽出した「差画像」を通して、様々な解釈ができることを示す。

7. 安定化係数の活用方法

(1) 差画像の作成

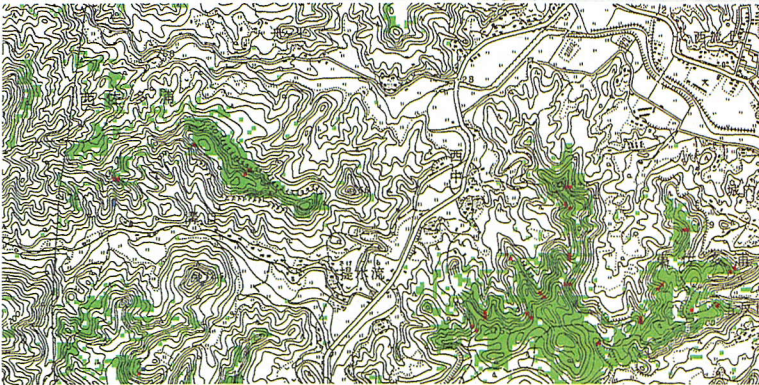
以上までの分析結果のもとに、さらにステップを進め、安定化係数の使用の有無に伴う斜面安定性評価図の違いを利用した評価方法を提案する。

写真-2(ケース1)および写真-3(ケース2)で示したそれぞれの斜面安定性評価図は、ミニマックス2群判別を通して表-4に示した4つの情報に区分されている。したがって、ケース1とケース2の評価図の違いを抽出すると、表-5のような8種類の組合せ事象に整理できる。この組合せに従って作成した差画像を写真-4に示した。



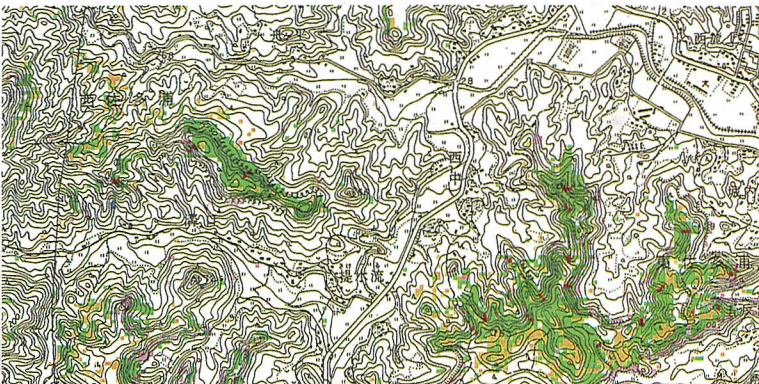
凡例：表-4 参照

写真-2 斜面安定性評価図
($k-s1$ ：安定化係数・使用)



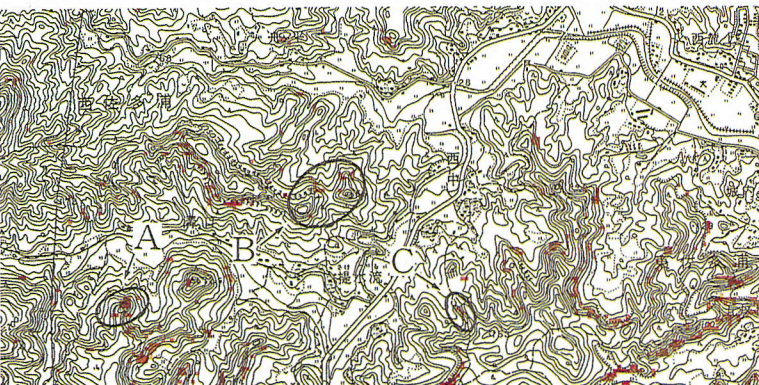
凡例：表-4 参照

写真-3 斜面安定性評価図
($k-s2$ ：安定化係数・未使用)



凡例：表-5 参照

写真-4 ケース1と
ケース2の差画像



凡例：写真-1（安定化係数）
と同じ

写真-5 差画像（写真-4）
の桃色の画素（ケース6）に対す
る解釈支援画像

表一 5 差画像の標準解釈表 (安定化係数の活用)

