

土石流危険区域調査および警戒避難基準雨量 の想定方法に関する一試案

昭和53年1月

建設省土木研究所

は　　じ　　め　　に

国土保全の立場から洪水や土砂災害による被害防止対策が実施されているが、多様化する社会情勢と激甚化する災害に対処するために、洪水や土砂による災害の危険区域設定とそれらの予知の必要性が急がれている。洪水氾濫予想区域調査に関しては昭和52年8月、建設省河川局から既に発表されている。土砂災害、特に土石流を主とした危険区域調査、及び土石流の発生が予想される降雨に対する調査に関しても、現在建設省河川局砂防課と土木研究所砂防研究室によって検討が加えられており、本文は現在の段階でいえる土石流危険区域調査等の基本的な考え方について発表し、大方の御批判をお願いする次第である。

土木研究所砂防研究室

室　　長	泉　　岩	男
主任研究員	池　谷	浩

目 次

§ 1 土石流危険区域調査試案	1
1-1 概 要	1
1-2 土石流発生・流達危険溪流調査の方法	3
1-3 土石流氾濫区域の想定方法	7
1-4 調査成果の整理方法	9
§ 2 警戒避難基準雨量の想定方法	12
2-1 土石流発生の基準雨量の想定	12
2-2 降雨パターンの想定	14
2-3 警戒避難発令及び解除時期の想定	14
おわりに	16
参考文献	

§ 1 土石流危険区域調査試案

1-1 概 説

1-1-1 調査の目的と意義

近時、全国各地において土砂災害が頻発、激甚化する傾向が見受けられる。もともと平地の少ない我が国において、山地等での土地の開発や人口のスプロール化現象により、山間部での扇状地上や従来土地の高度利用がなされなかった土地での土地利用形態の変化、及び地域住民の土砂災害に対する認識の浅さが一つの原因として考えられる。特に新しい土地に入ってくる住民は、その土地の災害に対する危険性についての情報をほとんど持たないため、被害を大きくしている傾向が見受けられる。

そこで本調査は、地域住民に対して土石流の危険区域に関する情報を提供するとともに、土石流危険区域の設定、土石流災害からの警戒避難体制確立のための基礎資料を得ることを目的に実施されるものである。

地域住民が土石流災害に関する情報を得ることにより、土石流災害の危険を減少させることができよう。これは国土保全上最も重要な目的である国民の生命に対する安全性を向上させることであり、同時に民生安定上の効果も著しいと考えられる。

また、災害対策の確立及び防災のための砂防計画等の策定にも多くの資料を提供するとともに、今後の有効な国土利用計画にも大いに役立つと考えられる。

本調査は調査内容のもつ意味の重要性から社会的影響が非常に大きいと考えられ、場合によっては地域住民にとって不利益となるような調査結果となることも考えられる。そこで調査にあたっては、調査の目的を充分理解して作業にあたる必要がある。精度もより良いものが要求されるが、現在の段階では詳細な土石流危険区域想定のための資料を得ることはかなり困難を伴うため、精度については今後調査を重ねることによって向上をはかることとする。このように社会的影響も大きく、かつ、土石流の把握も難しい状況にかんがみ、調査に際しては安全性を充分見込んだ調査とすることが望ましい。

1-1-2 土石流危険区域調査の手順

流域の土石流災害に関する危険度を想定する場合、

- i) その溪流で土石流が発生し、流下してくるかどうか。
- ii) 土石流はどのような区域まで流下してくるか。

を知る必要がある。

過去に災害履歴のある溪流においては、災害時の調査資料をもとに、溪流ごとの危険区域設定をすることが望ましい。この場合、土砂災害のうち土石流を特に分離して検討するよりは、土石流以外の土砂災害（以下、土砂流による災害という）についても考慮することが望ましい。土石流災害と土砂流災害の区別については田畑が示した⁽¹⁾ $U \cdot c^2 / U_*^2$ による判断と堆積構造による判断との総合的判定

注：(1) 田畑茂清；流砂の形態とその堆積特性について 新砂防74 S44.12

による方法で分類するものとする。

本調査試案も以上の事を勘案し、i) 及び ii) の二項目について調査を実施するものである。

i) 土石流発生・流達危険渓流調査

ある渓流において、土石流が発生流下するかどうかを調査するものである。土石流の発生とその要因に関する調査研究は従来から実施されているが⁽²⁾、現在のところ決定的な因果関係は見出されていない。

最も土石流発生に関係していると考えられる条件については田畑、市ノ瀬が⁽³⁾ 次のように土石流発生条件を設定した。

イ) 溪床堆積物が存在し、それが移動しやすい状態にあること。

ロ) この移動可能な溪床堆積物を流下させるのに必要な作用が出現すること。

田畑らの土石流発生条件をもとに発生要因を挙げれば、

- ① 溪床堆積物の有無
- ② 溪床勾配
- ③ 溪床堆積物の質（粒度分布の状況）
- ④ 降雨量（表面水の出現）

がある。

以上のような因子について調査を実施し、（降雨量に関する調査は §2 で述べる）結果を整理して、渓流ごとに土石流発生の危険性を非常に危険、危険、やや危険の三ランクに分類する。

ii) 土石流氾濫区域調査

土石流はどのような区域にまで流下してくるかを調査するもので、従来の調査方法⁽⁴⁾に地形的な要因を加味して、土石流の氾濫することが予想される区域を調査するものである。

土石流氾濫区域は発生した土石流の流下時のエネルギーやその量、質によって氾濫区域が異なると考えられるので、エネルギーの大きさや量については過去の災害調査資料を参考として検討する調査方法を取り、質については、先きに分類した土石流と土砂流（この他、火山地帯での泥流が考えられるが、泥流に関しては被害は土石流と同じ扱いを、流下区域については土砂流の扱いをすることとする）について、各々の氾濫を開始する点と氾濫の範囲を調査するものである。

iii) 調査方法とその精度

各項目の調査方法については、可能なかぎり精度の良い方法で実施することが望ましいが、精度向上のためには多額の費用と多くの時間、手間を要するので、表-1の調査方法と精度の表を参考として、また、調査対象渓流の社会的重要度を勘案して、最も適当な調査方法を選んで調査を実施する。やむを得ず不十分な方法で調査を実施した場合には、多少安全側に基準値を設定する必要がある。

注：(2) たとえば平尾公一、大久保 駿；昭和42年7月豪雨災害について

新砂防75 S45.5

(3) 田畑茂清、市ノ瀬栄彦；尾鷲土石流災害発生の要因について

新砂防86 S48.1

(4) 建設省河川局砂防課；土石流危険区域の設定に関する資料

S52.3

表 - 1 調査方法と精度

調査方法	精 度			
	溪床堆積物の量	溪床勾配	溪床堆積物の質	総合判定
①地形図による方法	×判明しない	等高線間隔で読みとるため誤差が大 ○悪い (安全側に読む必要あり)	×判明しない	地形図の読みとりのみでは調査方法として不適当であろう
②現地踏査による方法	○定性的には判定可 定量的には困難	○地形図による方法よりは精度よい	○表面もしくは1部の断面のみ判定可	かなりの情報を得ることができる
③現地精査による方法	◎調査地点においては定量的把握が可	◎精度は最もよい	◎調査地点については最大の情報を得られる	調査方法としては良い方法である
①+②	○ ②に同じ	現地精査にはおよ ◎ばないが、調査精度としては充分	○ ②に同じ	最低限この方法を用いてはしい
①+②+③	流域全体として ◎定量的把握が可	地形上のマクロ的 ◎把握も可	流域全体として精 ◎度より情報把握が可	最も理想的である
凡例 ◎非常によい ○良い ○普通 ×悪い				

調査の精度のうち、未調査の場合どのような結果になるかを表-2に示した。これは各調査項目がどのように重要なものかを示すものである(詳細については各調査項目の節で述べる)。

表 - 2 調査項目による調査目的の精度

	調 査 項 目		
	溪 床 堆 積 量	溪 床 勾 配	溪床堆積物の質
危険度 ランク付け	溪床堆積物による土石流発生を知る上での最も重要な項目がないと全ての溪流で土石流が発生すると仮定しなければならない。	発生区間が不明であるため土石流はすべての溪流で発生するという仮定をとらざるを得なくなる。	移動のしやすさが不明であるため、土石流発生のしやすさの判定ができない。
氾濫区域の 設定	流出量が不明の場合氾濫区域は安全側にとらざるを得ないからたとえ扇状地形では扇面全部が土石流危険区域となる	溪床勾配が不明であればどこから土石流が堆積するか判明しない。 氾濫区域設定がむずかしい。	特に絶対的な必要性は他の項目に比較して少ない。

1-2 土石流発生・流達危険溪流調査の方法

土石流が発生するかどうかを調べ、かつ、その土石流の流下エネルギーに関係する因子である溪床勾配、土石流によって移動することが予想される土砂の量的把握をおこなって、土石流発生・流達危険区域設定のための一資料とするものである。

次に危険度のランク付けを行なうが、これは最も社会的影響が大きな調査項目であるので、判定に際しては慎重を期さなければならないが、前述のように土石流発生の要因そのものについても因子の複雑

さと多岐さによって現在のところ定量的表現が可能となっていない。そこで、危険区域の設定に際しては、調査の結果危険と見なされた溪流は全て設定の対象溪流とする。また今回調査における土石流発生・流達の危険度ランクは、ある地域内の溪流にとっての一応の目安を与えるものであって、危険区域設定の際の絶対的な表示資料となるものではなく、むしろ、今後土石流対策の工事実施の優先順位決定に際しての一資料と考えられる。

1-2-1 調査対象溪流の抽出方法

調査目的から考えて、土石流が発生する可能性のある溪流は全て対象とする。

具体的には、1/25,000 地形図(国土地理院発行、未発行の区域については1/50,000 地形図による)で谷型の地形をしているところ(図-1参照)について全てを対象とする。すなわち、一次谷を形成している地形はもちろん、その上下流部で谷とはなっていないが谷型地形を有しているところについても調査対象とする。一次谷を形成していないところでも谷型地形を有していれば調査対象溪流とする。

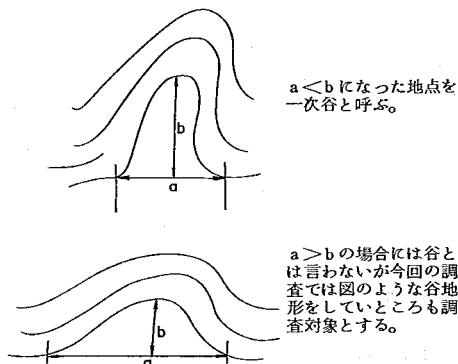


図-1 谷型地形の判定方法

1-2-2 土石流発生要因(素因)の調査

本節では土石流発生要因のうち素因のみをとりあつかう。発生要因としては1-1-2, i)で示した①～③の要因をとりあげる。

溪床堆積物の多寡、溪床堆積物の質が土石流発生要因として重要である事は、西湖⁽⁵⁾、羽越⁽⁶⁾、山北⁽⁷⁾、浜田川災害⁽²⁾など多くの土石流災害調査の結果指摘されているところであり、溪床勾配についても、西湖災害⁽⁵⁾などでその重要性が指摘されていて、これら三要因は特に土石流発生に関係していると判断できる。そこで、調査対象溪流全てにおいて、溪床堆積物の多寡、溪床勾配、溪床堆積物の質について調査を実施する。

調査方法についてはいくつかの方法が考えられるが、一つの方法に限定するには問題がある。そこで以下に各調査項目ごとの調査方法を述べるので調査者はこれらのうち最も適当と判断した方法によって調査を実施する。

1) 溪床堆積物の多寡とその存在位置の調査

土石流が発生するためには発生源となる土砂が存在することが第一条件である。そこで本調査は

注5) 大同淳之：河床縦断形の変動—土石流による変動— 新砂防 78. S 46.2

6) 西田彰一(代表)：羽越豪雨による崩災の調査とその防災研究 文部省科学研究費研究報告 S 43.3

7) 中山政一、中筋章人：昭和47年7月豪雨時の西丹沢山地における流出土砂について 新砂防 90 S 49.2

溪床堆積物が存在するかどうか、存在する場合にはどこにどの位存在するのかを調べるもので、調査結果としては堆積厚さとその存在位置を得る。測定単位は厚さをcm単位で表示し、溪流全体としては m^3 単位で存在量を表示する。精査不能の場合には、存在位置と堆積量の多寡によって表示する(図-2参照)。

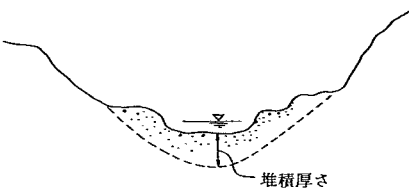


図-2 溪床堆積厚さの概念図

① 弾性波探査等物理探査による方法

溪床堆積物の量及び存在位置に関して、縦断的にも横断的にも精度よく把握することができるが、特に砂礫層が厚い場合等、溪床の状態によっては堆積厚さを正確に把握することが困難な場合がある。作業にあたっては時間と費用がかかる。

② ボーリングによる方法

堆積厚さ、存在位置ともに精度よく把握できるが判定可能区域は点であって面的な判定には数多くのボーリング資料が必要になる。作業にあたっては時間と費用がかかる。③現地踏査のチェックなどには最適である。

③ 現地踏査による方法

現地踏査及び資料によって調査するもので精度は上記二方法にはおよばないが比較的容易にできる。調査項目としては、砂防ダム等工作物工事時の掘削断面の確認、露岩部の確認、溪床土砂堆積の多寡、周囲地形、植生と溪床との比較等である。

④ その他

以上の調査方法を組合せて実施する方法がある。

ii) 溪床勾配の調査

土石流発生と溪床勾配との関係については、多くの研究発表⁽⁸⁾がある。これらを整理すると、土石流発生源は主に 20° 以上の急勾配区間であり、流下部は $10^\circ \sim 20^\circ$ の区間で 10° 以下は堆積区間と考えられる。そこで溪床勾配については表-3の区分で調査する。

表-3 溪床勾配の区分

区 分	参 考
$0^\circ \sim 3^\circ$	土砂流堆積区間
$3.01^\circ \sim 10^\circ$	土石流、土砂流堆積区間
$10.01^\circ \sim 15^\circ$	土石流堆積、土砂流流下区間
$15.01^\circ \sim 20^\circ$	流下区間
$20.01^\circ \sim$	発生区間

① 縦断測量による方法

精度はよいが、作業に時間と費用を要する。

② 現地踏査による方法

現地踏査時にポケットコンパス等を利用して計測するもので、事前に地形図からの読み取りをしておくと比較的精度よくできる。作業は容易である。

注：(8)たとえば 前出(5)

③ 地形図からの読み取りによる方法

1/25000 地形図は山地部では 10 m ごとの等高線が記入してあるので谷型地形部の等高線間隔から勾配を読み取る。たとえば 3° ($\approx 1/20$) は 8 mm, 10° は 3 mm, 15° は 2 mm, そして 20° は 1.5 mm のところである。

作業は容易であるが計測の精度は悪く、多少安全側に読み取る事が必要となる。

Ⅲ) 溪床堆積物の質の調査

堆積物の質の調査とは主に堆積構造と堆積物の粒度分布（もしくは分布が均一か不均一か）という点を調査するもので、堆積物の分布が不均一の方が移動しやすいという点に着目して調査するものである。

① 溪床のつば堀り、ボーリング等による方法

調査地点における精度は最もよいが作業にあたり時間と費用とを要する。

② 現地踏査による方法

現地踏査をしながら堆積の仕方や、粒径の分布状況を参考にして、分布の状態を推定する。精度には問題があるが、作業は容易である。

1-2-3 移動可能土砂量の想定

流下土石流のエネルギーを知る上で、土石流の量的な把握が必要である。またこの量的把握は土石流危険区域設定のためにも、非常に重要な因子である。しかし、現状では移動可能な不安定土砂を量的に精度よく把握することは困難である。調査結果は溪流単位の土砂量 (m^3) で取りまとめる。

① 弾性波探査等の物理探査による方法

1-2-2, 1), ①に準ずる。

② 現地踏査及び技術基準による想定方法

過去の土石流災害事例を参考にして現地踏査をおこない、溪流毎の移動可能土砂量を推定する。

過去の実績がない場合には、河川砂防技術基準（案）（計画編 P 49）に全国における災害事例からの比流出土砂量 (m^3/Km) が発表されているのでこれらの値を参考とするとよい。

1-2-4 危険度のランク付け

土石流発生・流下の危険度を各要因毎に調査した結果のまとめとして表わすことは土石流対策の技術的観点からの優先順位決定にとって意義がある。反面、社会的な影響が大きいことと、現在の技術水準から、土石流の発生を適格に把握することの困難さがあって、すぐに土石流危険区域設定の資料となるような精度での調査は困難であると考えられる。ここではその基礎的資料を得るための危険度ランク付けを実施するものである。

尚、以下の条件には、砂防ダム等の既設工作物による安全度向上の効果は含まれていないので、別途、砂防工作物調査を実施して危険度のランク付けの再点検を行なうことが望ましい。

表 4 調査要因と危険度ランク付け(案)

	調査要因の組み合わせ		
	平均堆積土砂厚	溪床勾配	質
最も危険な溪流 (記号 A)	平均堆積厚 100 cm 以上 もしくは 多	20°以上の勾配を有する (a)	均一, 不均一
	平均堆積厚 30 ~ 100 cm もしくは 中	20°以上の勾配を有する (a)	均一, 不均一
	平均堆積厚 100 cm 以上 もしくは 多	10° ~ 20°の勾配を有する (b)	均一, 不均一
危険な溪流 (記号 B)	平均堆積厚 100 cm 以上 もしくは 多	10°以下の勾配を有する (c)	均一, 不均一
	平均堆積厚 30 ~ 100 cm もしくは 中	10° ~ 20°勾配を有する (b)	均一, 不均一
	平均堆積厚 30 cm 以上 もしくは 少	20°以上の勾配を有する (a)	均一, 不均一
危険性の比較的小さい溪流 (記号 C)	平均堆積厚 30 ~ 100 cm もしくは 中	10°以下の勾配を有する (c)	不均一
	平均堆積厚 30 cm 以下 もしくは 少	10° ~ 20°の勾配を有する (b)	不均一
	平均堆積厚 30 cm 以下 もしくは 少	10°以下の勾配を有する (c)	不均一

1-3 土石流氾濫区域の想定方法

土石流の氾濫区域を想定する場合には、どこから土石流の氾濫が開始されるかという点とどのような拡がりをもって氾濫するかという範囲を知る必要がある。

土石流の氾濫堆積が開始される点を氾濫起点と呼び、拡がる範囲を氾濫範囲という。

土石流の氾濫範囲について過去の土石流災害を現地踏査した結果、それらは原地形に大きく影響されている。そこで、本調査では地形分類により、谷底平野と扇状地という2つのタイプに氾濫区域を分類し、各々の分類による氾濫起点及び氾濫範囲の調査方法から、土石流の氾濫区域を想定する。

但し、過去に土石流災害を被った地域については、その地域での過去の災害資料から氾濫の実績図(1/25,000 地形図、災害発生年月日、災害名を記入する)を作成し、それを参考として、今後の土石流氾濫区域の想定をする。

ここで谷底平野とは山間部の谷底平野や盆地地形のように(図-3参照)、沖積平野のうち周囲が原地形によつて固定されていて、想定される土石流の氾濫範囲が限定されるような地形をいう。全体の地

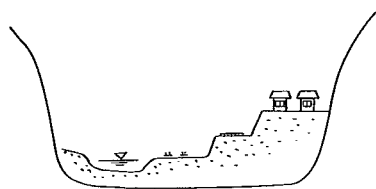


図-3 谷底平野の概念図

形は扇状地をしていても、段丘が発達して想定される土石流の堆積厚よりも段丘の比高の方が高い場合には、氾濫区域想定のための地形分類としては谷底平野の分類に入るので、調査の際には充分注意して地形分類を行なうことが必要である。すなわち、扇状地とは土石流の氾濫が土石流の堆積厚さから想定すると扇面全部となりうるような地形と考えてよい。

1-3-1 谷底平野における想定方法⁽⁴⁾

昭和47年の熊本県天草、島根県高津川水系、昭和50年高知県仁淀川流域の土石流氾濫区域の調査資料からのような想定方法が言える。

- i) 氾濫起点………支溪の合流点，狭さく部の出口，原地形の溪床勾配 8° 以下では堆積のはじまる可能性がある。
- ii) 氾濫終息点………原地形勾配 3° （約 $1/20$ ）（土砂流は 0° まで）
- iii) 氾濫土砂厚………土石流の規模や溪流の溪床幅等によるが $5\sim 6\text{ m}$ が最も多い。最高では 10 m
- iv) 氾濫範囲の想定………氾濫起点から氾濫終息点までの間において，氾濫土砂厚に対する地盤面まで（図-4参照）を全て氾濫区域とする（一次危険区域）。

