

◆ 特集：国土交通省国土技術研究会 ◆

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
 国土交通省近畿地方整備局河川部河川計画課
 国土交通省中国地方整備局河川部河川計画課
 国土交通省北海道開発局建設部河川計画課
 国土交通省四国地方整備局河川部河川計画課
 国土交通省東北地方整備局河川部河川計画課
 国土交通省九州地方整備局河川部河川計画課
 国土交通省関東地方整備局河川部河川計画課
 内閣府沖縄総合事務局開発建設部河川課
 国土交通省北陸地方整備局河川部河川計画課
 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、①現地調査、観測による土砂移動に関するデータの収集と土砂移動の予知・予測手法の向上をはかるための研究の推進、②測量や流砂量計測等の直接的な手法とGPS、ヘリコプター等を用いた間接的な手法を組み合わせることで流砂系全体の土砂移動を迅速かつ的確に計測できるような新しい技術システムの開発などが挙げられている。

このような背景から、本研究は国土交通省国土技術研究会（平成12年度までは建設省技術研究会）の指定課題として平成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ている。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幾つかの観測事例しか収集できなかった¹⁾ので、2年間継続することとなった。

本年度は、現時点までに観測されたデータに基

づいた土砂移動の実態を報告するとともに、流砂量の観測技術の開発成果、及び、山地流域等で得られたデータをもとにした予知・予測技術の精度向上に向けた研究成果について、主な内容を報告する。詳細は平成14年度概要集²⁾に記載したので参考とされたい。

2. 山地流域における土砂移動の実態

ここでは、田上山において、既往資料に基づいて裸地からの土砂生産量と山腹工の効果を推定した事例を紹介する。

2.1 田上山の概要

田上山は、瀬田川と瀬田川支川大戸川の合流部に位置する田上地区の山地の総称で、その面積は18km²である。また、田上山の大半は大戸川流域となっており、一部が瀬田川流域となっている。

田上山周辺では、奈良・平安時代より大規模な山林の伐採等が行われて山林が後退し、さらに田上山周辺は裸地から山林への再生が困難な風化した花崗岩地帯であることから、江戸時代には裸地が大半を占めていた。このため、大量の土砂が瀬田川等の河道に流入して河床上昇を引き起こし、多くの洪水が発生した。

明治初期以降、直轄砂防事業により砂防山腹工が実施されており、現在では裸地は一部を残すのみとなっている。

2.2 裸地面積の時系列変化の推定

図-1は裸地面積の時系列変化である。田上山での裸地面積は、明治初期で9km²であり、1947年時点で6.7km²、近年では0.89km²まで減少した。大戸川流域では裸地面積は明治初期で19km²であり、1947年時点で10.3km²、1982年時点では1km²まで減少した。

2.3 裸地からの土砂生産量の経年変化の実態

図-2は砂防山腹工の施工後経過年数と土砂生産

量の関係を示したものである。裸地からの土砂生産量は、当初 $1,000 \sim 10,000 \text{ m}^3/\text{km}^2/\text{year}$ であったが、砂防山腹工を施工した 10 年後、土砂生産量は $100 \text{ m}^3/\text{km}^2/\text{year}$ 程度まで減少し、30 年後にはほとんど土砂生産がなくなった。

図-3 は、施工後経過年数と植被率（植生の樹幹が地表面を覆っている割合）の関係を示したものである。施工後 10 年を経過すると植被率は 40% に達し、20 年後には 60% を超えている。施工後すぐに土砂生産量が急激に減少しているのは、砂防山腹工として斜面を階段状に整形する基礎工の施工による表面侵食防止効果が大きいためと考えられる。施工後 20 年からの土砂生産量の減少は、植

被率の増加による降雨遮断などによるものと考えられる。

以上のことから、今回対象とした、砂防山腹工施工地においては、植被率が概ね 60% 程度まで回復すると、土砂生産量は $1 \text{ m}^3/\text{km}^2/\text{year}$ を下回るという結果が得られた。

今後は砂防山腹工の土砂生産軽減効果を考慮した河床変動計算を実施し、砂防山腹工の効果を含めた土砂移動を推定していく予定である。

3. 流砂系一貫とした土砂移動の実態

ここでは、姫川を例に、流砂量観測を実施することにより把握した土砂の移動実態（土砂動態マップ）について紹介する。

3.1 姫川の流域概要

図-4 は姫川の流域図である。姫川の流域面積は約 722 km^2 、幹線流路の延長は約 60 km 、平均河床勾配は約 $1/80$ の急流河川である。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。