	画素の組合せ (崩壊危険性の有無)		差画像の解釈	ケース名	差画像 上での 色付け
	安定化係数 使用 (写真-2)	安定化係数 未使用 (写真-3)			
トレーニングデータ	有	有	崩壊「再発生」の可能性の高い領域	ケース1	赤
		無	安定化係数を使用したことによつて、崩壊危険性・有と判定された領域であり、評価者にとつて「安全側評価領域」。	ケース2	茶
	無	有	安定化係数を使用したことによつて、崩壊危険性・無と判定された領域であり、評価者にとつて「危険側評価領域」。	ケース3	薄青
		無	崩壊「再発生」の可能性の低い領域	ケース4	青
評価対象データ	有	有	崩壊の危険性の高い領域	ケース5	緑
		無	安定化係数を使用したことによつて、崩壊危険性・有と判定された領域であり、評価者にとつて「安全側評価領域」。	ケース6	ピンク
	無	有	安定化係数を使用したことによつて、崩壊危険性・無と判定された領域であり、評価者にとつて「危険側評価領域」。	ケース7	黄
		無	崩壊の危険性のない領域	ケース8	白

(2) 差画像の解釈

表一 5 のケース名に従つて差画像の解釈とその有用性について考察する。

a) トレーニングデータに対する解釈

ケース1～ケース4まではトレーニングデータに対する解釈となる。

①ケース1 (赤色: 35画素) : 安定化係数の使用の有無にかかわらず崩壊危険性・有と判定された画素である。この画素は、既崩壊地であり、トレーニングデータとして設定したものである。シラス斜面の既崩壊箇所は、「崩壊再発生」の可能性のある領域として指摘されている⁹⁾。したがって、このケースに該当する画素は、特に、シラス侵食崩壊の周期性を念頭におき、継続的に注意していく候補領域となる。

②ケース2 (茶色: 1画素) : 安定化係数を使用したことによつて崩壊危険性・有と判定された画素である。トレーニングデータとして設定した箇所であり、安定化係数を使用したことによつて、本来の危険性の有る画素として正しく判別されたことになる。評価者にとっては、危険箇所の見落としがなくなることから、「安全側の評価領域」として解釈できる。

③ケース3 (薄青色: 該当画素無し) : 安定化係数を使用したことによつて、崩壊危険性・無と判定される画素である。本検討では、該当画素は存在しなかった。一般解釈としては、トレーニング領域でありながら、安定化係数の使用に伴つて、危険性の無い箇所と

して誤つて判別される画素となる。換言すれば、シラスの土性以外の要因、つまり、他の地理情報との因果関係が深い崩壊領域と解釈される。評価者にとっては、危険箇所を見落とす可能性があることから「危険側の評価領域」と見なされる。

④ケース4 (青色: 5画素) : 安定化係数の使用の有無にかかわらず、崩壊危険性・無と判定された画素である。「崩壊再発生」の可能性の低い箇所として評価できるが、トレーニング領域でもあることから、現地調査を通して入念な検証が必要となる。

b) 評価対象データに対する解釈

以上までは、トレーニングデータに対する解釈である。さらに、評価対象データに対するケース5～ケース8について考察を進める。

⑤ケース5 (緑色: 1,626画素) : 安定化係数の使用の有無にかかわらず崩壊危険性・有と判定された画素である。トレーニングデータに極めて類似する土地の性状であり、崩壊の危険性が最も高い箇所として評価できる。

⑥ケース6 (ピンク色: 421画素) : 安定化係数を使用したことによつて崩壊危険性・有と判定された画素である。安定化係数の適用効果が反映された箇所であり、評価者にとっては危険箇所の見落としがなくなり「安全側の評価領域」となる。

⑦ケース7 (黄色: 670画素) : 安定化係数を使用したことによつて崩壊危険性・無と判定された領域である。評価者にとっては危険箇所を見落とす可能性があり「危険側の評価領域」となる。

⑧ケース8 (白色: 13,442画素) : 安定化係数の使用の有無にかかわらず、崩壊危険性・無と判定された画素である。崩壊発生の可能性の低い箇所として評価できる。

