

I S S N 0386—5878

土 研 資 料 第1776号

土 木 研 究 所 資 料

岐阜県大和村土石流災害調査報告書

—総合土石流対策としての見方から—

昭和57年1月

建設省土木研究所

砂防部 砂防研究室

Copyright © 56年度 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 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、複写は土木研究所長の承認を得ずしてこれを行なってはならない。

は　じ　め　に

昭和56年7月12日から13日にかけて、岐阜県郡上八幡地区は集中豪雨にみまわれ、多くの溪流で土石流が発生した。

災害後、筆者らは現地を踏査する機会を与えられ、約1週間にわたって調査した結果、大和村を中心とした災害地域においては土石流が多発しているわりには人命にかかわる災害がなく、また負傷者も少ないことがわかった。

この理由には現地の人々の災害に対する対応がよかったこと、過去の災害の経験を十分に生かしたこと等、今後の土石流対策を実施するうえで重要な点がうきぼりにされてきた。

そこで、ここに特に総合土石流対策としての見方からの災害調査報告書を取りまとめた。土石流災害による被害を少しでも減少させるための一つの資料になれば幸いである。

未筆ながら、本調査に際して御協力いただいた岐阜県土木部砂防課、同、八幡土木事務所、大和村役場および大和村の住民の皆様には感謝の意を表します。

昭和57年1月

砂防研究室

主任研究員 池 谷 浩

研究員 阿 部 宗 平

北 山 滋 基

目 次

はじめに

1. 総合土石流対策とその基本的考え方	1
2. 具体的な総合土石流対策選定の手順とその考え方	2
2-1 流域の性質調査	2
2-2 主な土石流対策工法と設計・施工上の留意点	2
2-3 最適工法選定のための考え方	3
3. 土石流対策の効果	5
3-1 水理実験からみた砂防施設の効果	5
3-2 過去の土石流災害時における警戒避難の実態と効果	6
4. 大和村土石流災害について	8
4-1 土石流災学の実態	8
4-2 土石流の流動と堆積に関する調査	10
4-3 砂防施設の効果に関する調査	19
- 奥田洞と長石谷川を主として -	
4-4 警戒避難に関する調査	20
5. 結 語	24
参 考 文 献	25

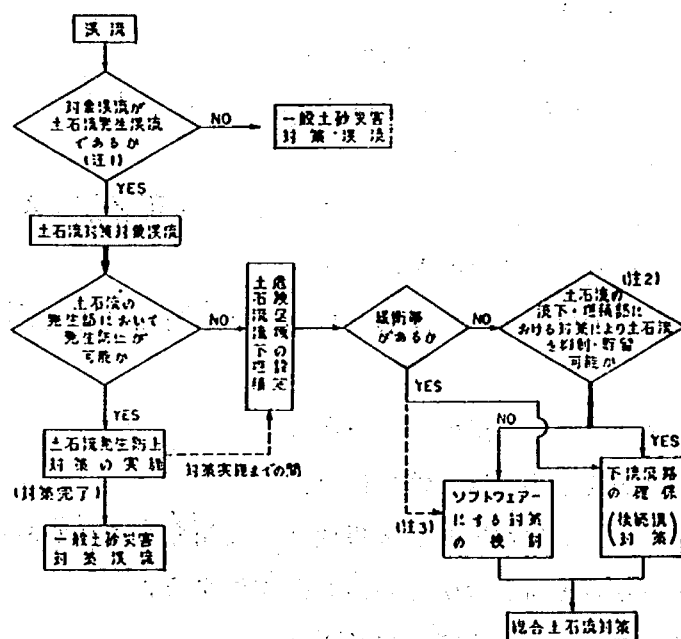
1 総合土石流対策とその基本的考え方

従来、公共事業として国もしくは都道府県が実施してきた土石流対策は主に砂防ダムによる対応であった。しかし、毎年全国で発生する土石流に対して、限られた時間の中では、時間と経費の必要なハードウェアによる土石流対策だけでは完全に災害をなくすることができるかどうか問題があり、ここにソフトウェアによる対策、すなわち、警戒避難体制の確立、土石流の流出に対して対応できる家屋・住居等建築構造の改良、土地利用の規制等による対応の必要性が生じてきている。

土石流対策を考える場合、すべてをハードな対策で対応するには限界があることはすでに述べたが、一方、ソフトな対策で対応することはいつまでたっても土石流という災害の恐怖から逃げることはできないことになる。

そこで、全国あるいは全県的なレベルではもちろんのこと、一つの溪流においても必要に応じてハードな対策とソフトな対策を組合せた総合的な土石流対策を考える必要がある。ここで、図-1に総合土石流対策の基本的考え方¹⁾

すなわち、ある溪流において土石流対策を実施する場合、基本的には第一にハードな対策で土石流に対応する。ハードな対策だけでは対応できない場合や対応が可能でもハードな対策が全て完成するまでの間は、ソフトな対策による対応が必要となる。特に土石流発生部における土石流発生防止対策は現在の技術水準では難しく、土石流の発生を完全に防止する対応が確立するまでにはしばらく時間がかかるので、よりソフトな対策の役割が重要なものとなってきているのが現状である。



(注1) 建設省河川局砂防部砂防課：土石流危険渓流および危険区域調査要綱、昭和53年11月による発生条件の検討

(注2) 流下・堆積部で土石流量に十分対応できるまでの間は、かりに対策があってもソフトウェアによる対策を考えるべきである

(注3) 超過外力を考えると継続策があってもまた土木工法で対応が可能であっても、ソフトウェアによる対策は考慮しておく必要がある

図-1 総合土石流対策の基本的考え方¹⁾

2 具体的な総合土石流対策選定の手順とその考え方

2-1 流域の性質調査

具体的な土石流対策を選定する場合には、対象溪流において発生が予想される土石流の種類、流下土石流流量、および流域特性を十分把握しておく必要がある。主な調査内容は下記のとおりであり、具体的な調査方法や予測方法はここでは省略する。

- ① 土石流危険溪流調査
- ② 計画降雨の決定
- ③ 土石流の種類決定
- ④ 計画土石流量の予測
- ⑤ 流域特性の調査（含む経済調査）

2-2 主な土石流対策工法と設計・施工上の留意点

① ハードな工法（特に留意点を主に述べる）

(i) 砂防ダム…・土石流量にみあう貯砂空間が必要

- ・衝撃力に対応できる構造・施工が必要。
- ・できる限り常時は貯砂量を空にしておく。
- ・原則として袖部で越流させないこと、また越流する可能性がある場合は、下流側の構造を検討する。

(ii) スリットダム…・砂礫型土石流にのみ利用可能

- ・スリット間隔は中小洪水で満砂せぬように決める。
- ・その他は砂防ダムに同じ。

(iii) 遊砂地…・縦断的に勾配変化をつけて全面にわたって堆砂させる。

- ・面のとり方は十分な広さとする。

(iv) 流路工…・下流部において後続流が安全に流れうる断面・勾配を確保する。

② ソフトな工法

(i) 警 報…・警報発令のための降雨特性の把握。

- ・警報の伝達手法と確実性の検討。
- ・必要に応じて現地に発生警報機（今後開発する必要あり）を設置する。

(ii) 避 難…・避難命令者と命令の伝達系路を確実にする。

- ・避難時期（命令発令時）の適正さ。
- ・避難場所と避難経路の確保。

(iii) 住宅移転…・人命の安全をはかるために実施するが、法律的、予算的に問題が残る

(iv) 宅造地の規制…・土石流危険区域内での新築家屋の不許可（法律的問題あり）。

(v) 住宅構造の規制…・危険区域内の既設住宅の改善（ピロティ式等）と新築住宅の構造規制

(法律的に問題あり)

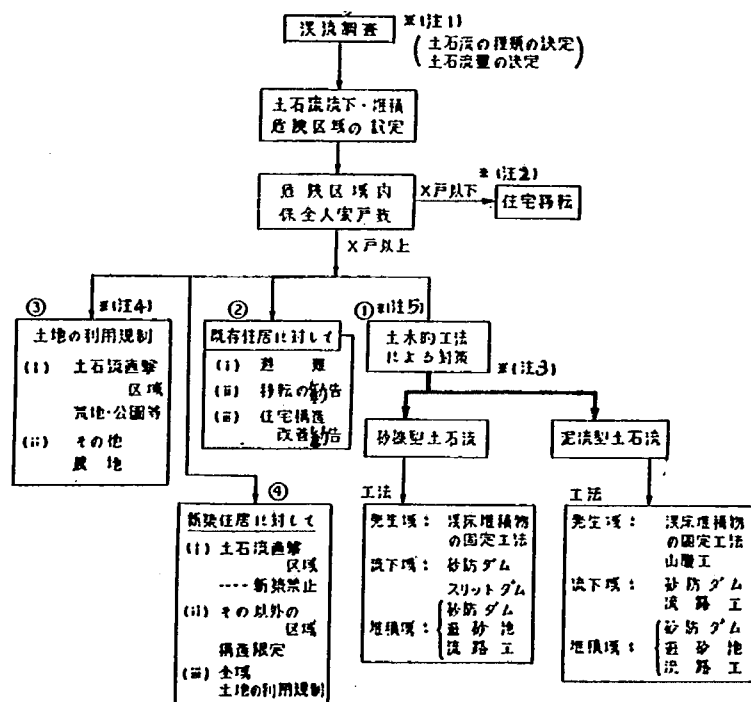
(Ⅳ) 土地利用形態…・豪雨時に人が利用しないような土地(たとえば公園化等)にする

