

論	文
---	---

マイコンを用いた地盤環境情報ファイルの 作成とその工学的利用の試み

北	園	芳	人*
今	泉	繁	良**
内	村	好	美***
中	山		洋****
荒	牧	昭二	郎*****

Building the Geotechnical and Environmental Data Files by
Use of Micro Computer and Its Technical Application

Yoshito	KITAZONO*
Shigeyoshi	IMAIZUMI**
Yoshimi	UCHIMURA***
Hiroshi	NAKAYAMA****
Shojiro	ARAMAKI*****

1. はじめに

マイクロ・コンピューター（マイコン）の発達はめざましく、パーソナル・コンピューター（パソコン）として、大企業・研究所のみならず、小さな事務所や個人でも所有できるようになってきた。それと同時に情報化社会と言われるように、様々な情報があふれる中から、関連する情報を収穫し、必要に応じて利用し得るようなデータベース（情報の基地）の必要性が唱えられている。そして、このデータベースに関しても、従来の大型計算機中心の考え方に加えて、マイコンに立脚したシステムの開発が進められつつある。^{1),2),3)}

土木工学の分野で最も利用頻度の高いと思われる情報は、地盤・環境に関するものである。例えば、構造物の規模の大型化・多様化に伴う立地条件の検討、あ

るいは、環境影響の事前評価作業に要求される地盤・環境情報は、地形・地質・土質・植生・地下水等に関する広範囲でより詳細なデータが必要である。これらの地盤・環境情報の中には、対象地域及びその周辺域において、既に調査済みの情報が含まれている場合も多く、これらの情報を再利用することができれば、計画段階での検討が詳細にスムーズに行なえるようになり大変有意義であろう。

本研究は、マイコンを使った地盤環境データベースの開発を目的として、その前段階として、地盤環境情報のファイル化手法やその問題点について検討するとともに、情報ファイルの一例として、地形・地質に関するファイルを作成し、それを用いた斜面崩壊地の地形・地質的特徴の解析を行なった。

2. システム機器の概要

現段階でのシステムは情報の入力为主体であるため、出力用の機器が不備であるが、図-1に示すような構成となっている。

昭和60年8月1日受付

- 助手 土木工学科
- ** 助教授 工博 土木工学科
- *** 技官 土木工学科
- **** 九州東海大学 助教授 土木工学科

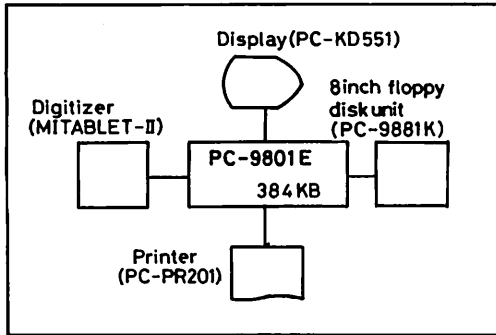


図1 システム機器の概略

使用しているマイコンはPC-9800シリーズである。構成は、本体にPC-9801E(16ビット)、外部記憶装置として8インチ標準フロッピーディスクユニット(1MB×2ドライブ)、入出力装置として、14インチカラーディスプレイ(600×400ドット・高解像度)、15インチ24ピンヘッドプリンター(日本語出力可能)と小型ディジタイザー(マイタブレッド、A3判)からなる。なお、本体の主記憶装置は標準装備128KBに256KBを増設した384KBである。

3. 情報ファイル作成における問題点

3-1 国土数値情報¹⁵⁾の特徴

我国の地理的情報をデジタル化して、磁気テープに収録したものに、国土地理院が発行している国土数

表1 国土数値情報の種類

項目	種類
海岸線	海岸線、海岸線延長
地形	標高、山岳標高、平均標高、最高標高、最低標高、起伏量、傾斜量
土地分類	表層地層、地形分類、土壌、谷密度
湖沼	湖沼、湖沼面積
行政界	行政界、市区町村面積
指定地域	開発振興、都市計画、自然環境保全
文化財	文化財位置、文化財散布度
土地利用	土地利用
流域等	河川流路、流域、砂防指定地
道路・鉄道	道路・鉄道、道路密度
地価公示	地価公示
公共施設	公共施設