3.2 土砂移動モニタリングの概要

3.2.1 流砂量観測地点

姫川の流砂量観測は、平成 12 年度の 5 地点（中

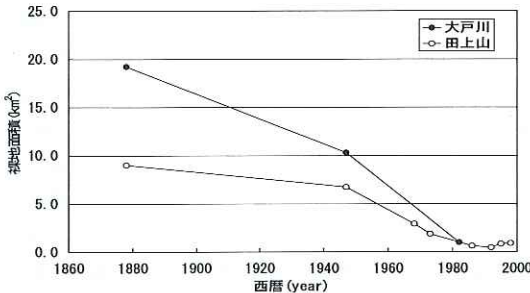


図-1 裸地面積の経年変化

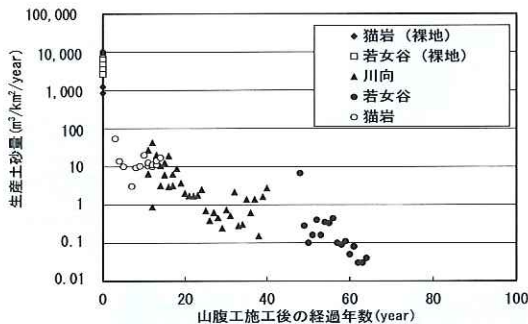


図-2 砂防山腹工の施工後経過年数と土砂生産量

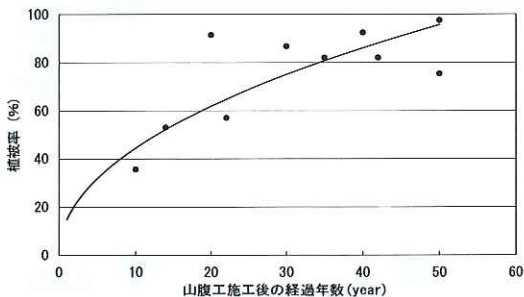


図-3 砂防山腹工施工後経過年数と植被率の関係

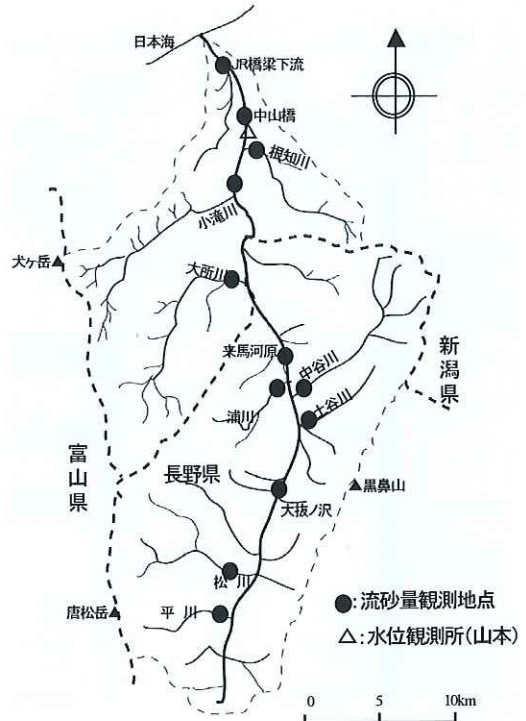


図-4 姫川流域内の観測箇所

谷川、浦川、来馬河原、大所川、中山橋)と平成13年度に新たに7地点(平川、松川、大抜ノ沢合流点、土谷川、小滝川合流点、根知川、姫川河口)を加えた、計12地点で観測を行った(図-4)。

3.2.2 観測手法

流砂量観測は、各地点の特性を考慮して、以下の方法で観測を行った。観測方法の詳細は、平成13年度の概要集¹⁾を参照されたい。

i) 掃流砂採取方法

- ① ケーブルクレーン式：浦川
- ② バックホウ式：平川、松川、大抜ノ沢合流点、小滝川合流点、中谷川、来馬河原、大所川、中山橋
- ③ トラッククレーン式：姫川河口

ii) 浮遊砂採水方法

- ① 簡易採水器B型：平川、松川、大抜ノ沢合流点、小滝川合流点、中谷川、来馬河原、大所川、中山橋
- ② 自吸式ポンプ：土谷川、根知川

3.3 土砂移動モニタリングの結果

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

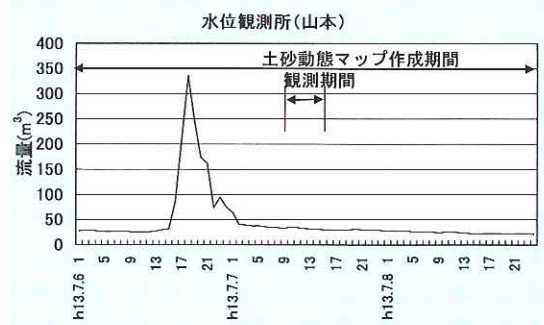


図-5 ハイドログラフ (平成13年7月7日出水)

