

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¹⁾。

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²⁾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^{1) 3)}。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³⁾。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。

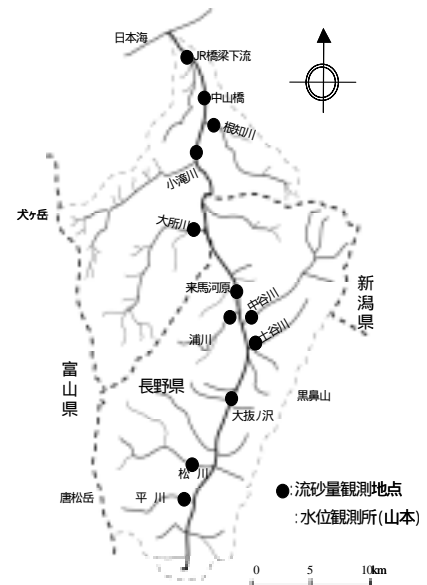


図 - 1 姫川流域図

2. 1 姫川流砂系

姫川は、流域面積が約722km²、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、本川大坂ノ沢合流点、支川土谷川、支川中谷川、支川浦川、本川来馬河原、支川大所川、本川小滝川合

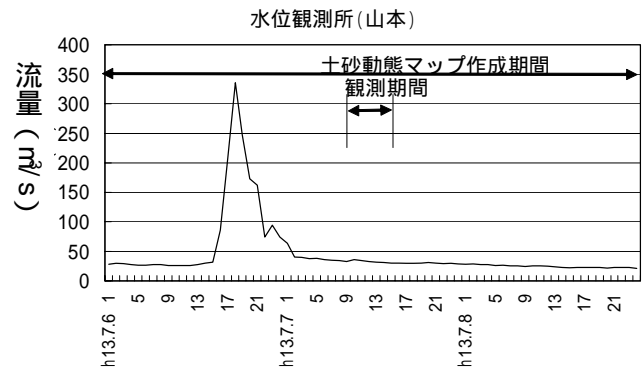


図 - 2 姫川ハイドログラフ

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⁴⁾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、本川大坂ノ沢合流点、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滝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、本川大坂ノ沢合流点、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滝川合流点ではバックホウ式、支川浦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(46.39m³/s : S50 ~ H12の平均値)の7倍程度の出水(330m³/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

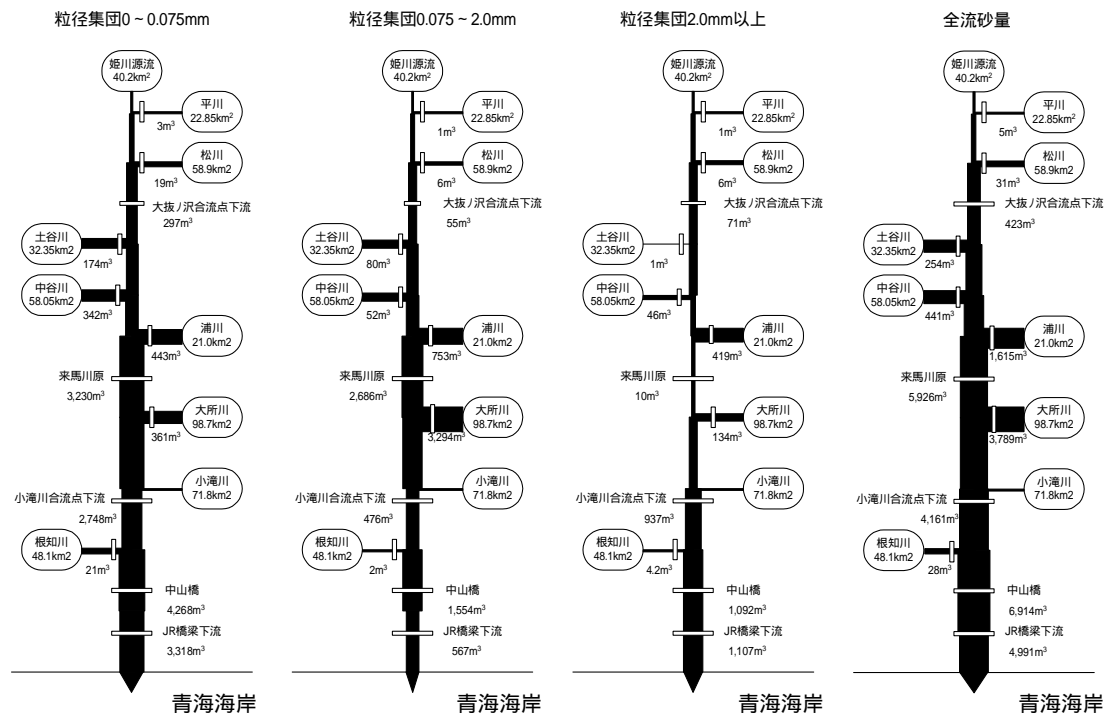


図-3 姫川流砂系土砂動態マップ(平成13年7月6日~8日)

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⁴⁾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

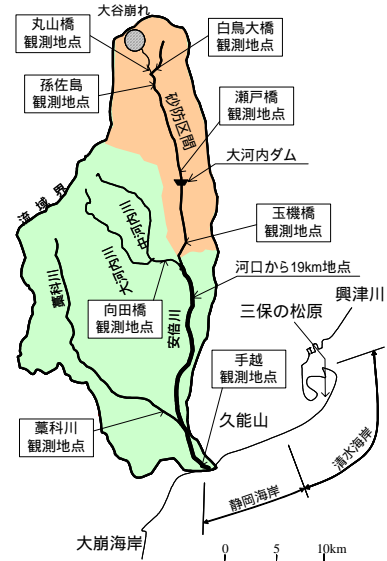


図-4 安倍川流域図

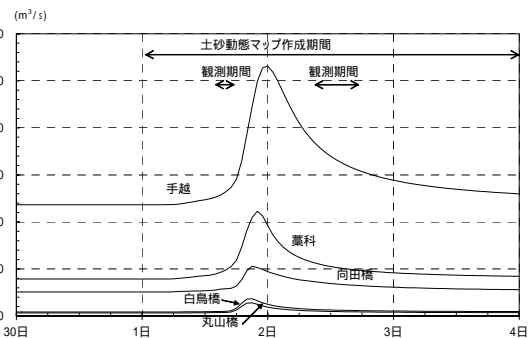


図-5 安倍川ハイドログラフ

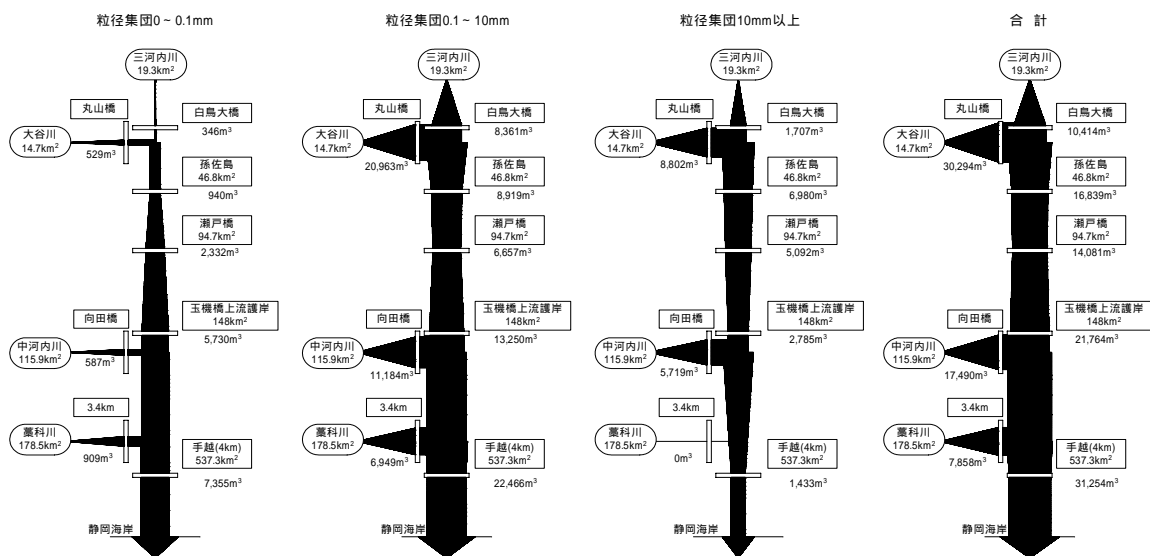


図-6 安倍川流砂系土砂動態マップ(平成14年10月1日~3日)