値情報がある。これに含まれている情報項目は表-1に示すように計29項目である。

この情報は、デジタル情報ではあるが、地図との位置的関係の対応がつけられ、地理的性格も保有している。そして、電子計算機によって多量のデータを迅速に処理・加工することが出来、従来の国土に関する情報類と大きく異なっている。

国土数値情報は、国の行政上の基礎資料として使うことを第1目的としているため、全国を切れ目なく区画するという条件が必要である。そのため、地図との位置的関係に対応づける方法として、「標準地域メッシュ・システム(経緯度法)」を採用している。これは、一定の経線・緯線で地域を網の目状に区画する方法であり、①1/200000の地勢図の大きさに相当する1次メッシュ、②1/25000の地形図の大きさに相当する2次メッシュ、③2次メッシュを縦横に10等分した3次メッシュを基本としている。

なお標高データに関しては、3次メッシュをさらに縦横に4等分した分割地域メッシュを設けているが、これは経度間隔11.25秒、緯度間隔7.5秒であり、1/25000の地形図ではほぼ1cm間隔に相当する。

ところで、経度間隔は南北極に近づくにつれて狭くなるため、等面積のメッシュは同じ緯度帯内でしかつけない欠点がある。また、1/25000の地形図には、相当量の情報が掲載されているものの、地形図の計測では満足できないところもある。

メッシュの大きさは、その数値情報の精度を決める上で非常に重要であるが、メッシュが最も小さい標高データにおいても、1メッシュの面積は約6haであり、地域レベルでの利用を考えると粗過ぎるように思われる。また、最近利用されることが多くなったランドサットデータはM.S.S.データの画素サイズ57m、T.M.の画素サイズ28.5mであるが、これに比べても国土数値情報のメッシュはかなり粗い。

3-2 メッシュ間隔と情報ファイルの大きさ

上述した国土数値情報の特徴を踏えて、以下、地域レベルでの情報ファイルの在り方について検討する。

まず、メッシュ分割の単位は経緯度より距離座標に立脚の方がよいと考える。すなわち、距離座標を基にメッシュ間隔を決めれば、等面積メッシュが得られ国土数値情報のような面積の誤差を取り除くことができるからである。この場合、我々が入手できる距離座標に基づく地図としては、1/50000の国土基本図がある。これは、我国全土を17の座標系に区切った新平面直角

座標⁹⁾に基づいて、1図郭を4km×3kmの大きさで表わしたものである。1/5000は大縮尺であるためメッシュ間隔を1/25000より小さくすることができ、等面積メッシュを作ってもメッシュが1/25000の地形図のように2枚の地図にまたがるという不都合は生じない。

次に、基本メッシュの大きさは50m平方の大きさが良いと考える。これは、1/5000の国土基本図をベースに考えたときの作業効率や、M.S.S.の画素サイズに近い大きさと考えたからである。すなわち、1/5000では50mは1cmとなり、1図郭は80×60=4800のメッシュに分割され、1メッシュの面積は0.25haとなり国土数値情報の約6haに比較してほぼ1/25となり粗さが相当緩和される。一方、大縮尺であるため地表面情報は莫大な量になり、地図の枚数も非常に多くなる。

地盤環境情報ファイルとしては、地形図から得られる情報の外に、地盤内の情報(土質・地層・ボーリング資料・地下水位等)、あるいは地表面の土地利用状況や環境情報等がある。これらを各々結びつけて、処理・加工するには、1ファイルの情報量を考慮して、ある程度の広さで区切って、相互のファイルに位置的対応を持たせてファイル化した方がよい。そこで、第3番目の基本的事項としてファイルの大きさを考える。1/5000の国土基本図を基図とし、これを1ファイルの大きさとして全ての情報を収納し、ファイル名の一部を地図の図葉番号と一致させることを考えた。すなわち、ファイル名は図葉番号と情報識別記号を組合せたもの(合計9文字以内)とした。このようにすれば、データ検索時の取り扱いが非常に便利になるであろうと考えられる。

