

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

荒牧昭二郎*・北園芳人**・中山 洋*
鈴木敦巳**・梶原光久**

On the Hazard Map of Slope Failure of Landslide-type in Amakusa Islands, Kumamoto Prefecture

Shōjirō ARAMAKI, Yoshito KITAZONO, Hiroshi NAKAYAMA,
Atsumi SUZUKI and Mitsuhsa KAZIWARA

Abstract

Recently, many papers and reports on landslides or slope failure have been published. However, we have few useful reports on prediction of landslides or slope failure, because there are many factors relating complicatedly with these phenomena. In some areas, typical cases of landslides are often found. For example, in most of landslides in Amakusa which occurred in area of tertiary sedimentary rocks sliding mass moved along thin clay layer on bed rock. Then, it was tried to draw the hazard map in Amakusa Islands considering slope angle, dip-strike and friction angle, and we got the result that slopes of sedimentary rock could be classified into five ranks in hazard map.

1. ま え が き

我が国は、全国的に山地が多く山岳地帯からすぐ海にいたる平地の少ない島国である。このような自然環境の中で人口の増加とともに我々の生活圏は平坦地から山間地へと拡張されてきた。また、山間地と平坦地への連絡手段は現在では道路が主体であり、その交通量の増大による新たな道路開発や旧道の拡幅工事が頻繁におこなわれ、それに伴う新しい斜面が作られている。さらに、生活環境の進展によって住宅の新築、紙、パルプ材の需要が増大し、山林は伐採され、そのスピードは樹木の成長のそれをはるかに凌駕している。このような状況下において、大雨や地震などの突発的自然現象が起これば、崖くずれや地すべり、さらに土石流などの災害が起これば、さらなる人命や財産を奪うと同時に復旧対策には莫大な費用を要することとなる。

以上の事を考えると斜面災害の予知対策が急務である

が、近年は過去の斜面災害を細かく分析、解明し、かなり分類体系化されつつあり、災害予知に明るい見通しがみられかけている。その中である種の斜面災害には地域的に特徴があり、明らかに災害に結びつくと思われる要素（例えば、地質、地形など）が認められる。

そこで、筆者等は地すべりの原因が主に地質構造と岩質および地形にあると考え、これらに関して危険な条件を備えた斜面ほど危険度の高いものと見なす。さらに、天草上, 下島では地すべり発生頻度が県内の他の地区よりも特に高い（例えば県内の地すべり指定地数は昭和57年度まで建設省所轄のみで69個で、このうち天草諸島は38個あり、これを単位面積あたりの頻度で表わすと県内平均頻度は $69 \text{ 個数} / 7406 \text{ km}^2 = 0.0093 \text{ 個数/km}^2$ 、天草地区頻度は $38 \text{ 個数} / 881 \text{ km}^2 = 0.0431 \text{ 個数/km}^2$ となり天草地区において発生頻度が高いことがわかる）ことから、この地区を危険図作成の対象地に選び斜面崩壊（とくに地すべり）の危険図を作成したものである。

