

総合的な流域土砂管理—砂防分野での取り組み—

Integrated management of catchment-scale sediment movement in a field of Sabo Project

寺田 秀樹

Hideki TERADA

1. はじめに

近年海岸侵食や河川下流部の河床低下、橋梁等の構造物基礎の洗堀などが、河川管理上深刻な問題として捉えられている。またその他にも山地・山麓部や扇状地での河道侵食や土砂堆積に起因する問題が発生している(図-1)。平成10年7月に河川審議会総合土砂管理小委員会の答申「流砂系の総合的な土砂管理に向けて」¹⁾では、これらの流域内の土砂問題を解決するためには、流域を山地から沿岸漂砂域まで一貫する「流砂系」の問題として取り扱うこと、そして流砂系全体としての総合的な土砂管理計画を策定し、的確な対策を講ずることを提言している。また現在流砂系における土砂移動の量と質(粒径等)についての予知・予測が精度良くなされていないため、それらのモニタリングを行うと共に、予知・予測精度の向上をはかることとしている。

本論では砂防分野における、流砂系の総合的な土砂管理のための取り組みについて紹介する。まず砂防事業が主に対象としている山地での急勾配河川における土砂動態の実態について既往の資料に基づいて検討し、土砂管理上砂防事業の行うべき取り組みの方向性を明確にする。次に総合的な土砂管理を行うための、新たな砂防基本計画について説明する。そして総合的な土砂管理を具体的に実施するための方策について説明し、最後に砂防分野において取り組んでいる流砂系モニタリングの例について紹介する。

2. 山地河川における土砂移動実態

(1) 姫川水系浦川

1) 流域の概要(図-2)

姫川水系浦川は北アルプス東面を流下し、姫川中流部に流入する河川である。流域面積約22

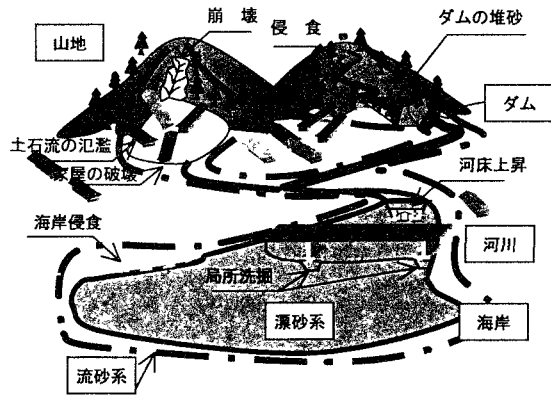


図-1 流砂系内の土砂問題

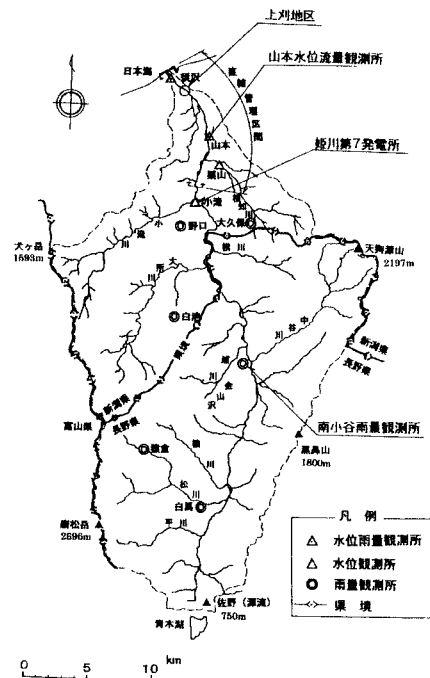


図-2 姫川平面図

km²、流路延長 12km、平均河床勾配は 1/6 である。浦川は源頭部に大規模な崩壊地を有していて歴史的にも大規模な土砂生産が何度か記録されている。本論では姫川水系の流域で広範囲に土砂災害を発生させた平成 7 年 7 月の出水前後の河床変動等について述べる。

2) 平成 7 年 7 月出水前後の河床変動実態²⁾

既往資料をもとに、平成 7 年 7 月の姫川大出水前後の河床変動状況について検討する。図-3 に浦川上流の支川である金山沢の平成 4 年 10 月と、出水直後の河床縦断を比較する。これより金山沢はほぼ全川にわたって河床低下が顕著であり、平成 7 年 7 月出水時にこの河道区間からの土砂生産・流出が激しかったことがわかる。また図-4 に浦川本流中下流部の平成 5 年 3 月と、出水後の平成 8 年 3 月の河床縦断形について比較する。浦川本川においては中流部の砂防堰堤の堆砂地において河床が上昇しているが、下流部は河床低下傾向である。つまり浦川の大出水時の土砂移動については、山腹の斜面からの土砂生産・流出もあると考えられるが、河道部分の侵食による土砂生産・流出も激しい。そしてそれらの土砂の一部は中流部の砂防堰堤の堆砂地に堆積するが、基本的には姫川合流点まで河道部分からの侵食による土砂生産・流出が卓越している。

3) 粒径の縦断変化と粒径分布の縦断変化²⁾

浦川の平成 3 年及び 8 年の河床材料調査結果より、河床材料及び崩壊地内土砂の粒度分布の縦断方向の変化について検討する。図-5 は 50% 粒径と 90% 粒径の縦断方向の変化を示している。この図からは特に明瞭な縦断方向の変化の傾向は認められない。しかし図-6 の粒径別含有率の縦断方向の変化を見てみると、特に 19mm 以上の粒径階分の含有率が上流から下流に行

