

土砂動態の観測・調査について

澤田豊明¹⁾

1. はじめに

流域における土砂災害を防止・軽減するためには、流域の場の条件および気象などの外力によって発生する土砂移動現象を把握することが重要な課題である。しかし、このような土砂移動現象の解明が必要不可欠であるに関わらず十分な成果が得られていないのが現状である。

その理由の一つとして、観測・調査の目的が明確にされていないこと、および現象を時間的・空間的に把握するための手法が十分でなかったことが考えられる。つまり、流域の場の特性、降雨観測、水位流量観測、河床特性調査等のデータが揃って流砂観測のデータが生かされるのであって、流砂量の観測の成果は総合的に評価されるものである。もし、そうでなければ貴重な流砂の資料は、観測が行われただけで生かされない。著者らの経験において、流砂観測が洪水の始めから終わりまで観測されていても、降雨や水位等のデータが観測されなかった場合、その成果は有効に生かされない場合が多い。観測において総合的にデータが揃った観測成果を得ることは非常に難しい。このような理由から観測の成果を得るには長い時間を要することから、短期間に成果を要求される現状では、観測・調査が敬遠されて観測・調査を実施する機関や人員が激減している。

ここに、著者らが約40年間に及ぶ観測・調査の経験から、反省を込めてその一部の成果の紹介と今後の課題について考察し、今後の現地観測の指針の参考になれば幸いである。

2. 観測・調査の概要

2-1. 流域の場の特性に関する調査

斜面勾配、植生の種類と樹齢等、地質および土壌層、粒径分布および含水率等の分布の調査が必要である。

地形図、航空写真、地質図の活用、近年ではGISの活用が普及しつつある。

2-2. 降雨等の外力の観測

土砂の移動において、降雨等が重要な役割を果たしているが、その測定は雨量計によって簡便に測定できるが、記録方法に問題があった。機械式時計で送り出される紙に記録されるものは、紙詰まりやインク切れ等の問題と記録の読み取りに手間が掛かった。

近年は、データロガーに記録する方法が普及し、簡単にパソコンにデータを取り込むことが出来る。

降雨と崩壊等の関係は古くから議論されてきたが、現象の発生地点の近くに雨量計が設置されていないことが多く、降雨量から崩壊等の発生の機構を解明することは困難である。著者らは、降雨が多い場所が崩壊するのであって地質や斜面条件は二次的要因ではないかと考え、降雨の高密度観測を開始した。また、降雨分布を知るために船舶レーダを活用する手法についても、船舶レーダを山地に設置し観測を実施している。

2-3. 流砂観測

流砂観測は流域の対象とする地点の河床を通過する土砂量を測定するもので、その移動形態は浮遊砂、掃流砂および土石流に大別される。観測の目的によって流砂形態や観測地点が選定され、観測地点の条件等も考慮して観測手法などが決定される。観測手法も選定機器によって手動、半自動または自動のシステムに分けられる。また、浮遊砂や掃流砂も直接採集して測定する方法や間接的に測定する方法に分けられる。これらの方法も目的や観測地点の条件を考慮して決定される。

1) NPO 山の自然文化研究センター

2-4. 土石流観測

土石流の観測は、その実態を解明するためと土石流の発生を検知するもの大別される。前者は土石流が頻発する流域において種々のセンサーや観測機器を設置して実施され、その成果を防災に生かすことが重要な目的である。後者は土石流の発生を検知して避難・交通止め等の対策を目的としている。

2-5. 河床変動調査・観測

河床変動調査・観測は、構造物の安全性と土砂移動を検討するために実施される。観測・調査地点や実施期間等は、その目的を考慮して決められる。その際、河床構成材料の調査や河床形態の調査も必要に応じて実施される。

3. 観測・調査の事例¹⁾

3-1. 観測流域の概要

対象とした観測流域は、写真-1に示すように活火山焼岳を源流とする足洗谷(7.2 km²)である。この流域は昭和37年6月の焼岳の噴火以降、土石流が頻発しており観測の自然条件は十分である。また、地元の自治体や建設省等の協力が得られたことも観測流域に選定された大きな条件の一つである。この流域は焼岳を源流とする白水谷・黒谷流域と古生層・花崗斑岩等が分布する割谷・ヒル谷に分けられる。土石流の観測は前者の流域でその拠点として白水谷観測局としている。浮遊砂や掃流砂等の観測は後者の流域でヒル谷観測局および足洗谷観測局を拠点としている。現

在、これらの観測局と観測所はオンラインで結ばれており、モニタリングやデータの収集は観測所で行われている。

3-2. 降雨と流出の観測

土砂生産や流出における重要な外力として降雨や降雨流出の特性を把握することは非常に重要である。ここでは、山岳地域の降雨の実態を解明することも目的に加え、可能な限り高密度の観測を試みた。当初は自記式雨量計(1ヶ月、3ヶ月)がヒル谷流域に4箇所、割谷流域に1箇所、足洗谷(観測所)に1箇所、計6箇所に設置された。その後、各自記式雨量計の時刻のずれ等の問題を解決するために、有線式テレメータ化が実施されると同時に、無線ロボット雨量計が割谷山と白水谷上流に設置された。この地域は12月上旬より降雪があり、雨量計は機能しなくなる。これらの問題を克服するために商用電源が供給される2箇所の雨量計はヒータ付で雪を溶かして降水量として観測している。当初、普通の雨量計は降雪の前の11月末に雪による雨量計の破損を防止するために雨量計にカバーを取り付けていたが、春になるとカバーを取り除く作業も必要なことから、作業量が増加し観測員の負担を減らすために数年で雨量計のカバー取り付けは中止した。しかし、春になると降雪による雨量計の倒壊、木の葉や昆虫など除去のために雨量計の点検が必要である。また、2ヶ月に一度は雨量計の転倒マスへの塵の付着やクモの巣などの除去を行う必要がある。写真-2は一週間巻きの記録紙を用いた雨量計で、機械



写真-1 観測流域の概要と観測局

式時計で記録紙が回転して記録する方式である。記録紙の交換の度に、1時間ほその場に待機して記録紙が送られているのを確認しても、数時間後に時計が止まったり、インク切れやペンが記録紙に接触しなかったり欠測が多く、維持管理が大変な雨量計であった。写真-3は地表面に到達した降雨を測定することを目的に雨量計を地中に設置したものである。この方式も

きな問題はバッテリーの維持管理と設置には電波管理局の許可を得ることが必要な点である。

一方、降雨量を間接的に知る方法として、レーダ画像による雨雲の特性から降雨量の分布を推定することも可能であろう。ここでは比較的安価な方法として、船舶用レーダによって雨雲の分布を空間断面で把握することを試みた。写真-6に示すようにレーダの回



