



土砂災害の予知と対策

5. 土石流 (その 2)

わた 渡 なべ 辺 まさ 正 ゆき 幸* なか 中 やま 山 まさ 政 いち 一**

5.2 土石流の予知・予測、調査

5.2.1 土石流の予知・予測

(1) 土石流予知・予測の概念

土石流現象を予知・予測できればという願望は、言うまでもなく人命・財産の損傷を防ぎたいという明確な意志から出ている。そのためには土石流現象が生起する場では活動しないことが第一であり、ついで土石流現象にいかにして遭遇しないようにするかというタイミングを問題にする必要がある。いずれにせよ予知・予測を有効適切に行うためには、土石流現象を支配する法則性に立脚して、分かったものから逐次活用し、さらに現実的判断を加えていくことによりかなり多くの災害を防止することが可能であると思われる。

土石流災害を予知するためには、まず土石流が発生しやすいような素因をもった地域、あるいは場所（渓流）を判定するという作業と、発生する土石流の性質すなわち移動する砂礫の量・速度および到達する距離を予測すること、さらには素因の変化を把握しておくという作業が必要である。一方、土石流はある時点に誘因となるような特別の条件が与えられた時にはじめて発生する。誘因となる自然現象は降雨・融雪による水の供給であるが、これらの強さがある限界を超えた時に発生の可能性が急激に高まることから、誘因による危険度の変化を評価する作業も必要となる。しかし、同じような素因をもつ場所に同じような誘因が作用しても、必ずしも同時に同じような現象が発生するとは限らないところに土石流予知の難しさがある。

(2) 山地の危険度評価

山地における斜面・渓流での砂礫および水の供給状態に対して、平均値としての一定の要因を仮定し、過去の発生例に照らして要因の重みを決めて要因間の線形結合によって作られた判別式で土石流の起こりやすさを判定する方法が試みられた。この方法によると地域の平均的特性は判定しうが、具体的にどの地点でどれほどの規模の土石流がいつ発生するかを解析することはできない。表—5.2にその事例を示す¹⁷⁾。この数量化法は得点自体がもつ物理的意味が明らかでないこと、ほかの地域に適用できる一般性を

もたないこと、要因の中に客観的判断が困難なものが多いこと等が指摘されるが、どのような要因が効くかのおよその判断はできる。

表—5.3に判別関数を用いた判定結果を示す¹⁸⁾。発生に関する考え方にはほかに、溪床堆積物の安定限界水量比 (U) と流域面積との比を考えることによって土石流の発生率が得られること、0次谷における土石流発生率と高次谷へ発達していく率に相関があることを示したもの¹⁹⁾がある。土石流の発生に関し、谷頭部の急斜面の比軽的小規模ないわゆる山崩れがそのまま土石流に発達する事例がきわめて多いことを考えると、斜面崩壊の発生予知も重要な要素であるといえる。また地形要因として地形的滑動力示数 $F^{20)}$ を考え、過去の事例から得られた F 値と比較することによって崩壊可能性の有無と危険地点の分布を推定することが可能であるという研究もある²⁰⁾。

(3) 渓流における土石流発生予測

土石流の発生には急な勾配、十分な水、移動しうる砂礫の三つの要素が必要であることがわかっている。始発現象としての形態は5.1.1で①から⑤の5項目に区分されている。このように異なった形態やメカニズムが発生を支配するという事実だけをもってしてもその予知・予測は至難のことと考えられる。一般に①, ②, ③の事例が卓越しているが、溪床堆積物は上流から流送されてきたものか斜面から供給されたものであり、流動を開始し継続させる水は降雨によって供給されるので共通の条件をもつものとみなしうる。しかし、斜面崩壊や天然ダムの形成および地すべりは余程明確に予知できるものを除いては偶然性の所産と考えざるをえない。

(a) 建設省による土石流危険渓流調査

5.1.2によれば、土石流の発生を支配する因子は、 θ , c_* , σ , ρ , ϕ , d , D ならびに h_0 である。ここで、表面水深 h_0 をもたらす流量を考え、それを合理式で与えると、

$$A \geq \frac{3.6}{r_e} \left\{ \frac{8g \sin \theta}{f} \right\}^{\frac{1}{2}} \left\{ c_*(\sigma/p - 1) \left(\frac{\tan \phi}{\tan \theta} - 1 \right) - 1 \right\}^{\frac{3}{2}} d^{\frac{3}{2}} B \dots \dots \dots (5.9)$$

を満足する流域で土石流が発生することになる。 A , r_e , f , g , B はそれぞれ、流域面積 (km^2), 到達時間内の雨量強度 (mm/h), 摩擦損失係数, 重力の加速度 (980 cm/s^2),