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(31,254m³)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。

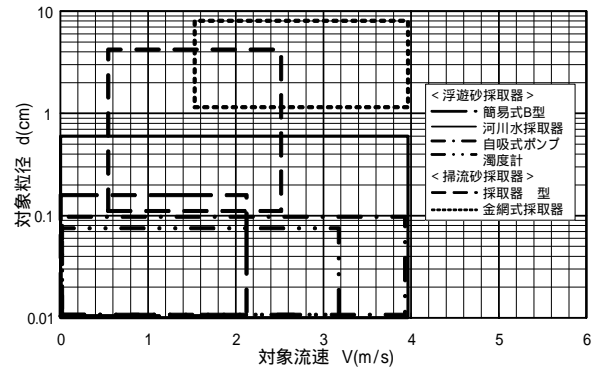


図-7 可搬式観測機器の適応範囲

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⁵⁾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

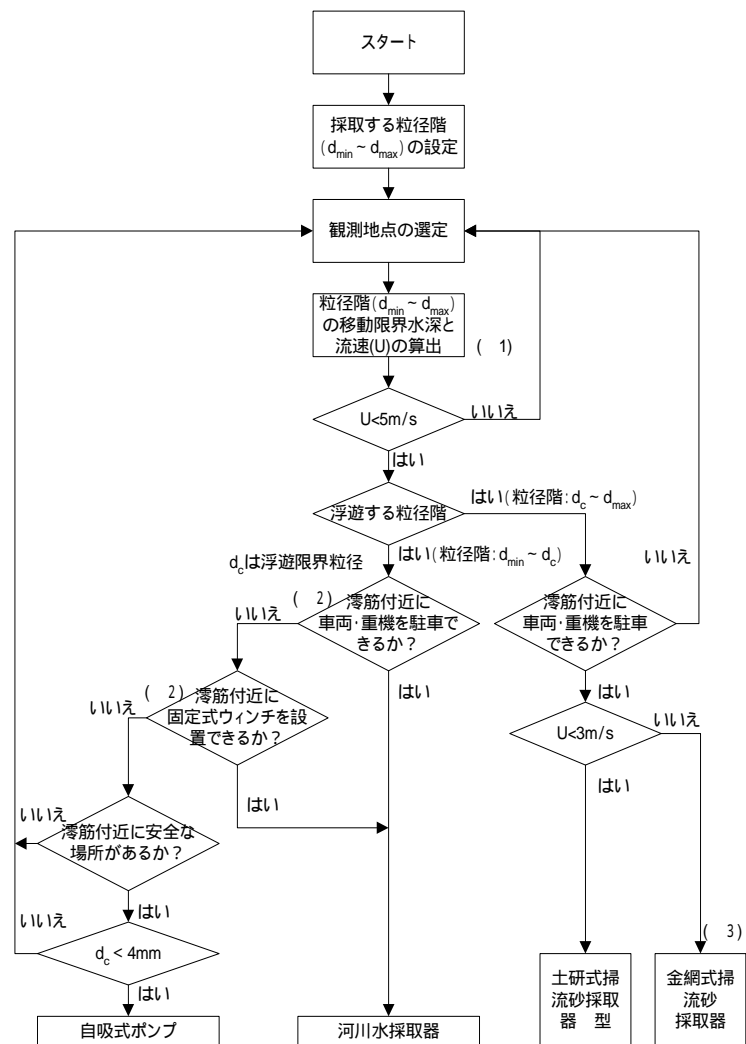


図-8 可搬式流砂量観測機器の選定フロー

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

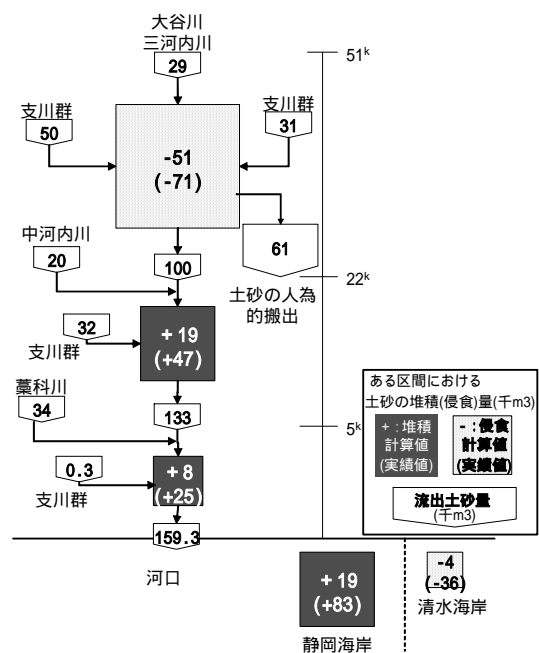


図 - 9 土砂收支図

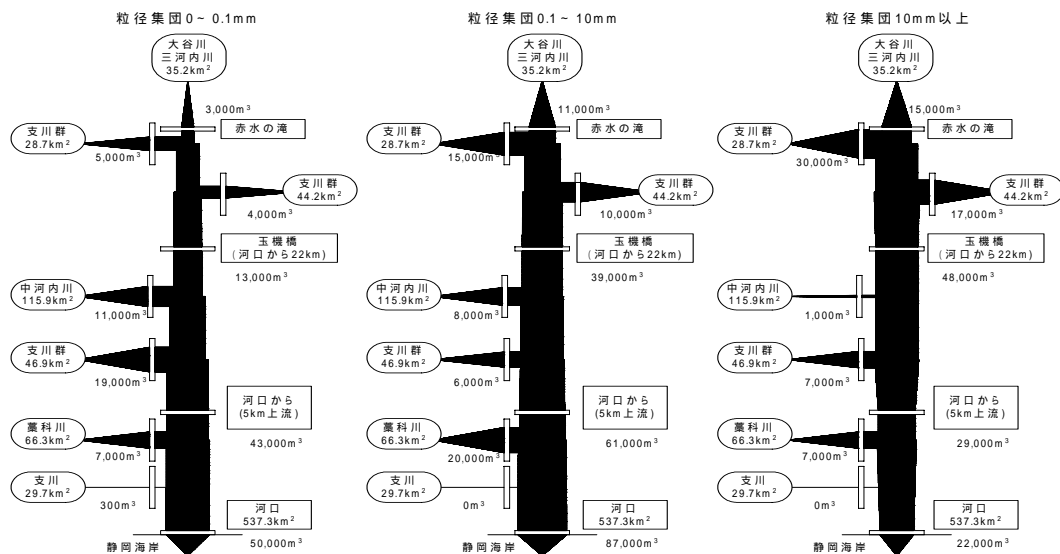


図 - 10 安倍川流砂系土砂動態マップ (S57年~H13年の20年間の平均値)

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⁶⁾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 m³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⁴⁾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

