



土石流

8. 土石流危険渓流の抽出、危険区域の設定、土石流対策

蒲 正 之 (かば まさゆき)
愛媛県土木部砂防課

武 士 俊 也 (たけし としや)
建設省河川局防災・海岸課

8.1 はじめに 一土石流対策とは一

土石流はこれまで記述してきたように、一瞬にして人命、財産を奪い、また地域社会そのものまで破壊することがある。

土石流に対する対策を考えるためには、どのような場所で土石流が発生するのか、発生した土石流はどの範囲まで被害をもたらすのかを把握しておく必要がある。その情報をもとにどのような対策が必要かを検討することになる。対策については、砂防ダム等の砂防施設による対策が有効であるが、費用と時間がかかるため、すべての危険渓流において直ちに実施できるわけではない。そのため警戒避難体制の整備により、最低限人命は守る対策も合わせて検討していく必要がある。

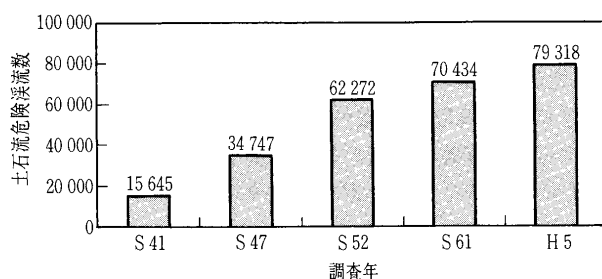
第8章では、土石流危険渓流の抽出、危険区域の設定、砂防施設による土石流対策（ハード対策）について記述する。

8.2 土石流危険渓流の抽出と危険区域の設定手法

土石流危険渓流の調査は、昭和41年から行われてきた。危険渓流数の経緯は図—8.1のとおりである。最新の土石流危険渓流の調査は、平成11年4月に建設省砂防部砂防課から出された「土石流危険渓流および土石流危険区域調査要領」をもとに、各都道府県砂防主管課において調査が進められている。土石流危険渓流調査は、①土石流危険渓流抽出のための調査、②土石流危険区域設定のための調査、③土石流発生の要因および砂防施設の調査を実施し、それらをもとに、④土石流危険渓流カルテや、⑤ハザードマップ等を作成している。図—8.2はその調査と成果のとりまとめ手順を示している。以下にそれらの要点を示す。

(1) 土石流危険渓流抽出のための調査

そもそも「土石流危険渓流」とはどういうものである

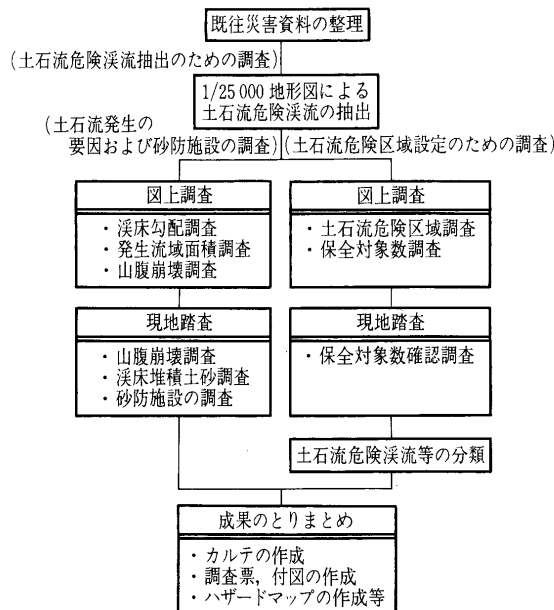


図—8.1 土石流危険渓流数の変遷（建設省砂防課調べ）

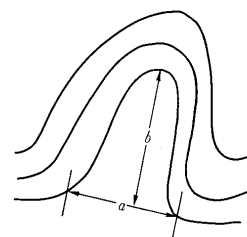
うか。上記要領によれば「土石流の危険があり、1戸以上の人家（人家がなくても官公署・学校・病院および社会福祉施設等の災害弱者関連施設・駅・旅館・発電所等の公共施設のある場合を含む）に被害を生ずるおそれのある渓流」である。これまでの調査では「5戸以上の人家」としていたところであるが、平成11年4月以降は1戸以上として調査を行っている。調査で対象とする渓流は「谷地形」をしているところであり（図—8.3）、具体的には1/25 000地形図から谷地形を読みとれるところである。この地形条件と次に述べる土石流危険区域内の保全対象数等から土石流危険渓流の抽出を行っている。