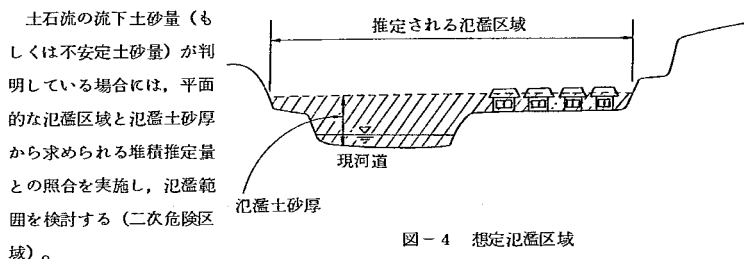


図-4 想定氾濫区域

1-3-2 扇状地形における想定方法⁽⁹⁾

昭和51年香川県小豆島の土石流災害調査結果から，次のような想定方法が考えられる。

- i) 氾濫起点………谷の出口，扇状地頂部，
原地形勾配が 15° 以下（土砂流の場合 8° 以下）で堆積が開始すると考えられる。
- ii) 氾濫終息点……… 4° （約 $1/14$ ）（土砂流は 0° まで）
- iii) 氾濫土砂厚……… $3\sim 5\text{ m}$ が多い（土砂流の場合 $2\sim 3\text{ m}$ 以下が多い）。
- iv) 氾濫範囲の想定………谷底平野と同様の方法をとると扇面全部が土石流危険区域となる（一次危険区域）。次に土石流の量的把握が可能であれば土石流の流下幅を推定⁽⁹⁾して，その流下幅の10倍程度を土石流危険区域とする（二次危険区域）。土石流の堆積長と土石流の土砂量との関係（小豆島の例だけなので全国でも同様のことが言えるかどうかの検討が必要）が使用できる地域においては，この堆積長から土石流危険区域を想定する（三次危険区域）。

尚，土石流の流下方向については谷の出口からおおむね 40° 以内の区域と考えられる。また，扇状地形上では原地形による影響も大きいので，現地踏査が必要である。また扇状地での地形調査方法については扇状地における土砂害危険度調査手法⁽¹⁰⁾を参考にして危険区域想定にあたることが望ましい。土砂流についても同調査手法⁽¹⁰⁾を参考にするとよい。

注：(9) 池谷浩，米沢谷誠悦：土石流危険区域設定に関する考察 土木技術資料 Vol.19 No.12 S.52.12
 (10) 池谷浩，阿部宗平：扇状地における土砂害危険度調査の一手法 土木研究所資料 1267号 S.52.8

765

1-4 調査成果の整理方法

調査結果は以下の要領で整理する。

1-4-1 箇所別調査結果の整理

- i) 1/25,000 地形図（以下地形図と言う）に対象溪流区分，流域番号（資料番号と同一とする），
- ii) 地形図上に溪床勾配区分を各溪流毎に記入する。図面は i) と別業とする。記入は溪流を色で区分する。（0°～3°黒色，3°～10°青色，10°～15°緑色，15°～20°ダイダイ色，20°～赤色）
- iii) 堆積物の量的把握およびその存在位置が明確に判明している場合には ii) の地形図上にその位置と量を併記する。
- iv) 溪床堆積物が均一か不均一かを ii) の地形図の上にプロットする。
- v) ii) の地形図に氾濫区域の想定範囲を黄色で記入する。
- vi) 過去の災害資料がある場合には既往資料として，本調査方法により調査を実施する。

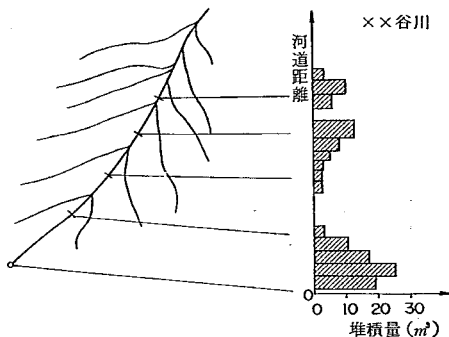


図-5 溪床堆積物の量の記入例

- vii) 各溪流毎の調査結果は総括表（表-1，II）に整理する。

1-4-2 総括表の作成

表-1，IIについて記入する。

- i) 表-1の記入事項（記入要領は表-1参照）

水系名，河川名，溪流名，流域面積，河道長，主な地質，および調査結果を記入する。

- ii) 表-2の記入事項（記入要領は表-2参照）

水系名，河川名，溪流名は表-1と対応できるようにする。氾濫区域の地形分類，氾濫面積，堆積厚，土石流の流下幅，堆積長，氾濫区域内の人口，人家戸数，田畑面積，その他の資産及び公共施設等を記入する。

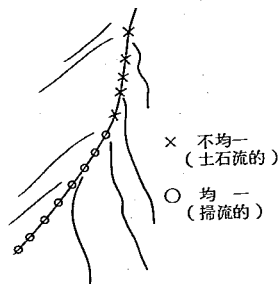


図-6 溪床堆積物の質の記入例

1-4-3 付図の整備

以下の付図について整理する。

- i) 位置図 1/25,000 地形図（流域番号，溪流名等を記入）
- ii) 現地調査図 1/25,000 地形図（溪床勾配，土砂量，質，氾濫区域等を記入）
- iii) 既往災害氾濫区域図（過去に災害のあった地域）
 - 1/25,000 地形図（土石流発生年月日，災害気象名等を記入）

表-1

土石流発生・流達危険溪流調査表（総括表）

_____ 県（市）

資料 No	水系名	河川名	溪流名	流面 面積	河道長	主地 な質	調 査 結 果					備 考
							注① 溪床堆積量 (cm)	注② 溪床勾配	注③ 堆積物の質	注④ 移動可能 土砂量 (m)	注⑤ ランク 付け	
1												
2												
3												
4												

（ 記 入 方 法 ）

注① 溪床堆積量……堆積厚さが判る場合……cm単位で記入
判らない場合……多, 中, 少の記号で記入する。

注② 溪床勾配…… 溪 床 分 類 …… 記号

20°以上の発生区域を有する溪流 …………… a
10°~20°の区域が, 最急勾配の溪流 …………… b
10°以下の区域が, 最急勾配の溪流 …………… c

と分類して, 記号で記入する。

注③ 堆積物の質……均一か, 不均一かを記入する。

注④ 移動可能……量的把握ができれば……m単位で記入
土砂量 “ ” できなければ……多, 中, 少で記入

注⑤ ランク付け…… 非常に危険…………… A
危 険…………… B
やや危険…………… C

表-Ⅱ

土石流氾濫区域調査表（総括表）

県（%）

資料 No	水系名	河川名	溪流名	注① 氾濫区域 地形分類	氾濫区域 面積 (㎡)	注② 堆積厚 (m)	注③ 流下幅 (m)	注④ 堆積長 (m)	同地区内 人口 (人)	同地区内 人家戸数 (戸)	同地区内 田畑面積 (ha)	同地区内 その他の資産 及び公共施設	備 考
1													
2													
3													
（ 記 入 方 法 ） 注① ……………谷底平野か、扇状地形かを記入 注② } 判明したことについて記入する。 注④													

§ 2 警戒避難基準雨量の想定方法

土石流災害からの警戒避難のためには

- i) どのような降雨量で土石流が発生するのか
- ii) どの時点で警報を出して避難を開始するか

という2つの大きな問題があり、これらの適確な判断のための1つの基準値が必要となってくる。

この避難基準の設定には過去の土石流発生と降雨との関係を調査して、各地に適合した土石流発生に関する基準雨量を想定し、また過去の土石流発生時の雨の降り方調査して、危険な降雨パターンを想定する必要がある。これらの基礎的資料にもとづいて、現在降っている降雨の量と今後の降雨パターンをなんらかの方法で知り得ることによって警戒避難発令及び解除時期の想定に結びつけることが可能となる。

2-1 土石流発生の基準雨量の想定

2-1-1 過去の土石流災害時における降雨量の整理による想定方法

現在のところ、土石流発生を予知できる降雨量に関する資料は未だ整備されていない。そこで各地において過去の土石流発生時の降雨資料を図-7によって整理し、各々の溪流における土石流発生と降雨量との関係を把握しておく。

各地域毎に整理する調査項目は、図-7に示したように、連続雨量、最大日雨量、最大時間雨量等

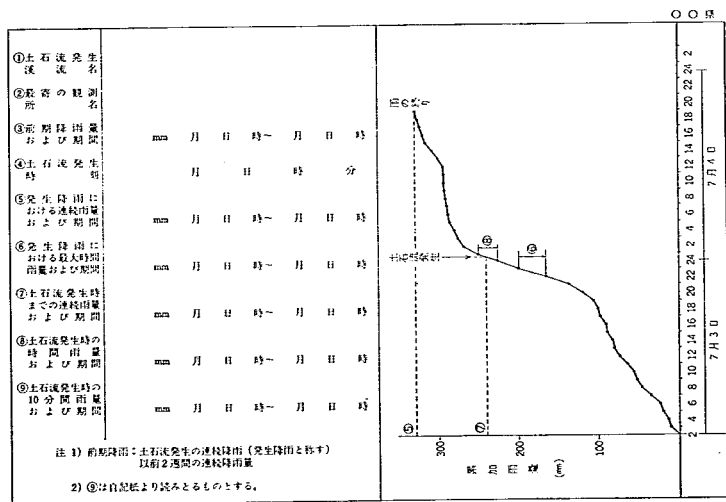


図-7 雨量状況調書

769

である。これら過去の資料をもとに各地域ごとにどの位の降雨量の時に土石流が発生するかという。土石流発生基準雨量を想定する。

2-1-2 過去土石流の発生資料がない場合の想定方法

過去に土石流災害を被ったことのない地域についてはやむを得ず、これまでの調査・研究結果から、最も現地に適合すると考えられる土石流発生危険の基準雨量想定をする。参考のため以下にいくつかの既記調査・研究結果を挙げる。

建設省松本砂防工事事務所⁽¹⁾が京都大学防災研究所と共同で調査した結果、焼岳周辺においては、最大時間雨量が15mmを超えかつ、それまでの連続雨量が60mmを超える場合、10分間雨量が8mm以上の場合に土石流の発生する可能性が非常に高いことを示した。

茅原・島津・吉村⁽²⁾は昭和42年8月の羽越災害時における土石流発生について、時間雨量50mmもしくは3時間雨量90mm以上の降雨量が必要であるとしている。

瀬尾・船崎⁽³⁾は昭和47年全国各地に発生した土砂災害時の調査結果から、有効雨量と有効雨量強度との関係として、図-8.1のように整理した。

瀬尾らの研究は図-8.2の領域内での位置によって土砂害の危険性を予想しようとしたもので、降雨の地域性を取り入れた点に特徴がある。

池谷⁽⁴⁾は昭和47年48年の土砂災害時調査結果から、土砂害発生と降雨との関係を調査し、10分間雨量等短時間雨量の有効性は認めながらも、避難という面からは最低30分から1時間

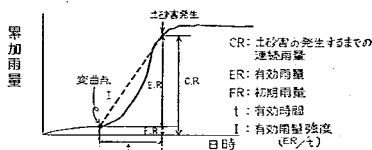


図-8.1 有効雨量と有効雨量強度

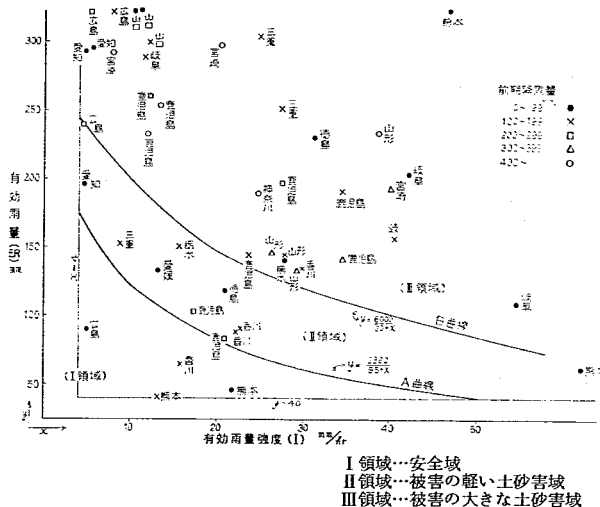


図-8.2 有効雨量と有効雨量強度の関係

註：(1) 建設省松本砂防工事事務所 焼岳・浦川における土石流調査関係資料集 5, 6, 7 S50.10, S52.3

(2) 茅原一也, 島津光夫, 吉村尚久: 前出(6)

(3) 瀬尾克美, 船崎昌経: 土砂害と降雨量について 新砂防 89 S48.11

(4) 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 S49.12

という時間が必要だとして時間雨量により整理した。そして図-9の降雨強度勾配比(θ)と降雨パターン分類から、時間雨量50mmをこす場合、継続雨量が200mmをこす場合およびθ>10の変化がある場合には土砂害の発生する危険があるとした。

以上いくつかの既成調査・研究例を示したが、前述のように現在の段階では確定した土石流発生と降雨量の関係が整理されていない。そこでこれらの既往調査例を参考にして、土石流発生危険の基準雨量を想定する。

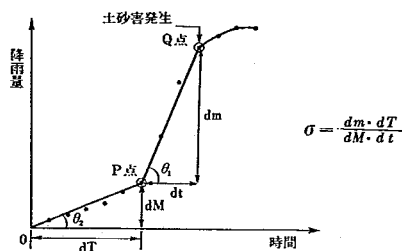


図-9 降雨量1時間曲線

2-2 降雨パターンの想定

2-2-1 過去の土石流災害時の降雨パターンの整理

過去に土石流の発生をみた溪流においては近くの降雨資料から、土石流はどのような降雨パターンの時に発生したかを図-7によって調べる。降雨パターンの調査では、単に雨の降り方だけではなくその時の気象状況も把握する必要がある。なぜならば、土石流発生時の気象が停滞前線によるものと台風によるものでは、雨雲の進む方向、雨の降り方(周期)等が異なるし、同じ台風といっても進行のコースによっても降雨パターンは異なるはずであるからである。

2-2-2 過去に土石流災害を被らない地域での降雨パターンの想定

2-1-2 既往調査結果を参考に想定をおこなう。

2-2-3 現在降っている雨の今後の予測(降雨パターンの予測)

現在のところ今後の降雨パターンの予測は非常に困難である。そこで、まず降雨量を正確に把握するため、出来るだけ多くの雨量計(簡易雨量計でも可)を配置すること(少なくとも各流域にある集落に1ヶ所は配置する)と、気象情報(ラジオ、TV等)の収集が必要である。そして、これらの資料と前述した過去の土石流発生時の降雨パターン、気象状況等の資料の総合的判断から、今後の降雨パターンを想定する。

2-3 警戒避難発令及び解除時期の想定

警戒避難発令及び解除時期の想定は非常に難しく現在の段階では適切な想定方法はない。

但し、避難命令がでてからすぐに行動に移るのは困難を伴うし、老人・子供の避難を考えると、できるだけ早い時期での予報が必要で、少なくとも土石流発生1時間前には警報を、2時間前には注意報を発令することが望ましい。そこで、2-1 土石流発生基準雨量と2-2 降雨パターンの想定をもとに土石流発生時刻を想定して、その時刻の2時間前に土石流発生注意報を1時間前に土石流発生警報を発令する。発令できれば各流域の集落単位に発令権者を設定しておき、発令権者の主観による命令が望ましい。谷一つ異なると雨の降り方も異なるような地域性の激しい地形が多いので市町村単位等の行

政単位で警報発令は無理であろう。

注意報、警報の解除の時期も発令の時期と同様に難しい問題である。参考までにこれまでに発生した土石流災害において、降雨のピーク時間と土石流発生時間のずれについて調査した結果⁴⁹を示す、図-10及び現地状況を参考にして、発令権者は解除の時期を決定する。

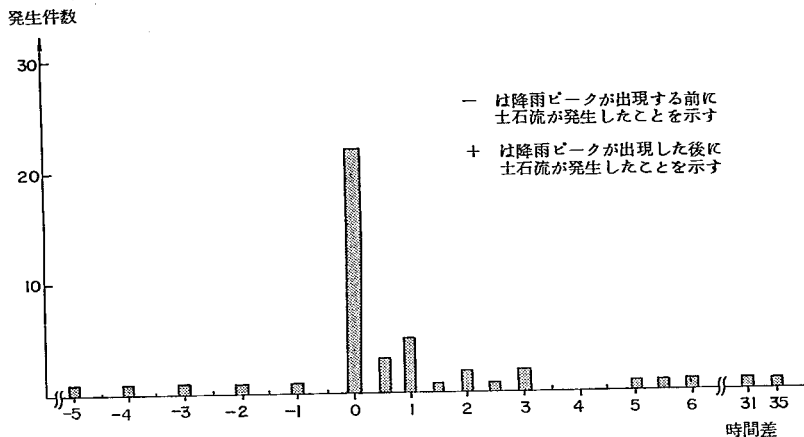


図-10 土石流発生時刻と降雨ピーク時刻との関係

註：49 池谷 浩：全国土砂害実態調査の結果 土木施工14巻11号 S48.10

お　わ　り　に

現在行政的に最も急を要されている土石流危険区域設定のための調査方法と、警戒避難のための降雨基準に関する想定方法について述べた。しかし何度も述べるように土石流という土砂の移動形態の把握は難しく、けっして本調査方法が最良のものではないことは言うまでもない。最近は力学的解析も緒につきはじめた。今後はこれら理論的解析をふまえたより精度の高い調査方法が作成される事を願って結びとする。

参 考 文 献

1. 田畑茂清：流砂の形態とその堆積特性について 新砂防 74 S 44.12
……土石流区域と掃流区域の判別方法
2. 田畑茂清・市ノ瀬栄彦：尾鷲土石流災害発生の要因について 新砂防 86 S 48.1
……土石流の発生条件とその要因
3. 建設省河川局砂防課：土石流危険区域の設定に関する資料 S 52.3
……谷底平野における土石流危険区域の想定方法
4. 池谷浩・米沢谷誠悦：土石流危険区域設定に関する考察
土木技術資料 Vol 19 № 12 S 52.12
……扇状地形における土石流危険区域の想定方法
土石流の量と流下幅との関係および土石流危険区域の幅の設定，堆積長の想定
5. 建設省 松本砂防工事事務所：焼岳・浦川における土石流調査関係資料集
№ 5， S 50.10
……10 分間雨量と土石流発生との関係
6. 瀬尾克美，船崎昌継：土砂害と降雨量について 新砂防 89 S 48.11
……有効雨量と有効雨量強度による土砂害発生について
7. 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 S 49.12
……降雨強度比をもちいた土石流発生の予知方法

流砂の形態とその堆積特性について

On the Mechanism of Sediment-Transportation
and the Features of Sediment-Deposition

田 畑 茂 清*

1. はじめに

急流荒廃河川における土石の移動形態には一般的にいて、洪水流の作用を受けて押し流される掃流運搬形式のものと、土石流あるいは泥流とよばれている集合運搬形式のものがある¹⁾。

一方、洪水流や段波などによって運搬される流砂の形態は単に堆積した土砂量が大きいというだけで土石流とよくいわれるが、実際には掃流運搬形式であるものが多い²⁾。

急流荒廃河川の処理に成功しようとするには、このような土石の移動形態を把握し、その河川で土石流がどこまでくるかということ十分に検討することがたいせつである³⁾。

しかし、現地での土石の移動形態を洪水あるいは土石流の発生のために、すべての場所で観察し、上述のように分類することは不可能である。

そこで、河床土砂の堆積特性に着目し、これをもとにして土石の移動形態の分類の可能性をさぐってみた⁴⁾。

2. 堆積特性とは何か

河川および溪流における堆積土砂の堆積特性としては、堆積土砂量・河床高・勾配のほか、礫の径・配列状態および砂礫堆の形・大きさなどが考えられる。

ここでは、堆積特性として礫の径および配列状態をとりあげた。

写真-1は、河口より約45km上流の吉野川の河床断面の一部を示したものである。ここまでは、明らかに土

石流は来襲していないから、この堆積土砂は掃流運搬形式で運搬されてきたものと考えられる。

写真-2(a)は三滝川(鈴鹿山系御在所岳を水源とする流域面積59.4km²、流路延長21.4kmの中河川)の河口より上流約20kmの地点の河床断面を示したものである。これは砂防ダム建設のため床掘した際の横断面を示す写真で、よく河床の堆積特性を示している。同じく、写真-2(b)および(c)は潤井川(富士山大沢を水源とする流域面積207.3km²、流路延長34.7kmの中河川)および野尻川(桜島南斜面を水源とする流域面積3.08km²、流路延長4.5kmの小河川)の河床断面を示したものである。写真-1にくらべて、大きな巨石がみられると同時に大小さまざまな砂礫が混合している。このような特性を示すところは、溪流でも水縁に近く、いわゆる荒廃溪流と呼ばれ、流砂も掃流運搬形式で運搬されているとは考えがたい。



写真-1 吉野川 45km 地点

* 建設省土木研究所

** もちろん、実際河川では掃流運搬形式と集合運搬形式との中間的なものがあるから両者の境界を明確に画することはできない。しかし、両者のうち、どちらが占めるかによってこの境界を溪流の途中に設定することができる。

*** 矢野は、土石流を次の四つに分類している。(水工学に関する夏期研修会 土木学会 S 42)

- ①火山の噴火物によって発生するもの
- ②山腹の崩壊にともなうもの
- ③渓谷の堆積物の流出によるもの
- ④地すべり性の地質によるもの

さらに、「①②③の場合は特別の場合であって、これを一般的に取り扱うことはむずかしい。しかし、④はいずれも渓谷の上流部で堆積が進行し、これが豪雨に遭遇して流出する現象をい。これがもっとも多い」と述べている。この分類には種々の問題があるが、強いてあげれば、本論で取り扱う土石流は④の分類にはいるものといえてよいであろう。

