

土木研究所資料

道路のり面・斜面崩壊調査(その2)

平成元年2月

建設省土木研究所
地質化学部地質研究室

Copyright © 1989 by P. W. R. I.

All rights reserved.No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Director General of P. W. R. I.

この報告書は、土木研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は、土木研究所長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。

道路のり面・斜面崩壊調査（その2）

地質研究室 室 長 中 村 康 夫

主任研究員 平 野 勇*

研 究 員 佐々木 靖 人

石 塚 克 己**

阿 部 昌 彦

要 旨

道路の路線選定時前の切土のり面・斜面の簡易な安定度判定を目的とし、幾つかの小～中規模崩壊について空中写真判読及び崩壊要因分析を行ない検討した結果についてまとめたものである。

キーワード：道路管理，道路防災，のり面崩壊，斜面崩壊

* 九州地方建設局立野ダム工事事務所 副所長

** 関東地方建設局長野国道工事事務所 管理第二課

ま え が き

近年山岳幹線道路の建設が増大しているが、我が国の地勢特性から山岳地域には不安定箇所が多く、地震や豪雨などによって道路のり面・斜面が崩壊し、その対策に予期せぬ多額の費用を要したり、交通に支障を生じ社会経済活動に大きな影響を及ぼす事例は少なくない。

のり面・斜面の安定は、重力によって滑動あるいは転動しようとする力と、剪断などで抵抗しようとする力とバランスの上で保たれている。このバランスは、地形、地質、土質、切土形状、のり面保護工、排水などの諸条件に係わっており、個々ののり面・斜面ごとに異なる。また、のり面・斜面は応力解放等による地山の弛み、風化、浸食、植生の変化等によって、経時的に不安定となりさらには降雨や地下水の変動による間隙水圧の増大等によって、バランスを失い崩壊等に至ることがある。

そのために、山地における道路の新たな建設、既存道路の維持管理に当たっては、のり面・斜面の不安定箇所の位置とその規模、不安定度の現況について適確に把握すると共に、適確な対策法の適用が必要となる。調査手段としては、まず広域的、全体的な概査を実施し、問題箇所を見落とし無く抽出することが必要である。続いて、問題箇所について問題程度の見極めを行ない、さらに必要に応じて弾性波探査、ボーリング等による精査が行なわれる。

現在、地質研究室では、道路のり面・斜面の概査において、簡易な調査手法を用いて不安定箇所を的確に抽出する手法の開発を目的とした研究を行なっている。本資料は、昭和58年～昭和60年度に発生した豪雨による道路のり面や自然斜面の崩壊について現地調査、空中写真判読及び室内土質試験等を行うとともに、のり面・斜面崩壊の地形・地質的発生条件を明らかにし、不安定なりのり面・斜面の抽出のための地形・地質的要因の分析を実施したものをとりまとめたものである。

なお、現地調査に当たっては、北陸地方建設局高田工事事務所、中国地方建設局浜田工事事務所及び山口工事事務所の各工事事務所にご協力を賜った。また、調査試験全般にわたり貴重なご意見を頂いた土木研究所桑原地質官、市川地質化学部長を始め関係各位に深く感謝する次第である。

平成元年2月

目 次

1. はじめに	1
2. 調査経緯および目的	2
3. 調査方法	7
3-1. 空中写真判読	7
3-2. 現地調査	11
4. 調査結果	12
4-1. 空中写真判読	12
4-2. 現地調査	39
5. まとめと問題点	47
引用文献	50

1. は じ め に

本研究は、山岳道路の計画時または維持・管理時において、切土のり面及び自然斜面の安定度判定を簡易にかつ効率良く行なうための概査手法の確立を目的としている。一般によく利用されている斜面の安定度判定法は、次の様に分類できる。

- 経験法 : 過去の履歴や空中写真判読及び地形・植生等の特性及び他地域との関連に基づいて、定性的に安定性を判断する方法。
- 点数法 : 崩壊に関与すると思われる各要因を幾つかのランクに分け、そのランクに予め危険度に応じた点数を与えておき、これらの点数の大きさによって対象としている斜面の危険度を予測する方法。
- 力学的安定解析法 : 対象斜面のある時点における力学的安定性を決定する基本的要因全てを定量的に把握し、それらの値を斜面安定の理論式に代入して安全率を算出し、これをもとに変動予測を行なう方法。
- 多変量解析法 : 大量の崩壊発生例及びそれらと比較可能な非発生例について、両者の差異をもたらしたと思われる多種類の要因データを集め、各要因の特性値の組み合わせと発生率の複合的關係を統計的に解析・把握し、これに基づいて今後の予測を進める方法。さらに、この結果を簡易にして点数法に利用することもある。

各手法は一長一短があり、それぞれを有機的に結び付けて考えるのが理想的であるが、その前段階として、各手法の特性に応じた効果的な斜面安定度判定要因の選択、各要因が持つ特性や各手法への適用上の留意点の把握、ある手法により検証したデータの他の手法への有効な利用法の検討等を行なうことで、さらに簡易かつ的確な斜面安定度判定法が可能となる。

このようなことを踏まえ本研究では簡易で的確な斜面安定度判定手法の確立をめざし、定性的及び定量的の両手法をまじえて主に二種の調査項目に分類し検討している。一つは、資料調査や空中写真判読を相互に関連させての斜面安定性判定の可能性の検討であり、このために幾つかの小～中規模斜面崩壊斜面及び隣接未崩壊を対象に、前年度より比較検討を行なった結果等についてとりまとめた。もう一つは、地形・地質調査や斜面調査用簡易貫入試験・簡易弾性波探査等の比較的簡易な現地調査・試験等が可能な際の斜面安定度判定の可能性の検討であり、これも上と同様に幾つかの崩壊斜面及び隣接未崩壊斜面を昭和58年度から昭和62年度の計5ヶ年にわたりとりあげ現地調査を行なったものについてとりまとめた。

なお、次章の空中写真判読調査と現地調査の各節に用いた調査箇所は、重複している部分も多少あるが多くは規模や地形・地質的特徴等全く別の斜面（母集団）である。

2. 調査経緯および目的

斜面及び切土のり面の安定度に関与する諸要因について把握するために、昭和58年度より、島根県、山口県、新潟県等の現地調査及び各地建からの崩壊資料や文献による調査・研究を行ってきたが、次の様な成果及び問題点が得られた。

昭和58年度

山陰豪雨災害において現地調査を行ない、閃緑岩、花崗閃緑岩、流紋岩質凝灰岩、安山岩及び同質凝灰岩について各被覆層の土質調査及び室内試験等を実施した。

その結果、流紋岩質凝灰岩を基岩とする斜面ではすべり層厚が薄く、一方、安山岩を基岩とする斜面はすべり層厚が厚いことがわかった。また、安全率低下率（ $1 - \text{雨水による表土層の飽和時の安全率} / \text{平常時安全率}$ ）が約50%以上になれば崩壊の頻度が高くなり、35%以下では崩壊が生じがたいという結果を得た。また、安全率低下率は、最大すべり層厚と正の相関関係があり、安全率低下率50%のラインは最大すべり層厚で約1.5～4メートル程度（流紋岩質凝灰岩で約2メートル、安山岩で約4メートル）である（図2-1）。

問題点は、未崩壊斜面との比較検討や、立体的な調査、土質や不均質な斜面における間隙水圧や剪断定数の的確な表わし方等が必要なことである。

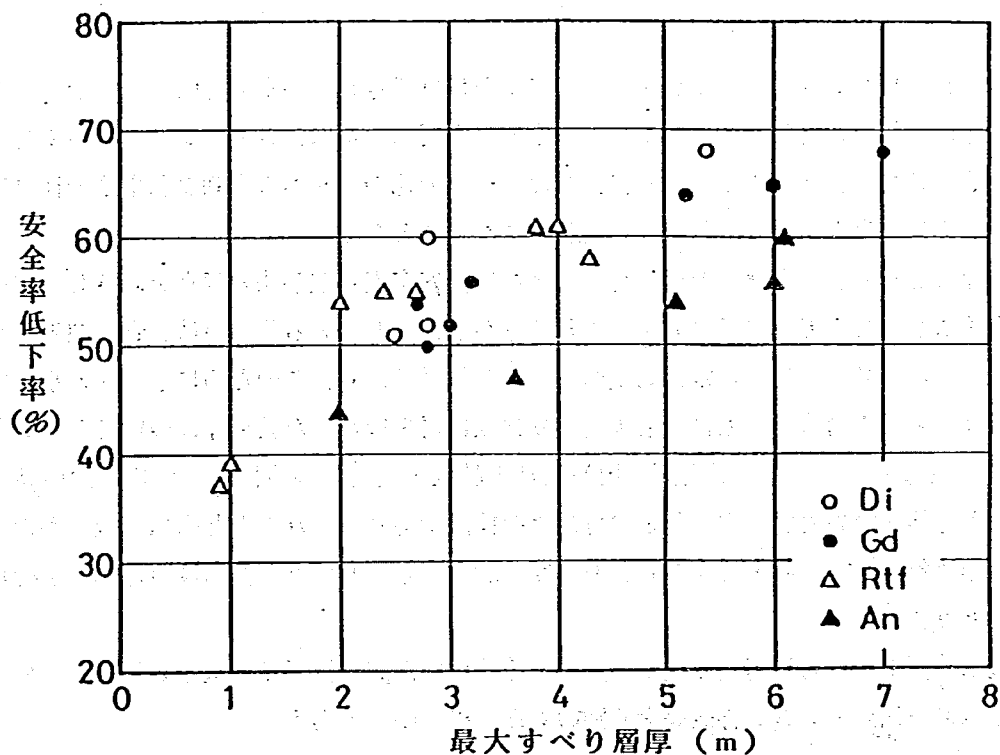


図-2-1

昭和59年度

58年度に引き続き山陰豪雨の現地調査を、主に結晶片岩地帯について行なった。斜面調査用簡易貫入試験や簡易弾性波探査による被覆層の調査で、すべり面部のNc値約10~20（被覆層はNc値約10以下で小刻みに変動する上部層とNc値約10~50で大きく変動する中~下部層、そしてNc値約50以上の基岩領域に分けられ、Nc値10~20は、上部層と中~下部層境界付近）及び弾性波速度約0.3km/secをすべり面とすることが多いことがわかった。また、被覆層の土質がほぼ一定であるためか、斜面勾配と安全率低下率の間に正の相関が明瞭に認められることや、斜面勾配と最大すべり厚層の相関図上で、崩壊域と非崩壊域を大まかではあるが分離可能であること等の結果が得られた（図2-2）。

問題点として、勾配・すべり面深度・平常時と豪雨時の安全率変化の関係を、さらに精度をあげてより多くの岩種について行なうこと、斜面における降雨の浸透形態、土質定数や安全率変化の調査の必要性等がある。

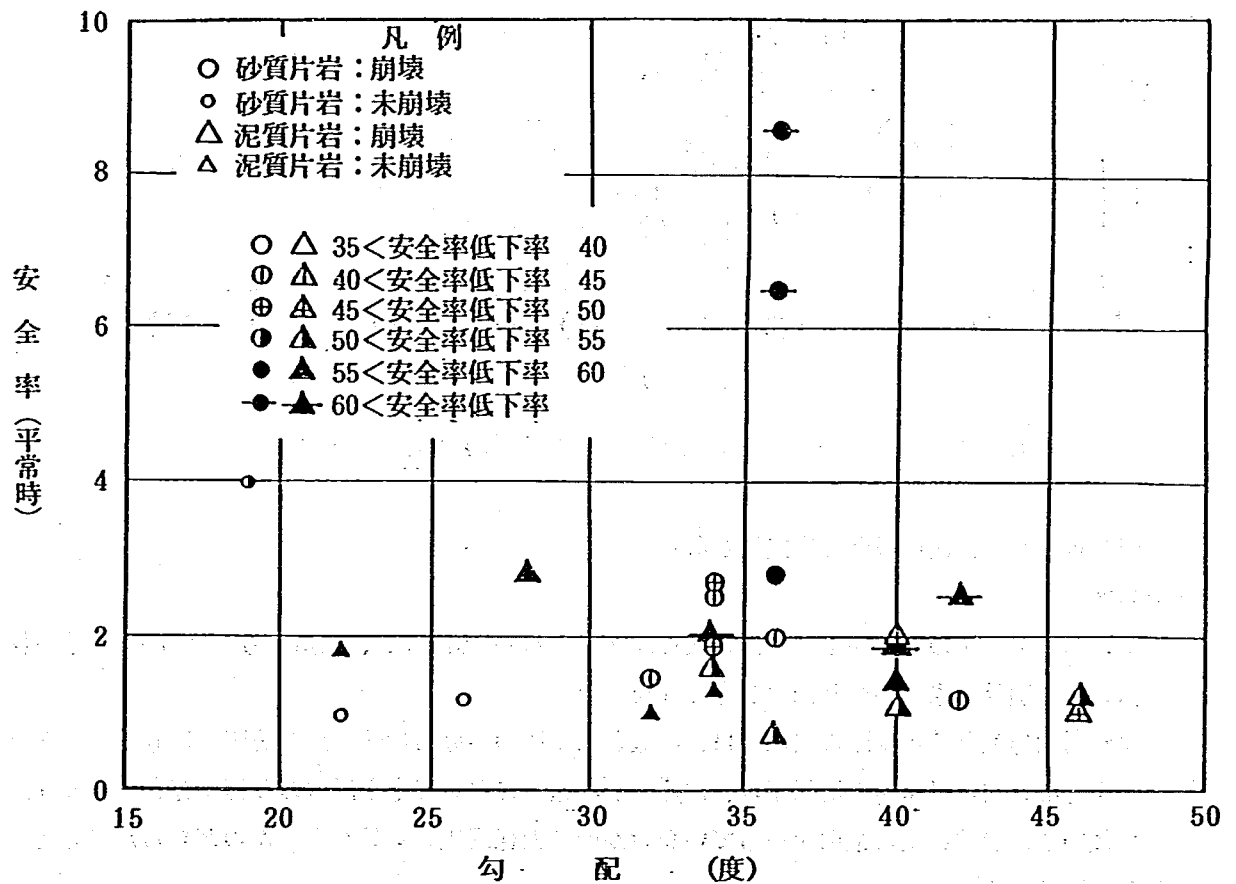


図-2-2 勾配と

昭和60年度

全地建225箇所のデータによる統計分析と、国道8号線沿いの新第三紀の砂岩~泥岩層の崩壊及び未崩壊斜面について現地調査等を行なった。

全地建のデータ解析では、時間最大雨量約20mm以上、連続雨量約50mmで崩壊が増加する傾向はあるが明瞭ではない。これは、地域特性の異なるもとを一度に比較したためであると考えられ

る。新第三紀層（名立層、川詰層、能生谷層）における崩壊及び未崩壊斜面を斜面勾配と被覆層厚との相関図上で比較すると、未発生領域、中間領域、崩壊領域に比較的明瞭に分けられる（図2-3）。

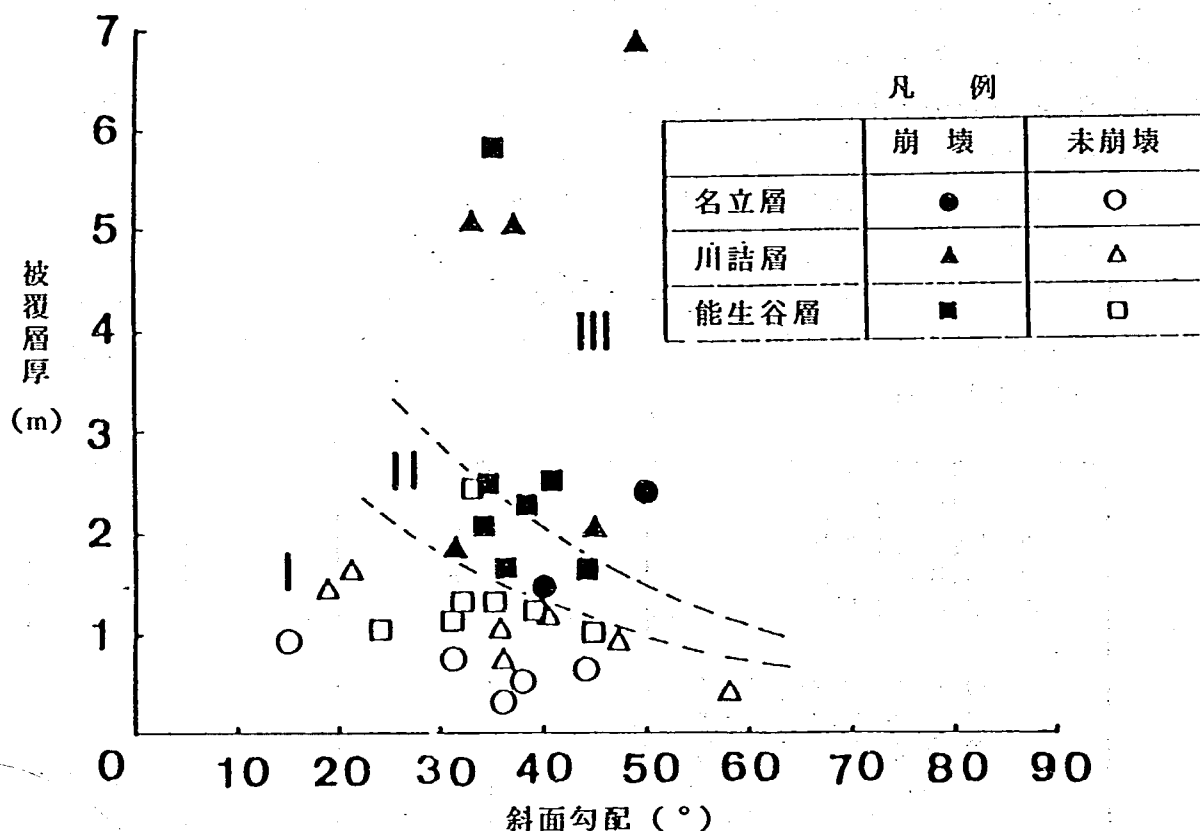


図-2-3 斜面勾配と被覆層厚から見た崩壊の発生と未発生

問題点として、被覆層厚の推定法がある。

昭和61年度

全地建のデータのうち切土のり面崩壊127箇所についての調査と、国道2号・9号・190号の各線沿いの崩壊及び未崩壊のり面の調査を行なった。

自然斜面勾配と被覆層厚の関係では、崩壊と未崩壊の各分布領域が比較的明瞭に分けられるが、のり面勾配と被覆層厚との関係では、前述の崩壊領域においても未崩壊のり面が存在し、のり面工事後いまだ崩壊に至る豪雨を被っていないかのり面保護工の効果があるかのどちらかが考えられる（図2-4）。

問題点として、被覆層厚の簡易測定法がある。

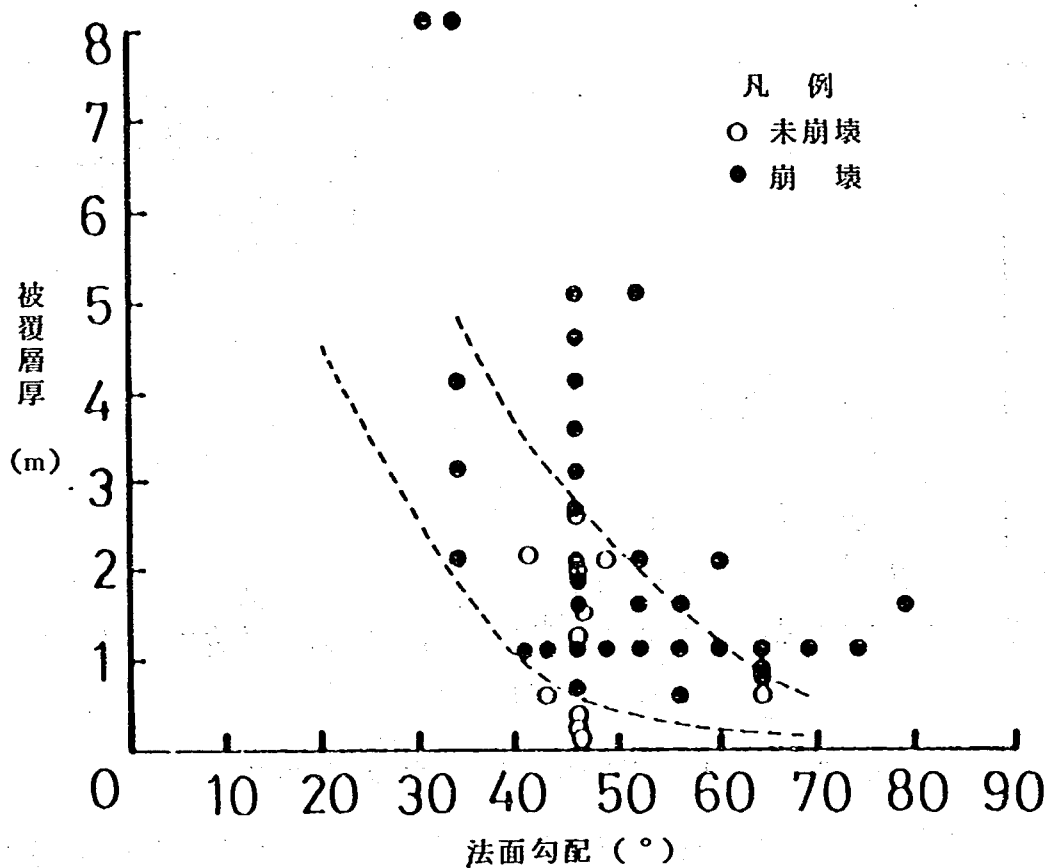


図 - 2 - 4 法面勾配と被覆厚との関係

昭和62年度

60年度に被災した中国地建管内の崩壊及び未崩壊斜面の現地調査と、中規模斜面崩壊における空中写真判読及び既存資料・地形図による斜面特性調査を行なった。

自然斜面では被覆層厚と安全率に比較的明瞭な負の相関が見られたが、のり面ではこれらの相関は不明瞭であった。空中写真判読によると、崩壊前の前兆地形と見られるものがあり、それらは主に緩傾斜で横幅が大きい崩壊地すべりに多く、特に崩壊部直上のたるみ地形は斜面勾配約20°以下のものに限定され、斜面勾配と崩壊前兆地形の間に密接な関係が予想される(図2-5)。

問題点としては、自然斜面の場合に比べてのり面の安定性評価は難しく、特にのり面抑止工や保護工の効果等が不明確であること、空中写真ではある程度以上大きな崩壊でなければ安定度の予測が難しく、また前兆地形の出現特性についての検討がほとんどなされていないこと等がある。