2. 地形および地質、地史

天草は図-1のように熊本市からほぼ南西方向にあり、上島と下島の両島からなっている。全面積は 881 km^2 で

* 九州東海大学工学部

** 熊本大学工学部

大部分が第3系の堆積岩の地質であり、その他変成岩類、貫入岩類が分布している。上島において地層の走向は約 N45°Eであり、それに平行した褶曲軸が連続的に

存在する。それに比べて下島は北北東へとその褶曲軸が移動し、これらの褶曲軸に直角方向に数多くの断層がみられる。

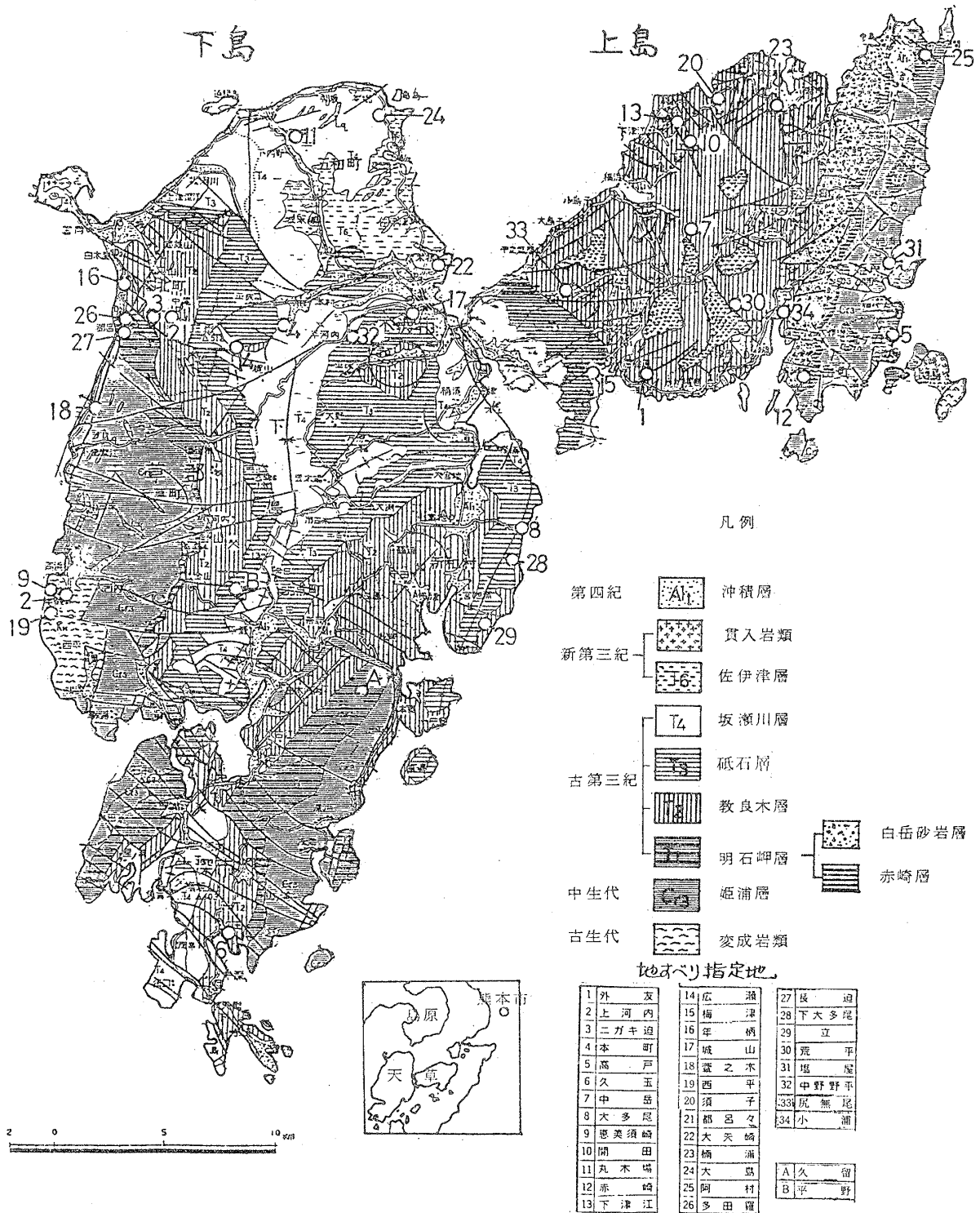


図-1 天草の地質図と地すべり指定地

地形的には全体として標高 700 m 以下の山からなり、青年期から壮年期の地形にあたるものと考えられる。特に、上島においては硬質の白岳砂岩によるケスタ地形がみられる。

次に、斜面災害と密接な関係のある各地層の岩質について説明する³⁾。

1) 変成岩類 これは上島姫浦から高戸に分布する片麻岩類と下島高浜附近に分布する結晶片岩類に分けられる。前者の岩質は黒雲母片麻岩であり、後者は緑泥片岩、石英黒片岩である。

2) 姫浦層 この地層は天草上島の東方姫浦附近に北東方向に分布する。また、下島においては北北東から南南西の向斜軸を中心として左右対称に分布する。岩質は黒色頁岩、細粒砂岩の互層であり、風化すると数ミリメートルの細かい角状の岩片となる傾向が著しい。

3) 明石岬層 この地層はすべて古第 3 系に属するの、または一部白堊系に含まれるのか疑問のある地層である。本層は上島の白岳砂岩層と赤崎層と同時異相と考えられている。岩質は下部に礫岩、上部に砂岩と頁岩の互層となる。赤崎層は風化するとチョコレート色を呈する泥岩が主体であり、風化激しく粘土化していることが多い。白岳砂岩は数十 m におよぶ崖を生じ、花崗岩質砂岩層で固結度はあまり高くなく、もろい岩質である。

4) 教良木層 上島に広く分布し黒色頁岩層が主体で砂岩層を挟む。表面風化されれば粘土化激しく、地層も攪乱して地層内褶曲も見られる。

5) 砥石層 天草炭田の主体を占めている地層で砂岩が多く、かなりの急斜面を作っている。

6) 坂瀬川層 主体は黒色泥岩層で無層理、玉葱状風化がみられ、細粒化し粘土化しやすい、一般にゆるやかな地形を作っている。

7) 貫入岩類 岩質は流紋岩、安山岩、閃緑岩、玢岩類である。

3. 地すべりの分布とその特徴

図-1 に天草地区の地すべり指定地と過去に地すべりを起した地点を○印で示している。本地区で地すべりが指定された時期の古いものが多く、地質や土質調査が行われてなく、正確な地すべり解析が困難である。しかし、近年では地すべり調査方針が確立化され、貴重なデータの集積がなされつつある。これらのデータから分析すると次の 3 つの傾向がみられた。

1) 地すべりの分布状況は、あまり集中的でなく地域的な関連性は見あたらない。しかし、地層別に分類す

ると、地すべりの多い地層と少ない地層とに分けることができる。

2) 天草地すべりの地表面傾斜角は新潟地区の地すべりと比較する²⁾と大きい傾向にある。

3) 地すべり発生要因の中で主要なものは、地層中の軟弱薄層が滑剤となってすべりだす流れ盤型地すべりである。このような薄層をもった地すべりは特に、第 3 紀堆積岩に多く発生している。その例は久留³⁾、小浦³⁾、中野々平⁷⁾ 地すべりが代表的である。

まず 1) であるが、地すべり指定地の数と指定外で過去に地すべりを起した地点の数を地層別にその分布面積で割った値(表-1)を見てみれば、その頻度の高いものは変成岩類・第 3 紀系の明石岬層(赤崎・白岳砂岩層を含む)と教良木層である。変成岩類は前述の岩質で風化激しく細片化が進んでいる。また、以前に受けた造山運動による小褶曲面、節理面、片理面からの剝離が著しく、さらにそれに伴う部分的風化のために土木工学的に問題の多い岩質となっている。このような変成岩類の地区の地すべりは岩盤地すべりのような地層構造に支配されるのではなく、風化岩体中に円弧状にすべりを生じるものである。

表-1 地すべり発生率

	地層名	地すべり数	分布面積 km ²	分布割合 個数/km ²
古第三紀	坂瀬川層	5	124.2	0.040
	砥石層	4	119.9	0.033
	教良木層	14	192.1	0.073
	明石岬層	7	94.5	0.074
中生代	姫浦層	2	98.4	0.020
古生代	変成岩類	4	12.7	0.315

第 3 紀層の地すべりは、主に黒色泥岩層に多く、この地層は風化しやすく、細粒化し粘土となりやすい。しかしながら、この岩相の分布は地すべりの少ない坂瀬川層や中生層の姫浦層中にも多く存在し、岩質のみの条件によって地すべり発生の原因となっていない。これは別報に述べるが地下水とそれによる風化の進展状況に左右される風化粘土の活性に支配されているものと推定される。

2) 図-2 は堆積岩地帯を対象として、天草地区地すべ

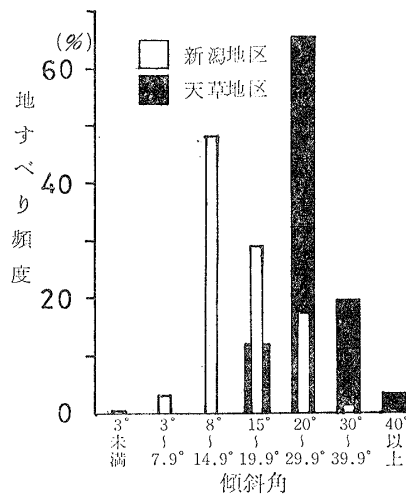


図-2 天草と新潟地区の地すべり傾斜割合

りの地表面角度と新潟県地すべりのそれとを比較したものである。これによると、本地区の地表面角度は新潟県のそれよりもかなり大きく、急斜面で崩壊していることを示している。この原因の一つは地すべり粘土の違いにあると考えられる。即ち、天草地区の地すべり粘土鉱物はイライト、緑泥石であるが^{4),8),9)}、新潟県のはモンモリロナイトの存在が報告¹⁰⁾されている。これらの粘土鉱物の違いが土質特性にどのような影響を与えるかを考えると、イライト系粘土はモンモリロナイト系粘土より活性が小さいため、一般に粘着成分が小さく、まさつ角が大きくなる傾向にあると推定される。この風化粘土の違いが、天草地区では新潟県の地すべりのそれよりも急傾斜斜面で崩壊が起っているものと考えられる。さらに、力学的に考えれば、豊富な地下水による間げき水圧が有効応力の低下を促し、その結果として緩勾配の条件下でも地すべりが起こる可能性がある。