写真-2 自記式雨量計

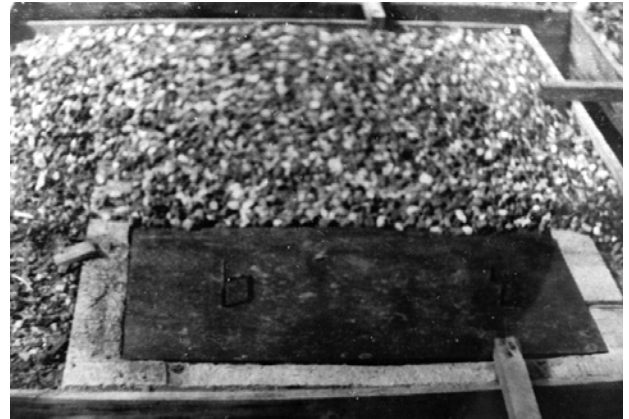


写真-3 地表面型雨量計（鉄製扉は観測員の出入り口）



写真-4 データロガー式雨量計の内部と外観



落ち葉の除去などの問題もあり数年で廃止された。

近年、写真-4に示すようなデータロガー式の雨量計が有線テレメータ雨量計の設置されていない場所に設置され、空間的高密度の降雨観測が可能となっている。現在、足洗谷流域にデータロガー式の雨量計が約10台設置されており、テレメータ方式のものを合わせると合計15箇所となっている。写真-5は無線ロボット雨量計と送信アンテナを示す。この方式の大

転軸を90度移動して地表に対して垂直な断面を写真-7に示すように表示している。写真7の中央より上部が空中で、雨雲が幅500～600mの立て筋となって地表に接しているのが認められる。なお、図中の同心円の間隔は1800mである。

現在、地上の雨量計の値とレーダ画像の関係を解析し、レーダ画像から雨量を推定する手法を開発中である。



写真-5 無線ロケット雨量計



写真-6 船舶レーダの利用



写真-7 降雨時のレーダ画像

2-4. 土砂生産の観測・調査

土砂動態の一つに土砂生産がある。これは大きく斜面侵食と崩壊に分けられる。ここでは裸地斜面からの土砂生産の実態を明らかにするために、写真-8および9に示すような土砂補足ピットを斜面下部に設置し、一定期間にこのピットに入る土砂を採集し、土砂量や粒径を測定している。その他、付近では降雨量や気温等の観測も実施されている。

写真-10は斜面に温度センサーを設置して凍結・融

解と土砂生産の関係を観測している試験地を示す。

図-1は斜面に測定棒を突き刺して斜面の侵食深を測定する方法を示している。この方法は、斜面に測定棒が挿入可能なことが条件であるが、それによって斜面に損傷を与えないように考慮する必要がある。

写真-11は測定の様子を示している。他の観測点との比較のため、斜面長の影響を排除する目的で、測定棒は稜線から1mの場所に設置されている。



写真-8 土砂生産の観測試験地



写真-9 土砂生産の観測試験地



写真-10 土砂生産の観測試験地

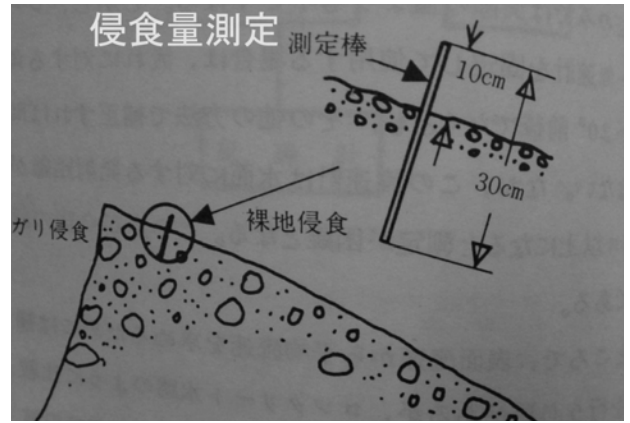


図-1 斜面の侵食深の測定法



写真-11 測定棒による侵食測定



写真-12 裸地斜面の積雪期の状態



写真-13 写真-12の裸地斜面からの土砂生産



写真-14 写真-12の裸地斜面



写真-15 裸地斜面のモニタリングカメラ

また、裸地斜面全体からの土砂生産量は写真-12および13のような積雪の上に堆積した土砂の測量によって求めることが出来る。また、写真-14に示している斜面を写真-15に示すモニタリング用のTVドームカメラによって土砂生産の様子を観察することも可能である。

2-3. 土砂流出の観測

斜面などから生産された土砂の流出の実態を明らかにするために、写真-16に示すように流量測定のため

めの堰や水路などがヒル谷に設置されている。また、写真-17のようにステップ・プールからなる階段状河床のプールに堆積する土砂量が下流における流砂計測の特性に影響すると考えられるので、プールの堆積土砂量の測定なども洪水後に実施されている。また、上流から流出してくる土砂を写真-18に示すような試験堰堤に堆積させ、洪水前後の堆積量の測定から流出土砂量を求めることも可能である。また、洪水時に流出する土砂量を流量変化に対応して測定するために、写真-19に示すように、河床にコンクリート水路を設け、そこに水と土砂を取り入れて下流に運ぶパイプが設置されている。試験堰堤下流まで敷設されたパイプによって導かれた土砂と水を測定して流砂量を求めることが出来る。

3- 3. 流砂観測

ヒル谷流域出口の流砂観測装置は、写真-20に示すように手動で採集バケツを動かして土砂量・粒径分布を測定する方法が初期のもので昭和45年頃から昭和55年頃まで使用された。この方法は最も単純であるが、土砂の取り入れ口が閉塞しない限り計測が可能であり、最も多くの資料を得ている。土砂の流出程度を見ながら、測定間隔を自由に変えることができる。最も短い測定間隔は土砂の採集に手間が掛かるので約5分である。この作業は一人でも可能であり、洪水が長期になる場合は一日3交代での作業が行われた。この方法は観測者の負担が大きいので、写真21および22に示す自動土砂量測定・採集装置が考案された。写真-21は水の力を利用してトロンメルを回転させて水と土砂を分離する部分を示している。写真-22は土砂量を計測し、土砂をバケツに採集する部分を示している。この採集バケツは20個設置され、採集時間の



写真-17 階段状の溪流



写真-18 溪流出口の試験堰堤



写真-19 試験堰堤と流砂計測装置



写真-16 土砂流出が発生する溪流（ヒル谷支流合流部）



写真-20 流砂採集装置

間隔は任意に設定できる。図-2は自動土砂量計測装置の概要を示している。土砂量は約5kgで転倒する回転マスの回転数を観測所に無線で送り、観測所では降雨、水位等のデータと同時にパーソナルコンピューターに記録されている。この装置の導入によって観測員の負担が軽減されたが、土砂流出現象を目視等により直接観測することが少なくなり、その本質に迫ることが困難になっているように思われる。