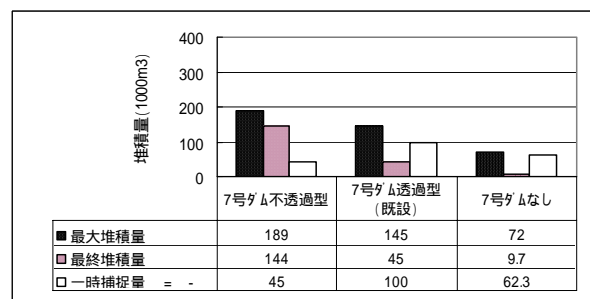


図 - 11 祖母谷7号砂防えん堤地点上流の堆積量

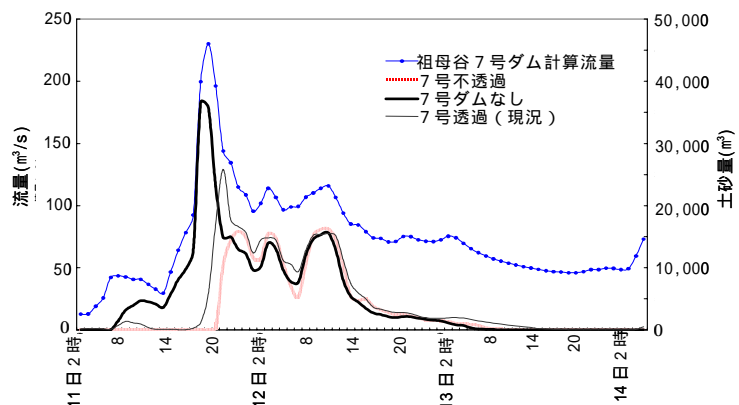


図 - 12 祖母谷 7 号砂防えん堤地点流出土砂量変化

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⁷⁾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

河床変動の特性把握と予測に関する研究

河川局 治水課
国土技術政策総合研究所 河川研究室
各地方整備局等 河川計画課

1. 研究の目的

「河床変動の特性把握と予測に関する研究」は昨年度に始まり、今年度は中間年にあたる。平成11年から平成13年の国土技術研究会では、全国の21河川を対象に流砂量・河川地形変化のモニタリング及び水系土砂動態マップの作成を実施し、粒径集団別土砂動態の概念を現場に定着させるという点で一定の成果を得た。本研究では、その研究成果を河道管理に活かすために土砂動態変化と河床変動特性の関係解明を行う。また、平成3年から4年に行われた、「河道特性に関する研究 - その3 - ~河床変動特性と河道計画に関する研究~」における河床変動についての分類、課題の抽出および予測手法の検討結果に基づき、河床変動の特性把握と予測手法の確立を目指す。特に上記研究では洪水時の河床変動について、実際に洪水時の河床変動を測定した事例は極めて少ないと述べるにとどまっていることから、洪水時の河床変動モニタリングについて充実を図る。

本研究では、河床変動計算についてはあくまでも上記検討によって明らかになった河床変動特性を表現するツールとして用いることとしているが、近年、急流部や横断工作物周辺の常射流混合流れの計算が可能な方法や、二次元計算の精度の向上等が学会等で発表されていることから、可能な限りこれらの計算手法も取り入れつつ検討を行う。

2. 研究の概要

2.1 本研究で対象とするテーマと河川

本研究で対象とするテーマおよび調査対象河川を表-2.1.1および表-2.1.2に示す。

本研究では検討内容を4つのグループ、10のテーマに分けて研究を進めている。

「土砂動態の変化と河床変動特性の関係解明」グループでは、横断構造物・河道掘削等による土砂動態の変化が河床変動特性に及ぼす影響について、平成11年度から平成13年度の国土技術研究会で構築した土砂動態モニタリング体制を活用しつつ検討を進める。「河床変動の特性把握と予測手法の確立」グループでは、測定事例の少ない洪水時の河床変動モニタリングを中心に、洪水分派点や干潟・ワンドの河床変動特性についても調べる。「河床変動計算」グループでは、河床変動計算手法の向上を図るほか、計算における上流からの給砂量を土砂動態モニタリングにおける実測値を踏まえて見直し、計算精度向上を図る。また、詳細な二次元河床変動計算に必要な河床データの取得技術についても調査を行う。「河床変動モニタリング」グループでは、新たな手法も含めた各種モニタリング手法を用いた観測を実施し、各種モニタリング

手法の特性把握とノウハウの蓄積を図る。

今年度は雨竜川、富士川、安倍川で出水中の河床変動が観測されたほか、淀川では細粒砂による河床変動をモニタリングするための取り組みが進められている。那賀川では河床変動計算に必要となる地形データの取得をレーザープロファイラーによって実施している。これらの河川における研究成果については次項以降で述べるものとする。その他の河川では、洪水が観測されていない、またはモニタリング機器の設置が済んでいない等の理由で成果が得られていないため、今後とも観測体制を強化するとともに、データの整理・分析を進める必要がある。

表-2.1.1 研究対象テーマ

テーマ		内容
土砂動態の変化と河床変動特性の関係解明	横断構造物が河床変動におよぼす影響の解明	・横断構造物(ダム・堰・床止め)による水理条件・流砂量の変化が河床変動におよぼす影響の解明 ・構造物直下における河床変動特性の把握 ・河床変動の伝播特性の把握
	土砂動態の変化が河床変動特性におよぼす影響の解明	・上流のダム・砂防ダム等による土砂動態の変化が河床変動特性におよぼす影響の解明 ・ダム・砂防ダムからの土砂流出特性の把握 ・河床変動の伝播特性の把握
	河道掘削が河床変動におよぼす影響の解明	・河道掘削が河床変動(河床高、川幅等)におよぼす影響の解明 ・河道掘削が下流の土砂動態におよぼす影響の解明
河床変動の特性把握と予測手法の確立	洪水分派点の河床変動特性把握と予測	・河床変動に伴う分派率の把握と予測
	局所洗掘などの河床変動特性把握と予測	・最大洗掘深の把握と予測 ・洗掘および埋め戻しメカニズムの解明 ・複断面河道における洗掘特性の把握
	砂州移動に伴う側方浸食・河床変動特性把握と予測	・砂州の特性把握と予測 ・砂州移動の特性把握と予測 ・側方浸食メカニズムの解明
	干潟・ワンドの河床変動特性把握と予測	・細粒土砂による河床変動特性の把握と予測 ・河口域における河床変動特性の把握と予測
河床変動計算	一次元河床変動計算技術の向上	・土砂動態モニタリングの改良による給砂量の精度向上 ・流砂量式の見直し ・水理量の見直し ・河床変動計算の改良
	二次元河床変動計算技術の向上	・計算に必要なデータ取得技術の向上 ・河床変動計算の改良
河床変動モニタリング	河床変動モニタリング技術の向上	

表-2.1.2 直技対象河川

地方整備局	直技対象河川
北海道	雨竜川、沙流川
東北	阿武隈川、鳴瀬川
関東	利根川、富士川
北陸	姫川、黒部川
中部	安倍川、木曽川
近畿	淀川、木津川
中国	斐伊川、天神川
四国	那賀川、重信川
九州	川内川

2.2 全体スケジュール

研究のスケジュールを表-2.2.1に示す。研究は平成14年度から16年度まで3年間にわたって行う予定であり、平成15年度は河床変動モニタリングによる河床変動特性把握を図りつつ、河床変動予測計算についても別途進めていく予定である。

表-2.2.1 全体スケジュール

調査項目	H14年度	H15年度	H16年度
検討対象河川の選定	←→		
各河川の河道特性と流域特性の整理	←→		
研究計画の立案	←→		
既存の河床変動モニタリング結果の分析	←→	←→	
既往の河床変動予測の分析	←→	←→	
河床変動モニタリング		←→	←→
河床変動特性の把握		←→	←→
河床変動予測		←→	←→
研究成果とりまとめ			←→

3. 調査対象河川の研究概要

3.1 石狩川水系雨竜川

3.1.1 流域概要

雨竜川は1級河川石狩川第2の支川で幹川流路延長177km、流域面積1,700km²である。雨竜川下流には内水外水氾濫対策として水位低減機能をもつ捷水路が建設されている。当捷水路では旧河道分流部を締切らず水辺空間創出の場としての機能を持たせている。