3) 斜面崩壊は、いずれにせよ斜面内の弱面に起因するものである。その弱面とは地層中の節理面、断層面、層理面であり、その中に水が浸入し、風化粘土が生成される。これらの弱面の中で、層理面は、堆積岩中に必ず存在し、その方向や傾斜は、ある範囲では同じであり、特別な条件がなければ半無限に連続するものである。前述したように、上部に砂岩層がある頁岩層では、その頁岩と砂岩との境目付近では強風化粘土の生成が起り、連続した滑剤の存在となっている⁸⁾⁻⁹⁾。この粘土層は地層が流れ盤であれば、同一地層中の風化粘土で、ほぼ均一な土質特性を有するものと推定される。

堆積岩地帯では流れ盤における地すべりのような大きな斜面崩壊の予測に関しては、この点に着目すべきであ

る。勿論、地すべり発生の要因は他に多くの条件を含むものであるが、ここでは、この弱層の存在が最大の要素と見なした流れ盤図による斜面崩壊危険図作成を試み、さらに、以前に崩壊した斜面と対比検討するものである。

4. 流れ盤崩壊危険図作成方法

危険図作成方法は次の3段階の作業手順によって行なわれた。

- | | | | |
|-----|-------------|---|---|
| 4-1 | 流れ盤図作成 | } | イ) 地表面傾斜角の算出
ロ) 地層の走向傾斜の仮定
ハ) 流れ盤と受け盤の分離 |
| 4-2 | 流れ盤中のタイプ別分類 | | |
| 4-3 | 危険度の決定 | } | イ) 各タイプ別頻度による危険度の決定
ロ) 地層別による危険度の決定
ハ) 過去の実績による危険度の決定 |

4-1 流れ盤図作成

これは下記のように3行程に分けられる。

イ) 地表面傾斜角の算出 五万分の一の地形図を1cm角(500m×500m)に区切る。その場合斜面傾斜角の算出は図-3(i)に示すようにa~hの4方向に限定するが、一区画の中心に川や谷があれば、さらにそれを半分に分ける(図-3(ii),表-2)。図-3(iii)は地表面傾斜角の算出の例を示したもので、一区画の中心点を通して矢印方向(傾斜方向)に等高線の数を数え、その数を矢印の先に記したものである。この数と矢印方向の水平距