最後に、1/5000の国土基本図を基図とするが、一般には、1/25000の地形図を利用して情報を収集することが多い。そして、情報の種類によっては、もっと粗いメッシュ間隔でよいものもあり、地図の縮尺を変えられると都合がよい。その場合、1/5000と1/25000では図郭線が異なるので、ファイル名を決めるために1/25000の地図上の点が1/5000のどの地図のどこにあたるかを求める必要がある。それには、次に示す換算式¹⁾を用いることを考えた。

すなわち、経度 λ 、緯度 φ を持つ地点Pの新平面直角座標系における座標(X, Y)は、高次の微小量を含む項を無視(精度0.01m, 0.01")すると、次のガウス似真座標変換式で求められる。

$$\frac{X}{m_0} = B + \frac{N}{2} \sin \varphi \cos \varphi \left(\frac{\Delta \lambda}{\rho}\right)^2 + \frac{N}{24} \sin \varphi \cos^3 \varphi (5 - \tan^2 \varphi + 9 \eta^2 + 4 \eta^4) \left(\frac{\Delta \lambda}{\rho}\right)^4$$

$$+ \frac{N}{720} \sin \varphi \cos^5 \varphi (61 - 58 \tan^2 \varphi + \tan^4 \varphi) \left(\frac{\Delta \lambda}{\rho}\right)^6$$

$$\frac{Y}{m_0} = N \cos \varphi \left(\frac{\Delta \lambda}{\rho}\right) + \frac{N}{6} \cos^3 \varphi (1 - \tan^2 \varphi + \eta^2) \left(\frac{\Delta \lambda}{\rho}\right)^3 + \frac{N}{120} \cos^5 \varphi (5 - 18 \tan^2 \varphi + \tan^4 \varphi) \left(\frac{\Delta \lambda}{\rho}\right)^5$$

ここで、 m_0 : 原点における縮尺係数 (0.9999)

ρ : 弧度の変換係数 (206264.806247)

φ : 点Pの緯度 λ : 点Pの経度

λ_0 : 基準子午線の経度

$\Delta \lambda = \lambda - \lambda_0$ (東方を正にとる)

X, Y: 点Pの平面座標 (北方, 東方を正にとる)

B: 赤道から原点までの子午線弧長

$$B = a(1 - e^2) \left(A \frac{\varphi_0}{\rho} - C \sin \varphi_0 \cos \varphi_0 + \frac{D}{2} \sin 2 \varphi_0 \cos 2 \varphi_0 - \frac{E}{3} \sin 3 \varphi_0 \cos 3 \varphi_0 \right)$$

a : ベッセル楕円体の長半径 (6377397.155 m)

e : ベッセル楕円体の離心率

$e^2 = 0.06674372231315$

$A = 1.0050373060$ $C = 0.0050478492$

$D = 0.0000105638$ $E = 0.0000000206$

$e' = e / \sqrt{1 - e^2}$

$e'^2 = 0.006719218798677$

$\eta = e' \cos \varphi$

N : ベッセル楕円体の平行圏曲率半径

$$N = a \sqrt{\frac{1 + e'^2}{1 + \eta^2}}$$

ここに、熊本県は新平面直角座標系ではII系に属するので、座標原点は $\lambda_0 = 131^\circ 0' 0''$ 、 $\varphi_0 = 33^\circ 0' 0''$ である。

本研究においては上記換算計算をプログラム化することによって速やかに処理することができるようにした。

3-3 情報ファイルのフォーマット

ディスク上に情報をファイルする場合、シーケンシャルな方法とランダムな方法が考えられる。前者のシーケンシャルファイルでは、情報は最初から最後までが一続きとなっているため、情報の入出力は必ず最初から順次行なう必要があり、ファイルの大きさにも限界が生じる。後者のランダムアクセスファイルでは、情報の入出力は一定容量(256バイト)のレコード