*建設省北陸地方建設局松本砂防工事事務所 所長

**国際航業(株)取締役 地質調査事業部長

講 座

表—5.2 土石流危険渓流調査・解析例

順 位	小 豆 島 49災 (1次谷)	六 甲 山 42災 (1次谷)	六 甲 山 42災 (2次谷)	仁 淀 川 51災 A地区 (2次谷)	仁 淀 川 51災 B地区 (2次谷)	全 国47~50年 緊急砂防資料(2次谷)
1	表層堆積物の状態 (3) 9.06	基盤地質 (3) 1.08	基盤地質 (3) 1.50	地 質 (3) 4.52	溪床付近堆積物 (4) 7.67	溪床付近堆積物 (3) 6.53
2	植 生 (4) 3.09	植 生 (4) 0.75	起 伏 量 (3) 1.00	流 路 長 (6) 3.32	屈 曲 比 (3) 1.65	流域面積 (3) 1.38
3	水系模様 (2) 1.58	起 伏 量 (3) 0.60	表層地質 (4) 0.51	勾 配 (4) 1.59	植 生 (4) 1.45	遷 急 点 (2) 0.96
4	横断形状 (3) 1.37	表層地質 (4) 0.52	平均勾配 (3) 0.50	流域面積 (3) 1.55	ガリの数 (3) 1.33	拡 幅 部 (2) 0.72
5	縦断形状 (3) 1.33	平均勾配 (3) 0.26	植 生 (4) 0.45	溪床付近堆積物 (4) 1.27	崩壊の数 (3) 1.04	崩 壊 (2) 0.46
6	勾 配 (3) 0.65	リニアメント (2) 0.34	ガリの数 (4) 0.41	ガリの数 (3) 0.96	地 質 (6) 1.00	遷 緩 点 (2) 0.12
7	集水面積 (2) 0.45		流域面積 (4) 0.31	遷 緩 点 (3) 0.79	主流路長 (3) 0.80	横断形状 (3) 0.06
8	流域の状態 (3) 0.42		主流路長 (4) 0.31	横断形状 (3) 0.75	遷 急 点 (3) 0.47	植 生 (4) 0.04
9	地 質 (3) 0.40		横断形状 (3) 0.28	起 伏 量 (4) 0.29	流域面積 (4) 0.40	
10			遷 緩 点 (3) 0.20		起 伏 量 (3) 0.39	

(上段：要因，下段：(水準の数) 得点のレンジ)

表—5.3(a) 昭和49年の小豆島の土石流災害データーによる判別関数によって，小豆島の渓流の危険度を判定した結果と昭和51年災害における実況

実 況 \ 判 定	危 険	安 全	計
発 生	122	102	224
非 発 生	77	291	368
計	199	393	594

平均適中率 70%，発生溪流適中率 54%，安全溪流錯誤率 26%

表—5.3(b) 全国の土石流資料によって作成した判別関数によって小豆島の渓流の危険度を判定した結果と昭和51年災害における実況

実 況 \ 判 定	危 険	安 全	計
発 生	55	126	181
非 発 生	18	234	252
計	73	360	433

平均適中率 67%，発生溪流適中率 30%，安全溪流錯誤率 65%

表—5.4 溪床勾配の区分

(θ ：溪床勾配)

区 分	参 考
$0^\circ \leq \theta < 3^\circ$	土砂流堆積区間
$3^\circ \leq \theta < 10^\circ$	土石流，土砂流堆積区間
$10^\circ \leq \theta < 15^\circ$	土石流流下堆積，土砂流流下区間
$15^\circ \leq \theta < 20^\circ$	発生区間，流下区間
$20^\circ \leq \theta$	発生区間

溪流幅 (m) である。1978年から始められた建設省の土石流危険渓流調査⁵⁾はこの考え方を基にして実施された。

すなわち，人家等保全対象を下流にもつ溪流ごとに各因子が計測されるが，溪床勾配については表—5.4のように区分される。データーはそれぞれ a, b, c に区分されて最終的には表—5.5のように A, B, C の3段階の危険度に

まとめられる。表—5.5 中の記号の定義は表—5.6, 5.7 に示す。また，溪流調査全体のフローを表—5.8 に示す。

(b) 高橋らの土石流危険度判定法²²⁾

(1)式を変形して

$$X = Q_0 / \left(\frac{8 \sin \theta}{f k^5} - g d^3 B^2 \right)^{\frac{1}{2}} \dots \dots \dots (5.10)$$

表—5.5 溪流の危険度 (調査要因と危険度分類)

調査要因の組合せ		溪流としての危険度分類
溪床勾配の評価	堆積土砂量	
a ₁	a	A (非常に危険な溪流)
a ₂	a	A (")
a ₁	b	A (")
a ₂	b	B (危険な溪流)
a ₁	c	B (")
a ₂	c	B (")
b	a	B (")
b	b	B (危険な溪流)
b	c	C (やや危険な溪流)