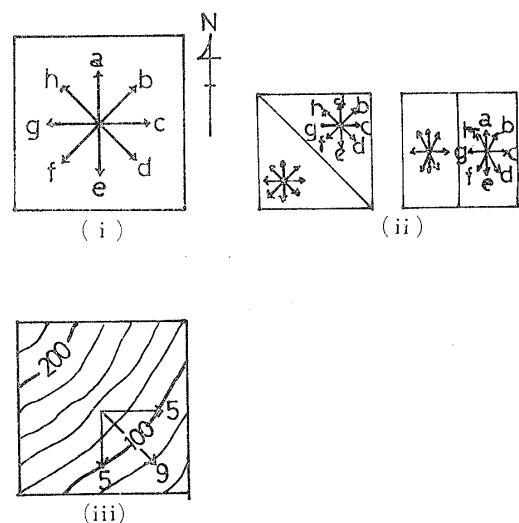


図-3 地表面傾斜角

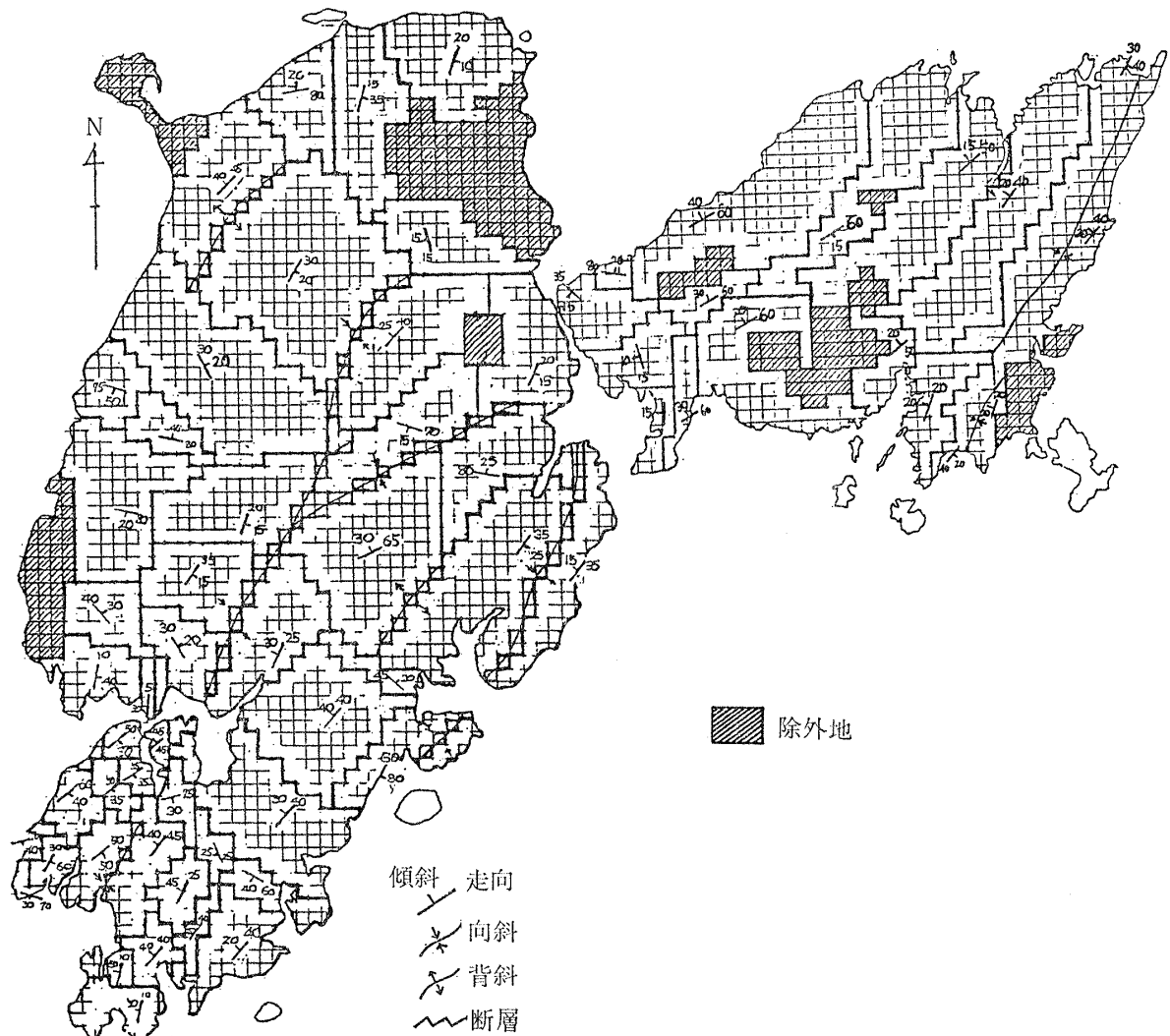


図-4 天草地区の走向傾斜条件図

表-2 一区画中の流れ盤判定表 (地層の走向傾斜が N 40°W, 35°N の場合)

番号	本数	平均傾斜角 (θ)	走向と断面 とのなす角	真の傾斜角	みかけの 層理面角 (α)	土のまさつ角 (ϕ)	判定 (図-8参照)
c	5	11.3°	50°	35°	29°	15° ₄	C2
d	9	14.3°	5°	35°	4°	15°	D1
e	5	11.3°	40°	35°	24°	15°	受け盤

離より地表面傾斜角 (θ) を出す (表-2)。また、等高線が少ない場合、即ち、地表面角が小さい地区 (傾斜角 5° 以下) と堆積岩以外の地質は除外地とする。

ロ) 地層の走向傾斜の仮定 地層の走向・傾斜は各地区によりかなり大きく変化しているのが実状であり、ま

して断層などで切られていれば、その部分から急変するものである。しかし、断層を除けば大局的に本地域は大きな構造に沿った走向・傾斜をいまだ保守しており、与える条件としては充分であると思われる。そこで、野外調査データを基にして図-4 のように断層・褶曲で囲ま

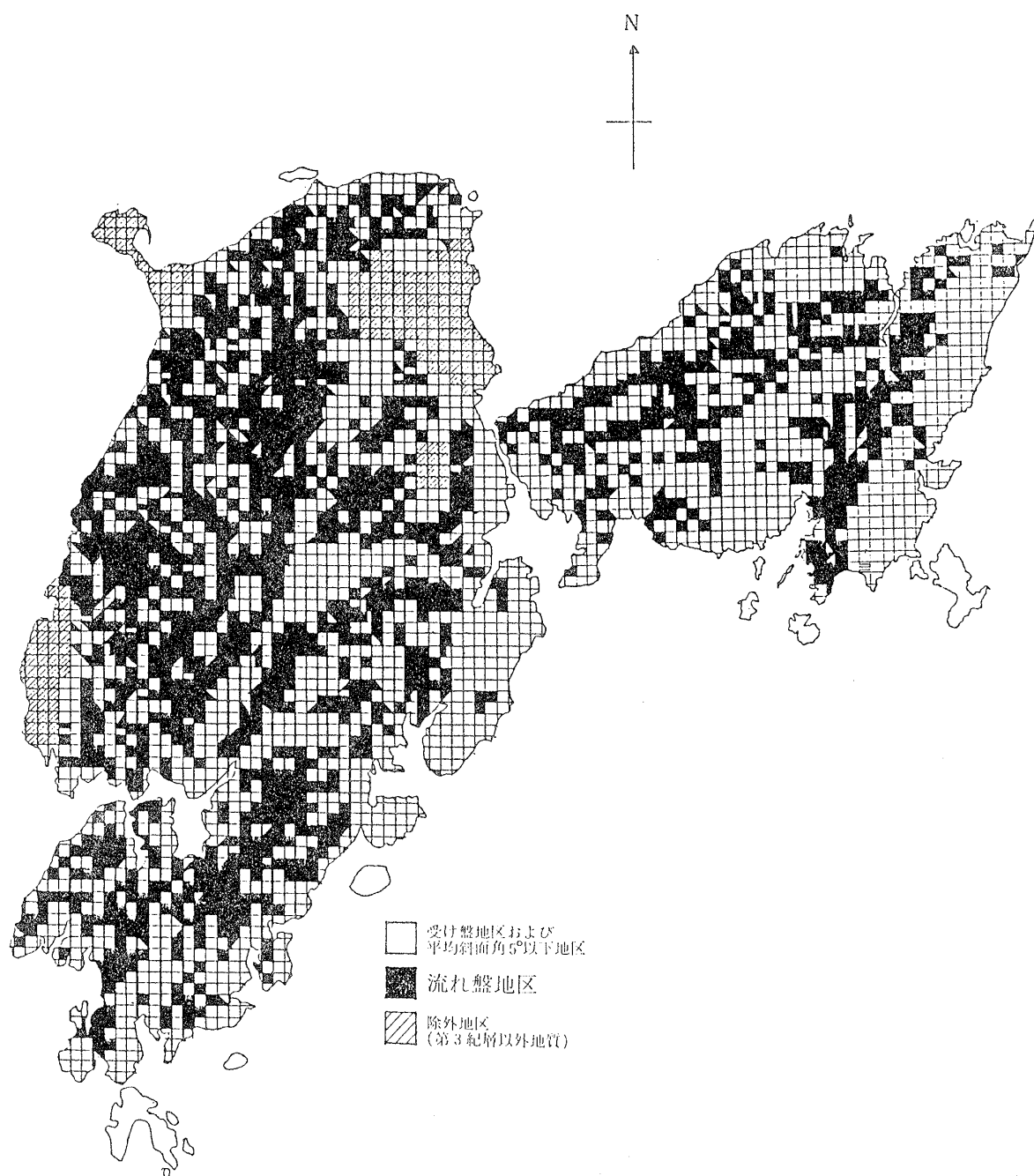


図-5 流れ盤図

れた部分の走向・傾斜を与える。

ハ) 流れ盤と受け盤の分類 前述の一区画内の斜面傾斜方向と地層の傾斜方向が一致する所を流れ盤とし、その逆の斜面を受け盤とする(表-2)。ただし一区画中で一方向でも流れ盤となった区画は流れ盤区画とする。