以上の評価は、筆者らが開発したSSEモデル¹¹⁾から得られる評価図を組み合わせることによつてのみ可能であることは言うまでもない。安定化係数を導入した斜面安定性評価図(差画像)を活用し、シラス地盤の特性を考慮に入れて「崩壊危険側・安全側評価」といった2つの視点から多角的に評価を展開できる点は、今までにない研究の特色となる。

しかし、表一 4 で示したケースに該当する差画像上の画素について、相対的な「崩壊危険度」を評価することはできない。あくまでも「トレーニングデータと土地の性状が類似する箇所」を判定(多変量解析)し、支援情報を提供・解釈するといった適用範囲に限られる。安定化係数の使用の有無に伴う評価図の違いを比較する際には、個体に付与されるスコア値の差についてより詳細に定量分析を進めることも考えられるが、この点については本研究の範囲には含めず今後の課題

とする。

(3) 差画像の活用

以上までの差画像に対する分析の結果をもとに、利用者の立場に立って考えると、差画像は次のような場面に活用できる。

a) 潜在危険斜面および崩壊斜面の図化・更新

差画像上で危険斜面として判定された箇所現地調査を通して、潜在危険斜面の図化・更新といった作業に役立つ。また、前述したように差画像とステレオ空中写真を照合することによって、崩壊履歴図の作成・更新作業にも寄与できることは言うまでもない。

b) 各種現地計測計画支援（広域調査支援）

本研究で対象とした自然シラス斜面は、風化層と地山との間で崩壊が発生しており、両者の間は物理的にも化学的にも不連続であり、いわば物性的に異質な層が斜面を覆っている。このことが風化層の厚さを知ることの重要性が指摘されている理由でもある⁹⁾。硬度計による指標硬度の測定や室内力学試験、あるいは鉱物化学的な研究は、災害後はじめて実施できるものであって、事前予知問題には適用できない¹⁰⁾。つまり、非崩壊斜面で実施できる試験方法が必要であり、そのための対策として簡易貫入試験等があげられる。これは大がかりな設備を必要とせず携帯型であり、広域におよぶ現地調査時の多点計測に適している⁹⁾。

特に、安定化係数を使用したことによって崩壊の危険性・有と判定された画素（表-5のケース2、ケース6）は、土質力学的に見て崩壊の危険性が高い箇所として、上で述べた簡易計測等を実施する上での候補地点となり得る。

c) 差画像の解釈支援情報の作成（細部調査支援）

表-5で示した差画像の標準解釈表に加えて、さらに安定化係数の情報をベースとして、差画像を解釈するための支援情報も提供できる。例えば、差画像上のケース6の画素は、安定化係数を使用した場合にのみ「危険性・有」と判定されたものであり、これらの画素（写真-4のピンク色の画素）に該当する安定化係数（写真-1参照）の値のみを画像表示したものが、写真-5である。なお、この図は、他の評価図と比較しやすいようにまとめて前ページに掲載してある。赤系色になる程、安定化係数の値が小さく、土質力学的に見て危険性の高い箇所として評価でき、現地計測を優先的に実施すべき候補となる。

これらの画素は、安定化係数の使用の有無の違いによって抽出された画素であり、従来から使用されている傾斜区分因子の情報だけからでは得られないものである。また、多変量解析を介していることから、同じ傾斜区分に属する斜面でも危険箇所として判定される

箇所もあればそうでない箇所もある。

例えば、写真-5に記載した記号A～Cに該当する箇所は植生に覆われており、一見した限りでは崩壊の危険性は認められないが、この周辺では局所的に小規模な崩壊が発生していた。安定化係数の値は、0.2～0.3と低い値を示しており、侵食崩壊の発生の引き金となる「潜在危険斜面」として注意を要する。麓には住居や水田があり、現地計測等を実施し、事前に対策をとっていくことが必要な箇所となる。このように本研究で提案した差画像は、広域から細部にわたる現地調査計画の立案に役立つだけでなく、調査中にも「誘導的な資料」として活用できる。

なお、写真-5は差画像のケース6の画素に対する支援情報の例であるが、その他のケースの画素に対しても同様の支援情報が作成できることは言うまでもない。安定化係数を使用しない場合の従来までの斜面安定性評価図（写真-3）、あるいは安定化係数（写真-1）そのものの情報のみでは、以上のように崩壊危険箇所に対する支援情報を得ることはできない。

