

ISSN 1880-0114
国総研プロジェクト研究報告 第16号
平成 19年 2月

国土技術政策総合研究所 プロジェクト研究報告

PROJECT RESEARCH REPORT of
National Institute for Land and Infrastructure Management

No.16

February 2007

健全な水循環系・流砂系の構築に関する研究

Research on the Construction of Sound Water Cycles and Sediment Transport Systems

国土交通省 国土技術政策総合研究所

National Institute for Land and Infrastructure Management
Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Japan

健全な水循環系・流砂系の構築に関する研究

中野 泰雄 (2001年4月～2004年3月) *

杉浦 信男 (2004年4月～2005年3月) **

綱木 亮介 (2005年4月～2006年3月) ***

Research on the Construction of Sound Water Cycles and Sediment Transport Systems

Yasuo NAKANO (2001.4～2004.3) *

Nobuo SUGIURA (2004.4～2005.3) **

Ryosuke TSUNAKI (2005.4～2006.3) ***

概要

流域の都市化、産業構造の変化などが進み、水利用形態の変化、水質汚濁等、水循環に関する様々な問題が顕在化している。これらの問題に対処し、健全な水循環を目指すために、相互に関係する水循環の各事項の現象を把握するとともに、水循環の各要素のバランス・地域特性を評価する技術の開発が求められている。また、流砂系の土砂移動のアンバランスに起因する河床上昇・河床低下やといった地形の変化に伴い、土砂・洪水の氾濫、構造物の破損、越波、生物の生息・生育地域の消滅、景観の変化等といった様々な問題が生じている。このような防災・環境・利用上の問題を解決するために、本プロジェクト研究では流砂系一貫とした土砂移動の実態の把握と対策を研究した。

キーワード：健全な水循環系、健全な流砂系、モニタリング手法、水収支モデル、土砂動態マップ、合意形成

Synopsis

Advancing urbanization in watershed and changes in the industrial structure has invited a variety of issues concerning water cycles. To cope with these issues and establish sustainable water cycle, we must recognize the interconnected nature of all aspects relating to the water cycle. At the same time, development of technologies to evaluate the balance and regional characteristics of each factor of the water cycle is required. In addition, terrain changes such as elevated or lowered riverbeds and coastal erosion has attributed to the imbalance of sediment movement in the sediment transport system relating to various issues such as flooding and structural damage, high tide and disappearance of wild life. To solve these issues associated with disaster prevention and environmental availability this research aims to establish a picture of the actual behavior of sediment exclusively in the sediment transport system.

Key Words : Sound Water Cycles, Sound Sediment Transport Systems,
Water balance model, Sediment movement mapping,
Monitoring technique, Consensus building

-
- * 前危機管理技術研究センター長
Former Director, Reseach Center for Disaster Risk Management
 - ** 前危機管理技術研究センター長
Former Director, Reseach Center for Disaster Risk Management
 - *** 危機管理技術研究センター長
Director, Reseach Center for Disaster Risk Management

プロジェクト研究
「健全な水循環系・流砂系の構築に関する研究」
報告書

1. はじめに	1
2. 研究概要	2
2. 1 研究の目標	2
2. 2 研究の実施体制	4
2. 3 研究の実施方法	5
3. 健全な水循環系の構築	7
3. 1 水収支モデル	9
3. 2 合意形成を目指した代替案比較のツールの開発	11
3. 3 指標構築の考え方	24
4. 健全な流砂系の構築	29
4. 1 土砂移動モニタリング技術	29
4. 2 土砂移動予知予測技術	44
4. 3 流砂系一貫とした土砂移動の管理技術	53
4. 4 土砂移動と防災・環境・利用上の問題との関係の推定技術	61
5. まとめ	68
6. おわりに	73
巻末資料	74
巻末 1. 成果の公表一覧	

1. はじめに

水は地表や海面から蒸発して大気中に移動し、その後雨として地表や海面に戻る。地表に戻った水の一部は地下水となり、残りの水は表流水となって川を流れ、海に至る。このような水の移動の循環は水循環と呼ばれ、その経路は水循環系と呼ばれる。同様に、土砂は崩壊や侵食といった形態で山腹から溪流に入り、流水によって河川を運ばれて、河口から海域へと移動する。このような土砂の移動する領域、すなわち土砂移動の経路は流砂系と呼ばれる。

我が国では、都市への人口の集中と産業活動の集積、農業形態の近代化、土地利用の変化等が進み、降雨の流出や水利用の形態等が変化した。このような流域における社会構造の変化は水循環系に過度な負担を与え、洪水被害ポテンシャルの増大、渇水被害ポテンシャルの増大、通常時の河川流量の減少等といった影響を引き起こした。

また、前述の社会構造の変化は構造物による土砂移動の遮断や砂利採取による流砂系外への土砂の搬出といった負担を流砂系に与えた。その結果、ダムや貯水池における堆砂による洪水調節容量の減少や貯水池の上流での洪水の危険性の増大、河川構造物の安全性の低下、砂浜のもつ防災効果や海岸保全施設の防災効果の低下といった防災上の問題や、濁水や高水敷の樹林化、土砂供給の減少による河床材料のアーモークコート化、海岸侵食による稚仔魚の繁殖や海がめの産卵のために必要な砂浜や海岸植生の減少といった環境上の問題、ダムや貯水池における堆砂による利水容量の減少といった利用上の問題が顕在化してきた。

上記のような現状を踏まえ、河川審議会は「新たな水循環・国土管理に向けた総合行政のあり方について」を平成11年3月に答申した。その中で、健全な水循環系を実現していくために、行政・事業者・住民のパートナーシップのもと河川だけでなく流域における水循環の各過程における量・質両面からのモニタリングを実施しつつ、水の連続性に配慮した総合的な取組みを行う「水環境マネジメント」等といった5つの概念を国土マネジメントの視点に取り入れることが必要であることを報告した。また、安全で豊かな国土を維持・形成していくために、山地・山麓部における土砂流出の適正化、ダムにおける新たな土砂管理システムの確立、流砂系一貫した適正な土砂管理の実現といった取組みを、流砂系の総合的な土砂管理に向けて実施する必要があると報告した。

さらに、総合科学技術会議「分野別推進戦略(平成13年9月)」において、総合水管理の研究開発は我が国だけでなく、世界水危機の回避に貢献できるとして、世界水管理の面で我が国の主体的協力に資する研究開発が必要とされている。

このような背景のもと、当プロジェクト研究は健全な水循環形の構築、健全な流砂系の構築、水・土砂管理の総合化のために必要とされる技術について研究開発を行った。ここでは、その成果の概要を報告する。

2. 研究概要

2. 1 研究の目標

本プロジェクト研究は、水循環の現状を把握するとともに、その健全性を表す総合的な評価指標を作成した上で、治水・利水・環境のバランスがとれた評価手法を確立する。一方、流砂系の総合的な土砂管理についても、まず土砂移動の現状を把握するとともに、流砂の量と粒径を連続的かつ継続的に観測するシステムの構築を行う。さらに、将来にわたる流砂系全体における土砂移動に起因した問題に適切に対処するため、流砂系一貫として土砂移動が追跡できる土砂移動予測技術（地形変化推定モデル）と河川・海岸部の詳細な地形変化予測技術、生態系への影響予測技術の開発を行う。これらの結果をもとに、治水・利水・環境に関わる水・土砂管理の総合化を図る。また、我が国や類似の自然・社会条件を有するアジア地域の渇水・災害対策等の水管理技術の発展に貢献する。

河川審議会答申「新たな水循環・国土管理に向けた総合行政のあり方について（平成 11 年 3 月）」において、水循環系については、河川、地下水、下水道等に係わる水質、水量は重要であり、実態を十分把握するとともに、国土マネジメントに水循環の概念を入れ、流域全体での視野と社会全体での取り組みの必要性、また、流砂系については、流域の源頭部から海岸の漂砂域までの一貫した土砂の運動領域を「流砂系」という概念で捉え、一貫した土砂移動の実態把握とともに、適切な土砂流出の抑制及び下流への土砂供給などの取り組みを一体的に行うことの必要性が指摘されている。

さらに、国際総合水管理については、総合科学技術会議「分野別推進戦略（平成 13 年 9 月）」において、総合水管理の研究開発は我が国だけでなく、世界水危機の回避に貢献できるとして、世界水管理の面での我が国の主体的協力を資する研究開発が必要とされている。

このような背景の中、当プロジェクト研究の目標をまとめると次のようになる。

(1) 健全な水循環系の構築

- 1) 水循環に係わる問題解決のためには、関係者間の合意形成が必要となる。その前提となる水循環の現状を把握し、健全性を表わす分かりやすい総合的な評価指標を開発する。
- 2) 発生している問題に対して個別に対応するのではなく、流域全体の視点から、健全な水循環系構築に向けて問題解決のためのツールとして水収支モデルの開発など、有効な合意形成手法を提案する。

(2) 健全な流砂系の構築

- 1) 土砂移動に係わる問題の解決のためには、流砂系一貫した土砂移動実態の把握と問題点の共有化が重要である。急流区間から感潮区間までの掃流砂・浮遊砂の観測機器

の開発を行うとともに、流砂系全体の問題解決の「鍵」となるターゲット粒径に相当する土砂に着目した土砂モニタリングを行い、土砂移動実態を把握して土砂動態マップおよび土砂収支図を作成し、流砂系一貫した流砂の量と粒径を連続的且つ継続的に観測するシステムを提案する。

- 2) 総合的な土砂管理を行うためには、流砂系全体における将来の土砂移動とその影響を予測する技術が必要であるため、流砂系一貫として土砂移動が追跡できる土砂移動予測技術（地形変化推定モデル）と河川・海岸部の詳細な地形変化予測技術、生態系への影響予測技術の開発を行う。
- 3) 個別分野の対応とともに、生態系の保全を含む流砂系の土砂移動に係わる問題を解決するため、流砂系全体の視点に立った流砂系の健全性を評価する手法を開発し、望ましい土砂移動を達成するために必要な対策を評価・選定する土砂動態管理手法を提案する。

（3）水・土砂管理の総合化

（1）、（2）の成果をもとに、モデル流域において、水循環系・流砂系それぞれの視点で健全性を評価し、総合化手法を提案する。

2. 2 研究の実施体制

水循環系については、国土交通省本省及び関係省庁の関与する関係省庁連絡会議において施策化を図るとともに、代替案ツールなど地方整備局と連携して研究を進めた。

流砂系については、国土技術研究会の指定課題として設定し、各地方整備局と連携して観測を行った。また、(財)砂防・地すべり技術センターとともに安倍川流砂系において共同で観測を行った。

さらに、水、土砂管理の総合化については、山梨大学や京都大学等の大学と共同研究を行った。図-2.1に実施体制を示す。

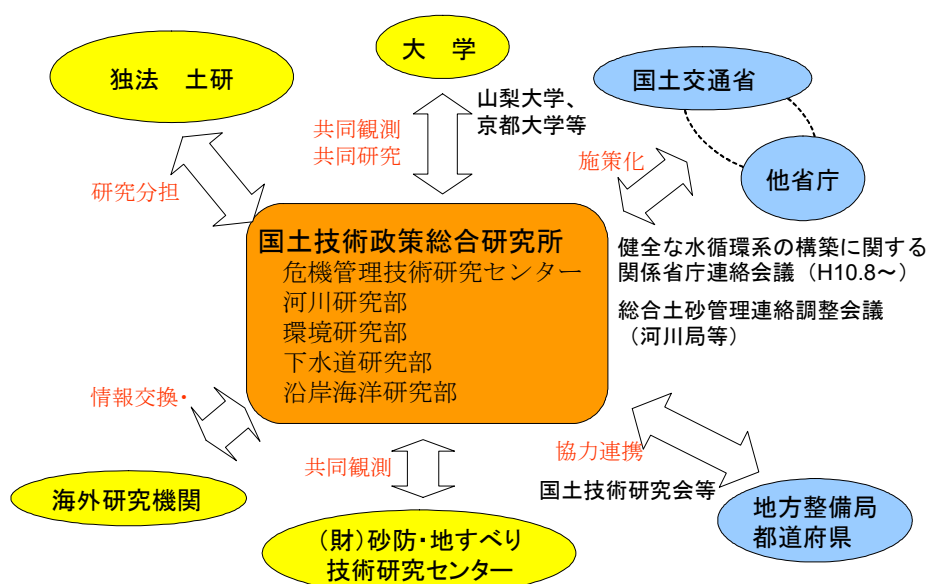


図-2.1 研究実施体制と連携機関

2. 3 研究の実施方法

(1) 健全な水循環系の構築

- 1) 水循環系に係わる問題解決のためには、関係者間の合意形成が必要となる。その前提となる水循環系の現状を把握し、健全性を表わす分かりやすい総合的な評価指標を開発する。
- 2) 発生している問題に対して個別に対応するのではなく、流域全体の視点から、健全な水循環系構築に向けて問題解決のためのツールとして水収支モデルの開発など、有効な合意形成手法を提案する。

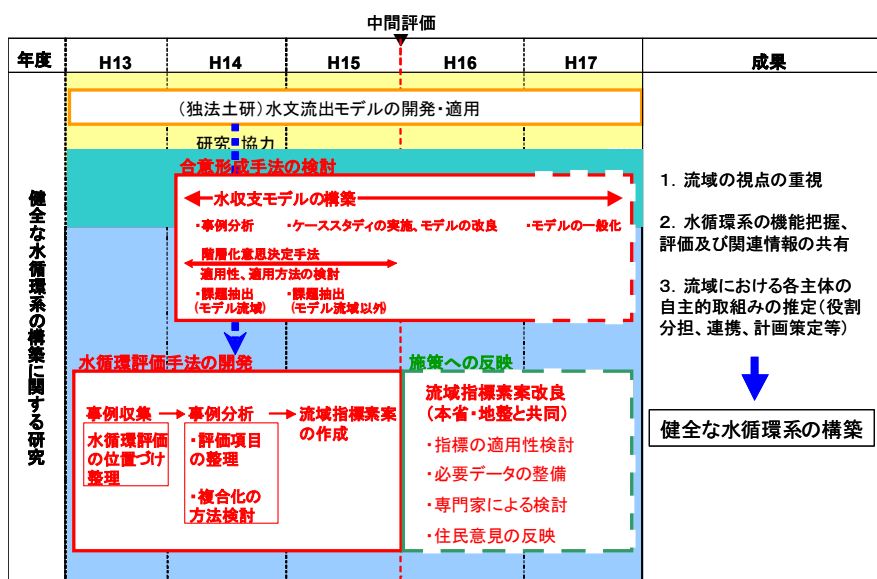
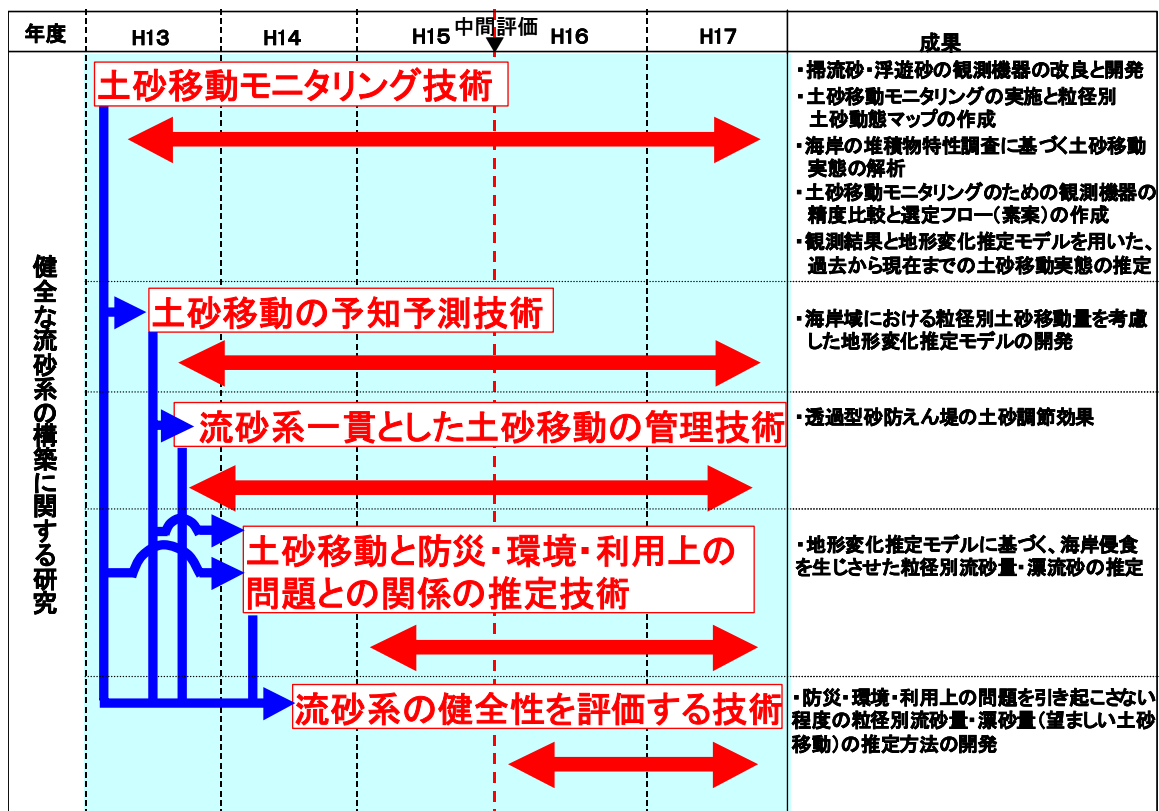


図-2. 2 全体計画(健全な水循環系の構築)

(2) 健全な流砂系の構築

- 1) 土砂移動に係わる問題の解決のためには、流砂系一貫した土砂移動の実態を適切な土砂移動モニタリング技術により把握するとともに、土砂移動の予知予測技術を用いて将来の土砂移動とそれに伴う地形の変化を予知・予測することが重要である。さらに、それらの技術に基づいて、土砂移動に関わる問題とその原因を推定するとともに、現時点での健全性を評価して健全な状態を回復・維持させるための土砂管理が必要となる。
- 2) 土砂移動モニタリング技術については、急流区間から感潮区間までの掃流砂・浮遊砂の観測機器の開発を行うとともに、流砂系全体の問題解決の「鍵」となるターゲット粒径に相当する土砂に着目した土砂モニタリングを行い、土砂移動実態を把握して土砂動態マップおよび土砂収支図を作成し、流砂系一貫した流砂の量と粒径を連続的且つ継続的に観測するシステムを提案する。

- 3) 土砂移動の予知・予測技術については、流砂系一貫として土砂移動が追跡できる土砂移動予測技術（地形変化推定モデル）と河川・海岸部の詳細な地形変化予測技術、生態系への影響予測技術の開発を行う。
- 4) 土砂移動と防災・環境・利用上の問題との関係を推定する技術については、土砂移動の予知・予測技術を応用し、問題を引き起こした地形の変化過程を推定する手法を提案する。
- 5) 流砂系一貫とした土砂移動の管理技術については、砂防・河川・ダム・海岸の各領域において対等の効果を評価する手法を開発する。
- 6) 流砂系の健全性を評価する技術については、対策を講じた場合と対策を講じなかった場合とで便益を比較することで健全性を判断する手法を提案する。



図－2. 3 全体計画（健全な流砂系の構築）

（3）水・土砂管理の総合化

（1）、（2）の成果をもとに、モデル流域において、水循環系・流砂系それぞれの視点で健全性を評価し、総合化手法を提案する。

3. 健全な水循環系の構築

1999年10月の健全な健全な水循環系構築に関する関係省庁連絡会議の中間とりまとめ¹⁾では、「健全な水循環系とは、流域を中心とした一連の水の流れの過程において、人間社会の営みと環境の保全に果たす水の機能が、適切なバランスの下にともに確保されている状態」と定義されている。

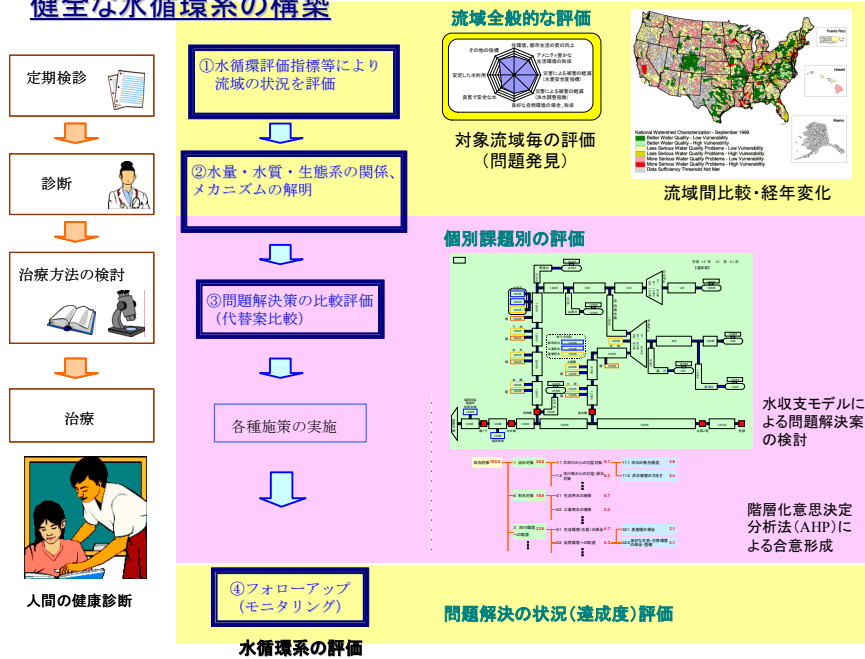
水循環系は大循環、中循環及び小循環に分けることができる。大循環は雨が地表、地下をたどり、河川を通じて海まで達するという流域全体の水循環系、中循環は都市域など一定の広がりをもった地域における水循環系で河川や水路、下水道など、自然の循環系と人工の循環系が互いに結びついたもの、小循環は各家庭、事業所単位の小さな水循環系で最も基本的単位とそれぞれ考えることができる。それぞれの規模ごとにとり組みは異なることから、水循環系の問題の性質によって、適切な流域（大流域、中流域、小流域）を設定していく必要がある。特に大循環を考える場合は流域外との関わりも生じる。本研究では「流域管理」の観点から、流域における取組みを想定した水循環系を主たる対象とすることとしており、この意味からは中循環を中心としつつ、中循環と大循環の間を検討の中心に想定していくこととする。

健全な水循環系の構築は発生している問題に対して個別に対応するだけでなく、流域の視点から治水・利水・環境のバランスを考慮して健全な水循環系の構築をめざす総合的な取組みであると考えられる。水循環系の健全性を確保するための取組みを支援するために、流域全体の治水・利水・環境のバランスを考えた総合的な評価手法を提示することとしている。

水循環系の評価は、流域管理の各段階に応じて流域の状態を評価していくものであり、人間の健康診断と比較して考えるとわかりやすい。健康診断では、一般に健康と考えられる状態と比較して自分がどのように位置付けられるのかという観点（他者との比較）と過去の状態からどのように変化し、将来どのような状態になるかという観点（時間的変遷）が重要である（図－1）。水循環評価でも流域間比較を行い、それぞれの流域の時間的変遷を確認することが必要であり、さらに健全化の取組みを行う主体が多岐にわたることから、このような情報を流域で共有化することによってし、各主体のそれぞれが主体的な取組みを促進することが水循環評価には期待される。

水循環評価は図－1 ①にある流域総合評価と②③にある個別評価の両方を総称している。本研究では①として、流域間の比較、流域全体の経年変化の観察、情報の共有化や流域における取組みの達成状況を確認するといった流域総合評価のため指標の作成、②③として、問題解決策の比較評価のツールの作成を実施し、流域の特性、経年的変化の把握を通じた問題発見及び問題解決のための関係者間の幅広い取組みを可能にする手法を検討する。