(2) 土石流危険区域の設定のための調査

土石流危険区域とは、想定される最大規模の土石流が堆積あるいは氾濫する範囲であり、その設定にあたっては地形、過去の土石流堆積物の分布範囲、過去の土石流



図—8.2 土石流危険渓流調査の概念



図—8.3 谷地形

表—8.1 土石流発生と溪床勾配の関係
(θ : 溪床勾配)

区 分	発 生 区 分
$20^\circ \leq \theta$	発生区間
$15^\circ \leq \theta < 20^\circ$	発生区間, 流下区間 (火山地域では土石流発生区間)
$10^\circ \leq \theta < 15^\circ$	土石流流下堆積, 土石流流下区間
$3^\circ \leq \theta < 10^\circ$	土石流・土砂流堆積区間
$2^\circ \leq \theta < 10^\circ$	(火山地域での土石流・土石流堆積区間)

の氾濫実績などを考慮する。原則として土石流が発生する区域から河床勾配が3度（火山砂防地域では、土石流発生実績がある場合は実績値を参考として定め、ない場合は2度）になる地点までの溪床および溪床からの比高数 m 程度以内の平坦部（扇状地および谷底平野）である。土石流発生と溪床勾配との一般的な関係を表—8.1に示す。特に細粒分を多く含む土石流、土砂流の流出する溪流では過去の実績を参考に、より緩勾配の区域まで危険区域とし、河床勾配3度の地点と海、湖、沼、本川までの距離が短い場合は、海、湖、沼、本川までの区域を含めて土石流危険溪流とするよう定めている。

抽出した土石流危険溪流は保全対象の種類と数により以下の3区分に分類している。

土石流危険溪流Ⅰ：保全人家5戸以上、または、保全人家5戸未満であっても官公署、学校、病院、駅、発電所等のある場所に流入する溪流。

土石流危険溪流Ⅱ：保全人家戸数が1戸以上、5戸未満の場所に流入する溪流。

土石流危険溪流に準ずる溪流Ⅲ：現在、保全人家戸数0戸であるが、今後住宅等の新築の可能性があると考えられる区域に流入する溪流。原則として都市計画区域内。

(3) 土石流発生の要因および砂防施設の調査

土石流の発生形態としては、溪床堆積土砂の流動化、山腹崩壊の土石流化、天然ダムの決壊等があるが、抽出した溪流において、これらの形態の土石流が発生し流下するかどうかを判断するために、土石流発生の要因について調査が行われている。また土石流に対しては砂防ダムの未満砂容量による流出抑制効果が有効であることが知られており、溪流に建設済みの砂防ダム等の未満砂容量の調査が行われている。土石流発生要因の調査方法は以下のとおりである。

溪床勾配：溪床勾配を地形図（各溪流でもっとも精度のよい地形図）からの読みとり、または現地踏査により計測する。

流域面積：氾濫開始地点上流の流域面積と溪床勾配15度より上流の流域面積を地形図より計測する。

溪床の状況：発生流域面積5ha以上の溪流における溪床堆積土砂の区間および位置、厚さ、堆積幅、その安定度を現地踏査および既存資料により調査する。

山腹の状況：地質条件、崩壊地の状況、湧水箇所、植生、新しい亀裂・滑落崖の状況を調査する。

砂防施設の調査：溪流に建設済みの砂防ダム等の砂防施設の未満砂容量を、現地踏査により未満砂高、堆積幅、現堆砂長を計測し算出する。

(4) 土石流危険溪流カルテの作成

土石流から地域住民の生命を守るためには、定期的に溪床や山腹の状況および保全対象人家の巡視・点検を行い、それらの状況を把握しておくことが重要である。このため、土石流による土砂災害の防止に役立てることを目的とし、土石流危険溪流Ⅰ、土石流危険溪流Ⅱの溪床と山腹および保全対象人家の状況について簡潔に整理する「土石流危険溪流カルテ」を作成し、定期調査に加え、土石流による土砂災害に対して迅速に対応できるよう備えることとしている。

