地盤数値情報データベースを用いた熊本県中部域斜面災害の解析

(Statistical Analysis of Slope-failure at Kumamoto Prefecture using
Geotechnical Information Data Base System)

田 尻 要ⁱ⁾ (Kaname Tajiri)
中 山 洋ⁱⁱ⁾ (Hiroshi Nakayama)
今 泉 繁 良ⁱⁱⁱ⁾ (Shigeyoshi Imaizumi)

キーワード：斜面安定／植生／地形学／地質学／土
地保全／統計的解析 (IGC : B 9/E 6)

1. は じ め に

斜面崩壊発生の可能性の高い場所を予測する事は、構造物建設における立地条件の検討や、斜面災害の防災対策を考える上において重要である。この斜面崩壊の場所の予測を行うための基礎研究として、統計処理により崩壊の要因の評価を求める手法が広く行われている^{1~11)}。統計処理解析においては、データの収集作業が重要な役割を果たすが、従来、斜面崩壊の発生箇所とその近隣の健全地を調査し、データを収集するというのが一般的である。例えば、沖村ら²⁾は自然斜面崩壊について解析を実施し、統計的解析に有用な要因として傾斜度や風化度などを挙げている。しかしながらこの方法はサンプリングの際に人為的な要素が入ることから、この影響を少なくするために近年になり地表をメッシュに分割し、地形図や航空写真の資料より作成したメッシュ情報を利用した多変量解析が行われている。例えば、春山ら⁶⁾は鹿児島県における土砂災害について数量化Ⅱ類による解析を実施し、崩壊に影響を及ぼす要因として表層地質や斜面の植生などを挙げている。また、樗木ら¹¹⁾は昭和57年に発生した長崎大水害¹²⁾を対象に、崩壊斜面と健全斜面のサンプリングされたデータを用いて解析を行っている。この解析では、崩壊に影響を与える要因として斜面の傾斜角・傾斜方向を挙げ、斜面形状や地質は影響が少ないという評価を与えている。

以上のように、統計的解析による斜面崩壊の要因の評価は、斜面傾斜度などは定着しつつあるが、土地利用や樹種、地質などについては、現在のところ評価が分かれており、要因の重みの評価を確立する必要があると思われる。

ところで、このような要因の評価をする工学的な目的が、地域における危険地の抽出を目指していることから、解析で用いられる要因データは、広い範囲を面的に網羅し入手が容易で普遍的である必要があると考えられる。このような立場から筆者らは地盤数値情報のデータベース化を進めている^{13),14)}。そこでのデータベースは地表面を50×50 mのメッシュに分割し、これを基本単位として標高・斜面傾斜角・斜面方向・地質の情報を数値ファイル化し、情報の入出力から解析および結果の出力までをシステムティックに行えるものである。

本研究では、まず斜面形状、土地被覆状況、山林部に関しては樹種、林令など斜面崩壊に関して重要な影響を与えていると思われる情報の収集を行い、データベースの充実を図る。次にこれを利用して、1988年5月3日から4日にかけて熊本県中部域(図-1参照)に発生した集中豪雨による斜面災害¹⁵⁾を対象に、数量化Ⅱ類による解析を行い、現在評価が分かっている地質や土地利

図-1 解析対象地域の位置図

i) 西松建設㈱技術研究所 (大和市下鶴間2570-4)
ii) 九州東海大学工学部 教授
iii) 宇都宮大学工学部 助教授
(1989. 8. 14 原稿受付・討議期限 1993. 1. 1. 要請があれば1か月の期限延長可能)

用などの要因に対する評価を明らかにする。なお、解析の精度の評価として、従来からの「全的中率」に加え「崩壊地的中率」「過度崩壊判別率」という考え方を取り入れた考察を行う。

2. 地盤数値情報データベースシステム

構築したデータベースシステムは、50 m 平方の等面積メッシュを単位とした情報のファイル化である。これはパーソナルコンピュータを基礎とするもので、情報の管理を効率良く行い、将来的に多目的な利用ができることを目的としている。以下にシステムの概要を述べる。

(1) ハードウェアシステム

ハードウェアシステムを図-2に示す。本体に640キロバイトの記憶容量を持つ16ビットパーソナルコンピュータ、外部記憶装置として40メガバイト×2ドライブの5インチ固定ディスクユニット、出力装置に14インチ高解像度カラーディスプレイ、15インチ24ピンドットプリンタ、A3サイズXYプロッタを備えている。