事前対策を取る際には、通常、ケース5が崩壊の危険性の高い箇所となるが、前述したとおりSSEモデルは、あくまでもトレーニングデータと土地の性状が類似する箇所を抽出するモデルであることから、評価結果が必ずしも崩壊危険箇所であるとは限らない。

ケース別に写真-5で示したような支援情報を作成すれば、専門家の知見を加えつつ、現地調査、現地計測のための優先地点の選定を含めた計測計画の立案支援、計測作業の効率化に役立つ。図-1で示したように、安定化係数と各種地理情報を併用するSSEモデルの適用意義は、この点にある。

(4) 安定化係数の適用意義

安定化係数は、種々の土質条件で作成できる。以上までの検討では、シラス斜面が「最も不安定な状態」になると想定される場合^{10)、11)}、すなわち、

$$\text{内部摩擦角 } \Phi = 30 \text{ (度)}$$

$$\text{水中単位体積重量 } \gamma_{sat} = 0.55 \text{ (t/m}^3\text{)}$$

$$\text{飽和単位体積重量 } \gamma_{sat} = 1.55 \text{ (t/m}^3\text{)}$$

として安定化係数を作成した。前述した式(1)においてこのように3つのパラメータを一定にすると、安定化係数は、斜面前面傾斜角 α のみに依存することから、従来から素因の一つとして使用している傾斜区分因子を除去し、安定化係数を採用することの意義が問題となる。

安定化係数は、種々の土質定数を用いて作成することができる。そこで、一例としてシラス斜面が「不安定な状態」と想定される土質定数の事例、すなわち、
内部摩擦角 $\Phi = 40$ (度)

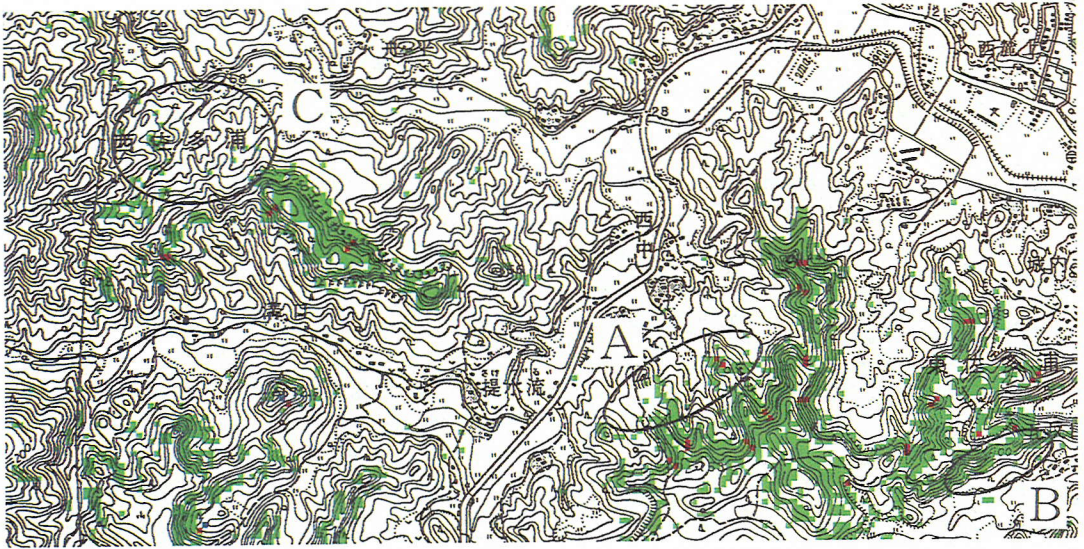


写真-6 土質条件の異なる安定化係数を用いた場合の斜面安定性評価図

水中単位体積重量 $\gamma_{sub} = 0.65 \text{ (t/m}^3\text{)}$

飽和単位体積重量 $\gamma_{sat} = 1.65 \text{ (t/m}^3\text{)}$

として、安定化係数を計算し、図-2で示したケース1の安定化係数と差し替えて、斜面安定性評価図を作成してみた。その結果が写真-6である。この写真中、A、B、Cで指摘した箇所に対応する写真-2の箇所では、評価結果が異なっている。安定化係数の違いが、反映された結果である。評価領域全体でこのように変化した画素の数は、表-6に整理した。