土石流危険溪流カルテは以下の1～4で構成される。

土石流危険溪流カルテ1：溪流の概要、災害履歴等の基礎的なデータを記入し、調査対象の溪流の位置図および流域図を貼付する。

土石流危険溪流カルテ2：土石流危険区域図（1戸1戸の家屋が判別できる縮尺の地形図（1/5 000程度））に土石流危険区域、既設の砂防設備、氾濫開始点、保全対象、水系名等を記入する。

土石流危険溪流カルテ3：土石流危険区域設定のための現地踏査、溪床および山腹の状況に関する現地踏査、砂防施設の現地踏査の結果を記載する。

土石流危険溪流カルテ4：現地踏査時における溪流および山腹の状況のスケッチ、写真を貼付する。

土石流危険溪流カルテは以下の活用が考えられる。

- ① 土石流発生の危険性を判断する。
- ② 巡視、点検のチェック事項として用いる。
- ③ 土石流による土砂災害の発生が予想される場合、
現地の溪流情報を事前に把握し、不測の事態に備える。

(5) ハザードマップの作成

昭和57年の「総合的な土石流対策の推進について」（事務次官通達）、昭和63年の河川審議会での「総合的な治水対策の実施方策についての提言」等を踏まえ、土石流、地すべり、崖崩れに対処するための砂防設備等の整備を強力に推進するとともに、人命保護の立場から土砂災害危険箇所図や土砂災害氾濫（予想）区域図（ハザードマップ）の作成・公表、表示板の設置、広報紙等を利用した住民への危険箇所の周知等が推進されている。

有効な警戒避難を行うためには、自分の住んでいる場所や避難の際に通行する場所等が危険な区域にあるのかどうかを住民自ら認知しておくことが必要であり、このためハザードマップの作成・公表はきわめて重要といえる。ハザードマップの公表は、基本的には市町村役場や都道府県の土木事務所等で行われている。

平成9年7月に死者21名を出した針原川土石流災害（鹿児島県出水市）等の土砂災害の教訓を踏まえ、同年11月に土石流危険溪流付近の住民を対象に「土石流に対する警戒避難等住民の意識調査」を実施したところ、近くに土石流による被害が発生するおそれのある溪流があることを知っている人の割合が49%にとどまる等、住民に対する危険箇所の周知が十分になされているとはいえない状況にあることがわかった。このため、「はが

き」によるダイレクトメール方式の危険箇所の周知が試行的に実施され始めたところであるが、周知について引き続き強力に取り組んでいく必要がある。

8.3 砂防設備による土石流対策

(1) 土石流の砂防設備の種類と役割

土石流対策施設の主なものは、土石流捕捉工、土石流導流工、土石流堆積工、土石流分散樹林帯、土石流流向制御工、土石流発生抑制工等がある（図—8.4）。

① 土石流捕捉工

土石流捕捉工の代表的なものは砂防ダムであり、不透過型ダムと透過型ダムに大別される。両形式に共通する機能は次のとおりである。

- 土石流を捕捉し流出する土砂量を減少させる。
- 土石流発生から扇状地に流出するまでの時間を長くする。
- 渓床堆積物の移動を防止する。
- 土石流先端部の巨礫、流木を捕捉する。
- 土石流を土砂流に減少させる。
- 土石流ピーク流量を減少させる。

② 土石流導流工

流路工（渓流保全工）が代表的なもので、土石流を安全な場所まで導流するものである。

③ 土石流堆積工

土石流堆積流路と土石流分散堆積地があり、土石流を減勢し堆積させるものである。土石流堆積流路は、扇状地内等の流路に積極的に土砂を堆積させるものである。土石流分散堆積地は、流路の一部を拡大して土石流を分散させ堆積させるものであり、砂溜工と呼ばれる。