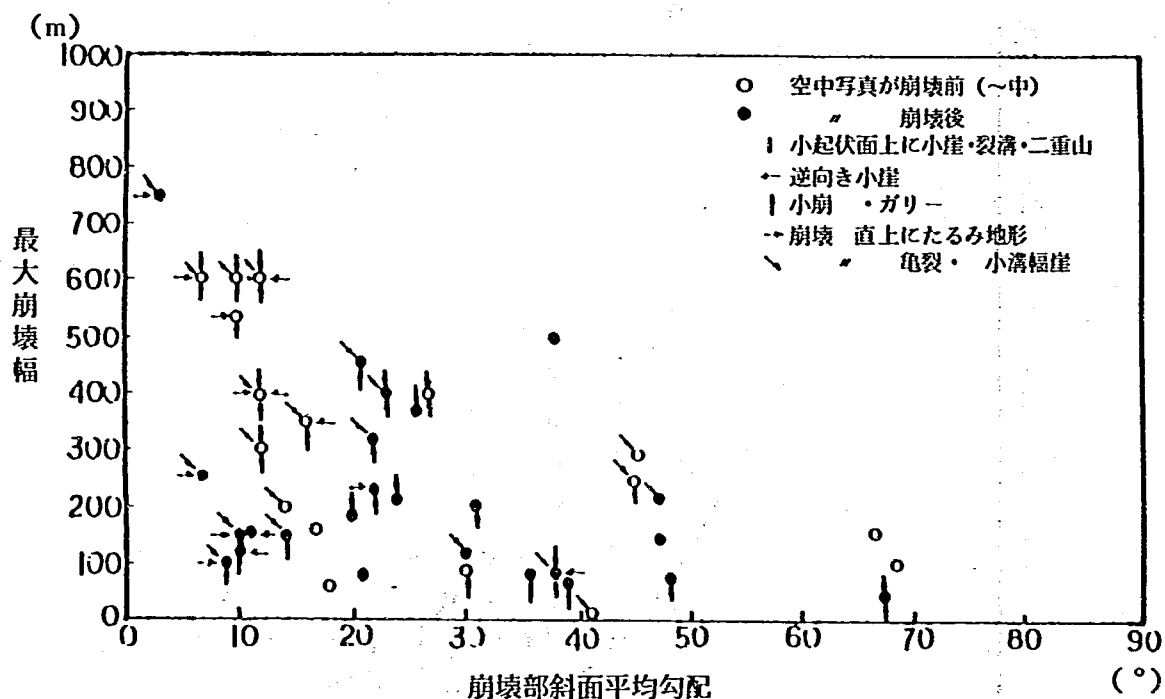


図 2-5 崩壊部斜面平均勾配と最大崩壊幅の関係

これらのうち、本資料では①～④について調査検討し、その他項目については概略的に考察を行なうにとどめた。

今年度はこれらの調査結果を踏まえ、空中写真判読・既存資料等による斜面特性調査の継続と各判読項目に関する検討及びこれまでに収集した資料や現地調査の結果得られたデータを用いた数値化解析等を行ない、安定性に関する要因分析を実施した。

調査検討の主眼及び目的は次の様な点に置いた。

- ① 空中写真判読において、注意する必要がある判読項目の選択。
- ② これらの判読項目の斜面安定度判定における位置付けの把握。
- ③ 空中写真判読を用いた斜面安定度判定のフロー作成。
- ④ 斜面安定度判定における各要因の関連性の把握。
- ⑤ 斜面安定度判定基準作成のための要因選択。
- ⑥ 簡易な現地試験が可能な際の斜面安定度判定フロー作成。
- ⑦ 簡易な斜面安定度判定基準の作成
- ⑧ 山岳道路における斜面安定度判定のための地形・地質概査法の作成
- ⑨ より精度の良い斜面安定度判定のために今後必要な事項の検討。

3. 調査方法

3-1. 空中写真判読

研究室で現地調査を行なった資料や、公刊文献等により過去の崩壊履歴や斜面の地形・地山状態(地質及び土質)・植生等の各特性がある程度把握されている崩壊斜面及び隣接の未崩壊斜面を対象に試料調査一覧表を作成した。さらに、国土地理院発行の1/15,000~1/8,000のカラーまたはモノクロの空中写真を用いて地形判読を行ない、各種の要因及び空中写真判読項目についての調査一覧表を作成し、各調査項目についてヒストグラム、相関図の作成及び数量化解析を行ない、各要因や判読項目が斜面崩壊に関与する度合いについて検討した。資料調査及び空中写真判読調査の調査一覧表を表3-1-1、表3-1-2に示す。

次に、調査対象とした箇所を表3-1-3に示す。斜面崩壊を崩壊規模によって、小規模崩壊(崩壊土量約1,000m³未満)と中規模崩壊(崩壊土量約1,000m³以上)に便宜的に分けると、対象箇所全体143箇所のうち約46箇所が小規模崩壊で、その他が中規模崩壊となる。前年度までの調査によるとこの分類による小規模崩壊は主に表層崩壊に属し、中規模崩壊は主に基岩を含む崩壊や地すべり等に属することがわかっている。

調査箇所は、比較的資料の揃っているものの中でも特に地質(土質)断面図のあるものを優先している。これは、前年度までの調査において、調査地域を限定した場合は結果も比較的よくまとまっているが、広域的に調査した場合は結果のばらつきが大きく、これが主に地質(またはそれが風化した土質)の相違によるものと推定したからである。平均降雨量等気象の相違についての考慮も必要であると考えられるが、資料中にこの項目の記述が少なく調査誤差も大きいという理由や、本州で比較する場合(かつ地質別に比較する場合)気象の相違による風化層の物性の相違は大きく異なることはなく、降雨量の相違が被覆層厚の相違に反映される程度であろうという判断から、気象による地域特性の考慮は今回は省略している。よって、斜面崩壊の検討において一般には重要であるとされる降雨量と斜面の安定性の関係については本資料では検討していない。

また、空中写真判読法が斜面内部の情報をどの程度捕捉可能であるかについて、幾つかの調査地域を選択し、より詳細な検討を行った。これは、地山状態が非常によく判明している幾つかの地域において、種々の縮尺の空中写真を用いて判読結果と地山の状態との比較を行なったものであり、主に次の点について検討した。

- ① 岩種・岩の硬さ・岩級・風化・変質等の面的な岩質の相違や、それらの境界がどの程度判読可能か。また、判読可能なとき、どのような地形として認識されるか。
- ② 断層・節理・亀裂等の線的な構造がどの程度判読可能か。また、判読可能なとき、どのような地形として認識されるか。
- ③ 地形や地質等の基本的条件により、判読項目の数や種類に相違があるか。
- ④ 空中写真の縮尺により、判読項目の数や種類に相違があるか。
- ⑤ 不安定斜面はどの程度判読(判定)可能か。また、判読(判定)可能なとき、どのような地形と

表 3-1-1 資料調查一覽表

通番号	地区名	タイプ	-	-	関係崩壊地	
調査地			緯度・経度			
1/20万地形図		1/5万地形図		1/2.5万地形図		
A 崩 壊	概況：		1.運動特性			
			2.崩壊回数	(回)		
			3.頻度	(回/10年)		
			4.平均速度	(mm/日)		
			5.平均傾斜変動	(秒/日)		
			6.崩壊時速度	(mm/時)		
			7.崩壊時傾斜変動	(秒/時)		
			8.最近発生年月日	年	月	日
			9.最古発生年月日	年	月	日
			10.発生原因			
			11.発生誘因			
			12.誘因の具体名			
			13.被害の種類			
			14.通行規制の日数			
			15.被害の総額			
B 地 形	概況：		1.崩壊標高	(m)		
			2.崩壊地最大長	(m)		
			3. " 幅	(m)		
			4.崩壊地平均長	(m)		
			5. " 幅	(m)		
			6.崩壊部面積	(㎡)		
			7.崩壊土塊全面積	(㎡)		
			8.崩壊部平均深	(m)		
			9. " 最大深	(m)		
			10.土塊平均厚	(m)		
			11. " 最大厚	(m)		
			12.崩壊土量	(㎡)		
			13.残積土量	(㎡)		
			14.鉛直断面形			
			15.崩壊地外形			
16.土塊移動度						
17.土塊形態						
18.侵食状況						
19.付近の崩壊地						
C 地 下 水	概況：		1.湧水状況			
			2.湧水位置			
			3.平均湧水量	(ℓ/sec)		
			4.最大 "	(")		
			5.土塊部地下水位	(m)		
			6.地下水位変動	(")		

書名		年度・ページ		
論文・題名		著者名		
D 土 質 ・ 地 質	土 質	概況：	1.土質区分	
			2.色調	
			3.元岩種	
			4.成因	
	土 質 ・ 地 質	概況：	1.土質区分	
			2.色調	
			3.元岩種	
			4.成因	
			5.厚さ	
			6.境界の位置	
	基盤の地質・地質調査	概況：	1.時代	
			2.岩種	
			3.平均粒径	
			4.硬さ	
		5.亀裂・節理の状況		
		6.地層と斜面の関係		
		7.地層の走向・傾斜		
		8.断層の位置		
		9. " 種類		
		10.褶曲構造		
		11.風化変質の程度		
		12.被覆層厚	(m)	
		13.風化 "	(°)	
		14.地層の位置		
E 植 生	概況：	1.土壌内の主植生		
2.周辺部の "				
F 物 性 ・ 対 策 工	概況：	1.対策前安全率		
		2.土壌密度	試・推 (t/m ³)	
		3.すべり面のC	試・推 (t/m ²)	
		4. " のφ	試・推 (°)	
		5.対策後安全率		
		6.対策工法	a b c d e	
		7.その他		
備考				

表3-1-2 空中写真及び地形図判読一覧表

通番号	地区名	崩壊タイプ	-	-
空中写真	NO.	縮尺	撮影時期	
A 斜面 形状	1. 元斜面水平断面 (1. 凹 2. 直線 3. 凸 4. 複合 $\sim$) 2. 元斜面鉛直断面 (1. 凹 2. 直線 3. 凸 4. 複合 $\sim$ 5. 複合 $\sim$) 3. 斜面方位 (1. N 2. NE 3. E 4. SE 5. S 6. SW 7. W 8. NW) 4. 冠頂部の位置 (1. 下部 2. 中部 3. 上部 4. 頂上部 5. 反対斜面)			
	B 崩壊 地形			
C 崩壊 原因 地形	1. 崩壊の型 (1. 岩盤崩壊 2. 風化岩 3. 崩壊土 4. 粘質土) 2. 崩壊地外形 (1. 角形 2. 馬蹄型 3. 半円型 4. 沢型) 3. 地形痕跡 (1. 不明瞭 2. 一部不明瞭 3. 明瞭) 4. 亜変動域 (1. たるみ 2. 亀裂・微小褶落崖 3. 両方) 5. 亜不動域の位置 (1. 背後のみ 2. 側背後のみ 3. 両方) 6. 主褶落崖 (1. 不明瞭 2. 明瞭) 7. 副褶落崖 (1. 不明瞭 2. 明瞭) 8. 副褶落崖の段数 (1. 1段 2. 2段以上) 9. 副褶落崖の外形 (1. 直線的 2. 曲線的) 10. 頂部凹地 (1. 不明瞭 2. 明瞭) 11. 頂部凹地形 (1. 円形状 2. 線状 3. 地割れ) 12. 凹地水の有無 (1. 湿地 2. 沼) 13. 分離小丘 (1. 不明瞭 2. 明瞭) 14. 分離小丘形 (1. 円形状 2. 線状) 15. 泥流丘 (1. 不定形 2. 縦長) 16. 末端隆起 (1. ドーム状 2. リッジ状) 17. 末端部ブロック状土塊 (1. あり) 18. 土塊内亀裂 (1. 不定方向 2. 定方向) 19. 副次すべり (1. 単一 2. 複数) 20. 末端部崩壊 (1. 跡地 2. 裸地) 21. 河道の変形 (1. あり)			
	D 開 連 情 報			
E 地形 図 に よ る 判 読 計 測	1. 地区内の主植生 (1. 露岩・裸地 2. 水田 3. 畑・草荒地 4. 笹・竹 5. 伐採跡地 6. 灌木・幼令林 7. 針葉樹 8. 広葉樹 9. 混交林) 2. 周辺部の主植生 (同上) 3. 植生密度 (1. 粗 2. 中 3. 密) 4. 植生生育度 (1. 小・不良 2. 中 3. 大・良好) 5. 山稜型 (1. $\sim$ 2. $\sim$ 3. $\sim$ 4. $\sim$ 5. $\sim$ 6. $\sim$) 6. 非対称斜面 (1. 一部 2. 全体) 7. 色調 (1. 黒色 2. 茶褐色 3. 暗灰色 4. 赤土色 5. 黄色 6. 明灰・白色)			
	E 地形 図 に よ る 判 読 計 測			
C 崩壊 原因 地形	1. 急崖 (1. 地区より上 2. 地区内 3. 地区より下) 2. 逕急線 (1. " 2. " 3. ") 3. 逕緩線 (1. " 2. " 3. ") 4. 段丘崖 (1. " 2. " 3. ") 5. 小起伏面 (1. " 2. " 3. ") 6. 小起伏面の特徵 (1. 段丘 2. 前輪面) 7. 小起伏面の微地形 (1. 裂溝 2. 二重山稜 3. 小崖地形) 8. 小崩壊・ガリー (1. 地区より上 2. 地区内 3. 地区より下) 9. 小崩壊・ガリーの特徴 (1. 単一 2. 非系統的 3. 系統的)			
	C 崩壊 原因 地形			
C 崩壊 原因 地形	10. 逆向き小崖 (1. 地区より上 2. 地区内 3. 地区より下) 11. 火山地形の有無 (1. 地区内) 12. 火山地形の種類 (1. 溶岩流 2. 溶岩円頂丘 3. 火砕流堆積面 4. 火砕丘 5. 火口・カルデラ 6. 岩屑流) 13. 火山地形上の微地形 (1. 裂溝 2. 二重山稜 3. 小崖地形) 14. 人工改変 (1. 地区より上 2. 地区内 3. 地区より下) 15. 人工改変の種類 (1. 盛土 2. 切土 3. 切盛土 4. 採石・鉱山) 16. 河川・海岸の侵食 (1. 地区内 2. 地区より下)			
	C 崩壊 原因 地形			
C 崩壊 原因 地形	1. 水系 (1. 樹枝状 2. 放射 3. 平行 4. 格子 5. 羽毛 6. 環 7. 乱網) 2. 水系密度 (4×4㎞の枠に交わる水系数) 3. 起伏度 (4×4㎞の枠内の最大比高) 4. 地区斜面の尾根の標高 5. 崩壊部上端標高 6. 土塊部上端標高 7. 崩壊部下端標高 8. 土塊部下端標高 9. 谷部の標高 10. 崩壊部の長さ 11. " 幅 12. 土塊部の長さ 13. " 幅 14. 褶落崖の長さ 15. 斜面長 16. 元斜面の平均傾斜 17. 崩壊部の平均傾斜 18. 土塊の平均傾斜 19. 褶落崖の平均傾斜			
	備考			

表3-1-3 調查對象箇所一覽表

名	林	1/5万図以名	空中写真NO.
浅	魚	浅	虫
早		早	
赤	松	清	川
丘	牧	月	山
伊豆河津町		下	田
京伊豆町白田		稲	取
御	岳	御	岳山
地	山	戸田	長野
京	尾	大	町
京川ダム区石山		荒	島岳
玉ノ木		地	千
高田山トンネル		小	谷
栗野	名	守	門岳
吉	尾	氷	見
角	城戸	氷	見
羽	入	地	泊
下	又	地	島
赤	比	地	吉
由	比	地	原
金	谷	地	坂
大京海岸		地	妙
大谷郡山トンネル		地	今
白	谷	地	龍皇山
岩	山	地	松
南	家	地	津西郡
福知	山	地	山
坂	峠	地	厚
野	山	地	本
石	東	地	大
大	久	地	伊予三峠
奥	山	地	長
松	内	地	神
竹	川	地	取
人	吉	地	日
平	山	地	佐
渡	水	地	佐
寿	ダム	地	左
新石河ダム		地	
北本内ダム		地	新
七北田ダム		地	南
長井ダム		地	
淵山ダム		地	
戸草ダム		地	市
味増川ダム		地	伊
遠山川ダム		地	時
大戸川ダム		地	京都市東部
日吉ダム		地	京都市西部
大浅ダム		地	吉
余野川ダム		地	広
下金田ダム		地	上
弥栄ダム		地	大
立野ダム		地	新
河辺川ダム		地	卯
大波ダム		地	上
高良川ダム		地	久
			留
			米

名	終	1/5万国姓名	空中写真
迎富	19.98	知小	HO-77-2 c7.17-18
大有	19.98	田	HO-77-2 c13.5-6
益	19.98	山	TO-76-16 c-13.21-22
金	19.98	世	HO-76-5 c10.19-20
長	19.98	古	HO-77-3 C14C.18-19
益	19.98	相	HO-76-4 C-9.16-17
九	19.98	戸	HO-76-16 c19.2-3
一	19.98	川	CB-76-7 c10.15-16
若	19.98	創	SI-75-12 C78.37-38
植	19.98	山	SI-76-1 C3.10-11
下	19.98	山	TO-76-13 cE1.4-5
越	19.98	淺	CB-76-4 c11.9-10
和	19.98	本	SI-75-12 C15.23-24
免	19.98	大	SI-75-12 c12.41-43
久	19.98	高	KA-76-5 c4.24-25
中	19.98	野	CB-76-8 C14.9-10
小	19.98	智	TO-76-23 C9C.3-9
七	19.98	岡	HO-74-18 c58.17-18
森	19.98	牛	HO-74-18 c50.15-17
上	19.98	本	HO-74-18 C51.37-38
名	19.98	牧	SI-72-12 C11.17-18
列	19.98	日	CB-76-15 C5.24-25
白	19.98	井	CB-76-15 C109.20-22
赤	19.98	上	HO-77-43 CB.20-21
川	19.98	高	CB-76-4 C1.1-2
源	19.98	白	CB-77-7 c8.23-24
石	19.98	山	CB-77-7 c121.10-12
石	19.98	山	TO-77-10 c58.6-7
石	19.98	石	TO-75-21 c39.7-8
石	19.98	石	TO-76-13 c39.6-10 c41.17-19
石	19.98	石	II-76-2 c41.1-2
石	19.98	石	HO-74-23 c41.13-14
石	19.98	石	HO-76-5 c19.18-19
石	19.98	石	CB-76-14 c2c.2-4

昭和59年 2月報告	№ 1~26	(1126)
・ 11月報告	S-1,2,3,5,7,9 H-2,6,7	(11 9)
・ 61年 2月報告	№ 2,3,4,5,7,8,9,10,30,31	(11 10)
・ 62年 2月報告	F-1	(11 1)
	姓	田
	・	CG-76-9,C16,3-5
	・	CG-76-9,C181,6-10
	・	CG-76-9,C19,5-8
	・	CG-76-9,C19,11-13
	・	CG-76-9,C21,2-7
	高 田 西 郎	C3-76-4,C2,2-5
	・	C3-75-12,C13,8-11
	宇 部 悠 然	CG-74-12,C20,4-5
	小 倉 金 雄	10-74-7,C3,6-8
	厚 秋	CG-74-12,C131,20-21
	・	CG-74-12,C131,25-27
	・	CG-74-12,C150,5-6
	小 碓 淳	CG-74-12,C101,65-68
	・	CG-74-12,C12,54-55
	・	CG-74-12,C150,31-32
	「東京」	CG-76-9,C13,4-5
		CG-76-9,C14,7-9
		CG-76-9,C183,1-2
		CG-76-9,C19,17-18

して認識され、その判定基準はどのようなものであるか。

これらは、地理的位置、岩種及び地質時代、斜面勾配、空中写真の縮尺、地域の雨量特性等により変化するものであると考えられる。よって、定性的ではあるがこれらに注意しつつ考察を進めた。

調査結果は、資料調査平面図及び断面図、空中写真判読図、資料調査結果一覧表及び空中写真判読結果一覧表としてまとめたうえで、上の①～⑤について検討した。

最後に、空中写真を用いての斜面崩壊に関する地域特性把握の検討を行なっている。

空中写真判読は、比較的大規模な崩壊や地すべりに対しては地山内部推定のための有効な調査方法である。しかし、表層崩壊等小規模な崩壊に対しては、空中写真各々が持つ判読限界を超える精度が必要となることが多く、大規模崩壊や地すべり調査と同様な調査方法をとるならば空中写真判読の小規模崩壊に対する有効性は薄れてしまう。現在、空中写真の小規模崩壊に対する一般的な利用法は、崩壊地の分布の把握や地形全体における崩壊位置の確認、植生の状況把握等に限定され、斜面の地山内部推定法としてはほとんど利用されていない。しかし、空中写真は、広域のかつ客観的にデータが得られるメリットがあり、調査地域をうまく選択し調査手法を検討することにより、表層崩壊における被覆層の状況推定法についても有効な調査手法となり得るように思われる。

そこで空中写真を用いて、斜面崩壊に関する地域特性をより客観的に捉え、調査地域における斜面の被覆層の状況の全体的傾向を他地域との比較により考察する手法についての一つの試論として、崩壊規模と崩壊個数を目安にして簡単な考察を行なったものについて述べた。これは、土木研究所資料第2612号「道路のり面・斜面崩壊調査（その1）」¹⁾（第一部）のデータを採用した。調査位置や地形・地質データ及び各データ及びデータによるヒストグラム、詳細な検討等については、文献¹⁾に示されている。

3-2. 現地調査

研究室において昭和62年度までに資料調査・現地調査を行なった各崩壊・未崩壊斜面・切土のり面及び昭和60年度に収集した全地建の斜面崩壊資料の一部を用いて、簡易試験結果や安全率の計算結果等を含めた調査一覧表を作成するとともに、これに基づき数量化解析を行ない、崩壊に関与する各要因の種類と崩壊への寄与度について調査した。

調査箇所は、昭和58年度から60年度にかけて発生した台風や梅雨末期の豪雨による斜面崩壊災害箇所と、その周辺より選定した崩壊・未崩壊斜面・切土のり面、合計169箇所である。

この調査においても空中写真判読と同様に調査箇所が広域的でばらつきが大きいため、降雨と斜面安定性の検討については省略している。また、これらの調査箇所における各地質別の代表断面図の例や各データのヒストグラム、被覆層の地質・深度別流径分布、同じく密度変化、被覆層厚と安全率の関係等の基本的なデータ集計結果は、文献¹⁾に掲載しているので、本資料では省略した。

4. 調査結果

4-1. 空中写真判読

(1) 空中写真判読を利用した数量化解析

この項では、空中写真判読により経験的に判読される各地形的特徴のうち、斜面安定度判定の指標として有効に利用できる項目の選定を目的として、資料調査及び空中写真判読によって得られたデータをもとに数量化解析を行なった結果について述べる。

調査箇所には切土のり面崩壊も幾つか含んであるが、全体として自然斜面崩壊が主体であるため、自然斜面・切土のり面の区別をせず、単に斜面として一括して解析した。また、空中写真の撮影時期は、崩壊前のものと崩壊後のものが含まれており、地すべり等の土塊の多くは崩壊中と判断されるべきものであるため、詳しくは、崩壊前・崩壊中・崩壊後の、三つに分類する必要がある。地すべり、岩すべりは崩壊要因となる岩塊・土塊がいまだに存在しており、近隣の斜面に比較して不安定な状態であると推定されるため、崩壊中のものも利用することとした。最終的に調査対象となった斜面は、崩壊斜面が104箇所、これに隣接する未崩壊箇所が104箇所の計208箇所である。選択された崩壊箇所の斜面勾配、崩壊幅のヒストグラムを図4-1-1①、②に示す。崩壊幅（規模）は、ばらつきを待