7/25

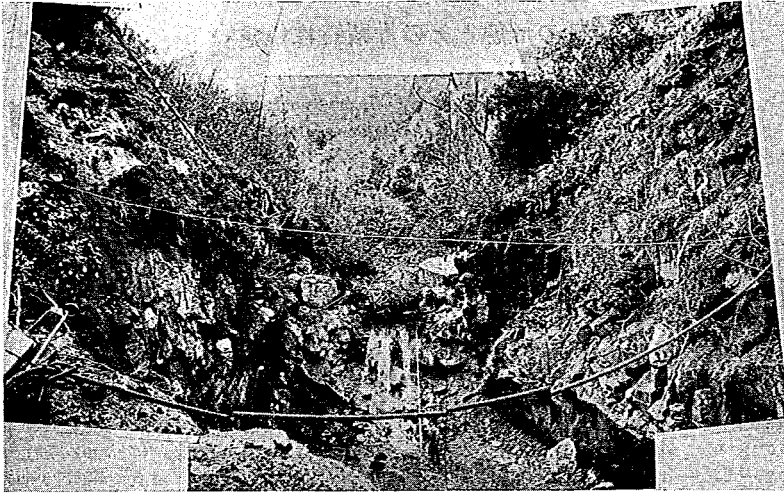


写真-2 (a) 三滝川 20km 地点



写真-2 (b) 潤井川大沢扇状地
(試料採取地点番号3)



写真-2 (c) 野尻川 2.1km 地点

このように、掃流運搬形式と集合運搬形式とは、両者の堆積特性（堆積土砂の径および配列状態）に顕著な差異がみとめられるようである。

3. 堆積土砂の粒径

洪水流の作用を受けて押し流される掃流運搬形式の砂

1176

礫の径は、最近では精度はともかくとしてなんらかの方法で堆定できる段階にまでできているといつてよい。

それに対して土石流ではこぼれるような集合運搬形式の砂礫の径の推定は現状では不可能である。しかし、土石流は想像もできないような大石を下流に運搬するほどで、そのエネルギーはばくだいなものと考えることができるから、もし上流に十分大きな径をもつ砂礫が供給可能土砂として多量に存在するならば、集合運搬形式で運ばれる石礫の径は掃流運搬形式のそれにくらべて大きくなるであろう。

掃流運搬形式で運搬されてきた堆積土砂に対しては、その付近の最大礫のもつ抵抗力（すなわち限界掃流力）が流水のもつ掃流力に釣りあっているようである。図-1(a)は渡良瀬川における最大礫のもつ限界掃流力と流水のもつ掃流力とを河道距離ごとに比較したものである。また、図-1(b)は両者の比をとったもので、かすみ堤および新堤築造の影響ではっきりと河幅の決められない4kmの地点（3kmの地点のひらきはよくわからない）を除くと、両者はほぼ一致し、 U_{sc}/U_{*c}^2 は1~2

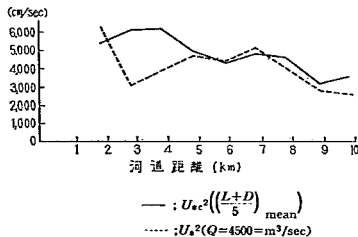


図-1(a) WATARASE R.

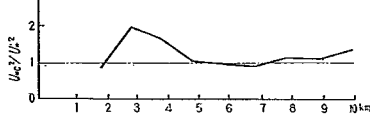


図-1(b) WATARASE R.

を示すことがわかる。

それに対して、土石流では最大礫の径は流水のもつ掃流力とバランスせず、はるかに大きな値を示すとおもわれる。これについては6.で礫の配列状態と関連して述べる。

4. 堆積土砂の礫の配列状態

写真-1をみてもわかるように、掃流運搬形式で運搬されてきた土砂は、層状構造をつくるようである。写真-3は三滝川の宗利谷ダム堆砂地内の河床断面を示したものである。各層毎に礫の分布が異なることを示すために図-2に示す各点からふるい分け試験用の試料を採取した。(断面-1と断面-2とは連続しており、河床勾配とほぼ平行に礫の大きさによって層状構造を示している。断面-2と断面-3との間には小さな溪流がはいっており、その連続性は不明である。

各試料の礫分布を各断面毎にまとめたのが図-3である。これは、コンクリート骨材用標準ふるいを用いて各試料（約10kg）を現場でふるい分けしたものを粒径階毎の残留率を縦軸にとってまとめたものである。最低河床から約2.5mの地点の1-1では礫径10~15mmの範囲に残留率のピークがあらわれるのに対し、それより約30cm下の層である1-2では2.4~4.7mmの範囲にピークがあらわれ、極端に細くなっていることがわか



写真-3 三滝川宗利谷堰堤堆砂地

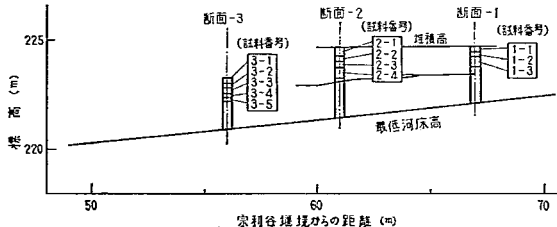


図-2 MITAKI R.

477

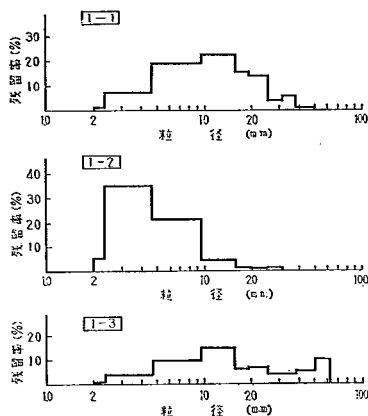


図-3 (a) MITAKI R.

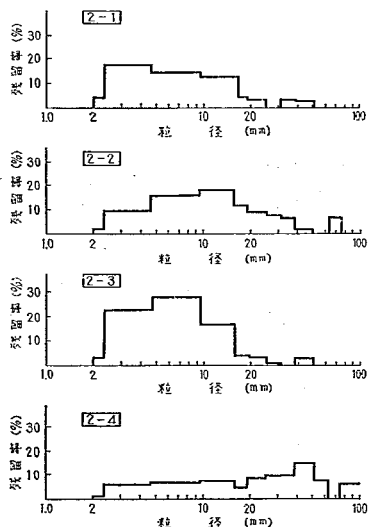


図-3 (b) MITAKI R.

る。さらに、30cm 下層の 3-2 では 1-1 と同じ 10~15mm のところにピークをもつ。しかし 1-1 と異なって 50~60mm の大きな礫も多く含まれている。断面-2, 3 に対しても同様なピークのずれがみられる。さらに、1-1 と 2-2, 1-2 と 2-3, 1-3 と 2-4 がほぼ同じ礫分布を示していることがわかる。これらの層内

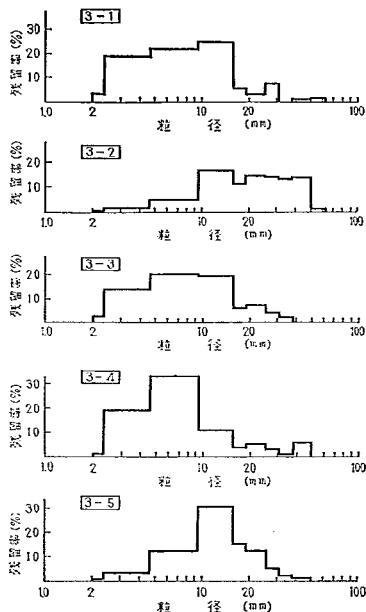


図-3 (c) MITAKI R.



写真-4 断面-1 の拡大写真

の礫の状態を拡大写真でみると写真-4 のようである。このように、ある粒径階の礫が卓越して堆積し、それが一定程度連続して存在していることは、掃流運搬形式の一つの特徴のようである。

それに対して、土石流では大石・巨岩の他に泥・砂・礫・玉石が大小取り混ぜ、混乱衝突しあって進行するものであるから、このような層状構造はみられない。写真-2 は、そのような土石流の堆積特性をよく示している。

5. 水 理 実 験

4. に述べたような層状構造が発現する理由は現在ではよく解明されていない。もちろん、運搬される礫の粒径が均一であれば、こういうものは生じるはずはないから、混合砂礫の流砂現象特有のものであることは確かである。しかし、これが、① 粒径の異なる砂礫の跳躍距離や移動スピードの違いから生じるものであるか、② 洪水中に供給砂礫の粒度分布が変化するか、あるいは、③ そのいずれでもない原因によるのであるか、現在ではよくわかっていない。そこで、一定の混合割合をもつ混合砂礫を一定量供給する水理実験をおこなって、それを確かめることにした。実験は長さ 20m、幅 40cm の片面ガラス張り矩形水路を用い、あらかじめ水路床に 1/100 の勾配で粒径 0.21cm の均一砂を敷きならべた。そして 0.21cm の均一砂と 0.021cm の均一砂とを容積比 1 : 1 で混合したものを 200g/sec で水路上流端より供給した。流量は 0.21cm の均一砂で平衡勾配が 1/35 になるように決めた (10.6l/sec)。図-4 は河床の時間的変動を示したものである (ただし、給砂量が多く準備できなかったので平衡勾配に対するまで実験を継続することができず、給砂開始後 18 分で実験を終了している)。

写真-5 は河床に堆積した砂礫を実験終了後写したものであり、層状構造を顕著に示している。これは水路横断方向にも連続しており、蛇行などの影響ではないと思われる。しかし本章のはじめに述べたような原因のうち、いずれであるかはもっと詳細な実験を行わないとわからないことが判り、現在検討中である。

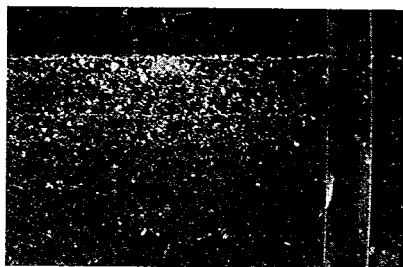


写真-5 土砂堆積状況 (水路延長10m地点)

6. まとめおよび六甲住吉川での具体例

以上でわれわれは、洪水流の作用を受けて押し流される掃流運搬形式のものと土石流などで運搬される集合運搬形式のものとを、堆積土砂の礫径および配列状態によって、一部証明できないところもあるが、一応判断できることを示した。すなわち、① 掃流運搬形式で運ばれた土砂の礫径は最大礫のもつ限界掃流力と流水のもつ掃流力とが一致する程度の大きさであり、かつ礫の粒度分布の違いから層状構造を示す。これは定性的ではあるが、水理実験からも明らかとなった。それに対して、② 集合運搬形式で運ばれた土砂の礫径は流水のもつ掃流力にくらべてはるかに大きく、かつ大小不規則に混合している。ただし、これはまだ推定の域を出ていない。

以上の考え方を昭和42年7月9日の集中豪雨で多量の土砂を生産・流出した六甲山系の住吉川) 流域面積

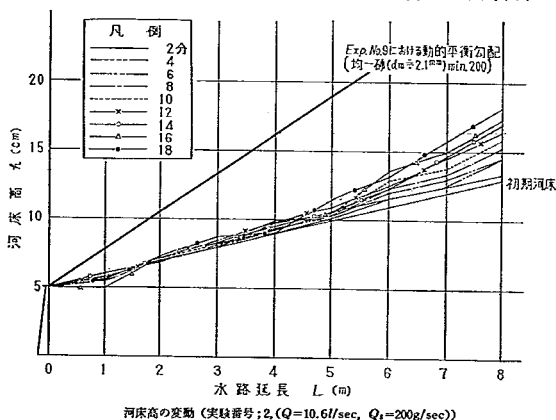

 河床高の変動 (実験番号; 2, (Q=10.6l/sec, Q₁=200g/sec))

図-4 堆積特性に関する水理実験

11.33km²)において確めてみた。

白鶴堰堤より上流約4kmの河床で、堆積特性をしらべるために現地調査をした。写真-5は代表的な河床断面を示したものである。これらの写真から層状構造のいちじるしいものとそうでないものに分類して、河道距離毎に示すと図-5のようになる。これにはまた最大礫のつ限界掃流力 U_{*c}^2 と昭和42年7月集中豪雨時の流量から計算された掃流力 U_*^2 との比 U_{*c}^2/U_*^2 も書き入れている。 $U_{*c}^2/U_*^2 > 2$ を集合運搬形式、 $U_{*c}^2/U_*^2 < 2$ を掃流運搬形式と判断すると(この仮定は3章の考察か

らもほぼ妥当であると思われる)礫の配列状態による両者の区分と一致するようである。この図から判断すると「五助ダム下流には土石流は来襲せず、流砂はほぼ掃流運搬形式で流下した。また、水晶谷から流下した土石流は五助ダム上流狭さく部まで到達した。水晶谷合流点より上流の本川では滝状になっている上流地点に土石流が発生し堆積しているが、その上流には河幅の広がった堆砂地のようなところがあり、そこでは掃流運搬形式であった。」などの事柄が明らかにされる。これは図-6に示されたような災害前後の航空写真から解析された住吉

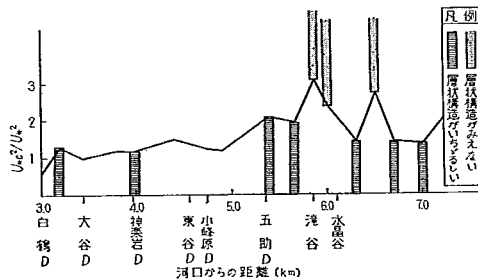


図-5 ROKKO SUMIYOSHI R.

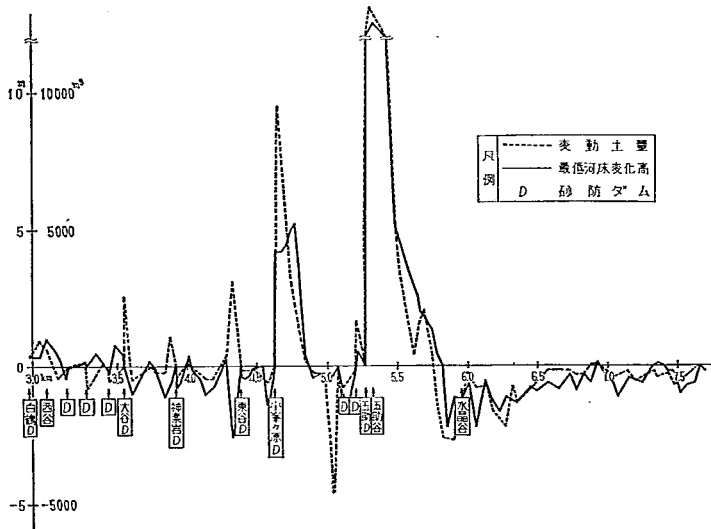


図-6 ROKKO SUMIYOSHI R.

川土砂変動解析⁵⁾における変動土量および最低河床の変化高からみても、ほぼ妥当な結果のようである。(ただし、五助ダムで掃流運搬形式が示されるのは堆砂地表面付近の河床断面での観察結果によるものであり、これが河床断面全体に存在するか否かはわからない。)

7. おわりに

以上で集合運搬形式で運ばれる砂礫と、掃流運搬形式で運ばれる砂礫の堆積特性にはそれぞれ特徴があることを明らかにした。

両者がつくるそれぞれの堆積特性は、工事をほどしでいく上に区別して考えていくべきたいせつな要素であり、砂防工事の効果算定にも使うべくさらに研究を進めていきたいと考えている。

最後に、現地調査を心よくおひき受けくださった建設省六甲砂防工事事務所瀬尾調査係長、三重県砂防課大庭・細井技師および種々の貴重な御意見をたまわった土木

研究所平尾砂防研究室長に深く感謝の意を表します。

(1969. 6. 26)

参 考 文 献

- 1) 遠藤隆一、他：砂防工学，朝倉書店（S44）
- 5) 橋本規明：新河川工法，森北出版（S31）
- 3) 伊吹正紀：砂防特論，森北出版（S30）
- 4) 石藤藤次郎，他：応用水理学中 I，丸善
- 5) 遠藤隆一：砂防工学，共立出版（S33）
- 6) 田畑茂清：山地溪流部における河床最大礫に関する一考察，第 5 回災害科学総合シンポジウム（S43）
- 7) 柿 徳市：土石流の実験的研究，新砂防 No.19（S30）
- 8) 建設省六甲砂防工事事務所：住吉川航空写真測量並に 42.7 災害解析報告書（S43）

<論 文>

尾鷲土石流災害発生の要因について*

田 畑 茂 清** 市ノ瀬 榮 彦**

Study on the primary factors of the mud-flow disasters
in Owase Area.

1. まえがき

「ある地域の中で、どの地点が土石流災害を受けやすいか」という疑問は、土石流対策工事を計画する際に非常に重要である。

この問題に対しては、過去の調査、研究から次のような仮説をたてることができる。

① 土石流が発生すること。

そのためには、次のような条件が必要である。

④ 溪床堆積物が存在し、それが移動しやすい状態にあること。

⑤ この移動可能な溪床堆積物を流下させるに必要な作用が出現すること。

⑥ 土石流の発生・流下・堆積する区域に被害を受けるもの（家屋・道路・鉄道等）が存在すること。逆にいえば被害を受けるものが存在する地点に、土石流が流下、堆積してくること。

このような諸条件をあらかじめ知ることができたなら、「どの地点が土石流災害を受けやすいか」という疑問に答えることができる。

そこで、昭和46年9月9日～11日に三重県南部を襲った集中豪雨によって発生した尾鷲地区の土石流を例にとり、上にあげた条件を確認し、どのような地点で土石流が発生し、災害を受けやすいかを検討した。

2. 発生の要因についての検討

調査をおこなった溪流は、図-1に示す4溪流である。それぞれの溪流を選んだ理由は次のごとくである。

小浜川：土石流が発生し、堆積地点に多くの家屋が存在したので大きな災害となった。

大河谷川：土石流は発生したが、下流の家屋のある地点まで流下・堆積していかなかったため、大きな災害にはならなかった。

鈴河川：土石流が発生したが、既設の砂防ダムによって流下を阻止され、下流の家屋にはあまり災害をもたらさなかった。

A 沢：土石流が発生しても決しておかしくない溪床

勾配をもっているにもかかわらず、土石流が発生しなかった。

2-1. 「溪床堆積物が存在し、それが移動しやすい状態にあること」の確認

土石流が発生した溪流（小浜川、大河谷川、鈴河川）について、経断面測量と災害前の溪床横断面の復元作業をおこない、溪床堆積物の深さと量の変化をもとめた。本来、この作業は災害前後の航空写真によるのが最もよい¹⁾。しかし、災害後の航空写真を撮影できなかったため、このような簡易作業による。

小浜川を例にとってみると、図-2のようになる。（上流側は、源頭部の変動がない地点からとっているのよいが、下流側は、現地復旧工事のため、流出してきた土砂を排除してしまったので、測量不可能となった。この図からみると、下流端 No. 14より下流に約3,000m³の土石流堆積物および流送土砂量があったことになる。概算としては、合っていると思われる。）溪床堆積物の侵食・移動によって土石流が発生していったことがよくわかる。

では、土石流が発生しなかった溪流（A沢）には、溪床堆積物が存在していなかったのか。これを調べるために、A沢の土石流発生が予想される区域（溪床勾配30°附近）で、弾性波探査をおこなった²⁾。

図-3は、弾性波探査による速度断面図である。この図の中で、0.3～0.4 km/secを示す層が、溪床堆積物である。厚さは2～5mであり、土石流の発生した溪流の溪床堆積物の厚さよりむしろ厚いぐらいである。

次に溪床堆積物が移動しやすい状態にあったか否かをみる。

表-1は、土石流の発生・流下区間の溪床勾配を示している。土石流の発生した溪流（小浜川、大河谷川、鈴河川）についてみると、すべて10°以上の急勾配を示している。これは他の報告にもあきらかにされている³⁾。今10°～30°の溪床勾配を示す区域を土石流発生・流下区間とすると、土石流の発生しなかったA沢も、当然、土石流発生・流下区間に入る。すなわち、溪床堆積物が移動しやすい状態として考えられる最初の要素（溪床勾配）でみる限り、各溪流同程度であるといえる。