単位で、かつ、任意のレコードに対して行なわれるため、大容量の情報のファイル化に適している。

したがって、ここでは、情報量、高速処理化、検索の容易さなどを考慮し、ランダムアクセスファイルで情報を格納することにした。すなわち、ファイルの第1レコードをヘッダーとし、ファイルの大きさ、ファイル内の情報の入力済状況等のファイルに関するメモを格納した。第2レコード以降については、基図上の各メッシュについての情報を2バイトの整数値(地質等の質的情報も数値に転置した)として、1レコードに基図1行分(2×80=160バイト)の情報を格納することにした。なお、各レコードの残り94バイトは空白(ダミー)とした。また、情報の項目によっては、複数組の数値(例えば、地表面最急傾斜は“大きさ”と“方向”で表わす)を用いることもあるので、その場合には、基図1行分の情報を複数レコードに格納することにした。図-2は、情報の格納状況を模式的に示したもので、基図上の第*i*行目の情報は、標高、地質情報の場合は第(*i*+1)レコードに地表面最急傾斜情報では第(2*i*)レコードと第(2*i*+1)レコードに格納されている。

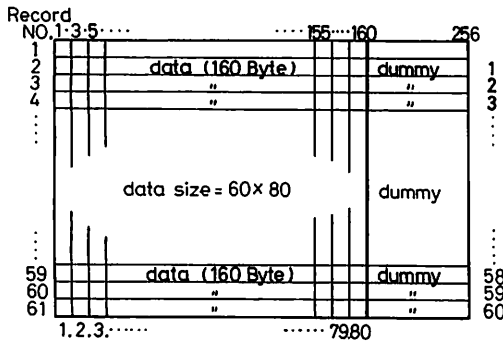


図2 ランダムアクセスファイルにおける情報の格納形式

4. 情報ファイルの入力例

4-1 対象地域の概要

情報ファイル作成の対象域として、地形・地質がある程度変化に富んでいるところとして、天草諸島上島の竜ヶ岳町を中心とする東西12km、南北6kmの地域を選んだ。したがって、対象地域は、基図(1/5000の国土基本図)で6枚である。

対象地域一帯は、昭和47年7月6日の集中豪雨(日雨

量284mm、最大時間雨量130mm)によって多くの土石流と急斜面崩壊が生じ、多大の被害(死者120余名、全壊家屋416所)が生じている。^{8),9)}

4-2 標高ファイル

標高情報をファイル化する場合、入力値は、西川¹⁰⁾らに見られるように、地形図を適当なメッシュに区切り、その交点の標高を目標するのが一般的である。この方法で50mメッシュの標高データを1/5000の国土基本図から読み取るには、地図上で1cm平方の格子点の等高線を読むこととなり、対象地域が広がると、作業は単純であるので読み取りミスも多くなりがちである。

そこで、地形図の等高線の位置をディジタイザによって読み取り、格子点位置に相当する標高値を内挿によって求めるという方法も検討してみた。すなわち、第1ステップとして、等高線(標高: z)とディジタイザによって読み取られる座標値(x, y)の3数値を1組として対象地域の情報ファイルを作成し、第2ステップとして、格子点に相当する座標(x_i, y_i)に近い3点を選ぶことによって3点で形成される面の方程式($Ax + By + Cz = 1$)の係数を決定する。最後に、決定された面の方程式を用いて(x_i, y_i)に対応する標高 z_i を決定するという方法である。

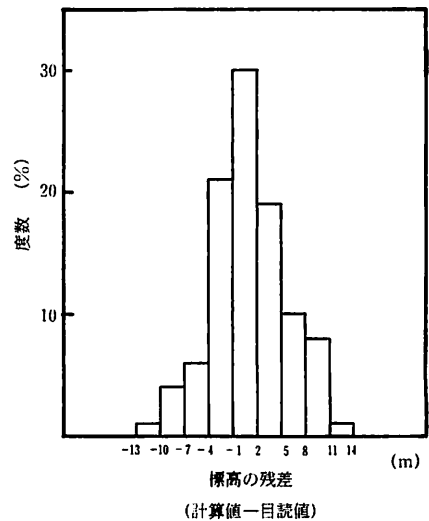


図3 標高残差のヒストグラム

図-3は、1/25000の地形図を用いて上記方法で作成したファイル名“MC25-EL”(国土基本図番号II-MC-25に対応し、ELは標高を表わす)の情報と、地形図から直接格子点の標高を読み取った値との差をヒ

ストグラムで示したものである。図より、上記ディジタイザーを用いた方法によってファイル化された標高情報は、地形図から直読された値の±10m以内(残差の平均0.11m, 標準偏差5.66m)の精度となっていることがわかる。したがって、この程度の精度で十分な目的(例えば、ランドサットデータの三次元表示^{10),11)}に対しては、ディジタイザーによる方法は、メッシュ間隔を自由に变化しようという利点もあり、十分に利用し得る方法であろうと考えられる。