(2) ファイルの管理と成り立ち

要因の情報は、標高などは整数値で、地質など質的なものもコード化した整数値で収納されている。また、MS-DOSの階層ディレクトリの機能を用いて、同種類の情報毎にディレクトリを作成し、各情報ファイルをその下に収納することでファイルの情報の属性を明らかにした。標高・最高最低標高・傾斜方向・斜面形状など地形に関する情報は「ELE」、地質は「GEO」、森林状況・土地被覆状況は「VEG」、崩壊情報は「FAI」というディレクトリに収納した。以下各情報について述べる。

1) 標高

i) メッシュ標高値

メッシュの標高値は、縮尺1/5,000の国土基本図（等高線間隔5m）を用い、西川ら¹⁶⁾と同じように、地形図上で区切ったメッシュの左上交点の等高線をm単位で目読み標高ファイルとした。

ii) 最高・最低標高値

隣接するメッシュとの境界上も含めたメッシュ内部における、標高の最高地点・最低地点の2点の等高線を

m単位で目読み最高・最低標高ファイルとした。

2) 傾斜角および傾斜方向

図-3に示すようにメッシュ内に4つの三角形を考え、各三角形での頂点の標高値からx, y方向への勾配 f_x, f_y を求めた後、次式により各三角柱頂面の最急傾斜の大きさ $f_{\max}$ とその方向 α （x軸より時計回りに計った角度）を次式により計算した。

$$f_{\max} = \sqrt{f_x^2 + f_y^2}$$

$$\alpha = \tan^{-1}(f_y/f_x)$$

そして、4つの三角柱に関する $f_{\max}$ のうち最大のものとそれに対応する α をメッシュを代表する値とし、これを傾斜・方向ファイルとした。

3) 斜面形状

メッシュ標高値および最高・最低標高値のデータからメッシュ内斜面の3次元形態が分類できる。ここでは、小橋⁹⁾と同じ方法として表-1に示す4タイプのモデル化を行い各々にコードを与えた。モデル化は各メッシュにおける四隅の交点における標高値と、最高・最低標高データを照合するものである。

4) 地質

解析により得られた評価は、他の地域との比較ができるように汎用性を持たせることが必要である。よって地質要因については縮尺2万5千分の1の熊本県下の地

図-3 メッシュ内最急傾斜角の求め方

図-2 ハードウェアシステム

表-1 斜面形状のモデル化

	メッシュ内 最大標高	メッシュ4隅中 最大標高	メッシュ内 最低標高	メッシュ4隅中 最低標高
凸型	$N_{\max} > M_{\max}$ and $N_{\min} \geq M_{\min}$			
凹凸複合型	$N_{\max} > M_{\max}$ and $N_{\min} < M_{\min}$			
凹型	$N_{\max} \leq M_{\max}$ and $N_{\min} < M_{\min}$			
単斜面	$N_{\max} \leq M_{\max}$ and $N_{\min} \geq M_{\min}$

図-4 対象地域の地質図

質図¹⁷⁾を参考にし、カテゴリー区分を地質の名称による分類でなく、種類による分類とした(図-4 参照)。

5) 土地被覆状況および樹種・林令

熊本県庁の林政課が管理している森林基本図(縮尺1/5,000)と森林簿台帳および国土基本図上の地図記号をベースとして空中写真と照合し、相違箇所については現地調査を実施し情報の最新化を図った。

6) 崩壊状況

被災した直後の航空写真をもとに国土基本図上に災害の爪跡を記した災害概要図が残されているが、さらに航空写真の判読と現地視察を行い、切土斜面崩壊は確認されず崩壊のほとんどは自然斜面の崩壊であることを確認した。各メッシュにおける崩壊の規模は問わず、その斜面が崩壊したという事実を重視してメッシュ中に崩壊があれば“崩壊あり”とみなしてそのメッシュを崩壊斜面とし、崩壊が複数のメッシュに及んでいる場合はその全てのメッシュを崩壊斜面とした。これ以外の斜面を“崩壊なし”の斜面を持つメッシュとして健全斜面と呼ぶことにしそれぞれ数値化してファイル化した。