健全な水循環系の構築



図－1 水循環評価と健康診断の比較

参考文献

- 1) 健全な水循環系構築に関する関係省庁連絡会議：「健全な水循環系構築に向けて（中間とりまとめ）」、1999年10月

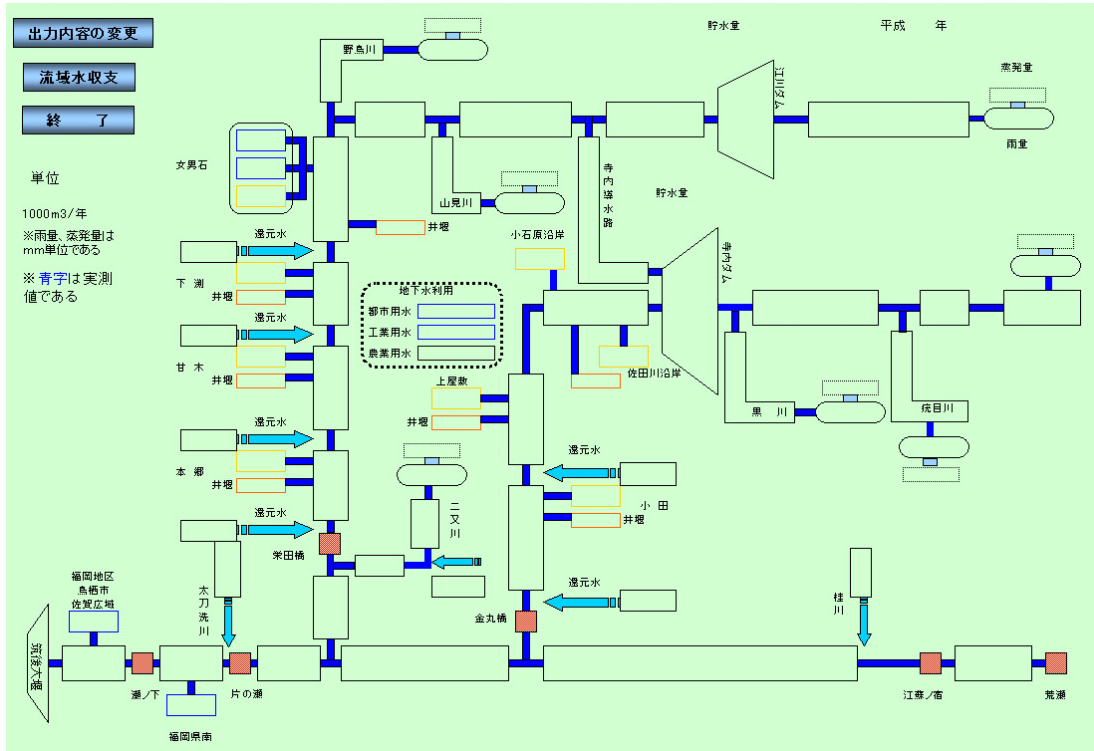
3. 1 水収支モデル

健全な水循環系を構築するための問題解決策は、トレードオフ関係にある水量、質といった各要素間の最適な解決策を見出していく評価比較が必要である。水量についての水利関係者間の調整に資するツールの一つとして水収支モデルを開発する。

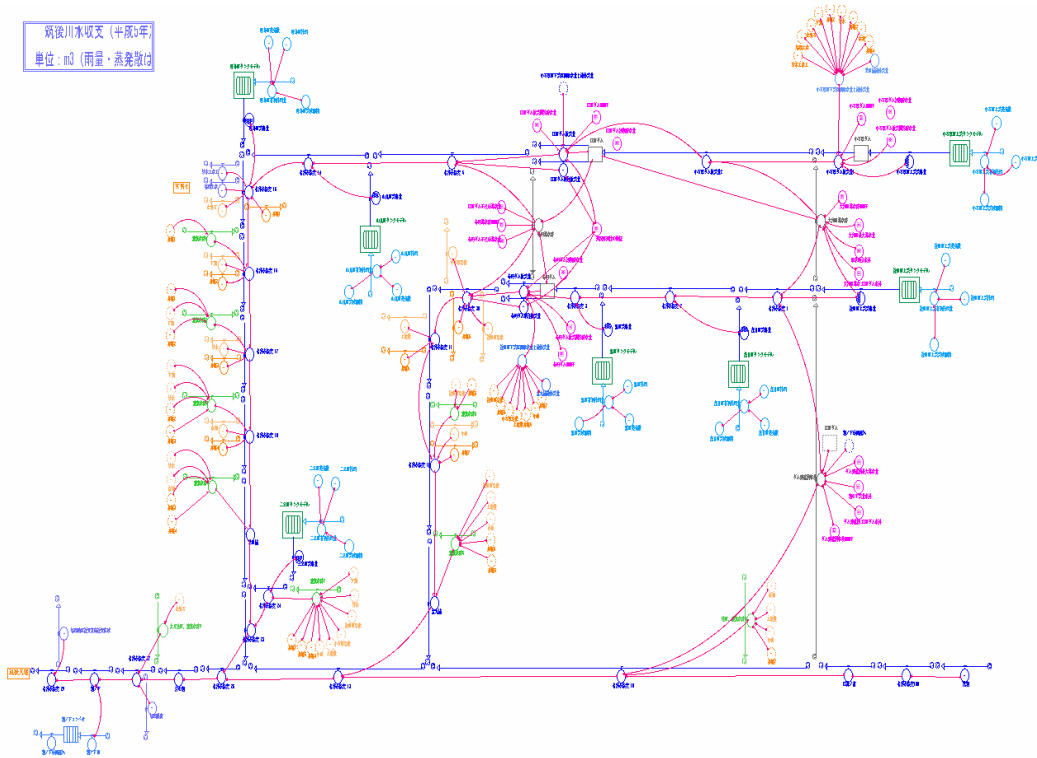
水を適切に配分して健全な水循環系を構築するためにツールとして、水収支モデルの作成を行った。環境意識の高まり等を背景に水資源に対する人々の価値基準は多様化する一方で新たな水資源開発は難しいことが多く、関係者の合意を得つつ、既存施設を有効に活用することが求められている。多様な価値を伴う水資源の配分は単一の方法で各種開発計画を評価し合意を得ることは困難になっており、こうした多様性に対処する意味で計画策定時の関係者間の議論、住民参加が重視されるようになってきている。そのため、健全な水循環系を構築するため、参加型意思決定を支援するツールとして水収支モデルの開発を行った。

参加型合意形成を現実に行うには、どのようにして全ての関係者が納得する解決方法を見つけるか、その意思決定プロセスを工夫する必要がある。とりわけ水利用が複雑化した流域では参加型合意形成は容易ではなく、関係者が意思決定に参加することを支援するツールが必要になるものと考えられる。意見調整プロセスにおいて流域の将来の予測あるいは各関係者の取組みによって想定される結果を考慮しながら議論を行うことを手助けするため、行政、専門家、その他関係者が集まってシミュレーションを行うモデルを作成する事例が米国にあるが、国総研では、このモデルを参考にして、わが国の背景に適合した参加型合意形成を支援するツールの作成を試みるケーススタディを筑後川水系小石原川・佐田川流域で行った。

当該流域の主な水利用は農業用水、工業用水、水道用水であるが、近年、湧水・地下水枯渇が懸念され、その保全・復活が期待されている。しかし、当該流域では水利用が高度に進み、複雑化しており、関係するデータがどの程度、整備されているかということも含めて、現状把握そのものが困難になっている。そのため、まず現状をどこまで把握できるかを明らかにするため、関係者でデータを持ち寄ってデータベースを構築し、その上で各種施設の影響、関係者の取組み等をシミュレーションするモデルの作成を試みた。入手できる範囲でデータベース、シミュレーションモデルを構築し、ある時点での取水量を変化させたときの流況の変化、既設の施設がなかったと仮定した時、あるいは逆に計画中の施設があった場合等のシミュレーションが可能な水収支モデルを作成したが、図-3. 1. 1は Excel®によるモデルと STELLA®を組み合わせたモデルの流域の状況を示したものである。



(1) EXCEL®による表示例



(2) STELLA®によるモデル表示例

図-3. 1. 1 水収支モデル

3. 2 合意形成を目指した代替案比較ツールの開発

3. 2. 1 はじめに

近年、財政事情や社会経済事情の変化等を背景として、社会資本整備における効率性・透明性・客観性、及び、その説明責任がこれまで以上に求められている。そのため、各事業分野においては、客観性の高い評価手法として費用便益分析（Cost Benefit Analysis）を用い、経済効率性に着目した評価が実施されている。しかし、現在の技術では、貨幣換算が困難効果・影響も未だ少なくなく、経済効率性に着目した費用便益分析結果のみをもって事業の必要性・有効性を意志決定する困難さも指摘されている。そのため、費用便益分析結果も1つの意志決定材料としつつ、貨幣換算が困難な効果項目も含めた形での総合評価手法の確立が求められている。

費用便益分析において計測が困難な項目（貨幣的価値では評価できない項目）等については、多基準分析手法を用いることで、その重要度を定量化し、費用便益分析とあわせて事業の総合的評価が可能となる。

そこで、本研究では、多基準分析手法のひとつである AHP（階層化意思決定法）の河川事業への適用について検討し、河川事業における代替案比較手法について整理した。

3. 2. 2 AHP（階層化意思決定法：Analytic Hierarchy Process）について

AHP は、問題の要素を最終目標－評価基準－代替案の関係で捉えて、階層構造を作り、最終目標からの観点によって評価基準を設定し、各代替案（施策）の重要度を評価する手法である。そして、最終的には最終目標からみた代替案の評価換算が可能となる方法である。AHP は代替案に却下線を担保しながら定量的に評価可能である点が他の多基準分析手法より優れており、またわかりやすさ・手軽さ・説明性等の観点から意志決定問題において多くの実績を有しているといわれている。

3. 2. 2. 1 AHP の基本的な考え方

AHP を使って問題を解決するには、問題の要素を、「最終目標 ⇒ 評価基準 ⇒ 代替案」の関係でとらえて段階構造を作り上げる。そして、最終目標からみて評価基準の重要さを求め、次に各評価基準からみて各代替案の重要度を評価し、最後に、これらを最終目標からみた代替案の評価に換算する。AHP はこの評価の過程で、経験や勘を生かして、これまではモデル化したり定量化したりすることが難しかったことも扱えるのが特徴である。

AHP は次に示す 3 段階から成り立つ。

① 第一段階 問題の階層化

複雑な状況下にある問題を、階層構造に分解する。ただし、階層の最上層は 1 個の要素からなり、総合目的（ゴール）である。それ以下のレベルでは意思決定者の主観的判断により、いくつかの要素が 1 つ上のレベルの要素との関係から決定される。

② 第二段階 要素のペア比較

各レベルの要素間の重み付けを行う。つまり、ある1つのレベルにおける要素間のペア比較を、1つ上のレベルにある関係要素を評価基準にして行う。Nを比較要素数とすると、意思決定者は $n(n-1)/2$ 個のペア比較をすることになる。さらに、このペア比較に用いられる値は、 $1/9, 1/8, \dots, 1/2, 1, 2, \dots, 8, 9$ とする。

③ 第三段階 優先度の計算

以上のようにして得られた各レベルのペア比較行列（既知）から、各レベルの要素間の重み（未知）を計算する。これには行列の固有ベクトルの考え方をを使う。

なお、このペア比較行列は逆数行列であるが、意思決定者の答えるペア比較において首尾一貫性のある答えを期待するのは不可能である。そこで、このあいまいさ（不整合性）の尺度として、コンシステンシー指数を定義する。

各レベルの要素間の重み付けが計算されると、この結果を用いて階層全体の重み付けが計算され、この結果を用いて階層全体の重み付けを行う。これにより、総合目的に対する各代替案のプライオリティ（優先度）が決定する。

3. 2. 2. 2 AHPの実施手順

AHPの分析は、図3-2-1に示すような流れに沿って実施する。主に、次に示す4段階である。

- ① 評価項目の体系化と評価指標の設定
- ② 評価項目のウェイト付け
- ③ 対象事業の採点
- ④ 総合評価値の算出

まず、多種多様な評価項目を網羅的に樹形図（ツリー）形式に整理し、その項目間の重要度（ウェイト）を計測する。ウェイトは評価基準設定者を被験者とした評価項目間の一対比較アンケートにより数量化する。次に、整理した評価体系の細項目を評価基準として、評価対象の事業について評点をつける。最後に項目間のウェイトと評点から総合評価値を算出する。この手順を踏んで求められた評価項目体系、項目間ウェイト、および対象道路の評点は、評価者が納得するまで合意形成を図らなければならない。したがって、必要に応じてフィードバックを繰り返して修正を行い、同時に全体の整合性を見直すことが必要である。

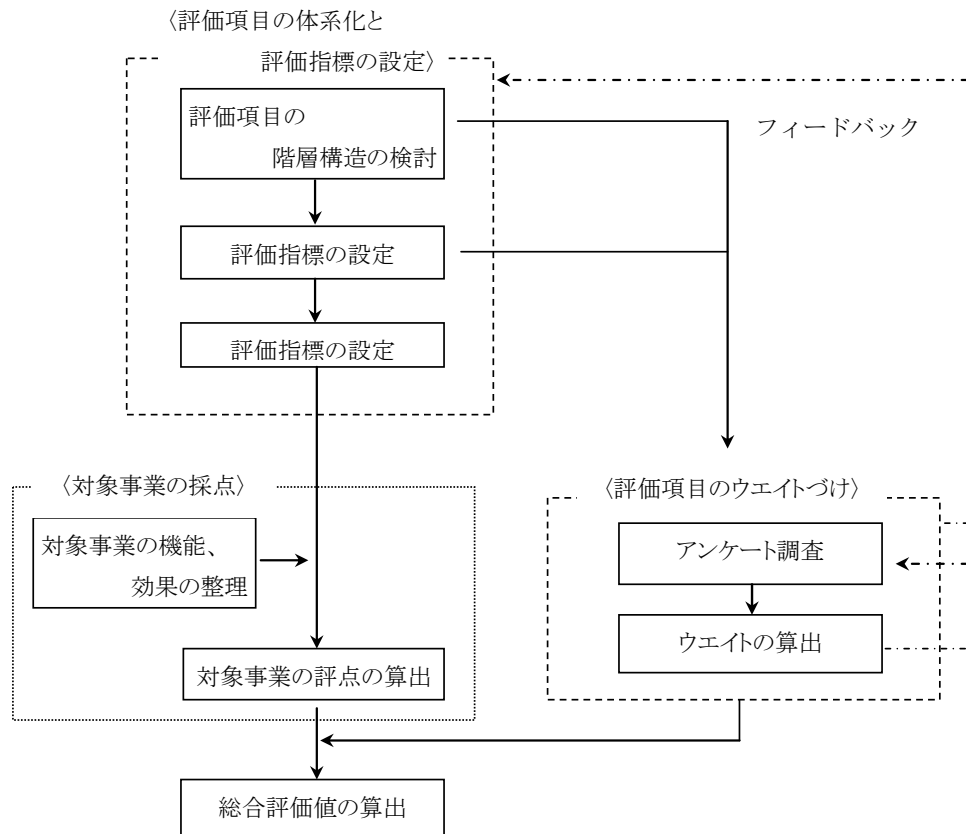


図 3-2-1 AHP の実施手順

3. 2. 3 AHP の河川事業への適用検討

3. 2. 3. 1 河川事業における評価項目の設定と体系化（階層構造化）

1) 評価目的の整理

評価項目の設定に先立って、本調査で AHP を用いて評価する目的について整理する。先述の通り、AHP は意思決定を合理的に実施するうえでの有効な手段である。その用途（用途）としては、大きく以下の 2 点が想定される。

(1) 個別事業を対象とした事業効果の確認

- ・ 個別事業における複数の代替案（例えば、治水優先型事業、環境保全型事業など）の優劣を比較するための評価を行う。
- ・ 従来型の B/C が、主に治水効果のみを評価していた点を勘案し、B/C の結果に加えて B/C 以外の効果や事業の実施環境（実現性、技術的難易度など）を評価項目として、各代替案を総合的に評価する。

(2) 対象河川が目指すべき方向性の明確化

- ・ 対象河川で必要な個別事業を検討する前に、対象河川が今後目指すべき方向性を明確化するための評価を行う。

- ・ 今後の河川整備を行う上で重要な項目を整理し、対象河川で特に何が必要なのかを評価する。個別事業については、その評価結果に基づいて、ウエイトが大きい（効果が大きい）項目に関連する事業を優先的に実施していく。

(1) は事業の代替案の優劣を比較するもの、(2) は対象河川の長期計画（河川整備計画など）策定時の実施を想定したものであるといえる。いずれも重要な使途であるが、本調査では、まず、現場（河川事務所等）での使用を想定し、主に(1)の目的で適用可能な手法を整理することとした。

2) 評価項目の設定と階層構造化

評価項目は、以下の内容を基本に設定した。

- ・ 評価の体系をわかりやすくするため、評価要素間の関係を多段階の階層構造として記述する。階層は、「大項目」、「中項目」、「小項目」を基本とする。
- ・ 大項目は、「河川整備（事業）の目的」とする。
- ・ 中項目は、「河川整備の目的を実現するための方策（実現方策）」とする。
- ・ 小項目は、「事業実施による実施効果や影響等」とする。

評価項目について本調査では、大項目から小項目について、新河川法に記載された目的を踏まえ、河川整備事業に求められる視点や評価項目を、既存の河川整備基本方針や河川分科会の取りまとめを参考に設定する（出来るだけ全国共通のものとして捉える）。河川整備基本方針が策定されている一級河川の内容を参考にした。参考とした箇所は、「1. 河川の総合的な保全と利用に関する基本方針」、河川分科会とりまとめの「Ⅲ. 主要な施策展開」である。

資料を収集・整理し、設定した評価項目と階層構造を以下に示す（図 3-2-2）。

【全体比較＜大項目の比較＞】

- | | | |
|-------------|---|--------------------------|
| ・ 治水対策 | ： | 災害の発生の防止、軽減 |
| ・ 利水対策 | ： | 水資源の確保、普段の河川水量の確保 |
| ・ 河川環境への配慮 | ： | 河川環境の整備と保全 |
| ・ 社会的影響への配慮 | ： | 住民や地域への影響に配慮 |
| ・ 事業効率 | ： | 事業の効率的(投資費用に対する効果の割合)な実施 |

【治水対策に関する評価項目＜中項目の比較＞】

- | | | |
|-----------------|---|---------------|
| ・ 大河川からの氾濫対策 | ： | 大河川からの洪水被害の防御 |
| ・ 支川等からの氾濫・浸水対策 | ： | 支川等からの浸水被害の防御 |

- ・ 高潮対策 : 海岸付近の高潮被害の防御
- ・ 住民の防災意識の高揚 : 住民の防災に対する意識の高揚

【大河川からの氾濫対策に関する評価項目<小項目の比較>】

- ・ 洪水の発生頻度 : 洪水が発生する回数の減少
- ・ 洪水被害の大きさ : 同じ洪水が起こった場合の被害最小化

【利水対策に関する評価項目<中項目の比較>】

- ・ 生活用水の確保 : 水道用水を確保
- ・ 工業用水の確保 : 工業用水を確保
- ・ 農業用水の確保 : 農業用水を確保
- ・ 普段の河川水量の確保 : 魚類(アユなど)や水質、景観等に必要な普段の河川水量を確保
- ・ 節水など水利用に対する住民意識の高揚

【河川環境への配慮に関する評価項目<中項目の比較>】

- ・ 生活環境の保全 : 水質の保全
- ・ 自然環境への配慮 : 多様な動植物の生育環境への配慮
- ・ 河川空間の整備と保全 : 河川空間環境(親水性など)への配慮
- ・ 河川内の土砂・樹木対策 : 河川内の土砂や樹木の適切な管理
- ・ 良好な川の風景の保全 : 川における風景(見た目)に配慮
- ・ 河川美化など維持管理への住民参加

【自然環境への配慮に関する評価項目<小項目の比較>】

- ・ 貴重種の保全 : 貴重な動植物への配慮
- ・ 良好な生息・生育環境の保全・整備 : 動植物全般の生息・生育環境への配慮

【河川空間への配慮に関する評価項目<小項目の比較>】

- ・ 流域に伝わる文化の継承 : 流域の歴史・文化に配慮
- ・ 親水性の確保 : 魚釣り・水遊びの場など水辺への近づきやすさに配慮
- ・ レクリエーション空間の確保 : 公園・運動場など散策・スポーツ活動等に配慮

- ・ 自然・環境学習の場の確保： 自然観察・環境学習としての場の確保に配慮

【社会的影響への配慮に関する評価項目＜中項目の比較＞】

- ・ 地域住民の生活環境： 地域住民の移転等、住民生活への影響
- ・ 地域活性化： 地域づくり・まちづくりに対する効果出現への努力

【地域住民の生活環境に関する評価項目＜小項目の比較＞】

- ・ 居住地環境： 事業に伴う住居の移転等、居住地および居住地環境への影響
- ・ 生活基盤： 事業に伴う農地等の買収、その他の生活基盤に配慮

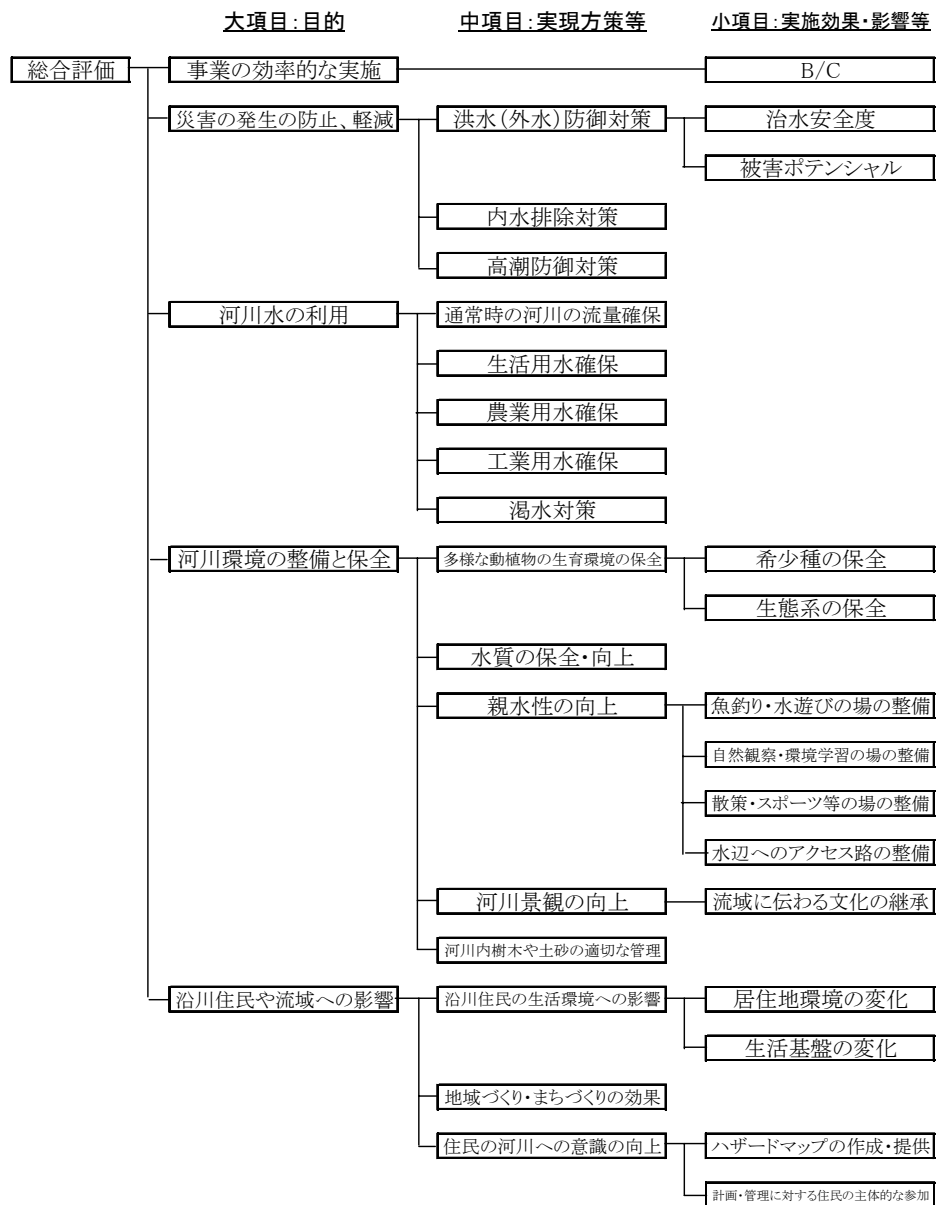


図 3-2-2 評価項目の階層構造

3. 2. 3. 2 適用する AHP 手法について

これまで設定した階層構造に従い、大項目から中項目、小項目の順に質問する形式とした。回答者に階層構造と評価項目を示し、それらの構造と内容をもとに大項目、中項目、小項目の評価項目のうち、どちらがより重要かを9段階で答える形式としている(表 3.2.1)。