2-3 最適工法選定のための考え方

土石流対策としてはまず第一に土石流の発生を防止することにあるが、前述のように発生部での対応は技術的に非常に難しい。そこで、本節では土石流が発生し、かつ緩衝帯が存在しない溪流(わが国の山岳小溪流はほとんどこの例にあたる)を前提とした実務的な土石流対策の選定手順について述べる。

① 既存の保全対象に対する対応

- (i) 原則的にはハードな対応、たとえば砂防ダム、遊砂地、流路工の組合せなどによって実施する。その施工順位は溪流の危険度、保全対象の位置、数、重要度等を考慮して決定する。
- (ii) 保全戸数がある一定の値(たとえば5戸未満)では住宅移転を検討する。ある一定の値以上の人家戸数が存在していても、住民が移転を望む場合には検討する。
- (iii) 土木的工法が地形上施工できない溪流や施工は可能でも対策工事が完成するまでの間の溪流については警戒避難を検討する。
- (Ⅳ) 同時に地元住民の同意を得て、住宅移転、住宅構造の改善および土地利用形態の検討をする。



(注1) 土石流発生危険溪流であることを前提とする

(注2) Xの値は住民の意志によって決定するが、一般的には5戸程度

(注3) 工法決定は以下の各項の調査によって判定する

- 土石流の種類と土石流量
- 遊砂地の検討(用地の検討を含む)
- ダムサイトの有無(施工性も含め)
- 経済効果の検討
- ダム等の貯砂容量と土石流量(基数、配量)

(注4) できるだけ超過外力による計画をえる土砂流出にも対応が可能なように各地形条件を考慮して土地利用形態を検討する

(注5) ①～④は検討する順序を示す

図-2 最適工法選定のための手順

② 将来の保全対象に対する対応

現在は保全対象がないが今後保全対象が当該溪流に新たに設定される場合でそれが土石流危険区域である場合には、以下のような検討をする。

(i) 土石流先端部の直撃が予想される区域…新規住宅建築の再検討（できるだけ建築しないような方向で）

(ii) 後続流の流下が予想される区域…新規住宅構造規制の検討

土地利用形態としては、上記の(i)の区域は住宅地とせず、できるだけ農地もしくは公園化する。(ii)の区域は、条件付きで宅地化する。

以上の最適工法選定の考え方をフローに示したのが図－２である。

3 土石流対策の効果

3-1 水理実験からみた砂防施設の効果

前章で述べた最適工法がとられれば、土石流災害による被害は大幅に減少することであろう。

各施設が土石流に対してどの程度の効果を発揮するかは、施設の規模、施工位置、施工目的等が異なるため定量的評価が非常に難しく不明な点が多い。

ここでは、一つの溪流の砂防施設をとらえる評価の一手法として、水理実験において検討した結果を紹介する。図-3は、土石流として流出する土砂量（以下に土石流量と呼ぶ）と、砂防施設による貯留容量（砂防ダムでは貯砂容量にあたる）との比と被害が起り得る面積の率（無施設の場合を1.00とする）で示されている。²⁾

この水理実験は、日本における典型的な土石円錐と言える現地地形を選びだし、縮尺1/60にした模型を製作した。そして、この土石円錐上に土石流を流下させ、土石流氾濫区域の面積を調査したものである。流下させた土石流量は実際にこの土石円錐上に発生した土石流量とし、無施設、砂防ダムノ基施工、3基施工等の数種の実験をくりかえして得た結果を図-3に示した。

また同図には、池谷の考え方³⁾によって扇状地形状に土石流氾濫区域を設定し、砂防施設が施工された場合には砂防ダムの貯砂容量分のみ土石流量が減少するという仮定で、氾濫区域の変化を計算した値も図示している。

従来の考え方では、砂防施設による土砂の貯砂、調節量と被害面積率の減少の割合の関係は1:1であるという定性的な考え方があったが、水理実験においても、また池谷の考え方によってもできるだけ多くの土石流量をCutしないと土石流氾濫面積の減少には効果がないことが示された。

このことは、砂防ダム等砂防施設による土石流対策は有効な対策の手段ではあるが、貯砂容量が土石流量に対して小さいと土石流先端部を貯留させ、その破壊エネルギーを減少させることはできるが、後続流の土砂は流下するため下流河道が充分流路工等によって整備されていないと、河道埋塞に伴う氾濫災害をさけることはできないと言えよう。

これまでに土石流の被害を最小にくい止めるための一つの手法として、砂防施設が有効であることを述べてきたが、一方、砂防施設には一つの限界があることも論じた。

ここまですべてまとめると、以下になるだろう。

- ① 砂防ダムによって土石流を貯留し、流路工によって後続流による土砂、流水を無害に流下させることが可能であり、これによりたとえ土石流が発生しても土石流による被害を最小限にくい止めることができる。

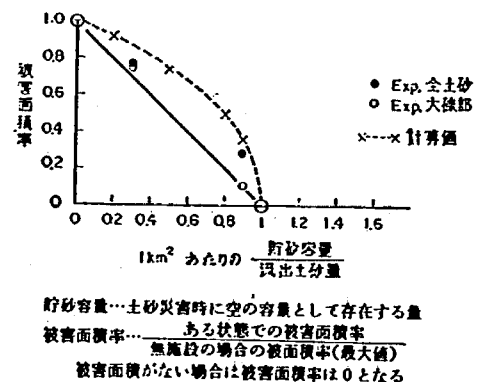


図-3 理論式による計算および水理実験によって示される流出土砂のCut率と被害面積率

② 上記の効果を得るための条件としては、以下のようである。

- (i) 土石流量にみあう砂防ダムの貯砂容量が存在すること。（土石流が発生する時には空の状態として）
- (ii) 砂防ダムと流路工間での土砂の生産が防止されていること。
- (iii) 流路工の断面が洪水流（後続流を含め）に対して十分であり、かつ勾配変化点などでの土砂堆積があっても河積として十分な河積断面が存在する。

上記の条件を簡単に備えられるのは、流域面積が0.1㎢程度の小流域に限定され、一般的に最も流域として多い5～10㎢のいわゆる三次 orderの谷では、貯砂容量の小さいダム1基程度では土石流を完全に貯留することは不可能に近いと思われる。

すなわち、このような流域では何基かの土石流貯留のための空間を有する砂防ダム群と、後続流を無害に流下させる下流の流路工、および流路工とダム群の間の河床変動を最小にするための溪床固定工事が必要となる。

このような規模の工事計画は一朝一夕には不可能であるからとりあえず工事完成までの間、後述する警戒避難の検討をする必要があることになる。

3-2 過去の土石流災害時における警戒避難の実態と効果

過去の土石流災害時には、「住民が自らの命を自らで守る」という意識のもとに、常時と異なった現象があらわれた時に避難をして一命をとりとめている例が多い。

例えば、昭和47年熊本県の天草土石流災害では、いつも清い川が真赤になったので避難した例や、ドンという音がしたとかものの腐る臭いがしたため避難して命をとりとめた例がある。

このような個人の判断による避難は、個人の災害に対する認識と普段からの心構えが大切であり、まだまだこのような意識を個人個人に持ってもらうには時間がかかるであろう。

比較的容易に土石流の危険時に避難をする手段に、市町村の防災計画に基づく避難体制がある。この体制は最近になって注目され、幾つかの市町村で実施されるまでに至ってきている。

最近の土石流災害時の避難の例としては、昭和49年の土石流災害によって大きな被害によって大きな被害をうけた香川県内海町(小豆島)において、昭和51年の集中豪雨時に避難が実施され、被害を最小に抑える大きな実績を残した。

内海町における避難体制は以下のようなものである（建設省砂防部資料による）。

- ① 地区の防災組織の強化：各自治体、自治消防団毎に対策本部を作り町の対策本部と連携を強めた。また避難者名簿を作り、自治体毎で10人～20人に1人の避難誘導員を決め、全員避難したかどうかを確認するようにしている。
- ② 広報・行政無線の整備：災害時停電しても広報活動ができるように新たな機器を整備した。
- ③ 避難場所の指定と設置：旧来より31箇所指定してあったが、あまり災害がなかったので避難場所があることさえ周知されていなかった。49年災害直後に避難所を見直し、自治会単位ごと2～3箇所ずつ指定設置し、さらに初期に避難する一次避難所を指定した。また、災害公営住宅に併設して高床式の避難所を3箇所設置し、公営住宅の3、4階に避難所を4箇所指定してある。

④ 防災訓練の実施：49年災害をうけた日、7月6日を防災の日と決めてその前後1週間を防災週間として、広報車などによる広報活動によって住民の防災意識の高揚をはかっている。そして、防災の日には町総ぐるみの防災訓練を実施している。

