

## 流砂系における土砂移動実態に関する研究

国土交通省河川局砂防部砂防計画課  
国土交通省国土技術政策総合研究所  
危機管理技術研究センター砂防研究室  
北海道開発局建設部河川計画課  
各地方整備局河川部河川計画課  
沖縄総合事務局開発建設部河川課  
独立行政法人土木研究所土砂管理研究グループ

### 1. はじめに

流域の最上流の山腹斜面から河口、漂砂域までの土砂が移動する領域（流砂系）において、土砂や洪水の氾濫、ダム貯水池における堆砂、河床低下に伴う人工構造物の基礎部損傷、海岸侵食等に見られるような土砂移動に係わる問題（以後、「防災・環境・利用上の問題」と呼ぶ）が発生している。河川審議会総合土砂管理小委員会（平成9年度～10年度）において、このような土砂の不連続な流れ等に起因する問題の対策が議論された。その結果、場の連続性、時間の連続性、量と質（粒径）、水との関連といった視点から総合的な土砂管理を実施すべきであることが報告されている。また、総合的な土砂管理への課題として、適正な土砂管理を行うための予知・予測手法の向上、森林と土砂移動の関係、河畔林等の生態系・景観などの環境と土砂移動の関係に関する調査研究を推進することと、土砂の量・質のモニタリングを効率的・効果的に行うためのシステムの構築、適正な量と質の土砂をダムから排出する新たな技術の開発、海岸部における土砂管理の技術の開発に関する技術開発を推進することが挙げられた<sup>1)</sup>。

このような背景から、本指定課題は流砂系における土砂移動の観測とその実態の把握、土砂の量・質のモニタリングを効率的に行える観測技術の開発と改良、流砂系における土砂移動の予知・予測手法の開発と精度の向上を目的として、平成11年度より開始した。

平成11年度は各地方建設局におけるモニタリング計画の作成を主に実施し、平成12年度から各モデル流域においてモニタリングを実施するとともに、観測技術の開発と改良、予知・予測技術の向上のための研究を行った。当初、本指定課題は平成13年度で終了の予定であったが、流砂系における土砂移動実態について十分な観測が行えなかったため、2年間継続することとなった。平成14年度、平成15年度と現地観測を継続するとともに、流砂量の観測技術の開発、及び、山地流域等で得られたデータをもとにした土砂移動の予知・予測技術の精度向上に向けた研究を推進した。

平成15年度は本指定課題の最終年度であることから、これまでの主な研究成果を総括して報告する。これまでの研究結果の詳細な内容は概要集等<sup>2)</sup>に報告されているので、それらを参考にされたい。

### 2. 流砂系における土砂移動の実態

砂防、ダム、河川、海岸といった行政上の領域は別として、土砂はそれらの領域にかか

わらず移動するものであるため、それらの領域（流砂系）を一貫して土砂の移動を検討することの必要性が指摘されてきた<sup>1)3)</sup>。特に、流砂系一貫とした土砂移動を把握するためには、生産土砂に占める浮遊砂の割合が高いこと、平野部の河川や海岸線の変形に関する土砂の大部分が山地河川を浮遊砂として通過することから、山地流域では浮遊砂を含めた調査の必要性が指摘されている<sup>3)</sup>。そこで、浮遊砂の観測に加え掃流砂の観測を実施して、流砂系一貫とした土砂移動実態を把握した事例として姫川流砂系と安倍川流砂系における観測事例を紹介する。

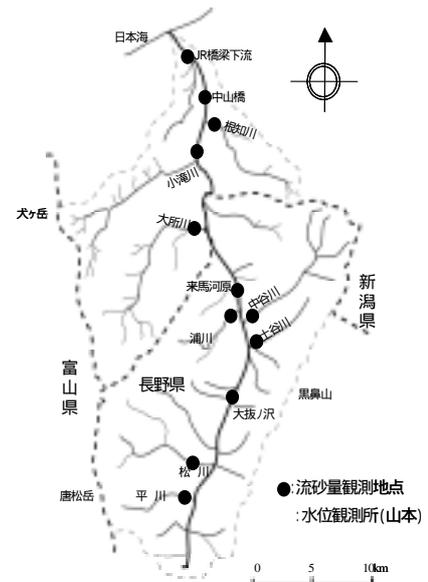


図 - 1 姫川流域図

## 2.1 姫川流砂系

姫川は、流域面積が約722km<sup>2</sup>、幹線流路延長が約60km、平均河床勾配が約1/80の急流河川である（図-1）。姫川流域では、本川沿いが糸魚川 - 静岡構造線の活動による影響を受けていることから降雨等に伴い崩壊、土石流、地すべり等が発生しやすい地域となっている。