④ 土石流分散樹林帯

扇状地上で土石流の流下方向、堆積区域を樹林によって制御するものであり、樹林帯を設けることにより土石流と保全対象物の間に緩衝区間が出来ることになる。

⑤ 土石流流向制御工

土石流の流下方向を導流堤等により制御するものである。

⑥ 土石流発生抑制工

土石流が発生する区域において土石流の発生を抑制する工法である。低い砂防ダムで渓床堆積物の移動を防止する渓床堆積物移動防止工や、植生または土留め等の構造物によって山腹斜面の安定化をはかる土石流発生抑制山腹工がある。

(2) 土石流対策の計画・設計の手順と要点

土石流対策は、「土石流対策指針（案）」¹⁾（建設省砂防部砂防課）および「河川砂防技術基準（案）」²⁾（建設省河川局監修）に基づき計画、設計されており、以下に「土石流対策指針（案）」を中心に土石流対策の調査、計画、設計に当たっての要点を記述する。

1) 計画策定の基本方針

土石流対策計画は土石流による災害を防止するため、土石流を合理的かつ効果的に処理するよう策定するものとする。土石流対策は計画に基づく事業の完了によりその目的は達成されるが、事業完了までの土石流による人命保護および計画を上回る土石流に対処するため、警戒避難体制の整備等の対策を別途講ずる必要がある。

2) 計画の規模

土石流対策を策定する上で、どのくらいの規模の土石流を対象とするか、それをどのような指標で表すかを設定しておくことは重要である。

土石流対策計画の規模は流域の特性によって一般に土石流量あるいは降雨量の年超過確率で評価する。原則として、年超過確率100年の降雨量に伴って発生する可能性が高いと判断される土石流の規模を推定し、これに対応する対策施設の計画を策定する。

3) 計画で扱う土砂量等

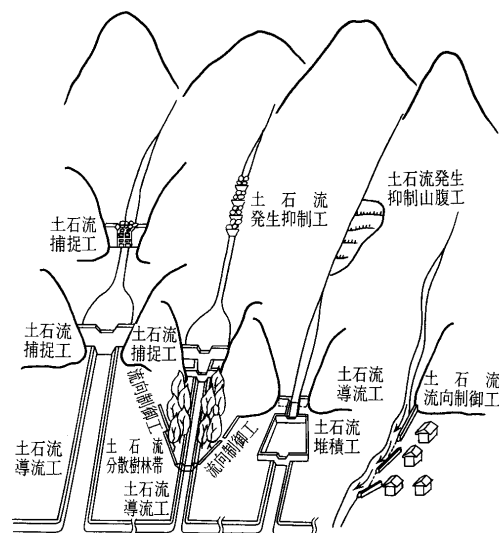
① 計画流出土砂量

土石流対策計画の中で対象とする流出土砂量（計画流出土砂量）は、地形図、現地調査、過去の土石流の記録等により総合的に決定する。その値は、原則として計画規模の土石流が運搬できる土砂量と、流域内の移動可能土砂量を比較して小さい方の値を用いる。各流域の計画規模の降雨に対する移動可能土砂量（不安定土砂量）は、渓床堆積土砂量と崩壊可能土砂量の和として求める。土石流発生直後などで、現存する移動可能土砂量が少ない場合でも、山腹や溪岸の土砂生産が激しく、近い将来に移動可能土砂量が増加すると予想される場合には、これを推定して加える必要がある。

なお、山腹崩壊土砂がそのまま土石流となるものや、崩壊土砂による天然ダムの決壊による土石流などの場合は、上記の推定によるものより大規模な土石流が流下することがあるため、流域の特性を十分考慮して流出土砂量を推定する必要がある。

② 土石流のピーク流量

土石流捕捉工や土石流導流工等を設計するに当たっては、水通し断面や施設の安定の検討の際に、土石流流下時のピーク流量が必要である。土石流ピーク流量は、計画規模の降雨に対する水のみを対象流量に係数をかけて推定する。