以上のように流量変動に対応した流砂の観測の外に、試験堰堤の堆砂測量によって流出土砂量を求める方法もある。この方法は大きなダム貯水池の堆砂量の測量によって一般的な方法として用いられている。写真-23および24はヒル谷試験堰堤の貯水池を堆砂等の測量が行いやすいように改良されたものを示している。写真-24は平成15年度に改良されたもので、移動式の計測用足場が設置されている。

写真-25は簡便に土砂量を測定するために試験堰堤

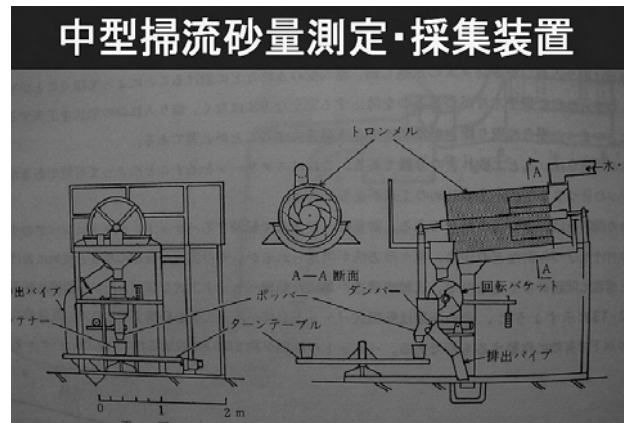


図-2 自動流砂計測・採集装置の概要



写真-21 自動流砂計測装置の水と土砂の分離部



写真-23 試験堰堤の貯水池

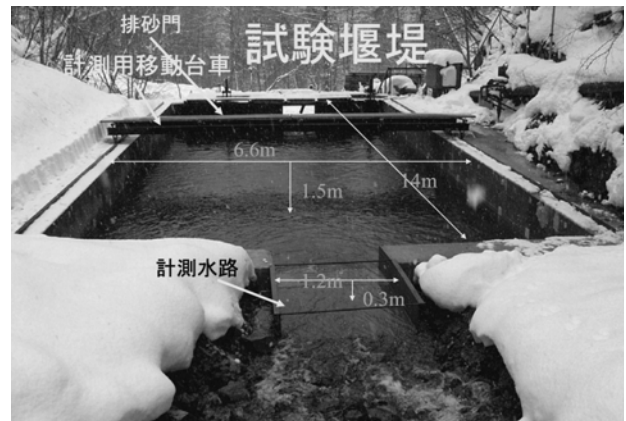


写真-24 堆砂測量等を考慮して改良された貯水池



写真-22 自動流砂計測装置の採集・計測部



写真-25 ハイドロフォンによる流砂計測

貯水池の上流に設置されたハイドロフォンと電磁流速計を示している。ハイドロフォンの検証は貯水池の堆砂量を参考にして行われている。

試験堰堤の堆砂容量には限界があり、このヒル谷試験堰堤では約 70 m³の土砂が堆積した場合、土砂出しが必要である。写真-26 および 27 に示すような土砂出しは約一年に一回ほど実施されている。この土砂出しの際に堰堤の下流の河床が大きく変動し、水棲生物の棲家にも影響を与えている。これらを評価するために、土砂出しの前後に種々の調査を実施している。写真-28 は土砂出し中の河床測量の様子を示している。

土砂流出を検討する場合、流量のデータが不可欠であり、そのために水位の観測が必要である。しかし、土砂が流出する溪流では水位測定用の堰が土砂で埋まり水位を測定することは困難である。そのために土砂の堆積が生じない水路の水深を簡便に測定するために図-3 および写真-29 に示す装置を考案した。

ヒル谷試験堰堤で観測された流量と土砂量の関係の一例は図-4 に示すとおりである。この図に示される土砂流出は流量のピークに少し遅れて発生してい

る。これは観測地点の直上流の河床に土砂の堆積がなかったことを示すものと考えられる。このようなことを検討するために図-5 に示すように、河床に形成されたプールの堆積土砂量の測定が行われている。この図は観測地点に最も近いプールの堆砂形状の時間変化を示している。山地溪流は階段状のステップ・プールが連続する河床からなっており、プール部では図-7 に示すようなプールにおける土砂の堆積変化が土砂流出に大きく影響を与えている。

出水毎に観測された流量（横軸）と土砂量（縦軸）を示したものが図-6 である。この図に示される特徴は出水ごとに流量と流砂量の関係が異なっている。この変化は前述のプールの堆積土砂量に支配されていることが明らかになった。プールの堆積土砂量の分布を調査し、その結果の一例を示したのが図-7 である。この図の横軸は下流から上流への測定区間（20m）の番号を示し、縦軸は各区間（20m）内の堆積土砂量（m³）を示したものである。この図に示されるように調査時期によって河床の堆積土砂量が変化しており、また、堆積土砂が上流から下流へと移動していることが分かる。この様に河床の堆積量が多い場合、流量と流



写真-26 試験堰堤のゲートからの土砂出し



写真-28 試験堰堤下流の河床測量



写真-27 試験堰堤の暗渠からの土砂出し

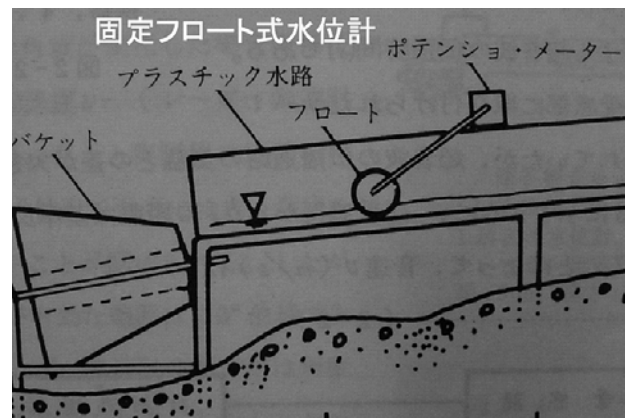


図-3 固定フロート式水位計

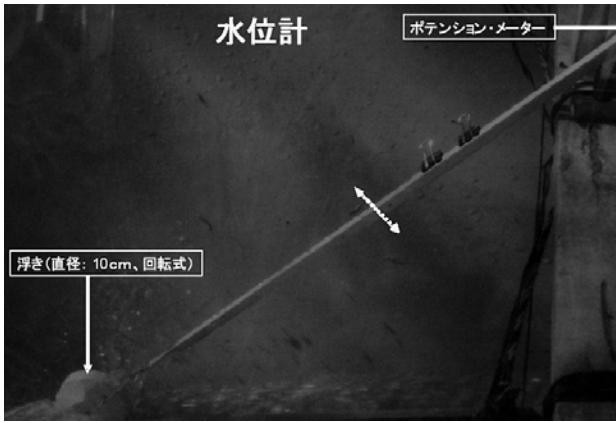


写真-29 フロート部

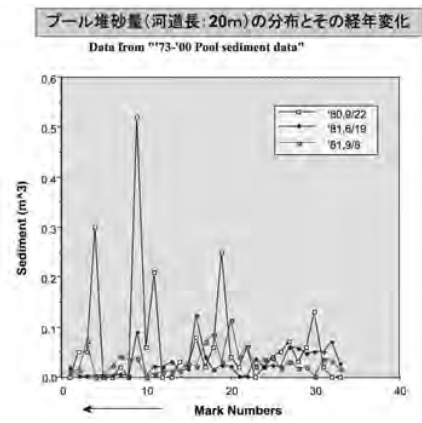


図-7 河床堆積土砂の分布 (700m)