マップを作成した。この一例として平成13年7月7日のハイドログラフを図-5に、土砂動態マップを図-6に示す。

図-6より、平成13年7月7日の出水では、最も下流に位置する観測地点である JR 橋梁下流での全流砂量(4,991m³)のうち66%程度が0.075mm未満の土砂、22%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細かい土砂であることが分かった。なお、海岸の土砂の中央粒径14mm³⁾程度である。また、支川の中では、大所川と浦川からの流出土砂が多く、特に2mm以上の土砂は来馬河原で不連続になっていることが分かる。このように、流出する土砂の量・質(粒径)

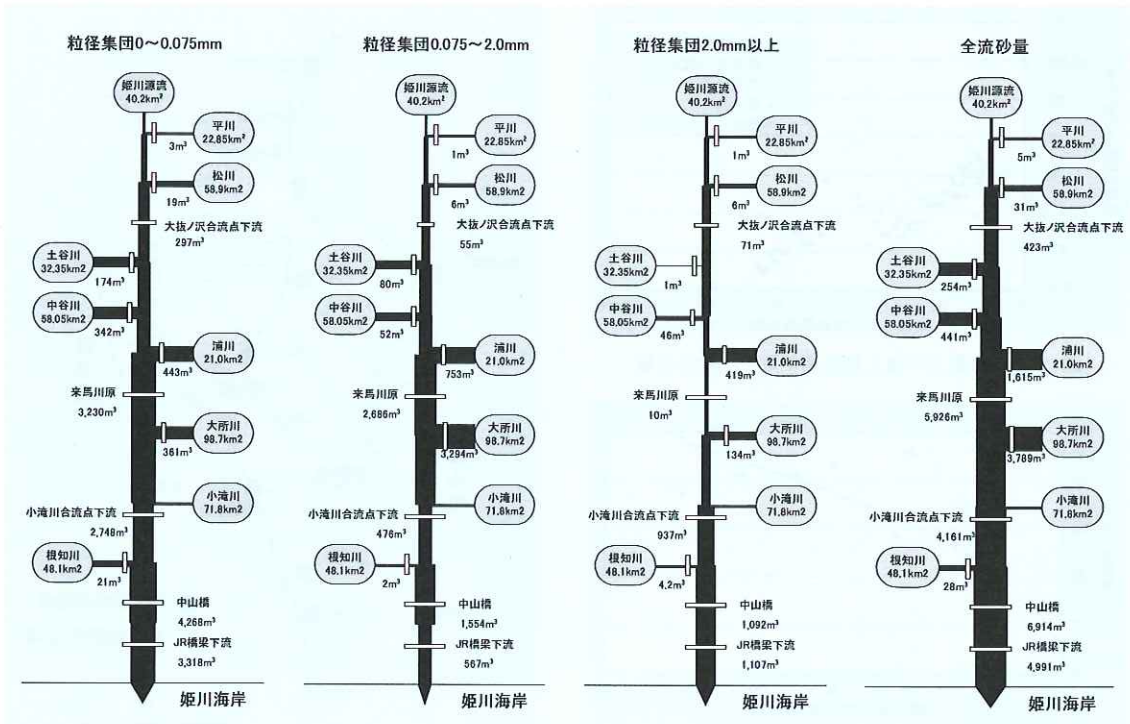


図-6 姫川土砂動態マップ (平成13年7月7日出水)