溪床堆積物が移動しやすい状態として次に考えられる

* 昭和47年度砂防学会講演会において発表

** 建設省土木研究所

田畑、市ノ瀬：尾鷲土石流災害発生要因について

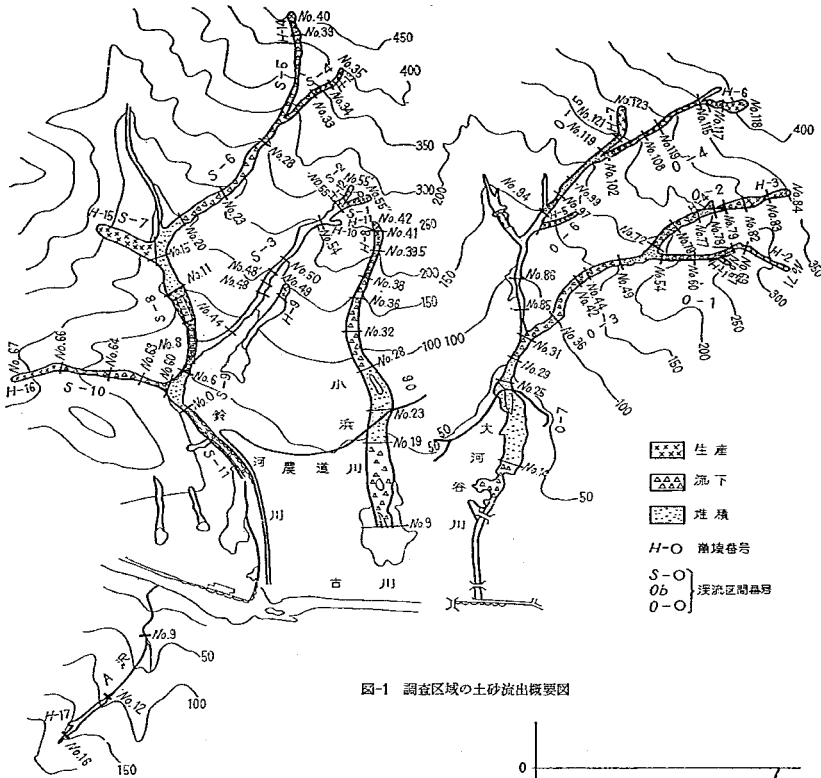


図-1 調査区域の土砂流出概要図

表-1 浸床勾配一覧表

区間	発生区間	流下区間
大 河 谷 川	28° 45'	14° 22'
小 浜 川	33° 16'	9° 23'
鈴 河 川	33° 33'	18° 26'
A 沢	26° 37'	

のは、浸床堆積物の分布状態である。

土石流が発生した現地をみると、浸床堆積物が押し流されて岩盤があらわれ、それが流状になっていくつもの段になっていることが非常に多い。これは、伏流水等の滞水・ふき出しを容易にし、浸床堆積物を不安定化しやすい。土石流が発生した浸床（小浜川、大河谷川、鈴河川）でも、流状岩盤の露出と、その段状分布がいちじるしい。（写真-1は、大河谷川 No. 51 と No. 79 の中間

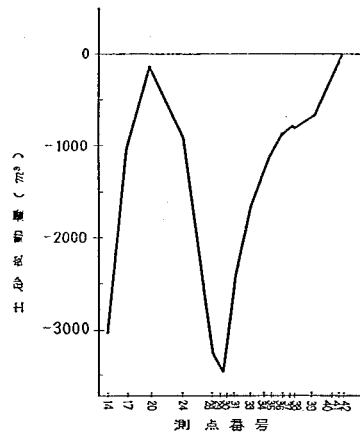


図-2 累加変動状況図（小浜川）

483

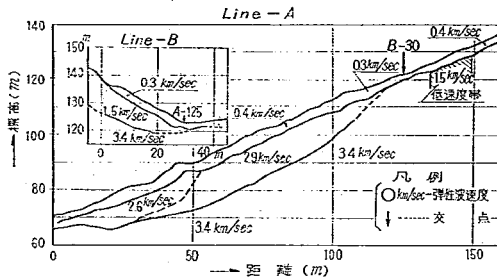


図-3 弾性波探査による速度断面図



写真-1

付近に露出した基盤を示す)。それに対して、土石流が発生しなかった溪流(A沢)の基盤の分布をみると、図-3のように、かなり均一である。ただし、弾性波探査によるこの調査手法では、これぐらいの精度しか期待できず、その結果、均一な分布のように見えるのかもしれない。これについては、今後の調査結果としたいが、定性的には「溪床堆積物の分布状態が、土石流の発生した溪流では、不安定な不均一性を示すのに対し、土石流の発生しなかった溪流では、安定な均一性を示した」といえるのではないだろうか。

2-2. 「移動可能な溪床堆積物を流下させるに必要な作用が出現すること」の確認

まず最初に考えられる要素は、雨であろう。図-4は等雨量線図である。4溪流とも50~100mm 差の程度で等雨量域に含まれている。しかし、他の報告にもあるように⁴⁾、土石流の発生は、10分間雨量のような短期降雨に左右されるから、溪床堆積物を流下させるに必要な作用としての降雨については、これ以上検討することはできない。(ただし、土石流対策工事をおこなうわれわれにとっては、どこでも降雨はあるものとして覚悟せねばならないから、「どの地点が土石流災害を受けやすいか」を決定する際に、因子として入れる必要はない。ただ、

この調査においては、4溪流とも、同一雨量域に入っているか否かを検討するために必要である)。

次に考えられる要素は、伏流水等の挙動である⁵⁾。土石流が発生した溪流は、それぞれ伏流水のふき出しが土石流発生地点に存在する。(これが降雨によってどのような変化を示し、土石流発生の引き金となるかは不明な点が多く、解明されねばならない重要な点であろう)。それに対して、土石流の発生しなかった溪流では、伏流水のふき出しは、土石流発生・流下区間と予想されるところ(溪床勾配10°以上)には存在

しなかった。

次に考えられる要素は、山くずれである。ただ、山く

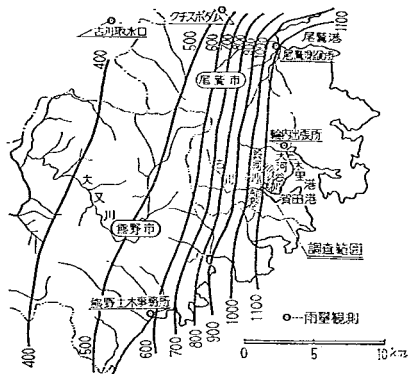


図-4 等雨量線図(集中豪雨・昭和46年9月9~11日)

表-2 崩壊地一覧表

溪流名	渓流区間番号	崩壊番号	垂直距離(H)	面積(S)	H×S
大河谷川	0-1	H-1	31.23m	150m ²	4,685m ³
	"	"-2	38.17	430	16,413
	0-2	"-3	32.58	450	14,661
	"	"-4	14.52	230	3,340
	0-6	"-5	42.45	1,170	49,673
	0-5	"-6	52.73	1,330	70,131
	0-4	"-7	16.53	550	9,092
小浜川	0b	"-8	41.20	690	28,423
	S-12	"-9	32.58	310	10,100
鈴河川	S-3	"-10	30.12	140	4,217
	S-1	"-11	51.50	630	32,634
	S-2	"-12	41.28	130	5,366
	S-4	"-13	44.35	220	9,757
	S-5	"-14	45.67	520	23,748
	S-7	"-15	83.80	4,580	383,804
	S-10	"-16	53.45	480	25,656
A 沢	A	"-17	15.87	190	3,015

ずれによる崩壊土量は、土石流の土量にくらべて非常に少なく、これは要素にはならない。われわれは、落下する崩壊土が溪床をたたくエネルギーを問題にしたい。すなわち、このエネルギーが、不安定になっている溪床堆積物を移動させるひき金になると考える。今、(崩壊面積) $\times$ (落下距離)を、このエネルギーとみると、表-2に示したごとくなる。土石流が発生しなかった溪流(A沢)では、この値が非常に小さいことがわかる。

2-3. 「被害を受けるものが存在する地点に土石流が流下・堆積してくること」の確認

略概図にえば、土石流の流下・堆積する地点は、 $5^\circ \sim 20^\circ$ の溪床勾配を示すところである。ゆえに、 5° よりゆるい溪床勾配をもつ地点まで、土石流が流下してくことはまずない。ただし、泥流とよばれるような種類の

ものは、洪水流に変化していく過程が長いので、もっとゆるやかなところまで到達するかもしれない。

次に、 $5^\circ \sim 20^\circ$ の溪床勾配を示すところを、細かくみれば、土石流の堆積する地点は、勾配、河幅の変化点である場合がほとんどである。

堆積区間の上下流の溪床幅の比と流下距離との関係を示したものが図-5である。かなりのバラツキは自然現象の解析であるからかなり覚悟することは当然であるが、ほぼ、3倍程度まで溪床幅が広がるところに堆積する傾向がみとめられる。そして、流下距離が大きいほど、溪床幅が大きく広がったところに堆積するということがわかる。

次に、堆積区間の上下流の溪床勾配の比と流下距離との関係を示したものが図-6である。ほぼ、 $I_2/I_1 = 1 \sim$

$1/2$ に変化しているところで堆積している。さらに、流下距離の大きいほど、溪床勾配がゆるやかになっているところで堆積することもわかる。これらは、実験的研究とはほぼ一致する⁹⁾。

砂防ダムは「このような値をもつ場所を人工的に作るのだ」と解釈することができる⁹⁾。図-5, 6の中に○印でマークされたポイントは鈴河川に設置されていた砂防ダムである。砂防ダムによって土石流の流下が阻止されたことがよく示されている。

3. 危険判定についての試案

われわれは、先の項で、土石流災害の発生の要因を1つずつあげて、尾鷲地区で実際に発生した区域の4溪流を例にとって検討した。その結果を一覧にすると表-3のごとくである。

われわれは、この数種類の要因を比較検討することによって、土石流発生危険溪流の危険度判定をおこなうことができる。ただし、定量的には、統計的処理が必要であるので、ここでは、定性的な考え方だけにとどめる。

3-1. 土石流発生危険溪流の危険度判定

- ① 溪床勾配が、 10° 以上の箇所があること。
- ② $20^\circ \sim 30^\circ$ 付近に溪床堆積物が存在すること。
- ③ それらの溪床堆積物が、不均一に分布していること。
- ④ その地点に伏流水がでていること。
- ⑤ 山くずれの発生が予想されるような

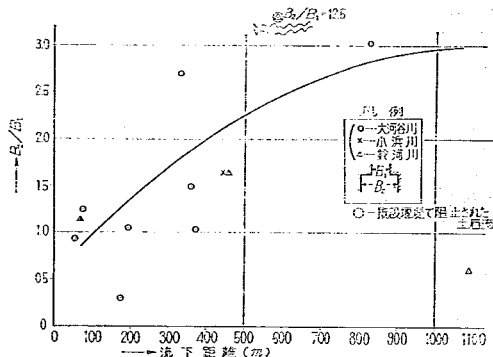


図-5 堆積区間の溪床幅比と流下距離の関係

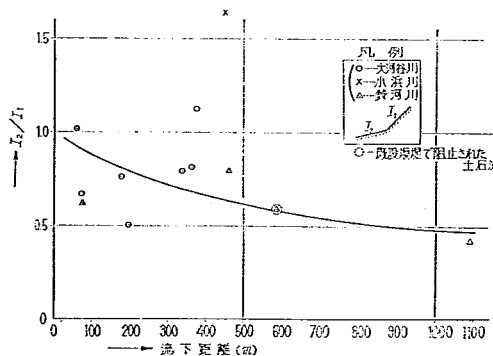


図-6 堆積区間の勾配比と流下距離の関係

表-3 土石流災害発生の要因

項目	土石流が発生すること					土石流区域に被害物が存在すること			
	深床堆積物が存在し、それが移動しやすい状況にあること			深床堆積物を流下させるに必要な作用が出現すること		被害を受けるものが存在する地点に土石流が流下すること			
渓流名	堆積物厚	深床勾配	堆積物分布	降 雨	伏流水	山くずれ	勾 配	$B_2/B_1, I_2/I_1$	砂防ダム
小 浜 川	0.6~1.3m	28°~14°	不均一	—	有	落下エネルギー大	10°以上	B_2/B_1 $I_2/I_1 = 1 \sim 3$	無
大 河 谷 川		33°~8°					10°以下		
鈴 河 川		33°~18°					10°以上		
A 沢	2~5m	26°	均 一		無	落下エネルギー小	10°以上	$I_2/I_1 = 1 \sim 1/2$	有

凹地が上流側にあること。

これらの諸要因が、全部そろっていれば、最も危険である。それに対して、①や②の要因がなければ、最も安全ということになり、③、④、⑤等がなければ、やや危険ということになる。

3-2. 土石流災害発生危険度判定

- ① 災害想定箇所が、10°以上の深床勾配をもつ渓流の近くにある。
- ② 8°以上の深床の中で、勾配のゆるやかになる区域や深床幅が広がっている区域が存在しない。
- ③ 砂防ダムが存在しない。
- ④ 先にあげた土石流発生の危険度が高い。

これらの諸要因が、全部そろっていれば、最も災害を受けやすい。それに対して、①や④の要因がなければ、最も災害を受けにくいことになる。ただし、これらの諸要因は、程度の問題があるので、少々検討がむずかしい。たとえば「砂防ダムは、いくつあればどの程度安全か」、あるいは「深床勾配や幅の変化がどの程度で、かつどれほどの数があれば安全か」等である。

4. あとがき

災害が発生するたびに、この種の調査をおこなって、データの積み上げをおこなう必要がある。と同時に、各地域で危険度判定をおこない防災計画をたてていくことが重要である。

参 考 文 献

1. 平尾公一、大久保駿：昭和42年7月豪雨災害について、新砂防75（昭和45年）
2. 武下一郎、他：三滝川河床堆積物の測定について、24回建設省技術研究発表会（昭和45年）
3. 大同洋之：土石流に関する基礎的研究、学位論文（昭和45年）
4. 奥田節夫：土石流の総合計測システム、災害科学総合研究河川分科会シンポジウム（昭和47年）
5. 西畑勇夫、高木不折：三重県南部東中豪雨について、（昭和47年）
6. 田畑茂清、市ノ瀬榮彦：深床幅・深床勾配の変化が土石流堆積におよぼす影響について、新砂防 Vol. 25 No. 2（昭和47年）
7. 建設省土木研究所砂防研究室：土石流に関する研究、第24回建設省技術研究発表会報告書（昭和47年）
（昭和47年10月5日 原稿受理）

Ⅱ 土石流危険区域の設定手法

土石流による災害は、年々 あとをたたない、土石流の調査研究は、近年とみにさかんにあって、具体的調査から、いくつかの性質がみいだされている。たとえば、土石流が堆積をはじめる勾配は、ほぼ 10° 以下であるとか、発生区間は 20° 以上の急勾配を有しているということである。

以下に紹介するのは土石流危険区域を、実際の現地において解析、検討した例である。

1 昭和 47 年の熊本県天草、島根県高津川水系の資料による検討

調査結果は、表-6 のとおりである。この結果から、氾濫、堆積の開始、終息を規制する要因が明瞭に認められるわけではない。元来、氾濫、堆積の規模は、発生後そこまで到達した土石流の規模（量、エネルギー）に支配されることが多いであろうから、量的な状況を見逃して、結果の表現である氾濫、堆積範囲のみから、それを表現する一般の基準を導き出すことは難かしいであろう。

ここで採り上げた少数例から一応言えることは、

- (1) 開始点に関しては、支流の合流点とか狭さく部の出口とか、空中写真や精しい地形図があれば一応の推測はつきそうである。
- (2) 開始点の勾配は、勾配緩和比などが利くと言われているが、そこを通過する土石流のエネルギーにも左右されるであろうし、かなり巾があるようである。
- (3) 終息点についても同じことが言えるが、ほぼ 3° 前後 ($\frac{1}{19} \sim \frac{1}{20}$) ぐらいである。
- (4) 氾濫の開始点から終息点までの距離は、土石流の規模や地形に現

制されることは明らかで、特に判断基準とはなり難い。ただ、平均勾配が 6° 前後のものが多く、大体原地形が 8° 以下であれば堆積が始まる可能性があるのではないかとと思われる。

(5) 氾濫堆積土砂の厚さも、土石流の規模や炭流の容量に左右されるのであろうが、5~6m位が多く、10mを超えるのはこの例からは見当らなかった。

以上、少数の資料からやや強引すぎるが、 $1/1,000$ 地形図を使用して氾濫予想区域を設定した。(図-2)

a) 土砂の堆積厚さは6m程度

b) 水が大量の場合(流域面積が大きい.)は10m程度

表-6 土石流氾濫要因調査表

溪流名	熊本県 田の原川	同 砥石川	同 牟田江後川 1	同 牟田江後川 2	第2東浦川	島根県 大予谷川	九領谷川	口ヶ谷川	S U 沢
氾濫ないし堆積 が始まる地点		支流合流点	支流合流して 峡さく部 を出る点	支流合流 点下	峡谷屈 曲部	砂防ダム の下流側	峡さく部 出口	峡さく部 出口	砂防ダム 下の峡さく部 出口
氾濫(堆積)が始 まる地点の上、下 流側の傾斜、下 勾配	8°40' 11°20'	21° 12°	18° 6°	2°40' 3°40'	14° 7°40'	9°30' 4°40'	7°36' 5°40'	8°40' 9°30'	3° 9°30'
氾濫(堆積)が終 る地点の勾配	2°10'	3°36'	3°0	1°30'	4°	3°50'	?	本流へ	3°10'
氾濫(堆積)区域 の比高(%) 距離(%)=氾濫区 間の平均勾配	103/ 850 6°50'	98/ 870 6°10'	35/ 250 8°0	15/250 3°30'	73/700 6°	55/400 7°50'	?	70/600 6°40'	35/450 4°20'
氾濫域の扇頂部 の拡がり角度	40°	65°	62°	60°	/	110°	?	?	?
氾濫(堆積)上 土砂の厚さ (%)下	5.5 6.0 2.0	6.0 6.0 2.0	6.0 6.0 ?	4.0 5.0 2.0	8.0 8.0 6.0	6.0 6.0 4.0	7.0 4.0 ?	5.0 5.0 4.0	5.0 ? ?

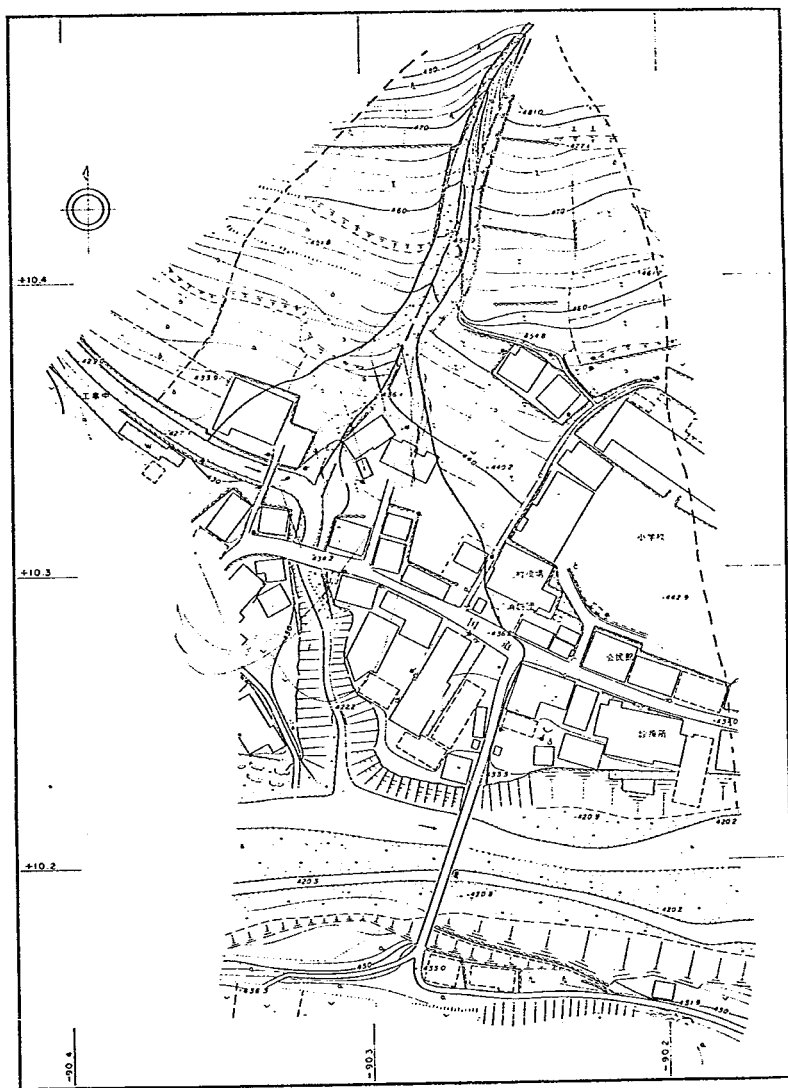


图-2 上石流危險区域平面图

2 昭和50年の高知県仁淀川流域の資料による検討

調査区域を地形要素、土石流発生率等から、A地区、B地区に分類し検討した(図-3)

氾濫土砂の厚さは表-7、8のとおりであり、この結果をもとに決めた危険区域の設定基準は表-9のとおりである。

(A地区)