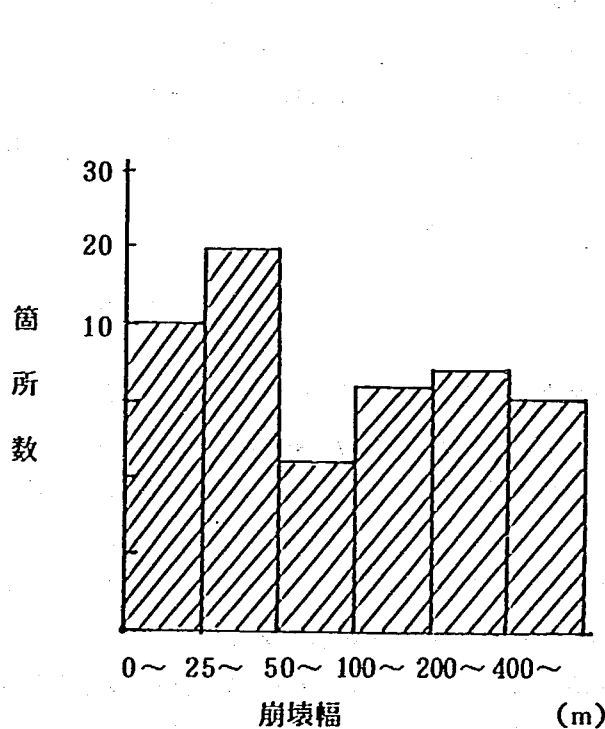


図 4-1-1 ① 崩壊幅のヒストグラム

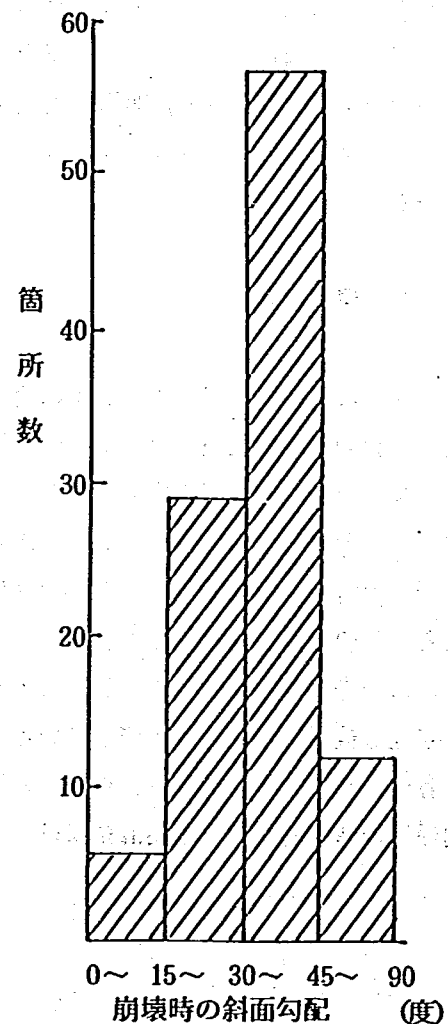


図 4-1-1 ② 斜面勾配ヒストグラム

たせて選択しているが、斜面勾配は、30～45°のことが多い。

調査対象とした空中写真判読項目を表4-1-1に示す。空中写真判読項目は、便宜上、崩壊地形（崩壊が生じたことを示す地形）及び崩壊素因地形（崩壊に関与する可能性が高く、しかも崩壊地形ではないと推定されるもの）にわけた。これは、空中写真判読においては一般には崩壊地形の有無によって危険性を判断するが、これらが存在しない場合についても考察するためである。各空中写真判読項目を説明変数（説明因子）、崩壊・非崩壊または崩壊幅を目的変数（外的基準）として、数量化第Ⅱ類による解析を行なった。数量化第Ⅱ類は、2個以上の変数の間に単純な線形関係を想定し、1個の目的変数（外的基準）を残りの説明変数から推測する手法の一つであり、説明変数、目的変数ともに質的なデータよりなる場合に適用される。崩壊・未崩壊の他に崩壊幅についても検討した理由は、斜面災害として崩壊を捉えた場合、崩壊の発生／未発生だけでなく崩壊の規模が重要なことを考慮したためである。また、斜面勾配の相違により地表に現れる崩壊地形・崩壊素因地形に影響があるか否かについて把握するため、斜面勾配を目的変数とした解析も行なった。

本来ならば調査対象とした24個の各説明因子全体を一度に解析するのが最も客観的なスコア値（カテゴリー数量）を得る方法だが、これには莫大な計算・記憶容量を必要とし、パソコンレベルでは無理があるので、各説明因子を1回の解析当り5～7個程適当に選択し、各説明因子のカテゴリー数量の範囲や偏相関係数（共に説明因子の寄与率を示す変数）が最低1～2度求められるように説明因子の組み合わせを少しずつ変化させ解析を繰り返した。最後に、説明因子毎に偏相関係数の平均値を算出しこれを各説明因子の代表的な偏相関係数とみなし、大小を比較して、目的変数に対する寄与の程度を順位づけした。偏相関係数を寄与の目安としたのは、カテゴリー数量の範囲を目安とすると、あるカテゴリーに属するデータが極めて少ない場合に、まれにそのカテゴリー数量が他と非常に懸け離れた値を示すことがあり、これをそのまま採用すると、範囲は非常に高い値を示してしまうこと、また、各説明因子毎にカテゴリーの数が異なっており、同じレベルで比較不可能なこと等を考慮したものである。ただし、カテゴリー数量の範囲というパラメーターにも便利な点がある。それはごくまれにしか現れない因子（微地形等）の寄与率を比較的正当に評価する点である。偏相関係数においては、これらが現れる個数が少ないため、因子としては低い値となってしまうことが多い様である。まれにしか現れない因子の取扱い方は、誤差が大きく難しい点が多い。今回は主に偏相関係数を目安にしているが、微地形等に特に注目する際には、両方の併用やなんらかの工夫が必要であろう。ところでカテゴリー数量の範囲や偏相関係数は、説明因子の組合せ方により多少変化するため、説明因子の組合せ方についても注意する必要があるが、高い偏相関係数を示す説明因子や偏相関係数のばらつきの多い因子は、解析において説明因子として採用する回数を多く繰り返すことによって、その信頼性を高め、誤差を補正することに努めている。

目的変数に崩壊・未崩壊または崩壊幅を採用したときの各説明因子の偏相関係数及び効果順位を求めると表4-1-2の様になる。これから、斜面崩壊において注意する必要がある因子は、小亀裂・微小滑落崖、斜面水平断面形状、滑落崖の有無、小崩壊・ガリー、河道の変形、遷急線、遷緩線、斜面勾配等であることがわかる。また、崩壊幅を左右する因子としては、主滑落崖の有無、小亀裂・微小滑落崖、斜面水平断面形状、急崖、遷緩線、段丘崖、斜面垂直断面、斜面勾配等である。各々の上位8位までを説明変数として解析した結果について、カテゴリー数量及びヒストグラムを示すと表4-1-3、4-1-4の通りとなる。崩壊／未崩壊の的中率は、約81%である。ちなみに、崩壊地形

表4-1-1 空中写真判読結果におけるアイテム・カテゴリー一覧表

(☆: 崩壊地形、★: 崩壊要因地形)

AERODAT (300, 50)

カテゴリーナンバー	1	2	3	4	5	6	7	8	9	説明文字○または 目的変数◎として 採用した項目
アイテムナンバー										
1. 崩壊・未崩壊	崩壊	未崩壊								◎
2. 切土のり面・自然斜面	切土のり面	自然斜面								
3. 空中写真撮影時	崩壊前	崩壊中	崩壊後							
★4. 元斜面水平断面	凹	直線	凸	複合						○
★5. 元斜面垂直断面	凹	直線	凸	複合						○
6. 崩壊型	なし	岩盤	風化岩	崩壊土	粘質土					
7. 崩壊地外形	なし	角形	馬蹄型	半円型	沢型					
8. 崩壊地形残度	なし	不明瞭	ほぼ明瞭							
☆9. たるみ地形	なし	あり								○
☆10. 亀裂・微小滑落崖	なし	あり								○
☆11. 主滑落崖	なし	不明瞭	ほぼ明瞭							○
☆12. 副滑落崖、面状滑り、末端部崩壊	なし	不明瞭	ほぼ明瞭							○
☆13. 頭部凹地	なし	不明瞭	ほぼ明瞭							○
☆14. 分離小丘	なし	不明瞭	ほぼ明瞭							○
☆15. 泥流丘	なし	不定形	縦長							○
☆16. 末端隆起	なし	ドーム状	リッジ状							○
☆17. 崩壊ブロック状地	なし	あり								○
☆18. 土壌内亀裂	なし	不定方向	定方向							○
☆19. 河道の変形	なし	あり								○
★20. 急崖	なし	上部にあり	あり	下部にあり						○
★21. 逕急線	なし	上部にあり	あり	下部にあり						○
★22. 逕緩線	なし	上部にあり	あり	下部にあり						○
★23. 段丘崖	なし	上部にあり	あり	下部にあり						○
★24. 小起伏面	なし	上部にあり	あり	下部にあり						○
★25. 破碎線・小亀裂	なし	あり								○
★26. 二重山稜	なし	あり								○
★27. 小崖・逆向き小崖	なし	あり								○
★28. 小崩壊・ガリー	なし	上部にあり	あり	下部にあり						○
★29. 非対称斜面(ケスタ地形)	なし	一部あり	全体にあり							○
30. 植生	露岩・裸地	水田	畑・草地	笹・竹	伐採跡地	森林・杉畑	針葉樹	広葉樹	混交林	
31. 崩壊幅	0~25m	25~50m	50~100m	100~200m	200~400m	400m~				◎
★32. 斜面平均勾配	0~15°	15~30°	30~45°	45~60°	60°~					○ ◎
★33. 25~27のいずれか	なし	あり								○
34.										
35.										

が存在しない（崩壊素因地形のみ）と仮定した場合に上位8位まで（斜面水平断面形状、小崩壊・ガリー、遷急線、遷緩線、斜面勾配、斜面垂直断面形状、小起伏面、二重山稜）を説明変量として解析した結果についてみると、崩壊／未崩壊的的中率は、約70%である。これから、崩壊地形が全く存在しないときの的中率は、崩壊地形が存在するときに比べて約10%低下することがわかる。

これらより、崩壊しやすい斜面の一般的な特徴を推定してみると、「水平断面形状は凹型ないし直線型、遷急線上または遷急線の上部付近（かつ遷緩線の上部）で小崩壊やガリーが存在し（小崩壊やガリーが上部に存在する斜面は比較的安定）、滑落崖や河道の変形等が認められる勾配の比較的急な斜面」となり、一般的な認識と調和的なものである。また、崩壊幅が大きい斜面の特徴は、「水平断面が凸型（ないし複合型）で急崖が存在し、遷緩線の下部、段丘崖の上部で滑落崖の上部で認められる比較的緩傾斜の斜面」となり、滑落崖等の崩壊地形を除くと、崩壊しやすい斜面の特徴と崩壊幅の大きい斜面の特徴とはほぼ正反対の傾向があることがわかる。

目的変数として崩壊部平均勾配を採用し、斜面の勾配による各説明因子の出現状況を確認してみると、斜面勾配との相関が高いのは、分離小丘、小起伏面、土塊内亀裂、逆向き小崖、斜面、泥流丘、副次すべり・末端部崩壊等であり、多くは、斜面勾配が緩いほど出現率が高い。崩壊・未崩壊や崩壊

表4-1-2 各外的基準と説明因子の寄与順位
(偏相関係数による判定)

外的基準 説明因子	崩壊・未崩壊 順位	崩壊幅 順位	勾配 順位
斜面水平断面	2	3	5
斜面垂直断面	9	7	14
たるみ地形	14	13	16
小崩壊・ガリー	1	2	22
主滑落崖	3	1	23
副次すべり・末端部崩壊	21	20	7
頭部凹地	20	12	13
分離小丘	24	9	1
泥流丘	17	21	6
末端隆起	16	16	15
土塊内亀裂	22	23	24
土塊内亀裂	8	8	3
河道変形	5	14	20
急崖	12	4	8
遷急線	6	11	12
遷緩線	7	5	11
段丘崖	13	6	10
小起伏面	10	10	2
破碎線	23	18	19
二重山稜	11	24	21
逆向き小崖	18	22	4
小崩壊・ガリー	4	15	9
ケスタ地形	15	17	18
副次すべり・末端部崩壊	19	19	17
勾配	6-7の間	6-7の間	

表4-1-3 数量化解析結果

ファイル名: AERODAT (全データ数 300, 全項目数 50)
 外的基準名: 崩壊・未崩壊 第 1 軸 (該当データ数 208, 説明因子数 8)

アイテム名	因子-No	データ数	因子-値	範囲	相関係数	他因子との相関	崩壊・未崩壊による相関
小亀裂・微小滑落崖	1	47	-0.62399				
	2	35	-0.28287				
	3	45	0.31101				
	4	81	0.31151	0.93549	0.35951	3	2
主滑落崖	1	170	0.14630				
	2	38	-0.65451	0.80081	0.21783	5	5
河道の変形	1	160	0.31943				
	2	19	-1.07110				
	3	29	-1.06061	1.39053	0.36425	2	1
選急線	1	185	0.05897				
	2	23	-0.47429	0.53326	0.12888	8	8
	3	32	0.09554				
	4	22	0.16955				
選緩線	1	127	-0.16265				
	2	27	0.51337	0.67602	0.21511	7	6
	3	82	0.21868				
	4	3	0.21779				
小崩壊・ガリー	1	27	0.39402				
	2	96	-0.30441	0.69843	0.24955	6	3
	3	147	0.04349				
	4	5	0.69430				
勾配	1	54	-0.10200				
	2	2	-2.17827	2.87257	0.22917	1	4
	3	13	0.71244				
	4	57	0.14195				
外的基準 崩壊・未崩壊	1	115	-0.11311				
	2	23	-0.18893	0.90137	0.20017	4	7
	3						
	4						
				相関比			
				0.49878			

幅を外的基準としたときに上位にあった説明因子の多くも例外ではない。これらの説明因子は斜面勾配との相関が高く、これらと斜面勾配両方を説明因子として用いる場合は、多重共線性の問題を考慮しておく必要がある。わずかに、小亀裂・微小滑落崖、主滑落崖の有無、河道の変形等が斜面勾配にさほど影響されないという結果であり、これらは共に崩壊地形に属している。

また、これら各説明因子のうち崩壊・未崩壊及び崩壊幅の説明因子としてそれぞれ上位10個を選択し、特性に応じて分類してみると次のようになる。

表 4-1-4 数量化解析結果

ファイル名: AERODAT

(全データ数 300, 全項目数 50)

外的基準名：崩壊幅

第 1 軸

(該当データ数 104, 説明因子数 8)

アイテム名	好リ-No	データ数	好リ-数量	範囲	関係変換率	基準による順位	関係変換率による順位
斜面水平断面	1	36	0.34133				
	2	17	0.14584				
	3	16	-0.54473				
	4	35	-0.17269	0.88585	0.39181	3	2
斜面垂直断面	1	9	-0.48897				
	2	13	-0.32188				
	3	15	0.00640				
	4	63	0.16580	0.65476	0.27203	6	6
小亀裂・微小滑落崖	1	69	0.15572				
	2	37	-0.28198	0.43770	0.23184	8	8
主滑落崖	1	56	0.36222				
	2	19	-0.47341				
	3	29	-0.38930	0.83563	0.44498	4	1
急崖	1	31	0.29872				
	2	1	0.94669				
	3	66	-0.15346				
	4	6	-0.01310	1.10015	0.29477	2	4
遷緩線	1	38	-0.20388				
	2	3	-0.29052				
	3	18	0.00333				
	4	45	0.18978	0.48030	0.24704	7	7
段丘崖	1	77	0.07932				
	2	1	1.03225				
	3	10	-0.07214				
	4	16	-0.40117	1.43343	0.28908	1	5
勾配	1	6	-0.21039				
	2	29	-0.34497				
	3	57	0.11411				
	4	12	0.39682	0.74179	0.33334	5	3

- ① 斜面勾配に関わらず崩壊／未崩壊の判別に有効な判定項目
遷急線、遷緩線、河道の変形、斜面垂直断面形状、小亀裂・微小滑落崖、主滑落崖、
- ② 斜面勾配に影響される（多重共線性の問題が認められる）が、崩壊／未崩壊の判別に有効な判定項目
斜面水平断面形状、土塊内亀裂、小起伏面、ガリー
- ③ 崩壊規模の予測、崩壊／未崩壊の判別共に有効な判定項目
斜面水平断面形状、斜面垂直断面形状、小亀裂・微小滑落崖、主滑落崖、土塊内亀裂、

遷緩線、小起伏面、斜面勾配、

④ 崩壊／未崩壊は判別し難いが、崩壊規模を予測するのに有効な判定項目

分離小丘、急崖、段丘崖

この様な項目が斜面安定度判定において有効な判読項目であると判断される。

数量化解析とは別に、同じデータを用いて相関図やヒストグラム等より各地形特性について定性的な考察を行ってみた結果を次にしめす。

- ・ ガリー・小崩壊のみ判読された斜面では幅の小さい崩壊が多い。
- ・ たるみ地形や微小滑落崖は、緩斜面でかつ崩壊幅が180m以上に多く認められる。
- ・ 逆向き小崖は斜面勾配が30°未満の斜面に多く認められる。
- ・ たるみ地形は斜面勾配が25°未満の斜面に多く認められる。
- ・ ばらつきが大きいものの、崩壊幅／崩壊深さ ≈ 8 の傾向がある。
- ・ たるみ地形は崩壊幅が大きければ崩壊深が浅く、崩壊幅が小さければ崩壊深が深い斜面に多く認められる。
- ・ 崩壊斜面においては、斜面水平断面が凹型である確率が高い。
- ・ 斜面方位には傾向はない。
- ・ 斜面垂直断面形状は崩壊・未崩壊斜面とも類似した分布を示す。
- ・ 崩壊斜面では、急崖、遷急線、遷緩線が崩壊地内に存在する可能性が高い。
- ・ 小崩壊・ガリーは、崩壊斜面に多い。
- ・ 逆向き小崖は、崩壊斜面にのみ認められた。
- ・ 崩壊斜面で小起伏面に接している場合、小起伏面上には小崖がある可能性が高い。
- ・ 河道の変形が存在するとき、崩壊斜面である可能性が高い。
- ・ 植生密度が粗であるとき、旧崩壊地である可能性が高い。

これらは数量化解析によって求められたものとはほぼ同じものが多いが、例えば逆向き小崖等の様に、崩壊斜面のみに認められた項目でも、前述したようにその絶対数が少ないために数量化解析において偏相関係数が低い値に留まっているものもある。また、崩壊の斜面上の位置については地形発達史的な見地も必要であり、単に、遷急線、遷緩線等の存在だけでなくこれらの相互関係について詳細な検討を行う必要がある。このような点については今回は検討を省略したが、以上の様な点に注意すると共に、これにさらに地質・植生・湧水等の要因を加味することによってより高い的中率が得られるものと思われる。

(2) 空中写真判読法の詳細調査

空中写真判読を行なって斜面の安定度に寄与する判読項目をピックアップし安定度判定の指標として採用するためには、これらの判読項目がどのような性質のものであるか（地山のどのような状態を反映しているか、どの程度判読され得るか、地形・地質の基本的条件による相違はどうか、空中写真の縮尺の相違に対する影響はどうか等）について把握しておかなければならない。

従来、空中写真判読においては、まず判読項目があってこれが判読出来れば、安定・不安定の一要因となるという利用法が主である。しかし、例えばリニアメントがあるから断層が存在する可能性が高いとは言えても、その逆に断層があるからリニアメントが存在する可能性が高いとは、必ずしも言

えない。またリニアメントによっては、浸食等の関係で本来の断層の位置と多少ずれた所に存在するものもある。このように考えると、ある判読項目が存在するか否かは、断層の規模や地質、浸食状況等の各条件の相互関係により決定されていると推定され、これら基礎条件と空中写真判読項目の関係を把握しておく必要が生じる。そこで、特に地質的背景が比較的良好に判明している地域を対象に空中写真判読を行ない、種々の地質的要因が、どのような地形（判読項目）として、どの程度現れるものかについて、いわば空中写真本来の利用法とは逆の形で調査を行なった。

調査対象箇所の基本データ一覧表を表4-1-5に示す。調査箇所数は少ないが、地質に、特に硬岩から軟岩までのバリエーションを持たせることを意識して選択した。表4-1-6は、主な判読項目である。また、各調査地の空中写真判読図を、図4-1-2、4-1-3、4-1-4に掲げる。

A調査地は、第四紀の砂岩・泥岩の上位に、火砕岩や熔岩が累重する地域であり、ホートン法による斜面の平均傾斜は約30°である。この地域で特徴的なのは、斜面の上部にオープンクラックを表現すると思われる破碎線が幾つか見られることである。A調査地はキャップロック構造をなしており、斜面上部の火砕岩や熔岩に引張性の亀裂が生じやすいことによると推定される。一方、断層は、延長500m以上（破碎帯の幅は数m）のものには部分的に破碎線状の地形が認められやすい傾向がある。破碎線は、空中写真上で約0.2mmが確認可能・不可能の境界であった。岩質の境界は、遷緩線として現れる部分があるが、必ずしも明瞭ではない。

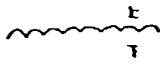
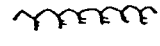
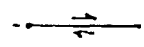
B調査地は、新第三紀中新世の石英安山質凝灰岩を主体とし部分的に玄武岩を挟在する地質からなり、いわゆるグリーンタフ地域に属する。斜面（河床部を除く）の平均傾斜は40°である。この地域では、堆積性軟岩を主体とし、岩の硬さの相違を反映したと思われる差別浸食が見られ、脈状の貫入岩が凸部を形成したり、凝灰岩と玄武岩で沢の入りかたに比較的良好な相違が見られた。また、ディップスロープ状の地形も存在する。わずかに線状地形も見られたが、この部分には地質図上では断層は

表4-1-5 調査地基本データ一覧表

調査地 斜面の基本データ項目	A調査地	B調査地	C調査地
北緯 (° ')	33° 11'	39° 49'	35° 41'
東経 (° ')	131° 12'	140° 38'	136° 35'
調査年月日	昭和61年	昭和51年	昭和53年
峯標高 (m、調査域内)	750m±	580m±	500m±
河床標高 (m)	500m±	327m±	280m±
調査面積 (m ²)	800×1,200	7.5×10 ⁵	450×1,200
斜面の方位 (Nから時計回り360°まで)	340°	150°	230°
斜面平均傾斜 (°)	31.2°	40° (河床部を除く)	39.4°
岩種	砂岩、泥岩、火砕岩	石英安山岩、玄武岩	チャート、砂岩、泥岩
地質時代	更新世	中新世	二叠紀?
地層の走向	不規則	N30°E±	N40°W~N80°W
地層の傾斜	不規則	30°E±	35°~85°NE
断層、変位、その他	その他	右岸流れ盤	その他