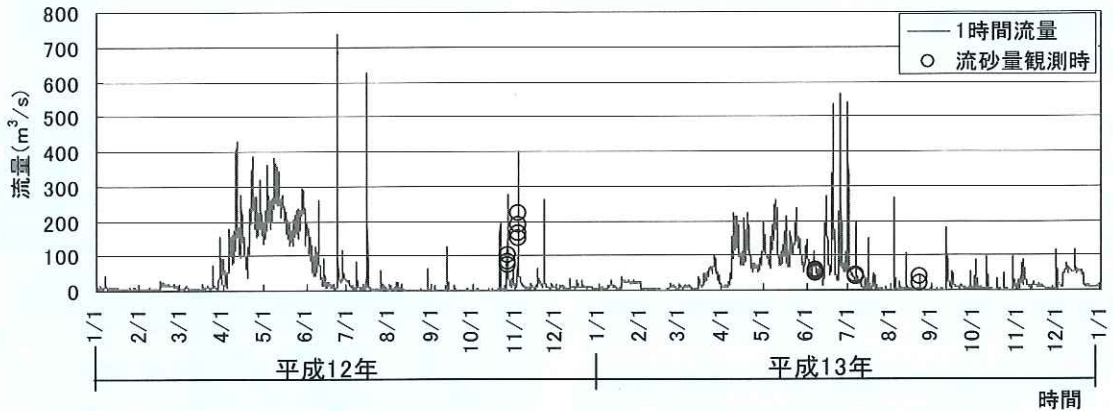


図-7 平成 12 年～13 年の流量 (山本観測所)

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、JR 橋梁下流から海岸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。

図-7 は山本観測所における平成 12 年～13 年の時間流量の変化と、流砂量観測を行った際の同観測所の時間流量を示したものである。この図に示すとおり、流砂量観測は流量のピーク付近では行うことが出来なかった。これは、掃流砂の観測にバックホウを使用するなど、観測準備に時間を要することや、観測可能な流速が限られている為である。今後、出水に応じた観測を行うには、簡便かつ速い流速で流砂を計測可能な手法や観測装置の自動化等の開発を行う必要がある。

4. 土砂移動の予知・予測手法の精度向上

4.1 高崎川の事例

大淀川水系高崎川流域において、山腹や溪岸からの崩壊土砂量をピーク流量以降に与えることにより流入土砂量・溪岸崩壊土砂量を考慮した河床

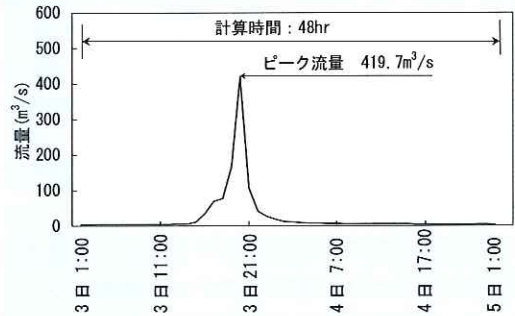


図-8 下川原橋ハイドログラフ (平成 5 年 9 月)



図-9 高崎川砂防流域図

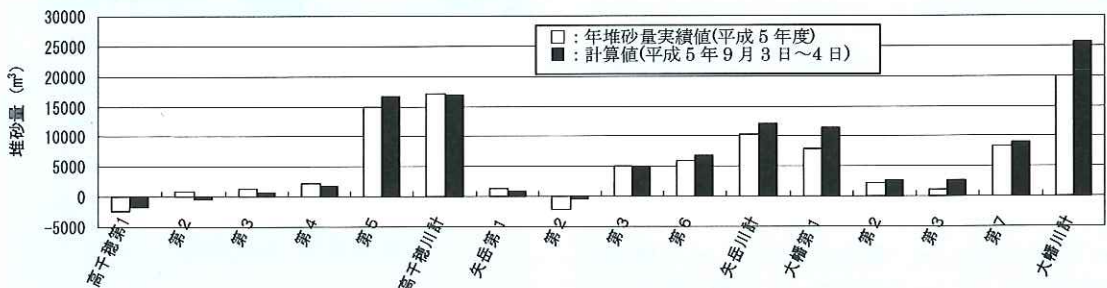


図-10 砂防堰堤の堆砂量比較図

変動計算モデルを作成し、計算結果による砂防堰堤の堆砂量と平成5年度の年堆砂量の実績値を比較することにより、本モデルの再現性を検討した。

平成5年度の年堆砂量のほとんどは、近年で最も大きな出水である平成5年9月3日～4日出水によって生じたと考えられる。このため、計算は、平成5年9月3日～4日出水を対象とした。下川原橋(対象流域下流端)のハイドログラフを図-8に、対象砂防流域の流域図を図-9に示す。なお、計算条件の詳細は、平成14年度概要集を参照されたい。