流砂量観測は、上流から支川平川、支川松川、本川大抜ノ沢合流点、支川土谷川、支川中谷川、支川湊川、本川来馬河原、支川大所川、本川小湊川合

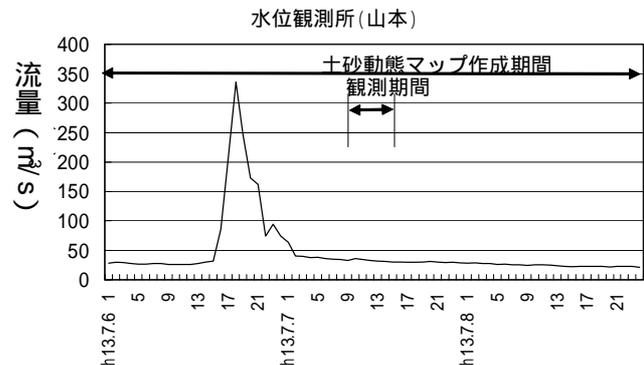


図 - 2 姫川ハイドログラフ

流点、支川根知川、本川中山橋、本川JR橋梁下流の計12地点で行った（図 - 1）。流砂量観測は、各地点の特性を考慮して、以下の方法で行った。なお、観測方法の詳細は、平成13年度の概要集<sup>4)</sup>を参照されたい。

流砂量観測のうち、浮遊砂については、上流から支川平川、支川松川、本川大抜ノ沢合流点、支川中谷川、本川来馬河原、支川大所川、本川中山橋および本川小湊川合流点では簡易採水器B型、支川土谷川および支川根知川では自吸式ポンプで行った。掃流砂観測は上流から支川平川、支川松川、本川大抜ノ沢合流点、支川中谷川、本川来馬河原、支川大所川、本川中山橋および本川小湊川合流点ではバックホウ式、支川湊川ではケーブルクレーン式、本川JR橋梁下流ではトラッククレーン式で行った。

平成12年10月26日、平成12年11月2日、平成13年6月6日、平成13年7月7日、および平成13年8月22日の5回の出水時において実施した流砂量観測結果を用いて、粒径別土砂動態マップを作成した。この一例として山本観測所で豊水流量(46.39m<sup>3</sup>/s : S50 ~ H12の平均値)の7倍程度の出水(330m<sup>3</sup>/s程度)が観測された平成13年7月6日~8日のハイドログラフを図-2に、土砂動態マップを図-3に示す。

図 - 3より、平成13年7月6日~8日の出水では、最も下流に位置する観測地点である

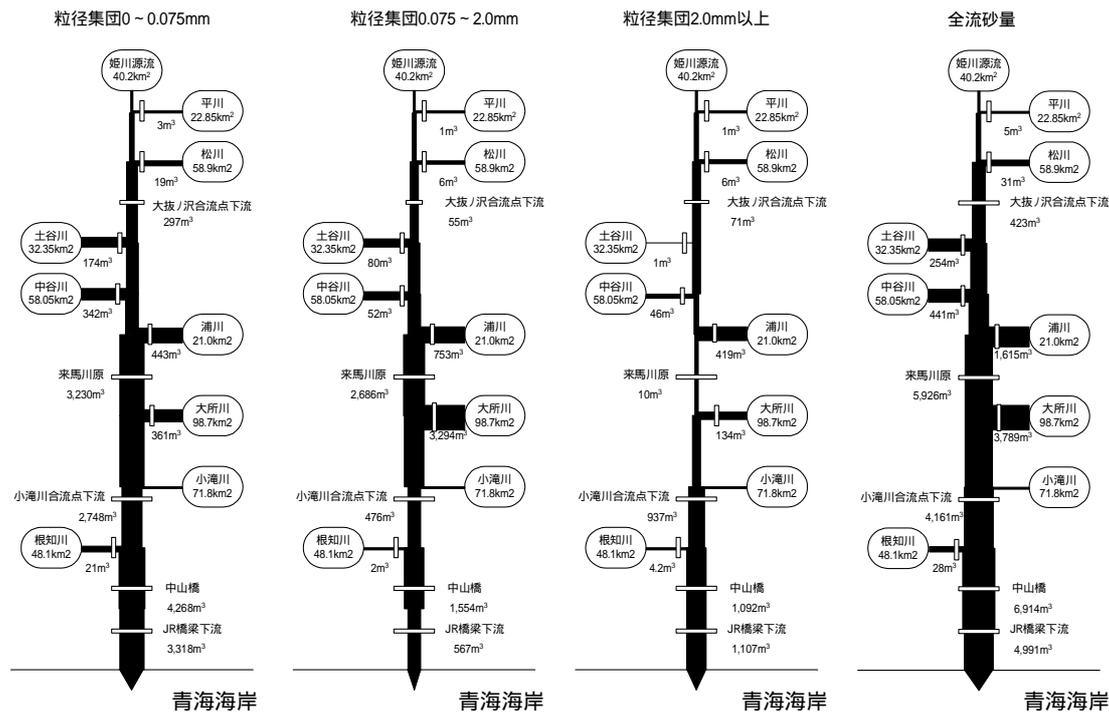


図-3 姫川流砂系土砂動態マップ(平成13年7月6日~8日)

本川JR橋梁下流での全流砂量(4,991m³)のうち66.5%程度が0.075mm未満の土砂、11.3%が0.075mm~2.0mm未満の土砂、22.2%程度が2mm以上の土砂であり、河口から流出した土砂の大部分が0.075mm未満の細かい土砂であることが分かった。また、支川の中では、大所川と浦川からの流出土砂が多いこと、特に2mm以上の土砂で見ると、浦川からの土砂は来馬河原で不連続になっており、河口まで供給されるのは大所川とその合流点から下流の本川および小滝川からの土砂であることが分かる。このように、流出する土砂の量・質(粒径)は、流域の状況により特性があることや、大きな粒径の土砂の移動は不連続であることが分かる。

