

(22) 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

A hazard map for slope failure using Geotechnical Information Data Base System

今泉繁良・田尻 要・中山 洋

Shigeyoshi IMAIZUMI, Kaname TAJIRI, Hiroshi NAKAYAMA

ABSTRACT; In a statistical analysis of slope failure caused by heavy rainfall, various kinds of information relating to terrain, geology, vegetation, land use and so on are needed.

Firstly, the authors describe a geotechnical digital information data base system using personal computer. Digital data base is an assemblage of integers which represent geomorphic and geology condition of 50 x 50 square meter mesh on the ground. It is stored on 40 MB x 2 hard disks in a random format.

Secondly, they estimate weights of factors in the case of Nagasaki disaster in 1982 based on Hayashi's Second Method of Quantification using this data base system. It was concluded that slope to be used for orchard or bare rock were prone to failure and that slope inclination with 25 degrees seems to be a threshold of failure.

They also show a tentative hazard map under condition when a heavy rainfall as 1982 would happen.

KEY WORDS; Data base, Slope failure, Statistical analysis

1. はじめに

斜面災害の対策を考える上において、崩壊発生を予測する事は重要であり、大別すると、発生の時期の予測と場所の予測の二つが考えられる。崩壊の規模の予測については、大規模な崩壊はもちろん、小規模でも貴重な人命が多数失われる場合もあるのでここでは特に問題には取り上げない。もちろん、時期と場所の両立した理想的な予測を目指していく必要があるが、現在の技術では難しい。しかし、毎年斜面災害によって多数の貴重な人命および公的・私的財産が失われている以上、現在の技術で、できるかぎりのことを行い、常にその精度向上を図る必要がある。筆者等は、場所の予測という立場から、人命救済や事前の崩壊対策工事および今後の開発行為に示唆を与え得ると思われる、斜面崩壊の危険度予測分布図の作成を試みた。



図-1 解析対象の位置図

・熊本大学地域共同研究センター Cooperative Research Center Kumamoto Univ.,

・熊本大学大学院工学研究科 Kumamoto Univ., …九州東海大学工学部 Kyusyutoukai Univ.

本報告は解析事例として、昭和57年7月の長崎豪雨による斜面災害を取り上げた。まず、筆者等が以前から構築していた地盤数値データベースシステム<sup>1)</sup>を利用して、図-1に示した東西8km×南北6kmの地域を対象に、50m×50mメッシュを単位として地質・斜面傾斜角・斜面方向・土地被覆状況という、4つの斜面崩壊に関する要因の情報を数値データベース化した。次に、これらの要因が崩壊発生に与える影響の解析を、多変量解析(数量化Ⅱ類)に基づいて実施し、得られた結果を用いてメッシュ毎の斜面崩壊危険度を4段階に区分し、その分布図を作成した。

## 2. 情報の数値データベース化

土木工学の分野における、地盤・環境に関する既存のデータベースとして、国土地理院が発行する国土数値情報(標高・起伏量・表面地質等、29項目をデジタル化し、磁気テープに集積したもの)<sup>2)</sup>がある。この国土数値情報は、緯度が異なるとメッシュの辺長も異なり等面積なメッシュとはならず解析結果を面積的に考察するのに不都合であること、メッシュ面積が約250m平方から1km平方であり、市町村あるいはそれより小規模な地域レベルを対象とした利用には粗すぎることから、筆者等は1/5000の国土基本図を用い、基本メッシュを50m平方の大きさにすることによって、等面積で細かなメッシュ情報を構成単位とするデータベースシステムを構築した。また、斜面崩壊の危険度分布図を作成する目的から、①地質、②標高、③斜面傾斜角、④斜面方向、⑤植生、⑥土地被覆状況の、斜面崩壊に大きな影響をおよぼすと考えられる代表的な要因(アイテム)と、⑦崩壊の有無を数値ファイル化した。これらの要因データファイルの成り立ちを以下に述べる。