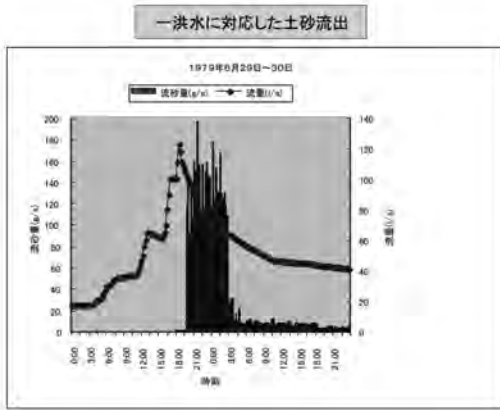


図-4 一洪水に対応した土砂流出

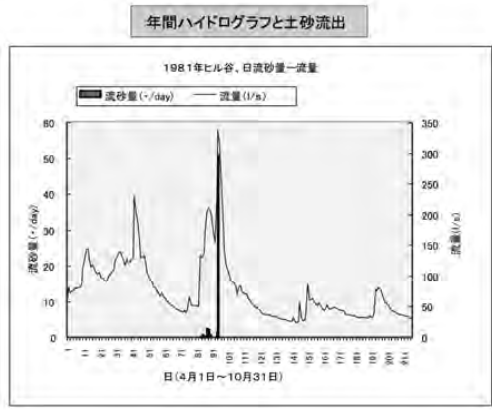


図-8 年間の出水と土砂流出

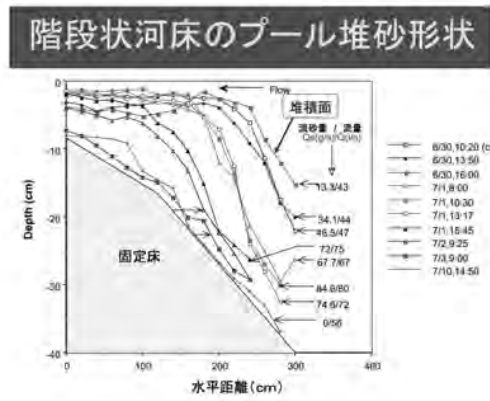


図-5 プール内の土砂堆積形状の時間変化

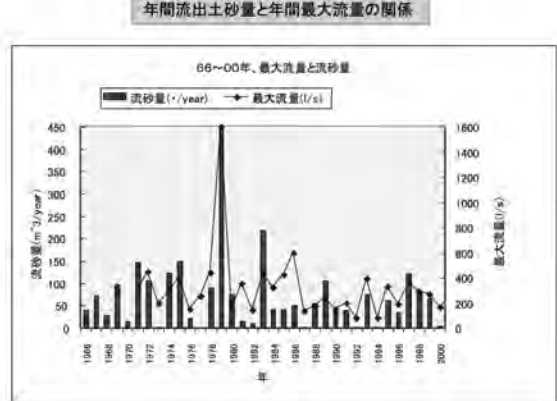


図-9 年最大流量と年間流出土砂の履歴

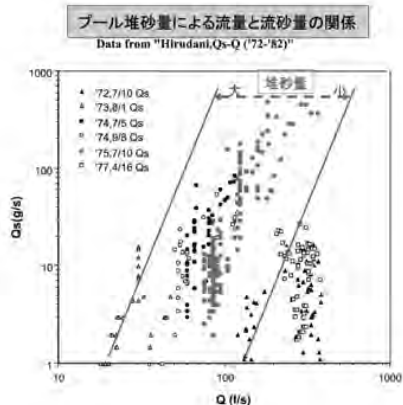


図-6 出水毎に異なる流量と流砂量の関係

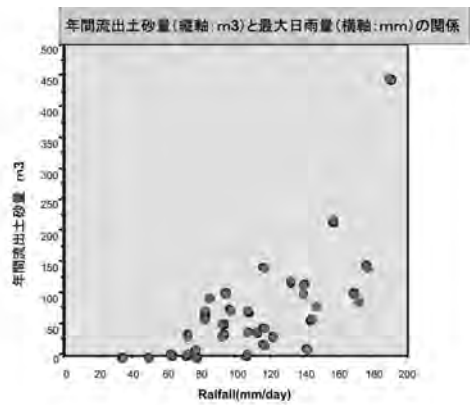


図-10 最大日雨量と年間流出土砂量

砂量の関係は左側に移動し、河床に土砂が少ない場合は右側に移動することが明らかとなった。

山地溪流において、土砂流出の発生日は年に数日と非常に短い時間に発生している例を図-8に示している。この図は、1981年4月1日から10月31日までの流量（日平均）と土砂流出（日量）を示す。

山地溪流における土砂流出量の年間履歴を見ると、図-9に示すように通年の土砂流出と十数年に一度程度の割合で大きな土砂流出が認められる。このような異常土砂流出が土砂災害の原因となる事例が多い。流域からの土砂流出の予測は、流域の防災対策にとって重要な課題である。図-10は観測による年最大日雨量と年間土砂流出量との関係を示したもので、このような関係が各流域について明らかになれば、年最大日雨量を想定することによって、その値から年間流出土砂を推定することが可能になるであろう。

3-4. 中規模溪流における土砂流出の観測

土石流や小溪流の土砂流出の観測は前述のように進められ比較的多くの溪流で実施されているが、土石流発生溪流の下流で30～50cmの礫が移動するような溪流での観測は多くの点で困難を伴い、殆ど観測の事例はないのが現状である。

ここでは、足洗谷観測水路における流砂観測を紹介し、種々の問題について検討する。図-11は観測所の横を流れる足洗谷の試験水路上流の流路状況を示している。この地点の上流域の面積は6.5km²で、付近の平均河床勾配は約1/20である。流路幅は約30mで、通常の流路幅は約3mで、河床材料の平均粒径は約10cmで、河床のアーマーコートの平均粒径は約30cmである。

観測水路はコンクリート製で長さ15m、幅5m、深

さ1mでコンクリートの厚さは50cmである。水路床の表面は、上流より5mに厚さ3cmのゴム板（ブリヂストン製）、下流端より2mに厚さ5cmのゴム板（ブリヂストン製：平成17年12月コンクリート補修時に新設）がボルトで固定され、コンクリートの磨耗の比較試験が行われている。なお、約20年間でコンクリート部が約15cmの磨耗を生じているのに対してゴムの磨耗はまったく認められなかった。