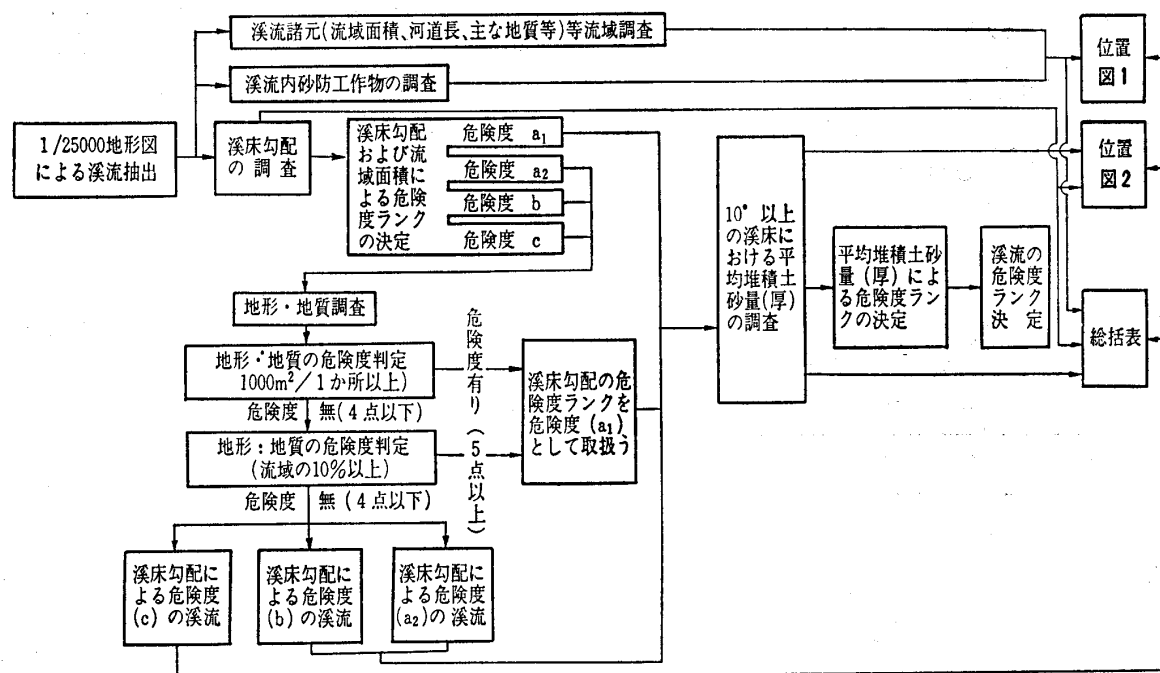
表—5.6 溪床勾配および溪床勾配 15° 以上での流域面積による危険度

危険度分類	溪床勾配および溪床勾配 15° 以上での流域面積
a ₁	15° 以上の溪床勾配で 5 ha 以上の流域面積を有する
a ₂	" 未満 "
b	10°~15°の溪床勾配を有する
c	10° 以下の "

表—5.7 平均堆積土砂量(厚)による危険度

危険度分類	溪床勾配 10° 以上での各断面の最深堆積土砂厚の平均値
a	2 m 以上もしくは多い
b	0.3~2 m もしくは中
c	0.3 m 未満もしくは少ない

表—5.8 土石流危険渓流調査フロー



表—5.9 土石流発生危険度と発生率

危険度 X	渓流数	土石流発生渓流数	発生率
$X \geq 12.1$	10	8	0.800
$12.1 > X \geq 6.1$	22	15	0.682
$6.1 > X \geq 3.0$	60	24	0.400
$3.0 > X \geq 1.5$	89	36	0.404
$1.5 > X \geq 0.76$	42	13	0.286
$0.76 > X$	17	1	0.059
計	240	96	0.400

とおくと、土石流の発生条件は、 $X \geq 1$ である。この考え方で1976年9月の小豆島の災害について X を計算すると表—5.9のようになった。この表からは X の値が大きくなるほどに土石流発生率が大きくなっていて、この方法に期待できる。

(4) 土石流扇状地の危険度評価

土石流が形成する地形は土石流円錐もしくは沖積錐といわれるきわめてポピュラーな扇状の地形である。扇面の危険度を支配するものは、まず、土石流の到達距離と堆積幅であり、ついで後続流の流量とその継続時間である。

単純な条件の場合における扇面の形成については5.1.2で述べられているが、現に居住地として利用されている扇面の地形は単純ではない。扇面の河道は普段の流量が小さいために断面は狭少であり、そのうえ橋梁等の障害物がある。法線は彎曲していて縦断勾配は急に緩くなっている例が多い。このような場合、土石流の先端部分は河道から容易に飛び出して扇面をおおひ、後続流は河道内で砂礫が堆積した地点から氾濫して、新しい流路を形成しながら2次土石流となって扇面を流下することが多い。砂礫の供給が継続すると氾濫地点は上流へ疏上して扇面の荒廃は広範囲に及ぶことになる。このような現象をふまえて扇面を観察

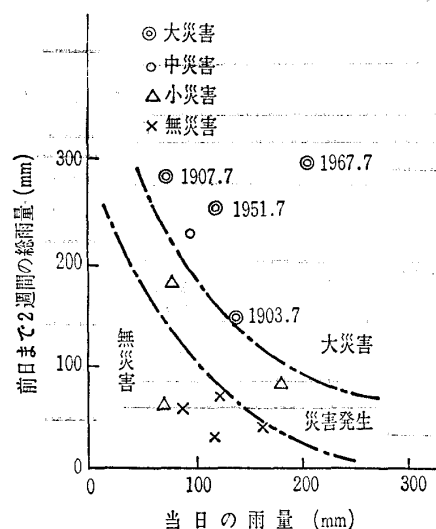
すると危険性の評価は比較的容易である。

(5) 誘因・とくに降雨の評価

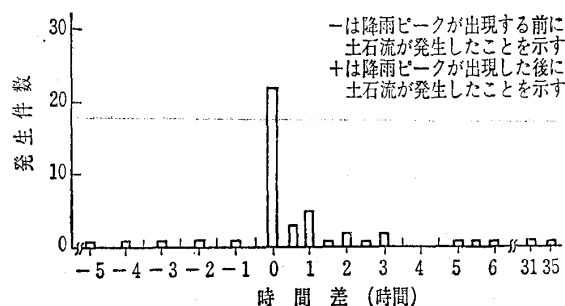
降雨条件によって土石流の発生を予知しようとする試みには二つの側面がある。第1には、ある広がりをもった地域を対象として一定の生起確率で規定される降雨で発生する土砂量を推定する場合であり、第2は、土石流の発生源を個別に考えてそれぞれの地点固有の素因に対応する発生限界降雨をこえる場合の発生確率の増大する様相を明らかにする場合である。

第1の考え方によるものとしては、過去の事例から帰納的に雨量と崩壊率を求めたもの²³⁾、流出土砂量を流域面積・日雨量・山地勾配の積として算出するもの²⁴⁾等がある。第2の考え方によるものには、渓流の地形や堆積物の特性がわかれば土石流を発生させる流量が解析的にわかることから限界降雨が求められるとする方法があるが、これについては本節(3)の式(5.9), (5.10)の形で表されている。