また、流砂量観測を実施した5回の出水では、本川JR橋梁下流から河口に流出した土砂のうち、全流砂量の約54~66%が0.075mm未満の土砂であり、2mm以上の土砂は全流砂量の15~30%であった。青海海岸の形成に有効な土砂の粒度組織の詳細は不明だが、姫川河口の中央粒径が14mmであることから考えると、姫川からの流出土砂は、その全てが海浜の形成に有効ではないものと考えられる。海浜形成に有効な土砂を仮に2mm以上とすると、前述のとおり主に大所川からとその合流点下流の本川および小滝川からの流出土砂が海浜形成に寄与していると考えられる。したがって、今回観測された出水規模での流砂の特性が出水規模にかかわらず変わらないという前提に立てば、自然流下による河口への土砂供給を意図した場合、主に大所川とその合流点から下流の本川および小滝川について検討することが良いことになる。

## 2.2 安倍川流砂系

安倍川は、流域面積が約567km²、幹線流路の延長が約51km、平均河床勾配が約1/25.5の急流河川である(図-4)。上流域では活発な土砂生産がなされており、河口からその上流約19km地点までの区間では、昭和42年を基準とすると平成10年の平均河床位は平均0.6m

程度上昇し、19km地点から大河内ダム直下流までの区間で平均2.0m程度低下している。海岸域のうち離岸堤の設置や河口からの土砂供給等により、安倍川の河口に近い静岡海岸では汀線は前進傾向に転じている状態であるが、侵食区間が東へ移動しているため清水海岸では侵食傾向が進んでおり、海岸の回復には長い期間が必要と考えられる。

安倍川の流砂量観測は、上流から大谷川丸山橋、三河内川白鳥橋、本川孫佐島、本川瀬戸橋、支川中河内川向田橋、本川玉機橋、支川藁科川右岸および本川手越の計8地点で行った(図-4)。流砂量観測は各地点の特性を考慮して、以下の方法で行った。なお、観測方法の詳細は平成13年度の概要集<sup>4)</sup>を参照されたい。

平成14年度においては、上流から大谷川丸山橋、三河内川白鳥橋、支川中河内川向田橋、本川玉機橋、支川藁科川右岸および本川手越の地点で自吸式ポンプを使用し、浮遊砂観測を行い、本川玉機橋、支川藁科川右岸および本川手越で土研式掃流砂採取器型および金網式掃流砂採取器で掃流砂観測を行った。

平成14年10月1日～3日の出水時、平成14年10月17日、平成15年3月2日、平成15年3月14日の平常時に実施した流砂量観測結果を基に流量と粒径別流砂量の関係図から $Q$ (流量) -  $Q_s$ (浮遊砂量)の近似式を作成した。掃流砂観測はH14年度から実施したのでデータが少ないことから、観測地がない箇所では既往の掃流砂量式から算出された値を用い、粒径別の土砂動態マップを作成した。この一例