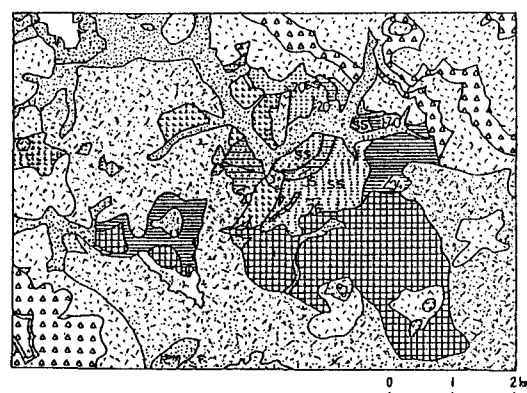


図-2 解析対象地域の地質図

①地質…対象地域の地質情報は、5万分の1の長崎県下の地質図<sup>3)</sup>を参考に図-2に示す地質図を作成し、これを地質ファイルの基礎資料とした。対象地域は沖積層・安山岩・凝灰角礫岩・玄武岩・流紋岩・閃緑岩・変成安山岩・泥岩・砂質泥岩・砂岩が分布しているので、これらの各地質に対して1～10の数値を対応させて入力した。

②標高…メッシュの標高値は、西川<sup>4)</sup>と同じように、地形図上に区切ったメッシュの左上交点の等高線を目読した。

③斜面傾斜角および④斜面方向…メッシュ内斜面の傾斜度を表すには、地形図上で8方向の傾斜を読み取りその最大値を用いる方法<sup>5)</sup>、メッシュ内の標準化された辺長と標高差から計算される傾斜度のうち最大のもので代表させる方法<sup>2)</sup>がある。ここでは、先に作成した標高ファイルを用いて最急傾斜の大きさと方向を求めた。

すなわち、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の最急傾斜の大きさ $f_{max}$ とその方向 $\alpha$ (x軸より時計回りに計った角度)

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

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

を計算した。そして、4つの三角柱に関する $f_{max}$ のうち最大のもの、それに対応する $\alpha$ を、メッシュを代表する値としてファイルした。

⑤植生…自治体の森林課より入手した森林簿に基づき、林種(例えば針葉樹)・樹種(例えばスギ)・林

令（人工林については植林後の年数）・伐採方法（例えば皆伐）の4項目を包括した植生ファイルとして入力し、特に森林部における詳細な情報を知ることができるものとした。

⑥土地被覆状況…植生ファイルから知ることができる森林部の情報に、森林部以外の生活圏も含めた土地利用の様子を加味し、地表面の覆われている状況を端的に（例えば果樹園・耕作地・市街地）表現した。

⑦崩壊の有無…長崎県が昭和57年豪雨直後の航空写真から1/5000国土基本図に「災害概要図」として編集したものを利用した。1メッシュ中に崩壊があれば規模に関わりなく「崩壊有り」と見なしてそのメッシュを崩壊斜面、それ以外の斜面を「崩壊無し」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した。

### 3. システムの構成

現在、使用しているハードウェアシステムは図-3のような構成となっている。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（PC-9801 RX）を中心に、外部記憶として5インチ固定ディスクユニット（40メガバイト×2ドライブ）、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、多量のデータの高速な入出力と、任意の図形出力が可能となっている。ソフトウェアについて、まずOSは、データ処理時間の短縮化とプロ

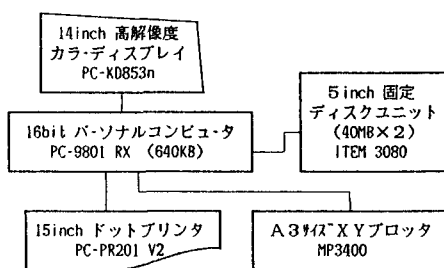


図-3 ハードシステムの構成

グラムやデータファイルの管理の効率化を考慮して、MS-DOSを採用した。次にプログラム言語は、データ処理の要求に対し利用者が柔軟かつ容易に対処できる利点を生かして、互換性の大きなマイクロソフト系BASICで作成した。データファイルのフォーマットは、一定容量のレコード単位で、かつ任意のレコードに対して入出力されることで、大容量の情報のファイル化に適しているランダム形式とした。

プログラムのシステム構成は、大きく3タイプに分けている。第一は各要因のファイルの項目の統廃合や、数値データを目的に応じて新たな数値データに変換するなど、処理目的に応じてデータを加工するプログラム群、第二は統計処理を行うプログラム群、第三は、統計処理により得られた結果を任意の形式で出力するプログラム群である。