なく、基本的には岩の耐浸食性の相違を反映したものである可能性が強い。断層があると推定される部分（断層破碎帯は地質踏査等で幅約6～7mのものも1条確認されているが、その他は規模が小さい）には線状地形は見当たらず、この地域では、地質図上の断層と線状地形の一致はほとんど見られなかった。ただし、数条の断層が交差している部分二箇所に崩壊跡地状の地形が見られ、何らかの関連があることがうかがえる。

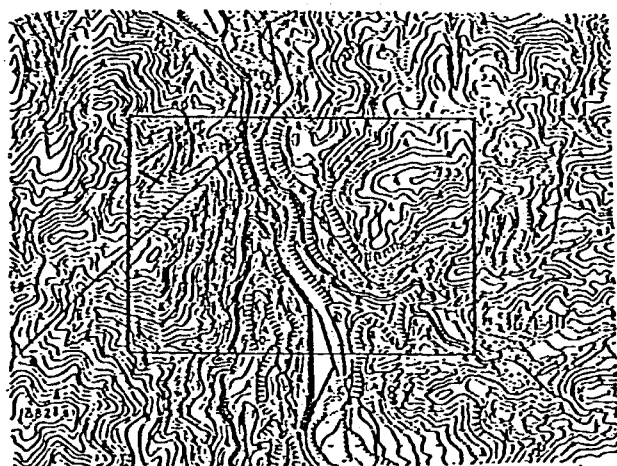
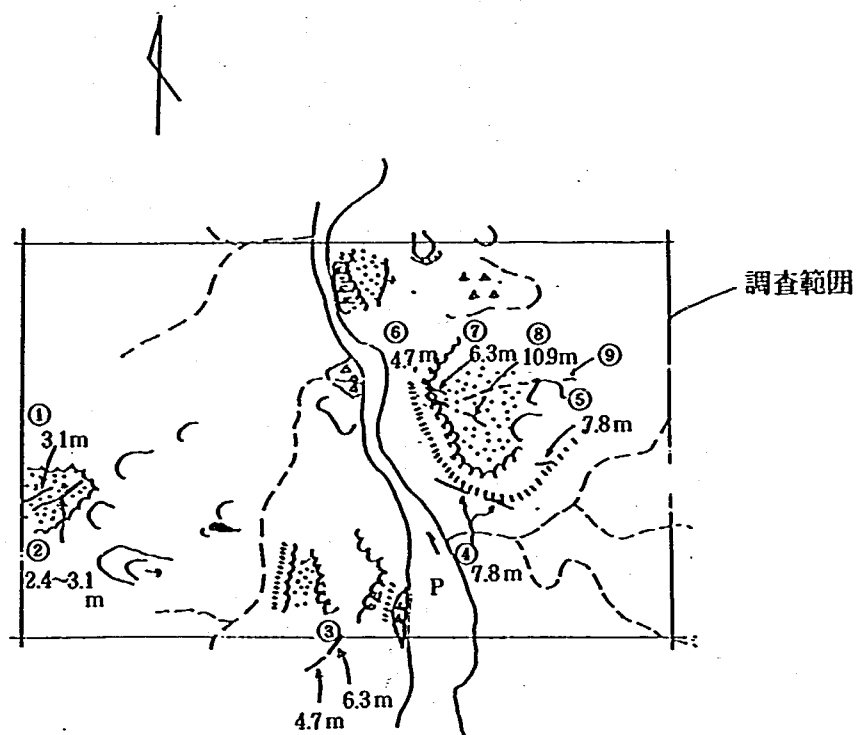
表4-1-6 空中写真判読図凡例

判読図	地形区分	備 考
尾根線	-----	山地の尾根を表わす線。
谷線	-----	山地の谷を表わす線。
遷急線		斜面上で下部が急となる傾斜変換線で、急崖に近い明瞭なものと不明瞭なものがあり、明瞭なものほど直下に露岩部または崩壊部がある。
遷緩線		斜面上で上部が急となる傾斜変換線で、主に斜面と崖錐の境界線として認識されることが多いが、岩相の境界線として認識されることもある。
壁岩・急崖		60°～70°以上の急な崖であり、柱状節理の発達した岩などに生じることが多いが、断層に関係するもの、岩相の境界に関係するものなどもある。
リニアメント		線状に凹部または凸部が連続し、その延長が長く（約数百m～1km程度以上）、断層や地質の境界を示すと推定される場合に用いる。
破碎線・クラック	---	リニアメントほど長くなく（数十m～数百m）、断層や地質の境界よりむしろ局所的な岩の変形によるクラック等によると推定されるもの。
小崖（二重山稜）		破碎線・クラック等において、ずれ（主に縦ずれ）を持つ場合に用いる。
崩壊地		露岩している箇所で、かつ、壁岩・急崖と異なり、岩（または土塊）がある程度（数m～数百m程度）のマスとして移動した形跡のあるものに用いる。
旧崩壊地		草等が生育している崩壊地や地滑り地形・スプーン状の地形で、移動岩塊（土塊）が認められないか、認められてもそれがきわめて薄いもの。
地滑り（岩滑り）		移動土塊（岩塊）が存在し、かつ、滑落崖が存在しているもの。
クリープ・ゆるみ地形		土塊（岩塊）に多少の移動が認められるが、明瞭な滑落崖を生じていないものや、クリープ性の地形。
崖錐（鋭斜面・）		崖錐状の土塊が堆積している部分。
崩壊土塊（崩壊土塊）		崩壊土状の土塊が存在している部分。
フレッシュ・リッジ・崩壊小丘		移動土塊～岩塊上に、異常な盛り上がり認められる時に用いる。
段丘と段丘崖		河岸段丘または海岸段丘。
小起伏面・山腹・山腹緩斜面		遷急線の上部などで、比較的緩い（数度～十数度）斜面が存在している場合に用いる。
谷底平野		現河床及び現河床に近い段丘に対して用いる。
ガリー		リルが発達し、小規模な谷を形成したもの。
区分不明な異常地形		区分は不明だが、なんらかの異常によるものと推定される地形。

地区名：A調査地

空中写真No. CKU-76-2.C7A10-11 縮尺： $\frac{1}{15,700}$

新(110)



1/25万 豊後中村

KU-72-9Y. C4. 8-9 ($\frac{1}{36,700}$)
 では
 破碎線①, ②, ⑥, ⑦, ⑧が確認不可
 能であった。⑧は陰影の関係で確認出
 来ないものと思われる(写真上で約0.2
 ㎢+の破碎線は確認可能である。
 $\frac{1}{15,700}$ では0.2 ㎢ 3mである)。

図4-1-2 空中写真判読図 (A調査地)

地区名：B調査地

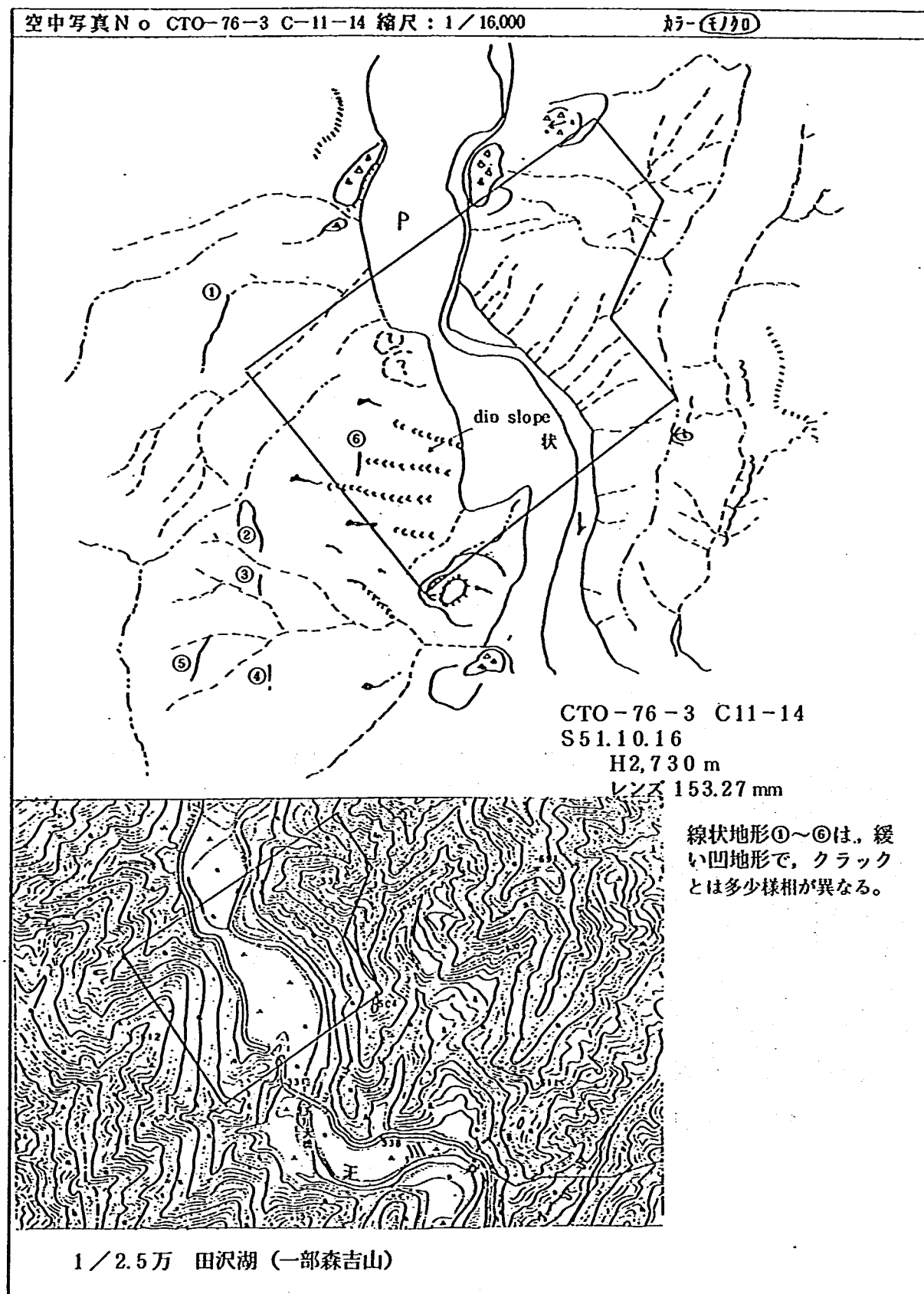


図4-1-3 空中写真判読図（B調査地）

地区名：C調査地

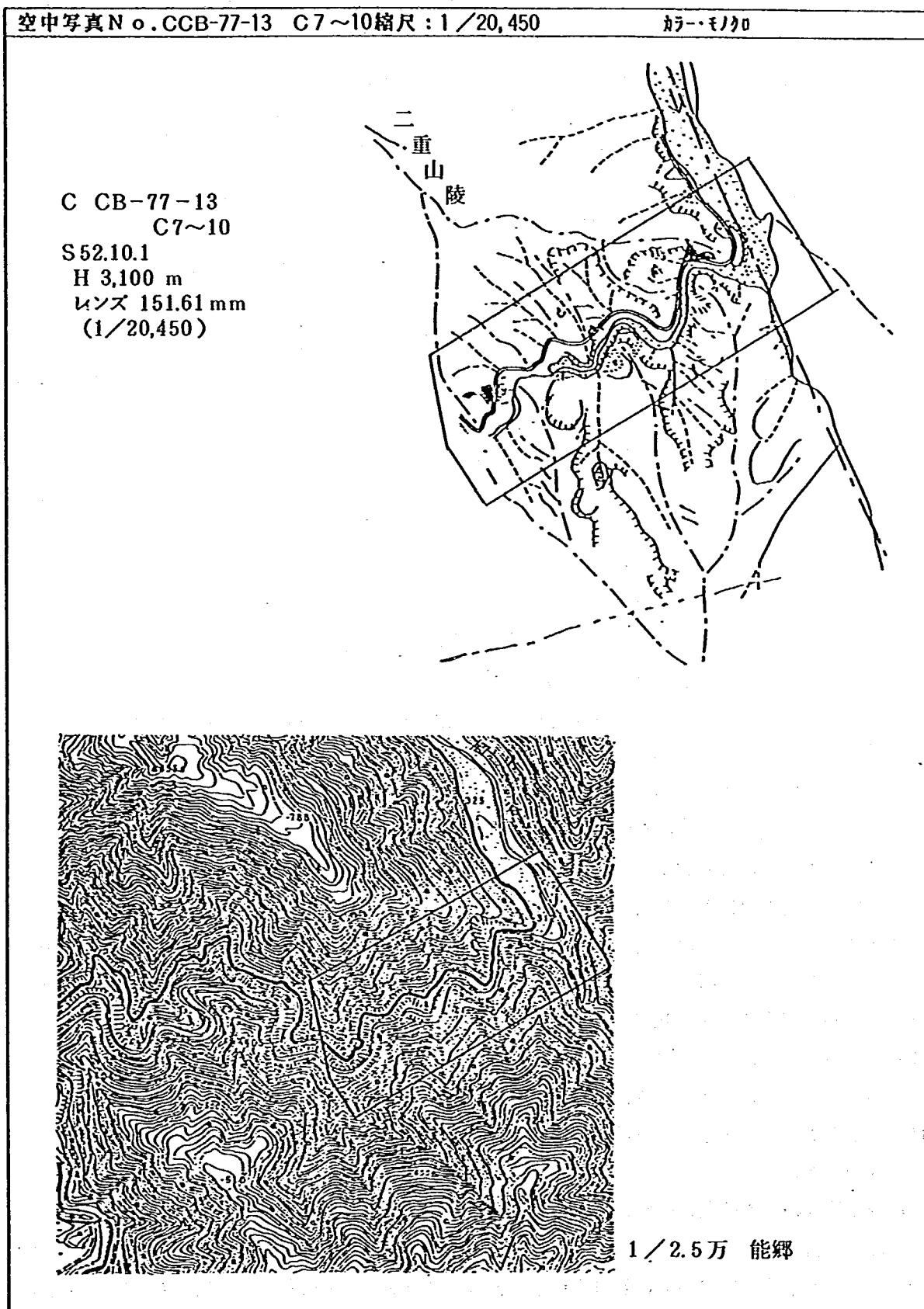


図4-1-4 空中写真判読図 (C調査地)

C調査地は主に中〜古生代の粘板岩・砂岩及びチャートよりなる地域である。斜面の平均傾斜は約40°である。この地域は、岩片の強度は高いが断層や亀裂の発達した地質からなり、付近には明瞭なリニアメントを持つ地震断層も存在する。平均傾斜はB調査地とほぼ同程度であるが、この地域の方が、斜面が直線的かつ屋根や谷が鋭角的で、また、露岩部も多い印象を受ける。小縮尺の空中写真を判読すると、定方向の谷や小沢が卓越し、リニアメントも幾つか認められることから、AやBの各調査地に比べて判読項目は線状地形が主体となっている。地質踏査でも小規模な亀裂や断層が密に観察されているが、破碎帯幅約10m+のものがリニアメントとして、また、破碎帯幅約1m以上のもの約18条のうち約7条(40%弱)が直線状の小沢の分布域とほぼ一致している。しかし、より小規模な断層や亀裂の場合、密度が高すぎて交差してしまい、一本の線として地形に現れ難くなっていたり、直線的な小沢が認められたとしても、どの断層・亀裂が関与しているのか区別出来ない等のため、各々の対応は難しくなっているようである。次に、岩質の相違に着目した結果によると、チャートの斜面及び河床は露岩が多く、また、粘板岩に比べ多少急傾斜の様であり、落石が生じ易そうな斜面となっており、一方、粘板岩の斜面では、スプーン状の崩壊跡地が幾つか認められ、そこには部分的に崖錐が堆積しているため、落石よりもむしろ崩壊が生じやすい斜面となっている。さらに、チャートの分布域では定方向の小沢が少なく断層との対応も低いのに対し、粘板岩の分布域ではその逆のことが言える。

以上の結果、次の様にまとめられる。

① 岩種・岩の硬さ・岩級・風化・変質等土質や岩質の相違及びその境界：

遷緩線(A調査地における火砕岩と堆積岩の境界)、沢の入り方や沢密度の相違(B調査地における玄武岩と石英安山岩質凝灰岩)、露岩部のきめや斜面の形態(C調査地におけるチャートと粘板岩の境界)等の地形によってある程度岩質の相違を把握可能であるが部分的でありまた微妙な相違であることが多い。また、例えば、砂岩と泥岩、砂岩と粘板岩等の違いはほとんど把握出来なかった。よって、岩質の相違がかなり大きくないと判別は難しいと推定される。

② 断層・節理・亀裂等の線的な地質特性：

破碎線(A〜C調査地におけるオープンクラックや断層)、リニアメント(B調査地における地層の走向やC調査地における断層)、定方向に卓越する小沢(地層の走向や断層、オープンクラック)、崩壊跡地(B調査地における断層交差部等)として把握される。しかし、これらの判読項目の捕捉はオープンクラックや断層の規模に大きく依存している。例えば、空中写真の縮尺が1/15,000程度の時に判読出来る断層の規模は、破碎帯の幅が、一般に1〜数m以上あることが必要で、しかもこれらでさえも、地質踏査によって得られた破碎幅1m以上の全断層数の約半分以下の捕捉率に過ぎない。また、地質の状況(特に岩石の硬軟?)によって捕捉率がかなりがらつき、軟質な地質では捕捉率がより低下する。これは、破碎部と健岩部の強度差(耐侵食性)の大小によるものである可能性が大きい。

③ 地形や地質の基本的条件の相違による判読項目の種類や数の相違：

破碎線は斜面の上部、特に遷緩線より上部の比較的緩傾斜な部分において判読されやすい。また、新しい時代の堆積岩においては岩質の相違を表わす地形が、古い時代の堆積岩においては線的な地形が多く現れる傾向にあり、岩石の硬軟やコントラストによって、捕捉される主な判読項目に多少の差があると考えられる。

④ 空中写真の縮尺による判読項目の種類や数の相違：

情報量は当然ながら大縮尺の空中写真の方が多いため、繊細な破碎線等の判読は大縮尺の方が有利であるが、基本的には判読項目に大きな差はない様である。

⑤ 不安定斜面の判読（判定）可能性：

崖錐やスプーン状の崩壊跡地は明瞭に把握出来、また、明瞭な遷急線の直下には現崩壊地が並列することが多く、いわゆる不安定斜面の位置は確認できる。しかし地質踏査等によるデータが少ないこともあり、その活動性と地形的特徴の関係については検討出来なかった。

(3) 崩壊幅に着目した地域特性表現法

斜面崩壊のデータを収集し斜面の要因と崩壊の相関を多変量解析等を用いて調査する時、たとえ同じデータ量でも比較的狭いエリアで収集するとデータのばらつきは小さく良い結果が出るのに対し、広域的にデータ収集を行なうとデータのばらつきは大きくなり、相関も悪い。斜面崩壊には地域特性が存在し、現在の安定解析モデルや崩壊要因分析はそれらを充分反映していないと考えられる。地域特性には、地形・地質土質・気象・植生等の相違が考えられ、これらを各要因に分類する試みは多くなされている。それにも係わらず上のような問題が生じる理由の多くは、斜面内部（地質土質）の状況を客観的かつ定量的に把握出来ない点にある。

客観的なデータの得られる空中写真を用いて、各地域の斜面内部の状況を他地域との比較等で概略的にでも把握できれば、それを斜面の安定度判定に盛り込むことにより、よりの中率の高い指標を作成することが出来、また、各地域に応じた斜面安定度判定を可能とするのではなかろうか。このような考えに基づき、斜面崩壊における地域特性の簡易な把握及び表現法について考察した。これは推定や仮定を多く含み、調査結果というより試論とでも言うべき内容ではあるが、次にこれを述べる。

最近、自然現象における各種の形態に、フラクタル性が見出されている²⁾。フラクタル性は、岩石を破碎した際の破片の大きさ分布等に見出されたもので、これを拡張して地震のマグニチュードと地震回数³⁾の関係等に適用されている。この性質は地形特性についても見出されており、例えば、ものさしの長さ r をいろいろ変えて測定した海岸線の長さ $L(r)$ には、次式の関係が成立するといわれている³⁾ (図4-1-5)。

$$L(r) \propto r^{-D}$$

このように、ある図形（自然現象における形態）が、長さを変数としたべきの関係で表されるようなとき、フラクタル性を持つという。

羽田野⁴⁾は、和歌山県有田川上流において昭和28年の豪雨で発生した崩壊の、崩壊規模 M (M には崩壊厚さ、崩壊面積、崩壊土量を採用している)と崩壊個数 N の間に、次の関係があることを見出した (図4-1-6)。

$$N = a M^{-b}$$

(a , b は共に係数)

これは崩壊規模と個数の間にフラクタル性があることと同義である。一方、平野⁵⁾は山地斜面を対象に、沢の長さと沢の本数との関係が、対数正規分布従うということを述べている。一般に斜面崩壊は斜面（沢）の規模に規制されており、かつ斜面崩壊は斜面を形成する原動力でもある。

そこで、昭和58年7月の鳥根県豪雨災害における空中写真を用いて調査した結果を利用して、斜面

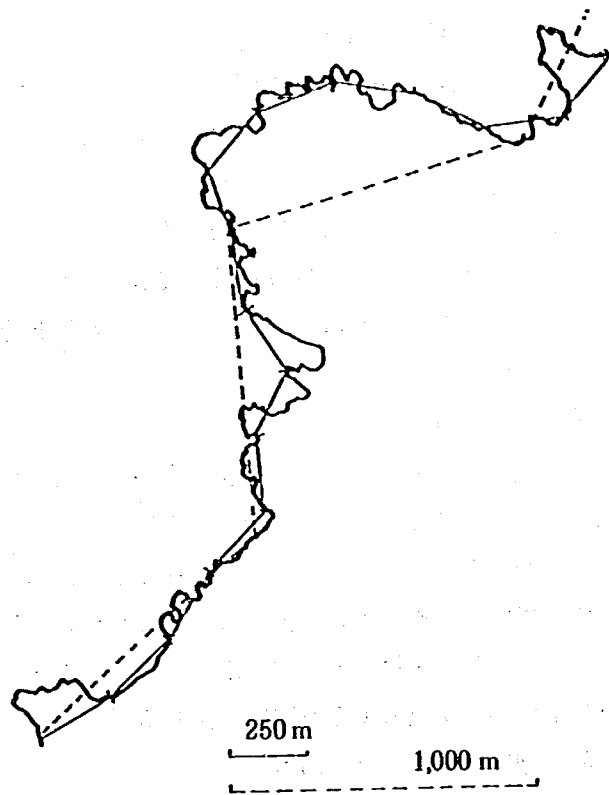


図4-1-5 海岸線の長さ $L(r)$ をものさし r の長さを変えて測定する

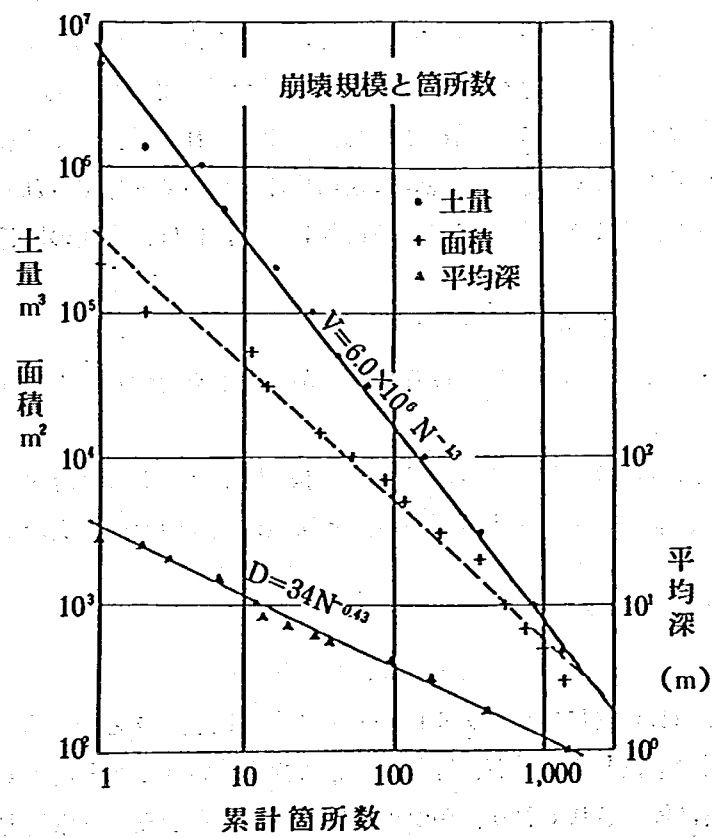


図4-1-6 崩壊規模と累計箇所数⁴⁾

崩壊の規模と個数の関係について次の検討を行なった。

- ① 地域特性としての斜面崩壊の規模と個数の関係の数値的表現法の可能性と適用性
- ② 表現された数式の判定法
- ③ 表現された数式の利用法
- ④ 表現された数式の問題点