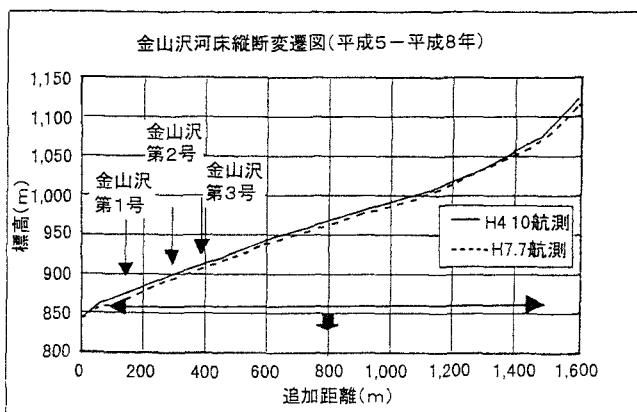


図-3 平成 7 年 7 月出水前後の金山沢における河床縦断形状の比較

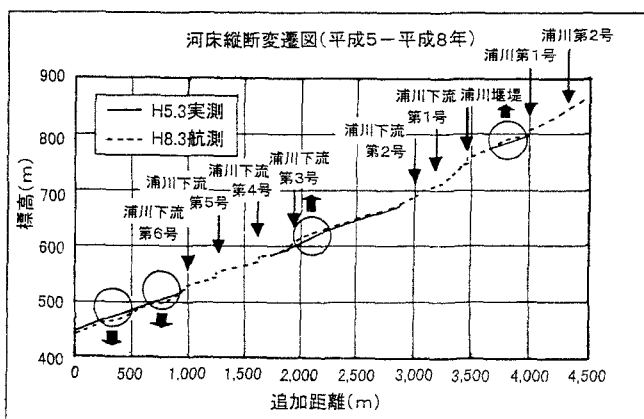


図-4 平成 7 年 7 月出水前後の浦川本川中下流部の河床縦断形状の比較

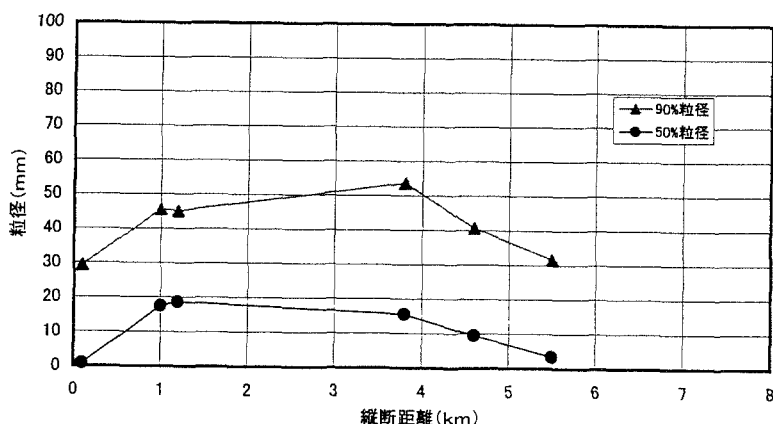


図-5 浦川における粒径の縦断変化

くに従って大きくなること、また逆に 19mm 以下の粒径階成分の含有率が下流に行くに従って小さくなることからわかる。特に崩壊地内の地山から採取した土砂が 19mm 以下の粒径の小さな成分を多く含むことを考えると、土砂生産源の地山には多量に存在した粒径の小さな成分は、急勾配条件の浦川の水利条件下では容易に流下し、河床に堆積する成分が少ないと考えられる。

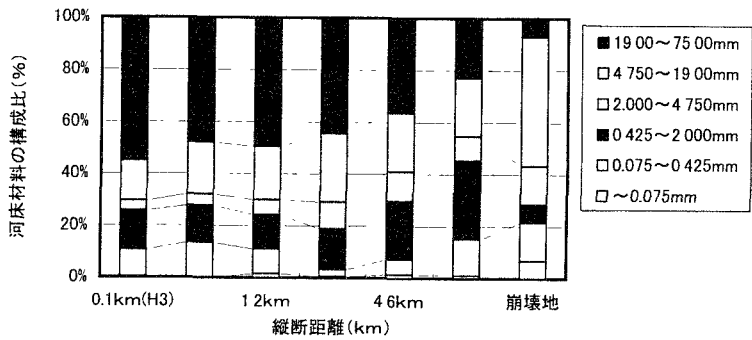


図-6 浦川における粒径別含有率の縦断変化

(2) 天竜川水系小渋川

1) 流域の概要 (図-7)

小渋川は天竜川の支流で、流域面積 295km²、本川沿いの流路延長 31.8km 及び平均河床勾配 1/12.5 である。また下流部に昭和 44 年に竣工した小渋ダムがあり、そこで上流からの土砂はほとんど捕捉されている。

本論では当流域で発生した、山腹崩壊による生産土砂量が約 4,700 万 m³であった、昭和 57 年 8 月、9 月の出水と、昭和 58 年 9 月の出水前後の土砂動態について述べる。

2) 昭和 57, 58 年の出水前後の河床変動実態³⁾

昭和 57 年及び 58 年の出水による土砂動態に

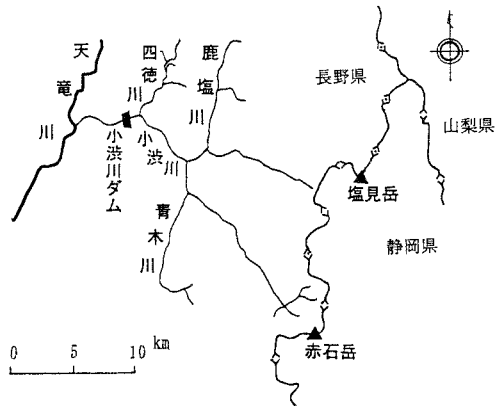


図-7 小渋川平面図

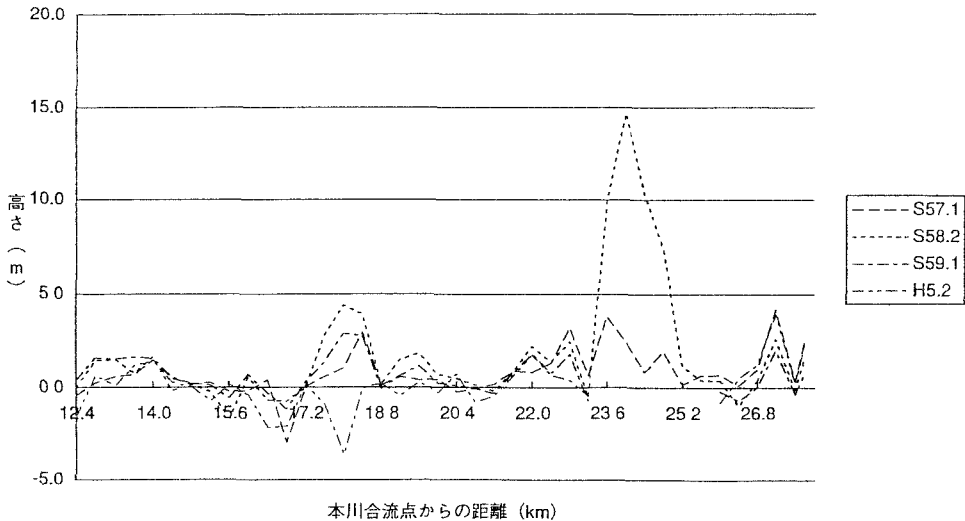


図-8 小渋川本川の河床変動状況

ついて、小渋ダム末端より上流の、小渋川本川の河床変動実態から検討する。図-8 は小渋川本川の 12.4km から上流の、昭和 52 年 11 月時を基準にした、昭和 57 年 1 月、昭和 58 年 2 月、昭和 59 年 1 月、そして平成 5 年 2 月の平均河床高の変動量である。12.4～14.4km では昭和 52 年よりいずれの年も河床が高くなっている。これは 14.4km 付近で左支川青木川が合流しているため、昭和 57、58 年の出水時の流入土砂の堆積によるものと考えられる。14.4～17.2km 付近では昭和 52 年に比べて河床低下傾向にあるようである。この区間の上流には上蔵砂防堰堤があり、これによって上流からの流送土砂が捕捉されているためと考えられる。17.2～23km 区間は砂防堰堤が連続して配置されている区間である。この区間においては昭和 57 年、58 年と河床が大幅に上昇している。これは両年に発生した出水による流送土砂が砂防堰堤に捕捉されたためと考えられる。そしてその後徐々に河床は低下して、ほぼ昭和 52 年レベルに河床は戻っている。ここで 17.2～18.8km においては平成 5 年に河床が大幅に下がっているが、ここは上蔵砂防堰堤の堆砂域であり、昭和 51 年から断続的に実施されている砂利採取によるものと考えられる。23km より上流では昭和 57 年及び 58 年の出水により大量の土砂が堆積した。一部昭和 59 年以降のデータが存在しないため不明であるが、最上流部では昭和 57 年以降常に河床が高い状態となっていて、昭和 57、58 年の出水時及びその後の中小出水による山腹斜面からの土砂供給の存在を示している。23.6km 付近の大幅な河床上昇は右岸からの支川があり、主に昭和 57 年の出水時の土砂が大量に流入したためと考えられる。