このようにして作成したものが図-5である。この図によると流れ盤の全体に対する比率は46.0%であり、

受け盤地帯は31.1%、斜面角5°以下の地区は22.9%となった。さらに、流れ盤、受け盤の平均傾斜角を上島、下島に分けて整理してみると図-6のようになり、図-7に示すようにケスタ地形がよくみられる上島では受け盤が流れ盤より急斜面の部分が多い傾向にある。

4-2 流れ盤中のタイプ別分類

流れ盤をもつ区画について、各地表面傾斜方向と地層

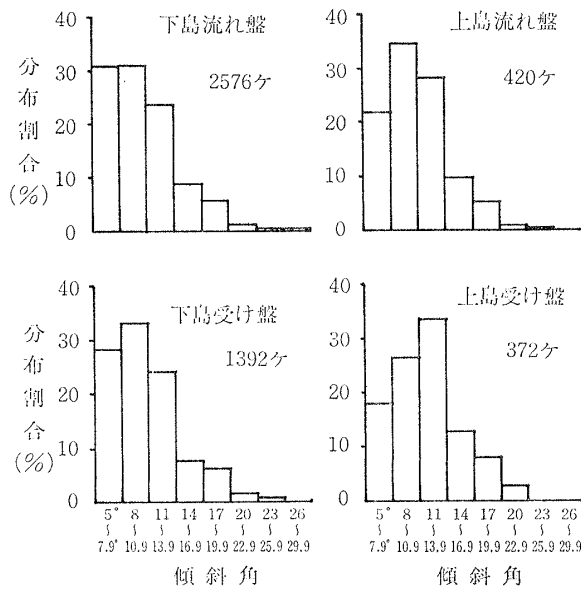


図-6 上島, 下島の流れ盤, 受け盤傾斜角分布

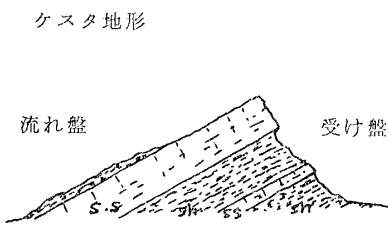


図-7 流れ盤・受け盤の模式図

の走向とのなす角, それと地層の真の傾斜角の 3 者から地表面傾斜方向を断面とするみかけの地層角 (α) を出す。ここで, 今回は風化粘土層の粘着力を一定 (仮りに 0 tf/m^2) として地表傾斜角 (θ), みかけの地層角 (α), および土のまさつ角 (ϕ) の 3 者から次のモデルを考え て 4 つのタイプづけをする (図-8)。

A タイプは最も危険な斜面である。とくに, A_1 は地層中で, この条件を満足する層があれば崩壊するものである。また, A_2 は, この条件を満足する層が卓越すると A_1 よりも大きな崩壊を起こす可能性が大きいものである。

B タイプは一般に軟弱層内のみにおける小規模な崩壊が考えられるが, もし各層にわたって風化がすすみ, まさつ角 ϕ が減少して $\tan \theta > \tan \phi$ の条件が満される場合 (頁岩層が厚く, 全体が風化粘土となる場合と砂岩層中に風化粘土層が生成され, それが連続性を有する場合) は大規模崩壊の可能性がある。

C, D タイプは土のまさつ角が地表面角よりも大きい

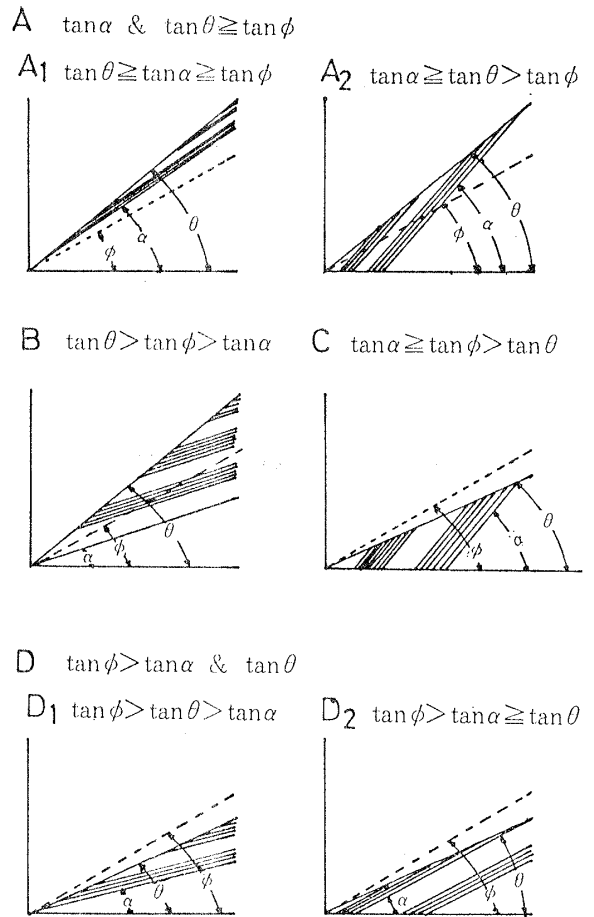


図-8 各タイプ別模式図

ので一応安全と考えられるが, 道路工事などに伴うのり先カット等による地表面平均傾斜角の増大によって A, B タイプの条件が満される場合や地下水位の上昇による有効応力の低下 (これは, 斜面上部のクラックに水が浸入することによる水圧の上昇を伴う場合も含む) 場合は, さらに安全性を検討する必要がある。

流れ盤を各タイプ別に分ける場合は土のまさつ角 (ϕ)

表-3 地すべり粘土のせん断特性

	粘着力 kgf/cm ²	まさつ 角度	備 考
久留地すべり	0.33	13.2	一面せん断, 等圧UU
小浦地すべり	0.95	21.5	三軸圧縮UU
大多尾地すべり	0.23	20.7	三軸圧縮UU
中野野平地すべり	0.27	13.7	三軸圧縮UU
平野地すべり	0.05	27.0	一面せん断, 等体積UU