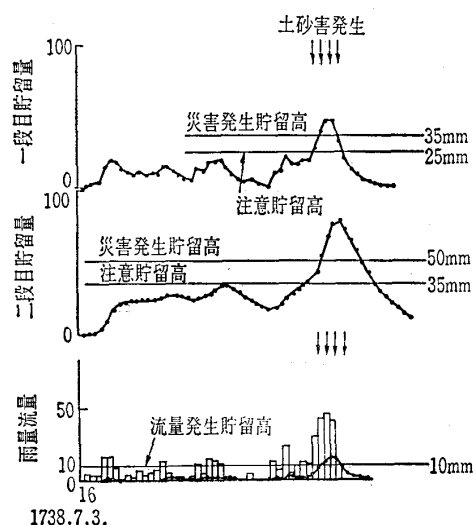
一般に、降雨の効果は渓床堆積物や斜面の表層土の間隙が飽和に至る貯留過程とそれに伴って発生する間隙水圧、ならびに急激に飽和に達して地表流が生じる過程にあると考えられる。したがって、発生時点までの積算雨量より継続雨量と発生直前の短時間降雨が意味をもつ(図—5.16²⁵⁾, 5.17²⁶⁾)。降雨と土石流のこのような関係を整理して、継続降雨時間分布のパターンを考慮し、ある時刻以後の降雨のみを有効雨量とする方法¹¹⁾、降雨強度比を考える方法²⁸⁾、タンクモデルを設定する方法²⁹⁾等が提案されている(図—5.18)。しかし、これらのように降雨のまっただ中で降雨データーをリアルタイムに処理して土石流の発生を推定しようとする方法は、土石流の過半が夜中に発生すること、雨の中では情報の伝達が極めて困難であること、避難の時



図—5.16 呉市における降雨と災害発生の関係 (綱干, 1972)



図—5.17 土石流発生時刻と降雨ピーク時刻との関係



図—5.18 昭和13年災(六甲)における貯留高 (鈴木ら, 1979)

期を失する可能性が大きいこと等を考えると、降雨なかならず集中豪雨の時前予測が不可欠である。この意味でレーダーと地上雨量計を組合せた地域雨量予測システムが必要とされる。

(6) 流動中の土石流を検知する方法

土石流が発生する流域面積の最頻値は $0.1 \sim 1.0 \text{ km}^2$ となるので、土石流の到達時間は数分以下となり、避難に十分な時間でないということから、発生してから検知することの社会的意味は限られてくる。ただ、物理的には比較的

容易であり、土石流に両岸にわたした線を切らせる方式、上方から懸垂した線に触れさせる方式、流動中の震動をとらえる方式等がある。土石流観測のための自動化システムの起動装置として用いられている³⁰⁾。

5.2.2 土石流の調査

(1) 調査の流れ

土石流予測に関する調査では、精度、手法、経費などは別として、原則的には、①土石流発生に関する危険度一場所と発生しやすさの程度一、②発生した場合の危険度一量的規模、性質、範囲、被災対象物への影響など一を予測し、更に③発生に関係する誘因(主に降雨条件)の変化に伴う危険度の変化を評価することが必要となる。基本的に必要なことは、土石流現象の発生・流動・堆積の過程を静的・動的に、また定性的・定量的に正しく把握することであり、土石流発生跡の現地調査、現地動態観測、実験と理論的解釈などを積み上げて土石流現象を解明していくことである^{17), 31)}。

土石流予測のための調査研究の流れは次のように要約されよう。①土石流災害の発生した流域の現地実態調査を行い、現象に関係すると考えられる素因・誘因、発生・流動・堆積の状態(実際には運動停止後の状態であるが)、被害状況、人工構造物の影響などを定性的、定量的に記録し、基礎資料の蓄積をはかる。②実例から得られた特性をみたとすような、単純化した擬似土石流モデルによる実験を繰り返して、土質工学・水理学的理論の裏づけを行い、以後の現地調査で確認すべき事項を明らかにしていく。そのあとの流れの一つは、③これらの結果を土石流未発生流域に適用して定性的・帰納的な予測を行うことであり、一つは、④土石流の現地動態観測で現象を定量的に把握していき、モデル実験と合わせて定量的・演繹的な予測をはかることである。③は警戒避難などいわばソフトな防災対策に有効であり、④は防災工事などいわばハードな対策に必須である。要は「土石流」というそれ自体複雑な自然現象が人文現象とからみあって生じる「災害」に対して、理論的に不確実な部分を、実践的・経験的に補うことによって、現実には有効な予測が可能となるであろう。

本項ではおもに現地調査、帰納的調査について述べる。土石流調査も、自然現象を相手とする他分野の調査と同じく、徹底的に現場を観察し、現象が語るものを的確に解釈することが基礎となることを忘れてはなるまい。

(2) 土石流実態調査(発生後の調査)

土石流(災害)が発生した直後に実施すべき調査で、表—5.10に示すような土石流現象に関する諸条件を確認、蓄積する上で基本的な調査であり、また現地復旧工事にも直接的に必要である。調査項目や手法などは池谷ら^{31)~33)}によってまとめられており、また土石流の運動に関する勾配・分散角・堆積厚さなどの量的条件も多くの研究によってかなり明らかにされている^{26), 34), 35)}。