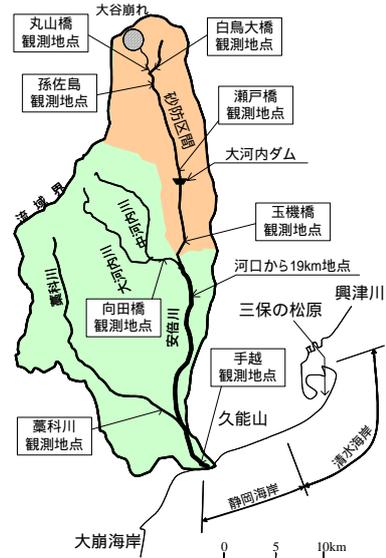


図-4 安倍川流域図

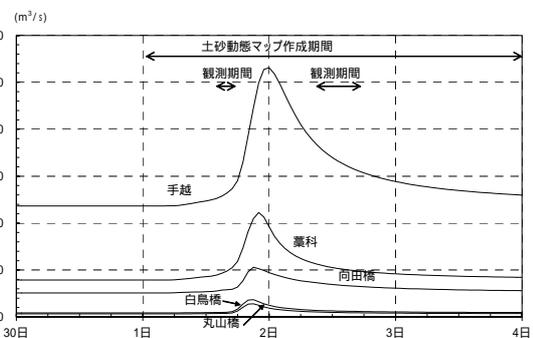


図-5 安倍川ハイドログラフ

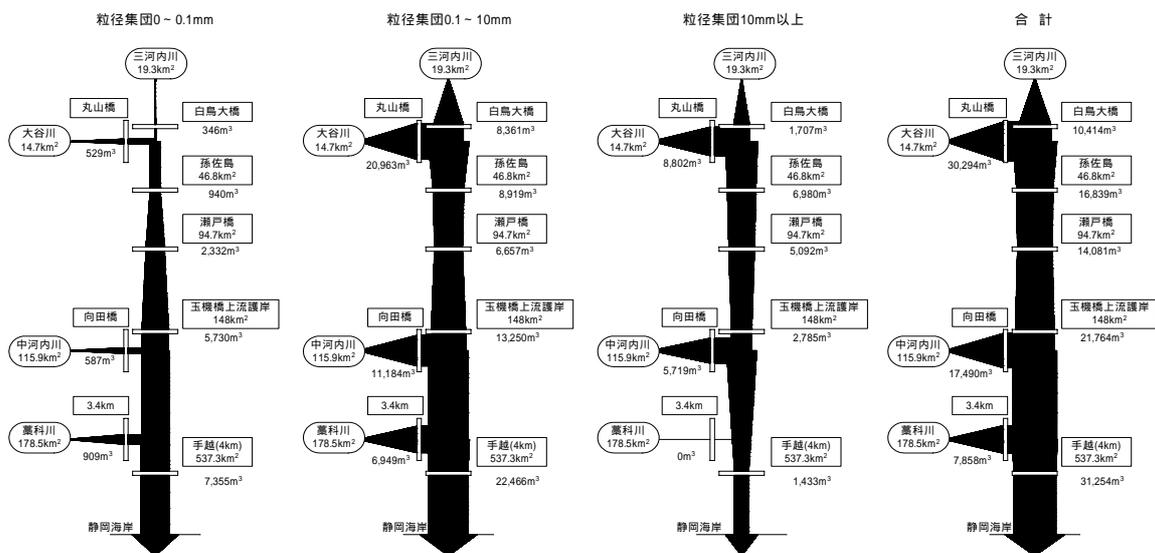


図-6 安倍川流砂系土砂動態マップ(平成14年10月1日~3日)

として手越観測所で1年に5～10回起こる程度の水位（指定水位）を観測した平成14年10月1日～3日の出水について降雨データから流出解析を行い作成したハイドログラフを図-5に、土砂動態マップを図-6に示す。静岡・清水海岸の海浜地形の形成に寄与すると考えられる成分は安倍川河口部周辺で行われた底質材料調査によると粒径0.1mm～10mmである。図-6より、平成14年10月1日～3日の出水では、最も下流の観測地点である手越での全流砂量(31,254m<sup>3</sup>)のうち海浜地形の形成に寄与すると考えられる成分(粒径0.1mm～10mm)が約72%を占めている。また、後述する過去20年間の解析結果の平均値をみても、手越を通過する全流砂量のうち粒径0.1mm～10mmの土砂が67%となっている。このことから、安倍川から海域への流出土砂の2/3程度は堆砂傾向にある静岡海岸の海浜地形の形成に寄与すると考えられる。

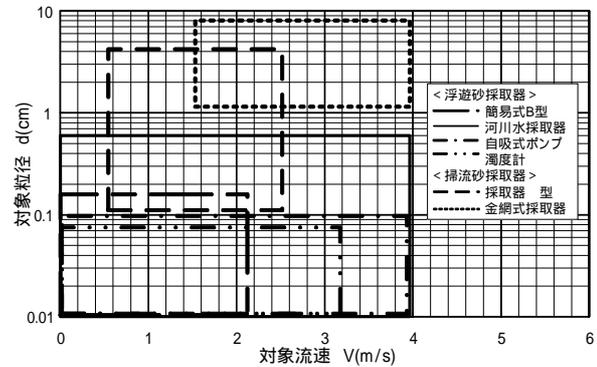


図-7 可搬式観測機器の適応範囲

### 3. 観測技術

観測が比較的安易な可搬式の観測機器について既往の水路実験結果<sup>5)</sup>より適応範囲を図-7に示す。流速3.0m/s以上に関しては、経験的に判断した結果であり、今後、現地での観測を実施し、精度の確認を行う必要がある。

現地における可搬式の観測機器の選定フローを図-8に示す。まず、最初に観測する土砂の粒径階( $d_{min} \sim d_{max}$ ) (以後、ターゲット粒径と呼ぶ)の設定を行う。この粒径階は問題が生じている区域の地形変化に影響を及ぼす粒径の範囲を想定している。次に観測地点の選定を行い、ターゲット粒径の移動限界水深と流速を推定する。ここで、現在、連続観測が可能な機器としては、濁度計等があるが、粒径の観測が困難であるという問