3. 解析対象地域の降雨と地質

1988年5月3日正午過ぎから4日早朝にかけて、熊本県中部地方では日本海の低気圧から伸びた寒冷前線が停滞し活動したため、雷を伴った豪雨が発生した。豪雨の中心は、18時頃に熊本市西部の三の岳(102 mm/h 18時)を、20~22時にかけては間谷山(111 mm/h 20

時)付近へ、4日午前1時頃には高森峠(99 mm/h 24時)付近へと、熊本県中部を西から東へと移動した。豪雨が特に激しかったのは、緑川上流域の矢部町から阿蘇山南東部の高森町、蘇陽町に至る地域で、なかでも間谷山では、3日19時頃から90 mm以上の降雨となり、20時には時間最大雨量111 mm/hを記録し、3日16~24時までの8時間雨量は396 mmにも達した(図-5 参照)。その結果、御船町東部より宮崎県境にかけて数多くの土木災害をもたらし、東西8 km×南北6 kmの対象地区内だけでも、斜面崩壊の数は521箇所のにぼった。なお、熊本県中部域の斜面崩壊はいずれも3日18時30分から21時の間に発生したと報告されており¹⁵⁾、この時間帯は降雨量のピーク時におおむね一致している。

図-5 間谷山における降雨の様子(1988/5/3)

また、対象地域の地質の特徴¹⁸⁾は、古い地質として接触変成岩（肥後変成岩類）が南部に広く分布していることである。この変成岩は緑色片岩と黒色片岩を主体とする広域変成岩（間の谷変成）と片岩・ホルンフェルスと結晶質石灰岩を含む変成帯に分類されている。これら貫いて中生代の深成岩（宮の原カウ閃緑岩）が貫入しており、北部には火成岩類のレキ層を挟む粘板岩からなる二畳紀堆積物である水越層が分布し、これに不整合に中生代後期、白亜紀の御船層が堆積している。以上の地質間の低地を阿蘇の火砕流堆積物である熔結凝灰岩が広く分布している。

4. 解析理論¹⁹⁾

数量化Ⅱ類は、質的な説明変数と質的な外的基準（目的変数）との間の重回帰分析である。

いま、 P 個の外的基準のうち i 番目に反応した個体を集めて i 群とし、その α 番目の個体が j アイテム（要因）の k カテゴリーに反応したか否かを表すダミー変数 $\delta_{i\alpha}(j, k)$ を導入する。

$$\delta_{i\alpha}(j, k) = \begin{cases} 1: \text{外的基準第 } i \text{ 群の } \alpha \text{ 番目の個体がアイ} \\ \text{テム } j \text{ のカテゴリー } k \text{ に反応する時} \\ 0: \text{その他の時} \end{cases} \quad (1)$$

この時、その個体の全アイテムにわたる評価 Y は、ダミー変数を用いると次の線形式で表される。

$$Y_{i\alpha} = \sum_{j=1}^R \sum_{k=1}^{C_j} a_{jk} \cdot \delta_{i\alpha}(j, k) \quad (2)$$

ここに、 R : アイテムの総数

C_j : j アイテムのカテゴリー数

a_{jk} : カテゴリー数量

外的基準の分類を最もよく予測（判別）するため、 Y_i に関する群間変動が全変動に対して相対的に最大になるように、言い替えれば相関比 η^2 を群間変動 S_B と全変動 S_T の比とし、 η^2 を最大とするように a_{jk} を定める。

$$\eta^2 = \frac{S_B}{S_T} = \frac{\sum_{i=1}^P n_i (\bar{Y}_i - \bar{Y})^2}{\sum_{i=1}^P \sum_{\alpha=1}^{n_i} (Y_{i\alpha} - \bar{Y})^2} \quad (3)$$

$\bar{Y}_i$ は第 i 群における Y_i の、 $\bar{Y}$ はすべての Y_i の平均値である。上式は、

$$\eta^2 = \frac{\sum_{j=1}^R \sum_{k=1}^{C_j} \sum_{u=1}^R \sum_{v=1}^{C_u} b(jk, uv) a_{jk} \cdot a_{uv}}{\sum_{j=1}^R \sum_{k=1}^{C_j} \sum_{u=1}^R \sum_{v=1}^{C_u} t(jk, uv) a_{jk} \cdot a_{uv}} \quad (4)$$

となる、ここに

$$t(jk, uv) = f(jk, uv) - \frac{n_{jk} \cdot n_{uv}}{n}$$

$$b(jk, uv) = \sum_{i=1}^P \frac{g^i(jk) g^i(uv)}{n_i} - \frac{n_{jk} \cdot n_{uv}}{n}$$