表—5.10 調査項目と方法

	調 査 項 目	調 査 方 法		調 査 項 目	調 査 方 法	
流域状況	① 溪 流	河川図・地形図 現地聞きこみ	流 下 状 況	㉕ 流下部平均勾配	現地踏査・実測	
	② 溪流名（水系河川名）	〃		㉖ 土石流・流下幅	〃	
	③ 地 名（郵便番号）	〃		㉗ 最大水路幅	資料・写真	
	④ 流域面積	地形図		㉘, ㉙ 洗掘深、量	実 測	
	⑤ 地 質	地質図・文献		㉚ 屈曲度	地形図・現地調査	
	⑥ 溪床平均勾配	現地踏査		㉛ 溪床堆積物の状況	現地調査	
	⑦ 溪流長	地形図		㉜ 水路付近の植生状況	〃	
	⑧ 既設砂防・治山設備	指定地関係書類 設備台帳 地域防災計画書 現地踏査		㉝, ㉞ 土砂生産部での粒径	〃	
	⑨ 砂防指定地・保安林・地すべり防止 区域および地域防災計画等	〃	堆 積 状 況	㉟ 堆積場の地形	地形図・現地踏査	
災 害 状 況	⑩ 災害形態 土石流：D 土砂流：S 泥 流：M	現地踏査		㊱, ㊲ 土石流氾濫開始点	〃	
	⑪ 発生年月日時刻	聞きこみ		㊳ 堆積勾配	〃	
	⑫ 異常気象名	気象資料		㊴ 堆積前河床勾配	〃	
	⑬ 災害時連続雨量	雨量観測データ		㊵ 最下部全壊家屋地点勾配	〃	
	⑭ 災害洪水時間雨量	〃		㊶ 堆積部直下50m地点勾配	〃	
	⑮ 左の超過確率	〃		㊷ 災害前水路幅	現地踏査、聞きこみ	
	⑯ 最大洪水流量	痕跡、水理公式		㊸, ㊹ 最大堆積幅	地形図、現地踏査	
	⑰ 前兆等があった場合に記入	聞きこみ		㊺, ㊻ 分散角度	〃	
	発 生 状 況	⑱ 土砂流出の原因		写真判読、現地踏査 (5.1.2参照)	㊼ 堆積長	現地踏査・実測
⑲, ㉑ 土砂発生部災害前後河床勾配		〃	㊽ 最大堆積深(厚)	〃		
㉒ 崩壊面積		〃	㊾ 平均堆積深	〃		
㉓ 崩壊土量		〃	㊿ 堆積面積	〃		
㉔, ㉕ 崩壊地元後勾配		現地踏査	㉁ 堆積土量	〃 つぼ掘り		
			㉂, ㉃, ㉄ 最大粒径	つぼ掘り		
			㉆, ㉇, ㉈ 平均粒径	つぼ掘り、全数調査		
土砂の発生流下、堆積域での模式図、現地調査での見取り図、概念図、写真等を同時に整理し、添付する。				被 害 状 況	㉉, ㉊, ㉋ 人的被害	災害対策本部
					㉌, ㉍, ㉎ 建物被害	警察、官庁等資料
	㉏, ㉐ 道 路				〃	
	㉑, ㉒ 橋 梁				〃	
	㉓, ㉔ 鉄 道				〃	
	㉕ 田 畑				〃	
	㉖ 河川護岸決壊				〃	
	㉗ その他				〃	
	㉘, ㉙, ㉚ 交通途絶期間				〃	
	㉜, ㉝, ㉞, ㉟ 被害額				〃	

i) 事前に用意する資料： 地形図（縮尺 1/25 000～1/2 500）、空中写真（災害前と後のもの、撮影縮尺 1/20 000～1/8 000程度）、地質図、気象資料、災害誌、工事資料など。広域災害の場合は特に空中写真が有用。事前に写真判読で土石流発生箇所分布図を作成すれば効率的に調査できる。空中写真判読については多くの参考書がある^{26), 36)}。

ii) 調査項目と手法： 表—5.10にまとめて示す^{37), 4)}。これは原則的に重要な項目を示したもので、必ずしも全項目の調査が必要あるいは可能とは限らないし、数量化し難い項目もある。現地踏査時には溪流沿いに見取図を作りながら、表—5.10の発生・流下・堆積状況などを特徴ある区間ごとに記入し、要所ごとにスケッチや写真をとっていけばよい。調査者の経験や能力によっては内容に精粗の差が生じるが、事実と判断をはっきりと区別して記述しておき、一溪流踏査しおわったらただちに全体の概況をまとめておくと、報告書作成上有効である。調査結果を一定の様式化した総括表にまとめれば災害溪流台帳となる³³⁾。