この他、高知県日高町や岐阜県上宝村などにおいても住民の協力を得て避難体制がなされ、災害時に大きな力を発揮している。

しかし、土石流発生のメカニズムがいまだ完全に把握されたわけではないので、これらの避難体制にも多くの問題点がある。今後土石流の研究の発展とともに、解決しなければならない点があり、また住民一人一人の心がけの問題も残っている。

最終的には、市町村や地区役員、消防団等の人々の土石流災害に対する認識と避難体制への役割の徹底もさることながら、根本的には住民一人一人が、「自らの命は自らで守る」という災害に対する基本的認識の徹底が最も重要なこととなる。

4 大和村土石流災害について

4-1 土石流災害の実態

昭和56年7月12日の夕刻より、岐阜県郡上郡一帯は集中豪雨に見舞れ、特に大和村では数多くの溪流で土石流が発生したり、各地で河川が氾濫し、民家の全壊、半壊、浸水等の被害が相ついだ。しかし、人的被害は大和村民一体となつての避難により防止できたことは、不幸中の幸いであつたといえよう。

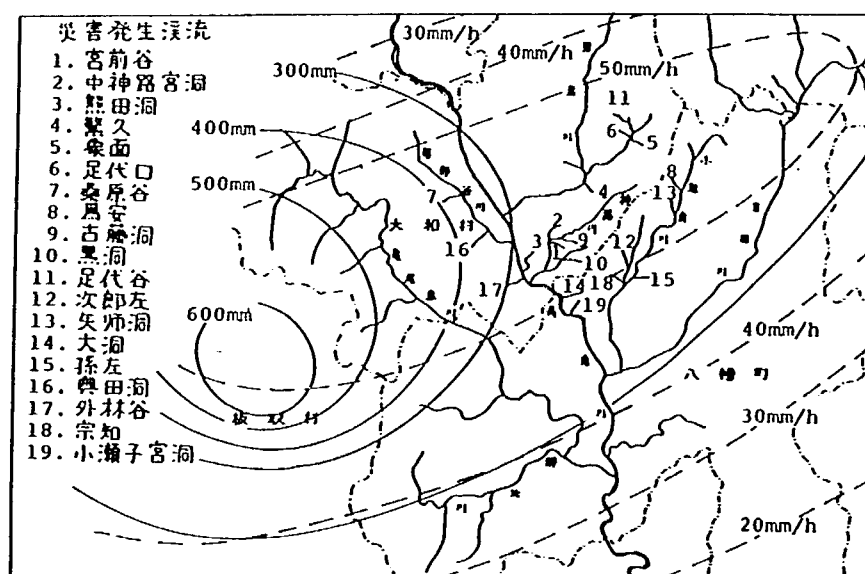


図-4 八幡地区等雨量線図と災害発生溪流

① 気象状況と災害発生溪流

図-4は、等雨量線と災害発生溪流の分布を示している。総降雨量は、蕪山気象観測所で記録した616mmを最高に大和村で294mmであった。また最大時間雨量は58.5mm（大和村役場、12日21時～22時）であった。土石流の発生時刻は、12日の22時～23時であり、最大時間雨量が58.5mmという激しい降雨のなかで発生している。災害発生溪流は図-4に示すように、19溪流におよびそのほとんどが最大時間雨量が大きかった大和村に集中しており、溪床堆積物の再移動に起因する土石流によるものであった。災害発生溪流の流域面積は、ほとんどが0.5km²以下であり、流路延長は1km以下、平均溪床勾配は1/4程度の極めて小さな急流溪谷である。流域の主な地質は、古生層の砂岩、泥岩である。土石流は発生したが、砂防や治山の施設で土石流が貯留された溪流や、全く施設は無かったが、土石流による被害もなかった溪流を合わせると、土石流の発生した溪流は30溪流以上になると思われる。

② 流出土砂量と被害の状況

昭和56年7月12日～13日豪雨によって土石流が発生した溪流において、簡易測量により得られた流出土砂量を単位面積あたりの土砂量で整理したのが図-5である。

これまでの土石流災害調査をした結果からの流出土砂量と比較してみると、今回の大和村周辺に発生した土石流は若干少ない土砂量の溪流もあるが、災害時流出土砂量としては平均的な土砂流出をみた例と考えられる。

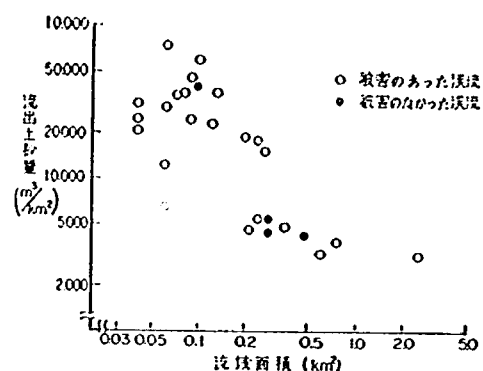


図-5 流出土砂量と被害

八幡土木事務所が調査した19溪流における家屋の被害状況は、全壊6戸、半壊10戸、床上浸水36戸、床下浸水67戸であり、このほか道路の不通が国道3ヶ所、県道9ヶ所にも及んでいる。このように、土石流の直撃を受けて破壊したり河道が土砂で埋没したり、流木が橋桁に詰まって氾濫浸水を受けた家屋等の物的被害が大きい。このような大きな被害を受けたのは集中豪雨に加えて、昭和56年の豪雪で山崩れが生じ、溪床に土石流の発生源となる多量の土砂が堆積していたこと、木の根が緩んでいたり倒木が多く存在していたことによると、現地での聞きとり調査を実施した際に住民は語っている。写真-1、



写真-1 土石流によって埋没した家屋の状況(大洞)



写真-2 土石流より半壊した家屋(矢師洞)