この水路は流量と流砂量を測定するために設置され、流量はこの水路に設置された超音波式水位計、ドップラーレーダー式流速計によって求められている。この水路における通常の水深は5cm程度で、水路床から5mの高さに設置された超音波式水位計では温度補正が十分ではなく、この程度の水深で正確な値を得ることは困難である。

流砂量の観測は掃流砂と浮遊砂に分けられ、前者は写真-30に示す水路に設置された写真-31に示す取り入れ口から入った土砂が図-12および写真-32に示す計測部で測定される。計測部に設置されたスクリーンによって5mm以上の砂礫と水に分けられ、下部の転倒式バケットに入った砂礫の重量が計測され、約



写真-30 足洗谷観測水路付近の状況



図-11 足洗谷観測水路付近の概要

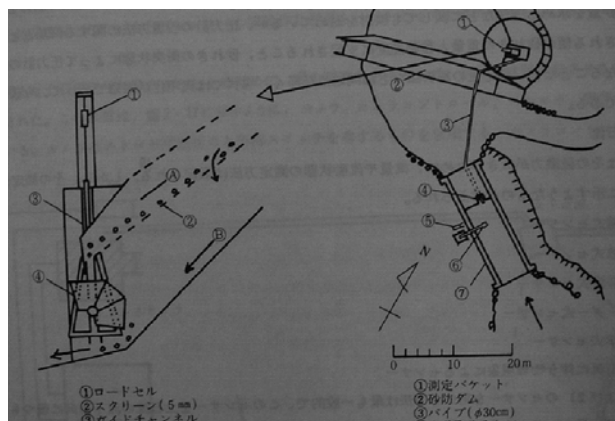


図-12 大型掃流砂計測装置の概要

100kg 達するとバケツは転倒して砂礫を排除される。この装置による測定例は図-13 および図-14 に示すとおりである。

浮遊砂の観測は掃流砂に比較して容易であるが、濁度計などの間接法では正確に浮遊砂量を測定することが困難であり、採水から有機物を除去して土砂量のみを測定する必要がある。写真-33 は自動的に泥水をサンプリングする装置で、約 100cc の泥水が 120 本連続して採集できる。そのシステムの概要は図-15 に示すように、ホースによって流水中からローラーポンプによって吸い上げられた泥水が採水装置によって採集される。

写真-34 は超音波水位計、レーダー流速計、泥水採集装置が設置された足洗谷観測水路である。掃流砂量を間接的に測定する方法として足洗谷観測水路に図-16 に示すように、水路床にコンデンサーマイクロフォンを内蔵したパイプを、パイプの 1/3 を露出させてコンクリート床に埋め込み、移動礫がパイプに衝突する音から流砂量を測定しようとするものである。写真-35 は観測水路映像とマイクロフォンの音を再生したもので、その音声の分析から土砂量を求める方法で