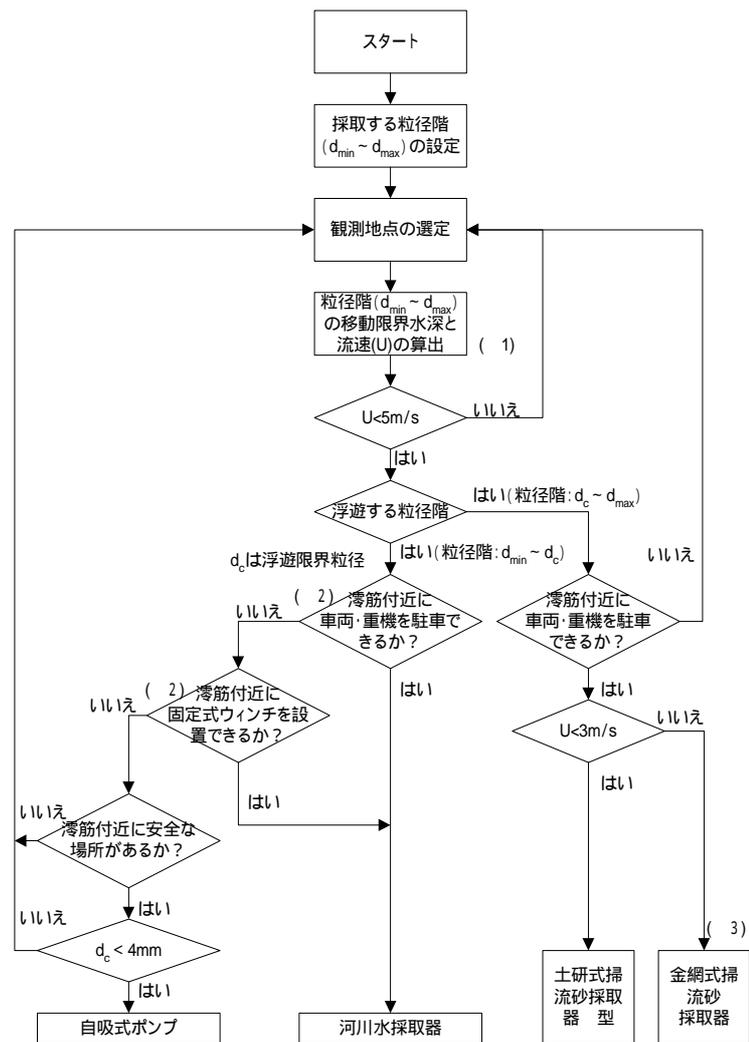


図-8 可搬式流砂量観測機器の選定フロー

題がある(図中 1)。なお、採取水深での流速  $U = 5\text{m/s}$  の場合は、現在、観測実績が無いこと事から適応範囲外とする。ターゲット粒径のうち、浮遊限界粒径  $d_c$  より細かい  $d_{\min} \sim d_c$  の粒径の土砂は浮遊砂採取器、 $d_c \sim d_{\max}$  の粒径の土砂は掃流砂採取器を使用して観測する。浮遊砂採取器を使用する場合、ワイヤーの使用が可能な条件(観測地点に車両・重機もしくは固定式ウインチを設置可能)であれば、高精度で採取可能な粒径範囲の広い河川水採取器を使用し、それ以外の条件のうち、安全に作業できる場所があれば自吸式ポンプを使用する。観測機器は自吸式ポンプの方が安価である(図中 2)が、ポンプの吸い込み速度を流れの速度と常に一致させるのに困難が伴う。掃流砂採取器については車両・重機が駐車可能な地点で行う。 $U < 3\text{m/s}$  であれば、広範囲の粒径の採取が可能な土研式型掃流砂採取器を用いる。 $U \geq 3\text{m/s}$  の場合は金網式掃流砂採取器を使用するが、金網式掃流砂採取器の網目をターゲット粒径が採取可能な大きさに調節する必要がある(図中 3)。

#### 4. 流砂系一貫とした土砂移動の予知・予測

安倍川流砂系(図 - 4)において、山地流域から海岸漂砂域に至るまでの、過去20年間(1982年~2001年)の土砂移動を再現した。

計算モデルは土砂流出モデル(山地流域~河口より上流5kmの地点)、河床変動モデル(河口より上流5kmの地点~河口)及び等深線変化モデル(海岸域)から構成した。なお、土砂流出モデルでは、山地流域内を支川の合流点や砂防えん堤の設置位置等を考慮して設定した単位河道(平均河道長2800m)とそれに付随する単位斜面に分割し、それらを組み合わせた流域モデルを作成しており、また、河床変動モデルでは