表 3.2.1 アンケート形式

	常に左側が重要	左側がなり重要	左側が重要	やや左側が重要	同じ程度	やや右側が重要	右側が重要	右側がなり重要	常に右側が重要	
治水対策	*	-	*	-	*	-	*	-	*	利水対策
治水対策	*	-	*	-	*	-	*	-	*	河川環境への配慮
治水対策	*	-	*	-	*	-	*	-	*	社会的影響への配慮
治水対策	*	-	*	-	*	-	*	-	*	事業効率
利水対策	*	-	*	-	*	-	*	-	*	河川環境への配慮
利水対策	*	-	*	-	*	-	*	-	*	社会的影響への配慮
利水対策	*	-	*	-	*	-	*	-	*	事業効率
河川環境への配慮	*	-	*	-	*	-	*	-	*	社会的影響への配慮
河川環境への配慮	*	-	*	-	*	-	*	-	*	事業効率
社会的影響への配慮	*	-	*	-	*	-	*	-	*	事業効率

本調査は、AHP の河川事業への適用可能性について検討するものであるため、アンケートでは AHP に必要な設問のほかに、評価項目やアンケートの回答のしやすさ等についても訊く項目を設けた。アンケートで設けた設問は以下の通りである。

【設問内容】

- ・ 個人属性に関する設問 (性別、年齢、所属 (職員か否か)、流域への居住の有無、居住年数、河川への訪問頻度)
- ・ AHP に必要な一対比較に関する設問
- ・ 追加したほうが良いと思う評価項目、アンケート自体について (自由記述)

3. 2. 4 モデル地域での AHP の適用

3. 2. 4. 1 アンケート調査

本調査では、A 川流域をモデル地域として選定し、アンケート調査を実施した。AHP は、評価対象に対して、ある程度の知識を有する者に対して、実施すべきものであるとされる。したがって、本調査では、河川管理者とその関係者に対して、アンケートを実施した。

大項目間の比較結果を次に示す。また、回答の傾向を把握するために、「左側が非常に重要」を 1、「左側がかなり重要」を 2 といった順で点数付けをし、その平均と標準偏差を整理した。今回の調査では 9 水準を設定したため、「同じ程度」の評価は 5 となる。したがって、平均値が 5 以下であれば左側が重要、5 以上であれば右側が重要と考える回答者が多いということになる。標準偏差は、回答のばらつきを確認する指標であり、この値が大きいほど回答者によって評価が分かれる比較内容であるといえる。

さらにここでは、「同じ程度」とした回答が全回答に占める割合を整理している。この値が大きいほど、回答者が比較に迷う（判断が難しい）内容か、もしくは情報不足等により評価対象そのものが“わからない”内容になっている可能性がある。

よって、アンケートの信頼性を確保するためには、これを出来るだけ少なくする工夫が必要である。

表 3-2-2 大項目の一对比較結果

問2-1	に左側が非常に重要	り左側がかなり重要	左側が重要	重左側がやや	同じ程度	重右側がやや	右側が重要	り右側がかなり重要	に右側が非常に重要	
治水対策	3	2	10	9	27	5	2	0	3	利水対策
治水対策	1	2	8	13	20	7	7	1	2	河川環境への配慮
治水対策	1	3	8	10	29	5	4	0	1	社会的影響への配慮
治水対策	4	2	14	19	18	1	2	0	1	事業効率
利水対策	1	0	2	12	29	8	6	1	2	河川環境への配慮
利水対策	0	0	5	15	25	9	6	0	1	社会的影響への配慮
利水対策	2	2	8	12	24	9	3	0	1	事業効率
河川環境への配慮	3	1	8	14	25	9	1	0	0	社会的影響への配慮
河川環境への配慮	2	4	13	14	22	4	2	0	0	事業効率
社会的影響への配慮	2	1	8	14	30	6	0	0	0	事業効率

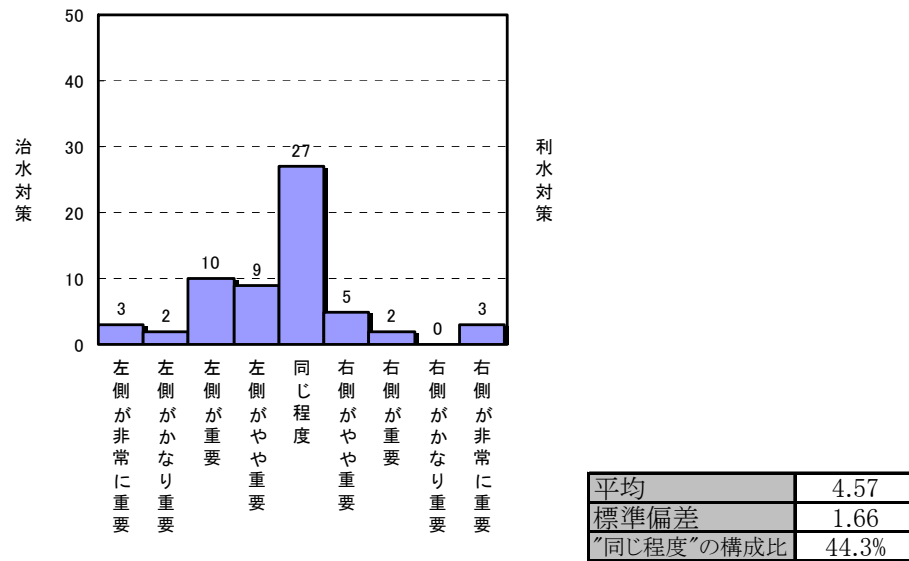


図 3-2-3 「治水対策－利水対策」間の比較の度数分布

3. 2. 4. 2 AHP によるウェイトの算出

アンケート調査結果から、各項目間の重み付けを計算し、総計（総合評価の値）が 100 になるように、ウェイト付けると、図 3-2-4 のようになる。

アンケート調査結果対し、整合度指標（C.I：コンステンシー指標）を用いて、回答結果の論理的な矛盾や不整合を判断したところ、C.I の値が基準値以内に収まっており、設定した評価項目と階層構造の妥当性が確認された。

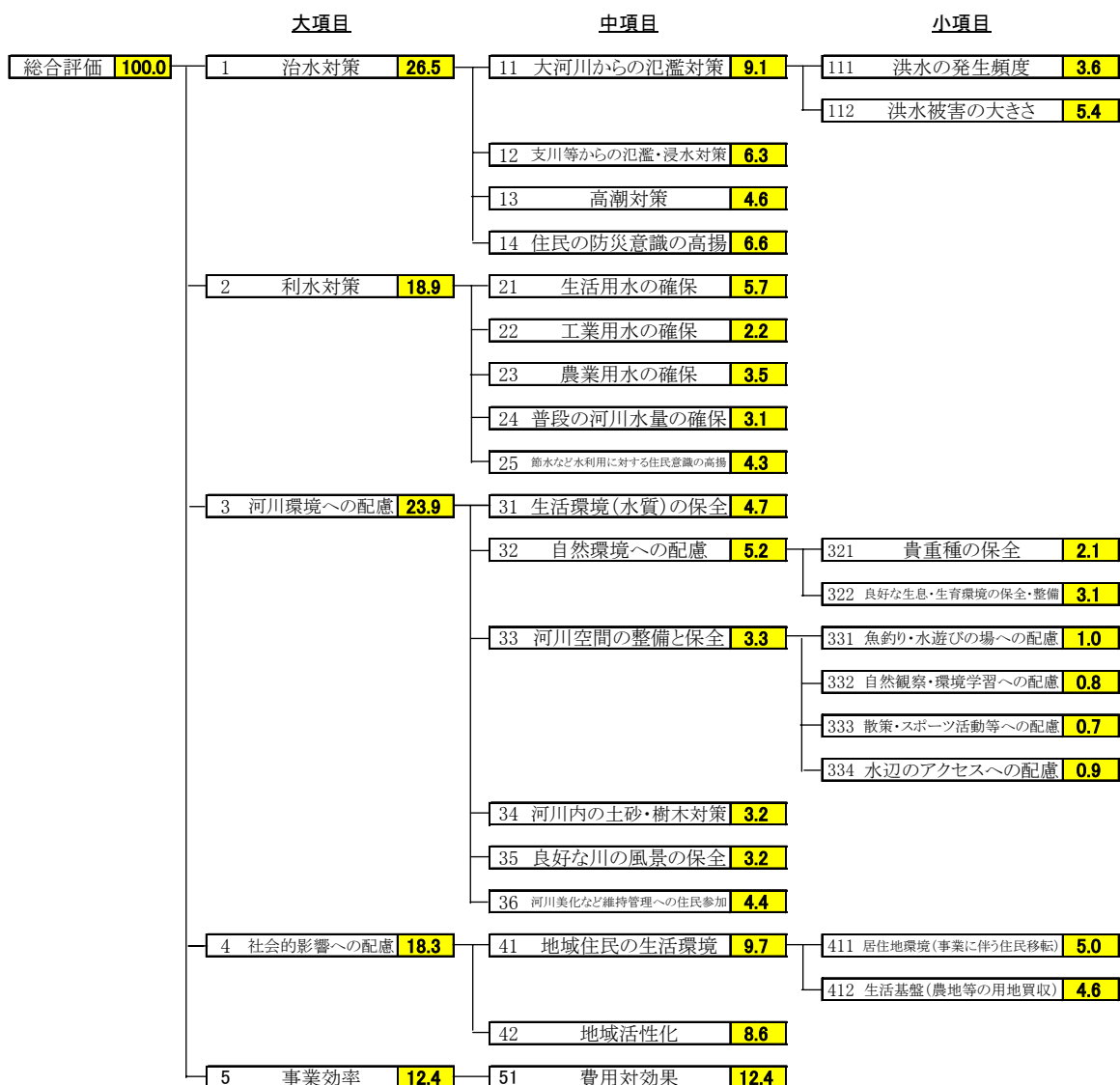


図 3-2-4 ウェイト付け結果

3. 2. 5 まとめ

3. 2. 5. 1 手法の汎用性について

本調査では、A川流域をモデル地区として選定し、AHPの適用可能性について検討した。その結果、構築した評価項目と階層構造が分析に耐えるものであることが確認された。

しかしながら、河川の評価項目は多様でかつ地域による差異が大きいものと考えられる。例えば、「治水対策」と「河川環境への配慮」のトレードオフ関係は、都市部と地方部とで大きな差異が生じる可能性があるものと推測される。また、観光面での活用が見られる河川では、評価項目についても追加検討が必要となる。

さらに、今回の結果は河川管理者としての立場から評価されたものが多数含まれており、評価対象に対する知識は十分であるが、河川にかかわる多様な団体(河川愛護団体、NPO、

漁業関係者等)からの評価および結果の検証が十分ではない。

今後は、本調査で構築した階層構造を他地域においても適用するとともに、河川に係る多様な団体にも協力を依頼し、評価項目や階層構造の妥当性や地域独自の視点について確認することで、手法の汎用性を確保する必要がある。

3. 2. 5. 2 アンケート手法について

本調査で実施したアンケートによって明らかとなった、アンケート手法自体の課題としては、大きく以下の2点が挙げられる。

- ・ 記載内容の難しさについて

アンケートの自由記述には、「河川管理者には理解できる用語でも、市民を対象に実施した場合に理解されるかどうか」を指摘する意見が多く見られた。

- ・ 一対比較の繰り返しに関する負担について

AHP手法では、評価項目をそれぞれ一対比較することが必要であるが、同一の階層に評価項目が多く含まれる場合、設問数が必然的に多くなる。

本調査では最大15通りの組み合わせが発生したが、設問の前半と後半の回答内容を比較すると、後半のほうが選択に要する時間が省略されていると考えられる現象が現れている(後半の設問のほうが、“同じ程度”を選択する比率が高くなっているため)。

これらの課題の改善点として、一つはイメージ図等を用いて評価対象に対する情報を効率的に回答者に伝達することが考えられる。さらに、回答者がその情報を正しく認識した上で回答したかをチェックする意味から、解答欄に“わからない”という設問を設けておく等の工夫が必要と考えられる。

また、同一属性の評価項目は最大でも5程度とするよう、事前に調整するとともに、設問の順番を回答者によって変えるなどの配慮も必要と考えられる。

3. 2. 5. 3 意志決定への活用方法について

本調査では、記載内容の難しさなどの課題が指摘され、その改善に向けた検討は必要であるが、一方で、AHPは評価対象(ここでは河川・流域)を正しく認識している方に実施すべきものである。よって、対象者の拡大のみを目的に、評価項目を束ねたり、階層構造を簡略化してしまうと、評価結果が意思決定を行う上での参考になり得ないものとなる危険性がある。それよりも、前項で示したような改善を行い、アンケートの信頼性を向上させる工夫が必要である。

また、AHPを用いた評価にあたっては、出来るだけ多様な属性の意見を伺うとともに、解析結果を安定させるために、一定数のサンプルを確保することが必要である。その際は、全ての属性を一括して評価するだけでなく、属性ごとに評価結果を算出し、その差異を検証するなどの配慮が同時に必要である。

これまで整理した課題に配慮しつつ、AHPを意思決定の場面で用いるための一つの方法として、2段階の評価が考えられる。AHPによる一対比較は、河川管理者以外の団体等、属性の多様性に配慮した人員で実施し、流域住民に対しては、一対比較ではなく、各項目の重要度のみをアンケートする方法である。

今後は、上記手法等の適用を通じて、意志決定における多様な意見の反映方法について分析・検証する必要がある。

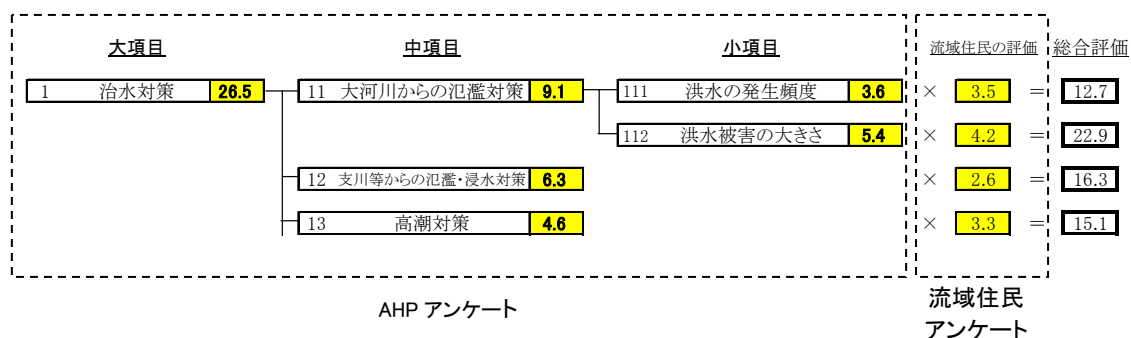


図 3-2-4 評価イメージ

3. 3 指標構築の考え方

水循環評価指標の構築にあたって、国内外の幅広い事例を収集して分析した。その上で、指標構築の考え方を明らかにして日本全国を網羅する指標作成を試みた。

(1) 事例分析

水循環に関係する指標としては多くの事例があるが、流域総合評価の一例として米国環境保護庁（EPA）による流域指標（Index of Watershed Indicators, IWI）を挙げる¹⁾。IWIは水質の脆弱性に関する情報を①都市流出、②水質基準適合、③飲料原水、④土壌の有害物質、⑤有害物質関連の水質、⑥生活環境項目関連の水質、⑦有害物質関連の排水負荷、⑧生活環境項目関連の排水負荷、⑨農地流出、⑩人口動態、⑪ダム整備、⑫魚類等の保全、⑬水生、湿地生物危惧種、⑭沿岸河口域の汚濁及び⑮湿地喪失割合の15項目で評価した上で、現状（condition）と水質汚濁に対する脆弱性（vulnerability）の2つの側面から評価している。また評価にあたっての計算根拠、データベース、データが不十分かどうか判定する基準なども明示されている。この指標は1977年 Clean Water Act で EPA が求められた2年毎の水質状況の報告書をよりわかりやすく、効果的な形で地方政府に伝えることを目的として作成されているもの²⁾である。

今回の指標構築にあたっては、水質のみではなく、洪水等の災害に対する安全度、水利用、生態系といった水循環に関連するものを幅広く対象にし、IWIのように流域単位で日本全国を表示していくことが有効である。

(2) 指標構築の考え方

OECD³⁾では環境指標として、環境への負荷（pressures）・自然の状態（state）・人間活動による対応（response）の組み合わせをPSRの枠組みとして紹介している。これに似たものとして原因（driving force）・状態・影響（impact）・対応を組み合わせたDPSIRの枠組みなど、指標作成に必要な構成要素について多くの提案が行われている。水循環指標としては構成要素に加えて、洪水等の災害に対する安全度、水利用、水質、生態系といった分類である程度、指標を総合化する必要がある。

指標の総合化して指数を作成するには、ある定性的な要素を構成する複数の要因データを重み付けによって組み合わせる手法があるが、この手法では重み算出を適正に行うことが難しく、算定された指標の意味を解釈して具体的な行動に結び付けることが困難である。そのため総合化にあたっては、できるだけ総合化した指標自体の意味がわかりやすくなるよう努める。例えば、流域人口（P）と下水道普及人口（R）の2つを組み合わせる水のきれいさ（S）を考える総合化作業を仮定すると、 $S=w_1P+w_2R$ （ w_1 と w_2 は重み）では人口を下水道の普及という全く異質な要素を組み合わせるS自体がどのような意味を有するのかにわかりにくい。しかし $S=R/P$ と表示すると、S自体は人口当たりの下水道普及率であり

Sを改善させるためには下水道を普及してRを増大させるか、人口・汚濁負荷量そのものを減らすとかが必要であることが明確になる。

以上のことから水循環指標の総合化にあたっては、Pを人間活動が水循環系に及ぼす影響、Sを自然が有する状態、Rを水循環改善の取組みであるとして、P、S、Rを例えば「指標 $I=R \times S/P$ 」のように組み合わせることを考える。これにより求められた指標Iが自然の有する状態1単位あたりの人間活動の影響度合い（ P/S ）に対する改善の取組みRの割合という形で、指標自体に意味を付加することができる。数値化できるかどうかは別にして、災害に対する安全度、水利用、水質、生態系のそれぞれのイメージとしては表-3. 3. 1のようなものが考えられる。P、S、Rについては、利用可能なデータを試行錯誤する形で組み合わせていくことになるが、このプロセス自体に多くの人が参加して知見を集積することが望ましいと考えた。

表-3. 3. 1 指標の要素

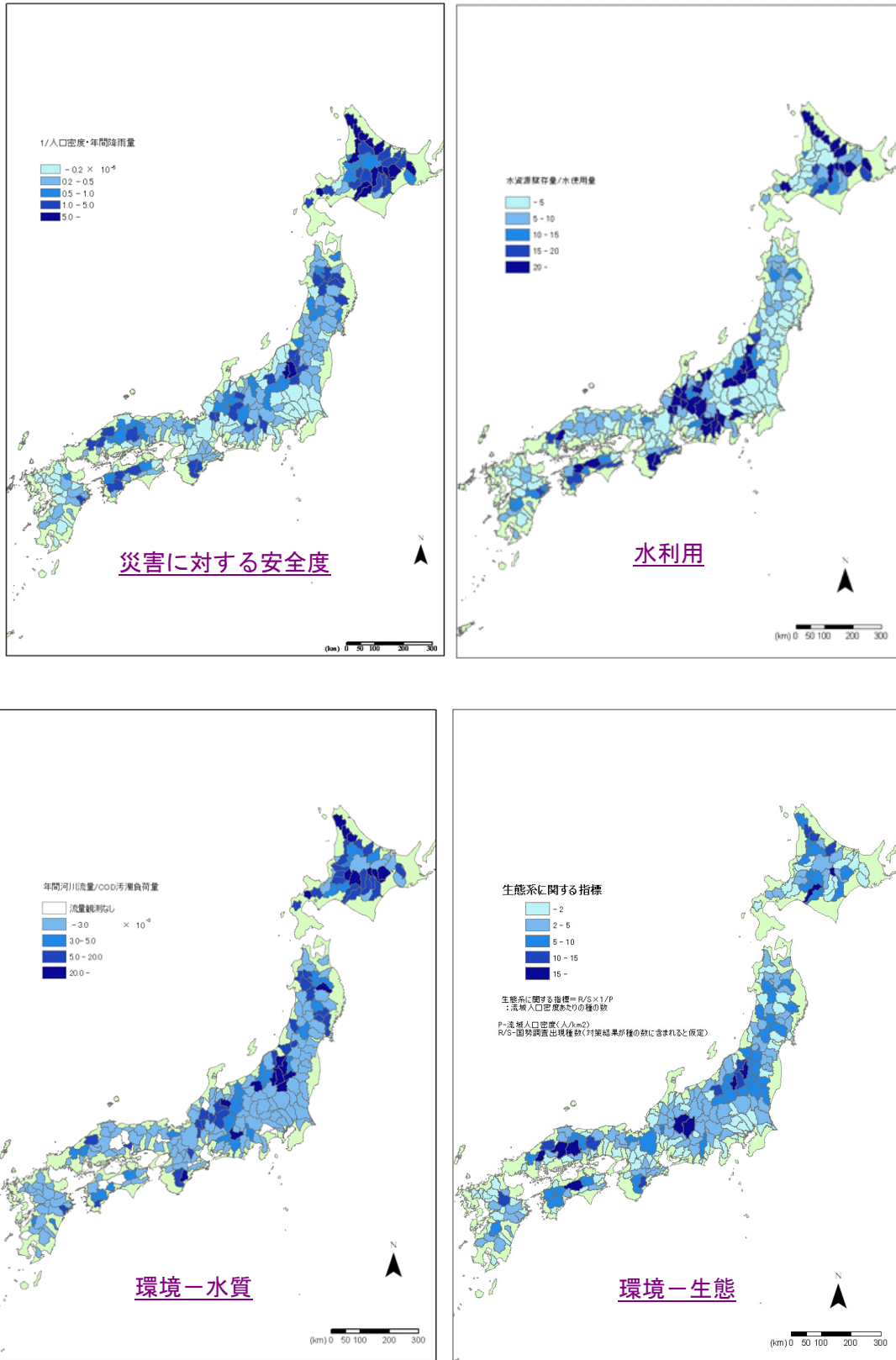
分類	PSR	考えられる要素例
災害に対する安全度	P	人口・資産の集中度、災害に対する無知
	S	降雨の少なさ、地形の堅固さ、浸透
	R	治水対策、災害情報システム、水防団
水利用 (河川水量)	P	人口、水利用原単位からの水の需要量
	S	水資源賦存量
	R	貯水量、節水率
環境-水質	P	汚濁負荷、経済活動
	S	水量、水域閉鎖性の緩和度
	R	排水規制、下水道の整備
環境-生態系	P	開発面積、開発圧力
	S	種の環境への適用度、種の多様性
	R	生態保護規制、有効なミティゲーション

(3) 指標の作成例

指標作成の第一歩としてデータの入手可能性等を勘案して全国一級河川 109 水系を対象にする。ただし、利根川のように大河川では流域を 1 つの指標で表示してしまうと、指標から具体的な取組みに結び付けることが難しいため、流域を適宜、250 程度に分割した。

図-3.3.1 は災害に対する安全度、水利用、環境（水質、生態系）について、P と S の組み合わせを試みたものである。具体的には災害に対する安全度として流域人口密度あたりの年間降水量の逆数、水利用として年間の水使用量あたりの水資源賦存量、環境（水質）として年間の COD 汚濁負荷量 1 トンあたりの年間河川水量、環境（生態系）として流域人口密度あたりの生物種数を表示した例である。これにより、例えば水利用の図からは都市部の水資源が周辺山地域に依存している実態とも一致することがわかる。ここでは P と S のみを示したが、水循環系を改善する要素として対策（R）を考慮した上で、P、S、R を総合化する必要がある。