写真-2 は発生した土石流と被災した家屋の状況を示している。

4-2 土石流の流動と堆積に関する調査

① 土石流の流動に関する考察

(i) 概要

宮前谷は、流域面積 0.1 km² のいわゆる山岳小溪流（図-6）で、地質は砂岩、粘板岩、チャー

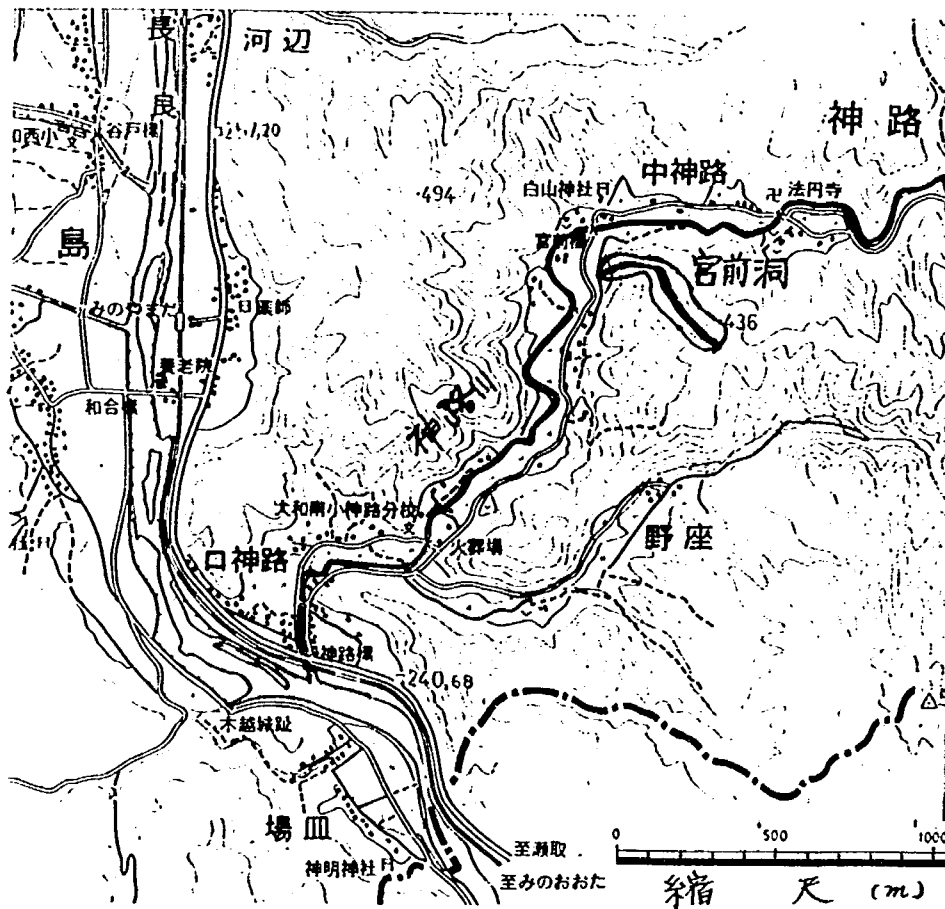


図-6 宮前谷の平面位置

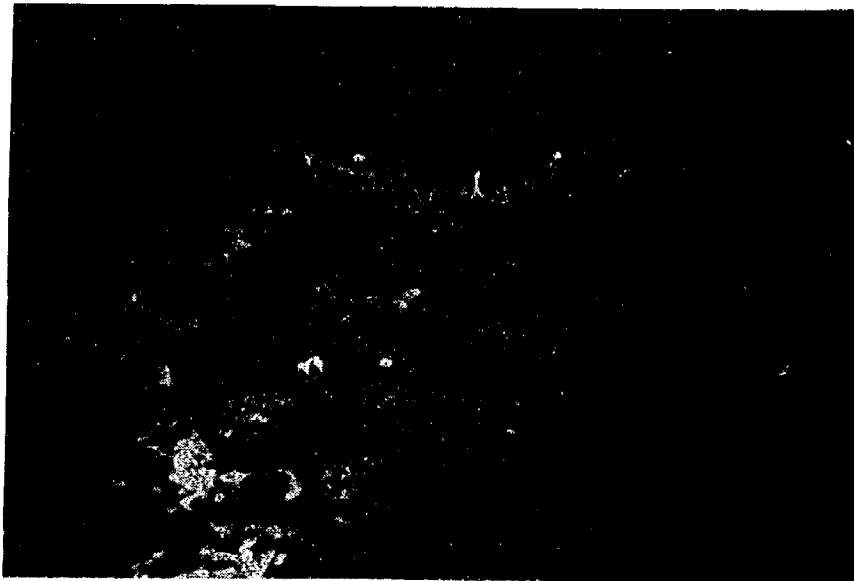


写真-3 湾曲部の土石流の流下痕跡を上流側より望む

トが主要部を占めている。溪流の下流端には沖積錐が形成されていて、この沖積錐上には保全対象となる人家が22戸存在している。この度の集中豪雨で溪岸、溪床は侵食され、土石流となって直進した流れは、家屋の全壊1戸、床上、床下浸水5戸の被害を与えた。また、直進した流れの一部が屈曲部で曲がり切れずに、外湾側の溪岸をのりこえて流域外に流入した（写真-3）。今回は災害には直接つながらなかったが、このような湾曲部の土石流の挙動はしばしば災害に関係することが多く、湾曲部の土石流の挙動に関して現在筆者らは研究を進めているところである。本節は、宮前谷に発生した土石流の湾曲部における水位上昇について、室内での実験結果を用いて考察する。

(ii) 室内実験による外岸側の湾曲部の水位上昇

射流の清水に対する左右岸の水位差 ΔH は、 b ；水路幅、 V ；平均流速、 r ；曲率半径、 g ；重力の加速度としたときに、

$$\Delta H = \frac{2 b V^2}{r g} \dots \dots \dots (1)$$

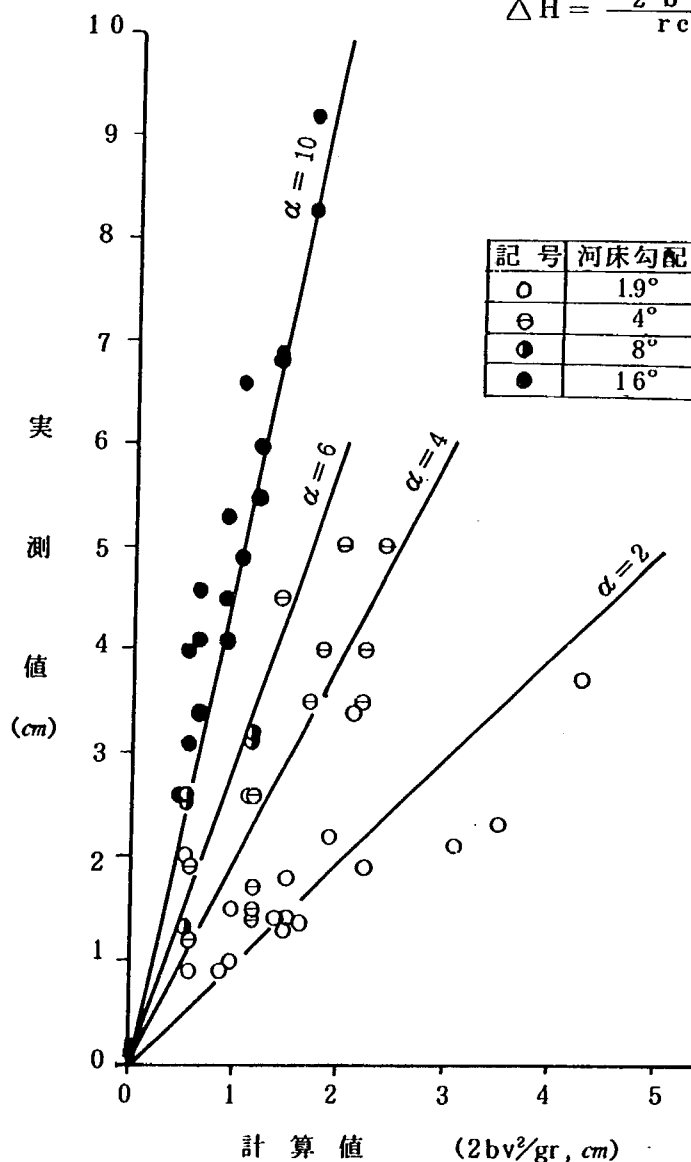


図-7 外湾側水位と内湾側水位の差の実測値と計算値の関係

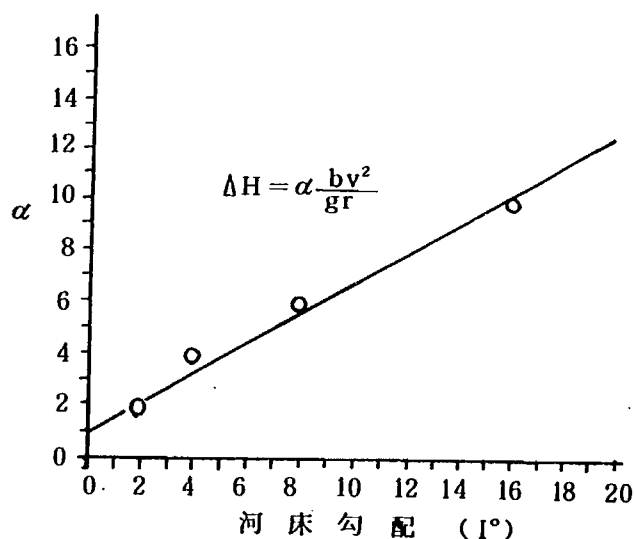


図-8 α値と河床勾配の関係

で示される⁴⁾流れが掃流状態であり、水路勾配が1.9°の場合の移動床実験における実験値は、ほぼ計算値に一致する⁵⁾。しかし、室内の土石流実験⁶⁾ ⁷⁾の結果によると、水路床勾配が急になる程実測値の方が計算値より大きくなる。この様子を水路勾配をパラメータにとって示すと、図-7のようである。図-7より水位差 ΔH は水路床勾配によって変化し、

$$\Delta H = \alpha \frac{bV^2}{rcg} \dots\dots\dots(2)$$

の関係をとり、(2)式の α の値は急勾配になる程大きくなっていることがわかる。今後さらに検討を加える必要があるが、(2)式の α と水路床勾配⁽¹⁾の関係を示すと図-8のようになり、(2)式と図-8とにより水路床勾配毎の湾曲部の水位差を推定することができよう。

(iii) 宮前谷の例

宮前谷に発生した土石流の痕跡から推定した湾曲部の水位差を(2)式および図-8に示す関係から考察する。宮前谷の平面図を図-9に、現地調査で実施した簡易測量の横断図を図-10に示した。横断図には、現地調査より溪岸の侵食状況を考慮して判定した左右の土石流痕跡の高さを記入しているが、左右の水位差は5 m以上であったと推定できる。

発生した土石流は砂礫型土石流であるから、流速係数 ϕ の値を平均的に3.0と仮定して、宮前谷に発生した土石流の流速を推定することにする。

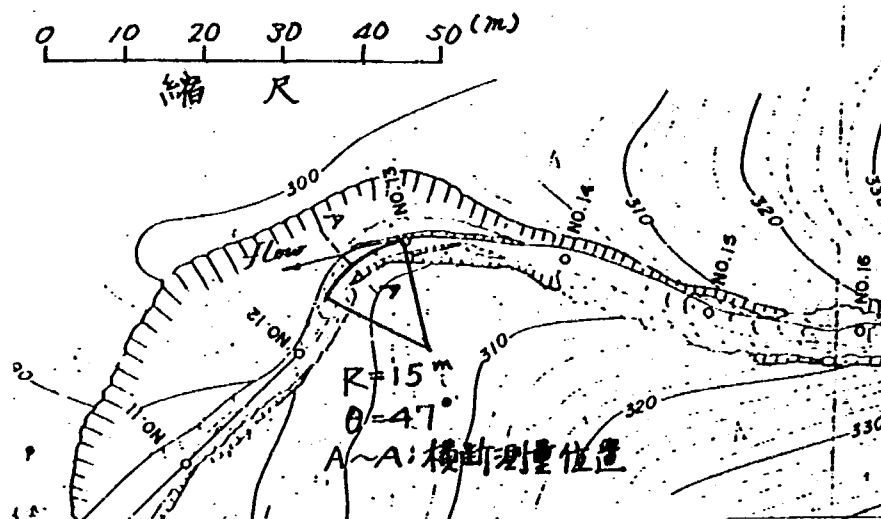


図-9 湾曲部の平面形状

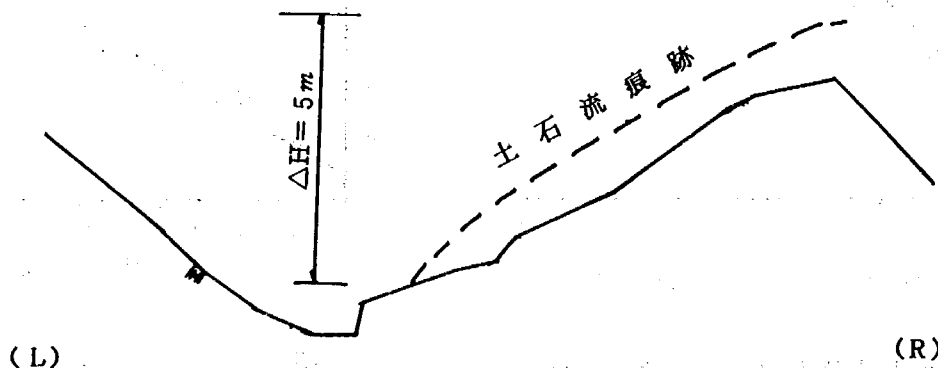


図-10 湾曲部の横断形状 (A~A断面)