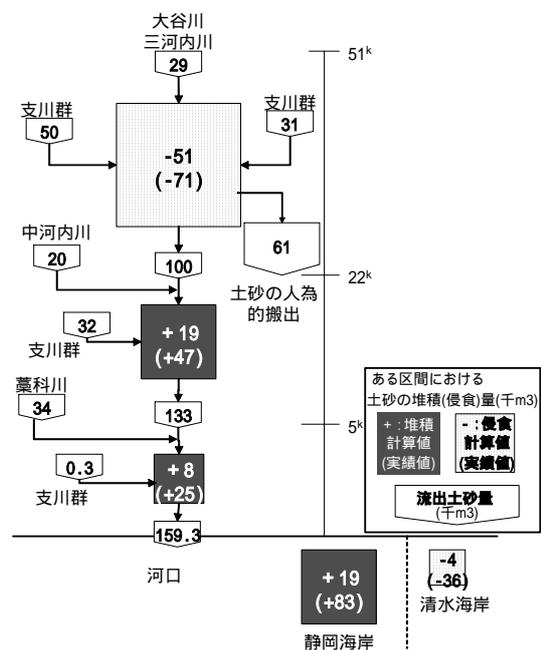


図 - 9 土砂收支図

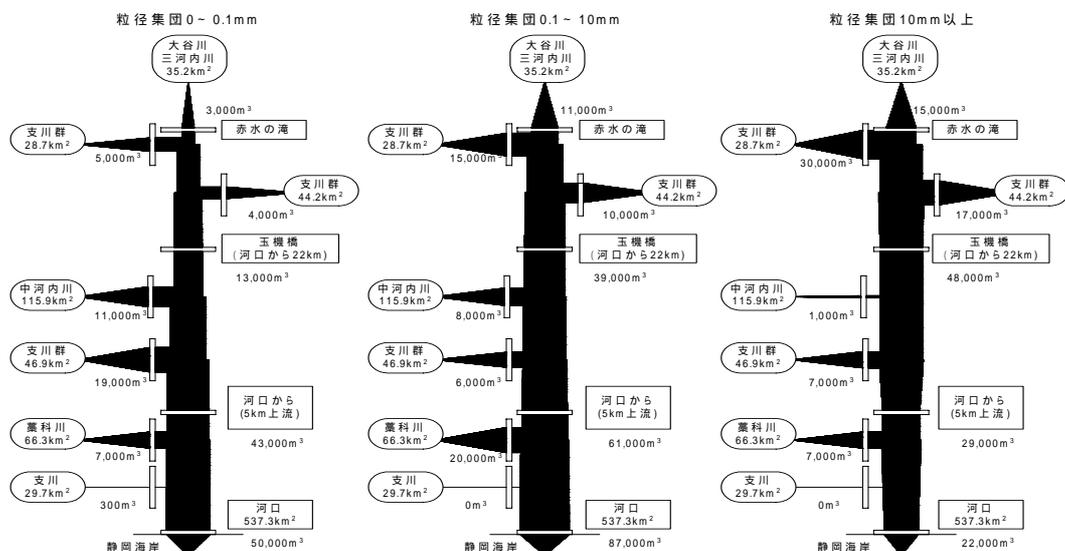


図 - 10 安倍川流砂系土砂動態マップ (S57年~H13年の20年間の平均値)

河道長を一律250m間隔に設定した単位河道の組み合わせとしている。土砂流出モデルは川が谷を流れる区間（山地流域）に適応し、河床変動モデルは川が平野部を流れる区間に適応した。本計算モデルでは、それらのモデルの境界点を本川左右岸とも山地に囲まれていることより河口から上流 5km の地点に設定した。土砂流出モデルはKinematic Wave法（表面流）とダルシー則（中間流）から算出した流量に対する等流水深を用いた 1 次元河床変動計算であり、河床変動モデルは、不等流計算により算出した水位を用いた 1 次元河床変動計算である。両モデルとも、掃流砂、浮遊砂、ウォッシュロードを対象としている。各モデルの接続は上流側のモデルより算出された流量と粒径別流砂量を下流側のモデルに境界条件として与え、流砂系としての土砂移動の連続性を確保した。なお、等深線変化モデルの境界条件とする河口から漂砂域への流入土砂量は、河床変動モデルで求めた河口からの流出土砂量のうち、海浜地形の形成に寄与すると考えられる成分（粒径 0.1mm ~ 10mm）を河口からの流入土砂量とみなした。モデルの詳細及び計算条件と妥当性についての検討結果については、参考文献<sup>6)</sup>を参照されたい。

計算結果をもとに年平均の土砂収支図（図 - 9）および土砂動態マップ（図 - 10）を作成した。図 - 9 から、計算結果は過去20年間の土砂収支を概ね、再現できたことが分かる。また、図 - 10によると、河川から流出する海浜成分（粒径 0.1mm ~ 10mm）は、年平均約 9 万 m<sup>3</sup>であり、河口から流出する海浜成分の流出土砂量約 45% は本川上流区間（22.0km 上流）から供給されていると推定された。ただし、上流部では土砂生産源である小渓流と本川との合流点付近の河床位が実際よりも高く計算されている。これは、小渓流の侵食可能深を仮定して設定したため、過大な土砂が生産されたためと考えられるので、今後、改良する必要がある。

### 5 . 砂防施設の土砂調節効果の推定

砂防えん堤は土砂移動をコントロールするための有力なツールの一つであり、その土砂調節効果を適切に評価することは総合的な土砂管理を行う上で重要である。黒部川水系祖母谷に設置されている祖母谷 7 号砂防えん堤を対象に、堰上げ型の透過型砂防えん堤の土砂調節効果について河床変動計算に基づいて検討した事例を紹介する。なお、詳細については参考文献<sup>4)</sup>を参照されたい。