なお、崩壊の規模について特に取り上げるのは、崩壊の規模分布が地域によって大きく異なり地域特性のパラメーターとして扱いやすいこと、また、斜面安定度判定における斜面崩壊規模の位置づけにあいまいな点があること等を考慮したためでもある。

調査地は鳥根県浜田市～益田市のほぼ中間に位置する三隅街を通る東西1km、南北26.5kmである。この地域は、梅雨末期の集中豪雨による豪雨災害の発生しやすい地域であるが、昭和58年7月にも集中豪雨により、多くの斜面崩壊が発生した。調査にはこの災害直後の空中写真（縮尺8千分の1）を使用し、崩壊規模（崩壊最大横幅L）と崩壊個数N（合計893箇所）を計測した。図4-1-7に、ヒストグラム（崩壊幅5mごと）を示す。

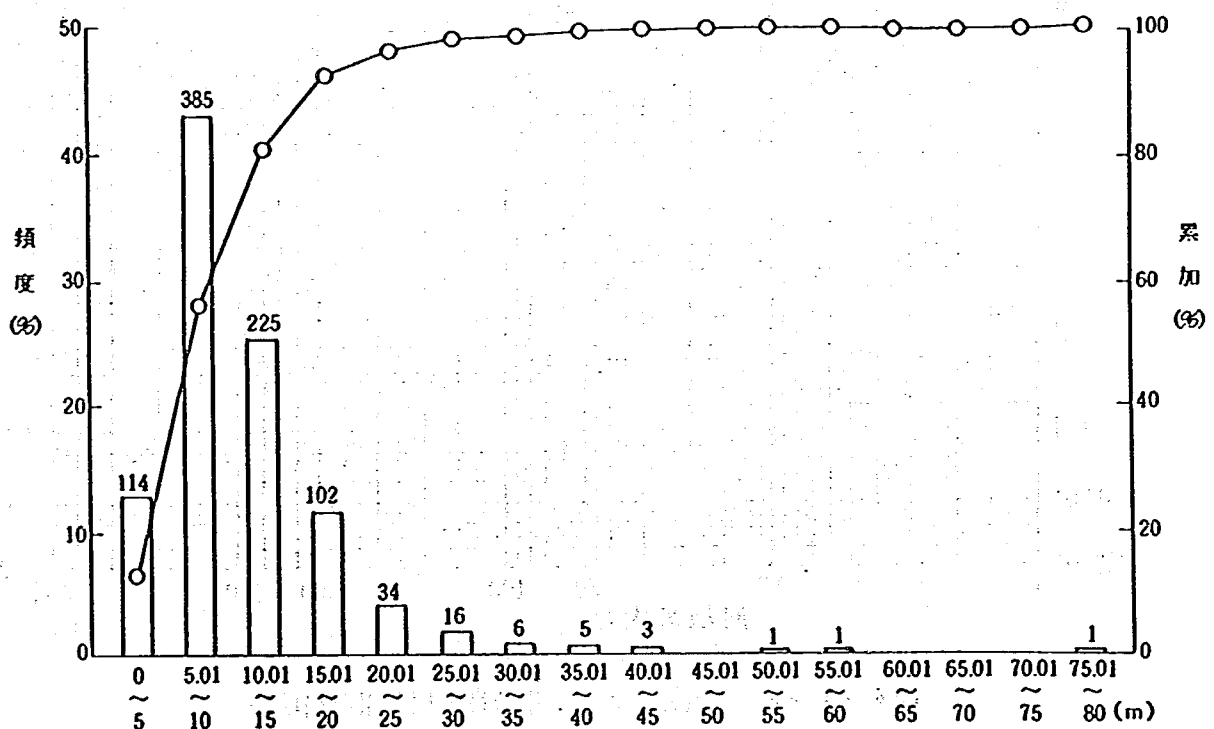


図4-1-7 崩壊部最大幅ヒストグラム¹⁾

従来斜面崩壊の個数と規模の関係を示すのによく使用される対数正規確立紙上にこれらを表現すると図4-1-8①の通りとなる。ほぼ直線関係にあるが、やや上に凸のグラフとなる。空中写真によるデータを確率的に表現することの問題点は、空中写真では捕らえがたい小規模な崩壊をどのようにグラフに盛り込むかという点である。例えば、空中写真の判読限界を考慮して、 $0\text{ m} < L \leq 5\text{ m}$ の崩壊数だけを増やしてみる（図4-1-8②。観測数は全体で893だが、全体で1500になるように $0\text{ m} < L \leq 5\text{ m}$ の崩壊数だけを適当に増やしてみる）と、グラフはY切片（厳密な意味のY切片ではない）

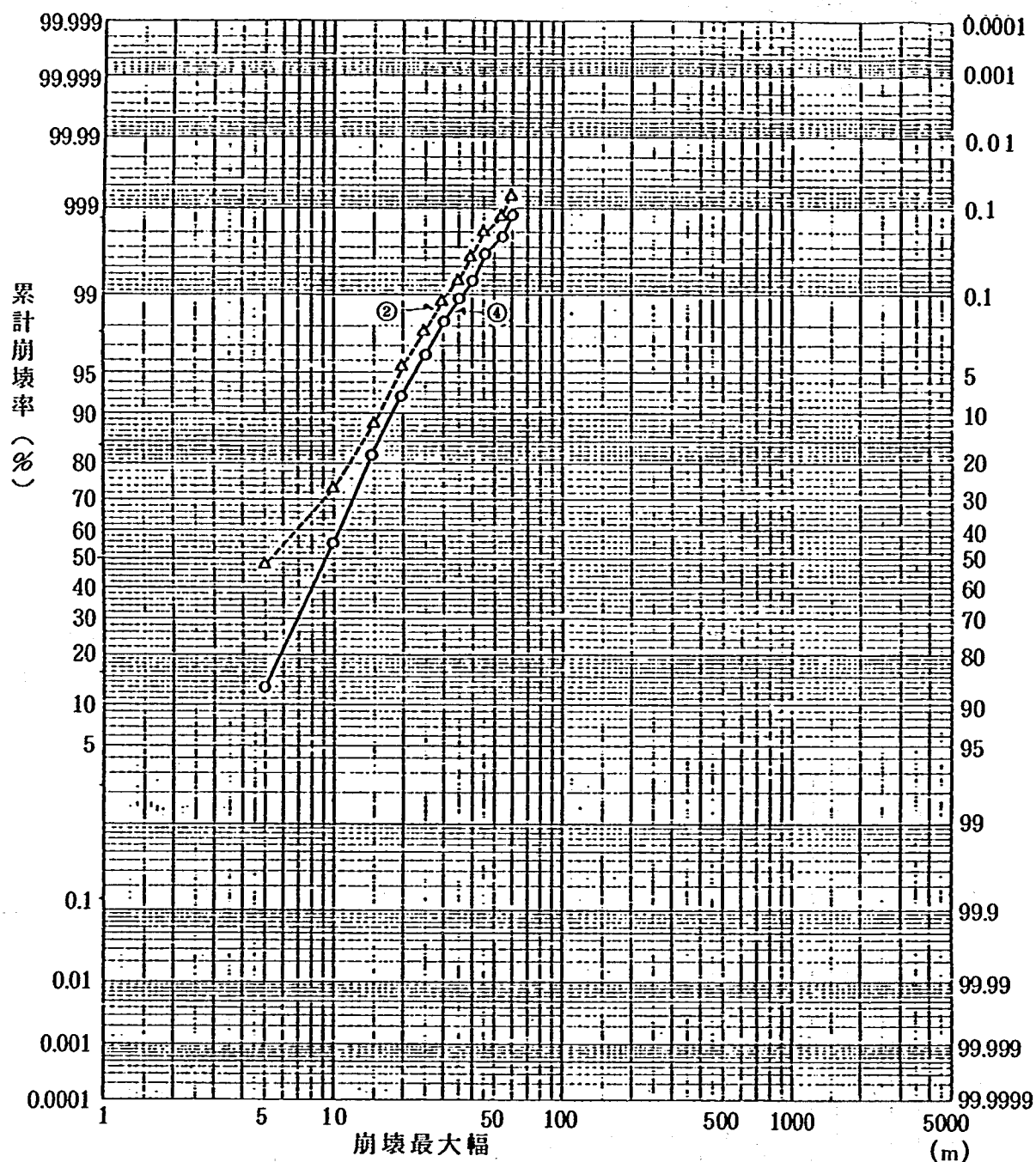


図4-1-8 調査地における崩壊最大幅と累計崩壊率

の上昇と同時に、多少下に凸のグラフとなる。これでは、空中写真の縮尺が変わるたびにグラフの式を変えなければならない。

対数正規分布で近似することの問題点は、空中写真によっては捕らえられない小規模な崩壊の数を無視して、パーセントで表わさざると得ないという点にある。ガリー等を形成する表面浸食や崩壊幅2～3mの小崩壊の数をどのような精度で抽出するかによって、パーセンテージは大きく変化してしまう。空中写真計測による崩壊規模と崩壊数の関係の表現は、パーセンテージにせず個数または単位面積当たり個数でなければならない。

次に、両対数グラフにより表現してみる（図4-1-9）。これは、羽田野⁴⁾と同じ方法（ただしX軸とY軸を逆にしている）であり、図4-1-8と同様の方法でかつ、パーセントではなく個数そのもので表現している。同図の②～⑥は、各々の雨量域（二日間雨量域）における崩壊個数である（単位面積当たり個数ではないので注意）。これより、 $L > 15\text{m}$ の領域では、グラフはほぼ直線関係にあることがわかる。このグラフで直線関係にあるということは、以下の式を満足することを意味している。

$$N(L) = \alpha L^{-D}$$

$N(L)$: 最大横幅が L 以上の崩壊の累計数

α : 係数

一方、 $L < 15\text{m}$ の領域では上に凸となっているが、これが、崩壊分布の実際の性質なのか、樹木等の存在による空中写真の計測誤差なのか、計測限界によるものなのか不明である（ちなみに、この空中写真の場合、 15m は、 1.875mm に相当する）。上に凸の性質が空中写真の縮尺によるものかどうかは、より大縮尺の空中写真の判読により、ある程度確認可能であろう。

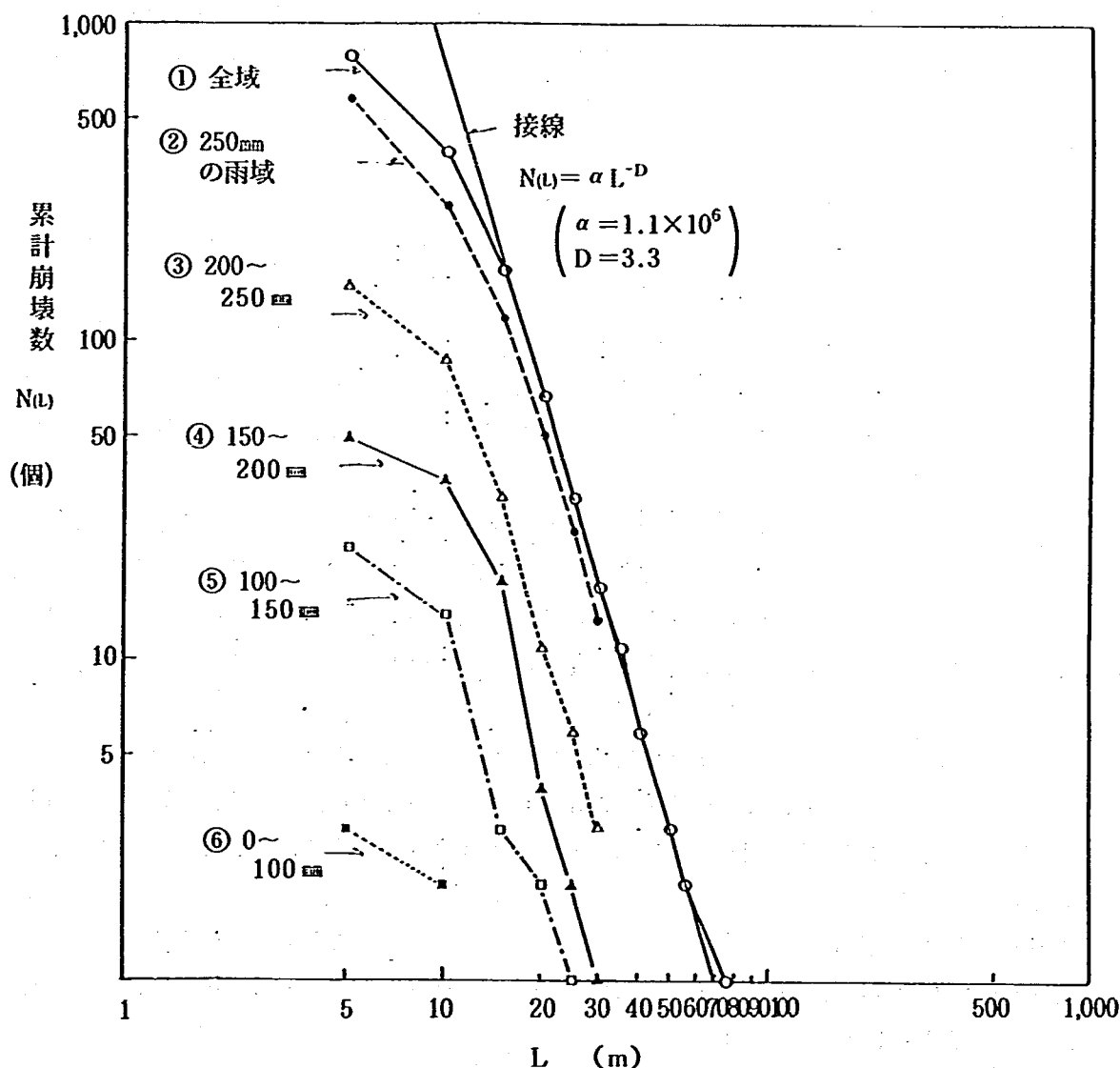


図4-1-9 三隅町付近における崩壊最大幅 L と累計崩壊数 $N(L)$
($N(L)$ は幅 L 以上の崩壊の累計数)

次に、図4-1-9を雨量との関係で見ると、雨量の相違によって崩壊個数に差はあるが、グラフの傾きにはあまり変化のないことがわかる。この傾きの不変性を地域特性として把握することが出来る。また、崩壊個数を調査地域で割って単位面積当たり崩壊発生数とし、例えば、一日雨量100mm、 $L=10m$ の時の N 切片をとることにより、これも地域特性として把握することが出来る。ただし、同じ一日雨量でも、前後の降雨状況等の影響や、雨量観測網が調査精度を満足するほど整備されていないこと、既に豪雨による崩壊が生じ免疫性が出来ていることがある等のため、この値は同一地域でも、測定年月日毎にばらつくことが予想される。

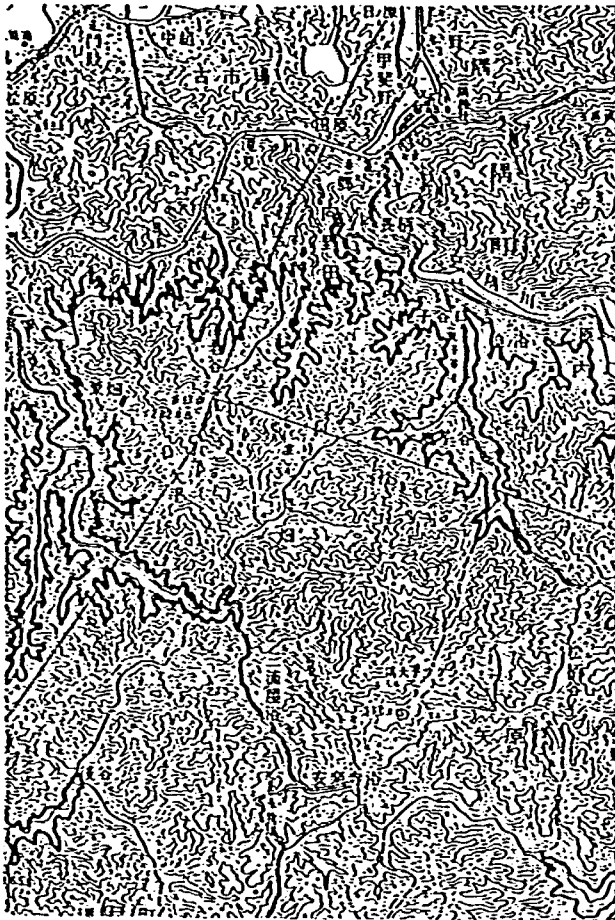
調査域における崩壊状況を簡単な数式で表現してみたが、次にこの数式の α や D が何を意味するかについて検討する。

まず、グラフの勾配 (D) について考えると、これは、「調査域が崖崩れ性の崩壊が主体か地すべり性の崩壊が主体か」を定量的に表現したものと考えられる。これらの差異を生ずる原因は幾つか考えられる。ひとつは斜面勾配であろう。斜面勾配が急であればすべり層厚が同じでもすべり面に働く剪断力が相対的に大きくなるため、薄いすべり層厚いでの崩壊 (小崩壊) が主体となる。もうひとつ考えられるのは斜面の形である。一般に崩壊の範囲は谷の大きさによって規制されるため、例えば、小さい沢の多い、いりくんだ地域では小崩壊の量比が高くなると推定される。本調査域 ($D \approx 3.3$) と有田川流域 ($D \approx 2.2$) の地形特性の相違を地形図で比較すると (図4-1-10)、本調査域の方が屈曲の多いいりくんだ等高線となっており、また起伏量もかなり違う。平均勾配や気象条件の相違が存在することから、二つの例を単純に比較する訳にはいかないが、崩壊の D と地形のいりくみ方には相関がありそうである。もう一つ具体的な例として、東野名地すべり地周辺における副次すべりの分布 (図4-1-11) について約1/2万の空中写真を用いて計測した例を挙げる (図4-1-12)。東野名地すべり地域は、新第三中新世の泥岩を基岩とした地域である。空中写真判読によると、外縁の最も巨大なブロックを除くと、内部の比較的大きな副次すべりは両対数グラフ上で比較的直線的で、 ≈ 1.9 である (最大の崩壊を含むと ($D \approx 1.2$))。これは有田川流域よりも低い値であり、地すべり地域では D が相対的に低いと推定される。

しかし、斜面勾配や沢のいりくみ方の違いは、斜面生成の過程から考えると二次的結果に過ぎず、斜面勾配や沢のいりくみ方を形成した根本的な原因は他にある。最も根本的と考えられる原因は、斜面を形成する基盤の工学的性質、表層崩壊の場合は特に風化層の工学的性質であろう。斜面勾配や沢のいりくみ方等は、おおまかには、地質とその風化特性 (工学的性質)・降雨等の崩壊誘因特性・地形発達段階という三要因相互関係として表現できる。

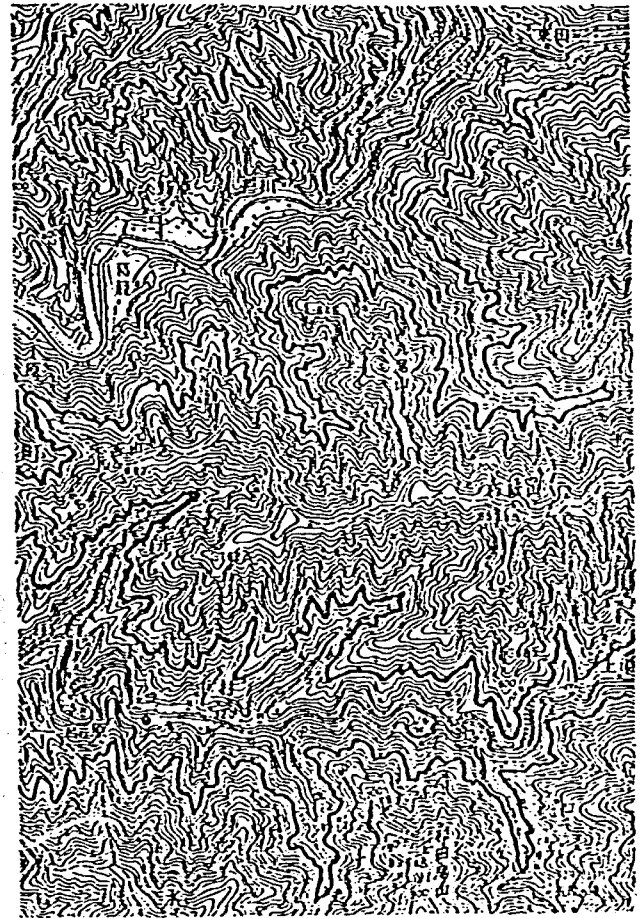
D の値と風化層の工学的性質がどのように関係しているかを検討するために、簡単な二つのモデルを比較した。一つは、風化層の深度方向の強度変化が種類の斜面であり、これは花崗岩地域等のように被覆層が砂質で粘着力が低く、岩石の鉱物同志の連結がはずれると急に強度が低下するような地域があてはまる (図4-1-13①)。もう一つは、風化層の深度方向の強度変化が緩い種類の斜面であり、グリーンタフ地域等のように全体として被覆層が粘性土質で粘着力をある程度持っており、岩石自体も元来強度がそれほど高くない上に鉱物同志の連結が低下しても強度低下が急激には生じないような地域があてはまる (図4-1-13)。

この二つの地域で比較してみると、前者は表層部が急激に弱化する斜面であるため崩壊厚さが薄くまた粘着力が低いため崩壊横幅も小さく、結果として小規模崩壊の量比が高くなり (従って D が高い