$$\varphi = \frac{U_m}{U_*} \dots\dots\dots(3)$$

より土石流先端部の平均流速 U_m は、 $U_m = 3.0\sqrt{gHI}$ となる。 g は重力の加速度、 I は溪床勾配である。ここで土石流の波高としては、上流側直線河道部での土石流痕跡調査から、 $H = 1.0\text{ m}$ とし、また溪床勾配は現地調査より $1/5$ であることから $U_m \div 5.4\text{ m/sec}$ を得る。図-8より(2)式における河床勾配 $1/5$ (約 18°) に対応する α 値は約 1.1 程度である。また溪床幅 b は現地調査より 3 m であり、曲率半径 V_c は図-9の読み取りにより 15 m であるので、(2)式より水位差 ΔH は 6.5 m となり現地の実態を説明することができる。

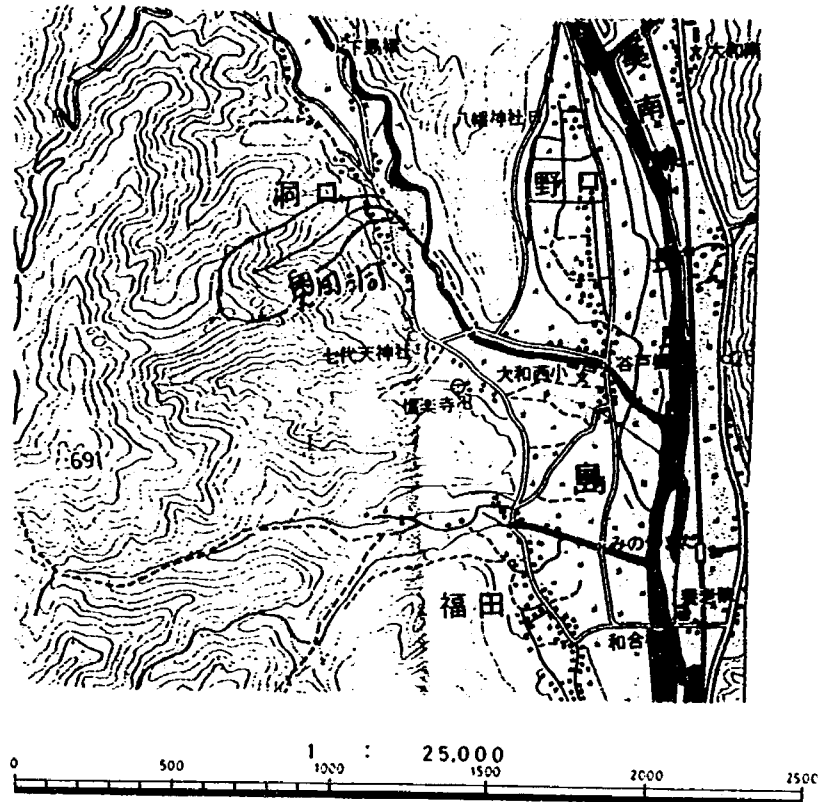


図-11 奥田洞の平面図

② 奥田洞土石流の堆積に関する考察

(i) 概要

奥田洞は流域面積 0.1 km^2 のいわゆる山岳小溪流(図-11)で、下流端には沖積錐が形成されていて、この沖積錐の面上には人家5戸が存在している。流域には、砂防ダム1基、床固工1基および流路工 106 m がすでに施工されていた。昭和56年7月の豪雨時には土石流が発生したが、砂防ダムの貯留効果と下流流路工が後続流を安全に流下させたため、まったく土砂の被害を発生させずにすんだ溪流の一つである。砂防ダムの計画貯砂量は 2200 m^3 で、災害前にはほとんど土砂が堆積していなかったことが現地調査時の聞きとりから判明している。しかし、今回の災害で流下して砂防ダム上流に堆積した土砂量は約 4000 m^3 であり、計画貯砂量の2倍近い土砂が砂防ダムによって貯留されたことになる。

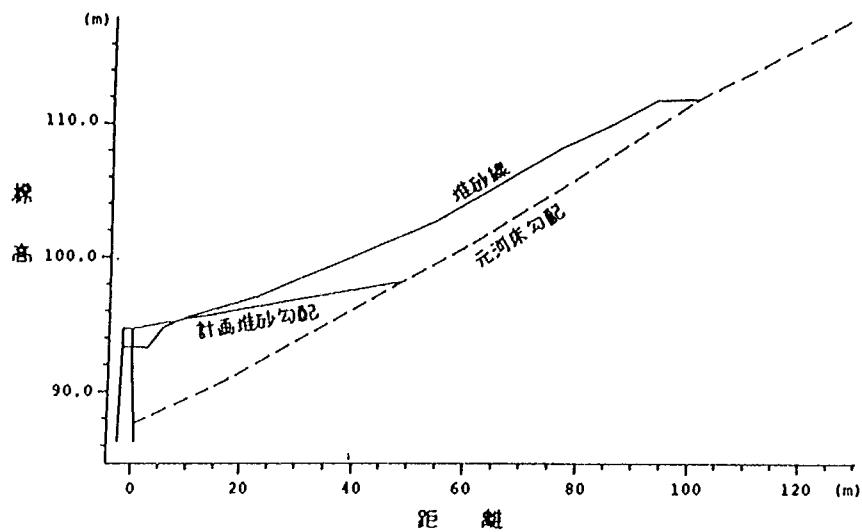


図-12・1 土石流の堆積状況（縦断）

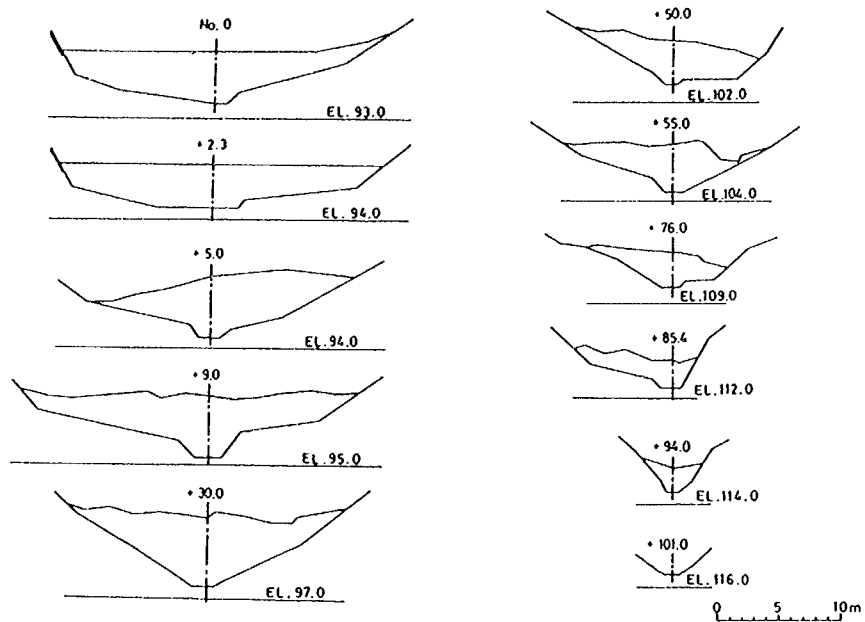


図-12・2 土石流の堆積状況（横断，簡易測量による）



写真-4 砂防ダム直上流の状況

(ii) 土石流の堆積実態

奥田洞砂防ダムでの土石流の堆積状況は、図-12に示すとおりである。図からもいかに本砂防ダムが有効に土石流を貯留したかがうかがわれる。この土石流の堆積の実態について現地調査から考察してみる。

写真-4は砂防ダム直上流の状況を示したものである。ダムの上流側は高さ1.5m、上流方向に5mが未満砂状態で存在している。天端に残された流木の状況から流れはその砂防ダムを確実に流下していることがわかる。また砂防ダムは土石流がダム地点まで到達する以前に満水状態であったこともわかる。ダム直上流のシルト質の土砂は、この滞水した時の沈降土砂であることも説明が容易である。