R : アイテム数

n : 全データ数

n_i : i 番目の外的基準に反応した個体の数

$f(jk, uv)$: 要因 j アイテム k カテゴリーと u アイテム v カテゴリーの両方に反応した個体の数

$g^i(jk)$: 第 i 群で、 j アイテム k カテゴリーに反応した個体の数

n_{jk} : j アイテム k カテゴリーに反応した個体の数

各個体がそれぞれの要因アイテムに対してただ 1 つだけのカテゴリーに反応するものとする、各アイテム内のカテゴリーに対するダミー変数の間に 1 次従属性が成り立ち、各アイテム内でのカテゴリーの数だけ導入したダミー変数のうち 1 つずつは残りのカテゴリーに対するダミー変数から決まってくるため、 a_{jk} の値は一意的には定まらない。そこで各アイテムの 1 番目のカテゴリーに付与する数量をゼロとする標準化を採用する。すなわち $a_{j1} = 0$ ($j = 1, 2, \dots, R$) とすると、 η^2 は次のようになる。

$$\eta^2 = \frac{S_B}{S_T} = \frac{\sum_{j=1}^R \sum_{k=2}^{C_j} \sum_{u=1}^R \sum_{v=2}^{C_u} b(jk, uv) a_{jk} \cdot a_{uv}}{\sum_{j=1}^R \sum_{k=2}^{C_j} \sum_{u=1}^R \sum_{v=2}^{C_u} t(jk, uv) a_{jk} \cdot a_{uv}} \quad (5)$$

η^2 を最大とするために a_{uv} で偏微分して、これをゼロとくと、

$$\begin{aligned} \frac{\partial \eta^2}{\partial a_{uv}} &= \frac{\frac{\partial S_B}{\partial a_{uv}} \cdot S_T - \frac{\partial S_T}{\partial a_{uv}} \cdot S_B}{(S_T)^2} \\ &= \frac{1}{S_T} \frac{\partial S_B}{\partial a_{uv}} - \frac{S_B}{S_T} \frac{\partial S_T}{\partial a_{uv}} = 0 \\ \therefore \frac{\partial S_B}{\partial a_{uv}} - \eta^2 \frac{\partial S_T}{\partial a_{uv}} &= 0 \end{aligned} \quad (6)$$

すなわち

$$\sum_{j=1}^R \sum_{k=2}^{C_j} b(jk, uv) a_{jk} - \eta^2 \sum_{i=1}^R \sum_{k=2}^{C_i} t(jk, uv) a_{jk} = 0 \quad (7)$$

つまり、行列 $B^* = [b(jk, uv)]$, $T^* = [t(jk, uv)]$, $a^* = [a_{jk}]$ を用いると上式は、

$$(B^* - \eta^2 T^*) a^* = 0 \quad (8)$$

$$T^{*-1} \cdot B^* a^* = \eta^2 E^* a^*$$

となり、カテゴリー数量 $a^* = \{a_{jk}\}$ は最大固有値 η^2 に対応するベクトル a^* である。

5. 解析結果

5 要因に関して数量化Ⅱ類を適用した結果を表-2 に示す。

地質・傾斜角・傾斜方向・土質被覆状況・斜面形状の

要因 j が崩壊の有無という外的基準に及ぼす影響の程

表-2 解析対象全域の解析結果

アイテム	カテゴリー	メッシュ数	カテゴリー数量		範囲	偏相関係数
			-2.0	-1.0 0.0 1.0 2.0		
地質	沖積層	201	-0.125		2.260	0.075
	固結(中世代以降)	938	1.723			
	堆積物(古世代以前)	2725	-0.429			
	火山性岩石	6494	-0.378			
	深成岩	230	1.230			
	広域変成岩	6214	0.493			
	接触変成岩	2398	-0.537			
傾斜角	0~5 (度)	78	-0.800		1.356	0.053
	5~10	173	-0.827			
	10~15	430	-0.622			
	15~20	1093	-0.433			
	20~25	1924	-0.444			
	25~30	2335	-0.416			
	30~35	2765	-0.455			
	35~40	6244	0.294			
40<	4158	0.529				
傾斜方向	0~45 (度)	2057	0.365		0.541	0.022
	45~90	2411	-0.148			
	90~135	2519	-0.078			
	135~180	2424	-0.142			
	180~225	2790	-0.149			
	225~270	2622	-0.035			
	270~315	2204	0.162			
	315~360	2143	0.135			
	平地	30	0.081			
土地被覆状況	針葉樹林	10794	0.221		0.943	0.035
	広葉樹林	2026	-0.291			
	竹林	1724	-0.441			
	果樹園	144	0.349			
	未立木地	332	0.502			
	宅地	265	-0.282			
	耕作地	3915	-0.300			
斜面形状	凸型斜面	5383	-0.358		0.723	0.037
	凹凸複合型斜面	3659	0.159			
	凹型斜面	5127	0.365			
	単斜面	5031	-0.105			