河床変動計算区間に設置されている砂防堰堤について、平成5年度の年堆砂量の実績値と、再現計算結果による堆砂量を比較した結果を図-10に示す。なお、高千穂第1等の堰堤はマイナスの値を示している。これらの堰堤は当初満砂しており、出水で土砂が流出したのと考えられる。図-10より、計算結果は土砂の堆積の傾向をほぼ再現できており、モデルの再現性が確認された。

流路に存在する不安定土砂量及び山腹崩壊等により新たに流路に供給される不安定土砂量を推定し、土砂生産域内の流路における侵食・堆積過程を再現できる河床変動計算モデルを構築することにより、土砂生産域から下流河川への流出土砂量を推定することが可能となることが確認された。

4.2 姫川の事例

姫川流域において、出水時の土砂移動予測の精度向上を図るため、平成12～13年に行った流砂量観測結果を用いて流砂量式を修正し、1次元河床変動計算に反映した事例を紹介する。

4.2.1 掃流砂量式の検討

図-11は掃流砂量観測結果をプロットし、芦田・高橋・水山式(式(1))の定数について検討したものである。なお、観測結果は現時点までに得られたものであり、大出水時のデータは得られていないため、図-11はあくまで中小出水のデータで整理したものである。

$$q_{B*} = \alpha \tau_*^{3/2} \left(1 - 0.850 \frac{\tau_{*c}}{\tau_*} \right) \left(1 - 0.922 \sqrt{\frac{\tau_{*c}}{\tau_*}} \right) \quad (1)$$

ここに、 q_{B*} :無次元掃流砂量($=q_s/\sqrt{sgd^3}$)、 q_B :単位幅流砂量、 g :重力加速度、 d :平均粒径)、 α :定数($=12$)、 τ_* :無次元掃流力、 τ_{*c} :無次元限界掃流力、 s :($=\sigma/\rho-1$ 、 σ :土粒子密度、 ρ :水の密度)である。

図-11から、式(1)では、姫川の中小出水については、 $\alpha=1.2$ 、 $\tau_{*c}=0.065$ 程度とすると良いようである。

4.2.2 浮遊砂量式

浮遊砂観測結果は、流量 Q -浮遊砂量 Q_s 関係式で整理されることが多いが、ここでは、流速等の水理量表現することが出来るように、観測結果を浮遊砂の土砂濃度 c_s と、沈降速度 ω_0 と摩擦