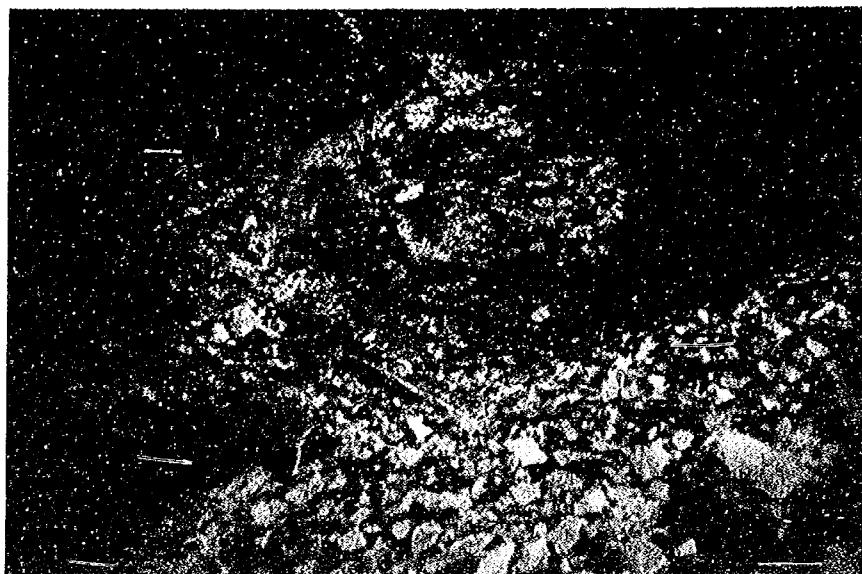
写真-5はダム上流5m地点の堆積土砂の粒径であり、写真-6はダム地点より約40m地点での堆積土砂の粒径である。写真-5は最大粒径で5~7cm、ほとんどが5cm以下の砂礫で



写真-5 ダム地点より約5m上流の堆積土砂の粒径



写真-6 ダム地点より約40m上流の堆積土砂の粒径



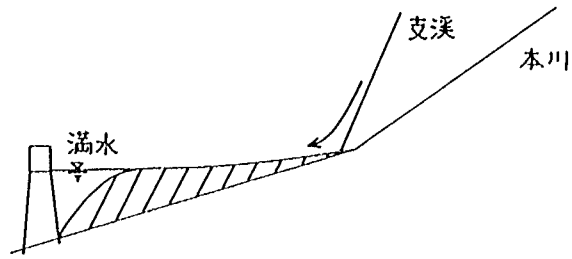
写真－7 支川の洗堀状況と本川の堆積土砂の状況



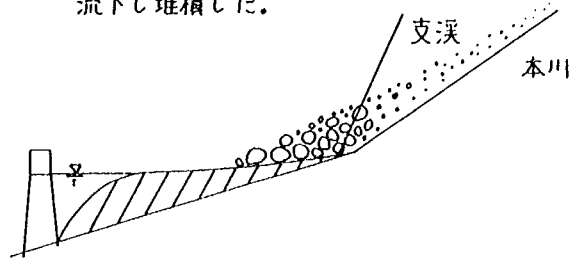
写真－8 本川再侵食部の状況

いわゆる流水の力が卓越した流れであることを示しており、写真－6は最大粒径が50 cm（現地では1.5 mの礫も含んでいた。）の大礫とシルト質土が同じ場所に存在していて、土石流の流れとみなすことができる。この写真－6と写真－7の間は、最大粒径20 cm程度の土砂礫がほぼ平坦に堆積していて、流水による土砂の堆積の様子を呈している。砂防ダム地点より45 m上流の地点の右岸から小支溪が合流していて、今回この支溪からも多量の土砂が流出した。谷の構成土質はシルト質にとんでいて、本川の河床砂礫より細粒分が多い。

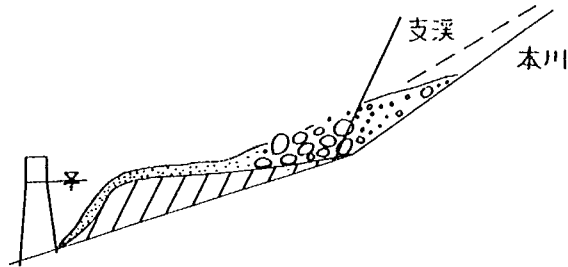
写真－7は本川から支川を望んだところであるが、中央本川の右岸ぞいに土砂の堆積痕跡が明瞭に残っている。すなわち、支溪からの土砂流出は、本川からの土砂流出以前におこったことがわかる。写真－8はダム地点より約90 m上流の地点で右岸側に明瞭な土砂の堆積痕跡が存在している状況を示している。



Stage I : 支溪からの細粒分の多い土砂がダム地奥まで流下し堆積した。



Stage II : 本川上流より土石流が流下、先端部は支溪より流出した土砂の末端を堆積起点として停止し、堆積を上を開始する。



Stage III : 後続流により堆積を上げた土砂が再侵食される。土砂は流下してダム直上流まで流下し堆積する。

図-13 砂防ダム堆砂の過程

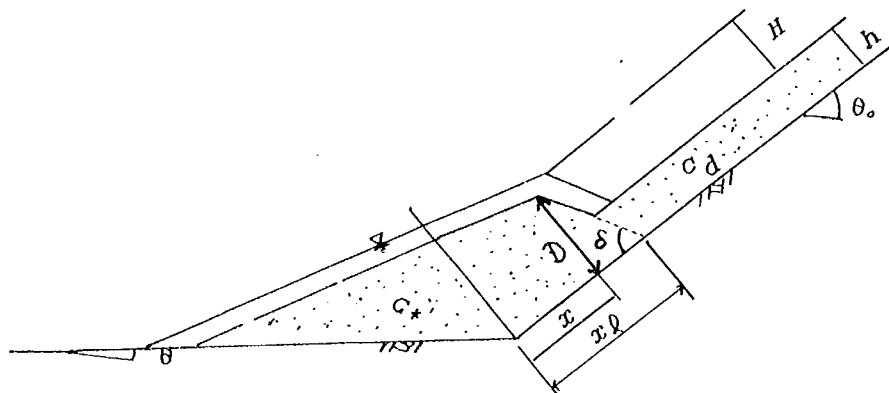


図-14 堆積遡上のモデル図

以上の堆積の実態を模式的に表現したのが図-13である。

(iii) 土石流堆積機構

砂防ダム上流部の縦断勾配は図-12のようであり、もし支溪からの流出土砂（崩壊によるもの）の堆積物がなければ、土石流はダムサイドまで流出してきた可能性があるが、多分、土石流の先端部が停止した附近は、すでに堆積土砂でほぼ平坦に近い勾配になっていたと考えられる。そこで先端部が停止した後の土石流の堆積機構について検討する。

堆積から遡上する状態を図-14のように仮定する。すなわち土石流のジャンプ高Hをのりこしていく流れの場合は下流に堆積がすすむが、土石流のエネルギーはある値以上にはならないから土石流堆積高Dがある値になると、土石流はジャンプできなくなって堆積遡上を開始されるというモデルである。砂礫の保存則を用い、微小頃を無視した(4)式⁸⁾によってこのモデルをとり扱う。

$$\frac{dx}{dt} = \frac{C}{Ax + HB} \dots\dots\dots(4)$$

ここに、

$$\left. \begin{aligned} A &= \frac{\cos(\theta_0 - \theta)}{\sin(\gamma - \theta)} \cdot \tan(\theta_0 - \gamma) + \frac{1}{\cos(\theta_0 - \gamma)} \\ B &= \frac{\cos(\theta_0 - \theta)}{\sin(\gamma - \theta)} + \frac{1}{\sin(\theta_0 - \gamma)} \\ C &= qt \frac{Cd}{C*} \cdot \frac{1}{\sin(\theta_0 - \gamma)} \end{aligned} \right\} \dots\dots(5)$$

である。(4)式を $t = t_0$ で $x = 0$ として積分すると

$$x^2 + 2H \cdot \frac{B}{A} x - \frac{2C}{A} (t - t_0) = 0 \dots\dots\dots(6)$$

となる。また堆積遡上の長さ x_L は

$$x_L = x + \frac{H}{\tan \delta} \dots\dots\dots(7)$$

で求められる。ここで堆積勾配 γ は高橋⁸⁾により

$$\tan \gamma = \frac{C* (\sigma - \rho) \tan \phi}{C* (\sigma - \rho) + \rho \left[1 + 0.52 \left(\frac{q_0^2}{gd^3} \right)^{1/3} \right]} \dots\dots\dots(8)$$

として与えられている。

$$q_0 = \frac{C* (1 - Cd)}{C* - Cd} \quad q \dots\dots\dots(9)$$

$$q = \frac{r \cdot f \cdot A}{3.6 \cdot B} \dots\dots\dots(10)$$

ここに、 q ：単位幅あたり清水流量（(10)式はマニング式 B は河幅である）、 $C*$ ：堆積土砂の

容積濃度, C_d : 土石流の流れの濃度, である。 q は, $q = Q/B$ ともかける。

ここで河幅 B は

$$B = 2Q^{1/2} \quad \dots\dots\dots(11)$$

が成立するとすれば(10)式は,

$$q = \frac{Q^{1/2}}{2} = \sqrt{\frac{f \cdot r \cdot A}{14.4}} \quad \dots\dots\dots(10)$$