以上より昭和 57、58 年の大出水による土砂が河床に堆積し区間全体にわたって河床上昇をもたらした。その後 23km より下流では支川の合流点付近を除いて河床が低下傾向を示し、平成 5 年になって昭和 52 年レベルに戻っている。つまり河床土砂の流出が長期間にわたり、河床位は 10 年以上かかって災害前のレベルに戻っている。23km より上流は源流域であり、昭和 57、58 年出水及びその後の山腹斜面等からの土砂供給があり、河床上に堆積する傾向である。

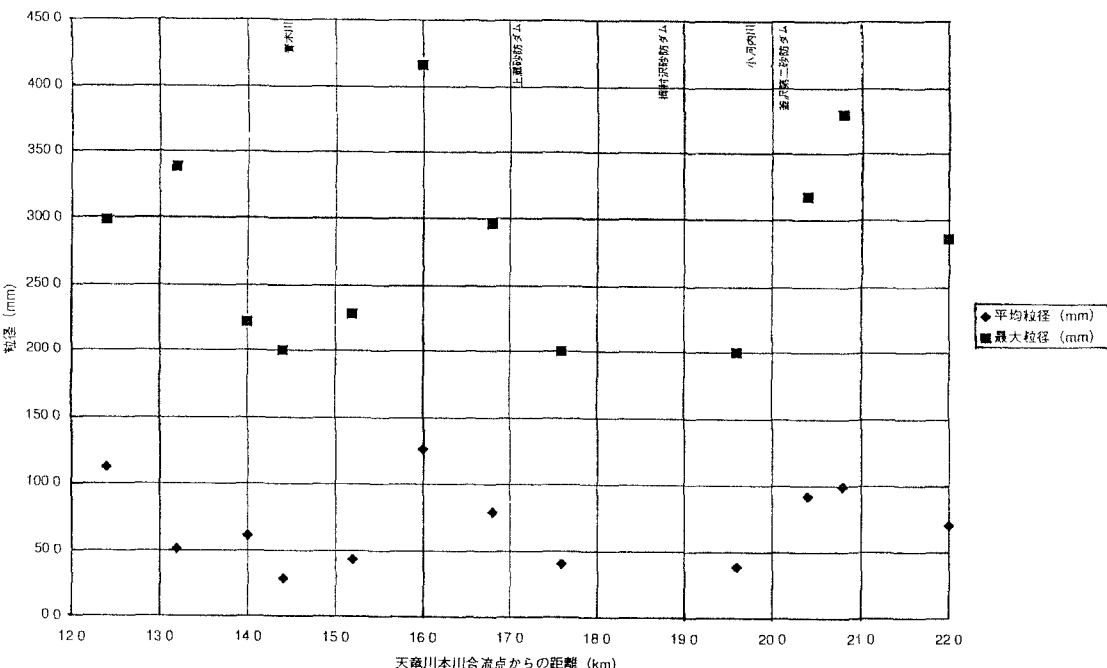


図-9 小渋川本川縦断方向の河床材料の代表粒径の変化

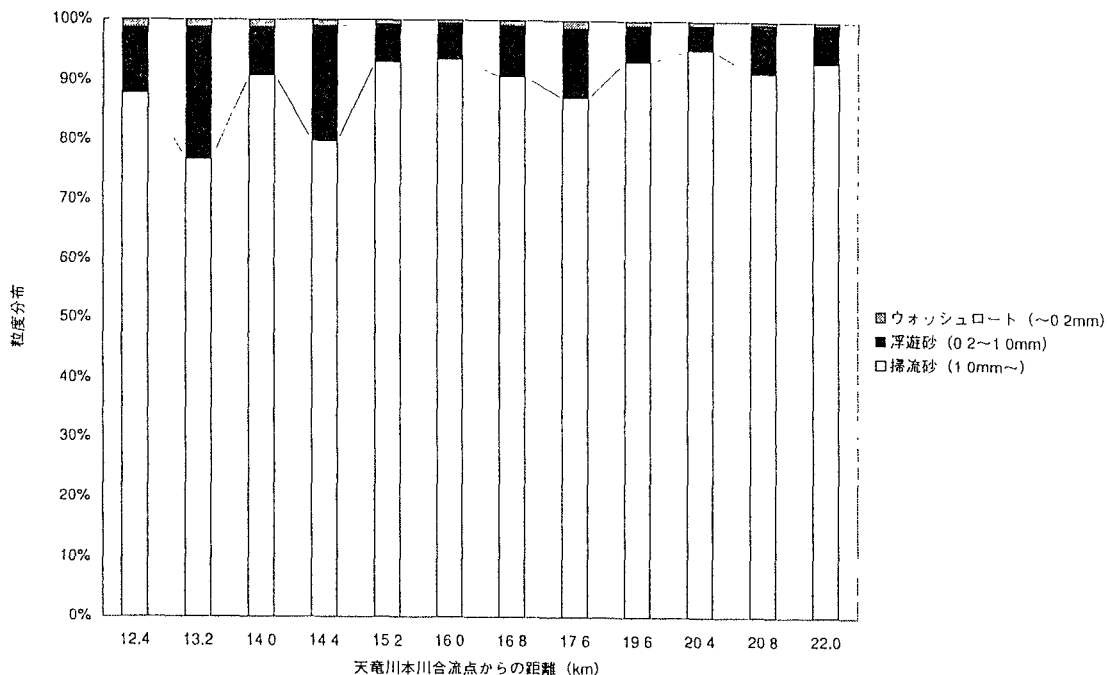


図-10 小渋川本川縦断方向の粒度分布の変化

3) 小渋川本川の河床材料の粒度分布⁴⁾

小渋川本川の小渋ダム貯水池末端上流域における河床材料の河床材料の粒度分布について、昭和 46, 50, 52, 60 年の調査結果を元に検討する。図-9 に平均粒径及び最大粒径の縦断方向の変化を示す。また図-10 に浮遊砂・ウォッシュロード成分として流下すると考えられる 1.0mm 以下の細粒分含有率の縦断変化を示す。最大粒径や平均粒径は縦断方向に特に傾向は見られないが、細粒分含有率は下流ほど大きくなる傾向がある。特に 14.4km で青木川が合流するが、その下流で細粒分含有率が高くなる。これは支川合流点下流に細粒分が堆積しやすくなること、及び河床勾配が小さくなると細粒分が堆積しやすくなることによると考えられる。

(3) 釜無川

1) 流域の概要 (図-11)

釜無川は富士川本川であり、南アルプス北端の鋸岳山塊に発し、甲府盆地南端において最大の支流である笛吹川を合わせて富士川と名前を変える。富士川はその後山梨県南部の山間部を流下して駿河湾に注いでいる。釜無川には右岸側の南アルプスから流川、神宮川、尾白川、大武川、小武川などの土砂流出の激しい支川が合流している。その流域面積は 1,133km²、本川沿いの流路延長 63.3km で平均河床勾配が約 1/25 である。本論では 2,150 万 m³ の土砂生産によって、大武川、小武川などから大量の土砂流出があり、多くの人的・物的損害をもたらした昭和 34 年 8, 9 月の災害後の長期的な河床変動について述べる。

2) 昭和 34 年の災害後の中長期的な土砂移動実態⁵⁾

図-12 に釜無川下流部の、昭和 32 年から昭和 55 年までの河床変動状況を、各々の断面の堆積・侵食による変動量により表している。検討対象区間は上記の土砂流出の激しい支川が合流した下流の区間である。これを見るとまず昭和 32～35 年にはほとんどの区間で土砂が堆積し、河床上昇が生じている。これは昭和 34