- a. 7 号砂防えん堤が不透過型（未満砂）の場合、
- b. 7 号砂防えん堤が透過型の場合、
- c. 7 号砂防えん堤が無い場合

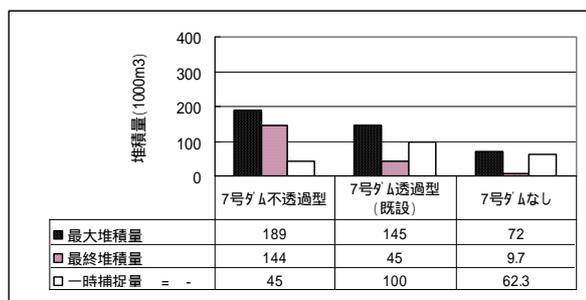


図 - 11 祖母谷7号砂防えん堤地点上流の堆積量

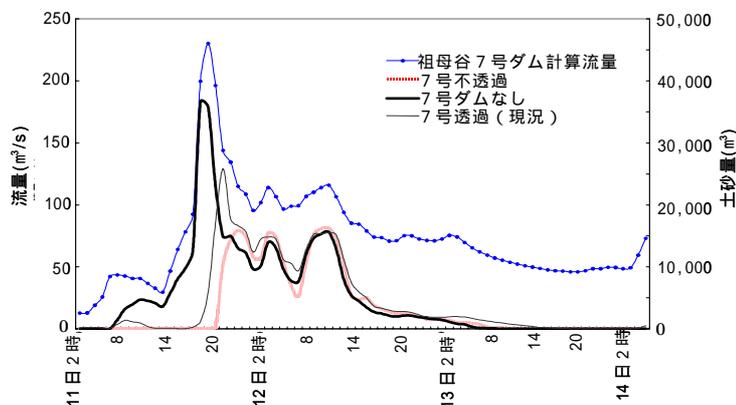


図 - 12 祖母谷 7 号砂防えん堤地点流出土砂量変化

の土砂流出調節量を求めた(図 - 11)。最大堆積量が最も多いのは不透過型のケースであった。これは初期条件に未満砂状態を設定したためである。しかし、出水中、一時的に捕捉した量、いわゆる土砂調節量が多いのは透過型のケースであった。

図 - 12は7号砂防えん堤地点から下流への流出土砂量の時間変化を示したものである。不透過型のケースでピーク流出土砂量が最も少なく、流出土砂量のピーク生起時間が流量ピークから16時間遅れているのは、初期条件を未満砂状態に設定したためである。7号砂防えん堤を透過型えん堤としたケース(現況)では、最大流出土砂量の生起時間は流量ピーク生起時間から2時間程度の遅れしかなく、最大流出土砂量の生起時間を遅延させる効果はあまりなかった

## 6. 流砂系一貫とした総合土砂管理に向けた考察

防災・環境・利用上の問題を解消するためには、まず、例えば河床位や汀線の位置など問題を解消する上で求められる地形の状態(以後、「望ましい状態」と呼ぶ)を設定し、その望ましい状態に近づけ維持するために必要な粒径別の流砂量と漂砂量(以後、「望ましい土砂移動」と呼ぶ)を推定する必要がある。その後、望ましい土砂移動を達成するための人為的な対策を検討することになる。

望ましい状態は問題の種類に応じて設定方法が変わる。防災上の問題であれば、山地流域などでは、例えば、土砂や洪水の氾濫を生じさせない地形の状態が望ましい状態となる。また、環境上の問題であれば、例えば、生物学的・生態学的見地から適度なディスタバンスを生じさせるような地形の状態が望ましい状態となる。これら各種の望ましい状態について、例えば、土砂や洪水の氾濫の危険性が著しい場合では、環境・利用上の観点から望ましい状態を目指しつつも、災害の防止を目標に設定するなど、各々の望ましい状態について重み付けを行い、流砂系における望ましい状態の目標設定を行うこととなる。

望ましい土砂移動を設定する方法を考えてみる。まず、過去の土砂移動実態を推定するために既存資料や土砂モニタリング結果を整理して、その土砂移動実態を再現できる河床変動計算や海浜変形モデルなどの数値計算のモデルを作成する。次に、計算条件として、地形(河床位・汀線の位置など)の初期条件として現時点のものを設定し、降雨や波浪などを過去の実績から設定する。そして、問題が生じている区間を含む区域を対象に先に設定した諸条件を数値計算のモデルに与えて、将来の地形変化を推定する。その推定した地形が望ましい状態になるような、粒径別の流砂量と漂砂量を求める。それが望ましい土砂移動となる。ただし、望ましい土砂移動は海浜地形などの地形を望ましい状態に復元する過程と、望ましい状態になった後、それを維持する段階で異なることに留意する。

なお、将来の地形変化を推定する際に土砂の浚渫や投入、あるいは、養浜など人為的な土砂移動を考える場合には、それらも計算条件に含めておく。さらに、土砂モニタリングを実施して、土砂移動が望ましい状態に近づいているか、あるいは、維持されているかを確認していく。仮に土砂移動が望ましい土砂移動からかけ離れている場合には、構造物の設置や人為的な対策を再検討しなければならない。また、土砂モニタリングを継続的に実施することにより、流砂量や漂砂量に関する観測データが蓄積されるので、数値計算のモデルの精度も向上させことができる。

本指定課題では、流出解析・河床変動計算・海岸線変化モデルを組み合わせた計算手法により過去の長期間の地形の変化を再現することができた。また、出水中の透過型砂防えん堤付近の河床変動を再現することができ、その土砂調節効果を定量的に評価できた。これらの結果から、数値計算のモデルが望ましい土砂移動や人為的な対策を検討する上で有力なツールとなることが分かった。

既存のデータの整理・把握、数値解析および土砂モニタリングを行うことで、防災・環境・利用上の問題を抱えている流砂系においては、例えば現状の海岸線が望ましい状態なのかどうか、それに応じて河口からの土砂供給土砂量が足りないのか、多いのか検討し、目標とする望ましい土砂移動を設定するとともに、目標を達成すべき期間に対応して、現状の土砂移動を望ましい土砂移動に改善していくための対策を作成し、領域毎の分担の調整、砂防事業として寄与できる対策を検討する必要がある。