図—8.4 土石流対策施設の代表例

講 座

$$Q_{sp} = \alpha Q_p \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 Q_{sp} ：土石流のピーク流量、 Q_p ：計画規模の降雨に対する水のみを対象流量、 α ：係数。

この係数は、堆積土砂の容積土砂濃度と流動中の土石流の容積土砂濃度によって決まる値であり、ある条件で計算すると、 $Q_{sp} = 10 \times Q_p$ 程度になることが示されている。

③ 土石流の流速 (U) と水深 (h)

土石流の流速と水深は、土石流対策施設に作用する外力の設定に当たって必要となる基本的な数値である。

流速と水深は、理論式、経験式、実測値等により推定している。焼岳、滑川、桜島の観測資料を整理した結果では、流速は Manning 型の式で表すことができると報告されている。

4) 土石流対策施設計画の作成

土石流対策施設では、土石流の計画流出土砂量が土石流捕捉工、土石流堆積工、土石流発生抑制工等の土石流捕捉量、堆積量、発生抑制量によって処理できるよう計画する。また、土石流導流工によって流下させることができ、下流に災害等を発生させない土砂量を流下許容量とし、計画流出土砂量から差し引きした量を、土石流導流工から上流の土砂処理計画の対象土砂量とすることができる。これらの関係を式で示すと式(2)のようになる。

$$Q - E - (C + D + B) = 0 \dots\dots\dots (2)$$

ここに、 Q は土石流の計画流出土砂量、 E は計画流下許容量、 C は計画捕捉量、 D は計画堆積量、 B は土石流発生抑制量である。

例えば、過去50年程度以内に1度以上土石流が発生したような土石流発生頻度の高い溪流における施設計画は、以下の手順で行うことが原則である。

- 土石流の実績流出土砂量を考慮し計画流出土砂量を算定する。
- 土石流捕捉工、土石流堆積工、土石流導流工、土石流発生抑制工を組み合わせる施設の位置や規模を定める。
- 施設設置後は土砂の流出状況に応じて捕捉工、堆積工等の除石を実施する。

一方、土石流発生頻度の低い溪流における施設計画は、原則として以下の手順で行う。

- 渓床堆積物調査等から計画流出土砂量を算定する。
- 谷の出口付近に土石流捕捉工、土石堆積工を設置し、土石流導流工を整備する。必要に応じ上流に土石流捕捉工および土石流発生抑制工を配置する。
- 定期的および豪雨後、すみやかに堆積状況等の点検を行い、必要に応じ除石を行い貯砂容量を確保する。

以上の手順は、一般（非火山）、火山山麓とも同じであるが、火山山麓で特に火山が活動中の場合には、計画流出土砂量の見直しをその活動状況、流域の変化状況に応じて行う必要があることや、源頭部の対策が困難な場合が多い点が異なる。また火山山麓では、比較的大きな

崩壊や大規模な泥流の発生を考慮する必要がある場合もある。

なお、土地利用状況を考慮し、土石流分散樹林帯や土石流流向制御工の設置が検討されることもある。

また、多量の流木が土石流とともに流出することが予想される溪流においては、流木対策工の設置も考慮する。

5) 土石流対策施設の計画・設計に当たっての主な留意点

① 土石流捕捉工

・砂防ダムの計画堆砂勾配は、土石流発生時に確実に土石流を捕捉できる勾配とする必要があり、既往実績等によると、一般に砂防ダム地点の現溪床勾配の1/2～2/3の間の勾配とされている。

・計画捕捉量は、原則として平常時堆積勾配の貯砂量と計画堆砂勾配時の貯砂量の差として与えられる。

・透過型ダムでは、中小の出水で堆砂することなく次の土石流に対して貯砂容量を維持することが期待でき、また、流木止めとしての効果も期待できるようにする。

② 土石流導流工

・土石流導流工は、土石流捕捉工の砂防ダムを1基以上設けた後、または土石流堆積工を設けた後、それらに接続するように計画する。

・土石流導流工の法線形はできる限り直線とし、縦断形は急な勾配変化を避けることとしている。

③ 土石流堆積工

・扇状地内の流路に積極的に土砂を堆積させる土石流堆積流路では、常時の流量で土砂等が堆積しない程度にまで勾配を小さくし、土砂の流出に対応できるようにする。

・土石流分散堆積地の場合、上流端には砂防ダムまたは床固工を設け、堆積地内には必要に応じて護岸、床固工を設ける。また、堆積地の幅は、上流部流路幅の5倍程度以内を目安とする。