1. 土石流のはんらん堆積の開始点は、1次河道とする。
2. 土砂の厚さは、かなり大規模なもので3.0m前後であるが、 $\frac{1}{10000}$ 地形図の等高線は、10m間隔であり、表現出来るのは、10m等高線の $\frac{1}{2}$ 程度までである。よって5.0mとする。
3. 終息点は、平野部に扇型にはんらん堆積するものは、勾配2°前後の所とする。扇型に堆積しないすなわち平野部の見られぬ所は、2次河道までを土石流による土砂はんらん危険区域とする。
4. 河川のはんらんおよび河岸侵食危険区域は、今回のはんらん既往最大規模のものと想定し今回の災害ではんらんした地域を目標に、3次以上の河道と平野部で2次、1次の河道で土石流のはんらん堆積が終息した所から下流域を連続的に河道から5.0mの高さで設定する。尚、仁淀川本川沿いの地域では、河道から10.0mの高さで設定する。

(B地区)

1. 土石流のはんらん堆積の開始点を2次河道とする。
2. 土砂の厚さは、かなり大規模なもので5.0m前後である。よってA地区と同様5.0mとする。
3. 終息点は、4次以上の河川に流入する地点とする。
4. 河川のはんらんおよび河岸侵食危険区域は、今回のはんらんを既往最大規模のものと想定し今回の災害ではんらんした地域を目標に4次以上の河道周辺に10.0mの高さで設定する。

又、以上の基準にしたがって、危険区域を設定した例が図-4、5である。

表 - 7 A地区の土石流はんらん土砂の厚さと終息点の勾配

流域名 溪流番号	波 介 川	〃	〃	日 下 川 (倉尾)	日 下 川	日 下 川	柳 瀬 川 (松の木)	柳 瀬 川	日 下 川	柳 瀬 川	柳 瀬 川	日 下 川	仁 淀 川 残	平 均
測定種目	68	72	73	62	44	112	15	95	108	16	136			
土砂の厚さ (m)	3.0	3.0	2.0	1.5	1.2	2.5	2.5	3.0	1.0	1.5	3.0	—	—	2.2
終息点の 勾配(°)	—	2~4	—	—	—	2	—	—	4	—	—	2	2	2.8

表 - 8 B地区の土石流はんらん土砂の厚さ

流域名 溪流番号	池 川	池 川	〃	〃	〃	〃	上 八 川 川	〃	〃	勝 賀 瀬 川	〃	〃	上 八 川 川	平 均
測定種目	136	66	85	87	115	126	133	65	49	90	377	387	44	60
土砂の厚さm	3.0	4.0	4.0	2.0	2.0	4.0	3.0	5.0	3.0	7.0	2.0	4.0	2.0	3.3

表 - 9 危険区域設定の基準一覧表

地区	A 地 区	B 地 区
はんらん堆積 の開始点	1 次 河 道	2 次 河 道
土砂の厚さ	平均2.2m → 河道から5.0 mとする。	平均3.3m → 河道5.0mと する。
終 息 点	勾配2°前後(平野部) 平野部のない所は、2次河道 まで	4次河川との合流点、
河川のはん らん対象水 系次数	3次水系以上の河道と2次、 1次の河道で終息した所より 下流側	4次水系以上の河道
河川のはん らん水位	河道から5mとし、仁淀川本 体については、10.0mとする。	河道から10.0mとする。

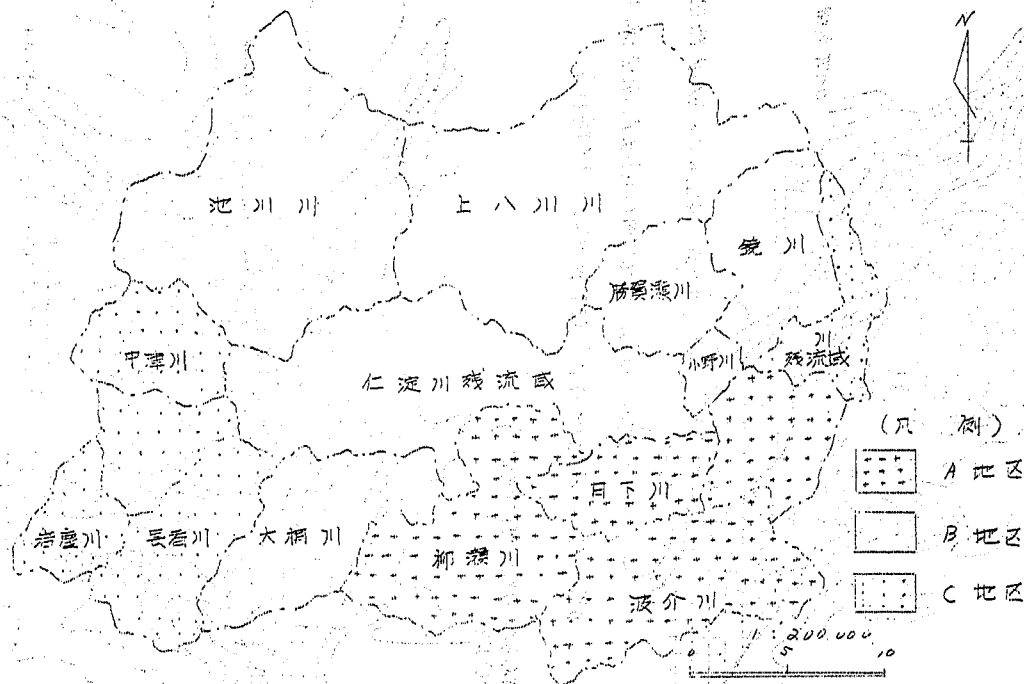


図 - 3 調査地区分け一覽図

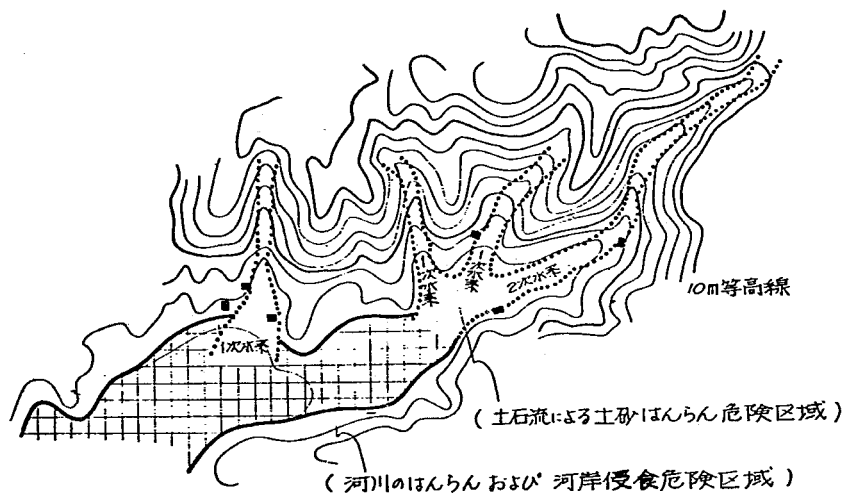


図-4 A地区の例(沖積平野のある場合)

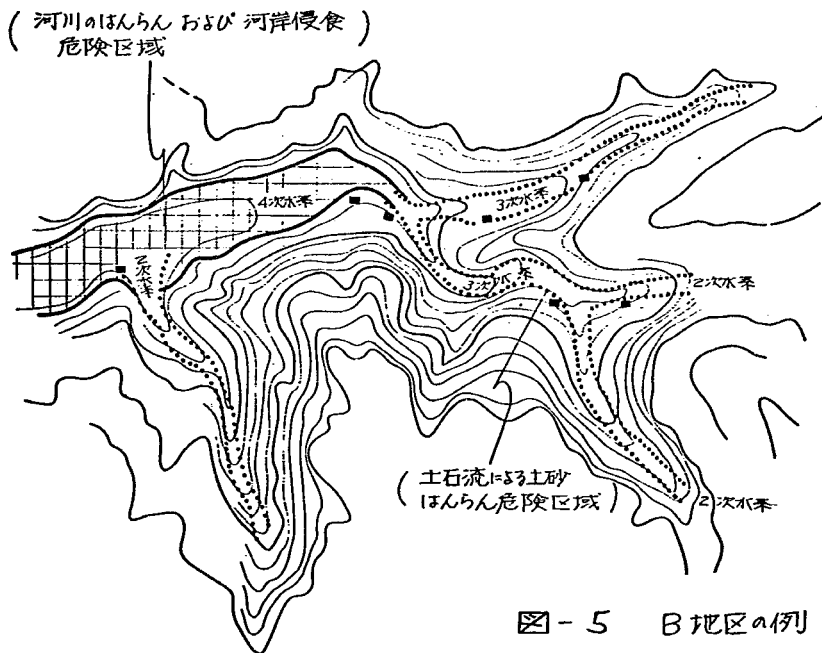


図-5 B地区の例

土石流危険区域設定に関する考察

—小豆島災害を例として—

池谷 浩* 米沢谷 誠悦**

まえがき

近年多発する土石流災害において、人的な被害を減少させようとする場合、土木工事で対処しようとするいわゆる技術的な対策と、避難体制の確立や、土地の利用規制によって対処しようとする社会的対策とが考えられる。

土石流による災害に対処する方法を、例にとって考えると、現在全国で土石流発生危険のある溪流は約 36,000 溪流 (S47 建設省砂防部調) ともあるいはそれ以上とも言われていて、土木工事による対策によって、人的な被害を減少させようとするには、多くの時間と費用とが必要となる。そこで土石流対策としての社会的対策の重要性が認識されている。

社会的対策の中にはさきにも述べた避難体制の確立、土石流予警報発令システムの開発とともに、土地利用規制を含む面的な土石流危険区域の設定があげられる。

避難体制や土石流の予警報に関する研究には現在のところ主に降雨の降り方によるものが多いが、その降雨そのものの把握が困難であり、特に土石流発生との関係把握にはまだ問題点が残っている。

そこでとりあえず被害を受ける面の危険度を明示して、住民に自衛の観念を与えとともに、今後予警報や避難体制の確立とともに避難場所や避難通路の設定に役立てようとする目的で土石流の危険区域設定に関する基礎的な研究に着手した。

今回ここに発表するのは、土石流の危険区域設定に関する考え方と調査方法および、調査方法にもついで調査した昭和51年9月、小豆島における土石流災害地での具体例を示すものである。この結果から土石流危険区域設定の一提案をおこなうものである。

1 既往の危険区域設定法とその問題点

これまで 土石流を含めた土砂災害の危険区域を調査した調査研究には、まず建設省砂防課¹⁾(1974)の調査がある。

この調査は、土石流を含めた土砂害の危険地域を調査して、砂防施設計画の基礎資料にしようとしたもので、危険区域を流出土砂の氾濫によって直接被害を受ける区

域と、流出土砂が原因となって洪水の氾濫という間接的土砂災害を受ける区域に分けて調査している。

直接土砂害についての調査方法はまず 1/50,000 地形図で保全対象の直上流の等高線と谷の交わる所を氾濫起点として、下限値は勾配が1/30となる区域としている。

平面の横断方向での区域については、氾濫起点の下流より等高線と谷との交点で接線を引き上部の等高線との交点までとする。ただし明瞭な尾根地形のある場合はそこまでとしている。

扇状地で明瞭な尾根地形のない場合は尾根線の延長と等高線の交わった所から、本川の上・下流 45° の区域としている。

次に間接的な土砂害の区域設定については河川の洪水氾濫区域の想定手法に準じておこなっているが、ここではその説明は省略する。

この調査における問題点としては、まず氾濫起点の設定が現実の土砂災害とどのように関係しているのかが不明であること。土砂害のうち、土石流のようにマス・ムーブメント的流動・堆積と掃流の流れによる土砂害による流動・堆積の区別がないこと。扇状地などでは、ほぼ扇面全部の危険度が同一状態となることなどがあげられる。

オーストリアでは、アウリッキー²⁾(1972)によって扇状地での土砂害の危険度の調査手法が発表されている。アウリッキーの論文による危険度の判定は11の調査項目にあらかじめ得点を与えておき、それらの得点の合計点によって、災害の起こる可能性がある扇状地 (Schwemmkegel 土石門すい)をここでは扇状地とよんでいる)を赤地区として建築禁止地区の指定をする。安全側の区域は緑地区と呼び、この中間を黄地区とよんで建築制限地区として指定し、被害防止のための条件つき建築許可がおこなわれる。

たとえば、階段をつけて入口を高くする。入口は溪流と反対側につける。低い窓や地下室の開口はつけないこと、家の基礎にそって大石を並べること、塀を補強することなどである。なお判定のすんでいない地区は白地区として表示される。

この論文による危険度は、ある扇状地全面についての判定となるため、これまでわが国で危険区域と考えられていた、いわゆる扇面はすべて同一の危険度を有するという考えと同じ結果を有するところに問題がある。

* 建設省土木研究所砂防砂防研究室主任研究員

** 砂防砂防研究室

最も近時における土石流危険区域の設定に関する調査研究は建設省砂防課⁹⁾によって発表されている。この調査は、近年の災害地の解析から、主に土砂の氾濫堆積厚に着目して、危険区域の設定を検討したもので、昭和47年の熊本県天草、鳥根県高津川水系の災害資料及び昭和50年の高知県仁淀川流域の災害資料から危険区域の設定基準を表わした。たとえば、昭和47年災害の危険区域設定は氾濫堆積の開始点を元地形勾配 8° 以下の谷の出口とし、その終息点は元地形勾配が 3° となる点としている。この間には河道から6mに一樣の土砂堆積があると仮定して、この線と元地形との交点までの区域を危険区域としている。

この調査・研究においてもたとえば土砂の堆積厚さを一樣に6mとして(仁淀川の場合は5m)その高さで地盤高さが一致するところまでを危険区域としているが、前論文と同様扇状地などでは扇面全域が危険区域となる。

2 危険区域設定に必要な調査項目と調査方法⁹⁾

扇状地という一つの面を考へて、土砂災害からの被害をより減少させようとする場合、前述の諸研究では扇面全面が同一の危険度を有することによって防災工事計画や危険区域設定のためには不都合が生じる。そこで扇面の中を危険の程度(たとえば土石流の流速区域か、そうでないか等)にあわせて、面的な区域わけが必要となる。面的な危険区域設定に必要な諸元は次のように考えられる。

- i) 土石流の危険区域か、土砂流の危険区域か。
(土石流と土砂流の区別)
- ii) 土石流はどこまでくるか、またどのような条件で停止するか、土砂流ではどうか。
(土石流等の停止勾配、元地形の勾配変化や河幅変化、分散幅)
- iii) 土石流は、直進性があるか。(屈曲角)
- iv) 土石流や土砂流の流下幅はどれくらいか。
(流下幅)
- v) 土石流の流下量はどのくらいか。
(土石流の量的把握)

今回ここで報告するものは以上のような必要性にかんがみ、現地調査と地形図及び災害直後の空中写真をもちいた調査手法を提案するものである。

2.1 土石流と土砂流

土石流の流達する区域と土砂流の流達する区域とは当然のことながら危険の程度が異なる。そこである扇面において、土石流の流達する危険のある区域とそうでない区域とに区域わけできればよいと考えた。

災害現地をいくつか⁵⁾踏査した結果、堆積物全体として観察したところ土砂の流出形態が異なる土砂災害が認

められた。一つは、土石流と呼ばれるもので、その堆積構造が集合運搬で流れたまま堆積する。いわゆる層状構造を呈しない土砂堆積をもたらす、比較的分散しないで停止している土砂の流出形態であり、他方は、主に流水の掃流力によって運搬されたと考えられる層状の堆積構造を呈する土砂の流出形態で、この場合人工工作物や微高地(扇面凸部)等障害物の存在がないと、かなり分散をして堆積をしていた。

筆者は、特に土砂災害という面から、前者を土石流、後者を土砂流と名づけた。以下に土石流・土砂流と書かれているものはこの定義によって記述している。

土石流と土砂流の区別には、田畑⁶⁾による分類方法がある。

一つには、堆積構造に着目して土砂の堆積構造が層状を呈しているかどうかで判定するもので層状構造を呈する土砂堆積を土砂流、集合運搬で流れたまま堆積する堆積物を土石流と分類するものである。

他方、河床に存在する最大礫に着目して、掃流力と限界掃流力とを計算しその比によって、土石流かどうかを判定するもので一般に、掃流力を u_* 、限界掃流力を u_{*c} としたとき

$$\frac{u_*^2}{u_{*c}^2} \geq \alpha \quad (\text{多くの地域では } \alpha \approx 2)$$

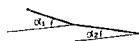
の範囲では土石流、それ以外では土砂流としている。

ただし、この場合にも単にある一つの数字では土石流と規定できない場合もあり、上記二つの方法を併用する手法がよく使用されている。

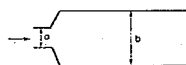
2.2 土石流と土砂流の停止条件

土石流はどのような条件で停止するかを検討し、土砂流も同じ条件で堆積・停止するのかどうかを調査するものである。従来からの土石流の性質に関する調査・研究から、土石流が停止した場所の条件に関しては次のように報告されている。

- ① 堆積勾配： 10° 以下で堆積する⁷⁾。
- ② 勾配変化： $1/2 < \alpha_2/\alpha_1 < 1$ の範囲で堆積する⁸⁾。



- ③ 河幅変化： $b/a \approx 3$ に拡大したところで堆積する⁸⁾。



- ④ 分散幅：土石流は直進性が強く比較的分散しない。

以上、4項目について調査をおこない停止条件を検討する。

調査方法としては、災害後の現地調査、もしくはは災害直後に撮影された空中写真の判読結果を移写した地形図から計測する方法がある。

2.3 土石流の直進性

土石流は、直進性が強く、渓流の屈曲部では凹岸側に押し上げたり、これをのりこえて進む⁹⁾と言われている。谷の出口の平面形状は種々さまざまであるので、もし谷の出口の地形が屈曲していかつ土石流に直進性があれば土石流はある角度以上は曲がりきれずに直進すると考えられる。そこで谷の出口付近の屈曲角を調査する。ここで屈曲角とは、堆積部の直線部分と堆積部直上流の流下部の直線部分との交角をあらわしている、現地測量もしくは地形図からの計測によって調査する。

2.4 土石流の流下幅と土砂流の流下幅

土石流はどのくらいの幅で流下してくるかをすることは、下流堆積域での堆積形との関係を抑えるうえで重要な調査項目である。一方、土砂流については流水による有効河幅の考え方が適用できるかどうかの検討が必要と思われる。流水による有効河幅の考え方とは芦田¹⁰⁾らによって発表されたもので、安定する河幅は流量に規制されているとしている。

筆者¹¹⁾らは最大流量が河幅を規制していることを常願寺川で検証した。

調査方法は現地での測量もしくは、災害直後の空中写真からの判読によって可能となる。

2.5 土石流の量的把握

土石流流下幅や、堆積条件、直進性などすべてに土石流の量が影響すると考えられる。そこで一つの土石流堆としての土石流量を調査する。原則的には現地における測量による。ただし人家周辺の土石流堆は、土砂排除によって量が把握できない場合もある。このような場合、災害直後に撮影した空中写真の判読によって調査する。

3 小豆島災害例にした調査例¹²⁾

本調査の対象とした渓流は昭和51年9月台風17号によって土砂災害¹³⁾をおこした香川県小豆島の約50渓流とした。

3.1 土石流か土砂流か

小豆島においては、現地調査において堆積構造の違いによって土石流と土砂流とを区別した。掃流力と限界掃流力との比による検討も考えたが、小豆島の諸渓流のように急勾配の渓流では礫は転動やジャンプ等によって移動することが考えられたし、礫の下流側の洗掘による移動も考えられて現地で限界掃流力を計算する際の粒径のとり方が難しかったので今回は、この方法を用いていない。

なお、小豆島における被害の調査では、土石流による被災家屋には全壊、もしくは土石流が通過した幅のみ全部破壊されているのに対し、土砂流での全壊もしくは、半壊等は土砂の家屋内流入によるものや流木によるものが多く、単なる土砂堆積部においては約1.5mの堆積土

砂があってもガラス一枚こわれていない状態があった。

3.2 停止条件及び分散幅の調査

土石流と土砂流の停止特性を災害直後に撮影した空中写真から土石流・土砂流の堆積部を1/5,000~1/10,000地形図に移写して元地形から計測し、可能なかぎり現地調査で検証をおこなった。

堆積地の元地形の平均勾配は図-1に示した。堆積勾配の検討は危険区域決定に際して、元地形勾配のどこまでが土石流や土砂流の危険があるかということを知るうえで必要なものである。

図-1より、土石流の最下限勾配は4°であり、土砂流の場合は海まで流れだした例もあって、0°までも流下している。

堆積の開始勾配は土石流で11°付近より緩勾配であり、最急の例では15°でも停止している。一方、土砂流は7°より緩勾配で堆積が開始されていて、土石流とは若干のずれを示すとともに、扇面においては最下流域まで土砂流の流下の危険があることを示している。

土石流がより緩勾配まで流下するのは、その土石流の流下エネルギーによると考えられる。そこで現地において土石流堆の土砂量を測量調査して、土砂量と堆積部の平均勾配との関係を抑えたが土石流、土砂流ともに、特に目立った傾向は示されていない。