国土地理院発行
1/5万「益田」

太線は標高 100 m の等高線



国土地理院発行
1/5万「動木」

太線は標高 500 m の等高線

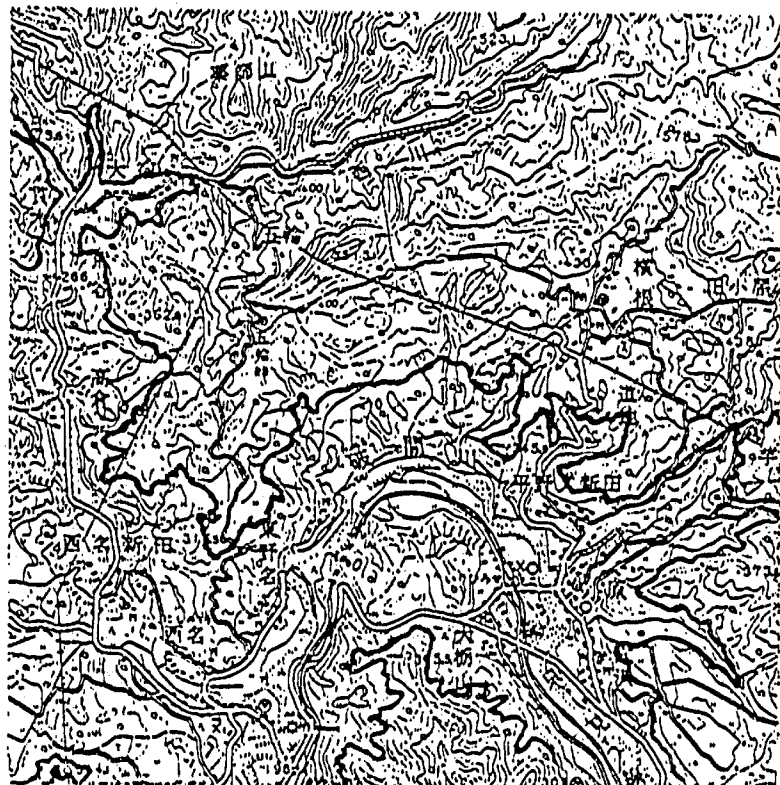
図 4-1-10 三隅町南部 (左) と有田川流域 (右) の地形比較
(左図の等高線の方が屈曲に富む)

値を示し)、後者はそれほどでもない (D は相対的に低い) と推定できる。つまり、D は斜面の風化層の性質、特に深度方向の強度変化パターンの相違を定量的に示しているのではないかと推定される。この考えに有力な示唆を与えるものとして、新藤・恩田による愛知県小原村地域の調査報告⁶⁾がある。これによると、この地域は隣接して異なる種類の花崗岩が分布する地域であり、各花崗岩の化学組成や鉱物の粒度分布がことなるために斜面崩壊の数や地形特性が異なっており (図 4-1-14①~③)、斜面の被覆層を調査したところ、被覆層の物性や厚さ等にも明らかな相違が見られた。気候・気象はほぼ同一とみなされるので、これは、斜面崩壊の数と斜面の被覆層地質及び地形特性相互に密接な関係が存在することを示したものである。

表層崩壊とは異なり岩盤中の亀裂等の不連続面をすべり面とする崩壊 (岩盤崩壊) の場合も、岩盤中の亀裂自体がフラクタル性を持つという報告⁷⁾等より、表層崩壊とはことなる D が求められるかも知れない基本的な考え方を変える必要はないように思える。

次に α であるが、これは、崩壊誘因 (雨量等) に対する斜面の鋭敏性を表わしている。つまり、同

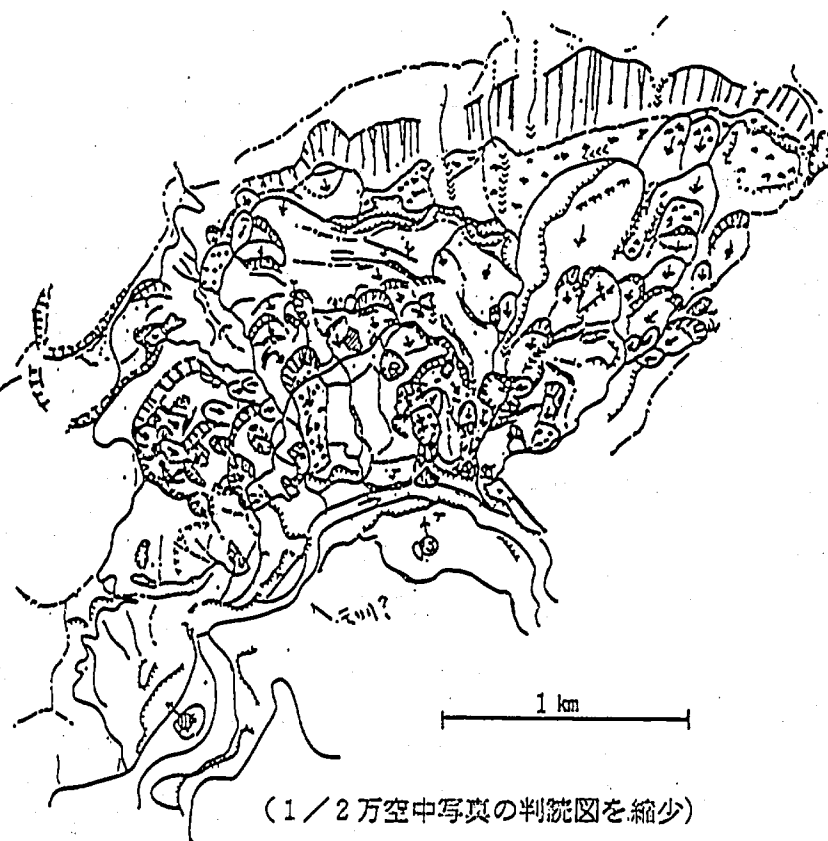
位置図



国土地理院発行 1/5万「守門岳」

(太線は標高 300 m の等高線)

判読図



(1/2万空中写真の判読図を縮小)

図 4-1-11 東野名地すべり地域の空中写真判読図

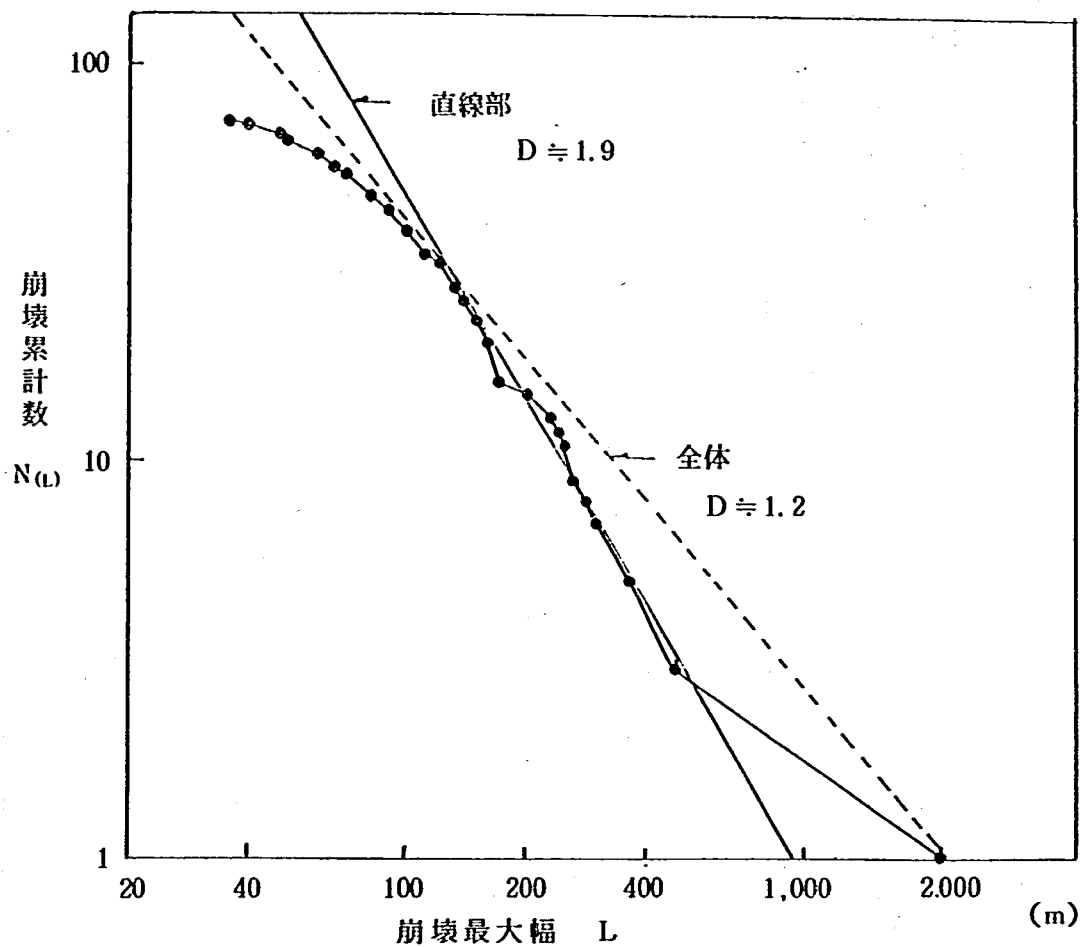


図4-1-12 東野名地すべり地域における崩壊最大幅 L と累計崩壊数 $N(L)$

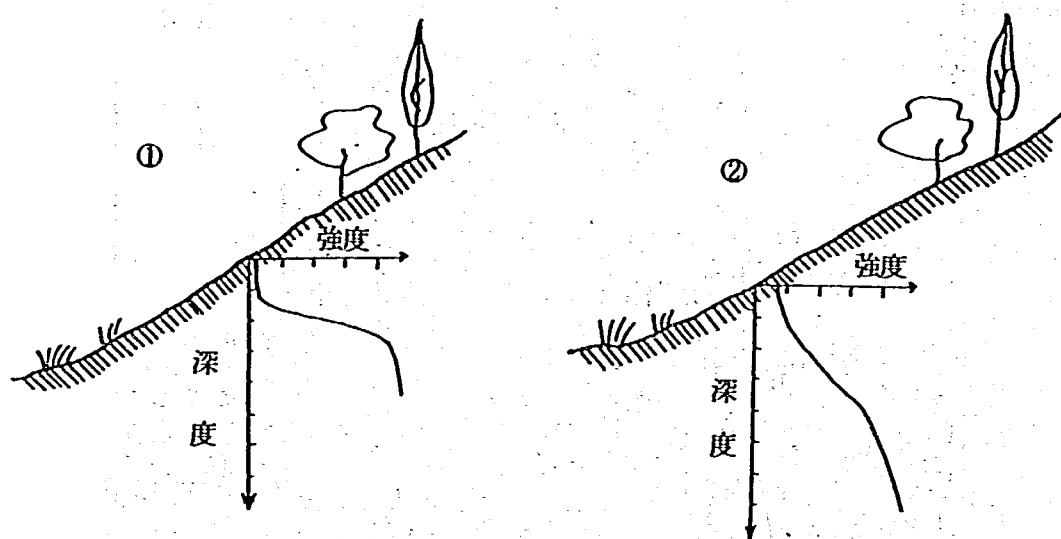


図4-1-13 風化層の工学的性質が異なる二種のモデル

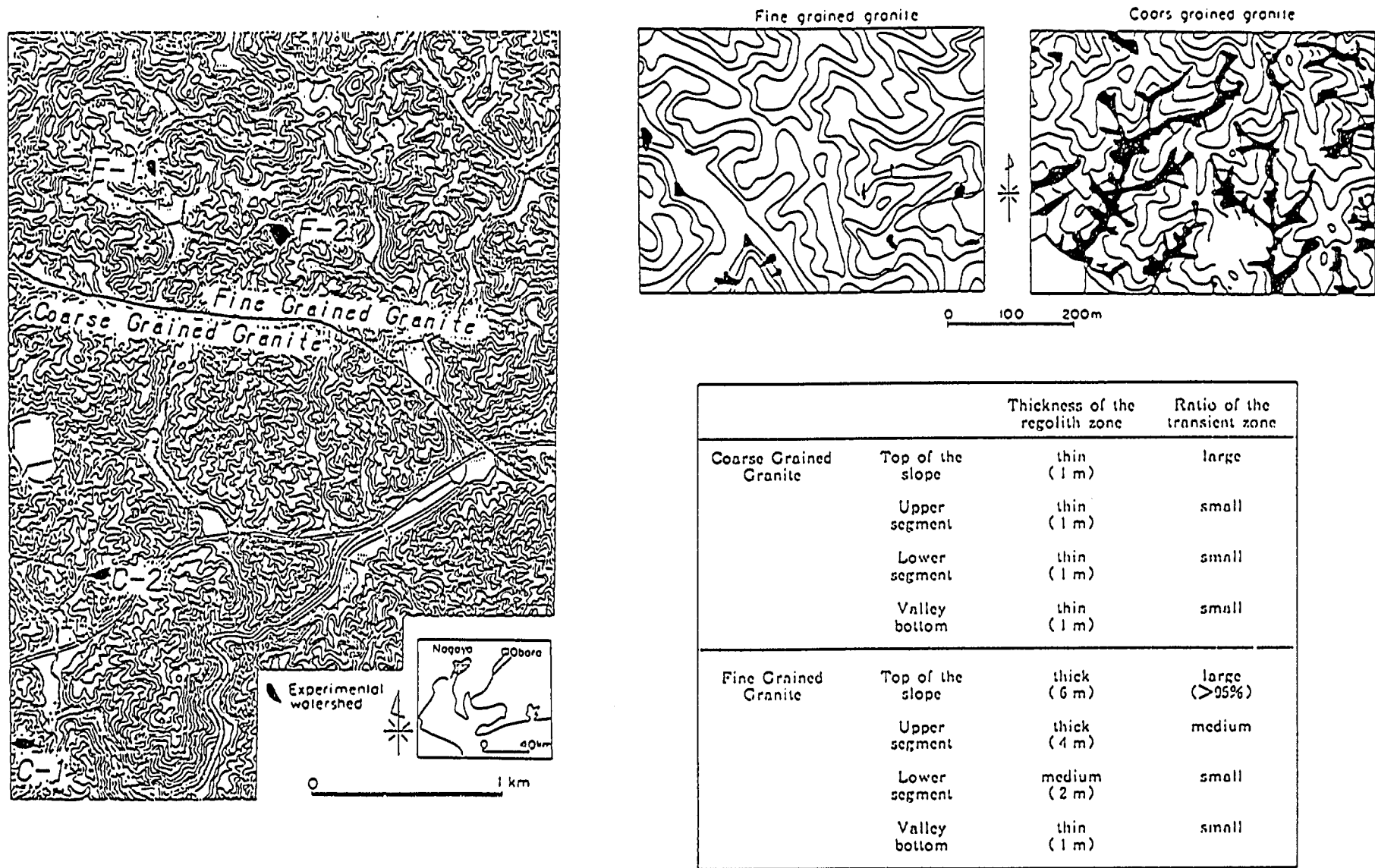


図4-1-14 愛知県小原村の崩壊
(粗粒花崗岩分布域の方が沢がいりくんでおりまた、崩壊が多い。)

じ雨量でも、年間を通じて降雨量が少ない地域では、 α は高い値を示すはずである。これは、斜面の不安定度と同じ意味合いを持つため、地質・土質が同一ならば地域の斜面の被覆層の平均的な厚さに比例するかも知れない。ただし、崩壊の免疫性を考えると、この α は同じ地域でも時期により多少上下すると思われる。

ほかにも α やDを左右する原因として、植生の効果、地下水の挙動、地質構造や隆起・沈降などの広域的な地殻変動の効果等が考えられる。しかし、これらが α やDなどの数値に対してどのような影響を与えるかを、定量的に測定するのは難しい。

次にこれらの斜面安定度判定への適用法について考えてみる。

例えば、通行規制を行なう場合に、「国道A号線のB区間からC区間の間に崩壊幅 D_m 以上の崩壊がE箇所以上発生する雨量」等の規定が定められたと仮定する。このとき、上式及び地域の累積雨量と時間雨量強度等の関係が求められていれば、通行規制雨量を客観的に設定することが可能となる。

また、斜面崩壊の安定度判定基準には、単に崩壊危険度を判定するもの（多変量解析による要因分析等）と、主に崩壊による影響度を判定するもの（例えば急傾斜地崩壊のランクづけの基準等の様に斜面の高さが高ければ崩壊危険性が低くとも高い得点が与えられるような判定基準や、山岳道路計画の際に切土により斜面が崩壊した際の影響評価基準等）とがあり、現在これらはどちらも斜面安定度判定基準としてあまり明確な区別なく使用されているが、本来これらは別のものであり利用目的に応じて使い分ける必要がある。斜面安定度の判定基準を作る時に、どのような規模の崩壊も一つと数えるのではなく予想される崩壊規模により崩壊危険性が増加する、後者のような判定基準の必要が生じたときに、地域特性の違いを何らかの形で盛り込むことによって、より客観的な判定基準を作成することが出来ると考えられる。

最後に、この近似式を用いた、崩壊土量や浸食量の算定への利用可能性について検討した。この検討結果は、この近似式の適用性に関する問題点を示していると考えられるのでここに掲げる。

例えば、崩壊の形が、規模に係わらず互いに相似形であると仮定すると、次式を得る。

$$V(L) = k L^3$$

$V(L)$: 崩壊最大幅 L の崩壊における崩壊土量

k : 係数

この仮定が正しいか否かについて、幾つかの崩壊及び地すべりにおいて計算してみると、個々の崩壊で k のばらつきは大きい規模にはあまり左右されずある程度上式は成立し、平均で $k \approx 0.067$ を得た。

これを利用して累計崩壊土量を推定すると図-4-1-15のようになる。直接計算値（図4-1-5①）は、 $V(L) = k L^3$ を仮定して、ヒストグラムの各バーの midpoint の崩壊幅に $V(L) = k L^3$ を適用して midpoint における崩壊土量を計算し、これに崩壊個数をかけ単純累計計算を行なったものである。また、図-②の近似曲線は、次の様に求めている。

上に述べたように、

$$N(L) = \alpha L^{-D} \dots\dots\dots (A)$$

かつ、

$$V(L) = k L^3 \dots\dots\dots (B)$$

と仮定すると、 $N(L) = 1$ のときの崩壊土量 $V_{(L)1}$ は、

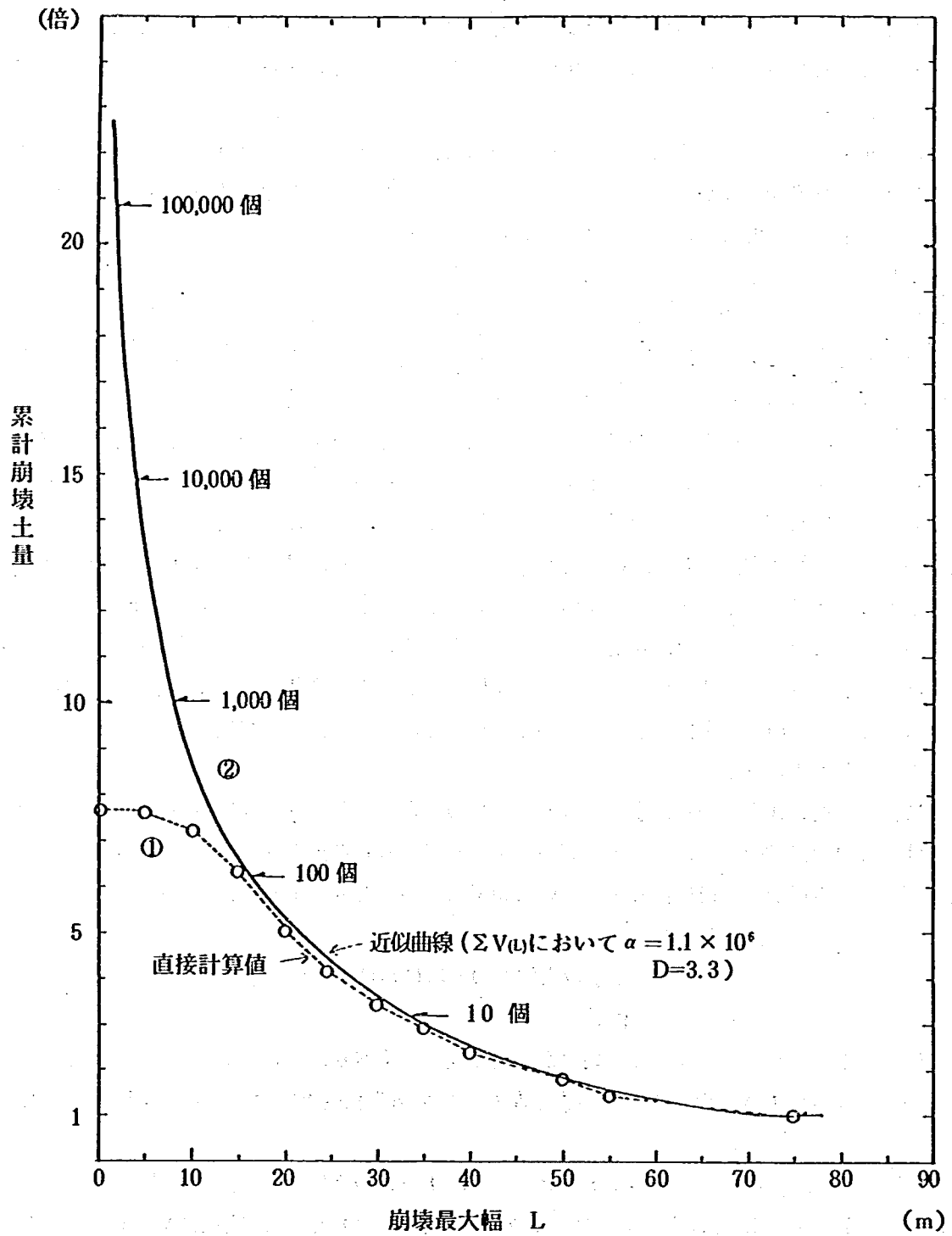


図4-1-15 崩壊最大幅L以上の累計崩壊土量
 (直接計算値では、全崩壊土量は最大崩壊の約7.7倍 $\div$ 22~26
 万 m^2 と見積られる)

$$V_{(L)1} = k (1/\alpha)^{-(3/D)}$$

同様に、n 番目の崩壊土量は、

$$V_{(L)n} = k (n/\alpha)^{-(3/D)}$$

よって、 $N(L) = 1$ から n までの累計崩壊土量は、

$$\sum_{r=1}^n V_{(L)r} = k (1/\alpha)^{-(3/D)} \sum_{r=1}^n r^{-(3/D)}$$

と表わされる。 $\sum r^{-(3/D)}$ は、有理関数で表現することが出来ないので、近似するか単純累計計算する必要がある、②の近似曲線は、パソコンによる単純累計によって求めたものである。

ちなみに、 $f(r) = \sum_{r=1}^n r^{-(3/D)}$ は、 D の値により著しく異なり (図-4-1-16)、(A) 及び (B) がある程度正しいとすると、最も大きい崩壊の大きさが同一である地域で比較するならば、 D より大きい方の地域の崩壊土量は相対的にきわめて大きくなることが予想される。また、逆に $D = 1.5$ 程度の (D が低い) 地域では、最大崩壊を除いた残り 10,000 個の崩壊の土量を累計しても最大崩壊の土量の 2 倍を越えない。地すべり地域などの場合、崩壊速度も考慮にいれる必要があり一概には言えないが、このように D が小さい地域では、最大の崩壊によって生じた岩塊や崩積土を、より小さ