年の災害により、この区間の上流に位置する支川から大量の土砂が流入して、本川内に堆に堆積したためと考えられる。その後昭和 35～40 年、40～45 年、45～50 年と、その変動量は小さくなっていくものの、この区間のほとんどで侵食が生じ、河床が低下している。この河床低下傾向は、その後昭和 55 年頃まで継続している。つまり昭和 34 年災害時に支流から流出した土砂は一旦本川河道内に堆積し、その後 15 年程度かかって侵食され、下流に流出している。

(4) 山地河川における土砂移動の特徴

山地河川における土砂移動を把握するために、姫川水系浦川、天竜川水系小渋川、そして富士川水系釜無川における大出水後の河床変動と、河床材料の粒度組成について検討した。その結果以下のような特徴が判明した。

- ・ 姫川水系浦川は流路延長 12km、平均河床勾配が 1/6 と非常に短く急勾配な、山地河川の源流域の溪流であるが、大出水時には

土砂生産は山腹斜面からのみでなく、河道侵食によっても発生し、河床が低下した。また河床材料の粒度分布については、山腹斜面では細粒分含有率が高いが、河道内の河床材料の細粒分含有率は低い。これは急勾配区間であるため、山腹から供給された細粒土砂が、河床に堆積せずに、浮遊砂となって下流に流出していくためと考えられる。

- ・ 天竜川水系小渋川や富士川水系釜無川など、流路延長が 30～60km で平均河床勾配が 1/10～1/30 程度の、急勾配河川の上～中流部における、2,000～5,000 万 m³ 規模の量の土砂移動について、その動態を見てみると、大出水時に生産された土砂はまず一旦河床に堆積し、その後長時間をかけて流下していくと考えられる。今回検討した小渋川や釜無川の場合、10 年から 15 年程度かけて流下したようである。また河床材料の粒度分布については、小渋川について今回検討した区間においても、下流へ行くにつれて細粒分含有率が高くなるようである。

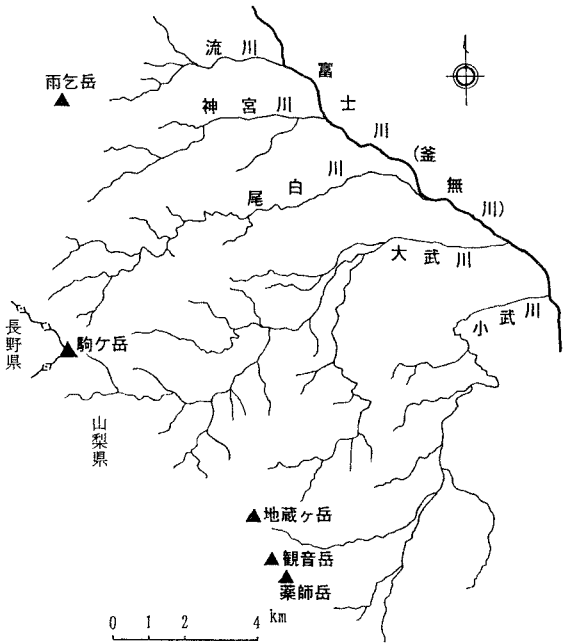


図-11 釜無川平面図

3. 新しい砂防基本計画について

(1) 現行の砂防基本計画の問題点

現行の砂防計画においては、年超過確率で評価される降雨により生産・流出すると想定される土砂量を計画生産土砂量及び計画流出土砂量とし、そのうち計画基準点から下流に対して無害、かつ必要な土砂として流送すべき計画許容流砂量を差し引いた土砂量を計画超過土砂量として、土砂処理計画の対象量として定めている⁹⁾。よって以下のような問題点が明らかになってきた。

- ① 計画が時間軸を有しないため、大出水により生産された土砂量がすべて計画対象となり、一出水ですべて流出するとしている。しかし上述のように大出水時に生産された土砂は、その後長期間にわたって中小出水によって間欠的に流下するため、このような計画の基本的な考え方は実際の土砂移動現象と異なっている。
- ② 現行の計画は土砂収支に基づいているため、土砂の質（粒径）が考慮されていない。実際は上述のように細粒土砂は上流の急勾配区間では流下し、緩勾配となる中下流で堆積するというように、粒径によって

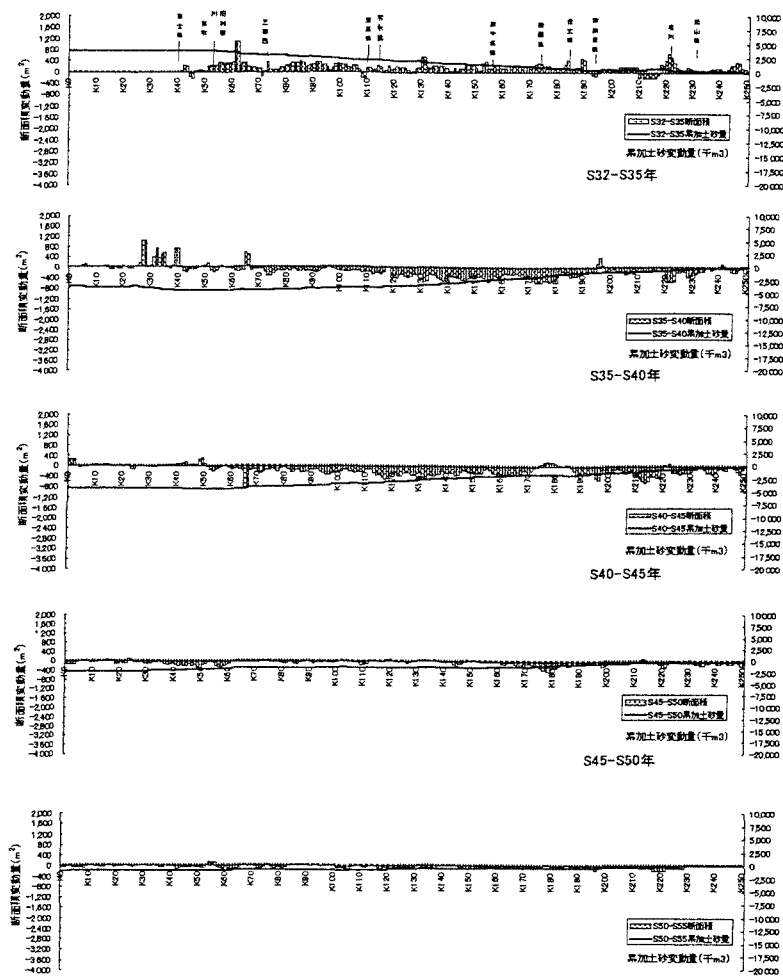


図-12 釜無川本川の昭和 32～55 年間の河床変動量

土砂の運動形態に差異があるため、それを計画論上も考慮する必要がある。

③ 現行の基本計画は大出水時の土砂移動のみを対象としていて、平常時における下流の河川・海岸の領域への影響を考慮していない。特に下流部の河床低下や海岸侵食が顕在化しているような流域においては、上流の砂防の領域から土砂を供給することが望まれているため、従来のように計画基準点上流部のみの土砂移動を対象とするのではなく、計画基準点下流部からのニーズ（必要としている土砂の量と粒径など）を考慮した計画が必要である。

(2) 新しい砂防基本計画の概念

以上のような問題点を解決するために、砂防基本計画に短期・中期・長期といった時間の概念を導入し、短期的な洪水による土砂移動現象と、その後の中長期的な中小出水による土砂移動現象の両方を取り扱うこととすること、そして場所的・空間的な土砂移動現象を粒径別に考慮し得るようにすることが必要となる。