次に、堆積部の平均勾配と流下部の平均勾配との比、すなわち、勾配比がどのくらいで停止しているかを調査したものが図-2である。

勾配比の検討は元地形の条件が危険区域設定に、どの

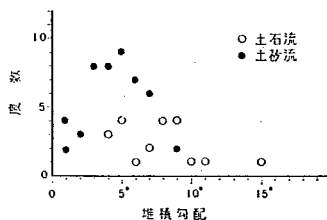


図-1 堆積勾配の分布

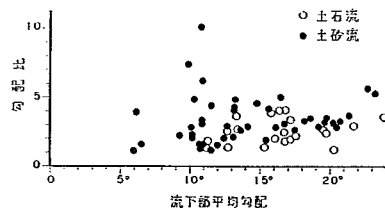


図-2 勾配比と流下平均勾配

ように影響するかを検討するものである。

土石流では、流下平均勾配に関係なく勾配比の最大が4を限度としているのに対し、土砂流では最大10を示し、大部分が3～5の値を示している。

図-3に、堆積土砂量と勾配比との関係を示したが、これもあまりきわだった相関は得られず、堆積勾配に関する今回の調査について言えば流下してきた土石流や土砂流の土砂量は堆積勾配にあまり関係していないと言えそうである。

堆積部での勾配や、上流からの勾配比によって、土石流等が、どのような条件で停止するかということを検討してきたが、それぞれ流下する土石流等の流下エネルギーによってもかなり値が異なると思われたので、流出土砂量をもちて検討してみたが、結果は前述のとおり、それほど有意性を示していなかった。

図-4は、流下部の平均勾配と流下土砂量との積（位置エネルギーが流下エネルギーに変る場合、流下エネルギーの強さは位置エネルギーに比例すると仮定すると、位置エネルギーは質量×高さで表現できるから、流出土砂量×平均勾配が意味をもつ）と堆積長との関係を示したものである。

図-4においては、ほぼ土石流の堆積長は位置エネルギーに比例しそうである。

次に現地での測定値をもとに、河幅比の検討をおこなったが、小豆島のように常時の降雨量が小さい地域では、河川は河幅が50cm～1m、広いところでも2m程

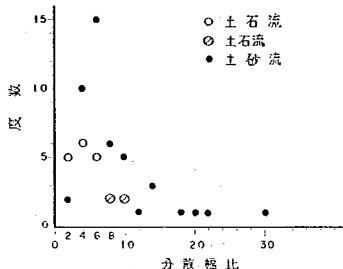


図-5 分散幅の頻度分布

度で海まで流入して、河幅比はほとんどの溪流で1～2となり、これまで田畑⁸⁾によって発表された土石流、堆積特性としての河幅比とを検討した意味がなかった。

今後この河幅という定義を検討する必要がある。

分散幅の検討は、土石流や土砂流がどのくらい分散するかということを知るもので流下部の河幅が決定されると堆積部の危険区域幅が想定されるので、重要な検討項目である。なお分散幅とは、流下部の平均河幅と堆積部の最大堆積幅との比をもちいたもので、測定の結果を図-5に整理した。分散幅の測定は空中写真を地形図に移写して計測し、現地において検証をおこなった値を使用した。

図-5から、土石流においては、最大5～6倍程度、土砂流については、特に人工造物や、尾根線、微高地等、流下に対して障害物となるものの存在が、分散に大きな影響を与えていて、分散幅の分布は多様であるが、最頻値は土石流と同じ5倍程度にある。

ここで土石流がくずれたものとは、土石流として停止したものが後からきた流水によって、前方及び側方にくずれたものを示し、分散幅はその比で、約10となっている。筆者はこの形態についても今後の危険区域の検討に加えたいと考えた。

ただし、被害の与え方等については現在のところ判断していない。

以上のことから、堆積形としては、土石流が比較的分散しやすく、土砂流は分散しやすいという、これまでの定性的表現は、小豆島においても言えそうである。

3.3 屈曲角の調査

谷の出口の平面形状は、直線的なものから、直角に近い曲りを有するものまで種々さまざまである。これらの谷の出口の形状が扇状地に対して何か影響を与えていないかということを調べるために堆積部直上流すなわち、扇状地の扇頂付近の屈曲角と、流下部の平均勾配（流下エネルギーの強さの一つの指標とした）との関係調べ

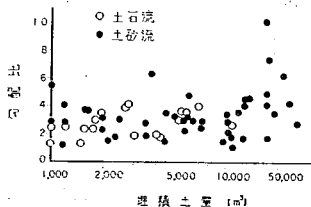


図-3 勾配比と堆積土量

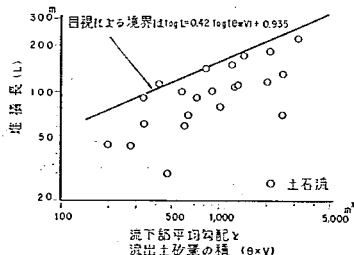


図-4 流下エネルギーと堆積長の関係

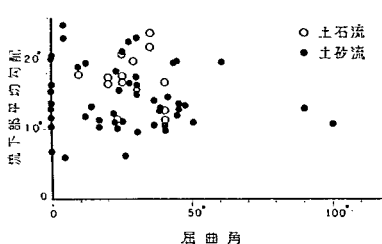


図-6 流下部平均分配屈曲角

て図-6に示した。

小豆島での計測は 1/5,000~1/10,000 地形図に空中写真から流下部(土石流が発生したと推定される点を発生地点とし、それから土砂の堆積がはじまる地点までを流下部とした)と堆積部を移写して、地形図上の屈曲角を測定した。

図から流下部の平均分配と屈曲角の間の相関は認められなかったが、土石流についてはどうも 40° 付近にその限界値を有しているようである。これは、小豆島の特性とも考えられるが今後数多く資料を得ることによってかわりの精度で危険区域設定の有効な資料となりうると思われる。

3.4 流下幅の調査

堆積部での危険区域の面的広さに関しては主に流下部での流下幅に対する比で表わされることがわかったが問題は、その流下部での流下幅をどのように設定するかであろう。§2の考えにもとづいて小豆島でおこなった現地調査によって得た資料により、一つの流下幅設定手法を示す。なお、流下幅の測定は現地での実測値を用いている。

① 土石流の流下幅について

土石流の流下幅に関して、各土石流の量との関係を調べた。これは、次の項で述べる土砂流の流下幅は、ピーク流量に支配されることが言えそうであり、この考えを土石流にも、あてはめてみたものである。

堆積物としての土石流堆の量が流下時に三角錐の形をして流下したと仮定して、その三角錐の底面を最大流下断面と推定して、流下幅の検討をおこなった。

現地調査の結果、土石流の流下幅はほぼ流出土砂量(土石流量)によっていると考えられた。ここで土石流の量の推定には、別途、流域面積との関係から整理してみた(図-7)。これは、過去の土砂災害時における土砂の流出が、地質別の流域面積に、比較的關係していた¹⁰⁾事実によっている。

図から視察による外縁線(もっとも安全側の線)を推定して、土石流堆としての大きさを考えると、流域面積

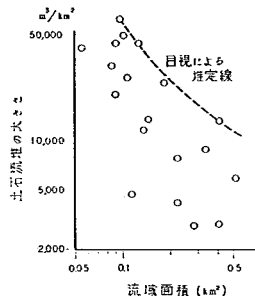


図-7 流域面積と土石堆の関係

が小さい程、単位流域面積当りの土石流堆の大きさは大きい傾向がでている。

② 土砂流の流下幅について

§2の調査方法の考えにもとづいて、昭和51年9月台風17号災害による被害を受けた香川県・愛媛県の花崗岩地域で現地計測した結果、流量 Q の平方根の河幅 B に対する $\alpha = \sqrt{Q}/B$ は

$$A \geq 1.0 \text{ km}^2 \text{ では } \alpha = 1.5 \sim 3$$

$$A < 1.0 \text{ km}^2 \text{ では } \alpha \approx 4$$

程度となることがわかった。

3.5 土石流の量的把握

土石流としては、どのくらいの量が流下しているかを現地測量および災害直後に撮影した空中写真の判読から調査し、溪流の流域面積ごとに整理したのが、図-7である。前述のように、小豆島の場合の一つの土石流の量としては最大値として、 km^2 あたりの土石流量は約5000 m^3 程度であった。

4 危険区域設定の一手法の提案

小豆島災害における調査例から得た結果をもとに、小豆島及びこれに類似した地域において、危険区域設定法の適用が可能かどうかを検討した。

4.1 土石流・土砂流の堆積区域の設定

1) 土石流がどこまでくるかを元地形勾配から推定する場合には、平均勾配 4° (約 1/14) までは土石流危険区域、それより緩勾配区域については、土砂流の危険区域とする。

2) 堆積の幅(分散の幅)については、土石流については流下幅の6倍を、土砂流については扇面全面をとり、土石流のくずれた形としては土石流区域の流下幅の約10倍までの区域を設定する。

4.2 危険区域設定に際して、考慮する事項

1) 土石流危険区域を設定する場合、流下部の平均勾配が 16° より緩勾配の場合には、4.1で設定した区

域によるが、 16° より急勾配の場合には、かならずしも 4° まで流下してこないことが考えられる。

そこで、流下部の平均勾配と堆積部の平均勾配の比を4と仮定すれば、土石流堆積の下限値は、(流下部平均勾配)/4の値までと考えられる。

- 2) 土石流の危険区域設定には、前述のように、ブロックべい等人工工作物や微高地等の障害物が氾濫流の方向を規制する例が多い。

そこで、実際には、4.1で設定したように扇面全部が土石流の危険区域となることはない。障害物と氾濫区域との関係は一様でなくかつ一般論ではない。そこで現地において、経験者が判断すべき事項と言える。

分散幅についてもまったく同様に考えられる。

- 3) 谷の出口の平面形状によって、土砂の流れが曲がりきれぬ場合と、そうでない場合があり、かつ扇頂部での扇面と河道との比高にも大きな影響があるので一般化はできないが、 40° 以上の急屈曲部を有する扇面への土石流の流下は少ないと考えられる。
- 4) 土砂量が決定されれば、堆積長 L の推定ができる(図-9)。そこで谷の出口からの堆積長を推定して危険区域の下限値を検討できる。

4.3 堆積開始地点の設定

どこから土砂の堆積が開始されるかを調べてみると、原則として土石流では 11° 以下の地点、土砂流では 7° 以下の地点で発生している。このことは、今回調査した小豆島においては、ほぼ谷の出口(扇頂部)と考えてよい。

4.4 流下幅の設定

流下幅の設定には、次の方法が考えられる。

土石流の場合……小豆島の場合、図-7に示された最大流出土砂流量(図中の破線)により、全土砂流量を推定し、この値から流下幅を設定する。

土砂流の場合……想定高水の流量(ピーク)から流下幅を設定する。

ただし、この方法はあくまで一つの設定法であることをおこしわりしておく。

4.5 模式的な危険区域の設定法

これまでに述べた内容を模式的に図示したのが図-8である。もちろんこの図には人工工作物による影響や、谷の出口の平面形状による影響は含まれていない。

4.6 具体的な適用例

小豆島の三前川において、前述の土石流危険区域の設定法を適用してみる。

1) 土石流危険区域の設定

土石流の流下幅は、土石流のピーク量によってきまる。

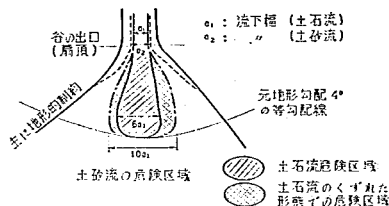


図-8 模式的な危険区域

三前川は流域面積 0.1 km^2 であるから図-7より土石流の全土砂流量は

$$50,000 \text{ m}^3/\text{km}^2 \times 0.1 \text{ km}^2 = 5000 \text{ m}^3$$

と推定できる。

次に堆積長(L)は土石流の場合をとると図-5より

$$\log L = 0.42 \log (\theta \times Q) + 0.935$$

ここで三前川において $Q_0 = 5,000 \text{ m}^3$, $\theta = 0.3297 (18^\circ 25')$ を代入すれば $L = 193 \text{ m}$ となる。

ここで、土石流堆積を三角錐と仮定すると先端ピーク量は $3Q_0/L$ で示される。

すなわち、 $3Q_0/L = 106 \text{ m}^3/\text{m}$ となる。

流下幅(B)は、4.4より $B = 2\sqrt{106} = 20 \text{ m}$

谷の出口からは、 $6B = 120 \text{ m}$ の範囲で 4° の等勾配線まで土石流がくると仮定できる。特に土石流による被害が大きいとされるのはこのうち、谷の出口から140 mの付近までと想定してよい。

以上から想定した土石流と土砂流(土砂流については現地の地形等も考慮して想定している)の危険区域図を図-9に示し、また図-10には実際の土石流及び土砂流の堆積区域を示した。

両図の比較からもほぼ危険区域設定手法の妥当性がうかがわれる。特に、土石流の堆積長さ L は、実測値が130 mであって、計算値が安全側を示していた。

5 今後の問題点

現在最も研究がいそがれている土石流に関する研究のうち、ここに報告したものは土石流の危険区域設定を主目的とした調査である。この土石流の危険区域設定に関する調査は、まだ研究の緒についたばかりであって、これまでの研究によっても確定したものが得られていない。

今回の内容は少なくとも、花崗岩地域においてはかなり有効な役割をはたすと考えられるが、一つの手法として他の流域にも適用が可能となるよう、今後この方向での検証をするつもりである。

ここに、本手法の問題点を挙げてみる。

- ① 本手法は扇状地における一般的危険区域の設定法であって、各扇面には微高地等地形的な要素や人



図-10 実際の災害、三前川の例

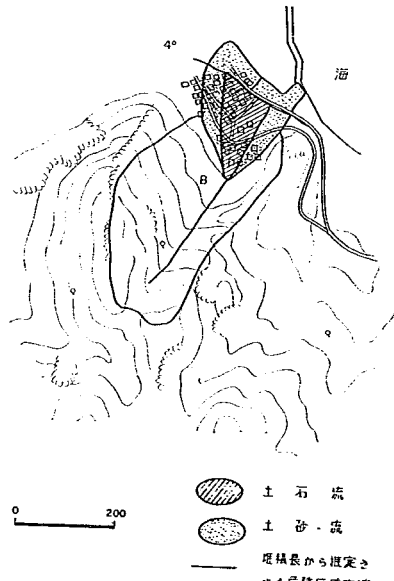


図-9 想定危険区域、三前川の例

家等人工工作物の配置が、すべて異なっている。そこで具体的な個々の扇面における危険区域の設定、特に土砂流の危険区域設定には現地踏査を十分におこなない現地をよく知った経験者の判定が必要となる。また、この判定には「扇状地における土砂害危険度の調査の一手法」(土研資料第 1267 号)が参考となる。

- ② 本手法は小豆島という一つの地域での検討例であって、すぐに他の地域に適用できるかどうかは不明である。
- ③ 扇状地形以外のたとえば山間平野等への適用は検討していない。
- ④ これら土砂害の他、小豆島においては流木による被害も大きかった。今後は、流木による災害の助長に関する検討が必要である。

最後に本報告及び、土石流の危険区域の設定に関する基本的調査に関して種々の御示唆をいただいた土木研究所波砂防部長、泉砂防研究室長と国際航業中山地質部長に感謝の意を表わす次第です。

参考文献

- 1) 建設省河川局砂防部砂防課：土砂等氾濫地域調査要領 S. 49. 12
- 2) H. Aulitzky: Vorläufige Wildbach-Gefährlichkeits-Klassifikation für Schwemmkegel 新砂防号外 S. 51. 4
- 3) 建設省河川局砂防部砂防課：土石流危険区域の設定に関する資料 S. 52. 3
- 4) 池谷 浩：昭和51年9月台風17号豪雨による小豆島の土石流災害に関する一考察 新砂防 Vol. 29 No. 4 S. 52. 5
- 5) たとえば47年天草、山北災害51年小豆島災害等の筆者の踏査による。
- 6) 田畑茂清：土石流に関する研究 土木研究所資料 845号 S. 48. 5
- 7) 山内 修：土石流に関する調査研究の現状 土技資 18-5 S. 51
- 8) 田畑茂清・市ノ瀬栄彦：尾鷲土石流災害発生の原因について 新砂防 Vol. 25 No. 3 S. 48
- 9) 村野義郎他：砂防工学 p. 56 朝倉書店 S. 44. 3
- 10) 芦田和男・高橋 保・水山高久：流路工計画に関する水理学的研究 新砂防 Vol. 28 No. 2 S. 50. 11
- 11) 池谷 浩・野田 猛：流出土砂の河川への影響 第30回建設省技術研究会講演要録 S. 51. 11
- 12) 池谷 浩・米沢谷誠悦：小豆島の土石流災害における二・三の考察 昭和52年度砂防学会研究発表会要集 S. 25. 6
- 13) 土木研究所砂防部：台風17号による土砂災害 土技資 Vol. 19 No. 1 S. 52. 1
- 14) 池谷 浩：全国土砂害実態調査の結果 土木施工 Vol. 14 No. 11 S. 48. 11

焼岳における土石流調査

降雨と土石流の発生

図2-9と図2-10はそれぞれ7月13日と8月23日の毎10分間降雨量の図に土石流の発生時刻を記入したもので、降雨量は3地点について整理してある。従来力説しているとおり毎10分間降雨量のピーク時と土石流の発生時刻とが非常によく一致していることがわかる。

ところで8月23日の降雨の状態は3つの地点で全く別々の様相を呈している。これは台風が西側を南南西から北北東へ走ったため、強風の向きが東の風から時計まわりに南の風へ変わっていったためであろう。すなわち、中尾峠東側で降雨の収れんが生じたと推察されるが、山岳地帯の降雨の局地性を端的に示す現象と言えよう。

図2-9 毎10分間降雨量と土石流の発生(↓)

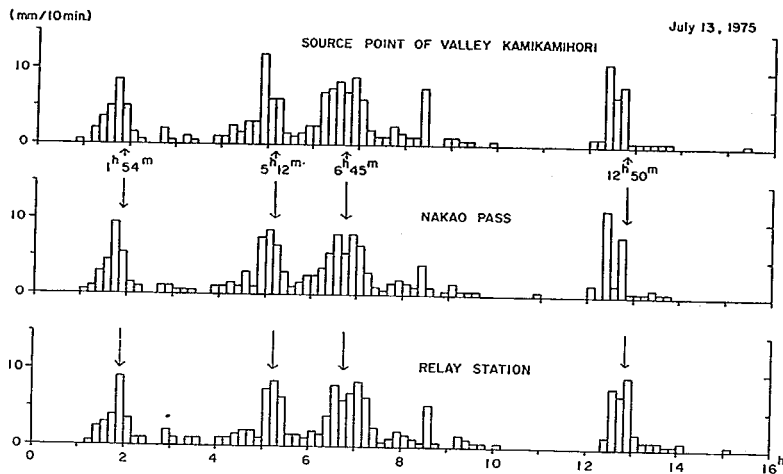
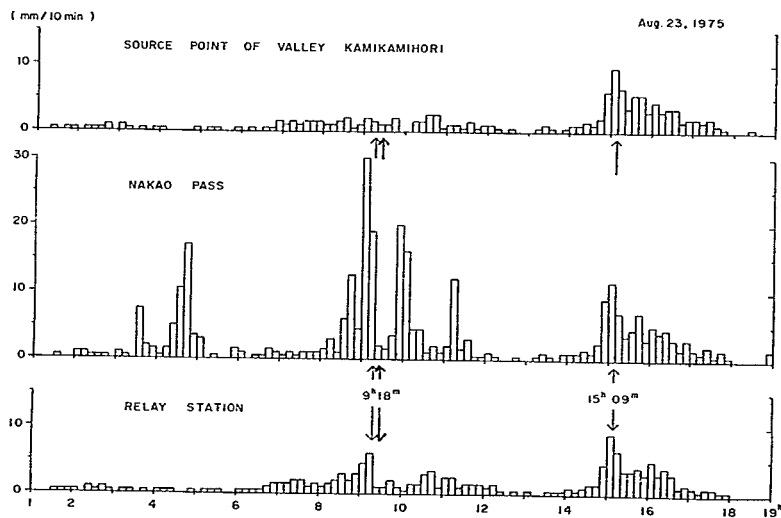


図2-10 毎10分間降雨量と土石流の発生(↓)



〈報 告〉

土砂害(主に土石流的被害)と降雨量について

瀬 尾 克 美* 船 崎 昌 継**

1. はじめに

昭和47年度は昭和34年の伊勢湾台風に匹敵する災害の激甚な年になった。特に7月にはいつから梅雨前線は活発になり4日の高知県の繁藤地区を皮切りに6日の宮崎県えびの地区、熊本県天草地区に被害を与え、11日に至り山口県、広島県、鳥根県、それに神奈川県と広がり、12日から13日にかけては愛知県、岐阜県と被害は広範囲に生じた。またこれらの災害を見てみると土砂害による被害が目立ち、死者および行方不明者は土砂害によるものが全体の約85%も占めている。

今回の災害状況を緊急砂防事業(当該年度の災害に緊急に対処するための補助砂防事業で主に砂防指定地外の溪流をとりあげている)の申請の折に土砂害実態調査として所定の様式で現地実態調査を行ない178例の資料を得た。そのデータを元に土砂害と降雨量の関係を紹介してみる。なお一部昭和46年度の緊急砂防事業も含んでいる。