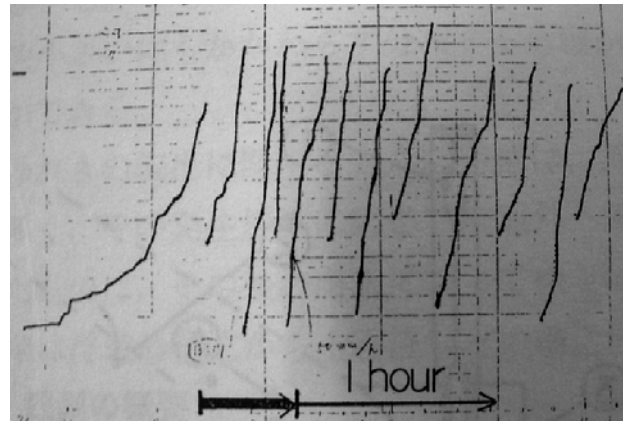


図-13 チャート紙に記録された掃流砂量

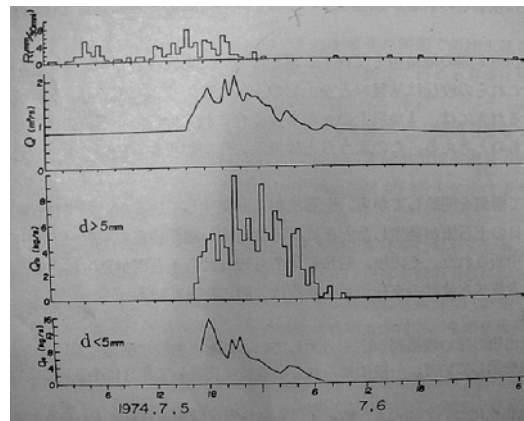


図-14 流量、流砂量の測定結果

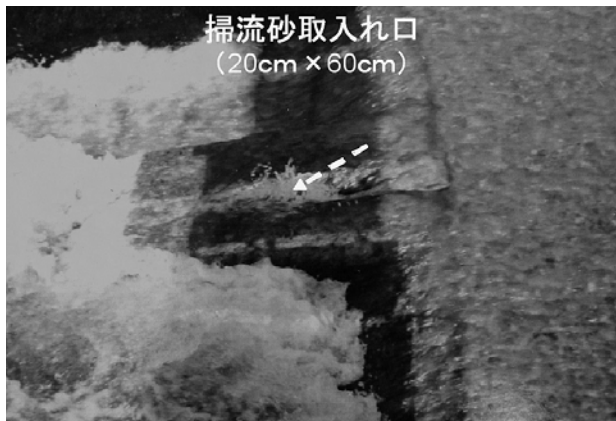


写真-31 掃流砂の取り入れ口

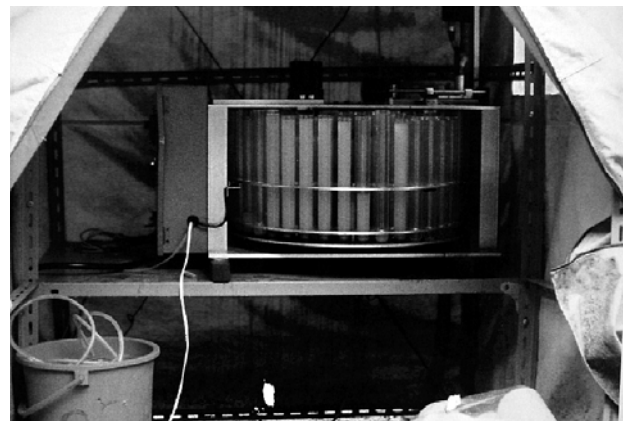


写真-33 泥水サンプリング装置

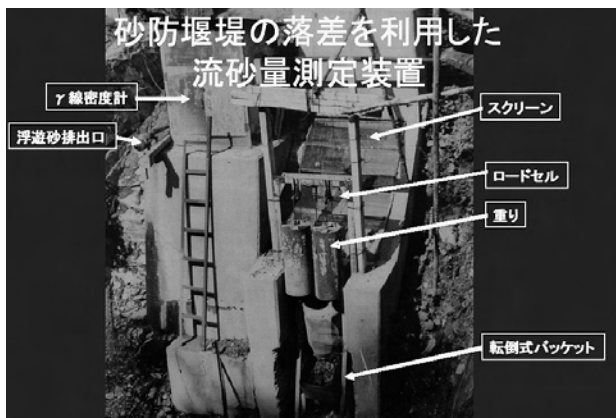


写真-32 掃流砂量測定装置

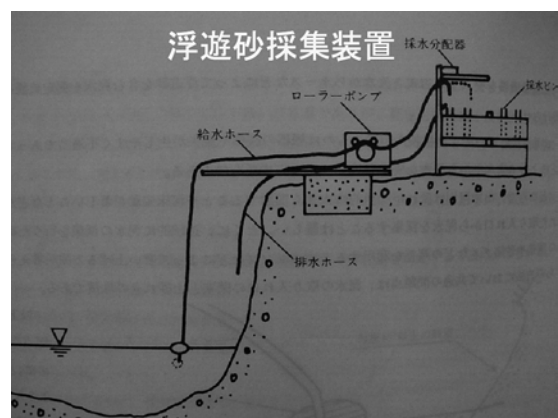


図-15 泥水採集システムの概要

あるが、音響分析等の問題点によって実用化には至っていない。

写真-36は掃流砂量測定のために新しい装置が設置された改良後の足洗谷観測水路である。写真-37は水路下流端に設置されたマイクロフォン²⁾と流砂量測定ピットを示す。このピットの底には流入土砂の重量を測定する水中加重計が設置されている。図-17はピットに入った土砂の重量とマイクロフォンの信号が示されている。この図の前半ではピット内の加重の増加とマイクロフォンの信号の大きさには相関が認められる。この図の後半ではマイクロフォンの信号が見られるのに加重に変化が認められないのは、ピット内の土砂が満杯となったものと考えられる。図-18は土砂が満杯となったピットから採集された土砂の粒径分布である。写真-38は観測水路に設置された種々のセンサーの位置を示す。

掃流砂量の観測や礫の移動および洪水中の河床変動量の観測は、古くからの課題であり、各地で種々の装置が設置されてきているが、その後の維持管理等が十分でなく期待されたような成果が得られていないのが現状である。ここに、著者が若干関わった観測装置について言及したい。

写真-39は立山砂防事務所が称名川右岸支川の出口に設置した流砂観測装置である。現在、この装置は稼働していないようである。また、観測記録も不明のようであり、今後の検討課題であろう。

他の流砂観測装置は天竜川上流河川事務所によって与田切川に設置³⁴⁾されたもので、これは計画の段階で関わったのみで、その成果については砂防学会誌等から得られる情報のみである。この施設は2000年9月に観測を開始し、洪水中の土砂と水を直接採集し、土砂量や粒径分布の時系列変化を測定している。こ