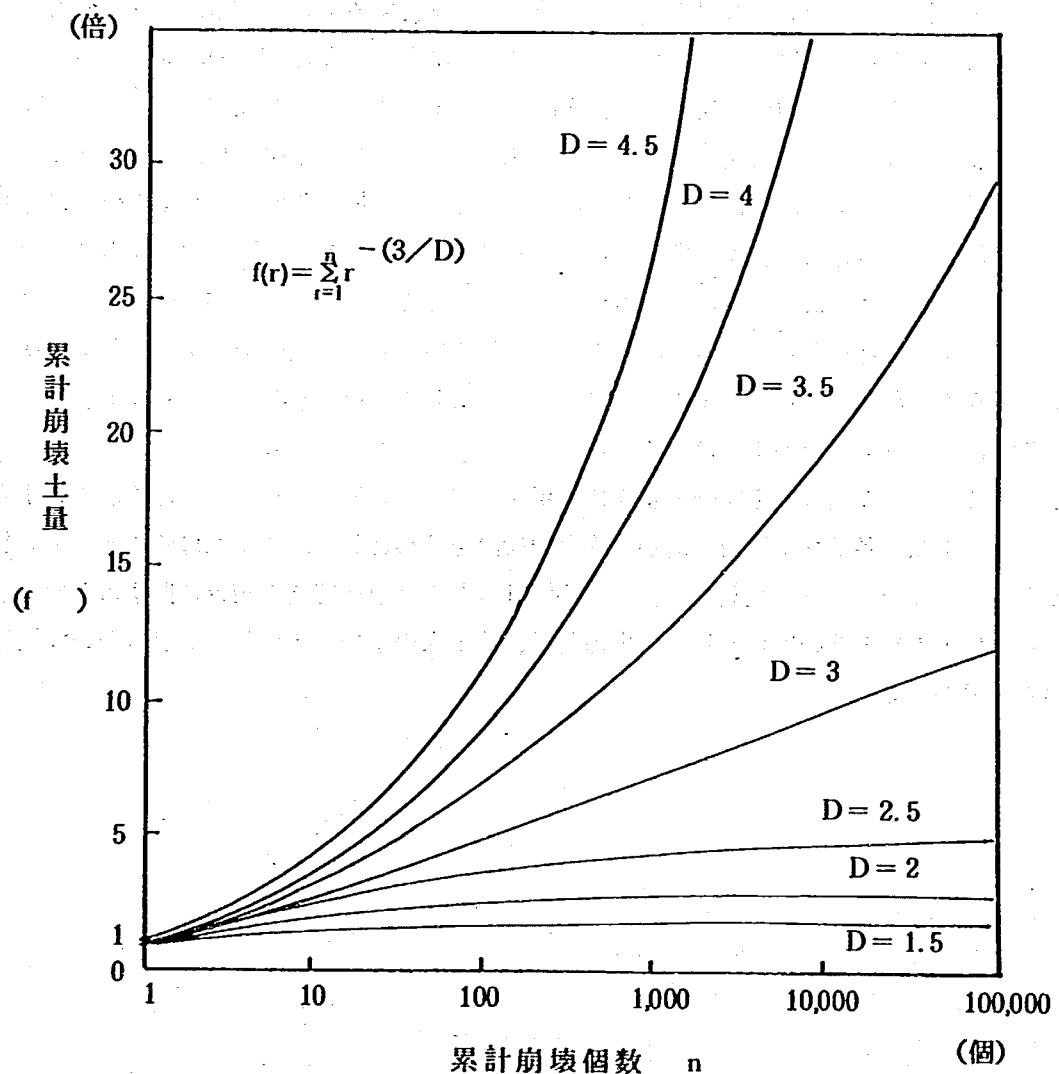


図4-1-16 最大崩壊土量を1としたときの大きい崩壊順の累計崩壊土量

な崩壊が短期間に運び去ることが不可能となるため、斜面は崩積土によって覆われ、いわゆる地すべり地の様相を呈するという事が考えられる。地すべり地の分布と地質の相関が高いのは、地質によりDがある程度規定されていることを表したものと考えられる。

図4-1-15に戻って直接計算値と近似曲線を比較すると、 $L > 20\text{m}$ においては、近似値と直接計算値は、適当な α やDを採用していることもあり、ほぼ一致する。しかし、 $L < 20\text{m}$ においては、 $L \rightarrow 0$ に従ってこれらに著しい差が生じている。これは一つには空中写真判読の限界を示すものであるが、 $\sum_{r=1}^{\infty} V_r(L), r \rightarrow \infty$ となるモデルは、現実と異なることも確かであり、(A)または(B)、もしくはその両方がこのままの形では適用出来ないことを示している(例えば、崩壊規模が落石程度以下になると、崩壊形は球形に近づくため(B)式のkは $\pi/6$ に漸近すると予想される。よって崩壊規模が小さくなると(B)式は単純には適用できないことがわかる)。累計崩壊土量の算定を行なう際は、(A)式にあたる近似式の骨格が密度関数であるものが最も扱いやすい。

対数正規分布等の確率的な表現法は密度関数を基本としているため、上の問題点を解決し、また、崩壊厚さがある値以上でなければすべり面の剪断力が被覆層の限界剪断力を超えないという仮定に基づく土質力学的斜面安定の簡易モデルの適法を間接的に支持するものであるが、落石や表面浸食まで統一的に説明出来るものではない。落石や表面浸食は崩壊とは異なるがその境界を明確に分離することは難しい。崩壊では統計的に土量算定し表面浸食ではまた別な仮定を設定するなど全く別々に土砂移動量や浸食量を算定するよりも、 $N(L) = \alpha L^{-D}$ のような近似式をおき、 $L \rightarrow 0$ においては例えば草本の影響による土のみかけの粘着力の増加や表面浸食の抑制程度に応じて近似式に変曲点を加えDを変化させる等の方法が、大規模崩壊から表面浸食までを浸食量という視点から統一的に考える上では、利用しやすい様に思われる。この理由の一つとして、図4-1-16で述べたように、Dを低い値に変化させることによって、密度関数を基本としていなくとも累計崩壊土量の急激な増加を抑えられるということが挙げられる。またさらにこれを拡張して、適度なL以下でDをゼロに設定すれば浸食量算定に関する実用上の支障はなくなる。

しかし、このような近似式を実際の現場に利用するには、いろいろな面でまだ検討を要することも確かであり、実際に各地域で適用可能かどうかの検討を始めとして、まず基礎的なデータ収集を行なう必要がある。また、データ収集の際、地形特性はもとより地域特性の相違に関する重要な要因と推定される地質・土質とその風化過程、植生の効果、地下水の挙動、広域的な地殻変動の効果等に注目しておく必要がある。

4-2. 現地調査

この節では、現地調査及び各地建から収集した小規模崩壊の各データ等の中から、重要なアイテムを選択し、これを利用して数量化解析（Ⅱ類）による崩壊特性の検討を行なった結果について述べる。

現地調査および各地建より収集したデータは、自然斜面と切土のり面に分類して調査整理表にまとめ（表4-2-1、4-2-2）、この中で比較的データの揃っている要因や、斜面の安定度判定に有効と考えられる要因を選択してアイテム・カテゴリー一覧表（表4-2-3、4-2-4）を作成し、これを用いて空中写真判読で行ったのとほぼ同じ手順によって数量化解析を行った。

自然斜面における解析結果を表4-2-5に示す。これによると、カテゴリー数量の範囲による順位および偏相関係数による順位で共に斜面安定度判定への寄与率が最も高かったのは被覆層の土質であり、被覆層の厚さや斜面形状、岩種大区分等がそれに次いで高い。個々のカテゴリー数量で見ると被覆層の厚さが4m以上のものは危険性が高く、斜面が畑・水田・裸地（主に裸地）からなっている斜面も同様である。逆に、被覆層が有機質土であるものは、危険性が低い。調査対象地域は崩壊斜面が少ないという問題点があるが、的中率は約90%に達している。（図4-2-1）。

切土のり面における解析結果を表4-2-6に示す。これによると、カテゴリー数量の範囲による順位および偏相関係数による順位でともに斜面安定度判定への寄与率が最も高かったのは自然斜面と同様被覆層の土質であり、のり面勾配、被覆層の厚さ、のり面の幅等がそれに次いで高い。個々のカテゴリー数量で見るとのり面勾配が60°以上ものものは危険性が高く、また、被覆層の土質が砂～砂質土からなっている斜面も同様である。逆に、被覆層が有機質土であるものは危険性が低く、この点は自然斜面と同じ結果である。調査対象地域は自然斜面におけるデータと同様に崩壊のり面が多く未崩壊のり面が少ないという問題点があるが、的中率は約90%程度である（図4-2-2）。

自然斜面・切土のり面を総合すると、斜面崩壊への寄与率が高いのは被覆層の土質であり、砂～砂質土であるものが一般に危険性が高く、有機質土の斜面は危険性が低いという結果を得た。また、被覆層の厚さが厚いものほど危険性が高かった。

一般に安全率は斜面の安定度、特に地すべり等の安定性を判定するために最も有効な方法である。そこで、小規模崩壊についてこれが成り立つかどうかを確かめるため、各斜面・のり面について降雨時の安全率の算定し、数量化解析で得られたスコア値との相関をみたのが図4-2-3、4-2-4である。安全率の算定に用いた土質定数は、各地質における代表的な崩壊斜面より得たすべり面相当層の土質試料（両端面を整形しパラフィン、松脂でシールし自然状態を保ったもの）の密度試験およびCU法による三軸圧縮試験結果を用いた。図によると自然斜面においては弱い相関が認められるが、一般にいわれているほど相関は高くなく、特にのり面においてはほとんど相関が見出せない。数量化解析の値がほぼ90%的中率を得ていることを考えると、今回の調査では、小規模崩壊で安全率を斜面の安全性の指標として採用する際は注意が必要であることを示している。斜面崩壊の規模が小さくなるとよりむしろcの測定精度が求められるが、被覆層のcは土質によりかなりばらつき、また、c自体が被覆層の構造や植生（根の状態）、地下水（水みちの状態）等に大きく影響される。さらにのり面崩壊の場合は、小段を持つものやのり勾配が変わるもの等が多く崩壊形（すべり面）が推定し難いこと、切土のり面の形状や保護工の状況により安定度はかなり変わるにもかかわらず安全率の計算にあたってこれを考慮出来なかったことなどが、よりばらつきを大きくしていると思われる。

表4-2-1 斜面調査整理表

(SHAN2 1:100 J:150)

No	項目	測定値									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
1	通し番号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
2	的通し番号 (MORISEIRI)										
3	調査地										
4	崩壊・未崩壊										
5	自然斜面勾配										
6	自然斜面の被覆層の厚さ (概算)										
7	自然斜面の被覆層の厚さ (弾性被覆層)										
8	自然斜面の被覆層の厚さ (弾性被覆層)										
9	自然斜面の被覆層の厚さ (弾性被覆層)										
10	自然斜面の被覆層の厚さ (弾性被覆層)										
11	自然斜面の被覆層の厚さ (弾性被覆層)										
12	自然斜面の被覆層の厚さ (弾性被覆層)										
13	斜面形状										
14	比高 (尾根-谷底)										
15	奥水面積 (崩壊前)										
16	奥水面積 (崩壊後)										
17	奥水面積 (崩壊後)										
18	奥水面積 (崩壊後)										
19	奥水面積 (崩壊後)										
20	奥水面積 (崩壊後)										
21	奥水面積 (崩壊後)										
22	奥水面積 (崩壊後)										
23	奥水面積 (崩壊後)										
24	奥水面積 (崩壊後)										
25	奥水面積 (崩壊後)										
26	奥水面積 (崩壊後)										
27	奥水面積 (崩壊後)										
28	奥水面積 (崩壊後)										
29	奥水面積 (崩壊後)										
30	奥水面積 (崩壊後)										
31	奥水面積 (崩壊後)										
32	奥水面積 (崩壊後)										
33	奥水面積 (崩壊後)										
34	奥水面積 (崩壊後)										
35	奥水面積 (崩壊後)										
36	奥水面積 (崩壊後)										
37	奥水面積 (崩壊後)										
38	奥水面積 (崩壊後)										
39	奥水面積 (崩壊後)										
40	奥水面積 (崩壊後)										
41	奥水面積 (崩壊後)										
42	奥水面積 (崩壊後)										
43	奥水面積 (崩壊後)										
44	奥水面積 (崩壊後)										
45	奥水面積 (崩壊後)										
46	奥水面積 (崩壊後)										
47	奥水面積 (崩壊後)										
48	奥水面積 (崩壊後)										
49	奥水面積 (崩壊後)										
50	奥水面積 (崩壊後)										
51	奥水面積 (崩壊後)										
52	奥水面積 (崩壊後)										
53	奥水面積 (崩壊後)										
54	奥水面積 (崩壊後)										
55	奥水面積 (崩壊後)										
56	奥水面積 (崩壊後)										
57	奥水面積 (崩壊後)										
58	奥水面積 (崩壊後)										
59	奥水面積 (崩壊後)										
60	奥水面積 (崩壊後)										
61	奥水面積 (崩壊後)										
62	奥水面積 (崩壊後)										
63	奥水面積 (崩壊後)										
64	奥水面積 (崩壊後)										
65	奥水面積 (崩壊後)										
66	奥水面積 (崩壊後)										
67	奥水面積 (崩壊後)										
68	奥水面積 (崩壊後)										
69	奥水面積 (崩壊後)										
70	奥水面積 (崩壊後)										
71	奥水面積 (崩壊後)										
72	奥水面積 (崩壊後)										
73	奥水面積 (崩壊後)										
74	奥水面積 (崩壊後)										
75	奥水面積 (崩壊後)										
76	奥水面積 (崩壊後)										
77	奥水面積 (崩壊後)										
78	奥水面積 (崩壊後)										
79	奥水面積 (崩壊後)										
80	奥水面積 (崩壊後)										
81	奥水面積 (崩壊後)										
82	奥水面積 (崩壊後)										
83	奥水面積 (崩壊後)										
84	奥水面積 (崩壊後)										
85	奥水面積 (崩壊後)										
86	奥水面積 (崩壊後)										
87	奥水面積 (崩壊後)										
88	奥水面積 (崩壊後)										
89	奥水面積 (崩壊後)										
90	奥水面積 (崩壊後)										
91	奥水面積 (崩壊後)										
92	奥水面積 (崩壊後)										
93	奥水面積 (崩壊後)										
94	奥水面積 (崩壊後)										
95	奥水面積 (崩壊後)										
96	奥水面積 (崩壊後)										
97	奥水面積 (崩壊後)										
98	奥水面積 (崩壊後)										
99	奥水面積 (崩壊後)										
100	奥水面積 (崩壊後)										

表4-2-2 のり面調査整理表

(NOR1852 1:150 J:100)											
No	項 目	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
1	通し番号										
2	前通し番号 (KIRINORI)										
3	調査地										
4	崩壊・未崩壊										
5	法面勾配										
6	法面の植生										
7	法面の被覆層の厚さ										
8	法面の傾										
9	法面の傾										
10	法面の傾直高さ										
11	法面の傾直高さ										
12	法面形状										
13	法面形状										
14	斜面の向き										
15	斜面の向き										
16	安全率 平常時										
17	安全率 降雨時										
18	安全率 降雨時 - =										
19	安全率 降雨時 - = 0										
20	安全率 降雨時 - = 0										
21	安全率 降雨時 - = 0										
22	安全率 降雨時 - = 0										
23	安全率 降雨時 - = 0										
24	安全率 降雨時 - = 0										
25	地質時代										
26	地質時代										
27	岩種大区分										
28	岩種大区分										
29	岩種区分 I										
30	岩種区分 II										
31	岩種区分 III										
32	岩種の粗										
33	法面の土質										
34	法面の土質										
35	湧水・表流水										
36	湧水・表流水量										
37	樹生										
38	樹生										
39	法面保護工										
40	法面保護工 1										
41	法面保護工 2										
42	法面保護工 3										
43	法面保護工 4										
44	すべり面の地質的位置										
45	すべり面の地質的位置										
46	崩壊地										
47	崩壊地										
48	すべり層厚										
49	すべり層厚										
50	被災形態										
51	被災形態										
52											
53											
54											
55											
56											
57											
58											
59											
60											
61											
62											
63											
64											
65											
66											
67											
68											
69											
70											
71											
72											
73											
74											
75											
備考											

表4-2-3 自然斜面におけるアイテム・カテゴリー一覧表

[illegible]

表4-2-4 切土のり面におけるアイテム・カテゴリー一覧表

7行地	1	2	3	4	5
東北・北陸	東北・北陸	関東・中部	近畿・中国	四国	九州
0~15	0~15	15~30	30~45	45~60	60以上
0~1m	0~1m	1~2m	2~3m	3~4m	4m以上
0~50m	0~50m	50~100m	100~150m	150~200m	200m以上
0~10m	0~10m	10~20m	20~30m	30~40m	40m以上
凸型	凸型	直接型	複合型	凹型	
北向き	北向き	東向き	南向き	西向き	
0~1	0~1	1~1.5	1.5~2	2~2.5	2.5以上
0~1	0~1	1~1.5	1.5~2	2~2.5	2.5以上
0~1	0~1	1~1.5	1.5~2	2~2.5	2.5以上
0~40%	0~40%	40~50%	50~60%	60~70%	70%以上
第四系	第四系	新第三系	古第三系	中生界	古生界
火山岩	火山岩	凝灰岩・砂岩	凝灰岩	堆積岩	土砂
礫・砂質土	礫・砂質土	砂・砂質土	砂・砂質土	有機質土	その他
なし	なし	あり	あり		
広葉樹主体	広葉樹主体	針葉樹主体	灌木	竹・ススキ・雑草	雑・木田・雑草等
被覆層内	被覆層内	被覆層と被覆層の外	基盤岩内	他	
0~10m	0~10m	10~20m	20~30m	30~40m	40m以上
0~1m	0~1m	1~2m	2~3m	3~4m	4m以上

表4-2-5 数量化Ⅱ類による分析結果 (自然斜面)

SHAMM2の分析結果

アイテム	カテゴリー	例数	カテゴリー 数値	範 圍 (偏相関係数)	価 格
土質の区分	0 m ~ 1 m	28	-0.03932	1.60761 (0.39260)	
	1 m ~ 2 m	21	-0.07059		
	2 m ~ 3 m	11	0.57159		
	3 m ~ 4 m	7	0.35887		
	4 m 以上	6	-1.03601		
地形形状	凸型	24	-0.05791	1.16927 (0.40180)	
	直線型	17	0.64418		
	複合型	10	0.19906		
	凹型	22	-0.52509		
地層大区分	火山岩	16	-0.09995	1.33758 (0.44284)	
	礫・砂・粘土質	10	0.57904		
	変成岩	16	-0.75854		
	堆積岩	13	0.33979		
	土砂	18	0.19600		
土質の性質	レキ～レキ質土	4	-0.09996	3.53823 (0.60905)	
	砂～砂質土	15	-0.56054		
	シルト～粘粒土	17	-0.80343		
	有機質土	1	2.73480		
	その他	36	0.54810		
水・気象条件	なし	61	0.06336	0.38542 (0.14401)	
	あり	12	-0.32206		
植生	広葉樹	13	0.25880	1.16917 (0.29438)	
	針葉樹	46	0.05323		
	灌木	4	-0.73349		
	苔・スギ・雑草	7	-0.02115		
	竹・木田・雑草等	3	-0.91037		
			相 関 比	0.56039	

外的基準

アイテム	カテゴリー	例数	カテゴリー 数 量	範 囲 (偏相関係数)	備 考
22・未22	崩壊	58	-0.38070		
	未崩壊	15	1.47203		

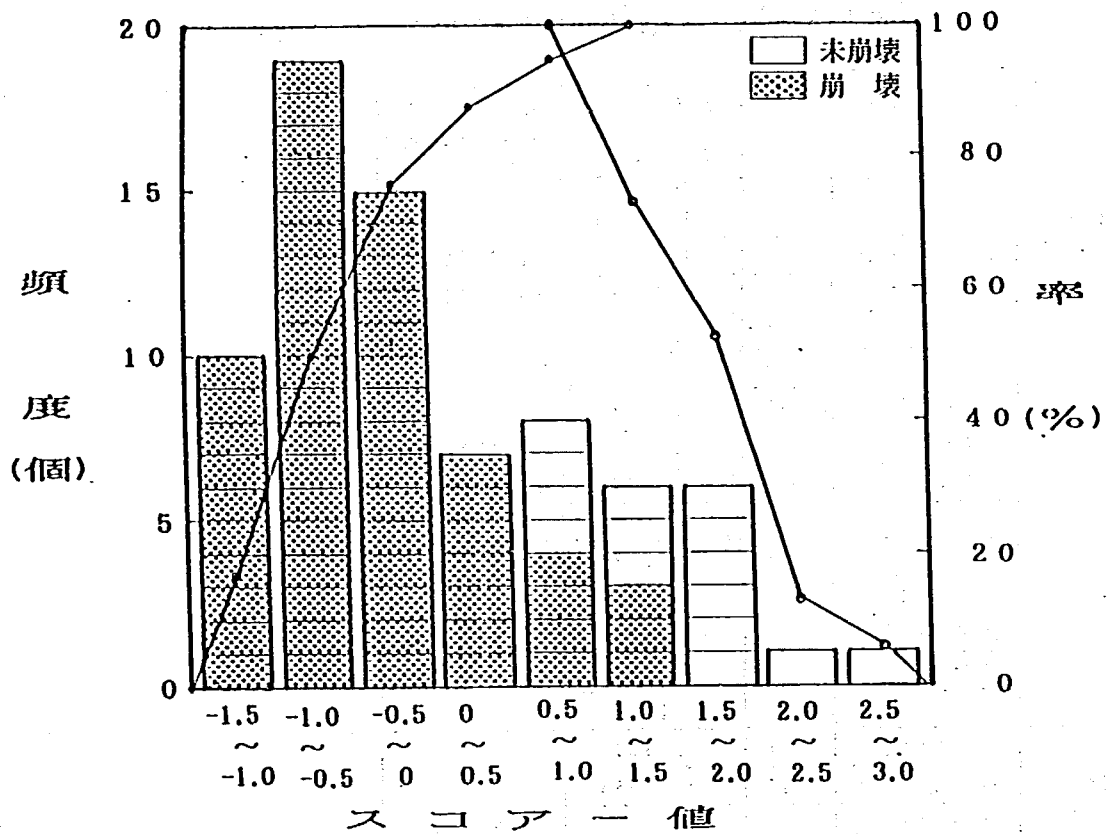


図4-2-1 各斜面のスコア値ヒストグラム (自然斜面)