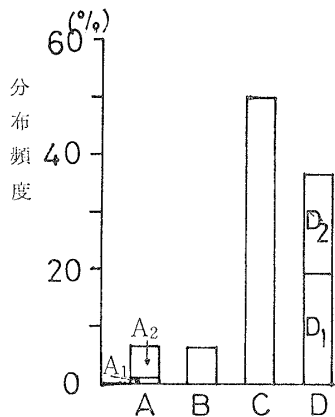


図-9 上島・下島のタイプ別割合

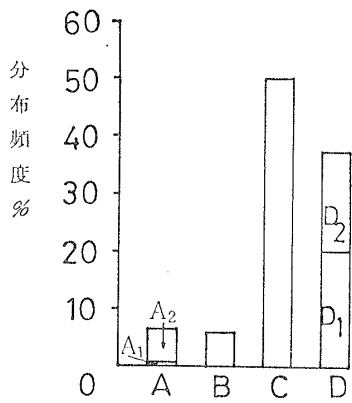


図-10 (a) 下島のタイプ別割合

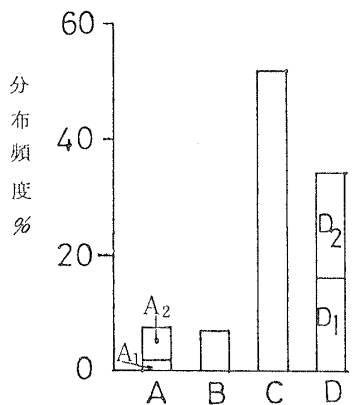


図-10 (b) 上島のタイプ別割合

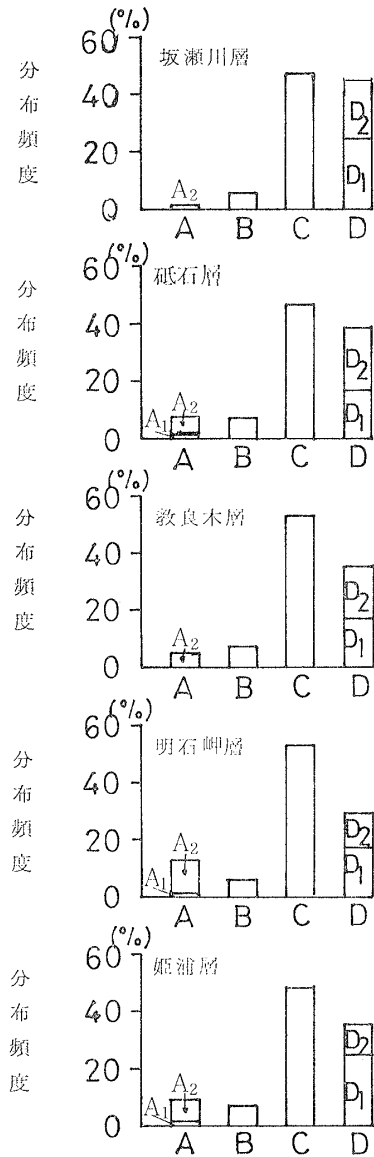


図-11 各地層別タイプ別割合

を仮定する必要がある。天草地区では表-3 に示すようにそのデータは少数であるが、まさつ角は $13^{\circ} \sim 21^{\circ}$ の範囲にある。厳密には各地層の風化粘土の土質特性が違っていると思われるが、現状では不明であるので今回は同一条件として各地層別危険度の比較検討を試みた。そ

の結果、次の3つの事が明らかになった。

1) 全体的にCタイプが最も多く、次にD, B, Aタイプの順序になっている(図-9)。この傾向は上島, 下島とも、また地層別でもその傾向はほぼ同じである(図-10, 11)。

2) Aタイプにおいて、ほとんどがA₂である。A₂タイプは斜面内のすべり面上に砂岩層が介在する可能性があり、その部分がすべり抵抗として働くために現存する斜面が多く、またA₁はすべり面が均一頁岩風化粘土層であるため、すでに崩壊しているものが多く、現存斜面率が小さいためであろう。

3) 危険度の高いAとBタイプの現存する斜面の割

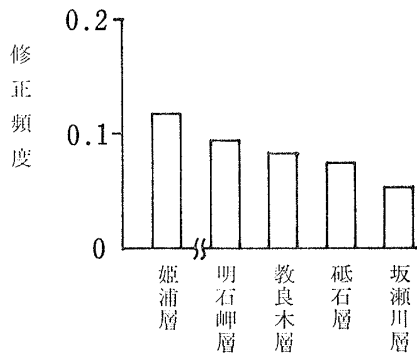


図-12 各地層別の危険タイプ割合

合は古い地層ほど多い傾向にある (図-12)。

図-12 は、各地層の A と B タイプの分布頻度に各地層の頁岩含有率を乗じたものである。その理由は頁岩層の含有率が大きければ現存する A, B タイプの斜面は少なくなり、砂岩層の含有率が大きくなれば逆に多くなる事が考えられるからである。その頁岩含有率を各地層別の柱状図より概略的に次のように推定した。

姫浦層 70%, 明石岬層 50%, 教良木層 70%, 砥石層 30%, 坂瀬川層 70%。

A と B タイプの斜面は前記の理論上では崩壊の可能性の大きいものであるが、本図で示すように、それらが存在する原因として次の 2 つの事が考えられる。

- 1) 斜面内の土のまさつ角を実際より小さく仮定した。
- 2) 粘着力を零と仮定した。

いずれにせよ、各地層中に生じた風化頁岩粘土の強度定数を単純化した一定値をもちいれば、古期堆積物の方が新期堆積物よりも続成作用が進んでいる事が考えられ、前者の方が固結度が高く風化作用に対して抵抗力も大きいので危険度の高い斜面の存在が多く出たものと思われる。

4-3 危険度の決定

前述したように、自然現象は複雑であり、いまだ不明な点が多い。このような状況下において斜面崩壊の危険度を正確に決める事は無理であるが、上記で明らかになった事より次の 3 点で危険度を決定する。

- イ) 各タイプ別頻度による危険度の決定
- ロ) 地層別による危険度の決定
- ハ) 過去の実績による危険度の決定

なお、この 3 者間で危険度におよぼす重要度の比率が現状では不明であるので、ここでは 3 者とも危険度を与える影響は等しいと考えて各々の修正係数を単純に乘じ

るものとする。

イ) は上記の A~D の各タイプを実際の斜面に対応させて各タイプ別の危険度を決定するものである。即ち、現存する斜面のタイプ別頻度 (図-9) より、頻度の低いタイプの斜面は他の多く存在するタイプの斜面よりも危険であり、その危険度は現存する頻度に反比例するもの