図-3.3.1 PとSを組み合わせた指標作成例



参考文献

- 1) U.S. Environmental Protection Agency : Index of Watershed Indicators: An Overview, <http://www.epa.gov/iwi/>, 2002
- 2) Ronald Shafer : The Good, the Bad and the Ugly : Reporting on Progress towards National Water Quality Goals-Lessons Learned from the U.S. Experience, Abstract for Monitoring Tailor-Made IV conference in Netherlands, <http://www.mtm-conference.nl/>, 2003
- 3) OECD : Environmental indicators, OECD core set, Paris, 1994

4. 健全な流砂系の構築

流域の最上流の山腹斜面から河口、漂砂帯までの土砂が移動する領域(流砂系)において、河床上昇に伴う土砂や洪水の氾濫、ダム貯水池における堆砂による治水・利水容量の減少、河床低下に伴う人工構造物の基礎部損傷、海岸侵食による越波等に見られるように地形の変化、すなわち土砂移動に伴って「防災・環境・利用上の問題」が発生している。このような土砂移動のアンバランスに起因する問題の対策が河川審議会総合土砂管理小委員会(平成9年度～10年度)において議論された。その結果、総合土砂管理小委員会は場の連続性、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を報告した。

さらに、総合土砂管理小委員会は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土砂移動の予知・予測手法の向上など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を挙げた。

このような背景から健全な流砂系の構築として、既往観測資料及び現地での観測に基づいて、流砂系における土砂移動の実態を明らかにすることと、流砂系の最上流部から漂砂帯まで一貫して土砂移動を予知・予測する技術を開発することを主な目的として、①土砂移動モニタリング技術、②土砂移動予知予測技術、③流砂系一貫とした土砂移動の管理技術、④土砂移動と防災・環境・利用上の問題との関係の推定技術の開発を行った。

4. 1 土砂移動モニタリング技術

4. 1. 1 観測機器の開発

流砂系一貫した流砂の量と粒径を連続的かつ継続的に観測するシステムの構築のため、急流区間から感潮区間までの掃流砂・浮遊砂の観測機器の開発を行うとともに、土砂移動モニタリングを実施する。

土砂移動の実態を把握する手法としては直接観測する手法と、河床変動計算等の数値計算に基づく手法がある。数値計算により移動土砂量を推定する場合、再現計算に用いる流砂量式及び漂砂量式が実際の流砂量と漂砂量をどの程度精度よく再現できるかを確認しておく必要がある。そのためにも流砂量あるいは漂砂量といった土砂移動量の実態を把握しておくことが必要である。

土砂モニタリング手法については、今までに様々なものが研究・提案されてきたが、観測精度、適用範囲及び選択手法を明確に示したものはなく、実際に、現地の条件によって、どのような観測機器を用いて、どのように観測すればよいのか、目安となる判断基準が整

理されていない。

本研究では、流砂量観測装置の分類を行い、そのうち、搬入式流砂量観測機器について選定フローを作成した。

(1) 流砂量観測装置の整理

流砂量観測装置は一般的に図-4.1.1に示すように「観測機器」と「導流設備」または「誘導手段」から構成される。「観測機器」は、流水中で導流した流水を常時、自動計測する「無人固定式」¹⁾、観測地点に観測機器を固定し、洪水時など一定期間、流水を一旦採取し、その採取したサンプルを計測する「有人固定式」²⁾、および、観測地点に観測機器を搬入し、洪水時など一定期間、流水を一旦採取し、その採取したサンプルを計測する「搬入式」³⁾がある。また、「導流設備」とは、観測機器に流水を導く管等のことであり、「搬入手段」とは、観測機器を流水内の所定の深さに挿入するワイヤー等のことである。

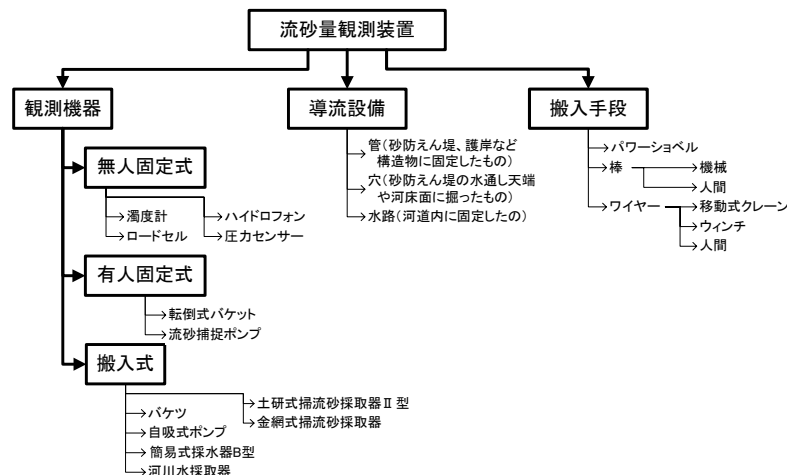


図-4.1.1 流砂量観測装置の分類

(2) 水路実験による精度検証

1) 水路実験対象流砂量観測装置

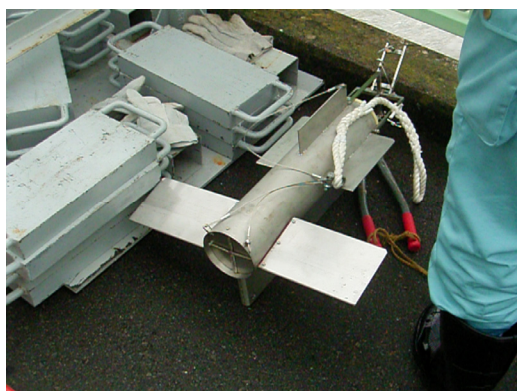
本研究では図-4.1.1の搬入式に分類される土研式掃流砂採取器Ⅱ型、金網式掃流砂採取器、簡易式採水器B型、自吸式ポンプ、河川水採取器を対象とする。以下に各流砂量観測装置の概要を説明する。

① 河川水採取器

浮遊砂観測に使用する流砂量観測装置である。

写真-4.1.1に示すように、形状は円筒形で、鉛直翼および水平翼により流水中で安定させる構造になっている。蓋閉塞用ワイヤーロープにより瞬時に栓を閉めるため、流水をそのまま採取できる。また、固定用ワイヤーロープを調整することで任意の水深

で採取可能である。1回の採取容量は3.5リットルである。
観測時にワイヤーの使用が可能な条件（観測地点に車両・重機が駐車もしくは固定式ウインチを設置可能）で利用できる。



写真－4． 1． 1 河川水採取器

② 簡易式採水器B型

浮遊砂観測に使用する流砂量観測装置である。

写真－2． 1． 2に示すように、採水速度を流水の動水圧のみで支配するように工夫しており、排気口の先端の位置を上下させることにより採水速度を調整できる。高流速の場合は、重錘を取付け安定させる。1回の採取容量は1.1リットルである。
重錘使用時は重機が必要になる。



写真－2． 1． 2 簡易式採水器B型

③ 自給式ポンプ

浮遊砂観測に使用する流砂量観測装置である。

写真－4． 1． 3に示す自給式ポンプ採水器を用いて、図－4． 1． 2の示すようにポンプ吸込口から延びるホースを固定した棒を流水中に挿入し採取した水をポンプ吐出口に接続したホースから採水ビンなどの容器に入れる。

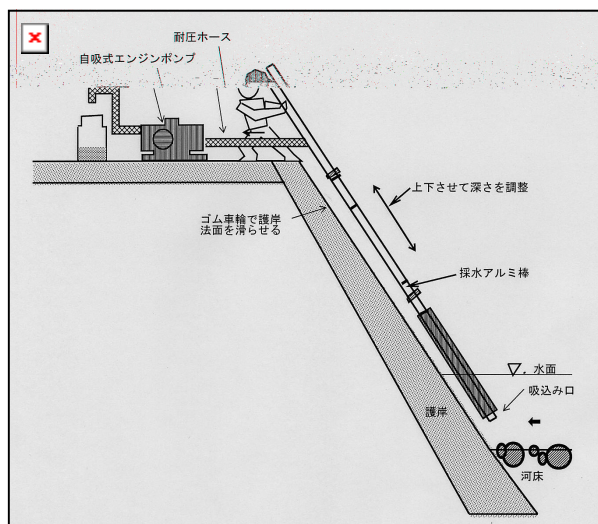
安価であるが、ポンプの吸込速度と流れの速度を常に一致させることが求められること

から観測地点が限定される。

人力により作業を行うため、水際で安全に作業が行える護岸などに観測箇所が限られる。



写真－４． １． ３ 自給式ポンプ



図－４． １． ２ 自吸式ポンプを用いた浮遊砂量観測手法

④ 土研式掃流砂採取器Ⅱ型

掃流砂観測に使用する流砂量観測装置である。

写真－４． １． ４に示す装置を流水中に前後の扉を開けた状態で採取器を河床に着床させ、ロープを引いて扉を閉じる。流速にもよるが、広範囲の粒径の採取が可能である。

観測には装置を吊り上げる重機が必要である。



写真－4. 1. 4 土研式掃流砂採取器Ⅱ型

⑤ 金網式掃流砂採取器

掃流砂観測に使用する流砂量観測装置である。

写真－4. 1. 5に示す装置で、採取する箱の部分の1箇所完全に開口しており、それ以外は網目状になっている。開口している部分を上流側に向け、流水中に河床に着床させ採取する。

観測には装置を吊り上げる重機が必要である。



写真－4. 1. 5 金網式掃流砂採取器

2) 水理実験結果

精度検証の項目は、流速、土砂の量及び質である。また、観測時間を変えて実験を行い、それらが精度に及ぼす影響を把握した。

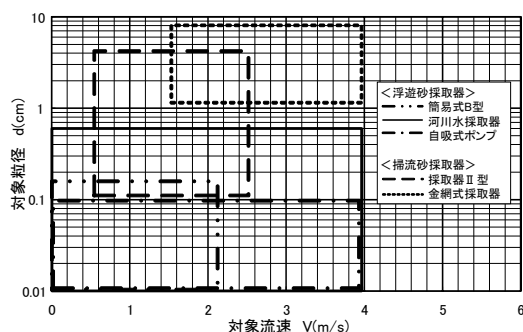
水路実験の条件及び結果は表－4. 1. 1に示す。

表－4. 1. 1 水路実験の条件及び結果一覧表⁴⁾

名称	河川水採取器	簡易式採水器B型	自吸式ポンプ	土研式掃流砂採取器Ⅱ型	金網式掃流砂採取器
対象土砂	浮遊砂	浮遊砂	浮遊砂	掃流砂	掃流砂
実験条件	対象流速：1.0、2.0、3.0m/s 供給した土砂濃度：0.02、0.1、0.5% 供給した土砂の粒径： type4：dmax=0.4mm、dm=0.2mm type5：dmax=0.6mm、dm=0.4mm	対象流速：1.0、2.0、3.0m/s 供給した土砂濃度：0.02、0.1、0.5% 供給した土砂の粒径： type4：dmax=0.4mm、dm=0.2mm type5：dmax=0.6mm、dm=0.4mm	対象流速：1.0、2.0、3.0m/s 供給した土砂濃度：0.02、0.1、0.5% 供給した土砂の粒径： type4：dmax=0.4mm、dm=0.2mm type5：dmax=0.6mm、dm=0.4mm	対象流速：1.5、2.0m/s 供給した土砂濃度：0.05、0.1、0.5% 供給した土砂の粒径： type1：dmax=25.0mm、dm=13.6mm type3：dmax=30.0mm、dm=10.1mm	対象流速：2.0、3.0m/s 供給した土砂濃度：0.05、0.1、0.5% 供給した土砂の粒径： type2：dmax=40.0mm、dm=21.1mm type3：dmax=30.0mm、dm=10.1mm
実験結果	・対象流速 2.0m/s 以下で供給した土砂の条件に関わらず、採取した土砂は供給した土砂の量及び質とほぼ一致した。	・対象流速 2.0m/s 以下で供給した土砂の条件に関わらず、採取した土砂は供給した土砂の量及び質とほぼ一致した。	・自吸式ポンプの吸込速度が 1.4m/s 及び 2.5m/s の場合において実験を行った。 ・吸込速度 1.4m/s の場合と比較し、吸込速度 2.5m/s の場合がより精度良く観測を行うことができた。 ・自吸式ポンプの吸込速度と対象流速の差異が大きいほど、観測の精度が落ちることがわかった。	・実験条件に関わらず、採取した土砂の粒度分布は供給した土砂の粒度分布とほぼ一致した。 ・土砂量については 2.0m/s の場合、採取した土砂量はある一定量に達した後、増加せず、時間の経過と共に供給した土砂量を大きく下回った。また、採取できた土砂量は供給した土砂量の濃度によって異なった。	・網目より大きい粒径のみの土砂 (type2) に対しては、実験条件に関わらず、採取した土砂の量及び質は供給した土砂と一致した。 ・網目より細かい粒径を含む土砂 (type3) に対しては、網目以下の土砂が捕捉できないため、観測の精度が落ちることがわかった。

3) 観測機器の適用範囲

2) の水路実験の結果を基に、各観測機器の適用範囲を整理し、図－4. 1. 3にとりまとめた。対象流速が 3.0m/s 以上については経験的に判断した結果であり、今後、現地で観測を行い精度の確認を行う必要がある。ここで、河川水採水器は採取口が 10cm と広く流水を直接遮断して採取するため、適用範囲が広いと考える。また、金網式掃流砂採取器の対象粒径の範囲および自吸式ポンプの対象速度の範囲は、それぞれ網目の大きさの調整及び吸込速度の調整を行うことで広い範囲で適用することが可能である。



図－4. 1. 3 観測機器の適用範囲

(3) 流砂量観測装置の選定手法

(3) で示した搬入式流砂量観測機器の選定フローを図－4. 1. 4に示す。搬入式流砂量観測機器を観測地点において流水内の所定の水深まで挿入する方法についてはワイヤーや移動式クレーン等を使用することとした。

最初に観測対象とする土砂の粒径階(dmin～dmax)(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。採取水深での流速 $U \geq 5\text{m/s}$ 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 $d_{\text{min}} \sim d_c$ の粒径の土砂は浮遊砂観測

機器、 $d_c \sim d_{max}$ の粒径の土砂は掃流砂観測機器を使用して観測する。浮遊砂観測機器を使用する場合、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り、かつ、流れの速度と吸込速度が一致させることができれば、採取棒を用い自吸式ポンプで観測する。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掃流砂採取器Ⅱ型を用いる。ただし、採取土砂量に上限があるため観測時間と採取土砂量の関係を把握しておく必要がある。 $U \geq 3\text{m/s}$ の場合は金網式掃流砂採取器を使用する。この時、エキスパンドメタルの網目は $d_c \sim d_{max}$ の粒径が捕捉可能な大きさに調整する必要がある。

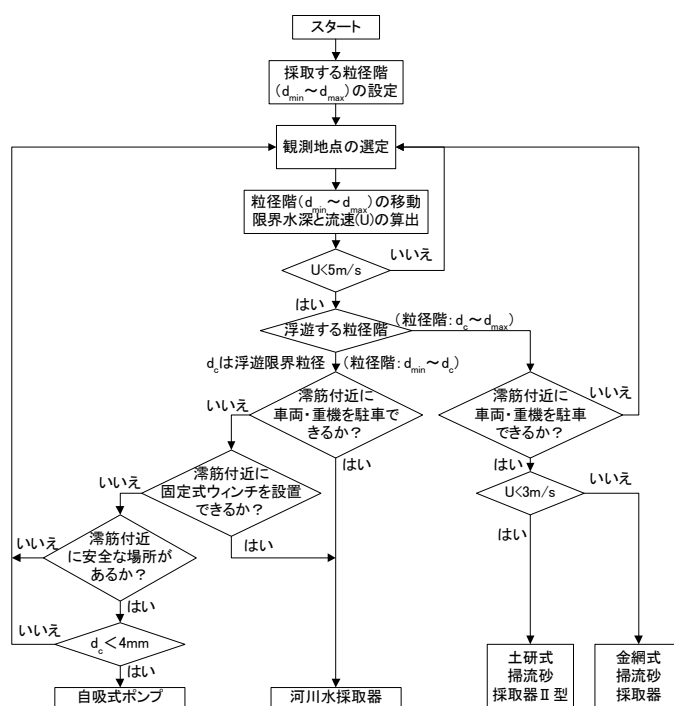


図-4. 1. 4 流砂量観測機器の選定フロー

(4) Time-integrated sampler の開発

(2) で観測機器の適用範囲を明らかにしたが、洪水時に現地で浮遊砂量や掃流砂量を計測した際、流れの表面流速が 5m/s 程度以上になると、観測機器が流水中で安定しにくくなったり、流水中に沈みにくくなったりする事例が見られた。これまでの観測事例より、浮遊砂は出水時に多く流れてくるのが分かっており、現状の土砂移動を把握するためには、出水時にも安全にかつ安定的に計測できる器具の開発・改良が求められるようになった。

そこで、小流域の溪流を対象として開発された浮遊砂採取器 (Time-integrated sampler)⁵⁾ に着目し、大・中流域の河川に適用できるように改良する際に必要となる基礎資料を収

集することを目的として、水路実験を行なった。具体的には、流速の速い条件下における細砂を含む流砂の採取効率を、水路実験によって検証した。なお、この浮遊砂採取器は予め水中に固定されたものである。そのため、出水中に流水に沈める必要がなく、前述の不具合を解消できると期待できる。

1) Time-integrated sampler の概要

Time-integrated sampler は小流域の溪流を流れる浮遊砂を採取することを目的に開発されたものである。また、シルト成分程度の粒径の浮遊砂を対象として採取することを想定している。流域面積が 2km² 程度の溪流に設置され、実際に土砂移動モニタリングを行った実績もある⁵⁾。

浮遊砂採取器は本体部と流入口、流出口から構成される。本体部は円筒形の筒で、両端に蓋を閉めてある。流入口と流出口は蓋に取り付けたチューブのことで、その直径は本体部の筒の直径と比べてかなり小さい。流水は流入口から入り、本体部を通過して、流出口より排出される。流水が本体部に流れ込んだ際、流速が著しく低下することと、流入口付近と流出口付近に死水域が形成されるため、流水に含まれる土砂は本体部内で沈降し堆積する⁵⁾。

図-4. 1. 5 は実験に用いた浮遊砂採取器である。本体部は直径 10 cm (内径) のアクリル製の筒であり、アクリル製の蓋で両端を閉じたものである。流入口と流出口は同じ形状で、直径 0.4 cm (内径) のアクリル製の筒である。

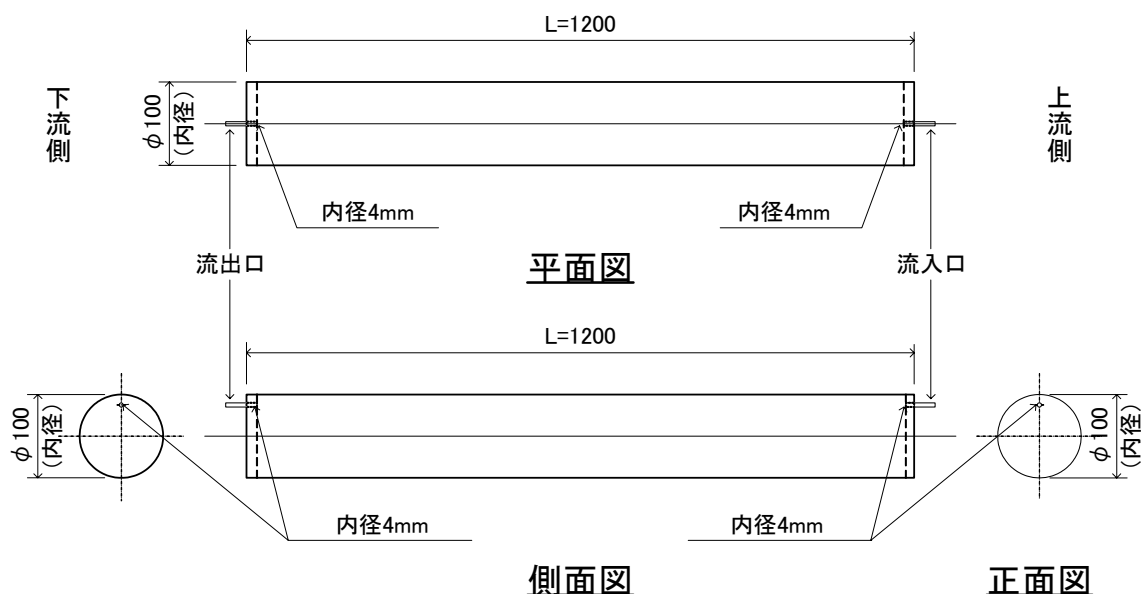


図-4. 1. 5 浮遊砂採取器 (Time-integrated sampler)

2) 実験方法

図-4. 1. 6は実験装置の配置図である。実験に用いた水路は幅50cm、深さ50cm、長さ10mの形状で、ガラス板の側壁、土砂を貼り付けた板の床から構成されている。また、水路の勾配はチェンブロックにより任意に設定できる。水路の下流端に貯水槽を設置した。貯水槽の中には水中サンドポンプを設置し、水路の上流端に濁水を供給した。水中サンドポンプと水路の上流端の間はサクシオンホースで接続した。Time-integrated samplerは水路床上に固定し、その上流にピトー管および濁度計を設置し、水路内の流速および土砂濃度を計測した。

表-4. 1. 2に示す11ケースで実験を行った。

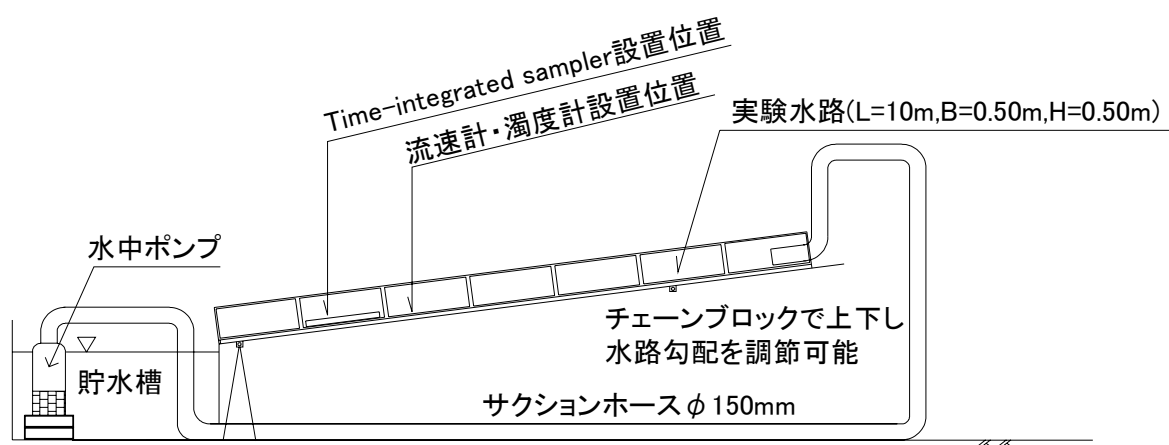


図-4. 1. 6 実験装置

表-4. 1. 2 実験ケース

実験ケース	水路の勾配	流水中の土砂重量濃度 (目標値) (gf/cm ³)	採取時間 (hours)
1-1	1/50	4.11×10^{-2}	3
1-2	1/100	4.11×10^{-2}	3
1-3	1/200	4.11×10^{-2}	3
2-1	1/50	2.33×10^{-2}	3
2-2	1/100	2.33×10^{-2}	3
2-3	1/200	2.33×10^{-2}	3
3-1	1/50	1.37×10^{-2}	3
3-2	1/100	1.37×10^{-2}	3
3-3	1/200	1.37×10^{-2}	3
4-1	1/50	4.11×10^{-2}	1
4-2	1/50	4.11×10^{-2}	6

3) 実験結果

表-4. 1. 3に実験結果を示す。また、図-4. 1. 7の流水の速度と採取効率の関係、図-4. 1. 8に流水中の土砂重量濃度と採取効率の関係、図-4. 1. 9に採取時間と採取効率の関係を示す。