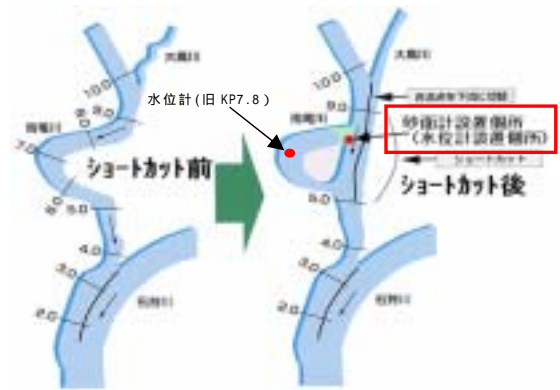


図-3.1.1 雨竜川下流部改修状

3.1.2 河床変動に関する課題

当捷水路の分流箇所について河積拡大による掃流力低下が河道へもたらす影響（流入口閉塞など）が予想される。分流部の継続的なモニタリングを行い、今後の河川整備の基礎データとする。

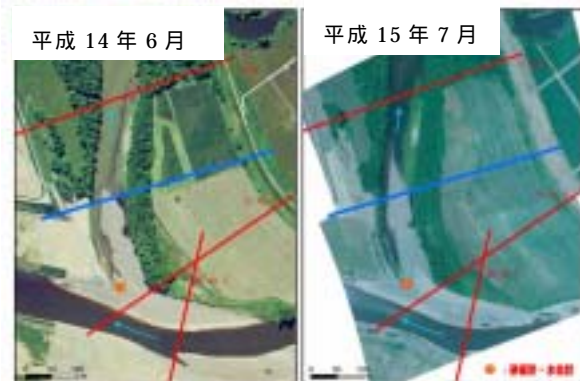


写真-3.1.1 分流地点の変遷

3.1.3 モニタリング状況

平成14年6月及び平成15年7月の分流地点付近の様子を写真-3.1.1に示す。また図中の青線で示される地点の横断図

を図-3.1.2に、砂面計による測定結果を図-3.1.3に示す。旧川部の砂州中央部で堆積傾向がみられる。平成14年4月の融雪出水により河床高が80cm程度上昇し、平成15年4月からの融雪出水により更に90cm程度上昇した。水位が31.5m程度を超える洪水が継続すると、流送されてきた土砂が堆積する傾向がある。このような洪水の発生により、分流地点を閉塞している砂州の高さが上昇している様子が砂面計データからも読みとれる。

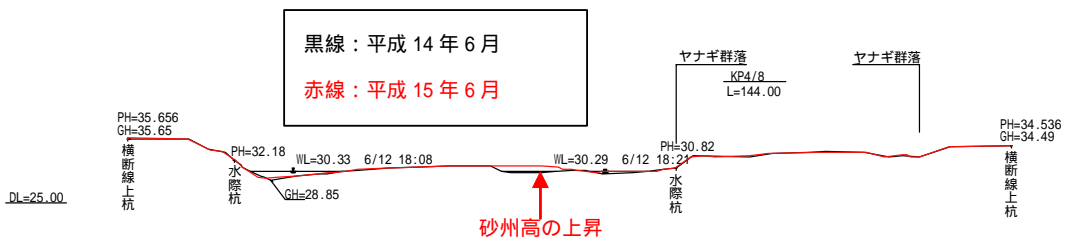


図-3.1.2 分流地点における砂州の発達

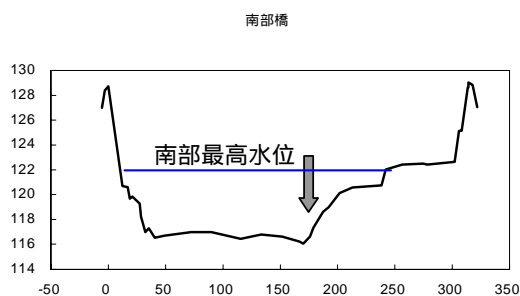
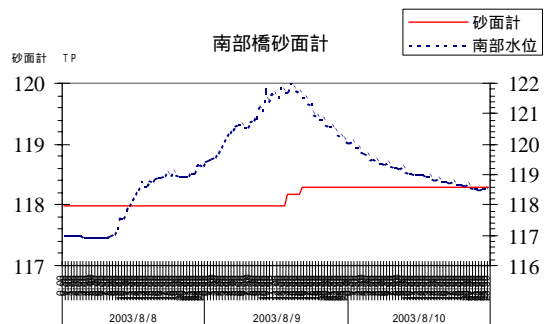
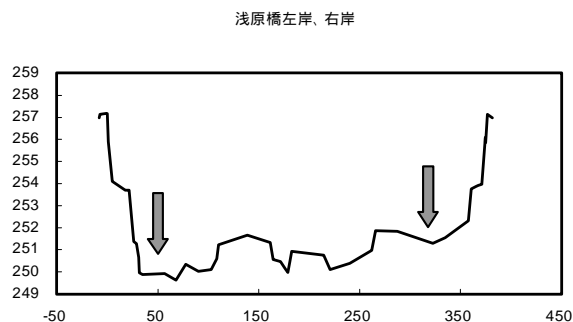
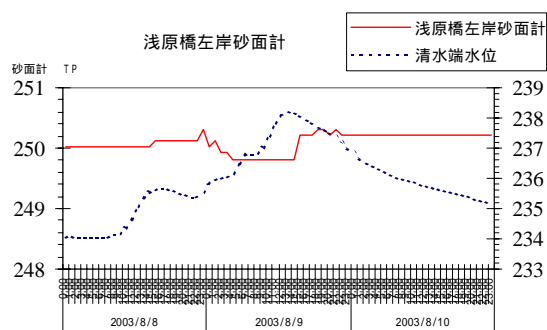


図 - 3.2.2 砂面計による河床変動状況

3.2.4 今後の課題

既往検討では富士川水系の土砂動態に対して概ね評価できると考えられる1次元の河床変動モデルが構築されている。今後は、モニタリング調査による河床変動状況の解明が進む過程において、モデルの再評価を行う予定である。

面的な河床変動特性の把握が望ましい釜無川中流部（68.2k～76.5k）において、二次元河床変動モデルを構築した。しかし、これまで面的な再現性を確認するには十分な資料を得られなかった。今後、台風10号出水の再現をはじめモニタリングを継続していくことにより、モデルの精度向上を図りたい。

3.3 安倍川

3.3.1 流域の概要

安倍川は静岡県静岡市梅ヶ島の大谷嶺に源を発し、駿河湾に流入する流域面積567km²、流路延長51kmの我が国屈指の急流河川である。

3.3.2 河床変動に関する課題

上流域から流出する土砂や流木を多量に含んだ洪水による破堤を防ぐため、これまで築堤・護岸・水制等の対策を実施してきたが、出水中の河床の状況がいまだはっきり解明されていない。そこで、安倍川の河道計画、河川維持・管理のため、出水時の河床変動状況を明らかにし、土砂移動の開始条件や河床形態など、河床変動のメカニズムを解



図 - 3.3.1 安倍川流域図

明することが求められている。

3.3.3 モニタリング状況

安倍川では平成8年7月より、砂面計を河口から14.25km付近に2基(3.6m砂面計各1基)、17.25km付近に4基(3m砂面計1基・6m砂面計3基)と、平成15年4月より4.07km付近に4基(3m1基、6m3基)を設置して河床変動観測を実施している。

平成15年8月台風10号の出水による河床変動観測結果を図-3.3.2に示す。手越では8日12時前の水位上昇に伴い河床変動が始まり、9日の水位ピーク後に左岸の洗掘は水位の低下とともに埋め戻された。右岸は出水ピークまでに1.5m程洗掘され澁筋となったために、低下した河床高が維持されたままとっている。

以上の結果から、澁筋でない左岸では増水時に河床高が低下し、その後の減水時には掃流力の低下により局所洗掘が埋め戻されている。観測により中規模出水においても、中規模河床形態の波高に相当する2m規模の河床変動が生じるとともに、小規模河床波が形成されていることが確認された。河床変動を生じる限界の水深は、0.5m～1.0m程度であること等が確認された。