度は、その要因内のカテゴリーに付与された数量 a_{jk} の最大値と最小値の差値、すなわち範囲によって表わされる。他方、外的基準も数量化されるので数量化された外的基準と数量化された要因との間に偏相関係数が定義できる。これは、対象としている要因の影響を除いた外的基準と対象とする要因との相関係数に相当するもので、外的基準に及ぼす各要因の影響の大きさを指標するもう一つの尺度となり得る。なお、外的基準のカテゴリー数量値が崩壊有りが正值、崩壊無しが負値であることから、各々のカテゴリーに与えられたカテゴリー数量は正值側へ大きいほど崩壊への影響が大きく、負値側へ大きいほど影響が小さいといえることができる。

「範囲」に着目すると、対象地区において崩壊に最も寄与する要因は地質である。中でも、“御船層砂岩”と呼ばれる中世代以降の固結堆積物は、崩壊に対して影響が大きい。この御船層砂岩は砂岩・泥岩の種々の厚さを持つ互層からなる向斜構造をなし、現地調査において表層の風化が激しくもろい岩層を呈していることから危険側の評価を得たものと思われる。広域変成岩や深成岩も、崩壊に及ぼす影響が大きい。御船町付近における広域変成岩は、“間谷変成岩類”と呼ばれる地質構造上の数多くの問題を含んでいる変成岩類で、特に片岩系は風化が激しく粘土化している所も見られ、その厚さは5 m以上に及び片理面は容易に滑りやすくなっている。深成岩についてはそのほとんどがカコウ岩であり、発達した節理に水を多く含み相当深く風化していることから危険側の評価を受けたものと思われる。他方、接触変成岩や火山性岩石は崩壊への影響は小さい。接触変成岩は“肥後変成岩類”と呼ばれる古生代後期のもので、固結度が高く風化度も低いことを特徴としている。また、古生代以前の固結堆積物は湧水を伴うことも少なく岩質は著しく硬質なものが多い。

地質に続いて崩壊への影響が大きいのは傾斜角の要因であり、傾斜角が大きくなるに従って危険度も増すという、樗木ら¹¹⁾の長崎災害の解析結果と同様の傾向となった。特に35°以上で急に崩壊への影響が大きくなっていることは、宅地や果樹園が多く含まれている長崎市付近と異なり、御船町の対象地区ではほぼ全域が森林部であることを考慮すると、森林部において斜度35°程度を越えると、今回の豪雨程度の降雨量のもとにおいては崩壊に対し危険な状態になると解釈される。現地調査でも、35°を越している斜面の崩壊が多数認められた。

土地被覆状況要因も地質要因、傾斜角要因に次いで斜面崩壊への影響が大きい。崩壊への寄与が大きいと評価されたカテゴリーは果樹園や未立木地、寄与が小さいと評価されたものは宅地や耕作地という結果は、過去に行

われてきた斜面崩壊の研究結果²⁰⁾と同じ傾向である。また、広葉樹林に比べ針葉樹林が崩壊への影響が大きいという結果が得られた。これは、安定した形態を示す自然林が大半を占める広葉樹林に比べ、針葉樹林がなんらかの不安定要素を持つためであろう。

斜面形状要因においては、凹型や凹凸複合型が危険側の評価を得た。凹地を持つ斜面は周辺部に比べ降水が集まる傾向にあり、崩壊に結び付きやすくなると思われる。現地調査の報告¹⁵⁾をはじめ、樗木ら¹¹⁾の研究による評価でも同様に凹型斜面の崩壊に対する影響度は大きい。