(3) 危険溪流判定調査

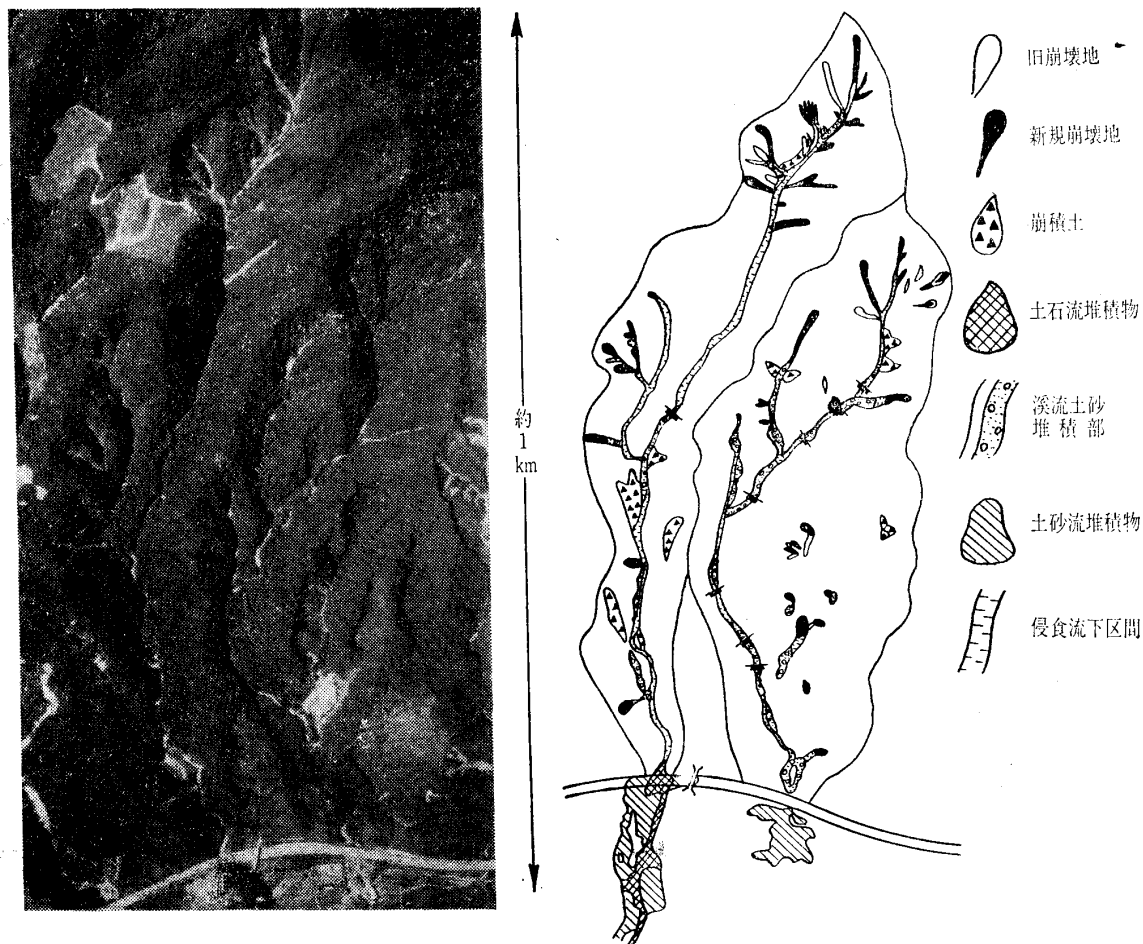
多数の土石流未発生溪流の中から発生危険度が相対的に高い溪流を抽出する調査である。その一つとして 5.2.1 の

(2)で示された多変量解析の数量化2類法による判別法がある³⁷⁾。これは本来、広域で多数の土石流が発生した場合に適用される方法である。広域からある基準^{注1)}にもとづいて溪流を抽出するには、適当な縮尺の災害前・後の空中写真と地形図が必要である。判定要因は表—5.10の項目を含めて多数考えられるが、結果的には 5.2.1 の表—5.2 のようにしぼられ¹⁷⁾、地域性や流域規模が強く反映される。

この方法や結果を利用する上で注意すべき点をあげる。

①この方法は、土石流が多発した特定地域について発生前と後の状況を比較して、有意素因だけから、過去の現象の説明式（判別式）を作るのであるから、そもそも土石流が発生していない地域では適用できないし、また同じ地域でも災害後の危険度をそのまま示すとは限らない。②災害後の危険度を判定するには、要因のうち、その災害によって水準が変化したものを再調査して判別式に代入すれば一応可能であるが、③災害の誘因となった降雨条件と、今後誘因となるであろう降雨条件の相異を考慮せねば矛盾を生じ

注 1) 例えば、①1/25 000 地形図上での第2次流域、②保全対象の上流域全部、③路線が横過する流域など、目的に応じて種々の抽出基準が考えられる。



図—5.19 土石流発生溪流と写真判読図

昭和58年9月28日 長野県飯島町地内中央自動車道跨道橋付近の土砂はん濫（国際航業原図）

る恐れもある。④その災害時の各種降雨条件の分布が分かれば、さきの判別要因に有意降雨要因^{注2)}を加えた判別式を求めることができ、また降雨要因の水準を変化させたときの危険度の変化を求めることも一応は可能である。⑤したがって②の災害後の判別式に④の結果を加味すれば、ある災害後つぎの災害までの期間の誘因水準別危険度が判定され、その地域についての一応の予測式となろう。しかし、原理的にはほかの未発生地域にも有効に適用できるという根拠に乏しいから、多変量解析法を普遍的な予測手法とすることは困難であろう。

しかし現実的には土石流未発生地域は全国的に多数あり、防災上からはむしろ未被災地域の危険度を予測することが重要である。そこで全国的に土石流発生危険度を判定しようとするならば、地域性の強い要因（例えば地質条件）や主観の入りやすい要因（例えば表層・溪床堆積物の条件）などを簡略化・規格化した形で実施せざるを得ないであろう。昭和53年度から建設省・府県で「土石流危険溪流調査」が実施されてきたが、これは以上の趣旨によるものであろう²¹⁾。その概略は5.2.1の表—5.4～5.8に示される。

注 2) 土石流の発生に関係する降雨要因としては、一連の豪雨の中での最大時間雨量、最大24時間雨量、総雨量、ピーク時までの累計雨量、10分間雨量、降雨強度勾配比など種々あげられるが、相関度の高い要因が多いので、判別要因としては必ずしも全部採用する要はない。

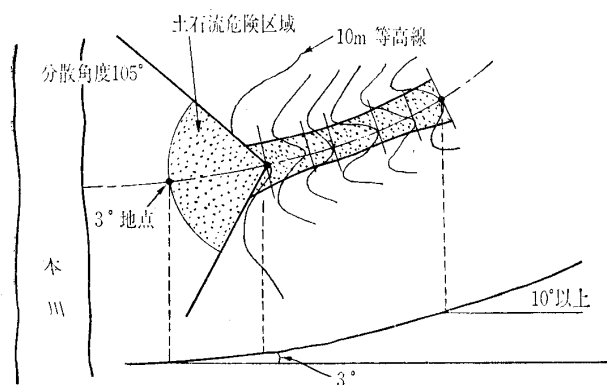
(4) 危険区域判定調査

土石流の堆積範囲を予測することは避難体制や防災工法を考える上で重要である。そのためには、供給される土石流量や流動特性を推定することが前提であるが、現状では的確な推定法は確立されていない。現在、堆積範囲（危険区域）の一般的な設定手順は表—5.11、図—5.20のようである^{21), 38)}。これは現地踏査にもとづく堆積に関する条件^{5)~7)}などから想定する手法であるが、広域を一定基準で調査する場合など、1/25 000 地形図上では一つの扇状地面全域が危険区域となったり、土石流の量を考慮していないなどの点で説得性に乏しいきらいがある。