写真-34 足洗谷観測水路と観測機器

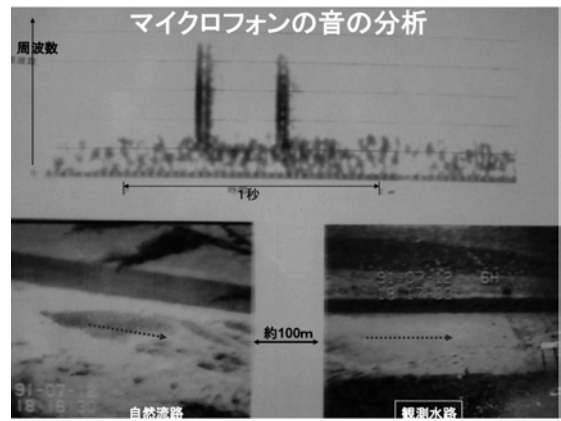


写真-35 観測水路映像とマイクロフォンの音の分析

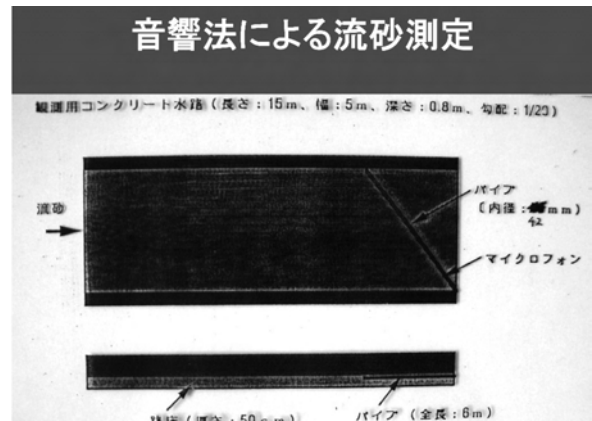


図-16 足洗谷観測水路のマイクロフォン



写真-36 改良後の足洗谷観測水路

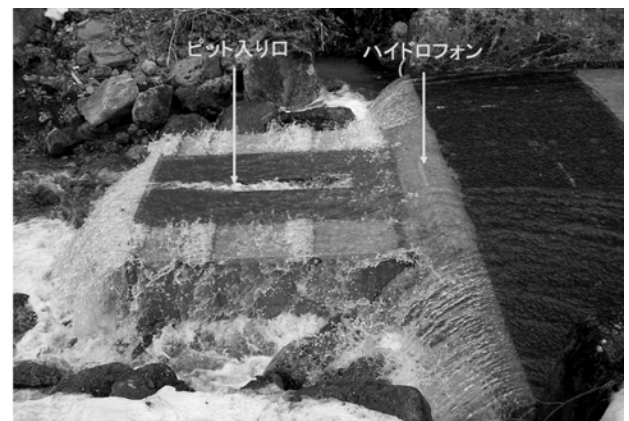


写真-37 ハイドロフォンと流砂量計ピット

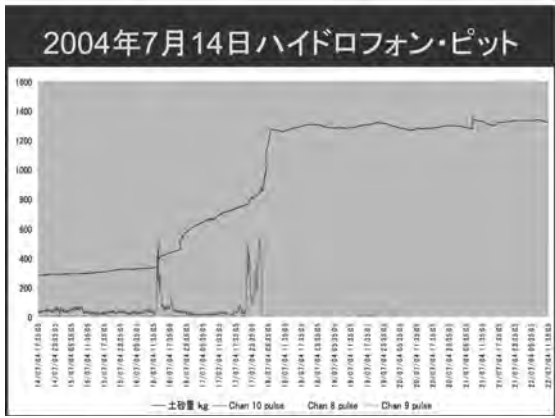


図-17 ハイドロフォンとピット内土砂の記録

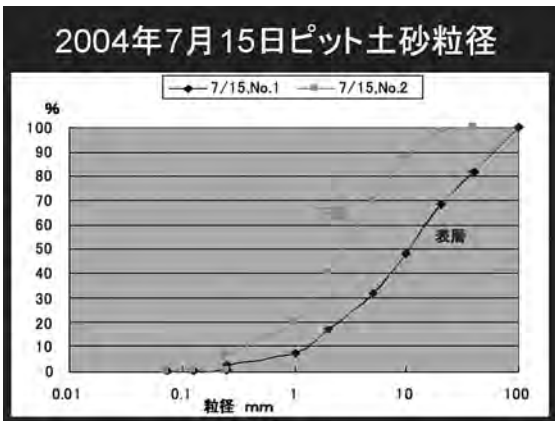


図-18 ピット内の土砂の粒径分布

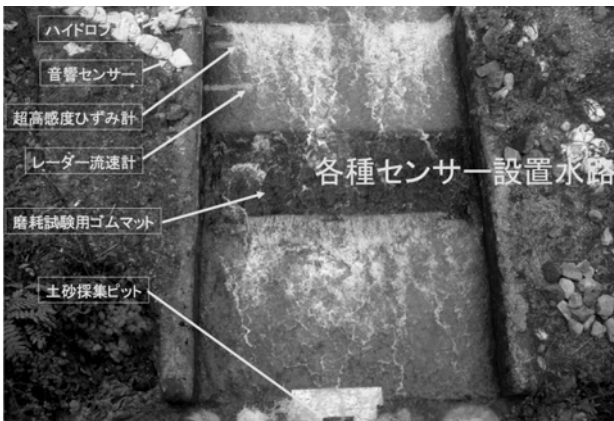


写真-38 足洗谷観測水路の各種センサー



写真-39 砂防堰堤を利用した流砂計測装置

こでも従来から提案されている流砂量式による計算と観測結果の比較がなされ、計算値との適合性が良くないことが指摘され、流砂量を単一のモデル（流砂量式）で説明することが難しく、より精度の高い土砂動態予測には、河床環境に応じてモデルを使い分けることが提案されている。ここにも指摘されているように、観測地点より上流の河床環境および斜面状態などの履歴的情報が必要不可欠である。

3-5. 土石流の観測

土石流は「まぼろしの土石流」と呼ばれ、その流動の実態には不明な点があった。そのために土石流の流動映像を得ることが重要な課題であった。TVカメラなどが生産されていない時代は、フィルム式のカメラによる撮影が求められた。図-19は8ミリシネカメラを利用した観測システムの概要である。この8ミリフィルムは約4500コマの撮影が可能で、5分間に1コマ撮影で約2週間の記録が可能である。写真-40および41の画像から明らかのように、土石流はこの画像の間に流下していることは分かる。土石流センサーによって動画を撮影することも考えられたが、長時間カメラに入れたフィルムが張り付いて動かないことが多く、このようなコマ撮り方式を採用した。

昭和50年代の後半になって、工業用TVカメラが普及し始め、写真-42に示すように足洗谷流域にもTVカメラが設置されるようになった。このTVカメラの導入によって観測所内で川の状況をモニターで監視すると同時にビデオテープに録画することも可能となった。このTVカメラシステムの導入によって多くの溪流において土石流の映像が録画され、その流動形態を示す多くの画像が得られた。現在、TVカメラは砂防工事現場や街角の監視用として広く普及してき

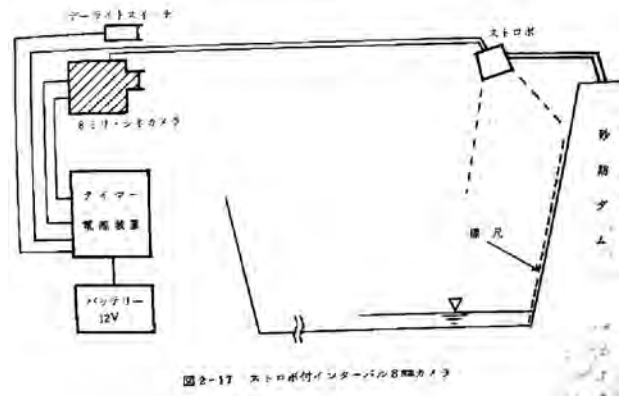


図-19 8ミリカメラ観測システム

ている。また、画像の録画はビデオテープからハードディスクなどに移行してきている。

一方、土石流観測において画像以外のデータの収集も行われてきている。土石流の表面の位置を測定するために超音波水位計や電波水位計、流速の測定にはレーダー流速計が用いられている。これらの測定は点で行われているのに対して、特殊なものとして面的



写真-40 土石流発生前の8ミリカメラ画像



写真-41 土石流発生後の映像



写真-42 白水谷源流部のTVカメラ

に流速分布が測定できる空間フィルター流速計、動画から流速分布を求める方法などがあるが、データの解析に時間が掛かるので監視用としては不十分である。

その他、土石流の流動による地中の振動などを種々のセンサーにより検知して、その移動速度や流量などを測定する方法について検討されている。なお、これらのセンサーは土石流発生を検知するセンサーとしてワイヤー式土石流センサーに変わるものと期待されている。

3- 6. 中国における土石流の観測⁵⁾

中国雲南省の北部、長江支流金沙江支川蔣家溝（東川市）では6月から8月にかけて土石流が頻発している。1991年から1998年まで、毎年、京都大学防災研究所と中国科学院東川泥石流観測所の共同研究により土石流の観測が実施された。この流域の土石流の特性は①少量の降雨量で発生、②1～3分間隔で100回程度発生、③土石流が微細粒径（80%）で構成、④流速が5～10m/s、⑤堆積勾配が約3°等である。写真43は地中に埋設された振動センサーの信号によりTVカメラが起動するシステムで、電源は太陽電池とバッテリーにより供給されている。このシステムによる土石流の撮影は種々の原因によって達成されていない。

写真-44は土石流の移動経路が広く見渡せる場所において、その移動を観測している一例で、写真-45は土石流の先端部の移動を撮影したものである。図-20および写真-46の光波距離計によって土石流表面の高さが測定できる。その一例が図-21に示されている。