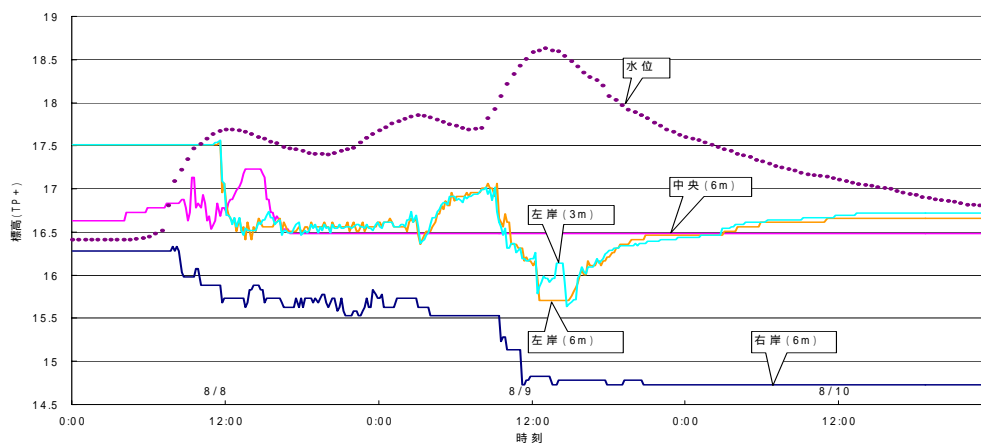


図 - 3.3.2 手越地点 (4.0km) 河床高・水位変動観測結果 (H15.8 出水)

3.3.4 今後の課題

局所洗掘の発生要因としては、砂州(中規模河床形態)の形成、小規模河床形態の発達、河道の平面形状が考えられる。砂面計のデータをもとに洪水中の河床変動状況を把握するとともに、局所洗掘と河床形態の変化の関係について、密な測量を洪水前後に実施することによって、砂州の形状及び移動状況を計測する予定である。また、左右岸及び河道中央の水位データより、河床形態の変化と水位偏差の関係を定性的に把握する。

今後は 砂面計 河道縦横断測量 航空レーザー計測 水位観測等によるデータの蓄積をし、大きな洗掘が発生するタイミング、水理条件及び河床形態との関係について明らかにしていきたいと考えている。

3.4 淀川

3.4.1 流域の概要

淀川は大阪・京都府境で、宇治川、木津川、桂川の三川が流入して大阪湾へ注ぐ、流域面積 8,240 km²、幹線流路延長 75 kmの一級河川である。淀川大堰下流は汽水域であり干潟が形成されている。また堰上流においては両岸に設けられた水制に土砂が堆積しワンド群が形成されている。一時期、地盤沈下や河川改修により干潟やワンドの減少がみられたが、現在は保全・再生事業が実施されている。

3.4.2 河床変動に関する課題

淀川大堰下流部の河床勾配は緩やかであり河床材料には微細土砂が多く含まれている。現在までの河口域の河床変動モデルでは、微細土砂の挙動（フロック化に伴う沈降速度の変化や底質の侵食抵抗の増加等）について十分な検討がなされていない。また微細土砂を含めた河口の土砂通過量の観測も行われていないため、全体の土砂収支については信頼できる精度に達していない。淀川河口から三川合流点までの微細土砂の通過土砂量および堆積土砂量について正確なデータを得ることにより微細土砂の挙動の把握と土砂収支の精度向上を目指すものである。

3.4.3 モニタリング状況

【セディメントトラップによる堆積土砂量調査】

セディメントトラップにより河口から三川合流点までの各水域（汽水域、湛水域）の堆積土砂量を把握する。調査地点は浅瀬もしくは干潟等の浅場を除く低水路内 12 地点とする。調査項目は土砂堆積層厚、乾燥重量、粒度分析、杭の周辺の地盤高、強熱減量とする。調査に当たっては、ダイバーにより河床に設置した採取ピンの堆積物層厚を水中で計測した後、採取ピンを交換する。

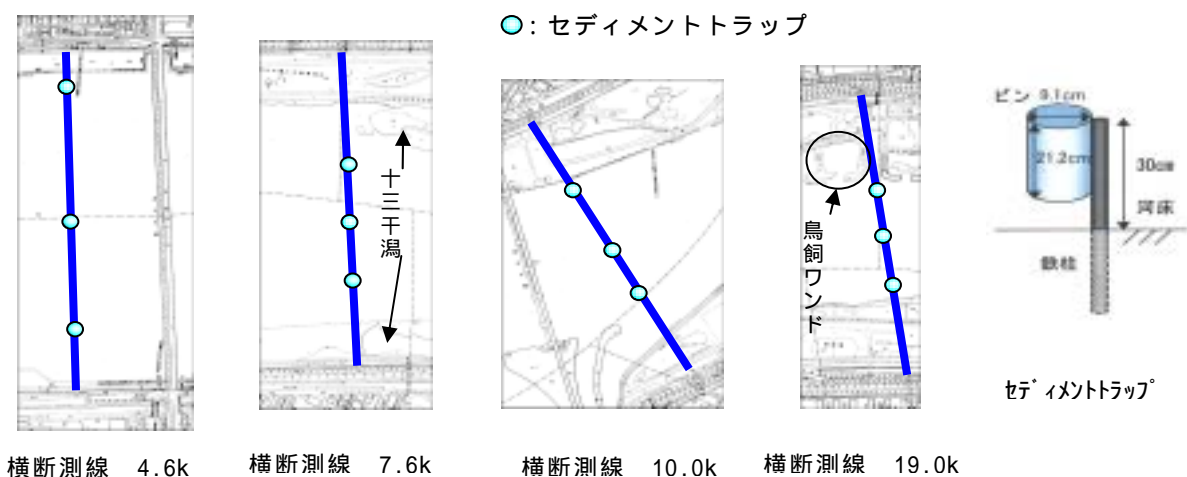


図-3.4.1 セディメントトラップ設置地点

【干潟およびワンドに関する微細土砂モニタリング調査】

干潟およびワンドについて平面測量、洪水時の採水およびビデオ撮影等を行い、微細土砂の挙動を把握するための資料とする。調査地点は、鳥飼ワンド群、樟葉ワンドお

よび十三干潟とする。

その他測量、河床材料調査、植生調査、採水、洪水流ビデオ撮影（ワンド内）元に PIV（粒子画像流速測定法）による平面流速分布結果をとりまとめ、各水域の堆積土砂量を算定しセディメントトラップによる堆積土砂量との比較および精度検証を行う予定である。

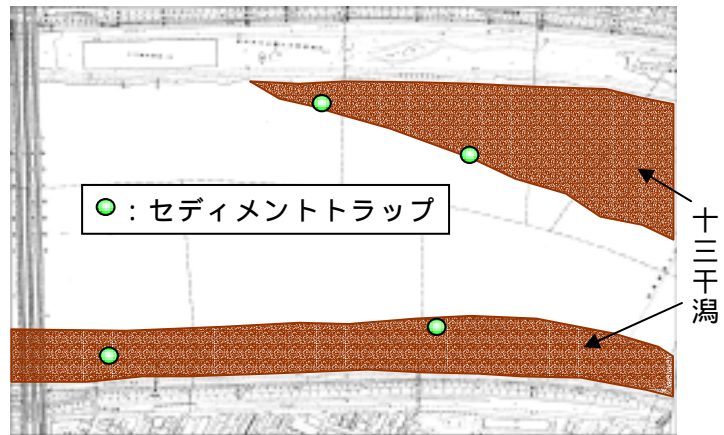


図 - 3.4.2 調査位置図

3.4.4 今後の課題

微細土砂の挙動と土砂収支については解明されていない点が多く、従来の河口域の河床変動計算で精度よく解析することは困難である。今後は学識経験者の助言を受けながら、微細土砂の河床変動機構を考慮した河床変動モデルの構築を行う。

また、十三干潟、鳥飼ワンド群、樟葉ワンドの土砂動態について今回開発したモデルを用いて検討し、ワンドの保全方法および干潟の維持と造成方法を検討するための知見を得る。計算範囲はワンドおよび干潟周辺とし、境界条件は現況再現計算結果を用いる。また、PIVにより求めたワンドの表面流速との検証も行う。

3.5 那賀川

3.5.1 流域の概要

那賀川は、徳島県那賀郡の剣山に源を発し徳島・高知県境に沿って流下し、紀伊水道へと注ぐ幹川流路延長 125 km、流域面積 874k m²の 1 級河川である。那賀川流域は台風常襲地帯に位置し、全国でも有数の多雨地帯である。