斜面方向要因は、斜面崩壊に対する影響は小さいという結果が得られた。概ね南から西側にかけての斜面が危険側の評価を受け、北側斜面が崩壊に対して影響が少ないという傾向は長崎市付近の解析と同様の結果¹¹⁾である。

次に、森林部における樹種と林令の崩壊に対する影響を見るため、地質・傾斜角・傾斜方向・樹種・林令の5要因による解析を行った(表-3参照)。御船地区は対象地域のほとんどが森林部であるが、林令の判別できる森林部分のみに限定されるためメッシュ数は全域の約76%に当たる14500程度に減少する。「範囲」の値より、森林部において林令および樹種の要因は崩壊に対し影響が大きい。特に林令においては、従来の研究結果²⁰⁾においても、林令0年から15年に向けて危険度が高くなっていき、15年を過ぎると危険度が下がっていく傾向にあり、ひとつの目安として林令が15年に満たないものは崩壊に対し影響が大きいと考えられ注意する必要があると考えられる。また、樹種においては、スギ、マツ、竹類などが崩壊への寄与が高い。

6. 解析精度の評価と危険地分布図の試み

解析結果の精度の評価を行うために、各メッシュの斜面崩壊の有・無の二値判別を実施した。すなわち、まずメッシュの持つ情報(カテゴリー)と既に評価された表-2の a_{jk} を回帰式(2)に代入して、各メッシュの崩壊への相対的な影響度 Y_a を決める。次に、崩壊有群および崩壊無群の Y_i の平均値を求め判別値として二群の平均値の中間値とした。的中率の表し方としては、崩壊有のメッシュ数と崩壊無のメッシュ数のそれぞれに対して正しく判別されたメッシュの合計数を全メッシュ数で除した“全的中率”(表-4に示した関係で表せば $p = (a+d)/(a+b+c+d)$)で評価するのが一般的である。的中率が90%以上期待できる場合にはこのような評価が妥当であると思われるが、今日におけるこの分野での到達段階が60~80%¹⁰⁾といわれている現状におい

表-3 森林部における解析結果

アイテム	カテゴリー	メッシュ数	カテゴリー数量 -2.0 -1.0 0.0 1.0 2.0		範囲	偏相関係数
地質	沖積層	18	-0.172		2.709	0.085
	固結(中世代以降)	813	1.719			
	堆積物(古世代以前)	2299	-0.440			
	火山性岩石	3473	-0.388			
	深成岩	197	1.260			
	広域変成岩	5861	0.625			
	接触変成岩	1833	-0.990			
傾斜角	0~5 (度)	5	-0.230		1.502	0.054
	5~10	36	-1.809			
	10~15	106	-0.672			
	15~20	404	-0.295			
	20~25	919	-0.584			
	25~30	1488	-0.464			
	30~35	2056	-0.528			
	35~40	5597	0.164			
	40<	3933	0.413			
傾斜方向	0~45 (度)	1498	0.571		0.810	0.036
	45~90	1748	-0.117			
	90~135	1840	-0.068			
	135~180	1880	-0.151			
	180~225	2141	-0.238			
	225~270	2009	-0.214			
	270~315	1723	0.199			
	315~360	1705	0.209			
樹種	スギ	8695	0.031		4.100	0.036
	ヒノキ	2008	-0.119			
	マツ	35	3.672			
	クヌギ	123	-0.231			
	雑林	1964	-0.341			
	孟宗竹	1156	0.231			
	その他の竹	563	0.474			
林令	0~5 (年)	11	3.763		4.409	0.006
	5~10	149	1.608			
	10~15	463	1.606			
	15~20	816	0.259			
	20~25	2202	0.001			
	25~30	2908	0.114			
	30<	6250	-0.074			
	林令関係なし	1745	-0.646			