土石流の流動状態は映像として捉えることが可能となったが、土石流の土砂濃度や衝撃力などを測定す



写真-43土石流撮影用TVカメラシステム

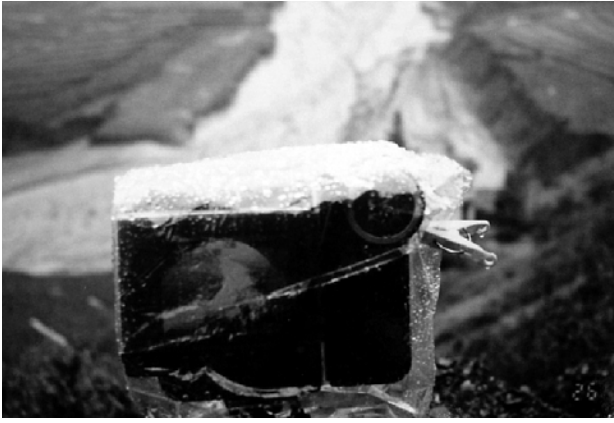


写真-44 ハンディTVカメラによる土石流の撮影

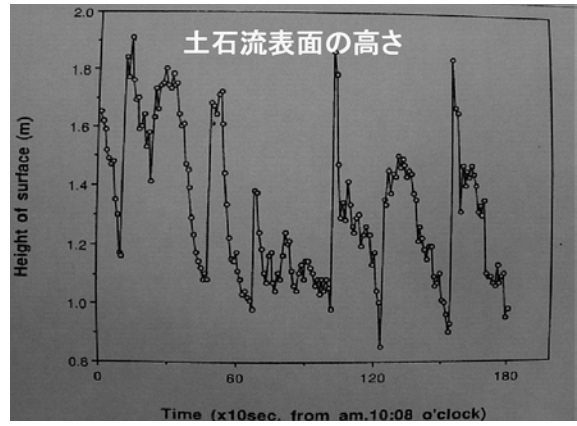


図-21 光波距離計による土石流表面の高さの変化

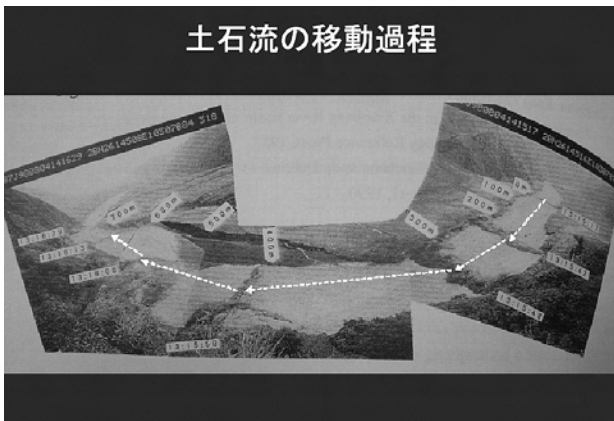


写真-45 土石流の先端部の移動

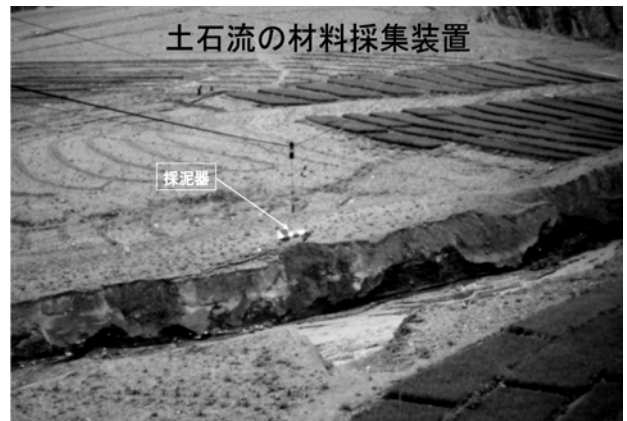


写真-47 索道による採泥器の移動 (中国雲南省)

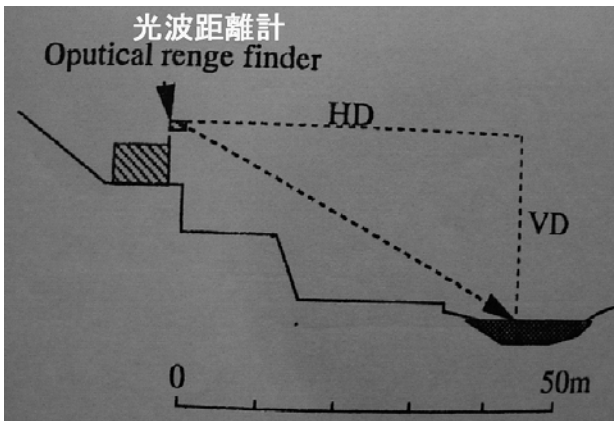


図-20 光波距離計による高さ (VD) の測定



写真-48 採泥器



写真-46 光波距離計 (ミラーなし)



写真-49 採泥装置から泥水の採集

ることは非常に困難である。ここでは索道を使って直接土石流から土砂を採集する方法が採用されている。このような方法は日本では見られないもので、操作には最低3名の人員が必要である。写真-47は索道に取り付けられた泥流採集器が移動しているところで、写真-48は泥流採集器が回収されたところで、写真-49は泥流を容器に採集しているところである。この様にして採集された泥水を分析することによって土砂濃度や粒径分布を明らかにすることが出来る。

4. おわりに

最近、各分野で[戦略的〇〇]などと言った表現が目につくことが多いが、観測・調査は情報分析の基礎をなすものであり、このデータが十分でなければ最終的に戦争に勝利することは出来ないであろう。このように観測は短期的・長期的に、その目的に適した手法、対象範囲および精度を考慮したものでなければならない。単に一時的な思い付きで行われるものではないと考える。しかし、あまり重要でないと思われるものでも長期間継続されると、それなりに重要な意味を持つようになるので継続することにも十分意義がある。一方、流砂観測データ集において内容の記載がない場合、その取り扱いは非常に大事である。たとえば観測を実施したのに流砂が無かったので記載が無いのか、測定できなかったのに記載が無いのか、または流砂があったのに観測しなかったのに記載ないのかの記録も大切である。

なお、他の地域における観測との連携により観測成果の価値が高まることも十分期待される。観測・調査のための機器の開発は日進月歩であり、今後の課題は、それらの機器をどの様に使いこなすかであり、かつ流砂現象などの自然現象を観る技術や技能の伝承であろう。

参考文献

- 1) 澤田豊明:山地流域の土砂流出に関する研究、京都大学学位論文、1985.
- 2) 小田 晃ほか:ハイドロフォンによる流砂量計測の水理模型実験への適用、砂防学会誌、第58巻、第2号、pp.15-25,2005.
- 3) 浦真ほか:与太切川における流砂の計測－流砂系モニタリングのために－、砂防学会誌、第54巻、第3号、p.81-88,2001.
- 4) 三上幸三ほか:与太切川の流砂量観測結果から見た洪水規模による流砂特性の変化について、平成16年度砂防学会研究発表会概要集、p.16-17,2004.
- 5) Tamotsu TAKAHASHI et al.: Japan-China Joint Research on the Prevention from Debris Flow Hazards, Research Report of the Grant-in-Aid for Scientific Research The Japanese Ministry of Education, Science and Culture International Scientific Research Program o.03044085, March 1994.