表-4. 1. 3 実験結果

実験ケース	流水中の流速 (cm/s)	流水中の土砂重量濃度 (gf/cm ³)	浮遊砂採取器の採取土砂重量 (gf)	通過土砂重量 (gf)	採取効率
1-1	124.1	0.0436	3475	5066	0.686
1-2	71.5	0.0412	2548	4285	0.595
1-3	98.6	0.0433	2292	4406	0.520
2-1	105.1	0.0232	1494	3439	0.434
2-2	90.8	0.0234	1270	2513	0.505
2-3	86.9	0.0231	867	2445	0.354
3-1	117.3	0.0153	929	2262	0.411
3-2	86	0.0138	292	1431	0.204
3-3	83.1	0.0143	273	1455	0.187
4-1	115.7	0.0463	1282	2309	0.555
4-2	119.4	0.0403	7203	11956	0.602

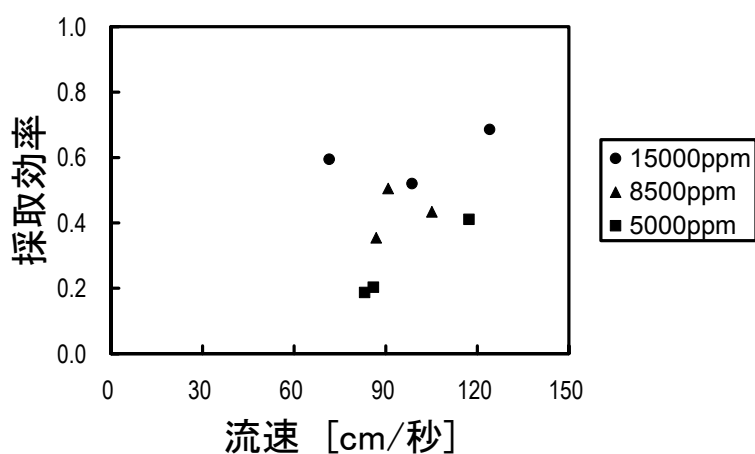
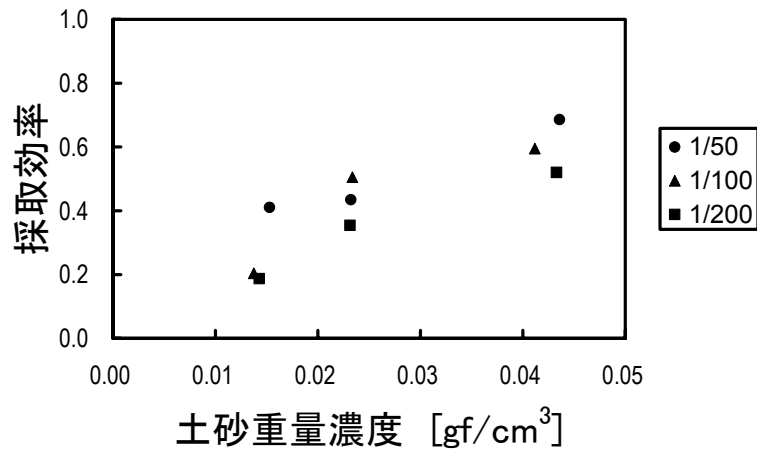
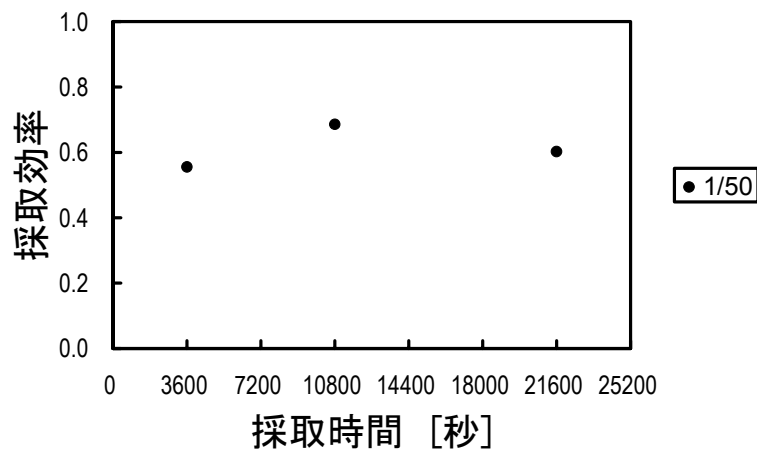


図-4. 1. 7 流水の速度と採取効率の関係



図－4． 1． 8 流水中の土砂重量濃度と採取効率の関係



図－4． 1． 9 採取時間と採取効率の関係

以上の結果をとりまとめると以下のようなになる。

- ① Time-integrated Sampler の採取効率は 0.187～0.687 となった
- ② 流水の流速が速くなるほど、採取効率は高くなった
- ③ 流水の土砂重量濃度が高くなるほど、採取効率は高くなった
- ④ 浮遊砂採取器の中が満砂しない間では、採取効率は採取時間に大きな影響を受けなかった

4) 考察

小流域の溪流における浮遊砂量の計測用に開発された Time-integrated Sampler を、中・大流域の河川における浮遊砂の計測に適用することを目的として、その採取効率が流速と

土砂重量濃度、採取時間から受ける影響を確認するために、水路実験を実施した。その結果、採取効率は流速が速くなるほど、また、土砂重量濃度が高くなるほど、向上することが分かった。特に、流速が速く、土砂重量濃度が高い場合には、採取効率が7割程度となった。

本実験で用いた浮遊砂採取器の大きさは実験水路の大きさなどから、小さい物となっている。今後は、実際の河川区間で観測するための、最適な大きさを検討していきたいと考えている。

4. 1. 2 流砂系における土砂移動実態の把握

流砂系における土砂移動実態は土砂移動量だけではなく、質(粒径)・時間といった観点から把握する必要があり、その表現方法には粒径別土砂収支図や粒径別土砂動態マップといったものが提案されている。

本研究では、姫川・日野川などの流砂系において既存資料に基づいて粒径別土砂収支図を作成した³⁴⁶⁾。さらに、姫川・安倍川・日野川などの流砂系において、土砂移動モニタリングを実施し、その結果から1出水による粒径別土砂動態マップを作成した³⁴⁶⁾。ここでは、それらの中で安倍川における粒径別土砂動態マップについて述べる。

(1) 安倍川流砂系の概要

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。上流域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 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上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。

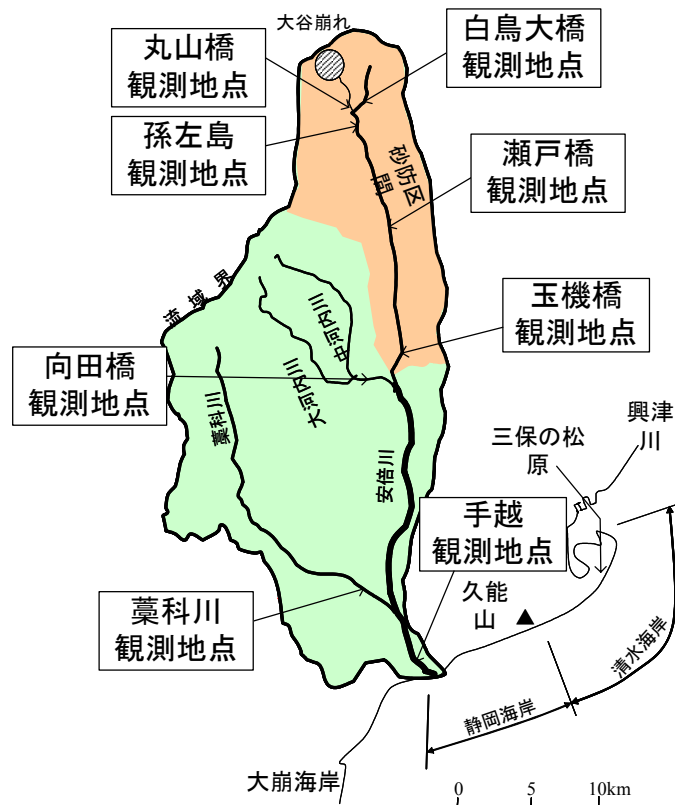


図-4. 1. 10 安倍川流域図

(2) 土砂動態マップの作成

安倍川では平成 11 年度から流砂量観測を行っており、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。掃流砂観測は流速の速い条件下でも観測できるように観測機器を改良する必要があったため、H14 年度から実施した。そのため、掃流砂量に関するデータが少ないことから、既往の掃流砂量式を用いて掃流砂量を推定し、粒径別土砂動態マップを作成した。その一例として、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 日の出水について作成した土砂動態マップを図-4. 1. 11 に示す。なお、安倍川河口部周辺の底質材料は主に粒径 0.1mm~10mm のものであったことから、その成分は静岡・清水海岸の海浜地形の形成に寄与すると考えられる。図-4. 1. 11 より、平成 14 年 10 月 1 日~3 日の出水では、手越観測所での流砂量の総和(約 31 千 m^3)のうち粒径 0.1mm~10mm の範囲にある流砂量が約 72%を占めている。また、後述する地形変化推定モデルを用いた検討では、過去 20 年間に安倍川河口から海域へ流出した流砂量のうち粒径 0.1mm~10mm の成分が流砂量の総和に対して約 67%を占めると推定できたことから、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粒径の土砂であると考えられる。

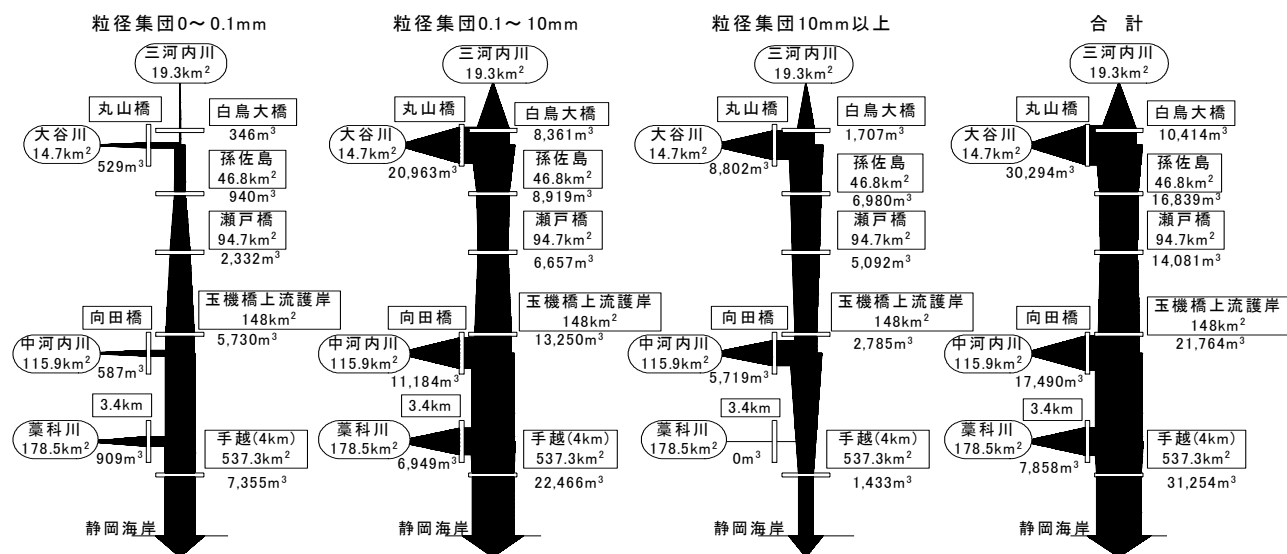


図-4. 1. 11 安倍川流砂系土砂動態マップの一例(平成 14 年 10 月 1 日~3 日)

参考文献

- 1) 小田晃、長谷川祐治、水山高久、野中理伸、宮本邦明；「水理実験におけるハイドロフォンを用いた流砂量計測」、平成 15 年度 砂防学会研究発表会概要集、p272-p273
- 2) 国土交通省河川局治水課他、「水系一貫土砂管理に向けた河川における土砂観測、土砂動態マップの作成およびモニター体制構築に関する研究」、平成 13 年度 国土交通省国土技術研究会 指定課題、p6-1-p6-48
- 3) 土屋昭彦、「流送土砂観測の手引き」、土木技術資料 6-10、p415- p419
- 4) 宮尾保道・中野泰雄・寺田秀樹・水野秀明・江島敬三(2002)：流砂量観測機器の適用範囲に関する実験的研究：平成 15 年度砂防学会概要集 p.266-267
- 5) Phillips J. M., Russell M. A., and Walling D. E. (2000)：Time-integrated sampling of fluvial suspended sediment: a simple methodology for small catchments, Hydro Process, 14, p.2589-2602
- 6) 国土交通省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，pp.14-1 - 14-28

4. 2 土砂移動予知予測技術

河床上昇・低下や海岸侵食といった地形の変化に伴い、土砂・洪水の氾濫、構造物の破損、越波、生物の生息・生育域の消滅、景観の変化等の問題（以後、「問題」という）が生じている。その対策は砂防・ダム・河川・海岸の各領域で講じられてきたが、領域個別の対応では、問題が解消されない事例が顕在化してきていることから、各領域が協力して問題の解消を図る「流砂系の総合的な土砂管理」の必要性が議論されている¹⁾。

問題を解消するためには、地形の変化を問題が生じない範囲に抑えなければならない。そのためには、地形の変化を推定する技術が必要となる。現在のところ、施設の存在を考慮した「地形変化を推定する技術」としては、河床変動計算や海岸変形モデル等の数値計算による手法しかない。

過去の研究成果を見ると、砂防・ダム・河川・海岸の各領域内あるいは隣接する複数の領域内の地形の変化を数値計算によって推定した事例²⁾があり、流砂系の部分的な区間における地形の変化を概略的に推定するには既往の研究成果の適用で十分である。しかし、総合的な土砂管理を行う際には、流砂系全体の地形の変化を把握する必要がある場合が考えられるが、そのような推定を行った事例はない。

そこで、本研究では、問題を解消するための対策の実施により生じる地形の変化を推定する手法の開発を最終目標として、まず、既存の土砂移動数値計算モデルを組み合わせ、流砂系を一貫として扱える地形変化推定モデルを作成し、実際の流砂系に適用し過去の地形変化の傾向及び土砂移動量と比較することで再現精度を検証した。

(1) 地形変化推定モデル

1) モデルの構成

流砂系全体の地形の変化を推定するモデル（以後、「地形変化推定モデル」と呼ぶ）は河床変動計算モデルと海浜変形モデルからなる。河床変動計算モデルは山地流域から平野部、河口までの地形の変化を推定するもので、山地流域から平野部までは土砂流出モデル、平野部から河口部までに河床変動モデルを適用する。海浜変形モデルは等深線変化を推定する等深線変化モデルからなる。

2) 河床変動計算モデル

①土砂流出モデル

土砂流出モデルは、山地流域において与えられた降雨に対する地形の変化を推定するもので、斜面部から河道部への降雨流出を計算するモデルと河道部内の流出及び河床変動を計算するモデルからなる³⁾。

降雨流出は、表面流を Kinematic wave 法（式（4. 1）、（4. 2））、中間流を連続式（式（4. 3））とダルシー則（式（4. 4））から計算した。

$$\frac{\partial h_A}{\partial t} + \frac{\partial q_A}{\partial x} = (r - f_1) \cos \theta_A \quad \dots \text{式 (4. 1)}$$

$$q_A = \left(\sqrt{I_A} / N \right) \cdot h_A^{5/3} \quad \dots \text{式 (4. 2)}$$

$$\lambda_{Bm} \frac{\partial h_{Bm}}{\partial t} + \frac{\partial q_{Bm}}{\partial x} = (f_m - f_{m+1}) \cos \theta_A \quad \dots \text{式 (4. 3)}$$

$$q_{Bm} = k_m h_{Bm} S_m \quad \dots \text{式 (4. 4)}$$

ここで、 h_A ：表面流の水深[m]、 q_A ：表面流の単位幅流量[m³/s/m]、 r ：降水量[m/s]、 f_1 ：第1層への浸透能[m/s]、 θ_A ：斜面勾配[度]、 I_A ：斜面勾配(=tan θ_A)、 N ：等価粗度係数[s/m³]、 t ：時間[s]、 x ：距離[m]、 λ_{Bm} ：第 m 土層内の有効間隙率、 h_{Bm} ：第 m 土層内の水深[m]、 q_{Bm} ：第 m 土層内の単位幅流量[m³/s/m]、 f_m ：第 m 土層の浸透能[m/s]、 m ：斜面部の土層番号(=1,2)、 k_m ：第 m 土層内の透水係数[m/s]、 S_m ：第 m 土層の動水勾配である。

河道部内の流出は式(4. 5)、(4. 6)、(4. 7)、河床変動式は式(4. 8)、(4. 9)、(4. 10)により計算した。

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{1}{B} \frac{\partial(uh)}{\partial x} = \frac{q_{AB}}{B} + r \cos \theta \quad \dots \text{式 (4. 5)}$$

$$u = (1/n) I^{1/2} h^{2/3} \quad \dots \text{式 (4. 6)}$$

$$B = 5\sqrt{Buh} \quad \dots \text{式 (4. 7)}$$

$$\frac{\partial z}{\partial t} + \frac{1}{(1-\lambda)B} \frac{\partial Q_s}{\partial x} = 0 \quad \dots \text{式 (4. 8)}$$

$$Q_s = Q_B + Q_{SL} + Q_w \quad \dots \text{式 (4. 9)}$$

$$Q_w = \begin{cases} -(1-\lambda)Bp_w \cdot \partial z / \partial t & \partial z / \partial t \leq 0 \\ 0 & \partial z / \partial t > 0 \end{cases} \quad \dots \text{式 (4. 10)}$$

ここで、 h ：水深[m]、 B ：河幅[m]、 u ：流速[m/s]、 q_{AB} ：当該河道部に隣接する斜面部からの単位幅流入流量[m³/s/m]、 θ ：河床勾配[度]、 n ：マンニングの粗度係数、 I ：河床勾配、 z ：河床位[m]、 λ ：河道堆積物の間隙率、 Q_s ：全流砂量[m³/s]、 Q_B ：掃流砂量[m³/s]⁴⁾、 Q_{SL} ：浮遊砂量[m³/s]⁵⁾、 Q_w ：ウォッシュロード量[m³/s]（ここでは粒径0.1mm以下の土砂）、 p_w ：河床材料に含まれるウォッシュロードになる土砂（ここでは粒径0.1mm以下の土砂）の含有率とした。

②河床変動モデル

河床変動モデルは1次元河床変動計算とした。河道部における水位は式(4. 11)、(4. 12)による。

$$\frac{\partial(Buh)}{\partial x} = 0 \quad \dots \text{式 (4. 11)}$$

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{u^2}{2g} + h \cos \theta + z \right) + \frac{u_*^2}{gR} = 0 \quad \dots \text{式 (4. 12)}$$

ここで、 g : 重力加速度[m/s²]、 u_* : 摩擦速度[m/s]、 R : 径深[m]である。Bは式(4. 7)により計算した。なお、河床変動は式(4. 8)、(4. 9)、(4. 10)により計算した。

3) 海浜変形モデル

海浜変形モデルには等深線変化モデル⁶⁾を用いた。等深線位置の変化は式(4. 13)により計算し、波浪変形は放物型波動方程式⁷⁾により計算した。

$$\frac{\partial x_k}{\partial t} + \frac{1}{D_k} \left(\frac{\partial Q_{Ck}}{\partial y} - q_{0k} \right) = 0 \quad (k=1,2,\dots,n) \quad \dots \text{式 (4. 13)}$$

ここで、 x_k : k 番目の等深線位置[m]、 Q_{Ck} : k 番目の等深線の沿岸漂砂量⁸⁾ [m³/s]、 D_k : k 番目の等深線の漂砂の移動高さ[m]、 q_{0k} : k 番目の等深線における河川からの供給漂砂量 [m³/s]、 k : 等深線番号、 n : 等深線の本数である。 $\sum q_{0k}$ は河床変動計算モデルで算出された河口における Q_s のうち、海岸地形変化に寄与する土砂量とした。

(2) 地形変化推定モデルの安倍川流砂系への適用

地形変化推定モデルを安倍川流砂系に適用して、過去の地形変化を再現した際の精度を検証した。安倍川流砂系は海岸侵食に起因する問題を抱えていることから、本研究では特に長期間の地形変化を対象とした。

1) モデル流砂系の概要

図-4. 2. 1は安倍川流域と静岡・清水海岸(以下、安倍川流砂系という)の位置図および前述した地形変化推定モデルの各構成モデルの適用範囲を示したものである。安倍川の流域面積は567km²、本川延長は51km、河床勾配は1/250~1/30である。静岡・清水海岸は延長約17.8kmの砂浜海岸である。安倍川の上流では河床低下による橋梁基礎部の被災、下流域では河床上昇による洪水氾濫、また、静岡・清水海岸では海岸侵食による越波や景勝地の消失等の問題が生じている。

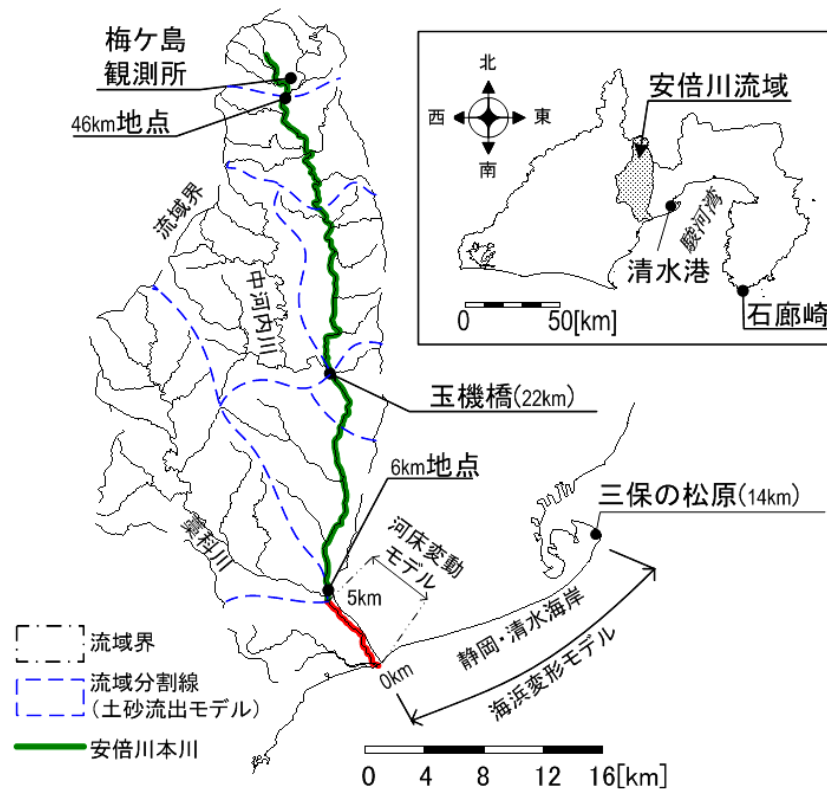


図-4. 2. 1 安倍川流砂系での構成モデルの適用範囲

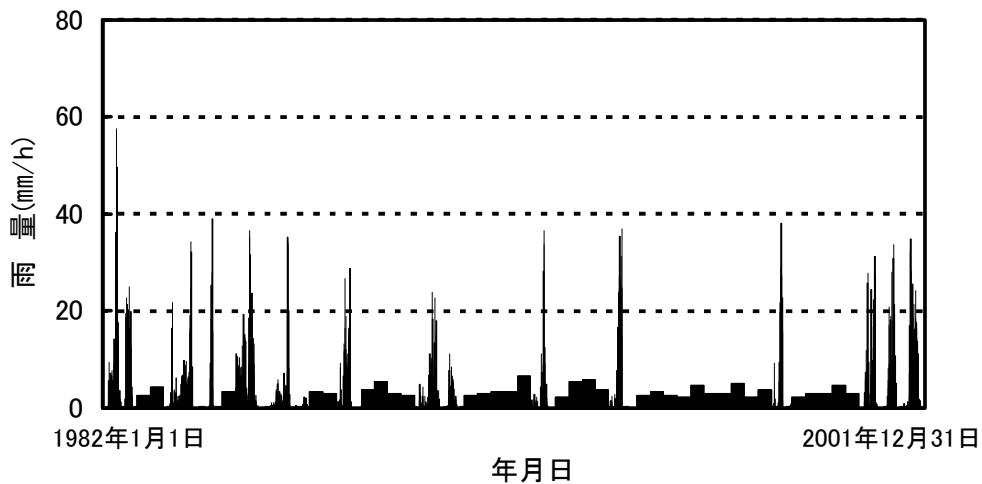
2) 計算条件

表-4. 2. 1は計算を実施した期間と計算に用いたパラメータの数値である。河床位と等深線の初期値は1982年に実施された測量成果を用いた。また、河床材料および生産土砂の粒度分布は1975年度の調査結果をもとに設定した。安倍川河口付近の底質材料調査結果によると、主な粒径は0.1～10 mmの範囲にあったことから、本研究ではこの粒径範囲にある土砂を静岡・清水海岸の地形変化に寄与する土砂とした。波浪条件は1982年から2000年までの各年のエネルギー平均波の平均値を設定した。なお、計算開始時点において、安倍川本川に設置されていた5つの砂防えん堤は満砂であったので初期の河床位を砂防えん堤の水通し天端高とした。