2. 調査方法

土砂害の生じた溪流(死者および行方不明者が1人以上あった場合、あるいは人家が1戸以上全壊した場合の溪流をとりあげている。よって土砂の流出形態は土石流的なものだけでなく、掃流砂によるものも含んでいる)から最も近い雨量観測所の値をその溪流の降雨量と仮定している。この調査様式および調査記入実例を示すと図-1のようになる。なおこの様式とは別に、地質、流出

土砂状況、被害状況をまとめたものがある。

3. 調査結果と解析

降雨が土砂の流出に大きな要素を占めていることは今までにも多々指摘されて来た。

事実土砂が流出して災害となるのは梅雨前線あるいは台風等の降雨時である。降雨といってもこれをいかなる把え方をするか問題になるが、ここでは地面をしめらし、土層内のせん断強度を減らす要素として連続降雨量に着目し、かつ山腹崩壊、河床堆積物の移動に衝撃的なきっかけを与えると思われる雨量強度に着目して解析を行なうことにする。

調査結果をとりまとめたものを表-1の①～⑤、⑩に示す。

(1) 土砂害の発生するまでの連続降雨量

土砂害を生じせしめた一連の降雨量で、降り始めから土砂害発生までの降雨量である。図-2に示すCDがこれにあたる。これを全国一括してその発生件数を集計すると図-3のようになり連続降雨量が150mm以上になると土砂害が発生し始め、300～400mmの間で発生している例が最も多い。

ここでさらに別の方向から連続雨量について検討してみる。

i) 年平均降雨量との関係

各地の現在ある地形は地質、林相等の影響により形づくられているがその中で最も影響を与えているものはその地域の降雨であると思われる。そこで県別に連続降雨

土石流発生溪流名	江原谷、小山谷
最害の観測所名	上石津観測所
前期降雨量および期間	10.1mm 8月16日1時～8月30日1時
土石流発生時刻	8月31日0時30分
発生降雨量における連続雨量および期間	332.0mm 8月30日1時～8月31日14時
発生降雨量における最大時間雨量および期間	51.0mm 8月30日21時～8月31日22時
土石流発生時までの連続雨量および期間	252.5mm 8月30日1時～8月31日0時30分
土石流発生時の時間雨量および期間	32.0mm 8月30日24時～8月31日1時
土石流発生時の10分間雨量および期間	10.7mm 8月31日0時30分～8月31日0時30分

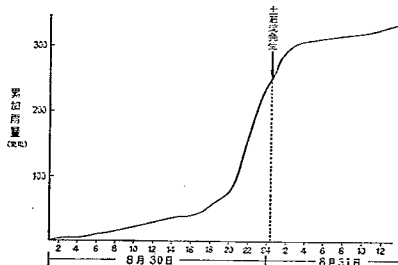


図-1 雨量状況調査(S-46, 台風23号) 岐阜県

* 前 建設省砂防課 現 建設省関東地建 ** 建設省砂防課

804

表-1 土砂害調査(雨量状況調査)一覽表

①県名	②河流水	③土石流発生時間	④時間	⑤前期雨量(P.R)	⑥初期雨量(F.R)	⑦有効雨量(E.R)	⑧有効時間(t)	⑨有効雨量強度(J)	⑩土石流発生までの時間	⑪土石流発生までの雨量(C.R)	⑫降雨型	⑬県名	⑭河流水	⑮土石流発生時間	⑯時間	⑰前期雨量(P.R)	⑱初期雨量(F.R)	⑲有効雨量(E.R)	⑳有効時間(t)	㉑有効雨量強度(J)	㉒土石流発生までの時間	㉓土石流発生までの雨量(C.R)	㉔降雨型
山形	1	21	51	437	17	233	6	39	250	J	香川	2	5	28	142.5	19	64	4	16	83	J		
	1	18	48	437	17	233	6	39	250	J		2	5	30	100.5	62	92	4	23	154	J		
	1	18	62	303	5	133	4.5	29.5	138	J		2	7	40	117.0	70	134	4.5	29.8	204	J		
	1	18	31	303	5	146	5.5	26.5	151	J		1	5	30	84.5	52	90	4	22.5	142	J		
	1	12	27	65	12	140	5	28	152	J	小計	7	39	225						1024			
	1	12	54	65	12	166	6	27.5	178	J	平均		5.5	32.2						147			
小計	6	99	273					1119			徳島	1	14	70	78	55	230	7.3	31.5	285	2 J		
平均		16.5	45.3					149				1	5	32	20	20	120	5.7	21.2	140	J		
神奈川	1	19	68	577	12	181	7.3	25	193	J	小計	2	19	102						425			
初木	1	—	11	152	30	150	9.5	15.8	180	J	平均		9.5	51						212.5			
蛟	7	20	60	175.2	37	155	3.8	40.8	192	J	高知	1				22	760	21	36.2	782	2 J		
草	9	16	38	44.5	50	110	2	55	160	J	愛媛	16	12	48	25	25	135	10	13.5	160	J		
	2	10	32	10.1	75	190	4.5	42.3	255	J	小計	16	192	768						2520			
	4	11	33	114	70	290	24	12	360	J	平均			12	48					160			
小計	22	348	958					4740			熊本	47	8	120	41.5	22	375	8	47	397	J		
平均		15.8	43.5					215				1	10	63	36	0	62.5	1	62.5	62.5	J		
愛知	19	20	77	18.5	10	295	49.3	6.0	305	2 J		1	6	34	121.2	25	40	3	13.5	65	J		
	10	18	39	58.7	0	292.5	52	5.6	292.5	2 J		1	6	33	106.5	80	140	5	28	220	J		
	2	14	33	53.1	10	195	50	4.9	205	2 J		3	6	35	68.5	35	45	2	22.5	80	J		
小計	31	588	1919					9155			小計	53	416	5875						19207.5			
平均		18.9	61.9					295			平均		7.8	111						362			
三重	1	7	34	146.5	13	154	17	9.0	167	J	宮崎	2	7	39	307	18	194	4.8	40.5	212	J		
	3	12	70	127	0	305	12	25.4	315	J		2	0	0	716	38	292	36	8.2	330	直		
	1	12	61	170	10	250	9	27.8	260	J		1	3	19	716.5	12	295	14	21	307	2 J		
小計	5	55	305					1372			小計	5	17	97						1391			
広島	2	11	61					275			平均		3.4	19.4						278			
	1	0	0	199	40	334.5	39	8.6	374.5	2 J	鹿児島	1	15	65	246	42	85	4	21.2	127	J		
	1	0	12	241	0	240	50	4.8	240	直		1	18	52	231.5	50	260	21	12.4	310	直		
	1	0	18	41	0	92	18	5.1	92	J		1	7	17	256	50	105	6	17.6	155	J		
	1	0	0	222	50	383	65	5.9	433	直		1	12	46	229.5	215	194	7	27.7	409	J		
小計	5	—	—					1514				2	16	48	354	47	140	4	35.0	187	J		
平均	—	—	—					303				1	15	36	567.5	0	252.5	18.5		252.5	2 J		
山口	2	1	24.5	81.5	0	339.5	30	11.3	339.5	2 J		1	15	43	567.5	0	232.5	18	12.9	232.5	2 J		
	2	4	19	130.5	0	300	24	12.5	300	2 J		1	8	20	152	44	143	6	23.8	187	J		
	2	4	19	0	0	376	37.5	10.3	376	2 J		1	28	96	166.1	8	190	5.5	34.7	198	J		
	7	1	20	112	0	331	28	11.8	331	2 J	小計	10	150	471						2245			
小計	13	25	265					4348			平均		15	47.1						224.5			
平均		1.9	20.4					333			合計	178											

ただし県別的小計および平均は支流数による加重合計、加重平均を示す。

河尾、船崎：土砂害(主に土石流の被害)と降雨量について

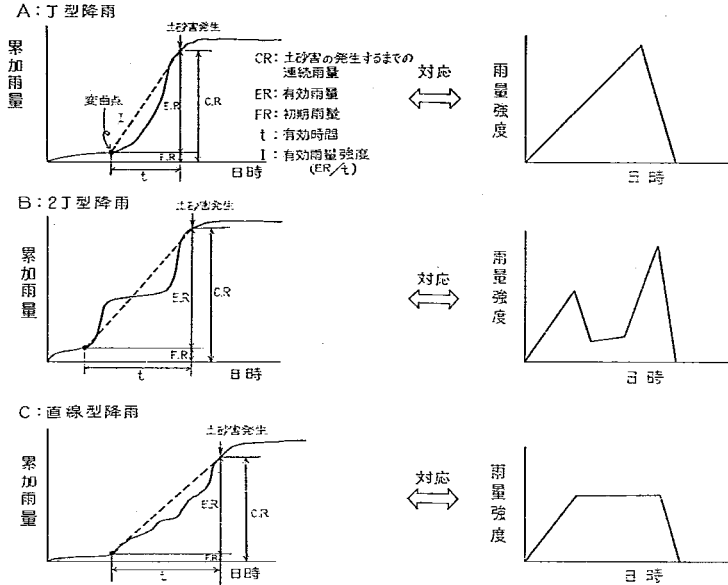


図-2 降雨型と降雨諸元

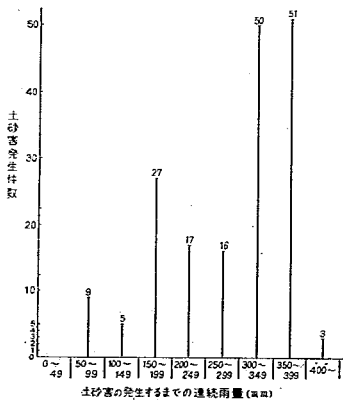


図-3 土砂害発生までの連続雨量とその発生件数

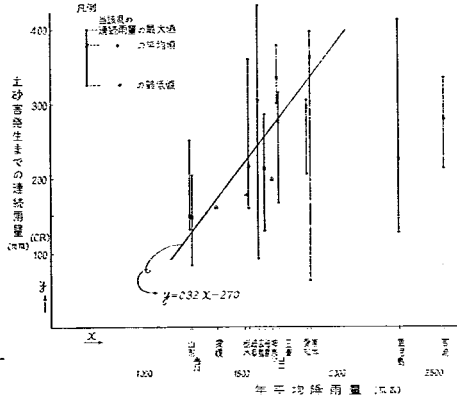


図-4 年平均降雨量と土砂害発生までの連続雨量の関係について

量を整理しそれをその県の災害地の生じた場所に最も近い年平均降雨量(理科年表1931~1960の平均値)の資料のある所の値を代表値とし、連続降雨量と年平均降雨量

の関係を図-4に整理してみた。なお各県における連続雨量の最大値と最小値を棒線で示してある。この最大値と最小値の幅は県の年平均降雨量をただ一つの地区の値

で代表させてあることもありかなりの大きさがあるが、連続雨量と年平均降雨量の比例関係が読みとれる。また連続雨量の平均値で見るとなおその傾向ははっきりしており連続雨量を y mm, 年平均降雨量を x mmとすれば $y = 0.32x - 270$ となる。ここに鹿児島, 宮崎両県においてはこの傾向からはずれているのは、この両県の地盤を構成するシラス土の特殊性によるものと思われる。

ii) 前期降雨量との関係

ここで前期降雨量とは土砂害を生じしめた連続降雨より以前2週間の総雨量をいう。

われわれはこれまでの経験からして降雨量が長く続くと山がゆるみ、次に降る雨量が少なくても、土砂が流出してくることが予想される。そこで表-1のデータの⑤, ⑩を図-5で整理してみた。これによれば鹿児島, 山口, 三重, 岐阜, 愛知, 香川県では前期降雨量が大きければ土砂害の発生までの連続雨量が小である傾向を見ることができる。一方広島, 徳島, 山形, 熊本はこの傾向

が明らかでない。これは災害の発生が県内に広く散らばっているため、また、雨量観測所の数が少ないこと等によると思われる。この傾向の最低限界線を引くと図-5のごとくなる。これをその地域の地形形成に最大の関係を有していると思われる年平均降雨量との関係でながめて見れば年平均降雨量の大きな地域ほど X , Y 軸の交点から離れた位置にきており、土砂害の発生には大なる前期降雨量と大なる連続雨量が必要になることを示している。

(2) 土砂害発生時の雨量強度

雨量強度としては土砂害発生時直前の時間雨量, 10分間雨量を取上げることとする。観測不可能な箇所が多少ある。

全国的な視野でこの雨量強度を見れば図-6のようになる。すなわち時間雨量では10 mmくらいから土砂害の発生が顕著に見られ、10分間雨量では5 mmから顕著に見られる。

また同一の降雨において土砂害発生時の時間雨量と10

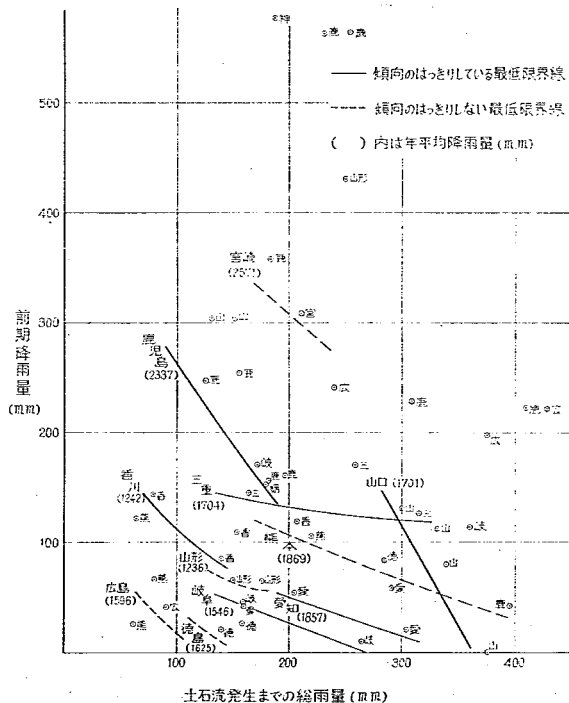


図-5 土石流発生までの総雨量と前期降雨量の関係

807

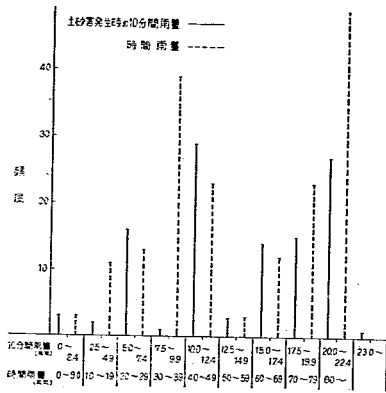


図-6 土砂害発生時の雨量強度とその頻度

分間雨量の関係は図-7のごとくなる。これによるとほぼ比例していることがわかる。

また土砂害発生までの連続雨量と発生時の雨量強度の関係は図-8(連続雨量-10分間雨量), 図-9(連続雨量-時間雨量)に示す。これもほぼ比例関係にあるといえる。

ここに雨量強度が大であれば連続雨量は少なくとも土砂害が発生するのではないかと考えてみたが, これは連

続雨量の大なる降雨は雨量強度も大であるという降雨の現象を示すにとどまってしまう。

そこで次に累加雨量曲線のパターンにより土砂害発生までの連続雨量と雨量強度の考察を進めることにする。

(3) 累加雨量曲線のパターンによる解析

土砂害を発生せしめた降雨の累加雨量曲線を作って見ると図-2のようなJ型, 2J型, 直線型の三つに分類することができる。これはそれぞれ雨量強度のピークが降雨期間の後半にある場合, ピークが二つある場合, 顕著なピークがない場合に相当する。

土砂害の発生を見た降雨をこの三つの型で分類すると表-1の①のようになる。

ここでこの三つの降雨型についてその特長を整理すると表-2のごとくなる。ここで有効雨量とは図-2に示すERで, 土砂害を発生した降雨の累加雨量をとったときその変曲点の時点から土砂害の発生するまでに降った雨量をいう。またその間の時間を有効時間(T)と称す。有効雨量強度は有効時間内の平均雨量強度で, ER/T で示す。

表-2によればJ型の降雨型が土砂害発生時の降雨型としては最も多く60%を占めている。J型の降雨が危険な降雨といえる。すなわち雨量強度のピークが後半にある降雨がガケ崩れに最も多いという報告(ガケ崩れ災害実態調査 S.47.6 建設省砂防部地すべり対策室, 建設省土木研究所急傾斜地崩壊研究室)に対応できる。ここでJ型は2J型, 直線型とくらべて有効雨量強度(I)が大

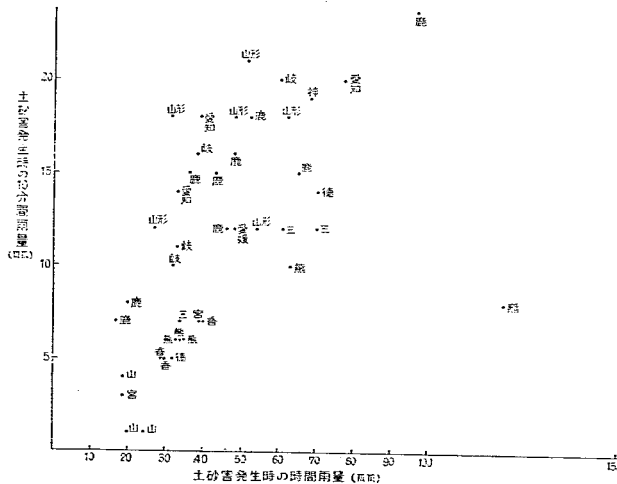


図-7 土砂害発生時の10分間雨量と時間雨量の関係

瀬尾，船崎：土砂害（主に土石流的被害）と降雨量について

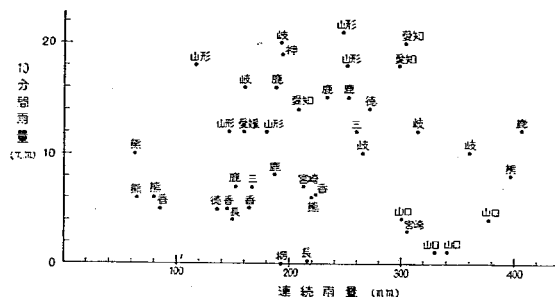


図-8 土石流発生時までの連続雨量と発生時の10分間雨量の関係

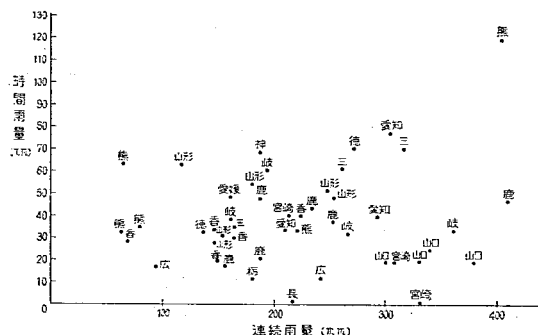


図-9 土石流発生時までの連続雨量と発生時の時間雨量の関係

表-2 累加雨量のパターンの特徴

		土砂害発生件数 (発流数)	有効雨量 ER (mm)			有効雨量強度 I (mm/h)			土砂害発生までの連続雨量 CR (mm)		
			最大値	最小値	平均値	最大値	最小値	平均値	最大値	最小値	平均値
J	形	118	375	40	230	62.5	5.1	33.6	409	65	263
2	J形	51	760	195	308	36.2	4.9	10.8	782	205	313
直線	形	9	383	240	292	12.4	4.8	9.7	433	240	343
	計	178									

ただし、平均値は発生件数による加重平均値である。

である。しかし有効雨量は逆に小である。よってここに有効雨量強度と有効雨量との間には深い関係があることが推定される。そこで各降雨について有効雨量強度と有効雨量の関係を図-10に整理して見た。

この図によると有効雨量強度が4 mm/hr以下では有効雨量がいくら大であっても土砂害は生ぜずまた有効雨量が40 mm以下では有効雨量強度がいくら大でも土砂害は生じない。A曲線で区切られるx, y軸の交点側の領域(I領域)ではほとんど土砂害は生じないといえる。A, B両曲線で囲まれる領域(II領域)はその土砂害の

内容は軽微なもので単なる崩壊の直撃のようなものが含まれている。すなわちこの領域では大きな災害は起りにくい。

B曲線の右側の領域(III領域)はかなり大きな土砂害が予想される領域といえそうである。

なお、もっとデータを集め整理するとこのグラフを利用して土砂害の危険性を予想することができるのではないかと考える。すなわち降雨の開始とともに累加雨量曲線を記入していき変曲点と思われるところを起点として以降の雨量(有効雨量)とそれまでに経過した時間で、

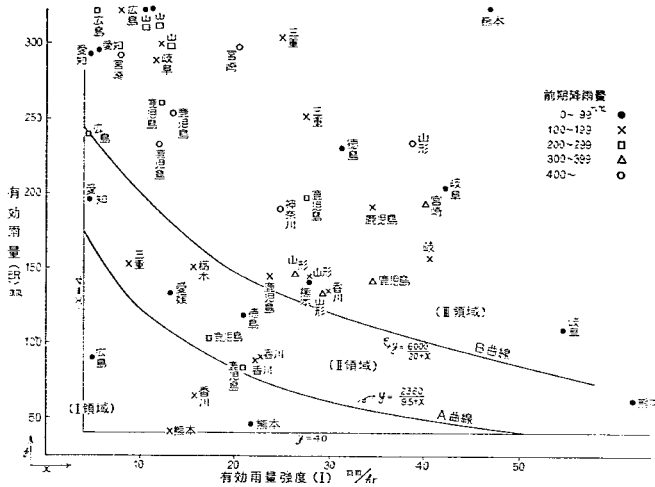


図-10 有効雨量と有効雨量強度の関係

有効雨量を除いた雨量強度(有効雨量強度)を記録し、それがⅠ, Ⅱ, Ⅲ領域のどれにはいるかを時々刻々見れば土砂害の危険性を予想できる。これは地域によって特徴があると思われるが今までのデータでは地域ごとにA, B曲線を決定するまでにはいかなかった。また前期降雨(土砂害を生ぜしめた降雨の以前, 2週間の総雨量)の影響も明確には示せなかった。

4. おわりに

土砂害の実態調査と称し、災害地の実測値を得よう意図してきたわけですが幸いにも、昭和46年, 47年度合わせて240例収集でき、そのうち、降雨の状況調査は178例を収集することができました。これについて思われることは雨量観測所の不足が目立ったことです。ぜひ早急に簡単な雨量計でよいから設置すべきと痛感しました。

なお、土砂害という再現性のない現象にあっては、その現象の生じた時期を失せず、データの収集を行ない解析することが真の砂防計画樹立のために最も重要なことと確信いたします。

この調査のデータ収集に当っては、各都道府県の砂防課ならびに土木事務所の方々の御援助を受けました。災害事務で多忙をきわめられた時期でもあり深く感謝しております。多少ともこの調査結果がお役に立つことを念願する次第です。

なお、今後もこの調査が継続されるよう関係者によりしく、お願い致します。

降雨資料以外のデータは別の時期に整理報告したいと思っています。

また調査のデータ整理に当っては建設省砂防課の西口節之君の力添えを得ました。ここに改めて感謝します。

(原稿受理日 昭和48年3月31日)

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

池 谷 浩*

Report of the Alarm System for Preventing the Sand Disasters with Rainfall Intensity Ratio

Summary

We had many calamitous disasters in 1972, 1973 and we will have disasters in future, because we live in very dangerous land.