表-4 (a) 地層別の危険度

	図-12 による危険度 R_L	表-1 による危険度 R_B
坂瀬川層	1.0	0.54
砥石層	0.70	0.45
教良木層	0.63	1.0
明石岬層	0.55	1.0
姫浦層	0.45	0.27

表-4 (b) タイプ別危険度

R_T	危険度
Aタイプ	1.0
Bタイプ	1.0
Cタイプ	0.13
Dタイプ	0.18

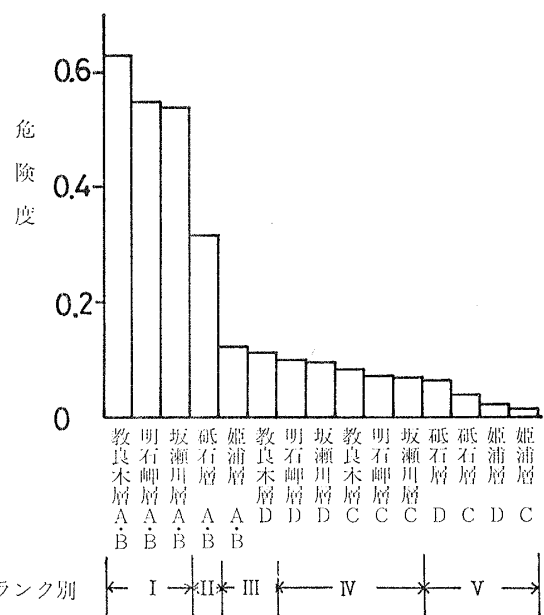


図-13 地層別、タイプ別の危険度

とみなして、Aタイプの頻度を基準にして、あるタイプ(X)の危険度 $R_T(X)$ を次式で算出した(表-4)。

$$R_T(X) = \frac{\text{Aタイプの頻度}}{\text{タイプXの頻度}} \dots\dots\dots(1)$$

実際には図-9のように天草全島のAタイプとBタイプの頻度はほとんど同じであるので、以下では便宜上、今回は区別しない。

ロ) 風化頁岩層の強さは一般に古い地層ほど大きいものであり、その強さの比は図-12に示すような比率であるとする。これは、各地層の頁岩含有率を考慮に入れた点と前述の現存斜面の存在率によって明らかにされたものである。地層別の危険度は上記と同様に考えて、坂

瀬川層のAおよびBタイプの頻度を基準にして、ある層(Y)の危険度 $R_L(Y)$ を次式で計算した。

$$R_L(Y) = \frac{\text{坂瀬川層のAおよびBタイプの修正頻度}}{\text{Y層のAおよびBタイプの修正頻度}} \dots\dots\dots(2)$$

但し修正頻度とはAおよびBタイプの頻度に頁岩含有率を乗じたものである。

ハ) 表-1に示すように地層の分布面積あたりの地すべり数が多ければ危険度が高い地層とし、その割合はその発生率に比例するものと仮定して、次のようにする。地層別地すべり実績危険度は、明石岬層を基準にし

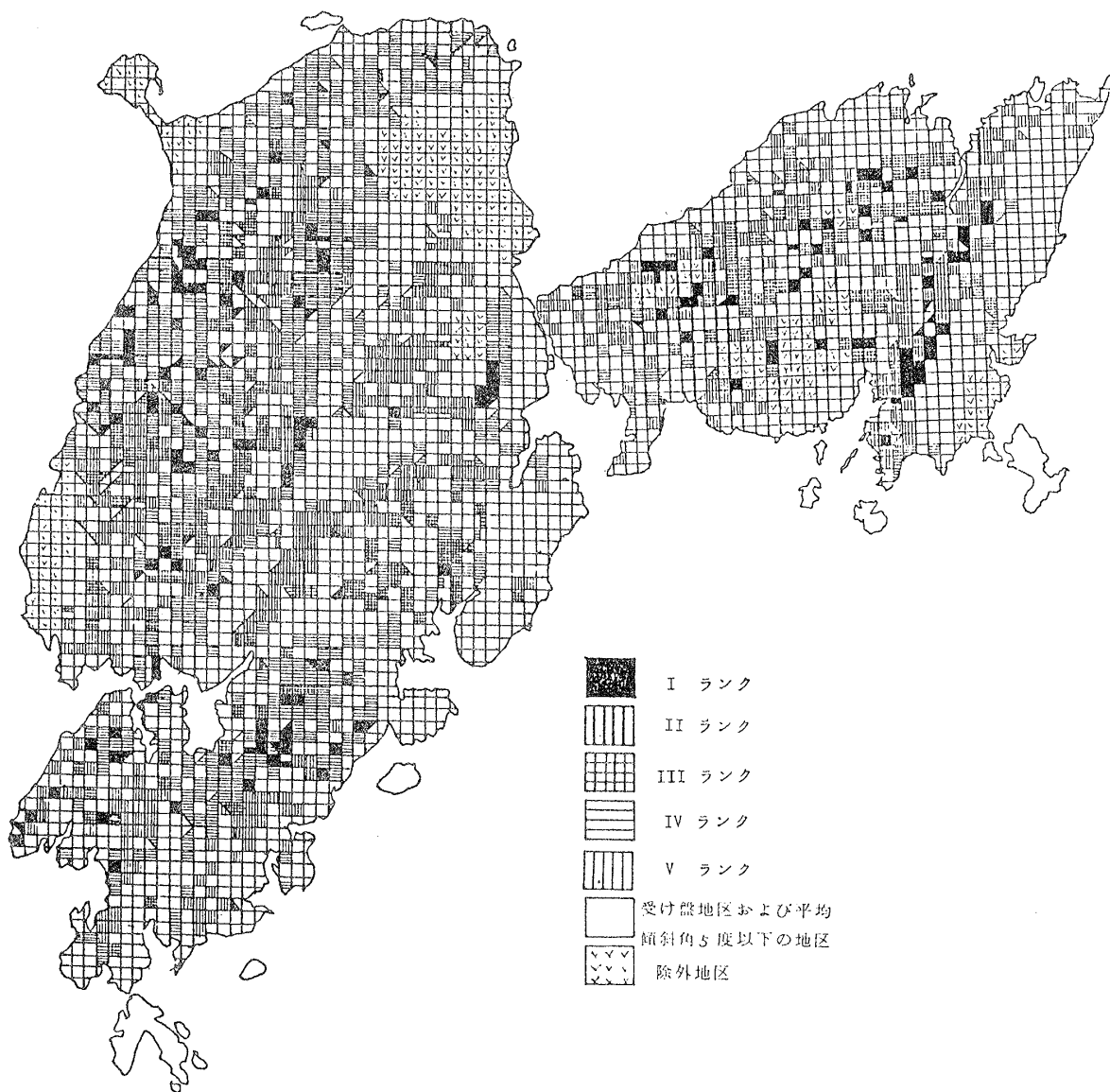


図-14 天草地区危険図

て、ある層 (Y) の危険度 $R_E(Y)$ を次式で計算した。

$$R_E(Y) = \frac{Y \text{ 層の過去の地すべり分布割合}}{\text{明石岬層の過去の地すべり分布割合}} \dots\dots\dots (3)$$