4-3 地表の最急勾配ファイル

地表の最急勾配の大きさと方向は、降雨の流下、雪崩、地すべりの運動に影響を与えるといわれており、これを計算してファイル化しておくことは大切である。当然、この情報の作成方法にも、地形図上で格子に切られた区画内の等高線から最急傾斜の大きさと方向を読み取る方法がある¹²⁾が、ここでは、先に作成した標高ファイルから数値計算する方法を試みた。

いま、一辺 Δl から成るメッシュの4隅の標高を $Z_1(x_1, y_1)$, $Z_2(x_2, y_1)$, $Z_3(x_2, y_2)$, $Z_4(x_1, y_2)$ とすると、メッシュ内での x 方向及び y 方向の平均的傾き f_x , f_y は次式で表わされる(図-4参照)

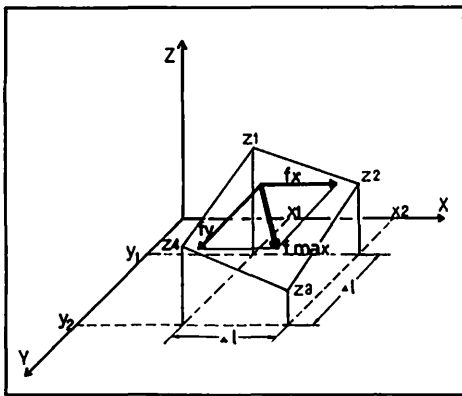


図4 メッシュ隅点と標高Zと傾斜fの模式図

$$f_x = \frac{1}{2\Delta l} \{Z_2(x_2, y_1) + Z_3(x_2, y_2) - Z_1(x_1, y_1) - Z_4(x_1, y_2)\}$$

$$f_y = \frac{1}{2\Delta l} \{Z_3(x_2, y_2) + Z_4(x_1, y_2) - Z_1(x_1, y_1) - Z_2(x_2, y_1)\}$$

従って地表面の最急勾配の大きさ f_{max} とその方向 α (x 軸より時計廻りに計った角度は次のようになる。

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

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

なお、勾配の大きさを角度 β で表示すると

$$\beta = \tan^{-1}(f_{max})$$

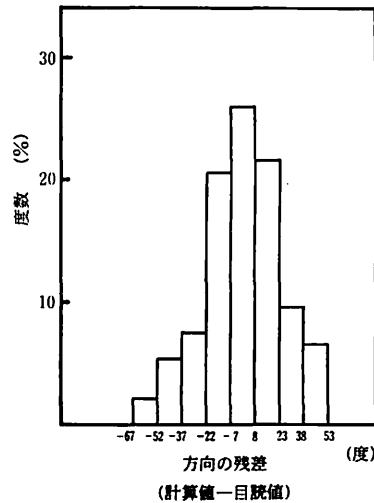
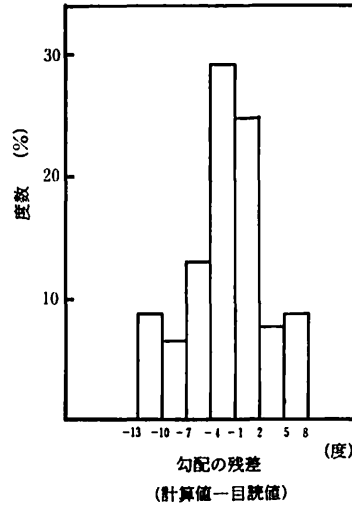


図5 地表最急勾配残差のヒストグラム

図-5は、国土基本図II-MC-25の一部を目読によって標高情報ファイルを作成し上記方法によってメッシュの最急勾配の大きさと方向を計算した結果と、国土基本図上よりメッシュ内の勾配の大きさと方向を目読した値との差をヒストグラムで示したものである。上記計算法による勾配の大きさは、平均的にみると3度ほど緩め(平均残差-2.8度, 標準偏差5.8度)に評