となる。(10)'式に前期降雨の影響を考慮して $f = 1.0$, $r = 50 \text{ mm/hr}$, (大和村役場観測値, 最大は 58 mm/hr), $A = 0.05 \text{ km}^2$ (15° 以上の集水面積)を代入すれば,

$$q \doteq 0.42 \text{ m}^2/\text{S} \quad \dots\dots\dots(12)$$

が得られる。洞谷土石流の値と同じ程度と仮定して, $C^* = 0.7$, $C_d = 0.4$ を用い(12)式の値を(9)式に代入すると,

$$q_0 \doteq 0.6 \text{ m}^2/\text{S} \quad \dots\dots\dots(13)$$

が得られる。現地調査による土石流の平均的な粒径を 10 cm とすれば, r は(8)式に $\phi = 35^\circ$, $C^* = 0.7$, $\sigma = 2.5$, $\rho = 1.0$, $d = 0.1 \text{ m}$, $q_0 = 0.6 \text{ m}^2/\text{s}$ を代入することにより $r = 11^\circ$ が得られる。土石流の継続時間を降雨パターンから 30 分と仮定し元河床勾配の $\theta \doteq 9^\circ$, $\theta_0 \doteq 15^\circ$

(現地測量値) および r を(6)式に代入することにより x が求められる。 x は約 64 m となる。尚(6)式中の H は, 現地観測, および土石流(後続流)の波高の推定から 1.0 m とした。また δ は, 土木研究所における水理実験で約 20° であることから, この値を用いると, (7)式の xL は

$$xL \doteq 70 \text{ m} \quad \dots\dots\dots(14)$$

となる。前述したように, 現地調査における土砂の堆積痕跡から推定した堆積面上の長さは 90 m であるから, この値は現地とよく一致している。次にこの堆積面上した土石流堆積物は, 後続流によって再侵食されダムサイトまで流下することになる。土石流再侵食幅は(11)式から

$$B = 1.7 \text{ m} \quad \dots\dots\dots(15)$$

この値は現地での測定値とよく一致する。また平均洗掘深 1.5 m (現地測定値) 及び長さ 70 m を考えると, (16)式のように示される。

$$Q_E = B \times H_m \times L = 1.7 \times 1.5 \times 70 \doteq 180 \text{ m}^3 \quad \dots\dots\dots(16)$$

ここで Q_E : 土石流再侵食量である。(16)式で示された値がダムサイト附近に堆積した土砂と考えられ, 現地での堆積状況の調査結果をよく説明できた。

4-3 砂防施設の効果に関する調査

—— 奥田洞と長石谷川を主として ——

本節では, 大和村内の土石流発生溪流のうち, 奥田洞と長石谷川について現地調査による砂防施設の効果について述べることにする。

奥田洞は流域面積 0.1 km^2 の小溪流で, 下流部には沖積錐が発達し, この上に 5 戸の住居が存在している。

当流域には砂防ダム 1 基, 床固工 1 基それにつづく流路工 106 m が施工済みであった。砂防ダムの

計画貯砂量は、 $2200m^3$ 、災害前にはほとんど土砂がないことが現地調査時の聞きこみで判明している。

現地調査による流出土砂量は約 $4,000m^3$ (Km^2 当り $40,000m^3$)であったが、この土砂がすべて砂防ダムによって貯留、抑制されていて、下流にはほとんど土砂は流れておらず勾配変化点にも堆積がほとんどなかったことから、全流出土砂が砂防ダムによって貯留されたと考えられる例である。すなわち、砂防ダムと流路工によって、土石流の流れを完全に調節した具体的な例と言えよう。

一方の長石谷川には、ダム1基、流路工 $400m$ が施工されていたが、全壊2戸、半壊3戸、一部破壊4戸等の大きな被害が発生している。長石谷川は、流域面積 $2.5Km^2$ 、今回の場合保全区域に流下した土石流は約 $8500m^3$ となっている。実際には現地調査の結果、砂防ダム約 $5100m^3$ の土石流が貯留されていて、土石流としては砂防ダムまで流下してきたことがわかる。

一方、下流流路工と砂防ダム間は約 $900m$ の間があり、この間の平均河床勾配が約 $\frac{1}{10}$ となっていて土石流が十分流下しうる領域であること、河床・河岸が洗掘をうけていること等を考えると、災害をもたらした土砂の多くは土石流の後続流によって砂防ダムの下流で洗掘された土砂であると考えられる。

ちなみに、災害当時の降雨からすると土石流発生前後3時間の総流量は約 $190,000m^3$ となり、平均土砂濃度は 4.4% となって、河床勾配 $\frac{1}{10}$ の河道における土砂流の土砂濃度としては、十分説明のつく範囲にある。すなわち、砂防ダムによる土石流対策も土石流に対して有効な対策手段であるが、貯砂容量が流出土砂量に対して 30% 程度では図-3に示したように土石流の先端部を貯留させ、その破壊エネルギーを減少させることはできるが、土砂は流下するため河道埋塞に伴う氾濫が生じ土砂災害となることは避けられない。長石谷川はその一例と言える。

砂防施設による貯留効果と流出土砂量の関係を大和村に発生した土石流について検討したのが、図-15である。総流出土砂量として下流への流出土砂量に砂防ダムの計画貯砂量(災害前空で災害後全ダムが満砂したことから)の和を用いている。施工された砂防ダムの位置や、堆積の状態によって土砂の評価がかわりまた被害との関係は土砂の堆積部での地形や家屋の存在している位置等の条件によっても異なるので、一般的傾向としてすぐに判断するのは困難なこともあるが一応流出土砂の多いほど被害も大きい傾向がわかる。

被害のなかった溪流での流出土砂量は、計画貯砂量の 1.3 倍程度であり、流出土砂量の 75% 程度を貯留できれば砂防ダムの効果の大きいことが図-3からも判明した。

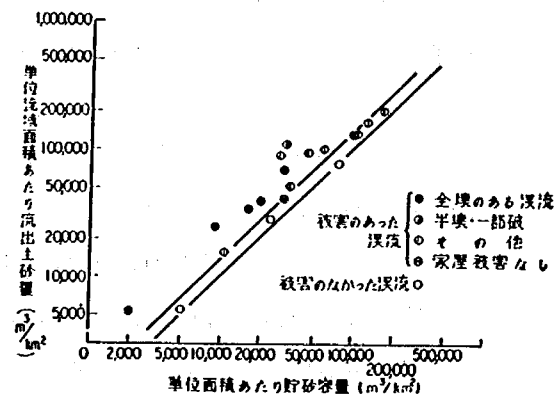


図-15 貯砂容量と被害との関係

4-4 警戒避難に関する調査

① 具体的な警戒避難の実態

災害現地において、土石流災害に関係した住民約40名の方々にお集まりいただき、災害時の

状況ならびに警戒避難の実態について聞きとり調査を実施し、加えて現地においてアンケート調査した結果、以下のことが判明した。

(i) 警戒・避難の経過

初めは山崩れの発生した地区の区長の要請により消防団が警戒開始し、次いで各地での増水がはじまったことを契機に全消防団員の待機・役場職員の非常呼集が行なわれ、早々と集中豪雨災害対策本部が役場に設置された。

以後は、村長（災害対策本部長を兼ねる）の集中豪雨による事故防止の呼びかけ、ならびに区長・消防団員による危険住宅への警戒・避難の呼びかけが行なわれた。

岐阜県下到大雨洪水雷雨警報が発令されたのは、役場に災害対策本部が設置されてから1時間30分後であった。

7・12 集中豪雨災害対策等に関する経過

時 間	経 過 の 内 容
18:20	各四部地内で山崩れのため、消防団第2分団第6部現場へ出動命令
25	徳永地内で栗巣川増水により、民家（木島吾郎）床下浸水のため消防団第1分団第1部現場へ出動命令
25	各四部地内で山崩れのため、消防団第2分団現場へ出動命令
30	大和村役場職員非常呼集
30	各地区増水及び土砂崩壊危険ヶ所の土のう積作業はじまる。
30	大和村消防団全員の非常呼集（各消防団詰所待機）
19:00	大和村集中豪雨災害対策本部を大和村役場に設置
10	各地区から被害状況の報告が入り受付開始（電話受けほか）
20	大和村災害対策本部長（村長）全村民に対し有線放送を通じて災害対策本部設置の報告と集中豪雨による人身事故防止を呼びかけるとともに、各地区の被害状況の報告を要請する。
30	村内小中学校及び幼稚園、文教施設の巡視（教育委員会）
30	生活保護家庭、ねたきり老人宅の被災の有無の確認を民生委員に要請
30	各水路の水門閉鎖を要請
30	国道156号線交通止め
20:30	岐阜県下到大雨洪水雷雨警報発令
30	避難開始
21:10	国道156号線河辺地内で国道へ土石木流出、交通止め
20	福田長石谷のはん蓋（土石木の流出）増水により福田区民の出役を要請
40	落部川谷戸橋左岸下流決壊のため野口区民の出役を要請
22:00	福田長石谷の土、石、木のたい積及び河辺熊田地内の土、石、木のたい積除去のため重機（ユンボ）の出動要請
15	災害対策本部長（村長）から有線放送を通じて村民に対し人身事故等2次災害防止の徹底を呼びかける。 （災害対策本部長の有線放送による放送内容） 大和村集中豪雨災害対策本部から村民のみなさんにお願いたします。かつてない集中豪雨のため、村内各地で道路の決壊、山崩れ、家屋の倒壊、床上浸水、床下浸水など大きな被害が続出しており、ただいま消防団及び区民のみなさんのご協力により災害防止に全力をあげていただいておりますが、現在まだ大雨が降りつづいており今夕5時～10時までに降った雨の量は、役場の観測地点で195ミリに達しております。人身事故等2次災害のないよう十分気を付けてください。尚、区長さんにおかれましては各区内の被害の状況を調査していただき被害がありましたら役場災害対策本部へ逐次ご報告くださるようお願いいたします。
23:00	保育園、幼稚園、小中学校の13日休校を有線放送により指示
24:00	各地区から被害状況の報告を受ける。