### 4. 解析結果および考察

斜面崩壊の危険度分布図を作成するに当たり、地質、傾斜角、傾斜方向、土地被覆状況という4要因を用いて、崩壊の有無という説明変数に及ぼす影響度を、数値化Ⅱ類<sup>6)</sup>により解析した結果が表-1である。範囲および偏相関係数の値が大きい要因ほど崩壊に及ぼす影響が大きいと評価され、カテゴリー数値の値は正値が崩壊危険側へ、負値が安全側への相対的な影響度を示す。なお、標高と植生を解析の要因から省いたのは、対象地域が気象条件などが変化するほどの標高差がない（最高点で海拔約400m程度）ため、標高の違いによる崩壊への影響は考えにくいこと、森林部の詳細な情報よりも対象地域全域の地表面の利用のなされ方を基に解析した方が利用価値が高いと思われることが理由である。

取り上げた4要因の中で、土地被覆状況の要因は斜面崩壊におよぼす最も重要な要因であるといえる。中でも岩石地や果樹園が危険側に、市街地や耕作地等が安全側の評価を得ている。岩石地は植生がほとんど無く、岩石が露頭している箇所であり、メッシュ数は少ないがそのほとんどが崩壊しており、過去の降雨では崩壊しなかったものが、57年の豪雨によって一斉に崩壊したため危険側の評価になったと思われる。

れる。果樹園は、一般的に段切り構造に見られるように地表面の人工的改変が大きく、地表は裸地同様の状態であるため雨水の地下浸透を助長することが、崩壊に対し危険側に評価されたと考えられる。実際に、果樹園の部分が崩壊発生のきっかけになっていると思われる箇所も多い。市街地や耕作地等は平野部や緩斜面に多く、安全側の評価を受けたものと思われる。土地被覆状況が、地質や傾斜角等の要因よりも崩壊に対する影響度が大きいことは、対象地域においては、斜面崩壊が起こるか否かは土地の利用のなされ方に左右されているといえそうである。

続いて崩壊におよぼす影響が大きいと評価された要因は、傾斜角である。傾斜角が大きくなるほど危険側への影響が大きくなることは常識的であるが、ここで留意すべきは、通常“急傾斜地”の指定は30°以上とされているものの、本解析の結果では25°以上で急に危険側への寄与が高くなっていることである。

地質も、傾斜角と同様に重要な要因である。中でも流紋岩、変朽安山岩、泥岩、砂質泥岩等が危険側の評価を受けた。流紋岩と変朽安山岩は、節理が多く変質を受け易いため不安定であり、泥岩と砂質泥岩については風化し易いことから、崩壊に対し危険側の評価を得たものと思われる。安全側の評価を得たものに凝灰角レキ岩や玄武岩、安山岩等がある。いずれも安定性の高い岩質を示し、特に凝灰角レキ岩は割れ目が少なく水を含まず安定で、また玄武岩は堅く浸水に対して良く安定しているため、安全側へ寄与する結果となった。

傾斜方向は、本解析で取り上げた要因の中で、最も斜面崩壊に影響が小さいという評価が得られた。危険側に評価された斜面の方向は南南西で、これは南向き斜面に、危険側の評価を得た果樹園が多く存在していることによるものと思われる。