さらに、(1)~(3) 式を用いて Y 層における X タイプの斜面の危険度を次式のように表わした。

$$R(X, Y) = R_T(X) \cdot R_L(Y) \cdot R_E(Y) \dots\dots\dots (4)$$

以上の結果として図-13 に示すように各地層と斜面のタイプに対応した危険度が得られた。

危険図の作成は図-13 より、危険度ランクを便宜上 5 つに分け以下のように行った。

まず基準として、A タイプの現存斜面の最も少ない坂瀬川層 R (A, 坂瀬川層) を取り、各地層のタイプ別危険度の比率の逆数 f_R を次式で求める。その数字によって図-13 の下部に示すようなランクに分け、このランクに基づいて、図-14 のような危険図を作成した。

$$f_R(X, Y) = \frac{R(A, \text{坂瀬川層})}{R(X, Y)} \dots\dots\dots (5)$$

5 地すべり地と危険図との検討

今回作成された危険図中に存在する地すべり指定地、および指定地外で地すべり型崩壊を起した地点は全部で 36 ケ所であった。これらの中で対象となる地質中のもは 29 ケ所であり、それを危険図に適応させてみると 20 ケ所が流れ盤地帯に含まれていた。これを危険度ランク別に分類すると、

I ランク…10 ケ、II ランク…2 ケ、III ランク…0、
IV ランク…8 ケ、V ランク…0 ケ

となり IV ランクまでは要注意斜面であると考えられる。また、III ランク中に地すべりが見あたらないのは、現実的に地すべりが起っているが、指定地になっていない山地や道路の通っていない部分であると思え、今後地すべりの起こる可能性を有している地点である。

これらの危険図の検定のために、各々の地すべり調査を試みているが、風化激しく、地層の走向、傾斜が不明な箇所が数ヶ所あった、さらに、仮定した走向、傾斜と実測値がいく分違った地点もあったが、上記のように、ほぼ妥当な結果を得ることができた。

6. ま と め

今回、災害予知という観点から斜面を流れ盤と受け盤に分け、受け盤を流れ盤より安全なものと仮定し、さらに流れ盤を危険度によって 5 ランクに分けて危険図を作

成した。これを作成するには地質調査による広範囲の地質の走向、傾斜を知る事と地表面角の判読に時間を要する難点があるが、この危険図を作成することによって地すべりの発生しそうな斜面の存在を知ることと、さらに、今後道路開発等に伴うのり先掘削による崩壊の予測が可能になると思われる。

しかしながら、この図には次のような問題点が残されている。

- 1) 受け盤は流れ盤より危険度が低いという仮定に基づいているが、地下水の多い部分などは例外である。
- 2) 流れ盤中には風化粘土が必ず存在するという仮定に基づいている。
- 3) 斜面角の算出では水平距離を 500m メッシュの平均傾斜を取っているために、部分的な小さい崩壊は対象外となっている。
- 4) 地層の走向、傾斜の仮定値に厳密性を欠く。

従って、今後はさらに広範囲かつ詳細な調査、研究を重ね、上記の問題点を徐々に解釈しつつ修正してゆく事によって、より信頼性の高い危険図が作成されなければならない。

謝 辞

本研究にあたり多くの貴重なデータを提供していただきました熊本県砂防課、河川課の方々、その他関係分野の方々、それと美濃部、甲田両氏に深く感謝申し上げます。

参 考 文 献

- 1) 田村実他 (1968): 天草の地質, 熊本地学会誌, No. 28, pp. 1-34
- 2) 山野牛徹, 石黒重実他 (1974): 新潟県の地すべりとその環境, 地すべり, Vol. 11, No. 2, pp. 3-14
- 3) 中山 洋, 荒牧昭二郎 (1975): 天草久留地すべりについて, 昭和 49 年度研究発表会講演集, 土木学会西部支部, pp. 283-284
- 4) 中山 洋, 荒牧昭二郎 (1975): 風化頁岩地帯の地すべりに関する一考察, 第 10 回土質工学会研究発表会, pp. 615-618
- 5) 荒牧昭二郎, 鈴木敦巳, 中山 洋 (1983): 熊本県天草郡倉岳町北東部地すべりについて, 第 18 回土質工学会研究発表会講演集, pp. 1105-1108
- 6) 荒牧昭二郎, 中山 洋, 北園芳人, 鈴木敦巳 (1984): 小浦地すべり粘土のせん断特性について, 第 19 回土質工学会研究発表会講演集, pp. 1241-1242
- 7) 松本幡郎 (1973): 熊本県天草郡本渡市山口採石場の山崩れについて, 昭和 47 年 7 月豪雪の調査と防災研究, 自然災害科学総合研究, pp. 198-202

- 8) 荒牧昭二郎, 中山 洋 (1980): 風化頁岩土の土質特性について (I), 昭和 54 年度研究発表会論文集, 土木学会西部支部, pp. 59-60
- 9) 荒牧昭二郎, 鈴木敦巳 (1981): 風化頁岩土の土質特性について (II), 第 16 回土質工学会研究発表会, pp. 157-160
- 10) 西田彰一, 若松 暉 (1975): 地すべり現象と岩質, 構造との関係—信越地方を中心として—, 自然災害特別研究研究成果, No. A-50-6, pp. 12-28
- 11) Hoek, E., Bray, J. (1977), 小野寺透, 吉中龍之進訳: 岩盤斜面工学, 朝倉書店
- 12) 松本達郎他 (1961): 日本地方地質誌, 九州地方, 朝倉書店
(昭和 59 年 2 月 14 日受付, 昭和 59 年 5 月 28 日受理)