ここで新しい砂防基本計画の考え方の一例を紹介する（図-13）。短期・中期・長期の時間スケールは、概ね次のように定義することができる。

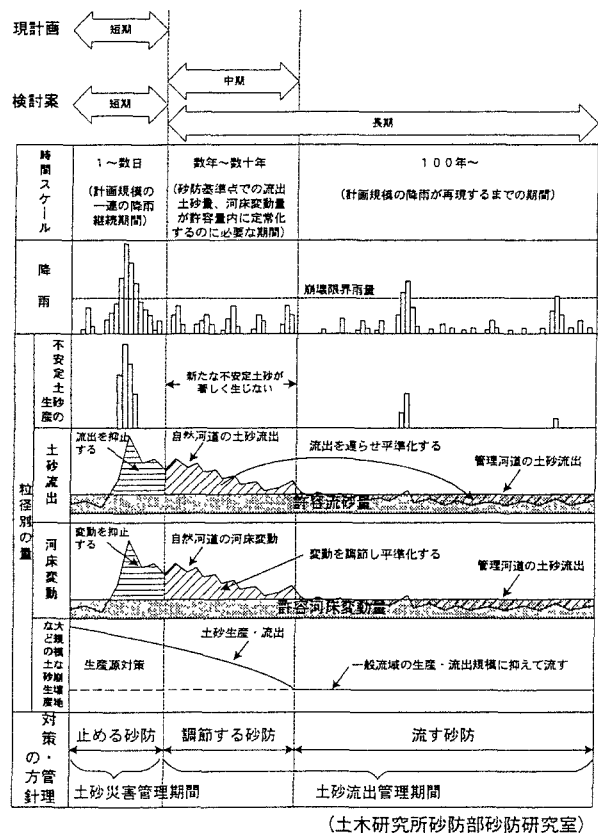


図-13 新しい砂防基本計画の概念

短期：計画規模の一連の降雨（洪水）が継続する期間

中期：砂防基準点での流出土砂量、河床変動量が許容量内に定常化する期間

長期：計画規模の降雨（洪水）が再現するまでの期間

降雨は、短期においては計画規模の降雨が発生する。中期においては新たな不安定土砂生産が発生しない程度の降雨が継続するものと仮定し、その後の長期においては中小規模の土砂生産が発生するような降雨規模を想定する。

自然河道（砂防設備の入っていないあるいは不十分な状態）では、土砂流出は短期において計画基準点で許容範囲を超える土砂流出が発生し、中期においては不安定土砂の生産は発生しないものの、河道内に一時貯留された不安定土砂が小規模な出水で流出し、計画基準点において許容範囲を超える土砂量が流下する。また、長期では、計画基準点での土砂流出が許容流砂量以下で定常化するが、下流への土砂流出が必要量より小さくなり、下流において河床低下が生じる。

新しい砂防基本計画においては、計画基準点における流砂量及び河床変動量を、短期・中期・長期に渡って許容流砂量・許容河床変動量内に制御することを目指す。そして各時間スケールにおける土砂の管理目標を以下のように設定する。

- ・短期：止める砂防

自然河道と計画河道の土砂流出の差となる超過土砂量は、短期においては流域内あるいは河道内で流出を抑止する。

・中期：調節する砂防

中期においては河道内に一時貯留された不安定土砂の流出を遅らせ平準化し、計画基準点において許容量まで抑制する。

・長期：流す砂防

長期においては下流へ必要十分な量の土砂供給を行うことを目的に、中期において調節した（流出を遅らせた）土砂をこの期間に流下させる。特に下流において侵食などの問題が発生している場合は、粒径の小さい土砂を下流に供給することが必要とされているので、その目的を達成できるように土砂を流下させる。

長期の期間が極めて長くなる場合は、中期において調節した土砂量では供給不足となる時期が訪れるが、その時期以降には砂防堰堤の堆積土砂を放流することにより不足量を補填する。

対象とする流域に恒常的な土砂生産が繰り返される大規模な土砂生産源がある場合は、短期から中期にかけて土砂生産源対策を進め、生産抑止（止める砂防）を目的とする。

以上が新しい砂防基本計画の中でも、時間と量に関する土砂移動現象及び土砂処理方針の概念である。この他に質（粒径）も考慮する必要がある。つまり新しい砂防基本計画では、時間的・場所的な移動土砂の粒径分布の変化を考慮する必要がある。

以上が新しい砂防基本計画の考え方の一例である。

(3) 新しい砂防基本計画の策定方法

1) 土砂移動実績とその分析

過去の土砂移動によって発生した災害等において、その土砂移動現象について分析を行い、複数の土砂移動現象を時系列的に整理・把握する。対象とする土砂移動現象は、短期に対応する顕著な災害を発生させたイベントないしは災害をもたらすことがなくても大規模な土砂移動現象と、中長期的な土砂移動現象である。また検討対象現象の数はできるだけ多いことが望ましい。

短期の土砂移動現象については、まず過去の土砂災害記録から土砂移動現象を時系列的に把握する。そして中長期の土砂移動現象は、主に河床変動測量等のデータから把握する。

土砂移動現象の分析は、その後のモデル化を念頭に置き、特に① 粒径と発生時間をも考慮した生産土砂量、② 粒径及び時間をも考慮した流出土砂量、③ ハイドログラフ設定のための降雨・流量データ、④ 土石流・掃流などの土砂移動形態とその時間的・場所的变化、に着目して行う。

2) 計画対象現象の設定

土砂移動現象とその分析結果をもとに、対象流域の地域特性等を踏まえ、発生しうる一連の土砂移動現象とそれによりもたらされる災害を複数抽出

・設定し、計画シナリオとする。その中から砂防基本計画で対象とする土砂移動現象を計画対象現象として設定、表現する。

ここで新しい砂防基本計画においては、時間・量・質（粒径）・場所の観点を有する土砂移動現象を計画対象とするために、河床変動計算による現象のモデル化を行う。よって計画シナリオについても、

① 粒径と発生時間をも考慮した生産土砂量、② 粒径及び流入タイミングを考慮し

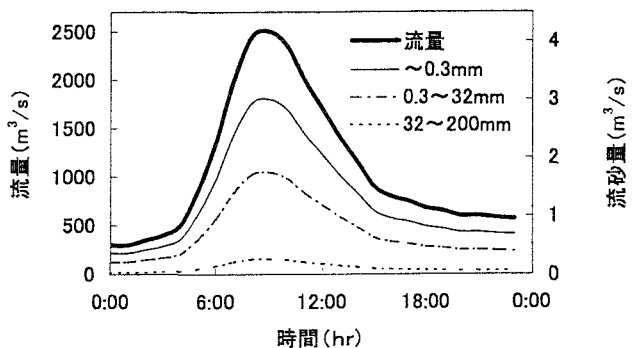


図-14 粒径別の土砂ハイドログラフのイメージ

た流出土砂量、③ 流出解析等により設定したハイドログラフ、④ 時間的・場所的変化も含めた土砂移動形態、⑤ 以上より設定した粒径毎の土砂ハイドログラフ、の各要因について実績に基づいた分析を行い、各々の要因について考える限り挙げ、それらを組み合わせて設定することになる。ここで土砂ハイドログラフとは横軸に時間、縦軸に土砂流量をとったものである（図-14）。