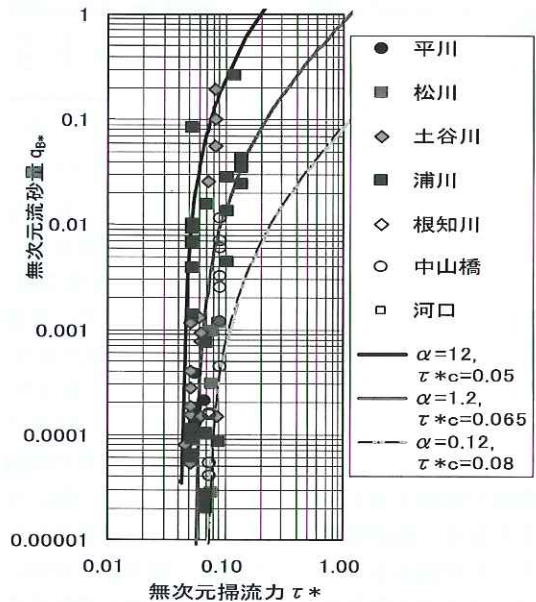


図-11 掃流砂量式の検討

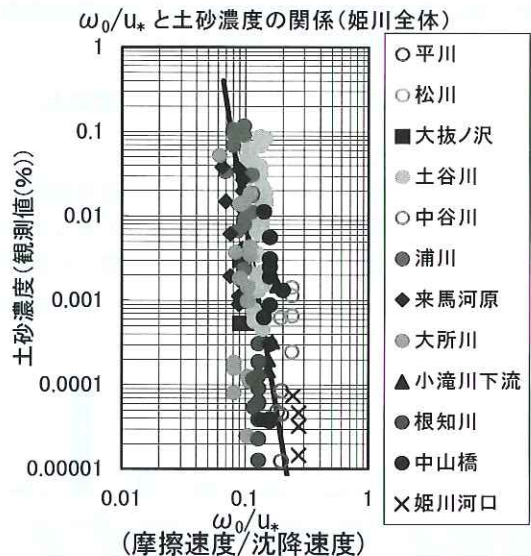


図-12 浮遊砂量式の検討

速度 u_* の比 (ω_0/u_*) の関係に整理し (図-12)、次式を導いた。

$$q_s = q \times c_s \quad (2)$$

$$\text{姫川本川 } c_s = 8.08 \times 10^{-10} (\omega_0/u_*)^{-6.57}$$

$$\text{姫川支川 } c_s = 9.16 \times 10^{-10} (\omega_0/u_*)^{-6.57}$$

ここに、 q_s ：浮遊砂量、 q ：流量である。

4.2.3 計算結果

平成9年から平成10年の2年間について河床変動計算を行った。流量は山本流量観測地点で平成9年から10年に観測した実績値を用いた。流砂量式は式(1)と式(2)を用いた。図-13は土砂収支の計算結果である。平成9年から平成10年には姫川極端な河床変動は生じておらず、計算結

果は河床変動の現状を表しているように思われるが、今後、測量結果等と比較して、計算結果を検証し、流砂量式の補正の効果について考察を進めていきたい。

5. まとめ

本稿では、山地域の土砂生産量を裸地面積等の既往の資料から算出した事例、流砂系一貫した土砂移動観測によりその実態を明らかにした事例を示した。また、土砂移動の予知・予測精度を向上するための、山地域から下流河川に流出する土砂を算出するモデルを作成してその妥当性を検討した事例と、流砂量観測値に基づいた河床変動計算の手法を開発した事例を示した。

6. おわりに

流砂系一貫とした土砂管理を行うには、まず問題を引き起こしている土砂移動を推定し、問題を解決するためにはどのような土砂(量的、質的)がいつ(時間)、どこに(場)必要なのか、ということを明らかにする必要がある。今後は、流砂系における土砂移動実態に関するデータの蓄積を図りつつ、予知・予測手法の精度向上を図り、問題を解決するための「望ましい土砂移動」を推定する手法を開発することが必要である。

参考文献

- 1) 国土交通省河川局砂防部砂防計画課、国総研砂防研究室：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概要集(指定課題)pp.7-43-pp.7-49, 2001.
- 2) 国土交通省河川局砂防部砂防計画課、国総研砂防研究室：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概要集(指定課題), pp.14-1-pp.14-28, 2002.
- 3) 宇多高明、野口賢二：糸魚川・青海海岸における海浜変形、土木技術資料 35-7, pp.31-36, 1993.
- 4) 芦田和男、高橋保、水山高久：山地河川の掃流砂量に関する研究、砂防学会誌(新砂防)Vol.30, No.4, pp.9-17, 1978.

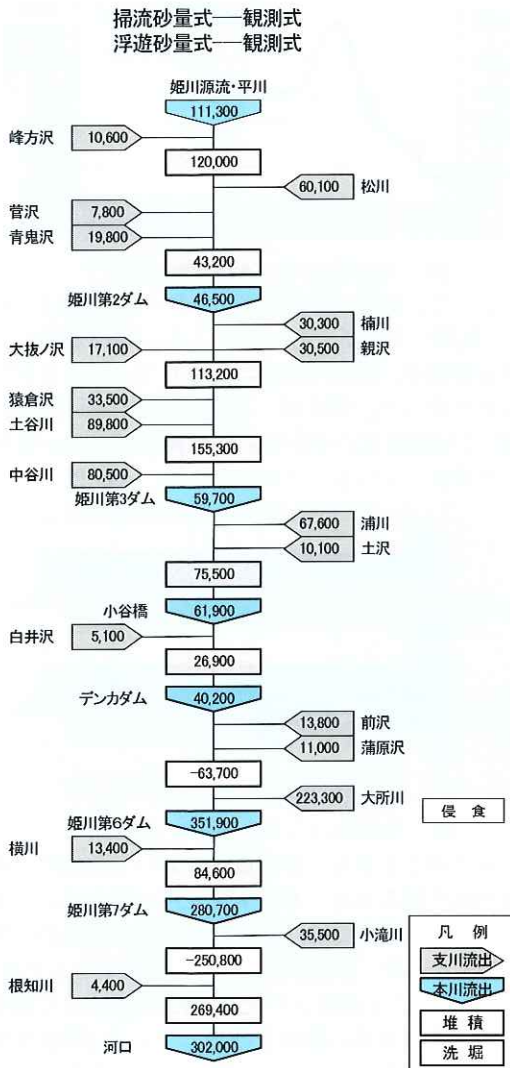


図-13 計算結果(土砂収支)の比較

<文責> 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長 寺田秀樹
同 砂防研究室主任研究官、農博 水野秀明
同 砂防研究室交流研究員 宮尾保道