次に、表-1に示したカテゴリー数量値を係数とした回帰式によって、説明変数である崩壊の有無を判

表-1 数量化Ⅱ類による解析結果

| 7174   | カテゴリー   | カテゴリー数量 |      |     |     |     | 説明係数  | 傾斜角係数 |
|--------|---------|---------|------|-----|-----|-----|-------|-------|
|        |         | -2.0    | -1.0 | 0.0 | 1.0 | 2.0 |       |       |
| 地質     | 沖積層岩    | -0.436  |      |     |     |     | 1.469 | 0.107 |
|        | 安山岩     | -0.262  |      |     |     |     |       |       |
|        | 凝灰角レキ岩  | -0.842  |      |     |     |     |       |       |
|        | 玄武岩     | -0.648  |      |     |     |     |       |       |
|        | 流紋岩     | 0.627   |      |     |     |     |       |       |
|        | 閃緑岩     | 0.148   |      |     |     |     |       |       |
|        | 変朽安山岩   | 0.451   |      |     |     |     |       |       |
|        | 泥岩      | 0.414   |      |     |     |     |       |       |
|        | 砂質泥岩    | 0.379   |      |     |     |     |       |       |
|        | 砂       | -0.001  |      |     |     |     |       |       |
| 傾斜角    | 0~5(度)  | -0.911  |      |     |     |     | 1.545 | 0.135 |
|        | 5~10    | -0.911  |      |     |     |     |       |       |
|        | 10~15   | -0.718  |      |     |     |     |       |       |
|        | 15~20   | -0.113  |      |     |     |     |       |       |
|        | 20~25   | 0.014   |      |     |     |     |       |       |
|        | 25~30   | 0.328   |      |     |     |     |       |       |
|        | 30~35   | 0.634   |      |     |     |     |       |       |
|        | 35~40   | 0.622   |      |     |     |     |       |       |
|        | 40<     | 0.442   |      |     |     |     |       |       |
| 傾斜方向   | 0~45(度) | 0.151   |      |     |     |     | 0.954 | 0.093 |
|        | 45~90   | 0.341   |      |     |     |     |       |       |
|        | 90~135  | 0.492   |      |     |     |     |       |       |
|        | 135~180 | 0.419   |      |     |     |     |       |       |
|        | 180~225 | -0.061  |      |     |     |     |       |       |
|        | 225~270 | -0.462  |      |     |     |     |       |       |
|        | 270~315 | -0.460  |      |     |     |     |       |       |
|        | 315~360 | -0.377  |      |     |     |     |       |       |
|        | 平地      | -0.093  |      |     |     |     |       |       |
| 土地被覆状況 | 針葉樹林    | 0.023   |      |     |     |     | 3.021 | 0.108 |
|        | 広葉樹林    | -0.127  |      |     |     |     |       |       |
|        | 竹林      | 0.041   |      |     |     |     |       |       |
|        | 果樹園     | 0.907   |      |     |     |     |       |       |
|        | 未立木     | 0.024   |      |     |     |     |       |       |
|        | 岩石      | 2.336   |      |     |     |     |       |       |
|        | 陸地      | -0.648  |      |     |     |     |       |       |
|        | 市街地     | -0.684  |      |     |     |     |       |       |
|        | 耕作地     | -0.343  |      |     |     |     |       |       |
|        | 河川・公園   | -0.465  |      |     |     |     |       |       |

別したときの解の信頼性を検定するため、要因データをフィードバックする形で適用し、その的中率を求めたものを表-2に示した。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-2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%<sup>7)</sup>といわれている現状において、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。

表-2 的中率

|    |     | 予測によるメッシュ数 |        |
|----|-----|------------|--------|
|    |     | 崩壊有        | 崩壊無    |
| 実態 | 崩壊有 | a 1767     | b 816  |
|    | 崩壊無 | c 6599     | d 9834 |

全通中率  $p = \frac{a+d}{a+b+c+d} \times 100 = 61(\%)$

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

過度崩壊判別率  $\beta = \frac{a+c}{a} = 4.7$

すなわち、まず崩壊危険地はもれなく判別されることが重要

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。今回求められた回帰式に対する各的中率は、全的中率が約61%、崩壊地的中率が約68%、過度崩壊判別率は約 4.7となり、全的中率については、同じ長崎災害を解析した樗木ら<sup>8)</sup>とほぼ同等の結果となった。

## 6. 崩壊危険度予測分布図の作成

求められた回帰式は、説明変数である崩壊の有無に対して、影響の大きさを数量的に求めることができる。そこで、崩壊有メッシュ群と崩壊無メッシュ群のカテゴリ数値の中間値を基準とし、それより大きな値を持つメッシュを「危険メッシュ」、小さな値を持つメッシュを「安全メッシュ」とし、それぞれをさらに2段階に区切ることによって、斜面崩壊に対する危険度を、危険・少し危険・まずまず安全・安全の4ランクに分けた。危険度ランクの設定は変化させることができるが、今回は試験的に各ランクにおける説明変数の値の幅を等しくした。このランクをもとに解析対象地域の危険度予測分布図をXYプロットにより作成したものが図-4である。これは、解析対象地域が昭和57年豪雨と同程度の降雨を受けたと仮定した場合のものである。危険度予測分布図の作成には、各メッシュのランクに応じて4色を用いるカラー表示形式と、ランクに応じた記号を用いて濃淡で表現するモノクロ表示形式の二種類の出力プログラムを用意しているが、図-4は後者のモノクロ表示のものである。濃色で示される危険箇所は、解析地域の北西部に広がる山地部に比較的多く見られ、淡色の安全箇所は、地形図に示される平野部とほぼ一致しており、両岸に平地を伴った河川が山地部に入り込んでいる様子がはっきりと見られる。また、危険度予測分布図の危険箇所と、実際の崩壊地点を比較すると、場所的な傾向は概ね一致した。