表－4． 2． 1 計算条件

計算期間		1982年1月1日～2001年12月31日
河床変動計算モデル	土層厚	第1層:0.8m 第2層:1.0m
	透水係数	$K_1=3.0 \times 10^{-3} \text{m/s}$ $K_2=3.0 \times 10^{-4} \text{m/s}$
	浸透能低減係数	$1.0 \times 10^{-5} \text{hr}^{-1}$
	等価粗度係数	$N=1.0$ (藁科川斜面部)、 2.0 (左記以外の斜面部)
粗度係数	安倍川本川の河道部: $n=0.035$ (0～22km)、 0.050 (22～51km) 藁科川本川の河道部: $n=0.035$ (0～9km) 上記以外の河道部: $n=0.100$	
海岸変形モデル	波浪	波高の平均値:1.47m 周期の平均値:6.9s (石廊崎観測所波浪観測)
	潮位	T.P+0.26m (清水港の平均潮位)
	漂砂量係数	$k_1=0.05$ $k_2=0.05$

図－4． 2． 2は計算に用いたハイエトグラフ（梅ヶ島観測所）である。なお、玉機橋における河床の表層にある土砂（粒径 90 mm～100 mm）の移動限界流量（ $1800\text{m}^3/\text{s}$ ）を超える出水を生じた時期（13 出水）と、表層を除いた下層の河床材料の平均粒径 40 mm程度の移動限界流量（ $450\text{m}^3/\text{s}$ ）を超える出水の生じた時期（32 出水）に対して計算を実施し、それ以外の期間は土砂が移動しないものと仮定して計算を実施しないこととした。



図－4． 2． 2 ハイエトグラフ（梅ヶ島観測所）

3) 計算結果

図－4． 2． 3は計算終了時における河床位から計算初期時点における河床位を差し引いた値（変動量）を示したものである。なお、図中の実績値は、0km～22km の区間では2000年の河床位から1982年の河床位を差し引いた値（+は堆積、-は侵食を表す）、22～51kmまでは1998年の河床位から1982年の河床位を差し引いた値である。計算値を実測値と比較すると、41.5km～44.3kmの区間では2～4m程度低く、34.0km～41.5kmの区

間では 4~6m 程度高くなる等、特に 30km~47km の区間では計算値と実測値に大きな差が見られた。

図-4. 2. 4 は各等深線で計算終了時点の沖方向距離から計算初期時点の沖方向距離を差し引いた値(変動量)を示したものである。なお、図中の実績値は、各等深線について 2001 年の沖方向距離から 1982 年の沖方向距離を差し引いた値である(+は前進、-は後退)。計算値を実績値と比較すると、T.P.±0~-2m では概ね一致した。しかし、それより深くなると、計算値は 0km~9km の区間で実績値より最大で約 70m 小さくなり、9km~14km の区間では最大で約 50m 大きくなった。

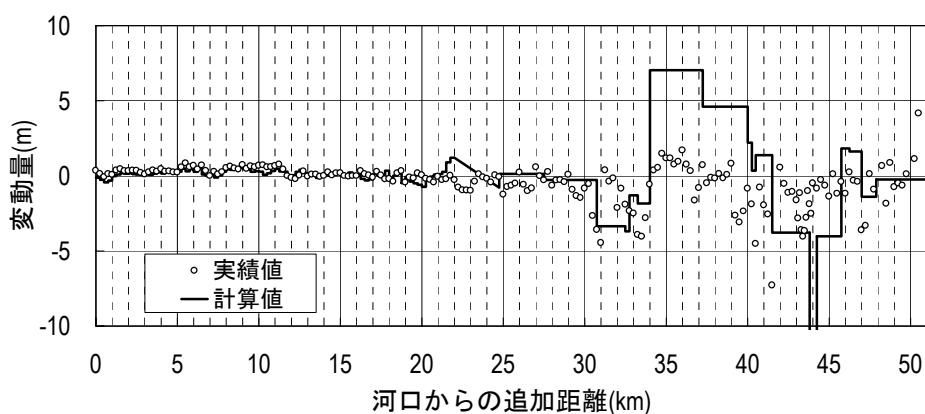


図-4. 2. 3 河床位の変動量の比較

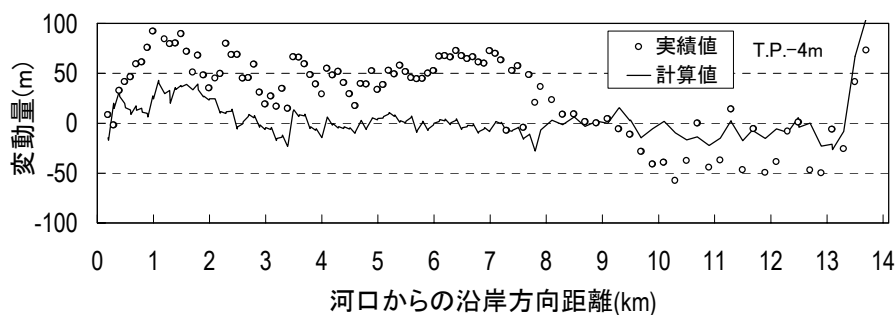
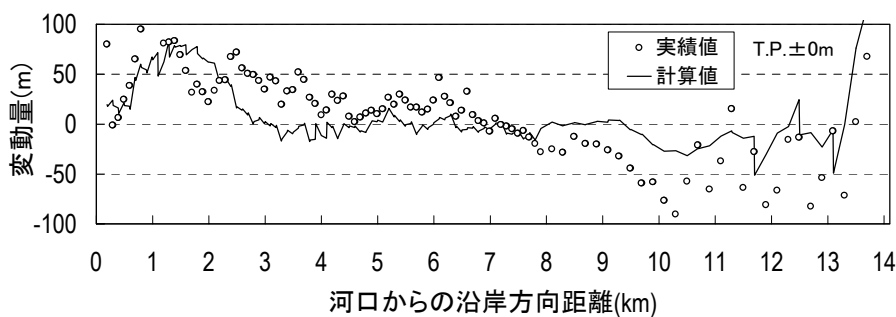


図-4. 2. 4 等深線の変動量 (T.P.±0m と-4m の例)

図-4. 2. 5は計算結果と実績の土砂収支を比較したもので、20年間の年平均値として整理したものである。計算値は実績値と比べて、安倍川本川の0~22kmの区間では $45 \times 10^3 \text{m}^3/\text{年}$ 程度少ない堆積量で、22kmより上流域では $21 \times 10^3 \text{m}^3/\text{年}$ 程度少ない侵食量、静岡海岸では $64 \times 10^3 \text{m}^3/\text{年}$ 程度少ない堆積量、清水海岸では $32 \times 10^3 \text{m}^3/\text{年}$ 程度少ない侵食量であった。全体的に変動量は少なく計算されているが、侵食や堆積といった傾向は再現できた。また、河川からの供給漂砂量のうち静岡・清水海岸の地形変化に寄与する土砂量（粒径0.1mm~10mm）の計算値 $91 \times 10^3 \text{m}^3/\text{年}$ は深淺測量データ等から算出した安倍川河口部からの供給土砂量（約 $100 \times 10^3 \text{m}^3/\text{年}$ ⁹⁾）とほぼ整合する値であったことから、河口から流出する沿岸漂砂量を再現できた。

図-4. 2. 6は計算結果をもとに、粒径別土砂動態マップを作成した。これより、河口から流出する海浜成分の土砂（粒径0.1mm~10mm） $91 \times 10^3 \text{m}^3/\text{年}$ でありは、河口から流出する海浜成分土砂量の約45%は本川上流区間（22.0mより上流）から供給されていると推定された。

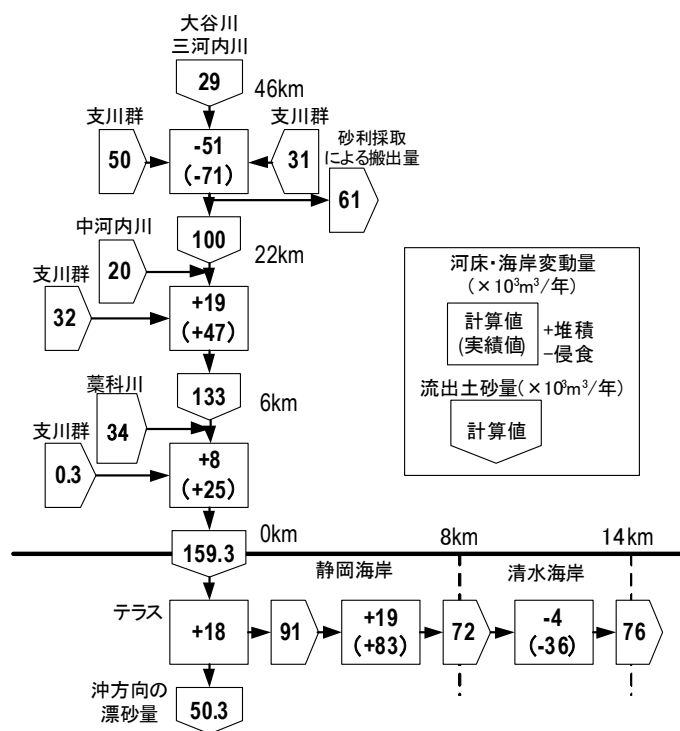


図-4. 2. 5 土砂収支の計算値と実績値の比較

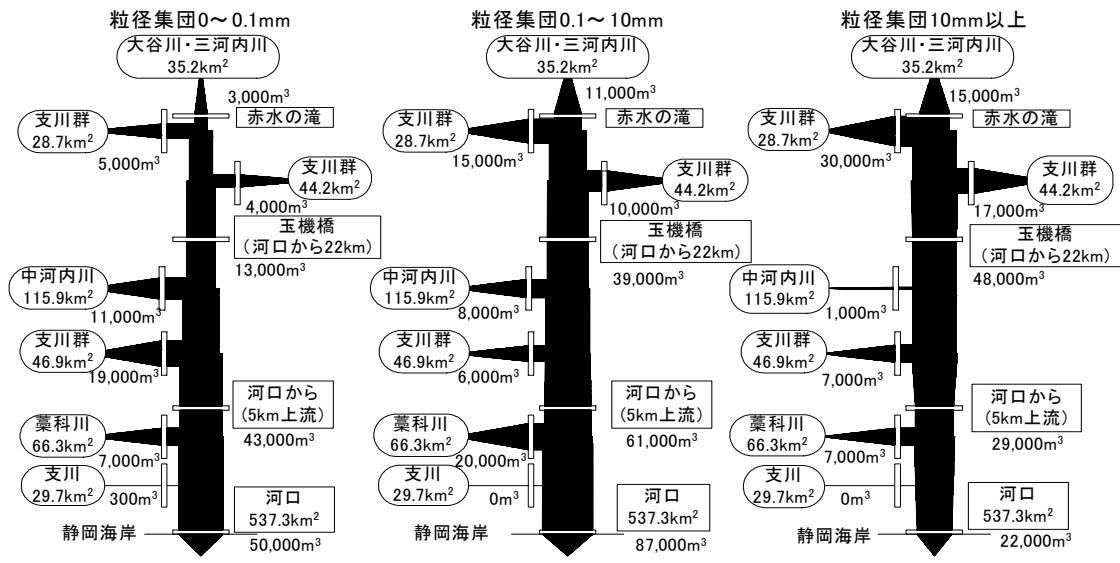


図-4. 2. 6 年平均粒径別土砂動態マップ

(3) 考察

地形変化推定モデルは流砂系全体としてみると河床の侵食や堆積、等深線の前進や後退といった地形変化の傾向、地形の変化に伴う土砂の移動量を概ね再現できる精度であるといえる。しかし、局所的な地形変化を推定する精度が低くなる場合もあった。例えば、安倍川本川 34km~41.5km の区間では河床位の計算値が実測値に対して高くなった。この原因として、山地流域の支川の河道部における侵食可能深を深く設定 (3m 程度) したために多量の土砂が本川に流れ込んだこと等が考えられる。また、静岡・清水海岸では、水深の深い等深線の場合、計算値は実績の変動量よりも小さかった。これは沿岸漂砂量の計算値が実測と比較して沿岸方向に変化しなかったためと考えられる。

地形変化推定モデルは流砂系全体での地形変化の傾向や土砂移動量を概ね再現できることが分かった。

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) 例えば、高秀秀信、九津見生哲、藤沢 寛：水系における土砂移動システムについて，第27回水理講演会論文集，pp.767-772，昭和58年
- 3) 江頭進治、松木 敬：河道貯留土砂を対象とした流出土砂の予測法，水工学論文集，Vol.44，pp.735-740，平成12年
- 4) 芦田和男、道上正規：移動床流れの抵抗と掃流砂量に関する基礎的研究，土木学会論文報告集，第206号，土木学会，pp.59-69，昭和47年
- 5) 芦田和男、藤田正治、向井 健：河床砂礫の浮上率と浮遊砂量，京大防災研究所年報，第28号B-2，pp.353-366，昭和55年
- 6) 宇多高明、河野茂樹：海浜変形予測のための等深線変化モデルの開発，土木学会論文集，vol.539/II-35，pp.121-139，平成8年
- 7) 磯部雅彦：放物線方程式を用いた不規則波の屈折・回折・砕波変形の計算法，第33回海岸工学講演会論文集，pp.134-138，昭和61年
- 8) 小笹博昭、A.H.Brampton：護岸のある海浜の汀線変化計算，港湾技術研究所報告，第18巻第4号，pp.77-104，昭和54年
- 9) 国土交通省河川局砂防部保全課海岸室ほか：流砂系一貫の土砂管理による海岸保全計画に関する調査，土木技術資料，44-4，pp.20-25，平成13年

4. 3 流砂系一貫とした土砂移動の管理技術

流砂系一貫とした土砂移動の管理技術として、透過型砂防えん堤、排砂ゲート、置砂による土砂移動の制御（調節）の効果について検討する。

透過型砂防えん堤は大規模な出水中の流砂を調節して下流での河床上昇を抑えることで防災上の機能を発揮するとともに、中小出水や平常時の流砂を下流に通過させるといった流砂の連続性を維持できる砂防設備である。

スリット砂防えん堤を連続して配置する際には、それらのスリット砂防えん堤群が対象とする洪水期間中にどれだけの土砂量を調節し、下流において土砂・洪水氾濫が生じないような河床変動に制御できるのかという点等を検討しておかなければならない。それらを推定する有力な手法として、河床変動計算がある。スリット砂防えん堤が1基だけ設置された場合の土砂調節効果を河床変動計算に基づいて検証したところ、良好な結果が得られた¹⁾。また、スリット砂防えん堤を連続して配置した場合では、ピーク流砂量は減少するが、通過土砂量は余り減少しないこと²⁾、初期河床がアーマコートで覆われている場合にはえん堤群としての効果が期待できること³⁾や、河床の状態や洪水波形の違いにより、スリット砂防えん堤群としての土砂捕捉量が異なること⁴⁾が報告された。

実際に現場で河床変動計算に基づいてスリット砂防えん堤群の効果を推定する場合、十分な流量の観測記録がある場合を除いて、キネマティック・ウェーブ法などの流出解析によって流量を推定することになる。従って、設定した降雨波形によっては、流出解析効果が変わるので、土砂調節効果の推定結果が変化すると想定される。しかし、降雨波形の違いによる、スリット砂防えん堤群の土砂調節効果の変化を検討した事例はあまりない。そこで、本研究では、降雨波形の違いがスリット砂防えん堤群の土砂調節量と下流の河床変動に与える影響を、流出解析と河床変動計算を組み合わせたモデルによって明らかにする。

(1) 河床変動計算に基づいた土砂調節効果の推定

1) 概要

本研究では、黒部川流域祖母谷をモデルとする。

図-4.3.1は黒部川流域祖母谷の流域図で、流域面積は27.2km²である。対象とする洪水は平成7年7月の豪雨⁵⁾によって発生したものとする。図-4.3.2は祖母谷流域の最上流部に設置されている白馬岳雨量観測所(図-4.3.1)で観測された、平成7年7月における降雨で、降雨期間は287時間、総雨量は1955mm、最大時間雨量

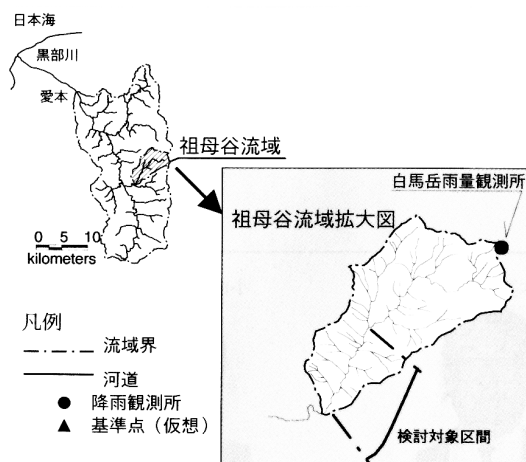


図-4.3.1 流域図

は 123 mmであった。

ここでは、前述の推定⁶⁾に用いた手法を適用して、流出解析と河床変動計算を行う。また、図-4.3.1のように仮想の基準点を設定する。スリット砂防えん堤は基準点から上流 3km の区間に配置する。以後、この区間を検討対象区間と呼ぶ。

2) 流出解析

流出解析はキネマティック・ウェーブ法⁷⁾に基づいて行う。流域内をいくつかの矩形書面と河道に分割して、それらを組み合わせる。矩形斜面から河道への流出過程は式(4.14)と式(4.15)から計算する。

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial q}{\partial x} = r_e \quad \dots \text{式(4.14)}$$

$$q = \sqrt{I/n} \cdot h^{5/3} \quad \dots \text{式(4.15)}$$

ここで、h: 流水断面積、q: 斜面上での単位幅流量、 r_e : 有効降雨量、n: 等価粗度 (=0.04)、I: 斜面勾配、t: 時間、x: 距離である。河道における流出過程は式(4.16)と式(4.17)から追跡する。

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q \quad \dots \text{式(4.16)}$$

$$A = \left(\frac{n}{K_1^{2/3} \cdot 1/2} \right)^{\frac{3}{2\alpha+3}} \cdot Q^{\frac{3}{2\alpha+3}} \quad \dots \text{式(4.17)}$$

ここで、A: 河道内の流下断面積、Q: 河道内の流量、n: マニングの粗度係数、S: 河床勾配、 K_1 、 α : 定数である。

3) 河床変動計算

河床変動計算は 1 次元で行った。河道における流水の追跡には式(4.16)、(4.17)を用いた。

流砂の連続式は式(4.18)のとおりである。

$$\frac{\partial z}{\partial t} + \frac{1}{(1-\lambda)B} \frac{\partial Q_s}{\partial x} = 0 \quad \dots \text{式(4.18)}$$

ここで、z: 河床位、 λ : 堆積土砂の空隙率 (=0.6)、B: 河道幅、 Q_s : 全流砂量である。河道幅は地形図から読みとった河幅とレジーム則(ここでは係数を 3.5 とした⁶⁾)により推定した河幅(式(4.19))を比較し、狭い方を採用した。また、河床は、平成 7 年 7 月出水の再現性が良かった固定床とした。

$$B = 3.5\sqrt{Q} \quad \dots \text{式(4.19)}$$

流砂量 Q_s については、掃流砂量 Q_B は芦田・高橋・水山式⁸⁾、浮遊砂量 Q_F は Lane-Kalinske の式⁹⁾ に河床付近の濃度として芦田・道上式¹⁰⁾ を用いて推定した。

$$Q_S = Q_B + Q_F \quad \dots \text{式 (4. 20)}$$

土砂は、流出解析で設定した各矩形斜面より河道に流入する流量 q から、掃流砂量と浮遊砂量を計算し、河道に供給した。但し、総供給土砂量は平成 7 年 7 月出水時の掃流出土砂量 6) を参考に本検討では 49 万 m^3 程度とし、斜面からの供給土砂量の総和がその値に達した時点で給砂を止めた。

スリット砂防えん堤における石上げ水深¹¹⁾ は式 (4. 21) で与えた。

$$Q = \frac{2}{3} \mu \sqrt{2ghs^3} \quad \dots \text{式 (4. 21)}$$

ここで、 μ : 流量係数 (ここでは 0.65 を用いた)、 h_s : スリット砂防えん堤におけるせき上げ水深である。

3) 計算条件

図-4. 3. 2~4. 3. 5 は計算に用いた降雨波形である。白馬岳雨量観測所で観測した実績の降雨量に基づいて、総降雨量と最大時間雨量は変化させずに、波形のみを変化させた。図-4. 3. 2 の最大時間雨量を記録した時刻を挟んだ 3 時間分 (16 時間後~18 時間) の時間雨量を、76 時間後~78 時間後と入れ替えた場合 (図-4. 3. 3)、138 時間後~140 時間後と入れ替えた場合 (図-4. 3. 4)、220 時間後~222 時間後と入れ替えた場合 (図-4. 3. 5) を設定した。以後、降雨波形を図 4. 3. 2 から 4. 3. 5 の順番に、それぞれ降雨波形 1、降雨波形 2、降雨波形 3、降雨波形 4 と呼ぶ。

なお、図-4. 3. 2 から 4. 3. 5 には、後述する流出解析の結果もあわせてプロットした。

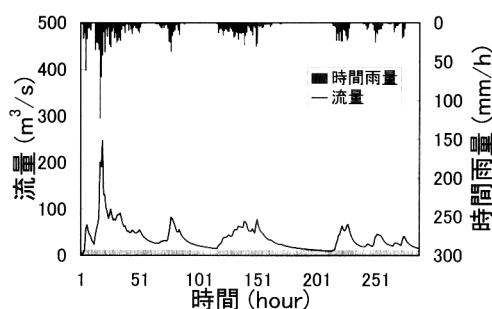


図-4. 3. 2 降雨と流量
(降雨波形 1)

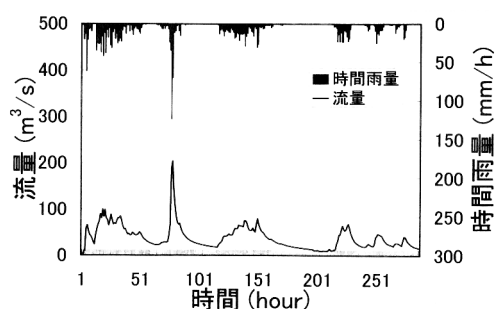


図-4. 3. 3 降雨と流量
(降雨波形 2)

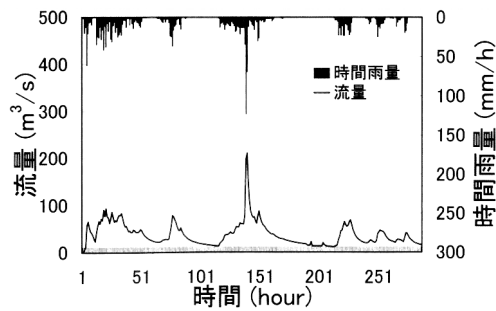


図-4. 3. 4 降雨と流量
(降雨波形 3)