写真-6からも判るように、斜面が「安定な状態」の土質条件下の安定化係数を用いると危険箇所として評価される箇所が少なくなる傾向にある。安定化係数の大小のみで、崩壊の予知ができないことは言うまでもないが、安定化係数の違いに伴って評価結果が異なる箇所は、式(1)の土質条件に鋭敏に反応する箇所として、前述したような現地調査、各種計測計画策定のための候補地点となる。従来までの傾斜区分因子を含めた地理情報を用いた評価では、自然シラス斜面の土質条件を反映させた評価はできなかった。このことが、傾斜区分因子に替わる安定化係数の利点の一つでもある。

なお、本研究では、SSEモデルにおける安定化係数適用の考え方を明確にするとともに、安定化係数を導入した斜面安定性評価アルゴリズムの構築し(前述した差画像の解釈まで)、その有用性を示すことを第1の目的としたことから、写真-2と写真-6の違い、すなわち、安定化係数の違いに伴う評価結果の「感度分析精度」等の問題については、本研究の範囲には含まず、今後の課題とする。

表-6 安定化係数の違いに伴う判別結果の変化

		ケースA	
		危険性・有	危険性・無
ケースB	危険性・有	1,639	121
	危険性・無	408	13,991

注1) ケースA: シラス斜面が「不安定な状態」と想定される土質条件における安定化係数を使用した場合

2) ケースB: シラス斜面が「安定な状態」と想定される土質条件における安定化係数を使用した場合

8. 作業効率

SSEモデルは、現在パーソナルコンピュータをベースとして極めて簡便な操作で利用できるが^{(14)・(15)}、表-1に示した素因データをデータセットとして整備することが必要となる。データセットの整備には、次の3つの作業を要する。

①地理データ(地形、表層、土壌)とDTM(数値地形モデル)を構築するためのデータの読み取りおよびコンピュータへの入力作業。

②コンピュータ処理を通して、素因データを作成する作業。すなわち、DTMからは安定化係数、標高、斜面方位、谷密度を、衛星データからは土地被覆分類図および植生指標図を作成する作業。

③以上の素因データをSSEモデルに適用できるようにフォーマット変換し、データセット化する作業。

本研究の対象領域（東西3.6km×南北1.8km：180×90画素）のデータセットを整備するためには、約12日/人程度で完了する。素因データが整備されれば、トレーニングデータの設定・削除はマウスを用いて簡便にでき、斜面安定性評価図も40秒程度（数量化Ⅱ類とミニマックス2群判別を合わせた処理）の計算の後に画面に表示される。また、数量化Ⅱ類やⅢ類の処理結果等も出力することができ、複雑な処理手順を要しない実用性あるシステムとなっている。

9. まとめ

(1) 研究の成果

本研究の内容と成果は、次の5点にまとめられる。

①侵食を伴う自然シラス斜面を対象とした崩壊危険箇所評価における現状の技術的課題を整理した上で、筆者らが開発したSSEモデルで取り扱う範囲を明確にした。文献および報告等の資料収集・調査を通して、入念なフィールドスタディを実施し、「潜在危険斜面^{8)・9)}」を推定・区分していくことの重要性を指摘した。

②地理情報や衛星データを使用して作成される従来までの評価図の情報だけでは、信頼性の面でおのずと限界があることを示し、広域にわたる崩壊危険箇所評価において、自然シラス地盤の特性を考慮できる評価方法の必要性を指摘した。この問題に対して、無限長斜面安定解析式から計算される安全率の値を画像化したものを「自然シラス安定化係数 (Natural Shirasu Stabilization Coefficient)」と定義し、SSEモデルで使用する素因データの一つとして導入した。

③数量化Ⅱ類およびⅢ類による分析を通して、本研究で定義した安定化係数は、外的基準であるトレーニングデータを説明付ける上で有用な因子であることが裏付けられた。

④安定化係数の使用の有無に伴う崩壊危険箇所の判定結果を比較した結果、安定化係数を使用した場合には、崩壊・未崩壊といった2群判別精度が向上し、崩壊危険箇所を絞り込めることが判った。