表-4 的中率一覧

		予測によるメッシュ数	
		崩壊有	崩壊無
実 際	崩壊有	a 354	b 167
	崩壊無	c 6303	d 12251

$$\text{全的中率 } p = \frac{a+d}{a+b+c+d} \times 100 = 66\%$$

$$\text{崩壊地的中率 } \alpha = \frac{a}{a+b} \times 100 = 68\%$$

$$\text{過度崩壊判別率 } \beta = \frac{a+c}{a} = 18.8$$

て、的中率の内容を以下のように分離して考えることもひとつの方法であると思われる。

すなわち、崩壊危険図を作成するような場合には、まず崩壊危険地はもれなく抽出されることが重要であるから、崩壊有のメッシュを正しく崩壊地と判別した“崩壊地的中率”($\alpha = a/(a+b)$)を計算しこれを優先する。しかしながらこの値だけに基づいて精度評価を行うと、回帰式が全体的に崩壊危険側に評価しやすい場合、崩壊無のメッシュすなわち健全地までも崩壊危険地と誤判別することに対する精度評価を見落とすことになる。このことに対するチェックとして、崩壊無のメッシュを崩壊地と判別した“過度崩壊判別率”($\beta = (a+c)/a$)で評価する。以上より求められた各的中率は、全的中率が約66%、崩壊地的中率が約68%、過度崩壊判別率は約18.8となり、この解析は危険側に過大評価されていることがわかる。これは、崩壊メッシュ数が解析の対象地域の全メッシュ数の2.7%程度のため誤判別する確率も高くなるものと考えられる。なお、全的中率についてみると長崎災害を解析した樗木ら¹¹⁾とほぼ同等の精度である。次に各メッシュ毎の危険度を求める方法も実施した。すなわち、実際の崩壊有り・無し二群についての影響度 Y_i に関するメッシュ数分布を描き、これを確率密度で標準化する(図-6参照)。この時、崩壊有群と崩壊無群の確率密度曲線が互いに重ならないエラーのない解析結果といえるが、一般的にこの二曲線は重なるため、崩壊に対する影響度に関する指標として次式に示す危険度⁹⁾を設けることができる。

$$D_f = \frac{f(2)}{f(1)+f(2)} \times 100$$

図-6 崩壊有・無群の確率密度曲線と危険度

ここに、 $f(1)$ は崩壊無群の確率密度、 $f(2)$ は崩壊有群の値である。

このように定義した危険度 D_f について、70以上、50以上70未満、20以上50未満、20未満の4段階に分け、各々のメッシュのランクの分布図をXYプロットにより出力したものが図-7である。濃色で示された危険度が高く評価された箇所は、対象地区の地質要因の中で崩壊に対する影響が大きいと評価された中世代以降の固結堆積物、深成岩、広域変成岩の分布状況に近い。なお、危険度分布図の危険度が高い箇所と実際の崩壊地点の場所的な傾向は概ね一致している。

7. ま と め

本研究では、斜面崩壊の発生の可能性の高い場所を抽出し、ひいては崩壊危険地の予測分布図を作成することも目指し、広範囲を面的に網羅している情報に基づいて解析を行い要因が崩壊に与える影響の評価を確立することを考えた。そこで、従来より進めている50 m平方メッシュを情報単位とする地盤数値情報データベースシステムを利用し、現在のところ評価が分かれていると思われる、土地利用や樹種、地質などの評価の検討を進めるため数量化Ⅱ類による多変量解析を実施した。また、解析の精度の評価を行うために危険地抽出の立場から「崩壊地的中率」「過度崩壊判別率」「危険度」という考え方を取り入れ、危険度分布図の作成を試みた。得られた結論は次のようである。

(1) 地質要因の崩壊に対する影響が最も大きい。中でも中世代以降の固結堆積物、深成岩、広域変成岩が崩壊への影響が大きい。逆に沖積層、火山性岩石、接触変成岩などは影響が少ない。

(2) 土地被覆状況の要因も崩壊への影響が大きい。特に果樹園、未立木地等が崩壊への影響が大きい。また針葉樹は広葉樹に比べ崩壊への影響が大きく、耕作地や宅地の影響は小さい。

図-7 予測危険度分布図

(3) 傾斜角要因においては、傾斜角度が大きくなるに伴い、崩壊への影響も大きくなる傾向にあり、特に 35° 以上の斜面が崩壊への寄与が大きい。

(4) 傾斜方向要因の崩壊への影響は小さい。

(5) 斜面形状要因では、凹型、凹凸複合型の斜面が崩壊への影響が大きい。

(6) 森林部における解析において、樹種と林令の要因は崩壊へ及ぼす影響が大きい。樹種要因ではマツや竹類の崩壊への影響が大きく、広葉樹系の自然林の影響は小さい。林令要因では植樹後15年未満の影響が大きい。