個々の流域内の不安定土砂量や物理特性を正確に知り、更に降雨量と流出土砂量・新規発生量を対応させて供給土

表—5.11 土石流危険区域設定の手順

- ① 危険溪流の判別
- ↓
- ② 堆積起点の想定……………谷の出口、扇状地頂部、勾配変化点。原地形勾配が 10° 以下で堆積が開始すると考えられる。屈曲部も考慮する。
- ↓
- ③ 堆積終息点の想定…………… 3° （約1/20）
- ↓
- ④ 堆積土砂厚の想定……………土石流では3～5 mが多い。土砂流の場合には2～3 mが多い。
- ↓
- ⑤ 分散角、堆積最大幅……………予想される流出土砂量および現地地形より検討する。



図—5.20 土石流危険区域設定例

砂量を推定することは現状では極めて難しい。そこで、個別的な要因・誘因は考慮せず、流出土砂量を確率変量として、既往災害事例の観測値から確率的に予測する経験式を導く方法などが考えられている³⁹⁾。流域面積と流出（堆積）土砂量の関係や流域内の崩壊土砂量と流出土砂量の関係を導き、流域面積あるいは崩壊土砂量から流出（堆積）土砂量を推定しようとするものである。

このような土砂量が谷出口から扇状地へ流出したときの堆積範囲は、本講座 5.1.2 など²⁹⁾によって示されている。

一方、実際に土石流が流下堆積する範囲は独自の地表条件をもっているため、危険区域の設定にあたっては、画一的でなく、対象地域の特性を生かした多様性のある手法を開発する必要がある。その一つとして、①ランダム・ウォーク・モデルによるシミュレーション手法、②微地形を指標とする判定法、③災害履歴からの類推法、④植生指標による法、⑤土石の堆積構造を指標とする法などが挙げられる^{39), 41)}。図—5.21に例を示す。

このように危険区域の設定も次第に定量化されているが、実際の谷出口付近の現地条件には未だ定量化困難な面が多い。例えば人工構造物（排水溝、暗きょ、橋脚、石垣など）や立木の影響、流木の挙動など評価し難い規制要因も多い。

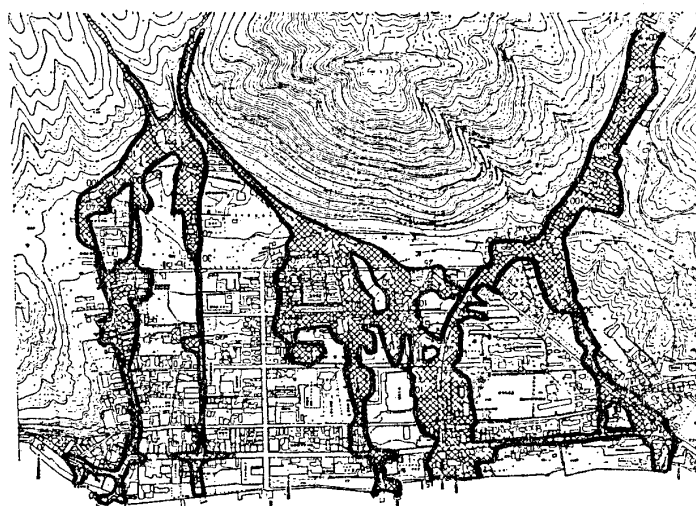
(5) 防止工事計画のための調査⁴²⁾

土石流防止工事計画をたて、実際に工法の設計を考える場合、土石流の動的諸現象を知る必要がある。流れてくる土石流の調査（動態観測）が可能な流域は、土石流が頻発する焼岳や桜島など特殊な活火山地域に限定されるため、得られた資料をすぐに全国的に適用するには問題がある。土石流実態調査（とくに被害状況）など静的な調査結果と総合して考えることが望ましい。

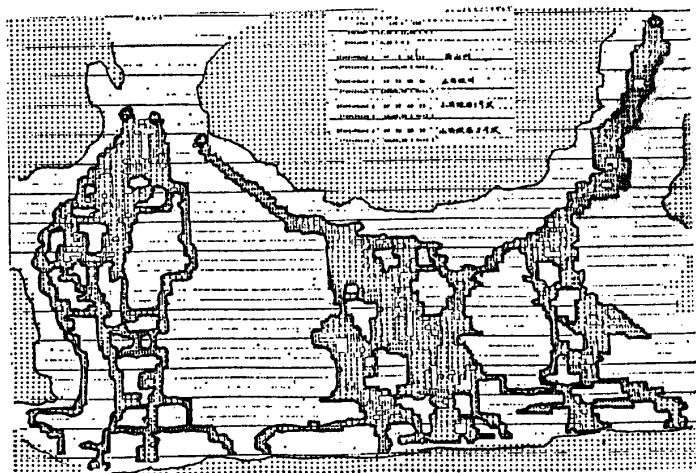
動態観測では土石流現象を定量的にとらえ、その解析をもとに計画、工法の検討を行い、工法の効果や維持管理の問題に対応することになる。動態観測の項目と手法については池谷⁴²⁾などを参考とされたい。