⑤安定化係数の使用の有無によって現れる違いを利用した斜面安定性評価図（差画像：写真-4）を作成し、「崩壊危険側・安全側」といった2つの視点から評価が展開できることを示した。さらに、安定化係数の情報をベースとして、差画像に対する解釈支援情報（写真-5）を作成し、崩壊地や急傾斜地の調査、崩壊防止計画等の事業計画策定時の支援情報として有用性の高いことを示した。

空間情報の融合利用に関する手法論的研究は、数多

くある。しかし、モデルから得られる解は、モデルが成立する上での前提・仮定条件に基づいており、非線形モデル等では内部構造がブラックボックスであることが問題点としてよく指摘される。つまり、実際の意志決定の場面に際して、一意的に得られるモデル解だけでは、利用者にとって実際に活用できる情報になっていないことが多い。GIS (Geographical Information Systems) やリモートセンシングといった空間情報を扱う技術の活用に関する研究では、この点に関する議論が不足していることを認識しなければならない¹⁶⁾。本研究の内容は、このような問題に対する一つの対策を示したものでもあり、空間情報の融合利用技術における「意志決定支援」に関わる研究分野にも何らかの形で寄与できるものと考えている。

(2) 今後の展開

今後の研究の展開として次の2点を考えている。

a) 安定化係数の違いに伴う評価結果への影響分析

本研究では、過去の研究成果をベースに、自然シラス斜面が「最も不安定」になると想定される土質条件下で安定化係数を作成した。原位置試験や室内土質試験の結果を基に、安定化係数を必要に応じて適宜作成し直し、安定化係数の違いに伴う評価結果への影響を分析することは今後の課題となる。この分析においても本研究で提案した差画像とその解釈の方法が役立つ。

b) 衛星データの活用

衛星リモートセンシングデータと地理情報を融合利用して、ハザードマップを作成しようとする研究が注目されるようになってから久しいが、侵食を伴う崩壊問題は、特に地質分野等において世界的にも重要課題として取り上げられている¹⁷⁾。本研究では、自然シラス斜面の危険性評価におけるSSEモデルの適用可能性を見出すことを第1の目的としたことから、衛星データそのものの適用効果については³⁾、十分に言及することができなかった。

最近では、昼夜全天候型のマイクロ波センサから観測されるSARデータの利用が種々の分野で注目されてきており、土壌含水量との相関が高いことも報告されている¹⁸⁾。また、近い将来、航空写真に匹敵する極めて精度の高い地上分解能をもつ衛星データが入手できることも話題になっている。

これらの衛星データから作成できる種々の画像特徴と、本研究で検討した安定化係数との因果関係等を分析することは興味ある課題となる。本研究で提案した差画像作成とその解釈に至る一連の処理アルゴリズムは、今後の研究のベースとして拡張性、発展性を有している。

10. むすび

斜面崩壊の予知・予測に完全な解はありえない。シラス特殊土で構成される斜面の危険性評価に関わる研究の歴史は古く、多くの成果が蓄積されている^{5) - 12)}。本研究の内容は、そのうちのほんの一部を対象としたものであるが、関連方面の研究に何らかの形で寄与できれば幸いである。