(7) 解析の精度の指標として、実際の崩壊地を予測でも崩壊地と判別する「崩壊地適中率」は約70%弱であった。

(8) 防災対策を立てる上で有用であると思われる、危険度分布図の作成を試みた。危険度分布図において、危険度が高く評価された箇所と実際の崩壊地点を比較す

ると場所的な傾向はほぼ一致した。

今後の研究方針としては、地盤数値情報データベースシステムを他の地域に発展させ、各要因やカテゴリーの評価の精度と的中率の向上を図るとともに、降雨状況の違いによる影響の度合を求めることで、危険度分布図を實用レベルに近付けることである。

最後に、貴重な資料の提供に御協力を頂いた関係各機関と、地質の考察についての有意義な意見を頂いた九州東海大学荒牧昭二郎助教授に御礼申し上げます。

参 考 文 献

- 1) 久保村圭助・武井昌博 (1971): 数量化法による切取のり面の安全度解析, 「土木学会論文報告集」, No. 194, pp. 141~150.
- 2) 沖村 孝・杉本 博 (1979): 統計的手法による自然斜面崩壊の研究, 「土木学会論文報告集」, No. 290, pp. 89~97.
- 3) 樗木 武・平田登基男 (1985): 土石流発生危険度の一判定法, 「第40回土木学会年次学術講演会」, III, pp. 153~154.

- 4) 北村良介・春山元寿 (1981): 数量化理論を用いた斜面崩壊発生に関する統計的考察, 「第36回土木学会年次学術講演会」, III, pp. 314~315.
- 5) 小橋澄治 (1974): 斜面の崩壊危険度分類の問題点, 「地すべり」, Vol. 10, No. 3.
- 6) 春山元寿・北村良介 (1982): 数量化理論を用いた土砂災害発生危険度の評価に関する一考察, 「土質工学における確率統計の応用に関するシンポジウム発表論文集」, pp. 149~156.
- 7) 平田登基男・樗木 武・藤本繁雄 (1986): 土石流発生危険度判定法の一提案と適用, 「第41回土木学会年次学術講演会」, III, pp. 601~602.
- 8) 荒牧昭二郎・北園芳人・中川 洋・鈴木敦巳・梶原光久 (1984): 熊本県天草上・下島の地すべり型斜面崩壊危険図について, 「応用地質」, Vol. 25, No. 2, pp. 1~12.
- 9) 小橋澄治 (1985): 都市周辺部土砂災害対策のためのデータベースの構築とその利用法, 「自然災害特別研究研究成果」.
- 10) 春山元寿・北村良介 (1982): 数量化理論を用いた土砂災害発生危険度の評価に関する一考察, 「土質工学における確率統計の応用に関するシンポジウム発表論文集」, pp. 149~156.
- 11) 樗木 武・平田登基男 (1983): 統計的手法による崖崩れの安全度解析, 「土木学会西部支部研究発表会」, III—57, pp. 364~365.
- 12) 竹下敬司 (1982): 長崎災害の現象面的側面, 「第15回砂防学会シンポジウム概要集」, pp. 47~74.
- 13) 中山 洋・荒牧昭二郎・北園芳人・内村好美・今泉繁良 (1986): パソコンを用いた標高・地質データファイルの作成と斜面災害解析への利用, 「土と基礎」, Vol. 34, No. 7, pp. 55~60.
- 14) 今泉繁良・田尻 要・中山 洋 (1989): 地盤数値情報データベースシステムによる斜面崩壊危険度分布図の作成, 「土木学会環境システムシンポジウム発表論文集」, Vol. 17, pp. 139~144.
- 15) 石川芳治・青木隆典・西川純一・福沢 誠 (1988): 昭和63年5月熊本県に発生した土砂災害, 「土木技術資料」, Vol. 30, No. 7, pp. 55~59.
- 16) 西川 肇 (1984): ランドサット MSS データの画素サイズの標高データからなる数値地形モデル, 「リモートセンシング学会誌」, Vol. 4, No. 1, pp. 75~81.
- 17) 熊本県 (1983): 「熊本県土地分類基本調査“御船”」.
- 18) 松本達郎・野田光雄・宮久三千年 (1972): 「日本地方地質誌“九州地方”」, 朝倉書店, pp. 99~195.
- 19) 田中 豊 (1983): 「多変量統計解析法」, 現代数学社.
- 20) 高橋 博・大八木規夫・大滝俊夫・安江朝光 (1986): 「斜面災害の予知と防災」, 白亜書房.