以上のように設定した複数の計画シナリオに基づいて、河床変動計算による検討を行い、各々の計画シナリオで表される土砂移動現象により生ずる流域への被害想定を行うと共に、地域特性や災害履歴なども総合的に勘案しながら、比較検討を行い、計画対象現象を設定する。この時流域が広範囲な場合や、支川内に保全対象が存在する場合など、異なる計画シナリオにより複数の箇所で大規模な被害が発生する場合がある。このような場合計画対象現象は複数設定する必要がある。また短期で設定した大出水のみならず、中期の土砂移動現象によっても甚大な被害が発生することもあるので、中期の土砂移動現象についても計画シナリオに組み入れて検討する。

3) 計画諸元

砂防基本計画の規模は、短期で発生する大出水として設定した計画対象現象である。しかし便宜的に降雨の年超過確率で表すこととする。中期の計画規模は一般に過去の実績流量とする。計画期間については、図-14のように、計画対象として設定した大出水の発現期間を短期、計画対象現象で定めた土砂生産・流出の影響期間を中期、計画規模が再現するまでの期間を長期とする。

また適切な砂防事業実施を管理・評価するために、計画基準点及び補助基準点、そして流域内の土砂移動状況が適正な状態にあるかどうかを評価するために評価点を設ける。

計画対象土砂量については、計画生産土砂量、計画流出土砂量、計画通過土砂量を設定する。これらの土砂量は時間的な変動及び粒径分布を含むもので、本来は土砂ハイドログラフで表現すべきだが、便宜的に土砂量と呼ぶこととする。計画生産土砂量は崩壊、地すべり、土石流などとして山腹斜面から河道に供給される土砂とし、計画期間ごとにそれぞれ設定する。ただし中期の計画生産土砂量は、その定義から設定されることはない。計画流出土砂量は計画期間毎に設定されるもので、計画生産土砂量と、降雨流出解析によるハイドログラフ、そして時間的・場所的変化も含めた土砂移動形態を考慮して定めた粒径毎の土砂ハイドログラフのことである。特に計画流出土砂量には河床堆積物の移動や溪岸侵食による河道への供給土砂も含まれることになる。新しい砂防基本計画において、砂防事業の進展の指標となるのは、計画基準点及び評価点における河床変動高であり、河道管理上問題のない範囲に河床変動高の変化を押さえることを目標とする。計画通過土砂量は、計画基準点においてこの許容変動高以内に河床変動高を押さえるために許容される流送土砂量である。

以上より、砂防基本計画において整備すべき目標の土砂の量、質（粒径）、そしてその時間的変動が決定される。特に計画基準点及び評価点においては、それらは河床の許容変動高に基づく計画通過土砂量であり、これを超える過剰な量の土砂を対象に、土砂処理方針を定める。この土砂処理方針に基づき、計画対象現象に対し効果的かつ効率的な砂防施設等の整備計画を定める。

今回紹介した砂防基本計画の考え方と、その策定方法については未だ検討中であり、確定したものではない。今後変更することもあり得るので注意を要する。

4. 下流へ土砂を流すための取り組みの例

(1) 今後の課題

以上のように、山地河川における土砂動態と、それに基づく新しい砂防基本計画の考え方について説明した。このように砂防としては、大出水時（短期）の生産・流送土砂を適正に調節するために過剰な土砂量を止めることも重要であるが、総合土砂管理の観点からは、中長期に下流河川や海岸が必要とする量・質（粒径）の土砂を、適正な土砂ハイドログラフをもって、下流に供給することも重要である。ここではこのよう

な観点から、下流に土砂を流すために、砂防が行っている取り組みについて紹介する。

(2) 透過型砂防堰堤

1) 透過型砂防堰堤の目的

透過型砂防堰堤にはコンクリートスリット型、鋼製透過型などいくつかの種類があり、目的から分類しても、土石流や掃流状で流れる洪水流の中の大径礫を捕捉する閉塞型と、出水時の洪水流量及び土砂流量のピーク流量を小さくするための堰上げ型がある⁷⁾。前者の閉塞型は、大出水時に捕捉した礫により透過部分が閉塞してしまうため、その後の出水による下流への土砂供給機能が小さいが、堰上げ型は大出水時には洪水流の堰上げにより土砂を堆砂地に堆積させ、その後の中小出水により貯留土砂が下流へ流下するという機能を期待されている。同時に大出水には土砂を貯留し中小出水時に流下させるため、大径礫を捕捉し、比較的小さい粒径の土砂のみ流下させるという粒径調節機能も期待されている。

2) 透過型砂防堰堤の土砂調節効果

ここでは透過型砂防堰堤が大出水時に土砂を捕捉し、その後の中小出水で土砂を流出させた事例として、姫川水系松川上流部の湯ノ入沢第2号砂防堰堤の例⁸⁾を紹介する。

当スリット砂防堰堤は図-15のように松川上流の南股入川上流に位置し、その下流に通常タイプの湯ノ入沢第1号砂防堰堤がある。また図-16のように幅4.0mで深さ10mのスリットを一門有するコンクリートスリット堰堤である。この流域に平成10年9月21～22日にかけて台風7号の

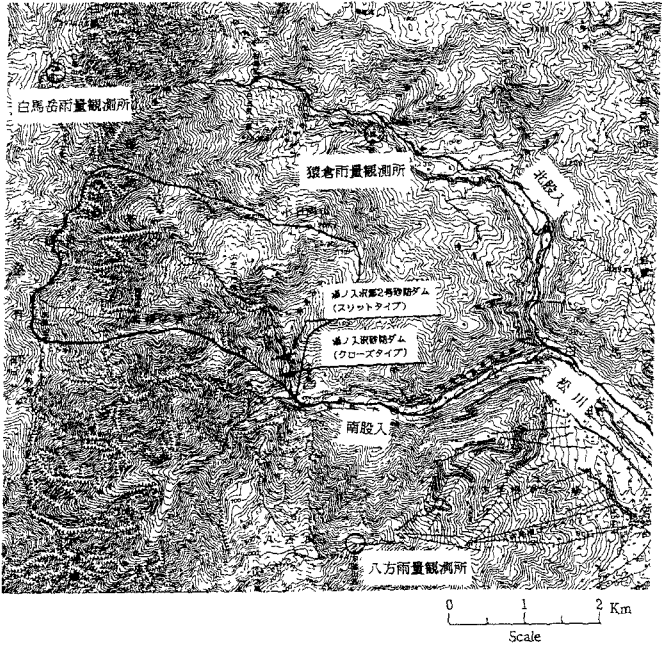


図-15 流域概要図

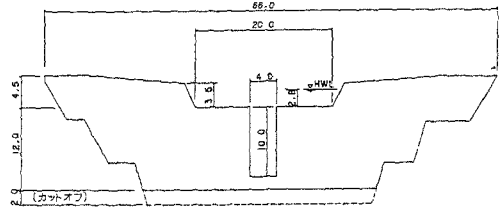


図-16 湯ノ入沢第2号砂防堰堤正面図(単位：m)



写真-1 出水前(1998.6)の当ダム上流の河床状況

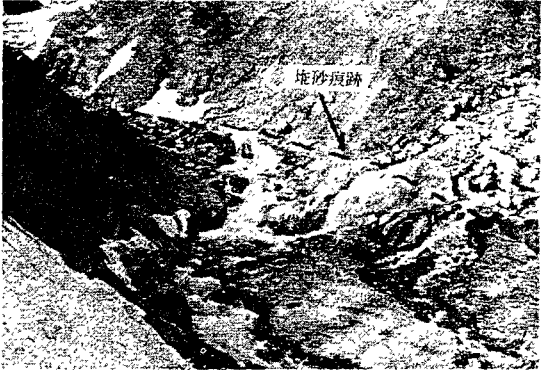


写真-2 出水後(1999.5)の当ダム上流の河床状況

影響による大きな降雨があり、近隣の八方、猿倉、白馬岳観測所において、総雨量が各々 163mm, 209mm, 200mm、そして最大時間雨量として各々 25.5mm, 31mm, 51mm を記録した。この降雨により土砂流出が発生したものと考えられる。