参 考 文 献

- 17) 武居有恒：土石流災害の予知に関する研究の現状，第11回砂防学会シンポジウム概要集，1978。



a) 昭和53年10月 有珠山爆発に伴う火山泥流の分布



b) ランダム・ウォーク・モデルによるシミュレーション例

図—5.21 土石流危険区域のシミュレーション

- 18) 建設省：第31回建設省技術研究会報告，1977。
 19) 小橋澄治ほか：土石流発生のもととその条件(2)，新砂防，106，1977。
 20) 沖村 孝：地形要因から見た山腹崩壊発生危険度評価の一手法，新砂防，126・127，1983。
 21) 建設省河川局砂防部：土石流危険渓流および危険区域調査要領(案)，1978。
 22) 芦田和男ほか：土石流危険渓流の評価法に関する研究，京大大学防災研究所年報，第21号，B-2，1978。
 23) 村野義郎：山地崩壊に関する2,3の考察，土木研究所報告，1966。
 打萩珠男：ひと雨による山腹崩壊について，新砂防，79，1971。
 24) 芦田和男ほか：自然災害科学資料解析研究，Vol. 4，1977。
 25) 網干寿夫：集中豪雨とマサ土斜面の崩壊，施工技術，Vol. 5, No. 11，1972。
 26) 武居有恒ほか：地すべり・崩壊・土石流，鹿島出版会，1980。
 27) 瀬尾克美監修：土砂害（主に土石流的被害）と降雨量について，新砂防，89，1973。
 28) 池谷 浩：降雨強度比による土砂害からの避難基準に関する一私案，新砂防，94，1974。
 29) 鈴木雅一ほか：土砂災害発生の危険雨量，新砂防，110，1979。
 30) 建設省北陸地方建設局松本砂防工事々務所：技術資料，焼岳・浦川土石流観測資料集。
 31) 小橋澄治ほか：砂防研究の動向と課題，4・土石流，新砂防，Vol. 32，特集号，pp. 20~26，1979。
 32) 財高道路調査会：道路建設における土石流対策に関する研究報告書，1978。

講 座

- 33) 池谷 浩：土石流対策のための土石流災害調査法，山海堂，1980.
- 34) 池谷 浩・米沢谷誠悦：土石流危険区域の設定に関する研究（第二報），土木技術資料，Vol. 21, No. 9, 1979.
- 35) 池谷 浩・水山高久：土石流の流動と堆積に関する研究，土木研究所報告，157-2，1982.
- 36) 武田裕幸・今村遼平：建設技術者のための空中写真判読，共立出版社，1976. など.
- 37) 小橋澄治・秋谷孝一：崩壊の予知・予測，講座：土砂災害の予知と対策4.3，土と基礎，Vol. 31, No. 11, pp. 93~96, 1983. を参照.
- 38) 渡辺正幸：土石流(I)―土石流と災害一，土木技術資料，Vol. 23, No. 6, 1981.
- 39) 武居有恒ほか：土砂災害の危険範囲予測・自然災害科学総合研究班 扇状地における洪水・土砂災害の発生とその防止軽減に関する研究，No. A-57-4, pp. 76~107, 1982.
- 40) 高橋 保：土石流の機構，講座：土砂災害の予知と対策 5.1，土と基礎，Vol. 32, No. 3, pp. 61~66, 1984.
- 41) 中筋章人ほか：土石流の氾濫危険区域設定に関する一考察，新砂防，Vol. 33, No. 1, pp. 17~25, 1980.
- 42) 池谷 浩：土石流(II)―土石流対策のための調査（動態観測を主として），土木技術資料，Vol. 23, No. 7, 1981.

青年海外協力隊昭和59年春の募集のお知らせ

国際協力事業団青年海外協力隊事務局

昨今，国際社会のなかで，わが国の果たすべき役割，わけても開発途上地域への技術協力・経済協力が緊要となっておりま

した。この国際協力の一環として，昭和40年以来，青年海外協力隊員として，アジア・アフリカ・中近東・中南米・南太平洋の各地域へ4600名を超える日本青年が派遣され，開発途上諸国の社会・経済・文化など幅広い分野において，それぞれの国の国づくりのためめざましい協力活動を展開しております。

土木・建築分野での派遣要請は下記のとおりですので，奮って応募されるようお知らせいたします。

記

応募資格：満20歳以上，原則として35歳までの日本の青年男女

願書締切：昭和59年5月31日消印有効

選考試験：第1次選考（筆記：作文・英語・技術）昭和59年7月1日(日)各都道府県で実施

第2次選考（面接：個人・技術・健康診断）昭和59年8月3日(金)～9日(木)の1日東京で実施

派遣前訓練：3カ月間…勤務先での身分措置・技術研修等により隊次は決定します。

I：昭和59年12月上旬訓練開始 60年3月下旬出発予定

II：昭和60年4月上旬 // 60年7月下旬出発予定

派遣期間：2年間

海外手当等：現地生活費月額215ドル～430ドル（派遣国の生活実態にもとづき支給額に差がある）その他に無職で参加の場合国内積立金83,250円

費用：訓練，派遣に係わる経費（往復航空費も含む）災害補償等事務局負担。

休職と所属先補てん制度：休職等の措置で参加を希望する方はその条件として，業務との関連のある分野への協力であること，また，少なくとも3年間の勤務実績があることなどがが必要です。早目に，勤務先と相談をしておいて下さい。有給休職参加が可能となった場合，協力隊事務局が所属先に対して人件費の一部を補てんします。また，民間の場合はさらに間接経費を補てんする制度もあります。

応募方法：協力隊所定の願書を期日までに事務局へ提出して下さい。

問合せ先：青年海外協力隊事務局国内課

〒150 東京都渋谷区広尾4-2-24 電話 03-400-7261