So it needs the Sabo works for the preventing the sand disaster but it's so many that it cannot execute the Sabo works in anyplace at once.

Then, we need the alarm system for preventing the sand disaster. I propose the one method of alarm system with rainfall intensity ratio which is called σ ,

$$\text{in where } \sigma = \frac{\tan \theta_1}{\tan \theta_2} = \frac{dm \cdot dT}{dM \cdot dt}$$

in Fig 2.

As a result, I think σ is very useful factor for forecasting the sand disasters.

§ 1 はじめに

土石流等土砂災害の被害を最小限にするには土石流対策の砂防工事が必要である。しかし全国で約34,700溪流(昭和47年度建設省砂防課調べ)もある危険溪流すべてに、すぐに砂防工作物を施工することは不可能であろう。そこで工作物による土砂害防止対策がなされていない溪流においては人命保護の立場から警戒避難体制の確立が望まれる。

今回発表するのは土砂害からの避難体制確立のたたき台とするため、昭和47年、48年度に発生した土砂災害のうち、降雨資料の完備した51例について解析をおこなったものである。

これまでにも降雨解析に関する研究発表は多くおこなわれている。特に山地崩壊と降雨量との関係は主に日雨量や継続雨量との関係で示されている¹⁾ 場合が多い。これに対して、最近の降雨面からの解析では10分間雨量の有効性を奥田博士²⁾、潮尾氏³⁾ が論じている。また気象研究所の奥田氏⁴⁾ は降雨のパルスを主因にあげて論じている。このように日雨量、継続雨量などの長い時間の降雨量を対象としたものと、10分間雨量のように短時間降雨量を対象とした研究がある。

筆者は継続雨量等からの解析はもちろん実施したが、

その他に雨の降り方すなわち降雨強度を想定して、この降雨強度と土砂害の関連性を調べてみた。10分間雨量等の短時間雨量の有効性はあるだろうが避難という面からすると最小限30分～1時間という時間が必要であろうと考えたこと、また1時間降雨量と10分間降雨量との関係

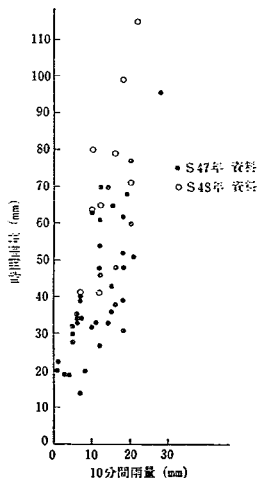


図-1 10分間雨量と時間雨量との関係

* 建設省河川局砂防課

** 本文は昭和48年度砂防学会研究発表会において発表した論文の一部を加筆訂正したものである。

は直線的(図-1)であることなどから、今回の最小単位は時間雨量としている。そして降雨パターンによって分類をおこない、土砂害の主因をなす降雨量を把握して、降雨量観測による土砂害防止のための避難体制を確立したいと考えたものである。なおここでいう土砂災害とは主に土石流を中心とした土砂災害をさし、地すべりやがけくずれは含んでいない。

§ 2 降雨パターンの分類

今回土砂害の発生と降雨量とを直接に結びつけた理由は、昭和47年、48年災害がほとんど5 km²以下の流域面積の小渓流において発生していること、すなわち、降雨量≒流量(流出係数が大きく、河道による貯留等が少くない)と考えたためである。そこで今回の降雨による警戒避難体制の案も比較的小渓流(流域面積5 km²以下程度)に適用されるもので大河川などでの適用は別途考えるつもりである。

降雨量と時間との関係を模式的に図示したものが図-2である。P点を変曲点と呼ぶ。また土砂害が発生した点をQ点とする。P点の位置すなわちPは(dT , dM)で示され、その勾配を θ_2 とすると $\tan \theta_2 = dM/dT$ 、この $\tan \theta_2$ を前期勾配(P点までの勾配)とする。またP点からQ点までの勾配を θ_1 とし $\tan \theta_1 = dm/dt$ で示す。Q点の位置は($dT+dt$, $dM+dm$)で表わされる。そして $\tan \theta_1$ を後期勾配とする。なお、原点Oは土砂害の発生した降雨の降り始めた時点を示して、これ以前の降雨は前期降雨として別にとらえた。

得られた雨量資料から降雨量-時間曲線(模式図)を図-3に示した。この図からP点の位置に特徴がみられた。すなわち、P点が降雨開始後0~6時間位の場合、10~20時間の間にある場合、そして20時間以降にある場合に分類できる。そこでこれらを分類し、タイプI型、タイプII型、タイプIII型と名づけた。

タイプI型は、降雨が早い時期に急激なものとなり、土砂害を発生させたタイプで、いわゆるP点のない直線形の降雨パターンもこのタイプに含まれる。タイプIII型は小雨程度の降雨が長い時間継続し、その後

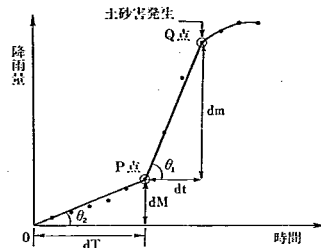


図-2 降雨量-時間曲線

に降雨強度の大きな降雨があって土砂害が発生しているタイプで、P点が2つ以上ある(今回の資料では最高でもPは2つであった)降雨パターンも含まれる。タイプII型はこれらI型とIII型の中間タイプといえる。

このようなタイプ分類のもとに降雨解析をおこなったわけであるが、まずこのタイプ分類においては地質別の特性はみあたらなかった。

崩壊現象においては外力としての因子に有効雨量をとっている場合が多いので今回の土砂害発生の因となった降雨について土砂害発生と有効雨量との関係を調べてみた。ここで有効雨量とはP点からQ点までの降雨量(dm)と仮定した。これらの結果(図-4、図-5)からはその有効性が認められず、単に有効雨量のみで土砂害の発生を予知することは困難であることがわかった。

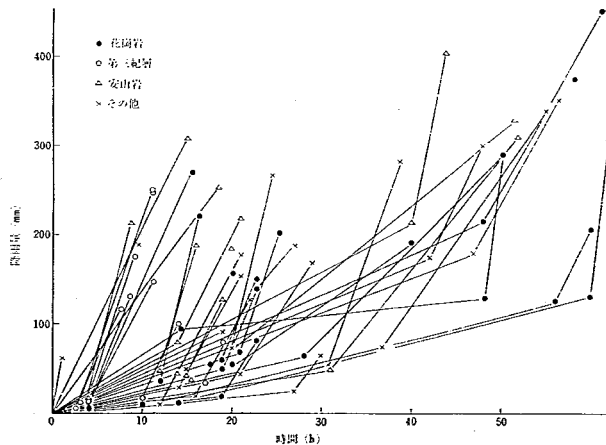


図-3 降雨量-時間の模式図(P点の位置)(昭和47年災の資料による)

872

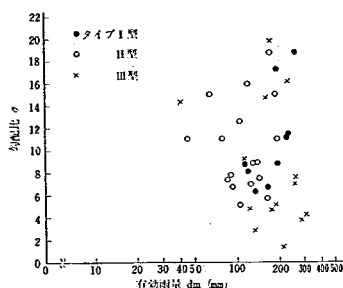


図-4 有効雨量 (dm) と勾配比 (σ) の関係

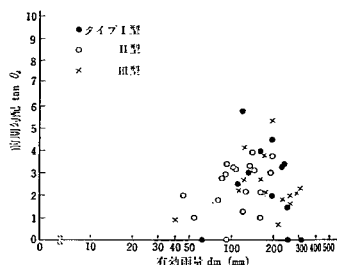


図-5 前期勾配と有効雨量 (dm) との関係

§ 3 降雨強度勾配比 (σ) の設定

一般に言われているように単に日雨量という雨の総量の総量で土砂害に結びつけるのではなく、雨の降り方の変化に注目して変曲点 (P点) を設定し、これの前後の降雨強度の比をとって土砂害の発生と関係づけてみた。これは、よく急に雨の降り方が激しくなったと思ったら崩壊が生じたとか、一度雨の降り方が弱くなって小雨となりその後の降雨で災害が生じたといったように土砂害のひきがねは短時間に相当量の降雨をもたらすものに起因していると想定したからである。この把握の方法として前述のように5分間雨量や10分間雨量ではなく降雨強度勾配比を用いたのである。ここで降雨強度勾配比とは後期勾配/前期勾配で示してσと呼ぶ。すなわち、

$$\sigma = \frac{\tan \theta_1}{\tan \theta_2} = \frac{dm \cdot dT}{dM \cdot dt}$$

で示される。

今回の資料は土砂害が発生した降雨資料のみから判定しているので、まずこのσの有効性は今後

の降雨量を観測し、σと土砂害発生の有無の検証が必要となる。さて、σが大きくなるとまずP点からQ点までの時間差が短くなると想定された。そこで両者の関係を調べてみるとたしかにσと時間差 (dt) とが関係していることがわかった。特にσ≥5 から dt は急に短くなりσ>10 となると2～3時間以内に土砂害の発生の可能性が生じている (図-6)。この傾向はタイプ型には関係していない。ただしタイプIII型はσも小さいが dt も長いという傾向がうかがえる。この勾配比σと時間差 dt との関係において、地質的な特徴はわずかに花崗岩地帯の dt が3～6時間と比較的短い時間に集中している他は特になく、これら資料数の少ないこともあって断言はできない。

土砂害発生のひきがね役として最大時間雨量が考えられる。これは今回調査資料において、土砂害の約半分の50%が最大時間雨量の発生時刻と一致しており、約1時間後まで含むと約70%にもなることで明白であろう。図-7は土砂害発生時刻と最大時間雨量の発生時刻との差の関係 (同じなら0、最大時間雨量が発生した後1時間後に土砂害が発生した場合は1時間、最大時間雨量が発生する1時間前に土砂害が発生した場合に-1時間として示した) を図示したものである。タイプI、II型はここでも特に特徴はないが、III型はすべての時間に発生している。これはIII型が勾配比σこそ小さいがP点までの継続降雨量が多いし、前期降雨がほとんどの場合200mmをこしているからであろう。すなわち、一般的には勾配比σが大きいほど土砂害は最大時間降雨量の発生時と一致するか、もしくはその前に発生するらしい。また勾配比σが小さくても前期降雨が多く (200mm以上) かつP点までの継続降雨が多い場合は土砂害発生の危険

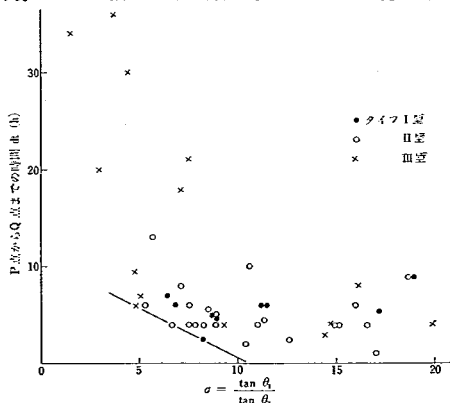


図-6 土砂害発生時刻と立ちあがりの関係

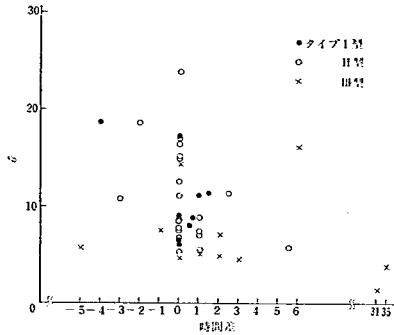


図-7 最大時間雨量発生時と土砂害発生時とのずれ

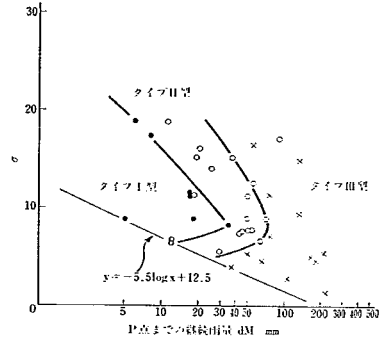


図-8 P点までの継続雨量と勾配比との関係

が大きいと考えられる。

§ 4 降雨パターンと土砂害の対応

土砂害発生に降雨強度勾配比との関係を調べるため、先きのタイプ分類によってこれらの関係を調べてみた。すなわち変曲点であるP点の位置 (P点までの継続雨量で示した), と降雨強度勾配比との関係として示した (図-8)。

タイプI型はP点までの継続雨量が30 mm程度までで、次いでII型、III型とP点までの継続雨量が多くなっている。この継続雨量が増加するに従い勾配比 σ が小さくとも土砂害が発生している。図-8においても右下りの曲線が表われているが、下限線は $\sigma = -5.5 \log dM + 12.5$ で示されていて、P点までの継続雨量が200 mmをこすと勾配比に関係なく土砂害発生危険がありそうだ。またこの勾配比とP点までの継続雨量との関係において地質的な特徴はみられないので、全国どこでも注意が必要となろう。

さて、勾配比による土砂害との対応について一応の関係を述べてきたが、ここで土砂害発生と降雨量との関係を図-9に示した。

図-9は降雨開始から土砂害発生までの継続雨量と最大時間雨量を軸として示したもので、この図から、タイプI型の土砂害は主に最大時間雨量に支配されていて、その支配雨量は50 mm/hr以上となっている。タイプIII型は主に継続雨量に支配されていてその支配雨量は200~250 mm以上となっており、タイプII型はこれら両者の降雨量すなわち降雨強度勾配比に支配されていると考えられる。

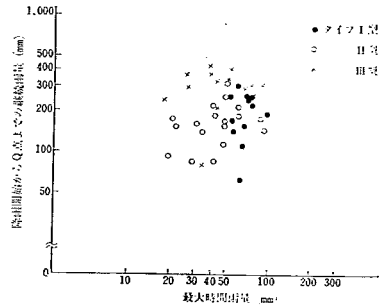


図-9 最大時間雨量とQ点までの継続雨量との関係

§ 5 降雨パターンと人的被害について

表-1に降雨のタイプ分類ごとの資料数ならびにそれらのうち死者もしくは負傷者のでた資料数を示した (表-1)。

一般的に考えると、P点の位置が早い時間にあつてかつP点からQ点までの時間差が小さいタイプI型の方が人的被害がありそうだが、実際得られた資料からは逆の率があらわれた。資料数が少ないが一つの考え方として長時間降雨があつてしかもその降雨強度があまり強くないと住民に油断が生じるのではないだろうか。宮崎えび

表-1

	全資料数	うち人的被害のあった数	同左シェアー
タイプ I	12	1	8.3%
II	22	6	27.3%
III	6	3	50.0%

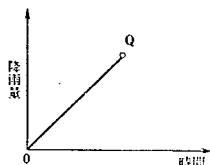


図-10 直線形の降雨パターン

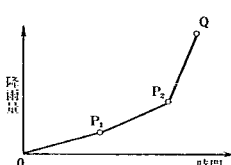


図-11 P点が2つある場合の降雨パターン

の災害において住民の避難が人的被害を最少限にとどめたのは、過去に災害がなかったからという油断から多くの死者・負傷者をだした熊本天草災害との対比として、われわれに一つの暗示を与えてくれる。すなわち、人的被害の発生はその住民の土砂害に対する認識が大きなウェイトを占めているようである。

§ 6 まとめ

これまで述べてきた降雨量と土砂害との関係において雨量資料が真にその溪流を代表しているかという問題がある。また資料数が少ないという問題もあるが、気象学上からすればかなり微気象として考えられる距離での雨量資料であることで信頼できるものとした。資料数の問題については、はじめ昭和47年災害の資料から降雨パターンを想定し、昭和48年災害にあてはめて検証した結果、少数ながら想定に一致していたので、今回発表するものである。特に土砂害を防止すること—人的災害をなくすことを目的としたもので、山岳小溪流（比較的急な河床勾配をなし、流域面積5km²以下程度の溪流）における警戒避難のための降雨のとりえ方として今回のまとめをしてみたい。

1) 土砂害の危険雨量について

一般には降雨強度勾配比 σ と変曲点までの継続降雨量によってその危険性の判定が可能となりそうである。ただし、時間雨量50mmをこすような降雨パターン（主にタイプI型に分類される）の場合、および継続降雨量が200mmをこすような場合（主にタイプIII型に分類される）には土砂害発生の危険が充分予想される。

ii) 土砂害発生時までの時間は主に降雨強度勾配比 σ に支配されていて、 $\sigma > 10$ の変化があると降雨の変曲点（P点）から2～3時間以内の比較的早い時間に土砂害の発生する危険がある。

降雨強度勾配比の実際的な活用方法としては、まず雨の降り方が変わった変曲点だと想定する。そして、変曲点までの継続雨量を調べP点の位置を確認するとともに、変曲点からの降雨強度を調べてその勾配比を計算す

表-2 P₁を変曲点と考えた場合の σ の値

P ₁ 点までのdM	P ₁ 点までのdT	σ
10mm	14h	3.65
35mm	34h	0.15
10mm	10h	2.47

る。その結果 $\sigma > 10$ となれば、かなり短時間の間に土砂害の発生する危険があるし、またそうでなくとも図-8の限界線線に入る場合は土砂害発生の危険があると考えられる。限界線より左下の場合は一応まだ安全側であるが、今後どのくらいの雨が降ると限界線線にのるかという想定をして、それから警戒避難体制を確立させるようにする。

ここで降雨のパターンの項のべた直線形（P点のない降雨パターン）とP点が2つ以上ある形について実際に資料分析してみると、直線形は三例とも時間雨量50mm以上（52mm, 60mm, 62.5mm）を示していてタイプI型と同じパターンを示している。P点が2つある例においては、まず第一のP点（P₁点）を変曲点として考え σ の計算をすると σ はすべて図-8の限界線より左下となり、P₁点では土砂害発生の危険性はないと考えられた。そこでP₂点（第二のP点）で計算をするとすべて（三例とも）限界線より右上となって、土砂害と降雨量の結びつけの一つの検証となり、タイプIII型としてとりあつかわれてもよい結果となっている。

以上土砂害防止のための降雨量のとりえ方の一方法をのべてきた。しかし何分にも現地での検証例が少ない。特に土砂害のなかった場合の降雨資料が収集していないので、その雨でかならず土砂害が発生するかどうか—土砂害が発生するのが安全なのか—という判定が必要となる。降雨自体のとりえ方にしても雨の周期性、地形性降雨の把握等多くの問題が残っており、これらを現地の方々がぜひ一度検証していただきたいと希望してまとめたい。先輩諸氏の御批判・御指導をお願いする次第である。

参 考 文 献

- 1) たとえば 打鉄 珠男：ひと雨による山腹崩壊について 新砂防79号 S. 46
- 2) 土石流調査成果報告書（第1回）建設省土木研究所 土木研究所・京大防災研 S. 48. 2
- 3) 瀬尾・船崎：土砂害と降雨量について 新砂防88 S. 49. 11
- 4) 奥田 隆：集中豪雨とはどんなものか 施工技術 Vol. 5 No. 11 S. 47. 11

（原稿受理日 昭和49年5月10日）