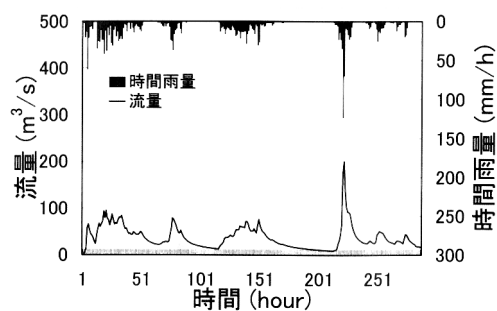


図-4. 3. 5 降雨と流量
(降雨波形 4)

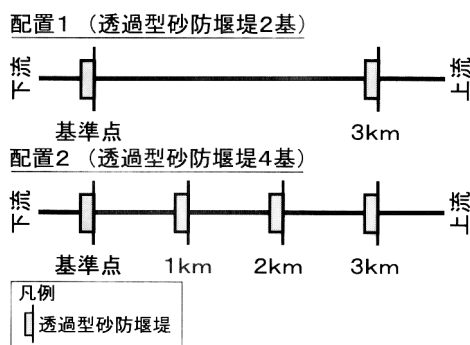


図-4. 3. 6 スリット砂防えん堤
の配置パターン

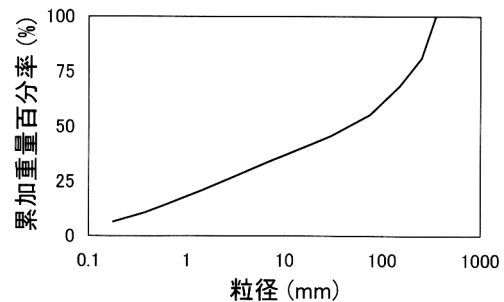


図-4. 3. 7 粒度曲線

図-4. 3. 6 はスリット砂防えん堤の配置パターンを示したものである。計算に際しては、スリット砂防えん堤を 2 基配置した場合、同じく 4 基配置した場合の 2 種類とし、以後、それぞれ配置 1、配置 2 と呼ぶ。

計算ケースは上記のケースを組み合わせた 8 ケースである。

初期の河床材料の粒度分布は供給する流砂の粒度分布とし、災害後に実施された河床材料調査に基づいて設定した (図-4. 3. 7)。

4) 計算結果

図-4. 3. 2～図-4. 3. 5 にあわせて示した流出解析の結果で、検討対象区間の上流端における流量の時間変化である。降雨波形 1 から 4 の流量の時間変化を比較すると、流量の最大値が現れる時間が異なった。降雨波形 2、3、4 の場合の最大値は降雨波形 1 に比べて低かった。

図-4. 3. 8 は検討対象区間の上流端における流砂量の時間変化である。いずれの降雨波形でも流砂量の最大値は洪水の第 1 波 (50 時間後まで) に現れ、降雨波形 1 の場合の値はその他に比べて 2 倍程度大きかった。また、降雨波形 2、3、4 については、時間降雨を差し替えた時刻付近で、わずかに上の凸の波形を示した。

図-4.3.9、4.3.10は、それぞれ配置1、配置2での基準点における流砂量の時間変化である。いずれの配置パターンでも、流量が最大値を示す時刻付近において、流砂量の最大値が現れた。また、その値は降雨波形によって異なった。

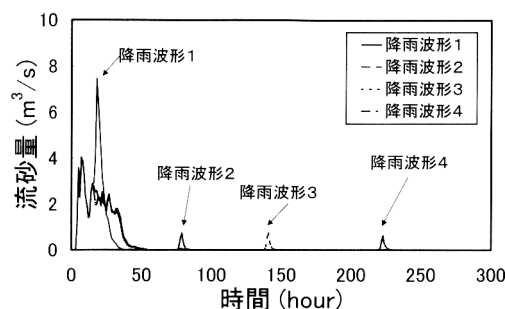


図-4.3.9 基準点での流砂量の時間変化

図-4.3.11、4.3.12は検討対象区間における河床変動計算の結果の一例で、配置2で降雨波形1と4の場合での初期河床に対する河床変動量である。河床変動量は堆積を正とした。図中の最大堆砂量とは、計算を終了するまでの間での、検討対象区間に堆積した土砂の総量の最大値である。最大堆積量となった時刻（最大堆積時）における降雨波形1の河床位は降雨波形4の場合と比べると、上流側のスリット砂防えん堤になるほど高くなった。降雨波形2、3、4の間で、ほとんど差がなく、同じような河床形であった。配置1の場合も同じような傾向を示した。最大堆積時刻は降雨波形1から4の順番に、配置1の場合32時間後、38時間後、39時間後、39時間後、配置2の場合で29時間後、41時間後、40時間後、41時間後であった。

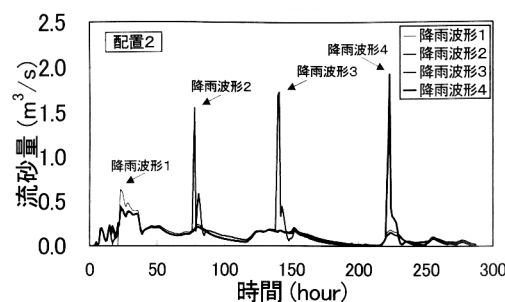


図-4.3.10 基準点での流砂量の時間変化

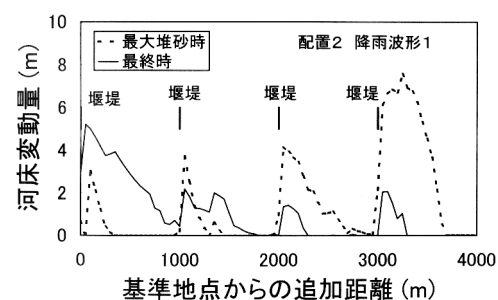


図-4.3.11 河床変動量の計算事例

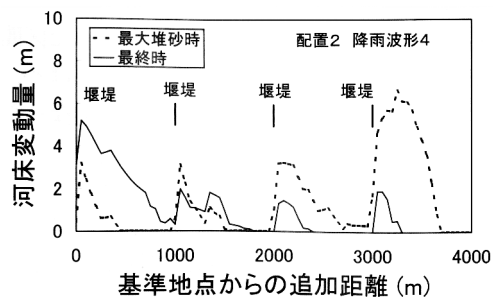


図-4.3.12 河床変動量の計算事例

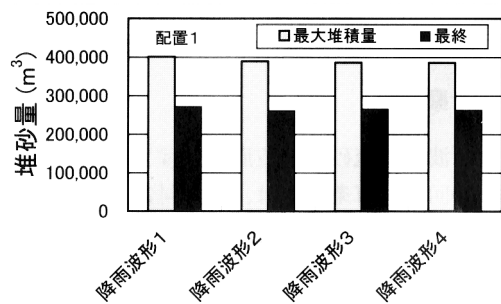


図-4.3.13 最大堆砂量と最終堆砂量 (配置 1)

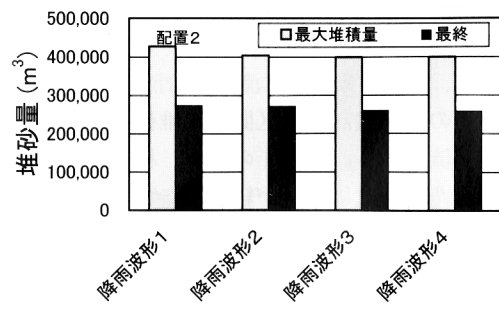


図-4.3.14 最大堆砂量と最終堆砂量 (配置 2)

図-4.3.13、4.3.14は最大堆積時及び計算終了時の検討対象区間内における堆積土砂量で、それぞれ配置 1、配置 2 の場合である。配置 1 の場合、最大堆砂量と最終堆砂量は降雨波形 1 の場合が最も多く、降雨波形 2、3、4 の最大堆砂量は降雨波形 1 の値と比べて 1.2 万 m³ から 1.5 万 m³ 程度小さかった。降雨波形 2、3、4 の最終堆砂量は降雨波形 1 の値と比べて 0.6 万 m³ から 1.0 万 m³ 程度小さかった。配置 2 の場合も最大堆砂量と最終堆砂量は降雨波形 1 の場合が最も多かつ

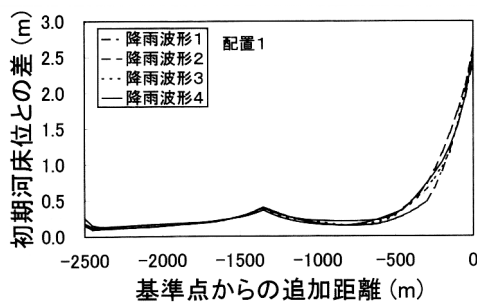


図-4.3.15 スリット砂防えん堤群下流での最高河床位

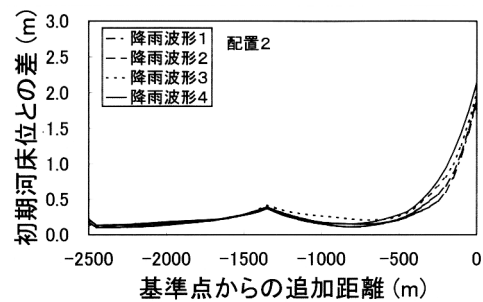


図-4.3.16 スリット砂防えん堤群下流での最高河床位

た。降雨波形 2、3、4 の最大堆砂量は降雨波形 1 の値と比べて 2.3 万 m³ から 2.8 万 m³ 程度小さかった。降雨波形 2 の最終堆砂量は降雨波形 1 の値とほぼ同じであったが、降雨波形 3 と 4 の値は降雨波形 1 の値と比べて 1.4 万 m³ から 1.6 万 m³ 程度小さかった。

図-4.3.15、4.3.16は基準点よりも下流の区間で、洪水期間中に記録した最高の河床位と初期河床位の差をプロットしたもので、それぞれ配置 1、配置 2 の場合である。河床位の差は堆積を正とする。また、基準点からの追加距離は上流向きを正の向きとする。なお、河床の最高位は洪水期間中に流路から土砂・洪水氾濫の可能性を検討する際に重要となると思われるので比較する。どちらの配置パターンでも降雨波形の波形による違いはあったが、その違いは最大でも 30 cm 程度であった。

(2) 考察

降雨波形が流砂量の波形に及ぼす影響を考察する。今回の計算条件では、検討対象区間

内に堆積した土砂量が流砂量の波形に影響を及ぼしている。洪水の後半にスリット砂防えん堤に一旦堆積した土砂が急激に流出し、えん堤の下流に堆積する現象^{1 2)}が報告されているが、今回の計算でも第一波の降雨が終了する時刻付近で、検討対象区間内に堆砂が見られた(図4. 3. 11、4. 3. 12)。第二波以降の洪水では、検討対象区間に流れ込む流砂量(図-4. 3. 8)が少ないので、検討対象区間内の堆砂が侵食されて下流へ流出する。配置1の場合、検討対象区間に堆積した土砂量は時間が経つにつれて、下流へ流出した。その結果、降雨波形3や4のように流量の最大値が出水の後半になるにつれて、流砂量の最大は小さくなったと考えられる。一方、配置2の場合、配置1と比べて2基多くのスリット砂防えん堤が設置されていたことから、検討対象区間内に堆積した土砂量は下流へ流出しにくかったと考えられる。そのため、降雨波形3や4のように、流量の最大値が出水の後半に現れるにつれて、流砂量の最大値は大きくなったと考えられる。

降雨波形が洪水期間中の最大堆積量に与える影響を考察する。最大堆積量は全てのケースで、第一波の洪水期間中に生じた。また、図-4. 3. 8から分かるように、土砂は主に第一波の洪水期間中に流れた。しかし、降雨波形2、3、4の場合、第一波の洪水期間中の流量が降雨波形1の場合と比べて少なかったため、せき上げ水深が小さくなった。その結果、降雨波形1と比べて、より多くの土砂が流出し、最大堆積量が少なくなったと考えられる。

検討対象区間の下流における河床変動を見てみると、特に、基準点から下流200m付近までの河床(図-4. 3. 15、4. 3. 16)は大きく変動しており、その傾向は基準点での流砂量の最大値の大きさの傾向とほぼ一致した。このことから、検討対象区間の下流における河床変動は基準点を通過する流砂量に影響を受けると言える。

(3) 結論

以上の検討から以下のような結論が得られた。

- ①流砂量の最大値は降雨波形とスリット砂防堰堤の配置基数によって違った傾向を示した。配置基数が少ないと、最大時間雨量が降雨波形の前半にある程、流砂量の最大値は大きくなった。配置基数が多いと、最大時間雨量が降雨波形の後半にある程、流砂量の最大値は大きくなった。
- ②最大時間雨量が降雨波形の後半にある程、全洪水期間中の最大堆砂量及び最終堆砂量は少なくなった。
- ③スリット砂防堰堤を連続して配置した区間の下流端からの流砂量の最大値が大きいほど、その区間の下流での河床の最高位は高くなった。

流砂系内における土砂移動の予知予測技術は概ね開発できた。

参考文献

- 1) 水山高久、阿部宗平、矢島重美、井戸清雄：2次元河床変動計算のスリット砂防ダムへの適用例，砂防学会誌，Vol.42，No.5，pp.21-28，1990.
- 2) 大久保駿、水山高久、蒲正之、井戸清雄：連続するスリット砂防ダムの土砂調節効果，砂防学会誌，Vol.50，No.2，pp.14-19，1997.
- 3) 藤田正治、水山高久、武蔵由育：砂防ダム群の土砂流出調節効果，水工学論文集第45巻，pp.697-702，2001.
- 4) 増田覚、水山高久、藤田正治、阿部彦七、小田晃、大槻英樹：連続するスリットダムの土砂調節機能についての基礎的考察，砂防学会誌，Vol.54，No.6，pp.39-42，2002.
- 5) 三上幸三、田中秀基、水山高久、藤田正治：スリット砂防ダムの土砂調節効果に関する実証的研究，砂防学会誌，Vol.51，No.4，pp.33-35，1998.
- 6) 福田克之、松本清則、谷口和哉、椿下康之、清水幹輝、水山高久：出水中におけるスリット砂防堰堤の土砂調節効果に関する研究－黒部川流域祖母谷支川を対象として－，砂防学会誌，Vol.54，No.6，pp.25-34，2002.
- 7) 土木学会：水理公式集平成11年版，pp.39，1999.
- 8) 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，Vol.30，No.4，pp.9-17，1978
- 9) 土木学会：流砂量の評価手法，水理公式集平成11年度版，pp.156-173，1999.
- 10) 芦田和男、道上正規：浮遊砂に関する研究(1)－河床付近の濃度－，京都大学防災研究所年報第13号B，p.233-242，1970.
- 11) 水山高久、阿部宗平、矢島重美：スリットの流量係数と堆砂形状，砂防学会誌，Vol.42，No.4，pp.28-30，1989.
- 12) 水山高久、大久保駿、井戸清雄、越智英人：掃流区域におけるスリット砂防ダム配置上の留意点，砂防学会誌，Vol.49，No.5，pp.49-52，1997.

4. 4 土砂移動と防災・環境・利用上の問題との関係推定技術

河床上昇に伴う土砂洪水氾濫やダム貯水池の異常堆砂による貯水容量の減少、海岸侵食による越波被害等土砂の移動に係る問題（以下、問題と呼ぶ）が流砂系において発生している。これらの問題に対して、土砂移動モニタリングや数値計算に基づいて流砂系内における土砂動態を推定する調査研究は数多くなされているが¹⁾、問題を引き起こした地形変化をもたらす土砂の移動と問題を関連付けて研究した事例は少ない。そこで、流砂系で発生している問題を引き起こした地形変化をもたらす土砂移動について土砂の量と粒径の観点から推定する手法を開発することを目的として、本研究では、安倍川流砂系を対象として、流砂系一貫として扱える地形変化推定モデルに基づき静岡・清水海岸の侵食に影響を及ぼした粒径別流砂量を推定した。なお、ここでいう安倍川流砂系とは安倍川流域及び静岡・清水海岸の漂砂域を指す。

(1) 対象流砂系

安倍川流砂系は、流域面積 567km²、本川延長 51km、河床勾配 1/250～1/30 の安倍川流域と延長約 17.8km の砂礫海岸である静岡・清水海岸よりなる。高度経済成長期には、年間平均 70 万 m³ に及ぶ砂利採取が行われ、昭和 42 年には河口から 22km までの直轄管理区間の河床が、昭和 30 年当時の河床から最大 2.9m、平均約 1.3m 低下し、橋梁、護岸などの構造物が被災するようになった。そのため、昭和 43 年に直轄区間での砂利採取が禁止され、平成 6 年には健全管理区間の砂利採取も禁止された²⁾。

図-4. 4. 1 は静岡・清水海岸の汀線変化を示したものである。これによると、清水海岸においては侵食が東側に 270m/年の伝播速度で広がっている。また、静岡海岸では 1983 年以降、安倍川河口部東側では東方向に 10 万 m³/年堆積が進み、その伝播速度は 250m/年である。

静岡・清水海岸の侵食は昭和 37 年頃から河口付近より始まり、昭和 52 年以降侵食区域が北東方向に拡大し、昭和 57 年頃には清水海岸まで侵食区域が広がった³⁾。これに対して昭和 58 年より離岸堤群の建設等により海岸保全対策が進められ、現在もなお実施されているところである。海岸侵食の原因については、安倍川において昭和 42 年以前から実施されている砂利採取の影響が大きいと既往研究⁴⁾ に報告されている。

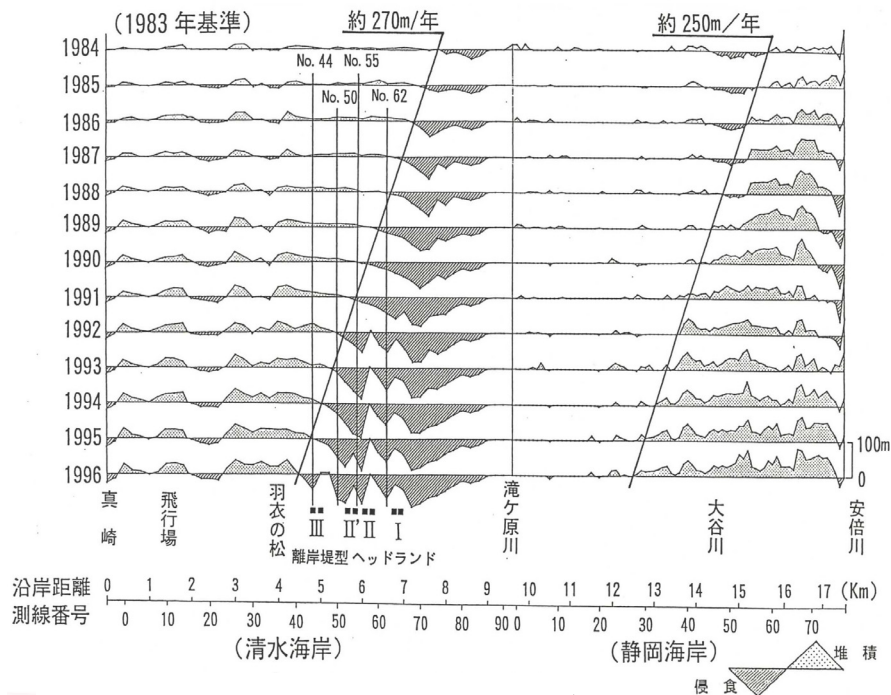


図-4. 1. 1 静岡・清水海岸の汀線変化

(2) 検討方法

洪水流出解析、一次元河床変動計算および等深線変化モデルを組み合わせた地形変化推定モデル⁴⁾を用いて、静岡・清水海岸の侵食を引き起こした土砂量を推定した。海岸侵食へ影響を及ぼした要因として、本研究では安倍川で実施された砂利採取に着目し、①砂利採取を実績どおり実施したケース、②砂利採取を実施しなかったケースについて計算を実施し、両ケースの比較から海岸侵食への砂利採取による影響量を検討した。また、海岸侵食が生じる前の地形を維持するために必要な河川からの流出土砂量についても算定を試みた。

1) 地形変化推定モデル

地形変化推定モデルは土砂流出モデル、河床変動モデルおよび海浜変形モデルより構成される。本モデルの詳細については本報告の4.2を参考にして頂きたい。図-4.4.2に地形変化推定モデルの各構成モデル適用範囲を示す。本研究では、砂利採取区間における水理量と土砂動態をより適切に解析できるようにするために、河床変動モデルの適用区間を河口～22km地点の区間とした。

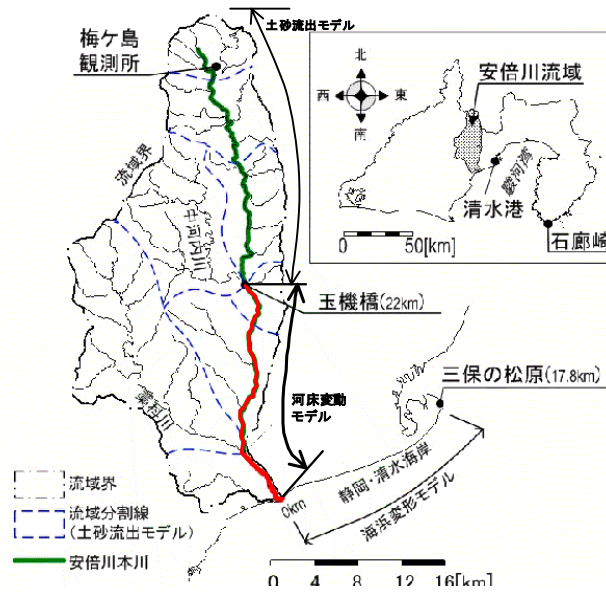


図-4. 4. 2 安倍川流砂系図と計算モデルの適用範囲

本研究では、河床変動モデルによる計算における砂利採取の取り扱いについては、各年毎の実績砂利採取量（図-4. 4. 3）を区間毎の砂利採取許可量³⁾で案分し、各年の最後にその年の実績砂利採取量を河床位に換算した値を地形変化推定モデルで求めた河床位から差し引くこととした。

また、本研究では、沿岸方向の海浜構成材料の粒径の変化を海浜変形モデルによる計算に反映するため、図-4. 4. 4に示す通り粒径 19mm 以上の土砂が存在しない河口から東へ 3.5km の地点より以東の区間については粒径 19mm 未満の存在割合である 0.53 を補正係数として海浜変形モデルの算出結果（地形変化量）に乗じることとした。

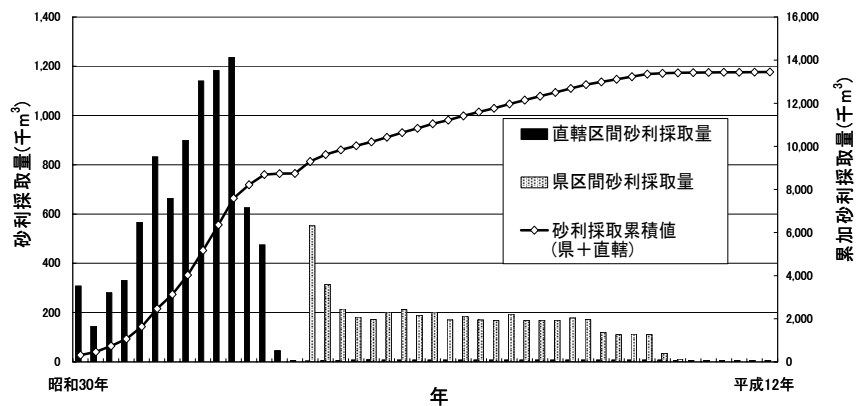
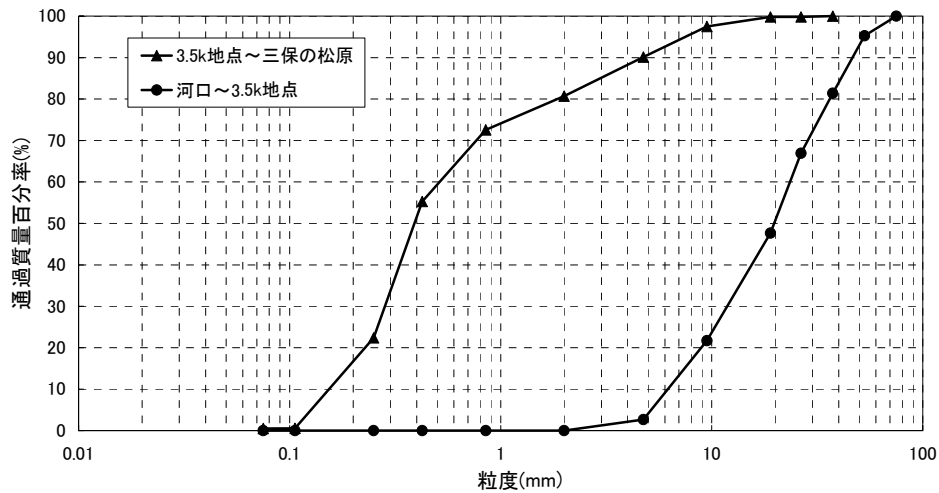