当スリット砂防堰堤周辺の出水前後の河床変動状況について以下に述べる。写真-1 には出水前の平成 10 年 6 月のダム上流の河床状況を、写真-2 は出水後の平成 11 年 5 月の河床状況を示している。これらの写真を比較することにより、出水中に一時的に当スリット砂防堰堤の上流で土砂が堆積し、その後流出したことがわかる。図-17 と図-18 は平成 11 年 6 月に測量した出水後の当スリット砂防堰堤周辺の横断面と、縦断面である。同時に現地に残っている堆砂痕跡も調査した。これらの図より当スリット砂防堰堤上流には 6,200m³、最大堆積深 5～6m の土砂がスリット部の堰上げ効果により一時的に貯留され、その後流出していったものと考えられる。また当スリット砂防堰堤下流部においても大出水によって河床上昇が起こり副ダムが埋没したが、その後河床高は低下した。この原因としては当スリット砂防堰堤が下流の湯ノ入沢砂防堰堤の堆砂数内にあり、大出水によって湯ノ入沢砂防堰堤の堆砂が生じたこと、そして通常タイプの砂防堰堤といえどもその後の中小出水により土砂が流出していったことによると考えられる。このように当スリット砂防堰堤においては、大出水時に堰上げによって一時的に土砂が貯留されたが、その後それらは流出していった。つまり大出水時の土砂の捕捉と、その後の下流への土砂供給が行われていることがわかる。

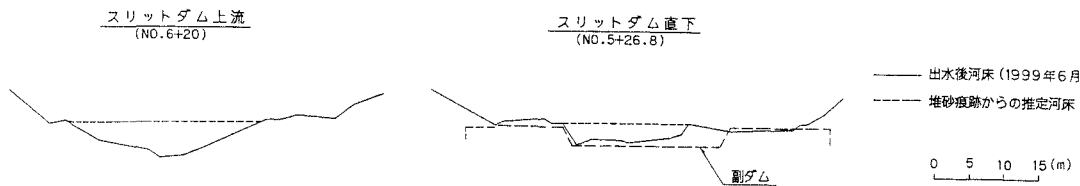


図-17 出水後の代表的な河床横断面図

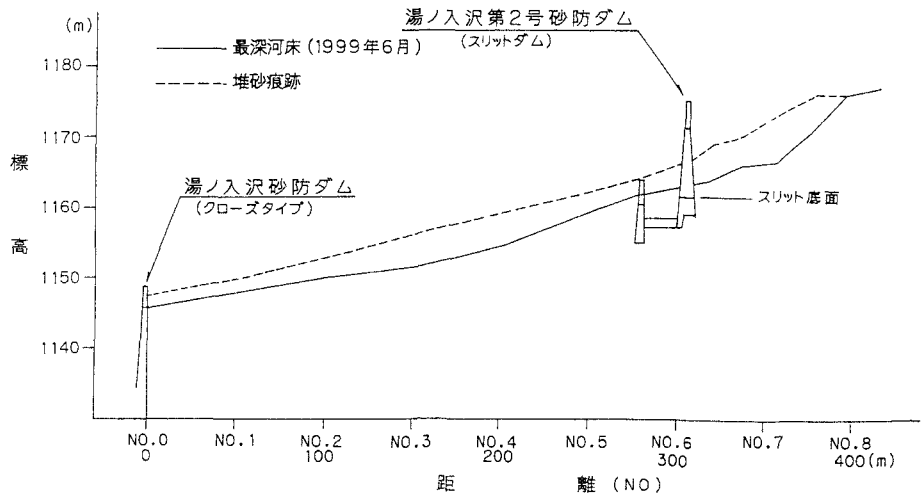


図-18 出水後の河床縦断面図

(2) 土砂再生化システム

透過型砂防堰堤などの砂防構造物の形状等を工夫することにより、中小出水によって自然に土砂を下流に流下させる方法もあるが、より積極的な下流への土砂供給方法として、上流の堆積土砂を排土して下流に運搬し、侵食の顕著な箇所を埋め立てるという方法もある。例えば砂防の分野では、富士山の大沢川扇状地に土石流によりもたらされた土砂を、排土して侵食の顕著な下流の駿河海岸に持って行き、侵食箇所に供給している。

5. 流砂系モニタリング

河川審議会総合土砂管理小委員会の答申では、現在流砂系における土砂移動の量と質（粒径等）についての予知・予測が精度良くなされていないため、それらのモニタリングを行うと共に、予知・予測精度の向上を図ることが述べられている。つまり実際の流砂系の土砂動態を把握するため、そしてそれに基づき、流砂系の土砂移動の予測モデルの精度を向上させるため、流砂系の土砂移動のモニタリングをする必要がある。モニタリングにおいては土砂動態を、量、質（粒径）、時間の観点から観測する必要がある。

砂防分野では大出水時の土砂移動のモニタリングと、中小出水時のモニタリングの体制を構築している。大出水時においては、大規模な土砂移動により山腹崩壊や河床変動が生じるので、主に土砂生産源である山腹斜面の崩壊地調査や空中からのレーザプロファイラー測量などより、大出水前後の山腹地形変化量を求め

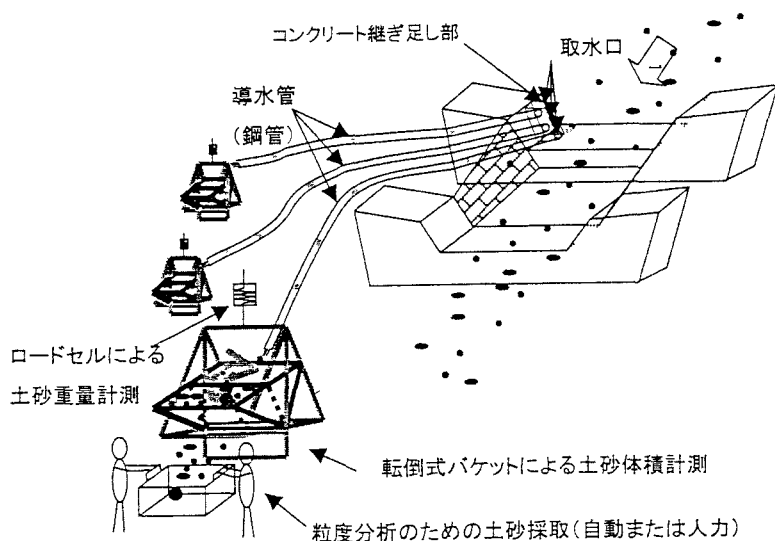


図-19 砂防堰堤水通し部を利用した流砂量観測方法

る。また代表地点から山腹土砂をサンプリングし、その粒径分布を計測する。以上より山腹からの生産土砂の量と質（粒径）を求める。ここで土砂生産（山腹崩壊）の発生した時刻も求めないといけないが、これについては現在のところ、近隣住民からの聞き取りなどの間接的な方法によっている。直接的にこれを計測する方法の開発が必要である。ただし土砂生産域は広範囲に及ぶのに対し、山腹崩壊の発生する斜面は限られているので、その計測は難しい。また大出水による河床変動量を、大出水前後の河床縦横断測量などから求める。そして河床材料の粒度分布を求めれば、河道内での土砂移動を間接的に量、質（粒径）の点から把握することができる。同時に流砂量観測を実施すると、実際に河道内を流下する土砂を直接観測できる。特に