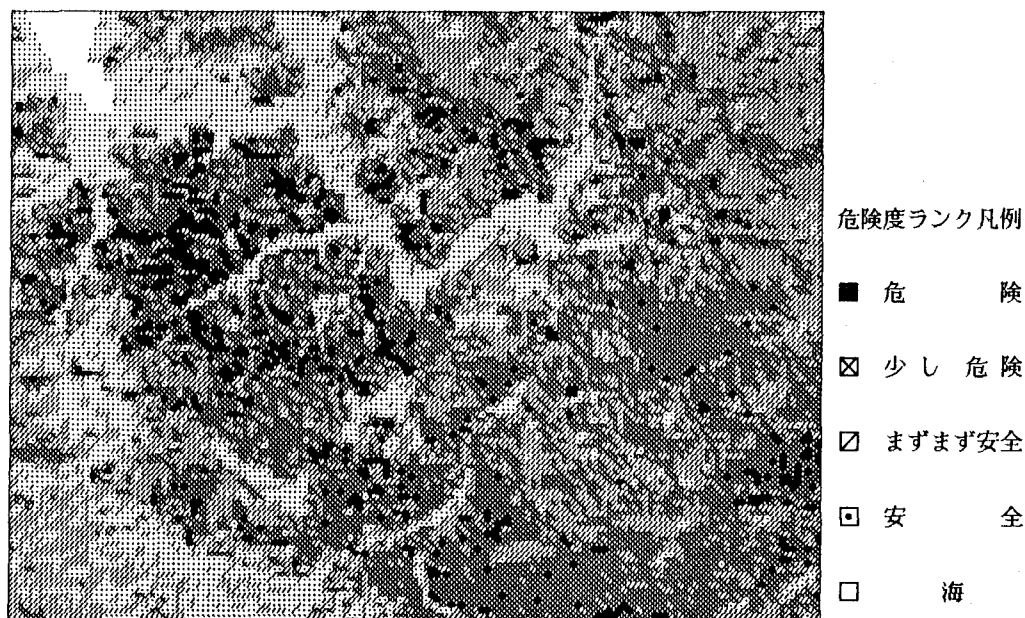


図-4 斜面崩壊に対する危険度予測分布図

## 7. おわりに

地盤数値情報データベースシステムを構築し、それを用いて地質・傾斜角・傾斜方向・土地被覆状況の4要因の斜面崩壊への影響を数量化Ⅱ類により解析し、危険度予測分布図の作成を試みた。その結果以下のことが分かった。

- ①解析対象地域において、崩壊に対する影響が大きい要因は、土地被覆状況、傾斜角、地質の順であり、傾斜方向はあまり寄与していない。
- ②土地被覆状況の要因の中で、特に岩石地や果樹園が崩壊に対し危険側の評価が得られた。
- ③傾斜角については“急傾斜地”の指定条件である30°より低い25°以上の斜面で危険側の評価を得た。
- ④地質は、流紋岩や変朽安山岩、泥岩系の地質が危険側への影響が大きい。
- ⑤得られた危険度予測分布図において、予測された危険箇所と実際の崩壊地点の場所的な傾向は概ね一致した。

今後は、要因の整理・再考等での中率を向上させるとともに、理解し易く利用価値の高い危険度ランクの設定を行うことで、本システムを実用レベルに近づけていくことを考えている。

最後に、資料の提供を頂いた諸機関の方々に御礼申し上げます。

## 参考文献

- (1) 中山 洋・荒牧昭二郎・北園芳人・内村好美・今泉繁良：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.55～60，1986。
- (2) 建設省国土地理院：国土数値情報の概要，pp.1～19，1983。
- (3) 松本達郎・野田光雄・宮久三千年：日本地方地質誌“九州地方”，朝倉書店，pp.99～195，1972。
- (4) 西川 肇：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.75～81，1984。
- (5) 荒牧昭二郎・北園芳人・中山 洋・鈴木敦巳・梶原光久：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.1～12，1984。
- (6) 田中 豊：多変量統計解析法，現代数学社，1983。
- (7) 春山元寿・北村良介：数理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.149～156，1982。
- (8) 樗木 武・平田登基男：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.364～365，1983。