傾する傾向にある。なお、メッシュ内部での等高線の形態が図-6の(e), (f)のような場合には残差が10度以上となり、この方法を用いることの限界となっている。

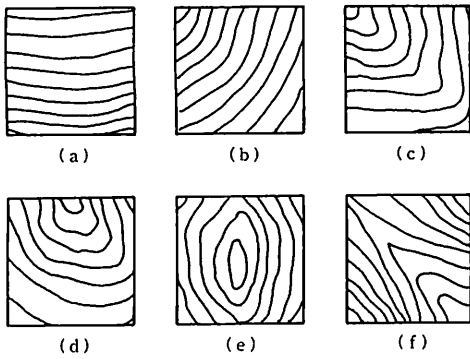


図6 メッシュ内での等高線形態の種類

4-4 地質ファイル

対象地域の地質情報は、1/200000の熊本県地質図¹³⁾をベースとして、植田の調査研究¹⁴⁾を参考にして図-7に示す地質図を作り、これを国土基本図上に転写し、

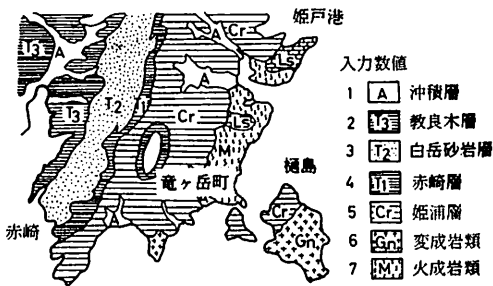


図7 竜ヶ岳町周辺地域の地質状況

地質ファイルの基礎資料とした。図-7に示すように対象地域は、沖積層、古第三紀堆積層(教良木層、白岳砂岩層、赤崎層)、中世代堆積岩(姫浦層)、中世代火成岩、古生代肥後変成岩が分布しているので、これらの各地層に対して1~7の数値を対応させて入力した。また、この地層の数値との対応を第1レコードにファイルメモとして記録した。

5. 斜面崩壊地の地形・地質的特徴解析

5-1 地層別による地表面傾斜角の特徴

4章で入力した各ファイルを使って、地形・地質的な特徴について検討を行なってみた。

地表面の傾斜角度を5°きざみにして各地層別に図示すると図-8に示されるように各地層別に特徴がある

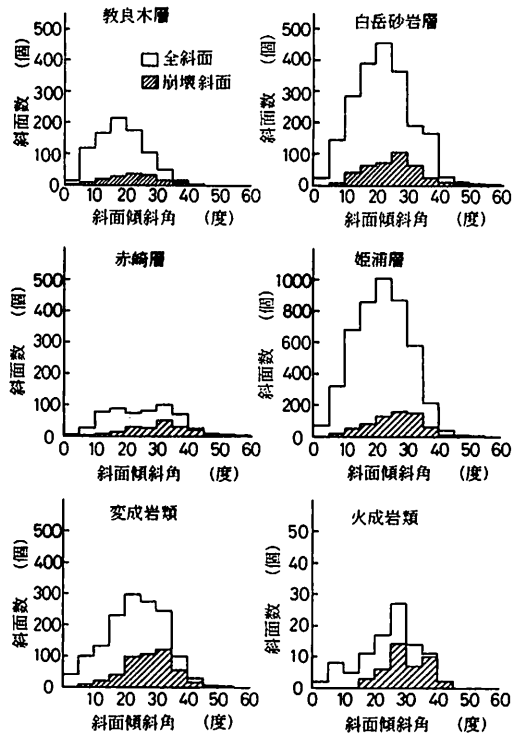


図8 地層別地表面傾斜角分布図

のがわかる。つまり、各地層の最大頻度の地表面傾斜角に着目したとき、最も傾斜角が大きいものは25°~30°の火成岩類であり、次は白岳砂岩層、変成岩類と姫浦層の20°~25°、次が教良木層の15°~20°で、最大頻度のはっきりしないのが赤崎層である。

このように各地層別に最大頻度の地表面傾斜角が異なっているのは、岩質の違いによるものであり、白岳砂岩層および火成岩類は固く、教良木層は軟かい岩質であることから理解される。ただ赤崎層について、岩質は軟かいのに、急傾斜角の斜面がかなり多いのは、赤崎層上部に硬い白岳砂岩層がある¹⁵⁾ために、風化侵蝕作用が妨げられているという地質構造的結果によって、その斜面の特徴が明確にならなかったものと考え