(ii) 避難勧告の指示者とその理由

避難に際しては、誰が・いつ・どのような理由により避難の勧告をするかが問題となる。

本調査結果によると、避難世帯数16世帯（人数79名）のほとんどが区長もしくは消防団の勧告によって避難している。また、避難を勧告した区長さん方や消防団の人との話によると、その理由として以下のような事項があげられる。

- この地区は、昭和34年伊勢湾台風時に大洪水を経験していて、雨の降り方から伊勢湾台風時より大洪水になるという予想がついた（かなり多数の人がこのような話をしてくれた）。
- 今年の冬の豪雪により山崩れが生じ、その崩壊土砂が山間部に溜まっており、また木の根が緩んでいるので大雨が降ると危険だと思っていた。
- 川の増水のしかたが異常であり、なかなか水位が下がらないので危険であると思った。
- ガラガラと音がした。

すなわち、これまでの災害地では、前述のようにある一定の降雨量になった時に避難勧告をした例や、いつもと違った現象が現われた時避難した例があるが、大和村では、これらいくつかの現象を総合的に把握し、避難勧告をしていることがわかる。

(iii) 避難場所と避難時間

避難場所は特に決まっていない地区がすべてで、その時々により避難勧告者が指示している。

今回の災害では、避難者79名中44名（1地区）が公民館へ、他の35名（4地区）は民家に避難している。これは主に避難はなるべく近くの安全な場所に避難することとしているため、アンケート調査では避難するのに10～30分を要している。特に、老人・子供（特に小児）のいる家庭では、夕方～夜10時30分頃までの比較的避難しやすい時間でも避難に時間がかかっている。老人がいながら比較的早い時間で避難しているのは、隣りの民家に避難した例や、健康な男子が背おって避難しているため、避難場所は一定の場所に皆を集合させる必要性の問題点を示唆している。

また、聞きとり調査中にある区長さんから、「今まで安全と思っていた家が土砂災害を受けた。我々は、どこが安全なところかまったくわからなくなってしまった。」と言われていたことが印象的であった。これは流路の埋塞による首振り現象で、本来は水が来ないところに水が来たため、この辺りに住民だけではなく砂防関係者も一緒になって安全な場所を決めることの必要性和、災害の種類による安全性の変化、例えば水害には安全でも土石流災害では危険の場所もあり、総合的な検討が必要となる。

また、避難路は完全で、かつ老人や子供がいても短時間に避難場所に到達できる場所を選定すべきであろう。

アンケートによると、避難場所を事前に知っていた人は、消防団員や区長さんを除いてほとんどいない。このことから、今回各地区において住民への避難に関する場所の指定をする必要が伺われた。

(iv) 情報の伝達と手法

大和村では、有線を用いて村の災害対策本部から各地区への指示を行ない、各地区からの災

害状況は電話を、また地区間の情報は消防団の無線を通じて行なった。災害の時間帯が夕方から夜半にかけてと比較的情報伝達の容易な時間ではあったが、結果的にも非常にうまくいった。また、避難勧告の一手法として電気が用いられていることは一つの参考となる。

特に電気が切れ、豪雨の音や石礫の流れる音で、サイレンでの危険伝達は有効でないことはよく言われており、今後の情報伝達手段に示唆を与えている。

② 警戒避難体制への提言

今回の大和村における土石流災害においては、人的被害がまったくないという結果が得られた。この理由は、現地調査をして判明したことであるが、

- (i) 村長以下村の役場の職員の早期災害対策体制の完備
 - (ii) 各地区の区長及び消防団員（約300名）の早期警戒、及び避難への勧告の実施（中には、胴まで川の水につかりながら避難勧告に行った例もあった。）
 - (iii) 村民の土砂災害に対する危険の認識と自主的避難の実施。（今年の豪雪災害や伊勢湾台風時の洪水を契機として）
 - (iv) 村中の有線・無線が有効に情報を与えた。
 - (v) 災害が夕方から夜と、比較的情報伝達・避難等に無理でない時間に発生した。
- が挙げられる。

上述の大和村の成功例は、従来の上部組織を通じての伝達によるものではなく、いかに住民自らが「自らの手で命を守る」ことに徹したかということであり、今後の総合土石流対策に大きな示唆を与えた。

しかし、この大和村の警戒避難体制にも問題がなかったわけではない。このいくつかの点を列挙すると、

- 家族は避難しても、家長や老人は家を離れたがらない。
- 避難する準備がかかり、その間に土砂災害が発生した。
- 家をあけて、留守中にドロボウ等にやられたらどうするか。
- 出水や崖崩れ等のため地区の中でもいくつかに分断されるので、一人の指揮者からの系統では情報の伝達は無理である。

すなわち、最終的には自分の手で自分の命を守るという思想を住民にうえつけることと、土砂災害がどのような時に発生し、それがどのように危険かの情報を住民に与える必要があることが判明した。

5 結 語

岐阜県大和村に発生した土石流調査を実施した結果、現在その対応が急がれている総合土石流対策の基本的な部分に触れるところが見出された。

そこで、総合土石流対策としての見方から、岐阜県大和村の土石流災害調査を行ない、総合土石流対策の基本的概念に一つの実際の資料を加えた報告書として本文をとりまとめた。

結論は以下のとおりである。

- ① 土石流対策としては、各溪流ごとに総合的な土石流対策（総合土石流対策と呼ぶ）の必要があり、特に流域面積が1㎢以上の流域では、たとえ全部の計画を実施し得たとしてもやはりソフトな土石流対策が必要である。
- ② 総合土石流対策の原則は、まず土石流を発生させないような土木工法による対策を検討し、これが不可能な場合には堆積域を中心とした待ち受け的対策を実施する。同時に、避難等のソフトな対策も実施することとする。すなわち、まず土石流を発生させないことを目標とし、次にどうしても発生、流下する場合の対策を考える。
- ③ ソフトな対策としては警戒避難が主となるが、このほかに土地利用の規制や家屋構造の改善等も今後検討する必要がある。
- ④ 以上の総合土石流対策が十分いかされれば、少なくとも人命に関係する災害は防止できる。これには「自らの命は自らの手で守る」という思想を、住民各位に理解してもらう努力が必要である。

参 考 文 献

- (1) 池谷 浩：土石流 (VI) — 総合土石流対策とその問題点 — ；土木技術資料
Vol 23-11, 1981年
- (2) 前出(1)に同じ
- (3) 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 1977年12月
- (4) 土木学会, 水理公式集；1978年, P.298
- (5) 鈴木浩之, 阿部宗平：流路工湾曲部に関する基礎実験；昭和56年度砂防学会研究発表会概要
集；昭和56年5月, P.54~P.55
- (6) 水山高久, 上原信司：湾曲水路における土石流の挙動；土木技術資料
Vol. 23, ㍻5, 1981年, P.20
- (7) 池谷 浩, 上原信司：桜島金床川流路工水理模型実験報告；土木研究所資料
第1753号, 1981年12月
- (8) 高橋 保, 吉田 等：土石流の停止・堆積機構に関する研究(1) — 勾配の急変による堆積 — ；
京都大学防災研究所年報 第22号 B-2, 昭和53年度

岐阜県大和村土石流災害調査報告書

土研資料第1776号

昭57年 1月

土木研究所砂防研究室

池谷 浩 阿部宗平
北山滋基

キーワード 総合土石流対策, 土石流,
後続流, 砂防ダム, 避難

要 旨

昭和56年7月岐阜県郡上郡大和村に発生した土石流災害調査結果について, 総合土石流対策の観点から取りまとめ解析した結果を発表するものである。



郵便はがき

40円切手
をはいて
下さい

305-□□

建設省土木研究所
砂防研究室御中

茨城県筑波郡豊里町大字旭一

No. _____

No. _____

配布先氏名

配布先住所



土木研究所資料第1776号 部

上記のとおり受領しました。

所 属 (住所)

氏 名

印