図-4. 4. 3 砂利採取量



図－4．4．4 海浜構成材料粒度分布

2) 計算条件

表－4．4．1は計算実施期間と計算に用いたパラメータの数値である。計算実施期間は、資料の存在状況と砂利採取期間を勘案して設定した。河床位の初期値は河口～22kmの区間は昭和31年、22km～50.5kmの区間は昭和42年、藁科川流域は昭和49年の測量成果を用いた。汀線位置の初期値については、静岡海岸は昭和44年の深浅測量成果と昭和28年の1：25,000地形図、清水海岸は昭和54年の深浅測量成果と昭和30年の1：25,000地形図をもとに想定地形を作成した。河床材料の粒度分布は昭和50年度の調査結果、生産土砂の粒度分布は昭和57年度の調査結果を参考に設定した。海浜変形モデルの境界条件とする河川から海岸域へ流出する土砂量は、砂利採取を実施したケースの算定結果である108,000m³/年とした。図－4．4．5は計算に用いたハイエトグラフである。ハイエトグラフの設定にあたっては、河口から3.5km地点～三保の松原までの海浜構成材料の代表粒径である0.6mm(図－4．4．4)が河口部において浮遊する限界流量である400m³/s(手越流量観測所)以上の34出水を対象とした。なお、前述の代表粒径の設定にあたっては、海浜が後退している区間の粒径に着目することが望ましいと考え、粒径の粗い河口付近の粒径は対象外とした。

表-4.4.1 計算条件

土砂流出モデル及び河床変動計算モデル	計算期間	昭和31年～昭和42年(12年間)
	土層厚	第1層:0.8m 第2層:1.0m
	透水係数	第1層: 3.0×10^{-3} m/s 第2層: 3.0×10^{-4} m/s (薬科川流域は第1層: 1.0×10^{-3} m/s 第2層: 1.0×10^{-4} m/s)
	初期浸透能	第1層:500mm/hr 第2層:5mm/hr 第3層0.5mm/hr (薬科川流域は第1層:100mm/hr 第2層:1mm/hr 第3層0.1mm/hr)
	最終浸透能	第1層:250mm/hr 第2層:2.5mm/hr 第3層0.25mm/hr (薬科川流域は第1層:50mm/hr 第2層0.5mm/hr 第3層0.05mm/hr)
	浸透能逓減係数	1.0×10^{-9} hr ⁻¹
	等価粗度係数	2.0 (薬科川流域は1.0)
	掃流幅	レジューム則($B=5 \times Q^{0.5}$)により設定
	粗度係数	河口～22k区間の河道部:0.036 22k～50.5k区間の河道部:0.050
	海浜変形モデル	計算期間
波浪		波高:1.56m 周期:6.9s (石廊崎観測所) 波向(卓越波高):南南東
潮位		T.P.+0.26m (清水港の平均潮位)
漂砂量係数		$k_1=0.031$ $k_2=0$
海浜材料粒径		0.1mm～80mm(現地調査結果より設定)

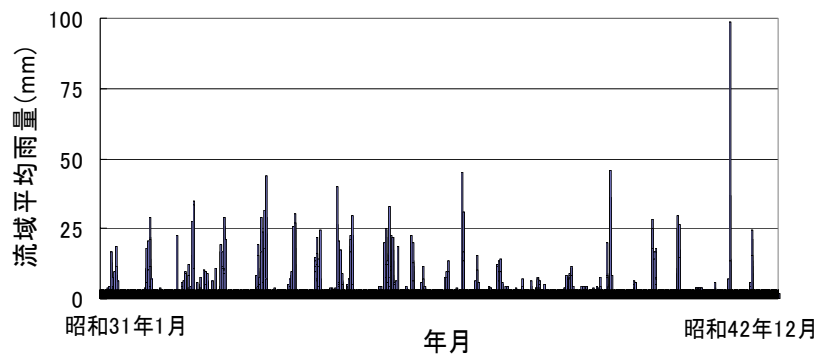


図-4.4.4 ハイエトグラフ

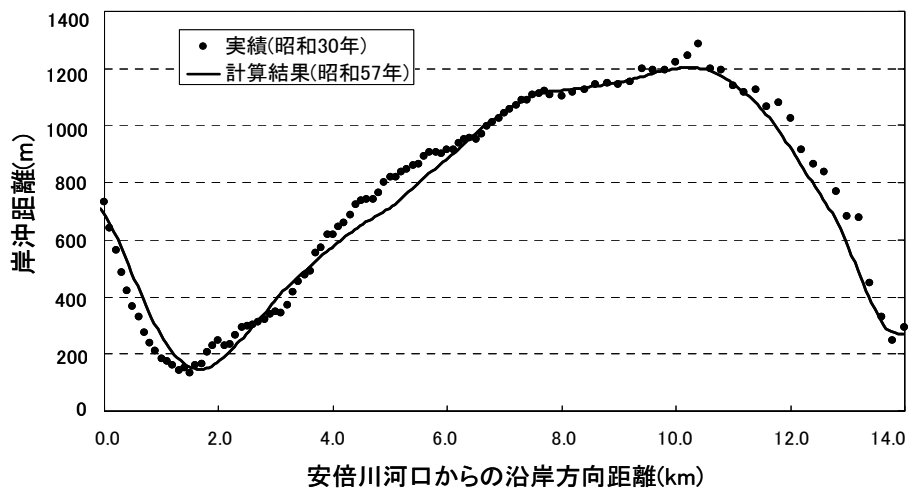
(3) 計算結果

表-4.4.2は砂利採取を実施したケースおよび実施しなかったケースにおける河川から海岸域への流出土砂量を比較したものである。砂利採取を実施しなかったケースでは河川から海岸域への全流出土砂量は約20万m³/年、そのうち海浜構成材料の粒径にあたる土砂は約17万m³/年であり、砂利採取を実施しなかったケースでは全流出土砂量については約11万m³/年、海浜構成材料の粒径にあたる土砂については約8万m³/年となり、5割程度以下にまで低減する結果となった。

計算初期の汀線位置(昭和30年)が海岸保全対策が着手される前年である昭和57年においてもほぼ維持されるために必要な河川から海岸域への総流出土砂量(全粒径が対象)を、計算初期の汀線を維持するために必要な土砂量と想定して算出したところ、約15万m³/年という結果になった(図-4.4.5)。

表－4. 4. 2 砂利採取の実施の有無による河川から海岸への年平均流出土砂量の比較

(万m ³ /年)		
	砂利採取を実施 しなかったケース	砂利採取を実施 したケース
全流出土砂量	20.3	10.8
海浜構成材料の粒径に 相当する流出土砂量	17.5	8.3



図－4. 4. 5 河川からの流出土砂量を 15 万 m³/年とした場合の計算結果（昭和 57 年）と計算初期（昭和 30 年）の汀線の比較

(4) 考察

以上の検討結果から、安倍川流砂系で生じている海岸侵食に影響を及ぼした土砂移動について以下の通り推定した。昭和 30 年当時は安倍川から静岡・清水海岸に約 20 万 m³/年程度の土砂が流出するが、その後の砂利採取により、安倍川では河床低下が生じ、河川から海岸へ流出する土砂量が約 11 万 m³/年(そのうち粒径 0.1mm～80mm の土砂は約 8 万 m³/年)に減少したため、海岸侵食が生じたと考えられる。また、海岸侵食を生じさせないためには、河川から海岸域へ 15 万 m³/年程度の土砂の流出（総流出土砂量）が必要であると考えられる。

参考文献

- 1) 例えば、国土交通省河川局砂防部砂防計画課ら：流砂系における土砂移動実態に関する研究，平成 15 年度国土交通省国土技術研究会指定課題，2003
- 2) 高橋保：土砂流出現象と土砂害対策，pp. 371-372，2006
- 3) 国土交通省河川局保全課海岸室：流砂系一貫の土砂管理による海岸保全計画に関する調査，平成 13 年度国土交通省国土技術研究会指定課題，5-1 - 5-44，2001
- 4) 宇多高明：3.5.4 静岡県静岡・清水海岸，日本の海岸侵食，pp. 200-218，1997

5. まとめ

本プロジェクト研究をまとめると以下のとおりである。

(1) 目標

河川審議会総合政策委員会答申「新たな水循環・国土管理に向けた総合行政のあり方について」(平成11年3月)において、新たな水循環・国土管理に向けて、健全な水循環系を実現していくための「水循環の概念を取り入れた国土マネジメント」、安全で豊かな国土を維持・形成していくための「流砂系における総合的な土砂管理の推進」などの総合行政の展開が必要であると報告されている。

このような背景から、水循環系に関する研究は「健全な水循環系の構築」と題して、下記に示す項目を目標とした。

- ①水収支モデルの構築
- ②水循環系(水量・水質・自然環境)の健全性を評価する指標の提示
- ③合意形成を目指した総合的な水循環評価手法の構築

また、流砂系に関する研究は「流砂系の土砂移動に係る問題の解決」と題して、下記に示す項目を目標とした。

- ①土砂移動モニタリング技術の開発
- ②土砂移動の予知予測技術の開発
- ③土砂移動と防災・環境・利用上の問題との関係についての推定技術の開発
- ④流砂系一貫とした総合的な土砂管理手法の確立
- ⑤流砂系の健全性を評価する技術の開発

これらの結果をもとに、治水・利水・環境に関わる水・土砂管理の総合化を図り、我が国や類似の自然・社会条件を有するアジア地域の渇水・災害対策等の水管理技術の発展に貢献することを目標とした。

(2) 研究の成果

1) 健全な水循環系の構築

①水収支モデルの構築

水収支モデルについては、ケーススタディとして、モデル流域の利水の中でその使い方を水利用関係者間で調整していくツールとしての検討ができ、モデルの一般化に向けて着実に成果が得られた。また、成果の活用としては、千葉県主催の「印旛沼水質改善技術検討委員会」に、本研究の一貫として作成した水収支データベースモデルを提供した。

②水循環系(水量・水質・自然環境)の健全性を評価する指標の提示

水循環系評価指標等による流域の状況評価については、流域の視点から、水循環系の健

全性を確保するために、治水・利水・環境のバランスがとれた総合的な評価指標についての素案が作成できたことから、概ね目標を達成した。また、成果の活用としては、「水循環系の健全性評価指標に関する研究会」に本研究の知見を提供した。

③合意形成を目指した総合的な水循環評価手法の構築

問題解決の比較評価については、関係者間で合意形成を進めていくツールとして、関係者の意思を数量化してみる有力な手法として階層化意思決定法を検証し、平成14年度までに階層化意思決定法によって河川事業を階層化・数値化できたことで一定の成果が得られた。また、成果の活用としては合意形成の一助となる河川用語等の解説の手引き、合意形成事例集を作成した。

2) 健全な流砂系の構築

①土砂移動モニタリング技術の開発

土砂モニタリング技術については、流砂系における土砂移動の実態について、モデル流砂系などで土砂動態マップ及び粒径別土砂収支図を作成できたことや、観測機器の開発(図-5.1)、観測精度の比較、選定フロー(素案)ができたことなどから、概ね目標を達成した。



図-5.1 掃流砂・浮遊砂の観測機器

②土砂移動の予知予測技術の開発

山地部や平野部における降雨の流出過程と土砂の流出過程を推定するための流出解析と河床変動解析、さらに海岸線の変化を推定するための汀線変化モデルを組み合わせた数値計算モデル（地形変化推定モデル）を開発した。地形変化推定モデルを実際の流砂系に適用したところ、推定した移動量が実際の移動量の傾向と概ね一致していたことが分かった。

③土砂移動と防災・環境・利用上の問題との関係についての推定技術の開発

土砂移動に影響を及ぼす人為的或いは自然的インパクトを想定し、それらが地形の変化に及ぼす影響を地形変化推定モデルに基づいて感度分析的に検討した。例えば、安倍川での砂利採取（人為的インパクト）が静岡・清水海岸の海岸線の変化に及ぼす影響を検討したところ、河口から海に流出する土砂のうち海岸の形成に寄与する土砂（粒径 0.1mm～80mm 程度）が半減したことが推定できた。また、洪水特性・土砂動態の変化が河原の自然形成システムを変化させる機構を解明できた。

④流砂系一貫とした総合的な土砂管理手法の確立

土砂移動を制御して土砂移動に係る問題を解決するため、透過型砂防えん堤、排砂ゲート、置砂といった対策で土砂移動を人為的に制御することが考えられた。例えば、土砂が激しく移動する山地部に着目すると、代表的な対策として透過型砂防えん堤がある。透過型砂防えん堤には、出水中の流砂を調節して下流での河床上昇を抑え、中小出水を含む平常時の流砂を下流に通過させられる効果があるが、そのような効果を地形変化推定モデルに組み込めるモデルを本研究では作成した。それに基づく検討によると、透過型砂防えん堤は降雨量の変化にもよるが、配置する基数によって下流への流砂量を制御できることが分かった。

⑤流砂系の健全性を評価する技術の開発

流砂系の健全性を評価する技術は防災・環境・利用上の観点から流砂系の現状を評価するものである。その為には前述までのような基礎的な技術が必要で、概ね所定の成果を得られた。しかし、「健全性」という概念を定義するまでには至らず、その指標を開発できなかった。

目標	目標達成に必要なアプローチ	現状の分析・現象の把握			対策技術開発			政策化	
		観測	現象分析	将来予測	基礎原理の開発	実用化	改良	経済的分析	普及戦略の分析
健全な水循環系の構築	流域一貫としたモデリング手法								
	健全な水循環系の構築								
	総合的水管理手法の体系化								
健全な流砂系の構築	土砂移動モニタリング技術								
	土砂移動の予知・予測技術								
	土砂移動と防災・環境・利用上の問題との関係の推定技術								
	流砂系の健全性を評価する技術								
	流砂系一貫とした土砂移動管理技術(計画)								
	流砂系一貫とした土砂移動管理技術(対策)								
	総合的水管理手法の体系化								

かなり研究が進んでいる研究領域
 いくらか研究が進んでいる研究領域
 ほとんど研究が進んでいない研究領域
 国総研で過去に取り組んできた研究領域

図-5.2 研究マップ

(3) 今後の取り組み

1) 健全な水循環系の構築

水循環系評価指標の構築にあたっては、多様な水循環スケールから具体的に指標を算定するという、技術的な課題から、算定された指標の理解度や具体の施策への適用性の検討という、実施にあたっての課題まで、多くの課題が山積しているといえる。しかしながら、このような課題や限界を十分理解しつつ、たたき台として指標を提示していくことが具体的な取り組みの第一歩として意義があると考えられる。その上で、データ収集や指標の選定、あるいは指標の総合化に至るまで、あらゆる段階でより多くの方が参加して知見を集積するような工夫が不可欠であると考えられる。

平成15年10月に「健全な水循環系構築のための計画づくりに向けて」という将来的な考え方を取りまとめ公表した、「健全な水循環系構築に関する関係省庁連絡会」の事務局を本省水資源部が担当している。指標作成に用いた元データなど、さらに詳細に参照できるような指標の表示方法も工夫しつつ、今後は本省と一緒に、指標づくりの動きの中で行政を支援していく。

有効な合意形成手法に関する研究については、分かりやすい河川用語をウェブ上で公開するなどし、一般住民や報道関係者等の意見の反映、河川管理者・行政担当者が説明用に利用するといったニーズに対応できるようにする。また、合意形成過程の事例をより深く分析するとともに、水収支モデルのような参加型の取り組みが重要であることから、モデルの改良・一般化を行い、合意形成を目指した代替案比較のツールとして取りまとめ、健全な水循環系の構築に向けた流域協議会等の施策実施の場で活用されるよう本省と連携し

内容を深めていく。

2) 健全な流砂系の構築

今後は、全国の流砂系に展開可能な健全性評価手法を提示するとともに、本プロジェクトの成果を本省河川局の総合的な土砂管理に関する施策に反映させる予定である。また、本プロジェクト研究の成果を山地流域から下流域に流出する土砂量についてのデータベース（流砂量年表）に反映させる予定である。

3) 水・土砂管理の総合化

本プロジェクト研究の成果は、戦略的基礎研究推進事業 CREST「社会変動と水循環の相互評価モデルの構築」、及び「人口急増地域の持続的な水政策シナリオ—モンズーン・アジア地域等における地球規模水循環変動への対応戦略」の研究を通じて、アジア地域への適用の可能性を検討していきたい。

6. おわりに

本プロジェクト研究では、当初設定した目標が概ね達成されたと言えるが、健全性の評価等といった幾つかの技術開発が今後の課題として残された。主な課題とそれに対する今後の対応をまとめると次のようになる。

今後の課題としては、(1) 水循環系及び流砂系の健全性の概念(定義)とその評価手法に関する技術の開発、(2) 健全な水循環系の構築に関する技術と健全な流砂系の構築に関する技術を総合化する技術の開発、(3) 本プロジェクト研究の成果の社会的還元方法の明確化の3点が挙げられる。(1)については、防災・環境・利用上の問題が生じていない状態が「健全」であるといえるが、その定量的な評価手法は完成していない。大学を含む関係機関と連携して、「健全性」の概念をさらに整理するとともに、その評価手法を開発して生きたいと考えている。今後は天竜川流砂系をケーススタディーとして、問題の解消のための具体的な対策の検討を実施する予定である。(2)については、戦略的創造研究推進事業(CREST)研究領域「水の循環系モデリングと利用システム」等の枠組みの中で、健全な水循環系の構築に関する技術と健全な流砂系の構築に関する技術を総合化する研究を進めていく予定である。(3)については、土砂移動モニタリング技術や地形変化推定技術を現地に適用できるようにガイドラインとして取りまとめ、公表していく予定である。

本報告のはじめにでも述べたように、水循環系及び流砂系では様々な影響や問題が顕在化してきており、それらの影響や問題を改善するための対策を講じることが求められている。それらの対策の検討と実施に際して、本プロジェクト研究の成果が反映されることを期待している。また、今後開発すべき課題として残された技術を取りまとめていきたいと考えている。

卷末資料

巻末 1. 成果の公表一覧

1. 健全な水循環系の構築

- ・ビジョン共有を前提とした計画策定を通じた合意形成の事例 川崎秀明、村瀬勝彦、富澤洋介 第 21 回建設マネジメント問題に関する研究発表・討論会講演集 pp23-26 2003.11
- ・低水管理における参加型合意形成に資するモデル開発のための研究 村瀬勝彦、川崎秀明 ダム技術 No.213 pp9-15 2004.6
- ・A Case Study for Participatory Framework in the Process of Water Resources Planning, Masahiko MURASE, Hideaki KAWASAKI, Yosuke TOMIZAWA, Proceedings of the 2nd APHW Conference, Vol.1, pp526-533, 2004.7
- ・「健全な水循環系の構築-水循環評価指標の作成-」、村瀬勝彦、国総研アニュアルレポート 2004、pp50-53、2004
- ・「ダムによる洪水被害軽減を中心とした水循環の評価指標作成の試み」、村瀬勝彦・中村昭・川崎秀明、河川技術論文集 Vol.10、2004
- ・水循環系の評価指標作成とその総合化の取組み 村瀬勝彦、川崎将生 河川 No.716 pp55-59 2006.3

2. 健全な流砂系の構築

- ・砂防溪流における流砂量現地観測 笹原克夫、竹崎伸司、中野公章、海原荘一、長井齋、村上正人、飯田弘和 平成 13 年度砂防研究発表会概要集 p.314~315 2001.5
- ・安倍川での平成 13 年 8 月 22 日出水における土砂移動実態 寺田秀樹、水野秀明、福嶋彩、宮尾保道、飯野光則、栢木敏仁 平成 14 年度砂防研究発表会概要集 p.28~29 2002.5
- ・浮遊砂量現地観測結果と既往浮遊砂量式との比較 寺田秀樹、水野秀明、福嶋彩、宮尾保道、飯野光則、栢木敏仁、村上正人 平成 14 年度砂防研究発表会概要集 p.368~369 2002.5
- ・総合的な土砂管理に向けた土砂移動の観測 国総研アニュアルレポート 2003、p28~31、2003.3
- ・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 福嶋彩、水野秀明、寺田秀樹、中野泰雄、長嶋佳孝、大石康正、西本直史 平成 15 年度砂防研究発表会概要集 p.264~265 2003.5
- ・流砂量観測機器の適用範囲に関する実験的研究 宮尾保道、中野泰雄、寺田秀樹、水野秀明、江島敬三 平成 15 年度砂防研究発表会概要集 p.266~267 2003.5
- ・荒地からの細粒土砂流出量について 二村貴幸、山本浩一、坂野章、日下部隆昭、小川和彦 土木学会平成 15 年年次学術講演会 2003.9

- ・流砂及び河床変動の実態把握に基づく河床変動計算の精度向上に関する研究 谷口丞、日下部隆昭、末次忠司 土木学会河川技術論文集第9巻 p.67～72
- ・流砂系を一貫として扱う地形変化推定モデルの開発と安倍川流砂系への適用 福嶋彩、水野秀明、寺田秀樹 土木技術資料 Vol.45 No.2 P.50～53 2004.2
- ・安倍川流砂系における海岸侵食に影響を及ぼした土砂移動の推定 福嶋彩、水野秀明、原禎利幸、寺田秀樹、境道男、長嶋佳孝、加藤善明、西本直史 平成16年度砂防研究発表会概要集 p.330～331 2004.5
- ・搬入式流砂量観測機器の選定手法に関する考察および安倍川における流砂量観測への適用 原禎利幸、水野秀明、福嶋彩、寺田秀樹、境道男、長嶋佳孝、加藤善明、村上正人 平成16年度砂防研究発表会概要集 p.18～19 2004.5
- ・荷重計を用いた新しい掃流砂量観測手法の開発 二村貴幸、山本浩一、坂野章、小川和彦、日下部隆昭、末次忠司 土木学会河川技術論文集第10巻 p.291～296 2004.6
- ・河床変動観測へのヘッド回転型サイドスキャンソナーの適用に関する研究 山本浩一、二村貴幸、小川和彦、坂野章、日下部隆昭、末次忠司 河川技術論文集第10巻 p.297～302 2004.6
- ・重鉍物分析と放射年代測定を組み合わせた住吉海岸の堆積環境の推定 三浦一浩、川元壊二、鳥居謙一、山本幸次 海岸工学論文集, vol.50, pp.566-570.
- ・安倍川流砂系における土砂移動実態について 水野秀明、小山内信智、福嶋彩、原禎利幸、西川友幸、高橋正行、加藤善明、村上正人 平成17年度砂防学会研究発表会概要集 P.284-285 2005.5
- ・瀬沼川における河床波観測及び解析 高部一彦、人見寿、坂野章、山本浩一 河川技術論文集第11巻 p.387～p.392 2005.6
- ・Time-integrate samplerの浮遊砂採取効率に関する水路実験 小山内信智、水野秀明、沖中健起、原禎利幸 国総研資料第266号 2005.10
- ・安倍川流砂系における土砂移動実態と土砂移動に関わる問題との関係について 清水武志、小山内信智、水野秀明、沖中健起、村上正人 平成18年度砂防学会研究発表会概要集 P.76-77 2006.5

国土技術政策総合研究所プロジェクト研究報告

PROJECT RESEARCH REPORT of N I L I M

N o . 1 6

February 2007

編集・発行 © 国土技術政策総合研究所

本資料の転載・複写の問い合わせは

〒305-0804 茨城県つくば市旭一番地

企画部研究評価・推進課 TEL029-864-2675