3.5.2 河床変動に関する課題

那賀川の直轄区間は、河口部を除くほぼ全川がセグメント 2 - 1 の急流河川であり、交互砂州により激しい局所洗掘が発生している。北岸堰下流の直線河道部では交互砂州により流路が変化し、それに伴って水衝部も変化することから、堤防等の河川構造物の維持管理等が非常に難しい河川である。

また那賀川地区国営総合農地防災事業により、大西堰、南岸堰、北岸堰の撤去及び南岸堰上流に可動堰の建設を行う計画があり、堰上流に堆積している土砂が下流へ流れ土砂環境が大きく変化することが予想されることから、随時平面的な河床高を計測する必要がある。

3.5.3 モニタリング状況

平成 13 年に二次元河床変動計算に用いる平面的な河床高等の把握のためにレーザープロファイラーにより下流域全体の地盤高の計測を実施した。広い範囲を短期間で精度よく計測できることから、レーザープロファイラーを手法として選定した。

レーザー計測による標高値の精度を確認した結果、現地実測との較差の標準偏差は、



図 3.5.1 標高値のカラー陰影図（那賀川下流域）

10 cm以内であり良好な結果であると判断した。図-3.5.1 に示されるようにレーザープロファイラーにより計測した標高値は、概ね2m 四方に1点と高密度で分布しているため河床の起伏を細密に再現できる。レーザープロファイラーで計測できない水中部の区間は現地測量を実施した。

3.5.4 今後の課題

今後も河床変動モニタリングを継続し、洪水時の最大洗掘深と洪水後の河床高との関係、河床変動と粒径分布の関係、洪水後の交互砂州の移動状況等の河床変動特性を把握する。また、既往の研究論文等から平面二次元河床変動計算モデルの特徴を整理するとともに、北岸堰下流部の洪水時の河床変動を再現できる河床変動モデルを作成し、それを用いて、北岸堰下流部の河床変動計算を実施し、流量規模の違いによる河床変動の変化について検討を行う。

4. 今年度までの成果

4.1 砂面計による河床変動の特性把握

4.1.1 洪水時変動パターン

構造物設計や流量観測に関わる洪水中の局所洗掘の洪水時変動パターンは、既往調査によると 移動性 発達・減衰 発生・消滅の3種類があると考えられている。

は洗掘箇所が洪水時に移動している状況であり、は平水時にも確認される洗掘箇所が洪水中に更に深掘れした後、埋め戻されている状況であり、

は平水時に確認されていない深掘れが洪水中のみに発生する状況である。

富士川および安倍川の砂面計データを例に挙げると（図 - 3.2.2 及び図 - 3.3.2 参照） 富士川南部橋および安倍川手越（右岸）においては、富士川浅原橋（左岸）および安倍川手越（中

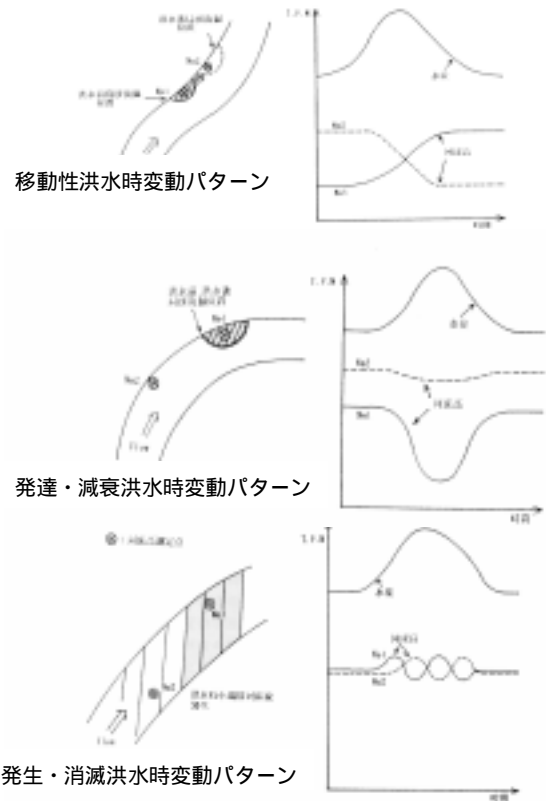


図-4.1.1 洪水変動パターン

央)においては のタイプの洗掘があったと推定される。

しかし、洪水変動タイプ分けを確実に行うためには砂面計を縦断的に並べて設置してモニタリングするとともに、土砂動態との縦断的な河床変動との関連性を見ながら判断する必要がある。

安倍川では3つのピークを持つハイドログラフの洪水が観測されたが、洗掘は主に1つ目と3つ目の水位上昇期に生じており、2つ目のピークでは1つ目よりやや水位が高いにもかかわらず、上昇期に洗掘がほとんど生じていないばかりか、減水期に埋め戻しが生じていることが分かる。

4.1.2 最大洗掘深の評価

既往の水理模型実験によって、洗掘深・水深比 (dZ/H_m) と低水路幅・水深比 (B/H_m) の関係が得られている。今回の砂面計による富士川(浅原橋)・安倍川(手越)のモニタリングによって得られた洗掘データを図 4.1.2 にプロットした結果、想定される洗掘深の範囲内にあることが確認された。

今回対象とした台風10号による出水により富士川では平均年最大流量の約4倍、安倍川においてはほぼ平均年最大流量程度の流量が生じ、安倍川では最大洗掘が生じる規模の出水であったと考えられる。しかし砂面計が設置されている以外の場所で最大洗掘が生じていた可能性が考えられ、洪水中の実際の最大洗掘深さは更に大きかったことが予想される。

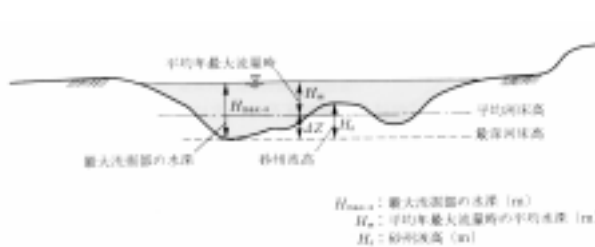


図-4.1.2 dZ/H_m と B/H_m の関係図
(ただし *は 0.03~0.4 の範囲)

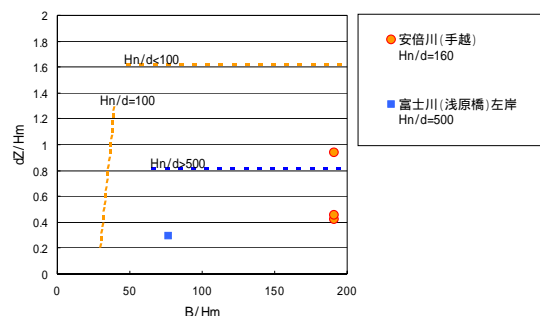


図-4.1.3 実河川の最大洗掘説明図

4.2 河床変動計算で使用する地形データの取得手法について

近年、二次元計算の精度の向上等が学会等で発表されていることなどから二次元計算を実施する機会が増えており、それに伴い、詳細な地形データを取得する必要性も増加している。ここでは、空中レーザー計測をはじめとする地形データの取得方法について述べる。

4.2.1 空中レーザー計測

空中レーザー計測は航空機から地上に向けレーザーを照射し、地上から反射してくるレーザーの角度と時間差を解析することで、地表の位置・高さを測る。レーザーのスキャニング角度は通常25~30度であり、スキャニング幅は300m~2,500mである。また、機体の傾きには制限があるので川に沿って細かく蛇行して飛ぶことはできない。

空中レーザー計測による垂直精度は±15cm であるとされており、3.5 の那賀川の事例では±10cm 以内であった。従来から地表の形状と樹木との区別が課題とされていたが、最近では最初に反射したデータ(First Pulse)と樹間を通過したデータ(Last Pulse)の同時取得により、密生した樹林帯を除けば地表データと樹木データの区別が可能である。水面はレーザーを吸収するので基本的に水面下の計測はできない。