#### 7．流砂系一貫とした総合的な土砂管理の検討

静岡・清水海岸の侵食の原因は主に安倍川における砂利採取とされており、その量は1955年～1967年までで880万 $m^3$ 程度と推定されている。仮に砂防領域を中心に静岡・清水海岸の侵食問題を解消する方法を考えて見る。問題を何時までに解消するかは、重要であるが、ここでは短期的に人為的な運搬で解消することにする。つまり、侵食量に相当する土砂量を短期間で供給した上で、復元された海岸線を維持するために必要な漂砂量を永続的に供給する事を考える。海岸線を復元するために必要な土砂量は把握できていないため、過去の砂利採取量に相当する土砂量と等しいと仮定すると、その土砂量に対し、砂防領域から提供可能な土砂として、ここでは仮に砂防えん堤の堆砂を運搬することを考えてみる。4.より現状で河口から全粒径で16万 $m^3$ /年程度の土砂が流出しているので、単年で海岸線を復元とした場合不足分は864万 $m^3$ 程度となる。流域内の砂防えん堤の堆砂量は337万 $m^3$ 程度であるので、全量使ったとしても500万 $m^3$ 以上不足する。実際にはそれぞれの砂防えん堤の設置目的から掘削できない量や海岸の構成材料とならない土砂が含まれるので、さらに不足量が増えることになる。安倍川の場合、不足分には中下流域の河道堆積土砂を用いることが考えられよう。海岸線が復元されたとして、次は年間の流出土砂によって、河道と復元された海岸線の維持が可能かどうかを検討する必要がある。海岸を維持するのに必要な土砂量は、参考文献<sup>7)</sup>より19万 $m^3$ /年程度が必要とされている。現在の海岸を構成する粒径集団に相当する粒径の流出土砂量は4.より約9万 $m^3$ /年程度であり、海岸線の復元が出来たとしても必要な漂砂量を維持出来ないことになる。この場合、永続的に供給土砂量を増大させることは困難なので、海岸線の復元の程度を抑えることで必要な土砂量を抑制することや海岸の漂砂量を制御できる施設を検討することが考えられよう。これらの予測には、検討されたn-lineモデルが有効である。さらに、モニタリングにより、想定範囲内で推移しているかどうかを把握し、モニタリング結果を対策にフィードバックさせていく必要がある。また、長期的な対策を考える場合には、海岸線を復元するステージ毎に必要な土砂量が異なることなどにより、モニタリングとフィードバックの必要性が増すことになる。

#### 8．結論と今後の課題

平成11年度から平成15年度までに実施してきた土砂モニタリングの観測結果より、土砂移動の実態を量・質（粒径）・時間的に流砂系一貫として明らかにしてきた。また、その観測結果に基づいて、流砂系一貫とした土砂移動の予知・予測の技術の精度向上に関する研究を実施し、土砂移動実態の再現性の向上を図ることが出来た。さらに、透過型砂防えん堤や不透過型砂防えん堤の土砂移動の制御効果も明らかになり、特に透過型砂防えん堤による制御効果を定量的に推定する手法の適用性も確認できた。しかし、山地流域においては、土砂モニタリングに関する今後の課題として、より高精度に観測が可能となるように観測機器を改良することや、5m/s以上といった流速の場合においても観測できる観測機器を改良・開発することなどが挙げられる。また、土砂移動の予知・予測の技術の精度向上に関する今後の課題として、流出解析による推定精度の向上を目的とした山地流域における降雨と流出の観測データの蓄積、流砂量計算の推定精度の向上を目的とした流砂量（掃流砂・浮遊砂）の高精度な観測データの蓄積、山腹斜面の侵食や1次谷や2次谷などの小溪流の不安定土砂量を推定する手法の精度の向上などが挙げられる。今後は、さらなる観測機器の改良を行いつつ、土砂モニタリングを実施して、土砂移動に関するデータを系統的に蓄積するとともに、本指定課題の成果を踏まえて望ましい土砂移動の設定と防災・環境・利用上の問題を解消するための対策の検討など流砂系一貫とした土砂管理手法の検討を進めていく必要がある。

#### 参考文献

- 1) 建設省河川局砂防部砂防課(1998)：河川審議委員会「流砂系の総合的な土砂管理に向けて」（総合土砂管理小委員会報告）
- 2) 河川局砂防部砂防計画課、国総研砂防研究室(2002)：流砂系における土砂移動実態に関する研究、平成14年度国土交通省国土技術研究会、指定課題、p.14-1～14-28
- 3) 水山高久(1980)：山地河川の浮遊砂観測、土木技術資料、Vol.22、No.5、p.46-51
- 4) 河川局砂防部砂防計画課、国総研砂防研究室(2001)：流砂系における土砂移動実態に関する研究、平成13年度国土交通省国土技術研究会、指定課題、p.7-29～7-31
- 5) 宮尾保道、中野泰雄、寺田秀樹、水野秀明、江島敬三；流砂量観測機器の適応範囲に関する実験的研究、平成15年度 砂防学会研究発表会概要集、p266-p267
- 6) 福嶋ほか(2003)：安倍川流砂系における数値計算モデルによる土砂動態の再現について、平成15年度砂防学会研究発表会概要集、p.264-265
- 7) 河川局砂防部保全課海岸室、国総研河川研究部海岸研究室(2001)：流砂系一貫の土砂管理による海岸保全計画に関する研究、平成13年度国土交通省国土技術研究会、指定課題、p.5-1～5-43