・土石流分散堆積地の計画堆砂勾配は現溪床勾配の1/2～2/3の勾配を基準とする。計画堆砂量は計画堆砂勾配で堆砂した状態について求める。

・堆砂後の除石のため、除石方法、搬出方法を検討しておく必要がある。

④ 土石流分散樹林帯

・土石流分散樹林帯は、土石流堆積区域で土石流を制御する目的で、土石流堆積区域末端部付近に設定する。

・堆砂空間の構造は、現在の地形を考慮し、下流端に床固工等を配置し、小規模な出水を処理する常水路、導流堤、樹林、補助施設等からなる。

・樹林として導入する樹種は、計画区域内または近傍の類似条件下の場所に存する樹種を参考に選定する。

・土石流分散樹林帯の機能を維持確保するため、必要に応じ、下刈、補植等の維持管理を行う。

⑤ 土石流流向制御工

・土石流導流堤等により土石流の流向を制御するものであり、越流を生じさせない十分な高さにするとともに、表のり先の洗掘に注意する必要がある。

・流向制御工の天端は原則として現溪床勾配と平行とす

る。

- 土石流発生後、必要に応じ除石をする。

⑥ 土石流発生抑制工

- 溪床堆積土砂移動防止工では、原則として砂防ダムの上流天端まで埋戻し、土石流衝撃力を直接受けない構造とする。
- 土石流発生抑制山腹工は、土石流となる可能性のある山腹崩壊を防ぐもので、排水、土留め、植栽などの工法がある。

(3) 模型実験による土石流対策工についての検討例

土石流対策工を設計するにあたっては、上記の土石流対策指針（案）などを基に検討するが、特に必要な場合には模型実験により、施設の諸元・効果の確認を行う場合がある。以下にその事例を示す。

[白浜川火山砂防工事砂溜工]

① 実験目的

白浜川は、北海道南部の恵山に源を発する流路長3.5 km、流域面積3.17 km²の土石流危険溪流である。上流域には崩壊地が多数存在し、河道内には大量の不安定土砂が堆積しており、上流からの流出土砂の抑制と河道内不安定土砂の再移動の防止が急務となっていた。このため、白浜川の中上流域において砂溜工が計画され、その土砂調節機能を検証するため土石流堆積工（砂溜工）を対象とした模型実験が実施された。検討された施設配置は、上流から砂防ダム2基、その下流に砂溜工2基、その下流から河口までの間に床固工4基である。

② 実験概要

模型取入れ範囲は、砂溜工上流に計画している砂防ダムから河口までの1 600 m 区間であり、模型縮尺は1/30とした。流量波形は、1/100年確率の $Q=55 \text{ m}^3/\text{s}$ （実験では $5 430 \text{ m}^3/\text{s}$ ）をピーク流量とした計画ハイドログラフが検討された。

実験は、砂溜工を対象とした部分実験3ケースと、部分実験によって選択された最終案による全体実験1

ケースを実施した（写真—8.1）。

部分実験においては、砂溜工内の流れを分散させるための中仕切工の切欠き位置や床固工の水褥池（すいじょくち）（落水による洗掘を防止するため、垂直壁等により水位を保つ施設）の有無等を変えた3ケースで実施した（図—8.5）。