謝辞：本研究は、(財)前田記念工学振興財団からの助成を受けて実施した成果の一部である。また、松島康人君(東京理科大学大学院)には、データ処理に多大なる協力を得た。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 大林成行, 小島尚人, 笠博義: 斜面崩壊予測を対象とした衛星マルチスペクトルデータの実利用化について, 土木学会論文集, No. 415/VI-12, pp. 71-80, 1990年3月。
- 2) 笠博義, 小島尚人, 大林成行: 異なった斜面崩壊のタイプに対する斜面崩壊予測システムの適用性の研究, 土木学会論文集, No. 444/VI-16, pp. 71-80, 1992年3月。
- 3) 大林成行, 小島尚人, 藤井克史: 衛星マルチスペクトルデータを適用した地すべり危険箇所の評価精度の向上, 土木学会論文集, No. 534/VI-30, pp. 173-184, 1996年3月。
- 4) 大林成行, 小島尚人, 村上達也: 侵食崩壊を伴う急傾斜地を対象とした場合の危険箇所評価方法の一提案, 土木学会論文集, No. 567/VI-36, pp. 225-236, 1997年6月。
- 5) 持永龍一郎, 福山俊郎: シラスのり面崩壊に関する要因分析, 土木学会論文報告集, 第197号, pp. 101-110, 1972年1月。
- 6) 下川悦郎, 地頭菌陸, 高野茂: しらす台地周辺斜面における崩壊の周期性と発生場の予測, 地形, Vol. 10, No. 4, pp. 267-284, 1989年。
- 7) 北村良介, 高橋史哉, 古賀省三, 城本一義: しらす地盤における不飽和浸透挙動の現地計測について, 土木学会第50回年次学術講演会講演集, III-67, pp. 134-135, 1995年9月。
- 8) 山田満秀, 北村良介: しらす斜面の安定解析手法の開発, J. 木学会第50回年次学術講演会講演集, III-402, pp. 804-805, 1995年9月。
- 9) 藤元隆彦, 笹原克夫, 綱木亮介: しらす斜面における崩壊発生位置の地形学的検討, 地すべり学会研究発表講演集, Vol. 33, pp. 17-20, 1994年。
- 10) 沖村孝, 市川龍平: 数値地形モデルを用いた表層崩壊危険度の予測法, 土木学会論文集, No. 358/III, pp. 69-75, 1985年6月。
- 11) 春山元寿: cとΦを考える, シラス, 土と基礎, 23-6, pp. 67-74, 1975。
- 12) 鹿児島大学: 1993年鹿児島豪雨災害の総合的調査研究報告書, 全229頁, 1994年3月。
- 13) 露木利貞, 岩松暉: 1986年7月10日梅雨末期集中豪雨による鹿児島市内のシラス災害に関する調査研究, 自然災害科学総合シンポジウム要旨集, Vol. 24, pp. 33-46, 1987年。
- 14) 大林成行, 藤田圭一, 小島尚人, 藤井克史: パソコン斜面安定性評価支援システムにおける素因データ分析機能の開発, 土木情報システム論文集, No. 17, pp. 151-154, 1992年10月。
- 15) 大林成行, 藤田圭一, 小島尚人, 藤井松幸: 斜面安定性評価支援システムの構築と運用, 東京理科大学リモートセンシング研究所報告, No. 14, A4版, 全187頁, 1993年4月。
- 16) Star, J. L., Estes, J. E. and McGwire, K. C.: Integration of Geographic Information Systems and Remote Sensing, Cambridge University Press, 1997。
- 17) Chung, C.F. and Fabbri, A.G.: Multivariate Regression Analysis for Landslide Hazard Zonation, Geographical Information Systems in Assessing Natural Hazards, pp. 107-133, 1995。
- 18) 淵上五郎, 沖大幹, 虫明功臣: 可視・近赤外センサとマイクロ波センサを利用した土壌含水地図の作成, 土木学会第49回年次学術講演会講演集, 共通部門, pp. 270-271, 1994年9月。

(1997. 11. 14 受付)

THE EVALUATION METHOD INTRODUCING THE GROUND CHARACTERISTICS FOR THE HAZARDOUS SLOPE AFFECTED BY THE EROSION COLLAPSE

Shigeyuki OBAYASHI and Hirohito KOJIMA

This paper proposed the evaluation algorithm of the SSE model (Slope Stability Evaluation model) incorporating the ground characteristics of the steep slope composed of the shirasu deposit affected by the erosive collapse. In the SSE model, the causal factors, such as geographical information(GI) and satellite remote sensing(RS) data, are used to produce the slope stability evaluation map. In this study, as the other causal factor, the "Natural Shirasu Stabilization Coefficient(NSSC)" was newly defined with respect to the ground condition. To evaluate the effectiveness of the NSSC, the following two cases were executed; Case-1)Using the NSSC, GI and RS data, Case-2)Using GI and RS data. As the results, through the quantification method type-II and type-III, it was indicated that the NSSC is useful causal factor for presuming the hazardous area. Furthermore, the difference map (termed DIF map) between two evaluation maps, based on Case-1 and Case-2, was provided. This DIF map and its interpretation are effective as the supporting information in making the prevention plans on the slope failure.