以上を勘案すると、空中レーザー計測により河床の地形データを取得するのに適しているのは、樹木が繁茂せず、水面の占める面積が少なく、天候のいい時期であるといえる。

4.2.2 その他の計測法

空中レーザー計測では水面下を計測することができないため、水面下については従来どおり音響測深による測量が必要となる。海域やダム貯水池ではマルチナロービームによる計測が実施されているが最低でも2~3m の水深が必要であり、なおかつその場合でもビームの照射範囲が狭すぎるため、日本の河川には適していない。水深の浅い場所のデータを面的に取得するには可搬型のGPS計測装置が適している。これは、河岸等に設置した基準局と河道内の特定の地点に対応する移動局が衛星からの電波を受信する時間差をもとにその位置関係を算出するものである。移動局はバックパックとアンテナから成り、一人で持ち運びが可能である。なお、拡散・吸収の少ないグリーンビームを用いた航空機搭載型測深システムが日本にも今年導入され、来年までに試験成果がとりまとめられる予定である。

漂砂系における流砂量モニタリングに関する調査

河川局砂防部保全課海岸室
国土技術政策総合研究所河川研究部海岸研究室
東北地方整備局河川部河川計画課
北陸地方整備局河川部河川計画課
中部地方整備局河川部河川計画課
中国地方整備局河川部河川計画課
四国地方整備局河川部河川計画課
九州地方整備局河川部河川計画課

1 はじめに

日本は、環太平洋造山帯に位置しているため地質的に脆弱であること、およびアジアモンスーン地域に位置し降雨量が多いことから、山地での土砂生産が活発である。一方、高度成長期における建設骨材の需要に答えるため河川砂利の採取がおこなわれ、水資源の確保と治水対策のために多数のダムが建設された。また、沿岸域では大規模な防波堤を有する港湾や漁港開発などがおこなわれた。この結果、沿岸漂砂の均衡が崩れ、著しい侵食により年間 160ha の国土が失われている。

このように侵食が進んだ海岸では浜崖が形成され、海岸線沿いに家屋などが近接する場合には、それが流出される危険性が生じた。また、海食崖の後退もすすみ国土の消失となった。このため、局所的な取り組みとして、護岸や堤防の整備、消波堤や離岸堤の設置などがおこなわれてきたが、結果的に海岸環境の悪化を招くことになった。

以上のような背景から、1998年7月に河川審議会総合土砂管理小委員会から「流砂系の総合的な土砂管理に向けて」の報告が出され、水系スケールの総合的な土砂管理に向けた取り組みが本格的に始められることになった。また、1999年5月28日に公布された改正「海岸法」では、防護・環境・利用の調和した海岸保全を推進することが理念とされた(図-1)。

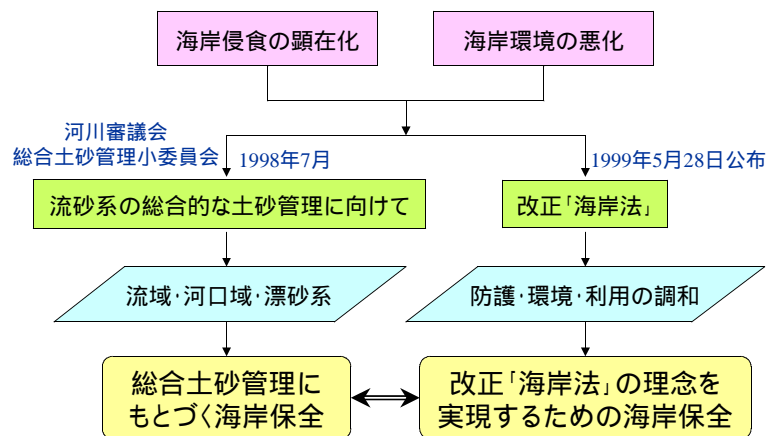


図-1 本調査の背景

ところで、磯部(1998)は、流砂系における総合的土砂管理計画においてはまず、下流側、すなわち海岸での必要計画流砂量(沿岸漂砂量)を決めるべきであると指摘している。また、磯部(1999)は、改正海岸法の理念の実現に向けての提言のなかで、河口への供給

土砂の全量が沿岸漂砂になっている保証はなく、河口部から深海部に直接流出している可能性が考えられるため、河川を通じた河口部への供給土砂量と、沿岸漂砂量を定量的に比較してみる必要があるとしている。

そこで、本調査では、海岸（漂砂系）における必要計画流砂量である沿岸漂砂量に関する推定手法（深浅測量結果の解析、沿岸漂砂量公式および漂砂量係数の評価）と、河口域における土砂動態の解明を目的とする。そして、「流砂系の総合的な土砂管理」にもとづいた、改正「海岸法」の理念の実現に向けた海岸保全を推進するために必要とされる、「漂砂系における流砂量モニタリング手法」の確立を目指す。

2 調査課題

流砂系は、陸域における土砂の運動領域である流域と、沿岸域における土砂の運動領域である漂砂系、およびそれらの運動領域の接合域である河口域からなると言える。この流砂系のイメージを図-2に示すとともに、磯部（1998）による流砂系における総合的な土砂管理の考え方について述べる。

まず、「流砂系における土砂管理は、山地から海岸までの全領域を含む、総合的で、計画的なもの

でなければならない。その場合にまず必要となるのが、水流の場合の計画流量に相当する計画流砂量であろう。当然、計画流砂量は土砂収支をバランスさせるものでなくてはならない。」と指摘している。つまり、流域と漂砂系、およびそれらのインターフェイスである河口域における、土砂動態と土砂収支の把握の必要性を説いている。

次に、「計画流量は、降水量から始まって、上流から下流に向かって決めていくことになる。しかし、計画流砂量では、土砂生産も制御対象であり、また土砂が途中で堆積・滞留し得ることを考えると、必ずしも上流側から決めていくことが得策とは言えない。土砂管理計画においてはまず、下流側、すなわち海岸での必要計画流砂量（沿岸漂砂量）を決めるべきである。」と述べている。このことは、流砂系における土砂管理計画は、海岸における沿岸漂砂量の把握から始まること（図-2の印）を示唆しており、海岸行政および海岸における現象の調査・研究に携わる技術者の責務が大きいと言える。

そして、「すなわち、目標とする海岸地形が決まれば、海岸では波浪などの外力との関係で沿岸漂砂量が決まる。これが海岸地形を維持するための、必要計画流砂量である。これが決まれば、その供給源として、河口や海崖からの供給量が決められる。河口での流砂量が決まれば、それを維持するための河道計画がたてられる。その際に上流からの土砂供給が過大である場合には、土砂を資源として他に転用することができる。また上流からの

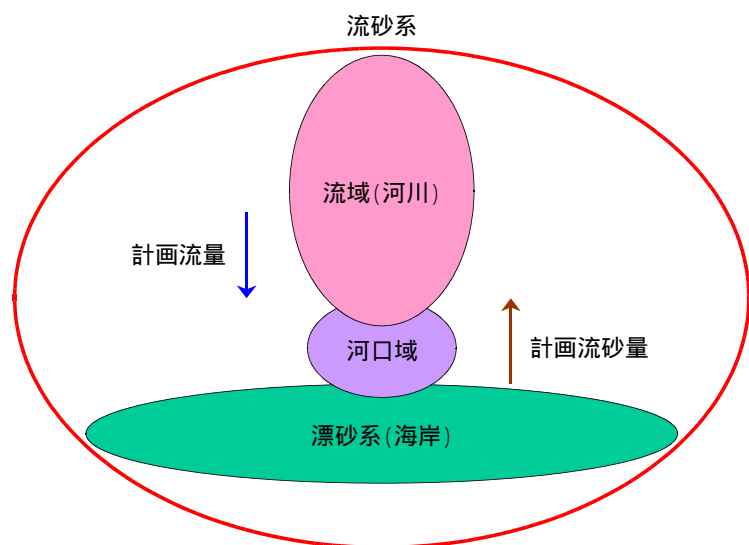


図-2 流砂系のイメージ

土砂供給が不足する場合には、ダムに土砂の通過機能を持たせることなどにより、中・下流側への土砂供給を増すのが解決策の一つとなる。」としている。これは、海岸管理者が過去から現在に至る海岸地形の変遷を十分に把握し、今後の海浜変形の傾向を予測した上で、保全すべき海岸地形の将来像を描いていることが、流砂系における総合的土砂管理では重要であることを示している。