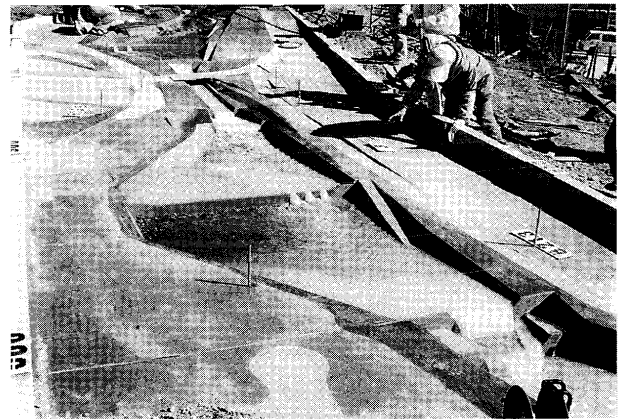
③ 実験結果

部分実験において、切欠き位置を等間隔に配置することで砂溜工内の流れを適度に分散させることが確認された。また下流側砂溜工内の2号床固工に水褥池を設けることで、流れを減勢させるとともに下流砂溜工への流れの拡散を促す効果が確認された。

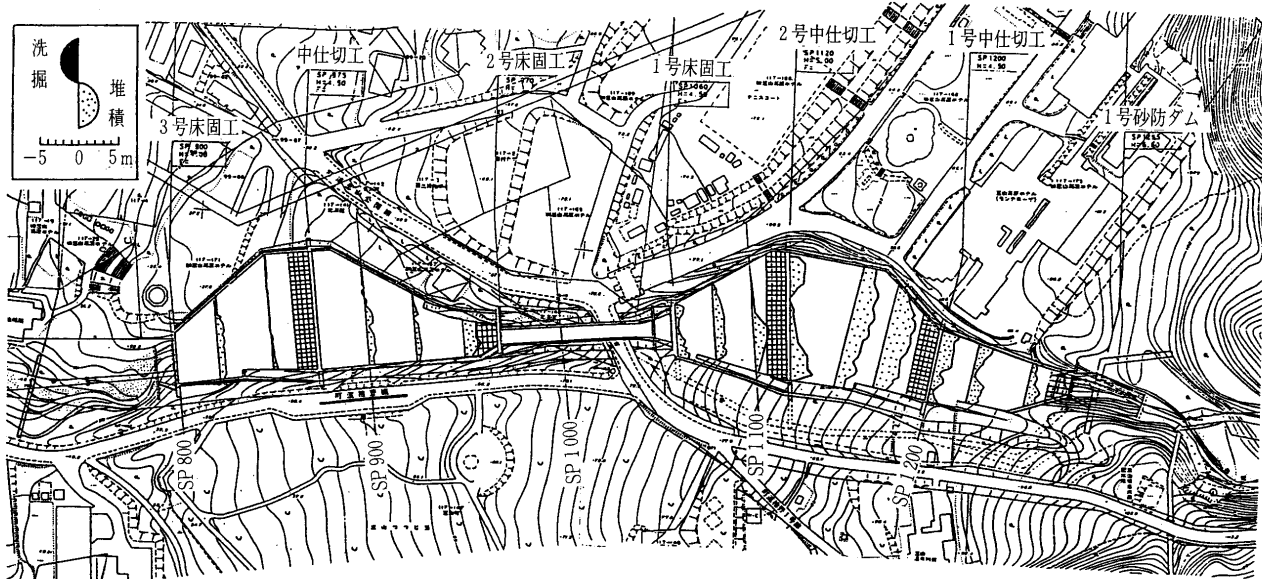
全体実験は、部分実験によって決定された砂溜工計画に従って実験を行い、土砂捕捉効果を検討した。また、後続流による堆積土砂の再移動についても観察を行った。その結果、下流砂溜工からの流出土砂量は0となり、上下流の砂溜工で流下土砂を捕捉できることが確認された。また後続流による土砂流出も0であったことから流域の安全性が示された。