第 2 章で検討したように、河川の急勾配部では細粒土砂はウオッシュロード・浮遊砂となって流下してしまうので、河床変動量からは直接的には細粒土砂の移動は把握できない。洪水時の流砂量計測は、流水のエネルギーの大きさゆえ、非常に困難で危険を伴うものであるが、工夫して実施することが望ましい。砂防構造物を利用すると比較的規模の大きい出水時でも流砂量観測が可能と考えられる。図-19 はその一事例で、砂防堰堤の水通し部に取水口を設け、そこから導水管で流砂量測定装置まで導水するものである。

中小出水時には基本的には河床変動を伴うような土砂移動は発生しないと考えられる。よって土砂動態のモニタリングとしては、流砂量観測が中心となる。総合土砂管理の観点から砂防河川の土砂移動を考えると、細粒土砂は浮遊砂やウオッシュロードとして流下すると考えられるので、特にこれらの観測に重点を置く。よって深さ方向に浮遊砂・ウオッシュロードの濃度分布（図-20）を把握できるように、異なる深さにおいて採水等を実施することが望ましい。また同時に深さ方向の流速も計測する。すると下記の式により、当該断面の浮遊砂・ウオッシュロードの流量が求められる。

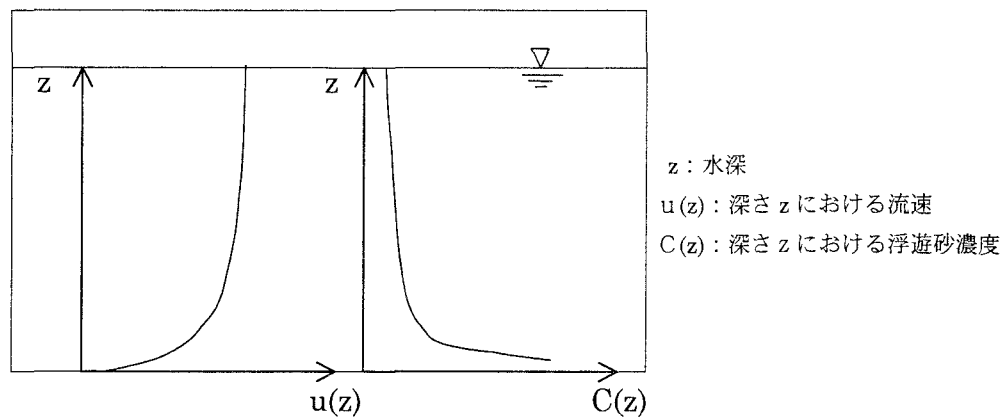


図-20 浮遊砂の深さ方向の流速及び濃度分布

$$q_s = \int_a^h u(z) \cdot C(z) dz \quad \dots\dots (1)$$

ここで q_s : 単位幅・単位時間当たりの浮遊砂量、 u : 流速、 C : 浮遊砂濃度、 z : 河床からの距離、 h : 水深、 a : 河床から浮遊砂濃度基準面までの高さ、である。図-20 に示すように中小出水時の浮遊砂はほとんどウオッシュロード状態で濃度一定で流れ、河床付近で顕著に濃度分布が大きくなる。よって特に河床付近の浮遊砂を正確に観測することが重要になる。現在のところ、浮遊砂の採取には簡易採水器 B 型（図-21）や、ポンプ採水（図-22）が行われている。このような流砂量観測を同一出水に対して、対象区間内の何点かで実施することにより土砂移動を把握できる。

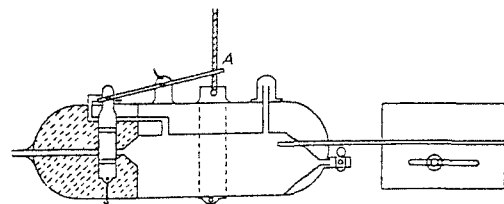


図-21 簡易採水器 B 型

6. おわりに

以上のように急勾配の山地河川における土砂動態について検討し、それに基づく砂防分野の総合土砂管理

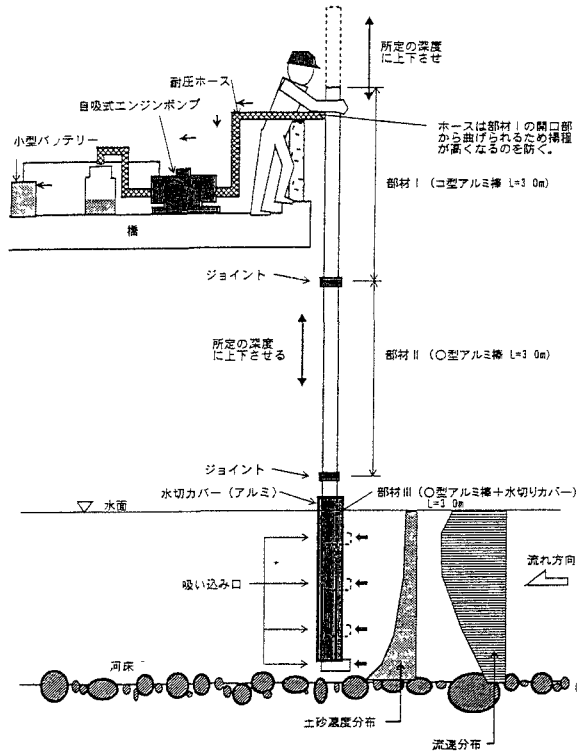


図-22 ポンプ採水の一例

への取り組みについて紹介した。急勾配の山地河川においては、山腹斜面から生産された土砂に多く含まれる細粒分は、浮遊砂などとして流下してしまう。総合土砂管理の観点からは、この下流への細粒土砂の供給が重要である。総合土砂管理を目指した砂防基本計画の策定については、この点に留意し、平常時には下流に必要な細粒土砂を供給できるような土砂管理計画を策定することが必要である。また同時に今回紹介したような透過型砂防堰堤の利用や、人工的な土砂の運搬などの手段により、それらの土砂管理計画を達成する必要がある。またそのために透過型砂防堰堤の機能の評価方法の高度化や、下流に土砂を流す新たな砂防施設に関する技術開発も必要である。

参考文献

- 1) 河川審議会総合政策委員会総合土砂管理小委員会：「流砂系の総合的な土砂管理に向けて」報告、平成 10 年 7 月
- 2) 建設省河川局砂防部砂防課他：流砂系における土砂動態に関する研究、平成 12 年度（第 54 回）建設省技術研究会指定課題論文集、pp.19-9～15、平成 12 年 11 月
- 3) (財)砂防・地すべり技術センター：平成 9 年度天竜川水系土砂管理計画検討業務報告書、pp.6-11～24、平成 10 年 3 月
- 4) 同上、pp.6-43～46
- 5) 建設省富士川砂防工事事務所：昭和 63 年度土砂動態調査報告書、平成元年 3 月
- 6) (社)日本河川協会：改訂新版建設省河川砂防技術基準（案）同解説計画編、山海堂、pp.48～50、平成 9 年

- 7) 国土交通省河川局砂防部砂防課：透過型砂防堰堤技術指針、平成 13 年 3 月
- 8) 佐藤一幸他：スリット砂防堰堤による流出土砂調節の事例、砂防学会誌、Vol.53, No.2、pp.43～47、平成 12 年 7 月