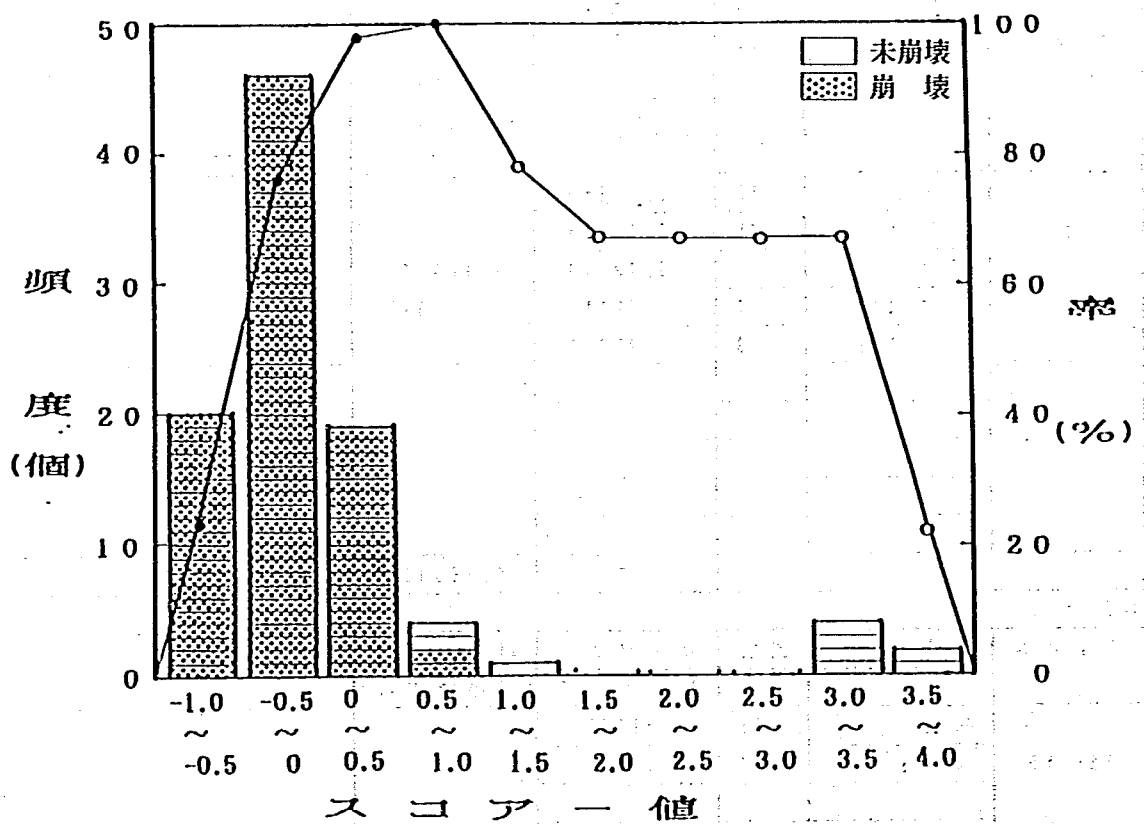


図4-2-2 各斜面のスコア値ヒストグラム (切土のり面)

表4-2-6 数量化Ⅱ類による分析結果 (切土のり面)

NORIMM2 の分析結果

アイテム	カテゴリー	例数	カテゴリー 数	範 囲 (偏相関係数)	価 考
断面勾配	0° ~ 15°	0		1.42905 (0.25404)	
	15° ~ 30°	2	0.97193		
	30° ~ 45°	19	0.51196		
	45° ~ 60°	59	-0.07355		
	60° 以上	16	-0.45713		
断面高の長さ	0 m ~ 1 m	25	0.47810	0.69601 (0.42203)	
	1 m ~ 2 m	31	-0.16449		
	2 m ~ 3 m	17	-0.20510		
	3 m ~ 4 m	11	-0.21792		
	4 m 以上	12	-0.05080		
断面の幅	0m ~ 50m	34	0.00574	0.53085 (0.27069)	
	50m ~ 100m	17	0.31362		
	100m ~ 150m	27	-0.10469		
	150m ~ 200m	5	0.02483		
	200m 以上	13	-0.21723		
断面の高さ	0m ~ 10m	36	0.10981	0.38303 (0.25440)	
	10m ~ 20m	31	-0.17623		
	20m ~ 30m	17	0.12742		
	30m ~ 40m	6	-0.24621		
	40m 以上	6	0.13681		
断面形状	凸型	12	0.17980	0.29457 (0.15429)	
	直線型	27	0.08678		
	複合型	4	-0.11477		
	凹型	53	-0.07626		
断面の向き	北向き	19	0.17980	0.29457 (0.15429)	
	東向き	26	0.08678		
	南向き	23	-0.11477		
	西向き	28	-0.07626		
断面の土質	いり～れき質土	15	-0.19291	3.43742 (0.60207)	
	砂～砂質土	23	-0.42052		
	シルト～粘土	28	0.05908		
	有機質土	6	3.01690		
	その他	24	-0.29959		
			相 関 比	0.80325	

外的基準

アイテム	カテゴリー	例数	カテゴリー 数	範 囲 (偏相関係数)	価 考
断面・土質	崩壊	87	-0.25588		
	未崩壊	9	2.76349		

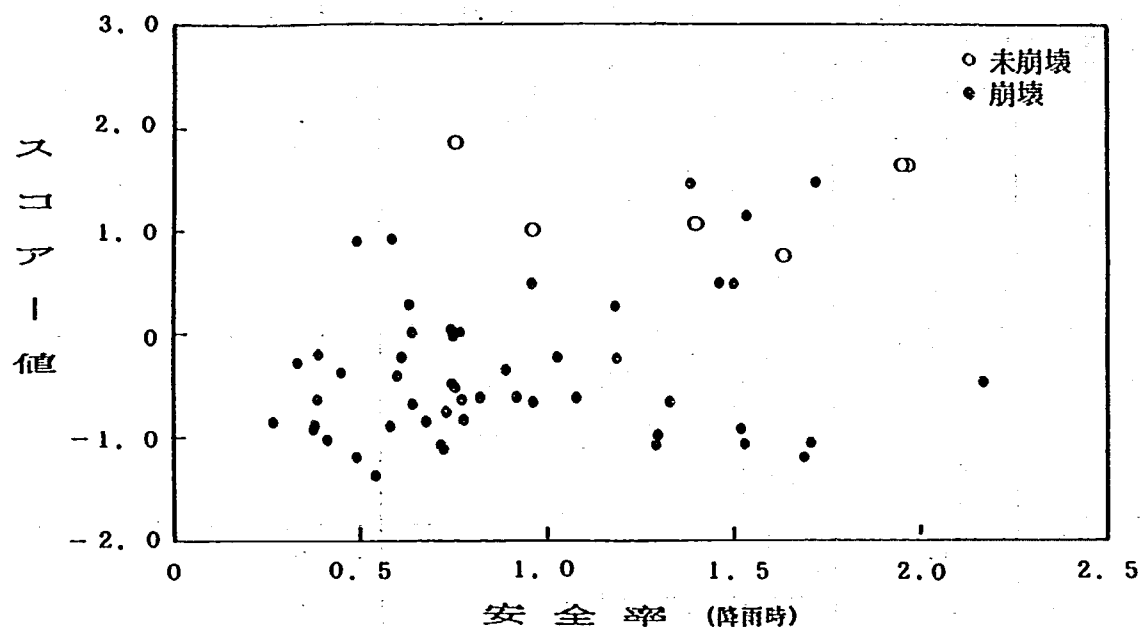


図4-2-3 安全率とスコア値の関係 (自然斜面)

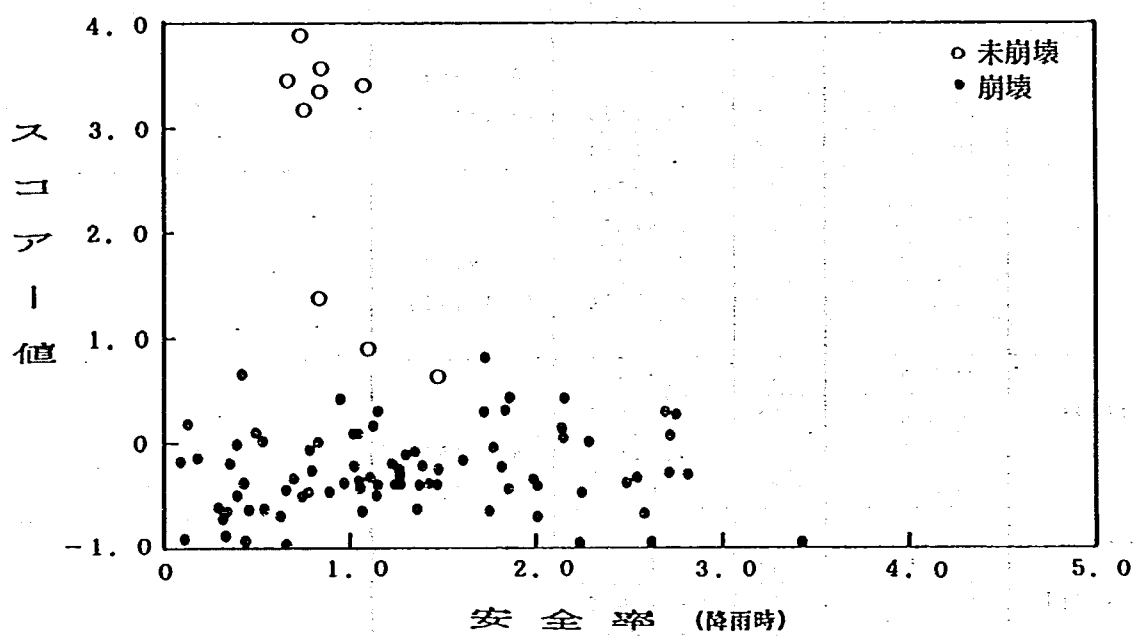


図4-2-4 安全率とスコア値の関係 (切土のり面)

5. まとめと問題点

4章において、斜面崩壊の概査を行う際に有効な因子を取り上げこれらの斜面崩壊への寄与程度や利用にあたっての注意項目について検討を行った。その結果、空中写真判読によって得られる各種の判読項目を有効に用いることにより斜面崩壊の可能性の高い斜面を、数量化解析を用いて定量的に推定することが可能であり、また、資料調査や簡易な現地調査（観察、簡易貫入試験、弾性波探査等）により、その精度が向上することが分かった。しかし、同時に次の点に注意する必要があることが確認された。

- ① 空中写真判読によって得られる地形因子の中には、斜面勾配および崩壊幅と相関があるものが認められた。このことは、これらを用いて数量化解析を行う場合、より精度のよい判定のためには対象とする崩壊の種類（表層崩壊、岩滑り、地滑り等）毎に異なった評価基準を作成する必要があることを示唆している。
- ② 地質の判明している斜面の詳細な判読の結果、地質の相違（主に岩の硬軟？）によって、判読される地形因子の種類やその捕捉率が多少異なっていること、また、地形的位置（斜面の上部、下部等）によっても捕捉率が多少異なっていること、空中写真の縮尺の相違は（判読項目の絶対量には影響するが）判読項目の種類にはさほど影響しないことなどが分かった。このことは、空中写真判読がどのような地域でもほぼ同じような精度でデータ収集が可能であると仮定して数量化解析を行うことに問題があることを示している。
- ③ 斜面崩壊の規模分布には地域特性があり、過去の崩壊データ（空中写真）があればこれを量的に示すことが可能であるため、危険度（崩壊影響度）判定の際に、例えば予想される崩壊規模の平均値等、基本的条件項目として盛り込んだり、数量化解析においてメッシュを設定して検討する際に適切なメッシュの大きさを選定する基準などとして利用することが可能である。しかし、これらを実際に利用するためには斜面の地形特性と地質や被覆層等の関係についてより詳細な検討が必要である。
- ④ 現地調査によって、詳細な地質構造、弱層の存在、湧水や地表水、微細な変動形跡、土質、被覆層や風化層の厚さ等のデータが得られ、よりの中率の高い数量化解析基準等の検討が可能となる。特に表層崩壊の場合は被覆層の厚さの把握が重要であり、これを簡易に推定する手法が望まれる。また、土質も安定性判定に有効な結果を得た。しかし安全率算定による安定度判定法は、小規模崩壊の場合誤差が大きく、特に切り土のり面の場合、ほとんど相関が認められなかった。安全率を小規模崩壊に用いるためには被覆層の構造、植生、地下水の挙動、斜面安定工による安定性の変化等をどのように見積もるかが問題として残される。

以上の点に注意しつつ、4章の調査結果等を利用して斜面崩壊の概査法について調査の概略的な流れについてまとめた結果を表5-1に示す。表に示した斜面崩壊の概査の流れは、まず斜面勾配の分布や基本地形区分を行い斜面の基本特性を把握した後に、既存の崩壊地や崩壊可能性の高い斜面に注目する。また、これらの斜面の中で、崩壊地であることを裏づけるような地形や崩壊の特性を表現している地形を抽出し、上で注目した斜面の性格づけを行うとともに、その安定性についての基礎データを得る。更に、その斜面内部の地山特性や弱層を推定するための地形特性を抽出し、植生等のデー

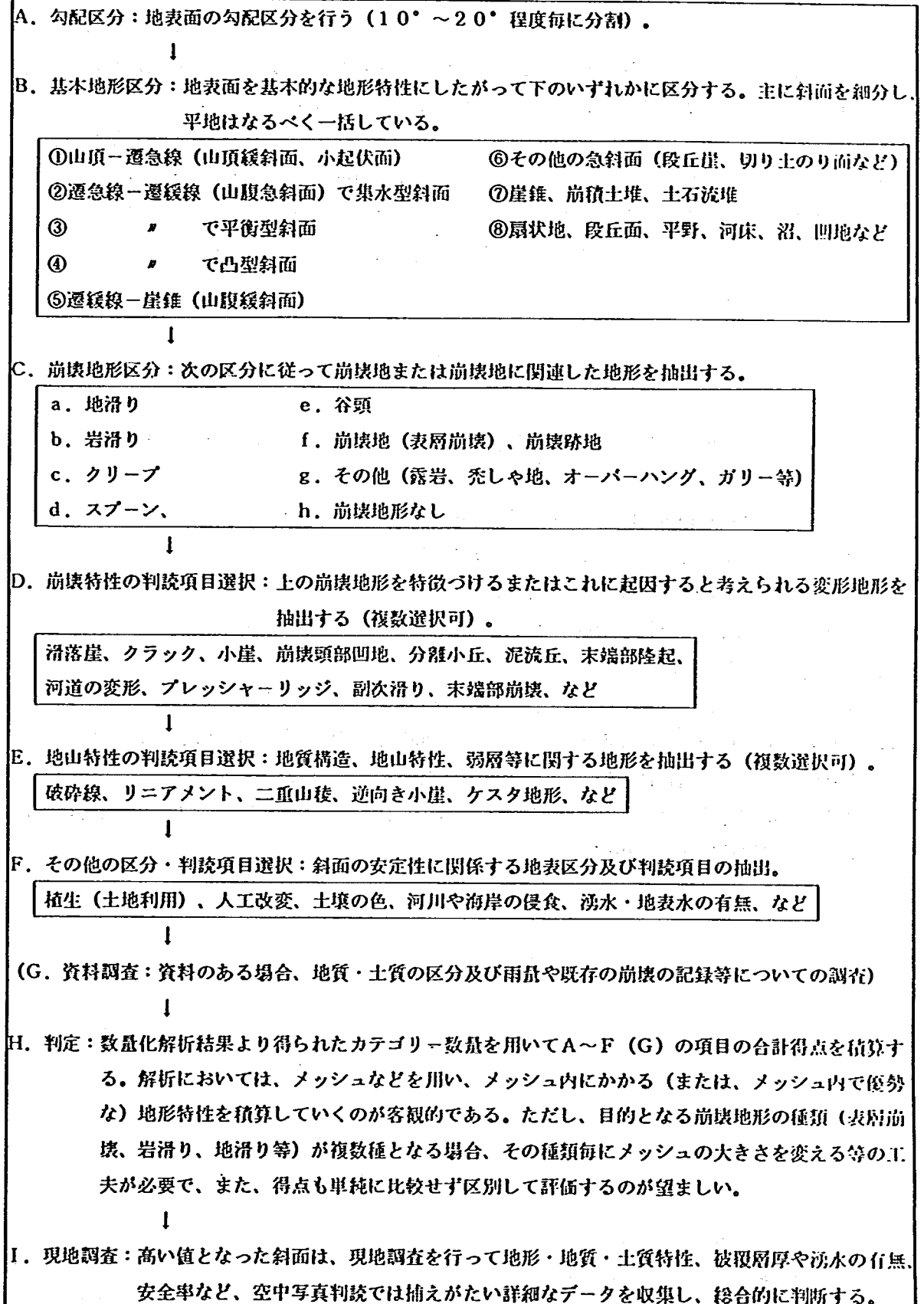
タを加えて評価を行うものである。ここで注意しなければならない点は、まず、個々の崩壊地形の大きさが異なるために、このままで評価すると、より大きい崩壊の方が微地形なども多く捉えられ、高い点となってしまうことである。これは、斜面の高さが高いものは危険性が低くても危険度判定で高いランクを得るのと同じ原理であり、これを防ぐためには調査のための単位面積を一定にしておく必要がある。表層崩壊の横幅は一般に十数m~30m程度であるから、これらを捕捉するためには数十メートルオーダーのメッシュが必要であるということになる。しかし一方、メッシュを小さくしすぎると大規模な崩壊が捕え難くなるため、適切な大きさの設定が重要であろう。もう一点は、上で述べたように表層崩壊、岩滑り、地滑り等を同じような物差し（点数）で比較することの是非である。4章で示したように、空中写真で判読される各地形因子の崩壊への寄与率や捕捉精度は、崩壊幅、勾配、地質等により異なるものが多かった。これらを同じ基準で比較することには精度の点で疑問があり、ある程度分けて扱った方がよいかも知れない。その際には、目的とする崩壊の種類（及び規模）毎にメッシュを適宜変える必要があるが、むしろその方が混乱も少なく、精度が向上するように思われる。

今回の調査は、前半が空中写真を、後半は簡易な現地調査・試験を用いた、数量化解析を主体とした斜面崩壊危険度判定のための調査であったが、空中写真判読と現地調査両方を有機的に用いることによつて的中率は向上するであろう。しかし、今後これらを有機的に利用するためにはクリアしなければならない幾つかの問題点を残している。

一つは、調査地域の選択に関する問題である。数量化解析のための調査地は、地域的偏りなく選定する必要がある。しかし、今回選定した各崩壊、特に表層崩壊は調査地域に偏りがあり、また、箇所数も限られていた（限られた地域をメッシュで切って比較するタイプの数量化解析もあり、これならば調査地域内での斜面の安定性を精度良く比較することができる。しかしこの場合は解析結果をその調査域意外に用いることは適当でない）。また、崩壊規模もランダムに選定するべきであろうが、この点に関しては、どの程度の小崩壊から収集すれば良いのか、どのような崩壊を対象としているのかに対する基準を設ける必要がある。というのは、例えば、非常に小さな崩壊も含めて収集すると、これら小さな崩壊は「安定」と判定される傾向がある。崩壊地と未崩壊地（外的基準）の選択の基準も同様で、特に未崩壊地としてどのような斜面を選択すれば良いかについては注意しなければならない。このように考えると、数量化解析において最も重要なのはサンプリングの段階であり、これが客観的に行われれば数量化解析の半分は成功であるといつて良い。逆にサンプリングに偏りがあれば、どのように工夫した解析もその意味は半減する。

もう一つは、データの質とその扱いに関する問題である。データには、定量的なデータと定性的なデータ、点的・線的なデータと面的（立体的）データなど、各種のデータが存在し、例えば「崖錐」とは、定性的面的（立体的）データであり、「遷急線」は定性的線的データ、「勾配」は定量的点的（線的）データ、「安全率」は定量的線的（面的）データというようにその性質は異なっているため、例えば、定量的なデータに境界値を設けて定性的データと比較するときの境界値の設定法や、線的データと面的データの扱い方等、これらのデータを利用する際にはなんらかの工夫がいる。また、「副滑落崖が明瞭」といっても、その中には、「副」という質的意味合い、「滑落崖」という言葉の持つ形態や範囲、「明瞭」の程度等、判読者各自の判断は異なっているのが普通である。空中写真判読などは完全に客観的な判断基準を作ることは不可能であろうが、できるだけ客観的な判定基準を設定する、またはある程度の誤差を含むものとして判断するなどの、基本的スタンスを前もって決定しておく必

表5-1 斜面調査概査法の流れ



要がある。

最後に現地調査の方法であるが、道路のり面・斜面における崩壊の大半を占める表層崩壊に関しては、簡易に土質（構造を含む）およびその力学的特性・被覆層の厚さ・透水性・植生の影響等を推定する手法の確立が特に求められる。地滑りの調査においてはこれらの調査（特にすべり面の強度測定等）は比較的多く行われているが、概査法としては高価で非効率的である。一般斜面においては斜面調査簡易貫入試験や簡易弾性波探査などが行われる程度で、今回被覆層の厚さに関しては肉眼観察とともにこれらの手法を併用したが、いずれも精度または効率の問題を残している。透水試験や植生の影響度に関しては、ほとんど行われていない。しかし、表層崩壊については、空中写真判読で確立良く危険度判定を行うことは難しく、より効率的経済的かつ精度の良い現地調査法の開発が望まれる。また、現地調査手法の全体的な流れについては今回は検討しなかったが、効率的で見逃しのない調査方法の検討が必要である。

引用文献

- 1) 市川 慧、平野 勇、佐々木靖人、石塚克己、阿部昌彦：『道路のり面・斜面崩壊調査（その1）』、土木研究所資料第2612号、1988.
- 2) Mandelbrot : 『The Fractal Geometry of Nature』 (Free man, San Francisco, 1982), 広中平祐 監訳、フラクタル幾何学 (日経サイエンス)、1984.
- 3) 高安秀樹：『フラクタル』(朝倉書店)、1986.
- 4) 羽田野誠一：『地すべり性大規模崩壊と地形条件—和歌山県有田川上流の事例—』、第5回災害科学シンポジウム、1968.
- 5) 平野宗夫：『山地小河川における流出過程において』、土木学会論文集、No 308、1981.
- 6) 新藤静夫、恩田裕一：『崩災の規模、様式、発生頻度とそれに関わる山体地下水の動態（第一章 花崗岩山地(1)』、文部省科学研究費 自然災害特別研究(1)、1987.
- 7) 大野博之、亀谷裕志、小島圭二：『岩盤割れ目に見るフラクタル性』、昭和62年度研究発表講演論文集、日本応用地質学会、1987.

道路のり面・斜面崩壊調査(その2)

ISSN 0386-5878

土木研究所資料第2728号

平成元年2月(1989年)

地質研究室 中村康夫・平野 勇
佐々木靖人・石原克己・阿部昌彦

要 旨 道路の路線選定時前の切土のり面・斜面の簡易な安定度判定を目的とし、幾つかの小～中規模崩壊について空中写真判読及び崩壊要因分析を行ない検討した結果についてまとめたものである。

キーワード：道路管理，道路防災，のり面崩壊，斜面崩壊



郵便はがき

40円切手
をはって
下さい。

305-□□

茨城県つくば市大字旭一番地

建設省土木研究所

地質研究室 行

No. 003

No.

配布先氏名

配布先住所



土木研究所資料 第2728号 部

上記のとおり受領しました。

所 属 (住所)

氏 名

印