(4) 土石流対策の実例

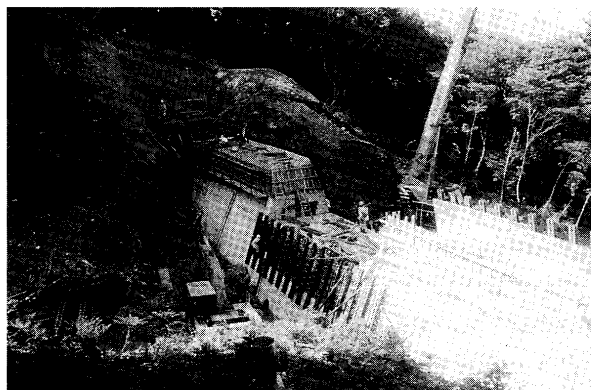
設置された土石流対策工のうち、土石流災害を防いだ



写真—8.1 白浜川 砂溜工模型実験



図—8.5 白浜川 模型実験（部分実験および1ケースの実験結果）



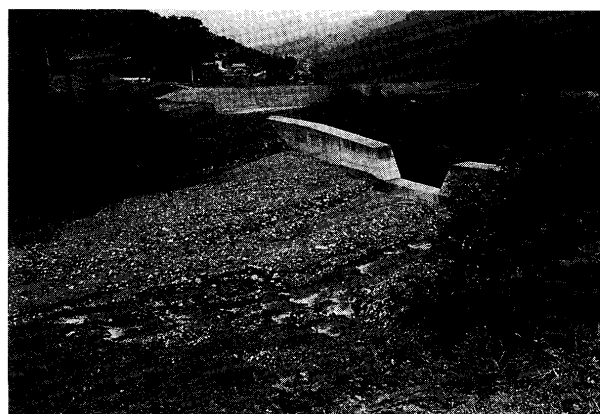
写真—8.2 西之貝戸川 建設中の砂防ダム



写真—8.3 西之貝戸川 土石流の流下をくい止めた砂防ダム



写真—8.4 白猪谷 土石流発生前



写真—8.5 白猪谷 土石流発生後

事例を以下に記述する。

1) 三重県員弁郡藤原町西之貝戸川

① 砂防ダムによる災害防止

西之貝戸川は保全対象として人家42戸のほか、県道、公民館、小学校、幼稚園などがある土石流危険渓流であり、平成11年8月19日午後5時頃、西之貝戸川上流で発生した山腹崩壊により土石流が発生した。建設中の砂防ダム（本堤は完成済）が、その機能を発揮して土石流をくい止め、災害を未然に防止した（写真—8.2, 8.3）。

② 数値シミュレーションによる砂防ダムの効果の検討

砂防ダムがなかった場合に、今回と同規模の土石流および100年に1回発生するような大規模な土石流が発生したら、土砂氾濫区域がどのくらいの範囲となるかを数値シミュレーションで予測した。その結果、今回と同規模の場合、土石流は鉄道・駅まで達し、人家3戸に被害を及ぼすと予測された。また、100年に1回発生するような大規模な土石流では、鉄道・駅を大きく越え、県道および人家25戸に被害を及ぼすと予測された（口絵写真—15, 16）。

2) 愛媛県川内町白猪谷

平成11年9月15日台風16号により、流域各所で山腹崩壊が発生し、土石流となって流下した。この流出土砂のうち白猪谷堰堤（平成10年3月完成）では約19 000 m³を捕捉し、下流被害の軽減に効果を発揮した（写真—8.4, 8.5）。

8.4 おわりに

土石流危険渓流の抽出、危険区域の設定は、土石流対策を考えるうえで基本となる事項であり、そのため、その設定手法は常に最新の事例、解析方法等による確認、更新等の検討がなされるべきものと考えられる。砂防施設による土石流対策（ハード対策）の調査、計画、設計手法についても同様、常に設計手法等の検討が必要であろう。これらの検討を効果的に進めるためには、土石流発生事例をできるだけ正確に記録することも重要であると考えられる。

また、砂防施設による対策は土石流危険渓流の数に比べると必ずしも十分とは言えず、このため警戒避難体制の整備による人命の保護を目的とした対策（ソフト対策）もあわせて推進する必要がある。住民一人一人が地域の危険性を認識することが重要である。しかし本文中に述べたように、土石流危険渓流の認識度合いは高いとはいえない状況のため、より一層の危険箇所の周知を図る必要があるといえる。

参考文献

- 1) 建設省河川局砂防部砂防課：土石流対策指針（案），1989.
- 2) 建設省河川局監修：建設省河川砂防技術基準（案），日本河川協会編，1997.