られる。

5-2 急斜面崩壊地の解析

斜面崩壊は、地すべり、急斜面崩壊、土石流に大別される。これらの3つは、それぞれ特有な条件下において発生している。その特有な条件の中で、とくに、地表面傾斜角は、斜面崩壊を起こす重要な要素の一つとなっている。ここでは、5-1で地層別に地表面傾斜角の特徴がみられたことから、斜面崩壊の中で地表面傾斜角の影響が最も大きいと思われる急斜面崩壊と地層の関係について解析を行なった。

今回の対象とした斜面崩壊は前述した昭和47年の集中豪雨に伴うもので、急斜面崩壊の規模は、最大で、26,250㎡、最小で25㎡であった。そして、大きな崩壊斜面は別として、大部分の崩壊斜面は50mメッシュの一区画中の一部として存在している。今回は、小さな崩壊であれ、その斜面の一部が崩壊したという事実を重視して、一区画中に崩壊があれば、“崩壊あり”と見なし、その区画は崩壊斜面とした。また、複数区画に及ぶ崩壊がある場合は、そのすべての区画を崩壊斜面とした。さらに、土石流崩壊においても斜面崩壊によって引き起こされたものと思われるものは、上部斜面崩壊のみを急斜面崩壊と見なした。上記以外の斜面を“崩壊なし”の斜面として、健全斜面と呼ぶことにした。(土取り場や石切り場はどちらも適応できないので除外した。)

このようにして崩壊斜面ごとの地表面傾斜角で集計したものが図-8の斜線部分である。これによると、崩壊斜面は、地表面傾斜角の分布にピークがみられる。例えば、教良木層においては、全斜面の最大頻度は15°~20°で、崩壊斜面のそれは20°~25°と約5°の差がある。これは、斜面崩壊が健全斜面(=全斜面-崩壊斜面)よりも大きい地表面傾斜角のところで発生しており、地表面傾斜角が崩壊の重要な要素となっている事を示している。また、全斜面と崩壊斜面の最大頻度の差は0°~10°までの各々の地層によって差がみられる。さらに各地層別の全斜面数に対する崩壊斜面の比率を求めると、崩壊率は火成岩類>変成岩類>赤崎層>白岳砂岩層>教良木層>姫浦層の順に小さくなっている。

次に、地層別に各地表面傾斜角ごとの崩壊率(崩壊斜面数/全斜面数)を求めてみた(図-9参照)。これによると地層別に特徴がみられた。すなわち、火成岩類は地表面傾斜角15°以上から急に崩壊率が大きくなり、その増加率は著しい。これに対して、姫浦層はゆる

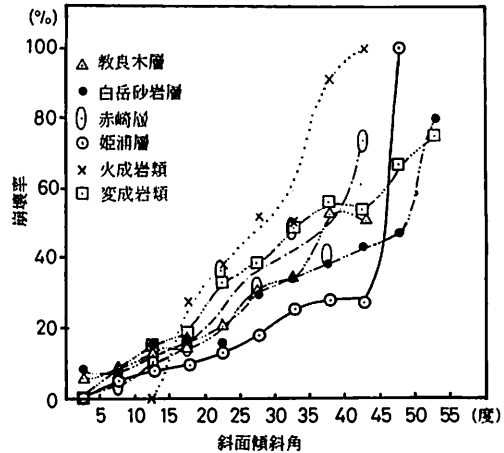


図9 地層別地表面傾斜角毎の崩壊率

やかな増加を示し、地表面傾斜角45°以上で崩壊率100%と急激な増加を示している。その他の地層はその中間の性質を示している。例えば、崩壊率30%に相当する各地層別地表面傾斜角を求めると、

- 火成岩類, 変成岩類 15°~20°
- 赤崎層, 白岳砂岩層, 教良木層 20°~30°
- 姫浦層 40°~45°

となり、岩種別、時代別の差がみられた。さらに、広範囲における地層別の崩壊率が地表面傾斜角ごとに求められるならば、斜面の地層を知ることによってその斜面の崩壊率を精度よく推定することができ、今後の急斜面崩壊の予知に関して重要な条件になるものと思われる。

しかしながら、5-1で述べた各地層別の特徴と各地層の崩壊率の特徴と一致しない部分がある。例えば、火成岩類の全斜面の地表傾斜角の最大頻度は25°~30°と岩質的には固い性質を示しているが、崩壊率は高い。このことは新鮮な岩であれば急斜面でも健全であるが、風化作用を受けると容易に崩壊する性質を示しているものと思われる。

6. まとめ

今日社会的要求が高まっている地盤・環境に関するデータベースシステム確立の前段階として、地域レベルでの情報ファイルの在り方、特にメッシュの大きさと、1ファイルがカバーする地表範囲について検討するとともに、入力例として、天草上島を対象とした標高、地表面最急勾配、地質情報のファイル化を試みた。そして、これらの情報ファイルの工学的利用の試みとして、昭和47年の集中豪雨によって生じた天草上島の

急傾斜崩壊地の地形・地質的特徴解析を行なった。

本研究によって得られた主な結論を述べれば次のようである。

- 1) 標高、地表面勾配の情報を入力する方法として、メッシュ内の等高線から目読するのではなく、ディジタイザーを用いて入力したり、標高データから計算して入力する方法は、一定の制約はあるものの、ほぼ実用し得るものである。
- 2) 昭和47年豪雨に伴う急斜面崩壊に関しては、地表面傾斜角毎での崩壊率は地層の種類によって異なり、(i)姫浦層、(ii)赤崎層・白岳砂岩層・教良木層、(iii)火成岩類・変成岩類の順に崩壊率一定の傾斜角は低くなる。
- 3) 以上のことから、地表上50m四方メッシュを代表する地盤・環境情報ファイルは、地域規模での情報ファイルの在り方として、有用であると思われる。

今後は、植生、ボーリング調査結果、地下水位などより広範な情報項目のファイル化と、それらの検索方法について検討していく予定である。また、本研究で試みた急傾斜崩壊地の地形的特徴解析手法を他の事例にも適用しより普遍的な定量化を探索して行きたいと考えている。

なお、本研究の一部に、昭和60年度文部省科学研究費奨励研究B(代表・内村好美)を使用した。記して感謝申し上げる次第である。

参考文献

- 1) 瀬古・堀井・藤野：パソコンによる地質柱状図作成システムについて、第20回土質工学研究発表会講演集，pp.135-138，1985. 6
- 2) 栗林他：地盤資料データによる地盤特性検索法，第20回土質工学研究発表会講演集，pp.5-6，1985. 6
- 3) 岩尾・堀田：佐賀平野における地盤データベース作成の試み，土木学会西部支部研究発表会，pp.402-403，1985. 2
- 4) 建設省国土地理院：国土数値情報の概要，pp.1-19，1983
- 5) 建設省国土地理院地図管理部地図情報室：数値情報からみた1/25000地形図，国土地理院時報，No.61，pp.29-33，1985
- 6) 村井俊治：測量で用いられる座標系新体系土木工学51土木測量，pp.7-13，1980
- 7) 建設省国土地理院：経緯度二平面座標換算表，pp.1-III，1951. 6
- 8) 井上正康：天草と真幸との山くずれ，土と基礎，Vol.17，No.7，pp.27-20，1973
- 9) 坂本 享：昭和47年7月豪雨災害，天草・川内川流域，地質ニュース，Vol.219，pp.12-19，1972
- 10) 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
- 11) 村上義幸：パソコンによるランドサットMSSの地盤工学的利用に関する研究，熊本大学工学部土木工学科昭和59年度卒業論文，1985
- 12) 荒牧他：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
- 13) 深田地質研究所：熊本県地質図(20万分の1)，内外地図誌
- 14) Yoshiro UEDA: The Type Himenoura Group, Mem. Fac. Sci., Kyushu Univ., Ser. D, Geology, Vol. ⅩI, NO. 2, pp. 129-178, 1962
- 15) 山崎他：昭和47年7月豪雨と天草上島の地すべり，昭和47年7月豪雨災害の調査と防災研究，昭和47年度文部省科学研究費，自然災害科学の総合的研究，pp.203-222，1973. 3