一方、磯部（1999）は、改正海岸法の理念の実現に向けての提言のなかで、河口への供給土砂の全量が沿岸漂砂になっている保証はなく、河口部から深海部に直接流出している可能性が考えられるとも指摘している。すなわち、河口域における土砂動態は、河川の特性と流入する漂砂系の地形学的特性によって各々異なるため、海岸における沿岸漂砂量をそのまま河川からの必要最小限の供給土砂量とすることはできないと言える。

しかし、河口域における土砂動態と波浪による沿岸漂砂量との相互関係を明らかにした調査・研究は、ほとんどなされていないのが現状である。そこで、海岸（漂砂系）における必要計画流砂量である沿岸漂砂量の推定手法に関する検討、気象擾乱時（降雨出水時、高波浪作用時）および常時における河口域での土砂動態の解明、を本調査の課題とした。平成 15 年度は、各海岸における沿岸漂砂量に関する既存の資料の収集と、河口河川の河口域の変遷を示す空中写真の収集を行った。また、河口域において堆積物調査が行われた事例のとりまとめを行った。

3 各海岸における沿岸漂砂量に関する資料の収集

3.1 阿武隈川が流入する漂砂系

仙台湾南部海岸は、福島県常磐海岸および阿武隈川などの流入河川からの供給土砂により形成されてきた。一方、港湾・漁港等による沿岸漂砂の遮断やダム建設などによる漂砂源の減少によって、近年では海岸侵食が著しく、その侵食域は背後保安林まで達するものとなってきており、沿岸漂砂および流入土砂のバランスが崩れてきている状況にある。

ところで、仙台湾南部海岸の漂砂機構と侵食対策の検討結果によれば、仙台湾沿岸の地形、外力特性の把握、河川からの供給土砂量推定や漁港の浚渫などのデータを基に、沿岸域の土砂収支を検討した結果、福島県側からの漂砂の遮断と阿武隈川からの土砂供給量の激減が海岸侵食の主な要因であるとしている。

そして、阿武隈川の土砂供給は自然時に 6 万 m^3 /年、人工改変後は 2 万 m^3 /年と推定されており、漂砂系全域における土砂収支図も示されている。しかし、沿岸域の底質・地質の存在量・分布場所の把握精度、河川からの供給土砂量および海浜への寄与率についての精度、洪水などの不定期な供給土砂についての考慮、が課題としてあげられている。

3.2 姫川が流入する漂砂系

姫川は流域の大半を山地（流域の 99%）が占め、長野県白馬村南部に源を発し多くの支川を合流しつつ北上し、新潟県を経て日本海に注ぐ幹川延長 60km（長野県 35km、新潟県 25km）、流域面積 722 km^2 、平均河床勾配 1/80 の急流河川である。また、流域の中央には、糸魚川 - 静岡構造線（フォッサマグナの西縁）が貫通しているため、脆弱な地質で土砂災害が絶えない地域でもある。

過去の大規模出水では、局所洗掘による護岸基礎の破損、護岸破壊、根固め流出等の被害が発生するとともに、土砂堆積により河床上昇等が生じている。また、姫川河口付近の青海海岸等においては海岸侵食対策が実施されている。なお、姫川河口周辺の海岸の海浜変形は冬季風浪によるものが大きいと推定されている。しかし、沿岸漂砂の卓越方向は西向きであるという調査結果と、東向きの沿岸漂砂が卓越するという研究成果があり、沿岸漂砂の卓越方向と量を確定するには至っていない。また、姫川の流入する漂砂系全域における堆積物の調査も今後の課題としてあげられる。

3.3 大井川が流入する漂砂系

大井川が流入する漂砂系の南端には岩石海岸である御前崎が、そこから約 10km 北側の坂井地先付近でも岬状の地形が存在し、さらに北側では大井川扇状地を縁どる砂礫海岸をへて大崩海岸に至る。大井川からの供給土砂で形成されたのは、坂井地先付近の岩石海岸から大崩海岸までの領域であると考えられる。

坂井地先付近の岩石海岸から大崩海岸までの領域への波浪の入射方向は SE 方向であり、沿岸漂砂の卓越方向は大井川河口北側では北向き、南側では南向きとされている。このうちの大井川河口北側に位置する駿河海岸では、昭和 39 年直轄化以後、大井川からの流出土砂の減少や大井川港南防波堤築造等により海岸侵食が進んだ。このため、消波堤、離岸堤、突堤等の海岸保全施設を整備するとともに大規模なサンドバイパスを実施し汀線維持を図ってきた。

また、大井川河口域における左右岸への沿岸漂砂量の起因力となる、沿岸部における外力場の分布をエネルギー平衡方程式により算定し、各年代における沿岸漂砂量フラックスの経年変化状況を検討した。その結果によると、大井川河口域においては、左右岸方向の沿岸漂砂量フラックスの大きさから判断すると、右岸側に多く土砂が供給される傾向にあることが分かった。しかし、岸漂砂量を算定する場合の沿岸漂砂量係数と大井川河口域における堆積物の代表粒径との関係の把握は課題として残されている。

3.4 日野川が流入する漂砂系

日野川は、東側を大山のすそ野で、西側を岩石海岸である島根半島で区切られた弓ヶ浜に流入する。弓ヶ浜では美保湾の北東側が開けており、島根半島の影響で NNE 方向からの波浪が入射し、沿岸漂砂の卓越方向は西向きとされている。そして、弓ヶ浜には 3 つの浜堤があり、中海側から順に内浜、中浜、外浜と呼ばれ、とくに外浜の形成には日野川流域で行われた奈良時代以降の鉄穴流しによる廃土が寄与しているとされている。

しかし、鉄穴流しの衰退にともない、日野川河口域付近から海岸線の後退が始まり、現在の護岸が設置されるまでに約 300m の汀線の後退があったものと推定されている。この侵食を防ぐために昭和 13 年から対策事業に着手したがその効果は少なく侵食を止めることができず、昭和 35 年 4 月米子市皆生から西伯郡淀江町までの 6,580m を直轄工事区域とし、その後管理区域の追加および移管をへて、現在 10,620m において、離岸堤をはじめとした各種侵食対策工事を実施している。

皆生海岸では、漂砂の追跡調査や海象調査が始められ、近年においては、流域全体の土砂収支を把握するための調査検討が行われた。そして、平成 5 年からサンドリサイクルに

関する調査・実験も開始されている。しかし、皆生海岸においても沿岸漂砂量を算定する場合における、沿岸漂砂量係数と堆積物の代表粒径との関係は課題として残されている。

3.5 仁淀川が流入する漂砂系

仁淀川は桂浜と萩岬を境界とする漂砂系（高知海岸）に流入するが、この漂砂系では台風の進路によって海浜地形の変化パターンが異なるので、沿岸漂砂の卓越方向を一義的に決めることは難しい。

また、仁淀川が流入する高知海岸は、延長約 30km の豊かな砂浜の広がる白砂青松の海岸であったが、著しい海岸侵食によって美しい砂浜も消滅の脅威にさらされるようになったことから、平成 6 年度に長浜～新居工区を直轄工事区域に指定され海岸保全計画が検討された。それによると、沿岸漂砂の卓越方向は東向きであるが、その量は沿岸方向に一様ではないことが示された。なお、海岸における堆積物の粒径特性についても調査・分析が行われているが、沿岸漂砂係数との関係は明確にされていないのが現状である。

3.6 大淀川が流入する漂砂系

大淀川は日向灘沿岸のうち小丸川から青島までの砂質海岸に流入する。大淀川河口の北側に位置する宮崎港の波浪観測によれば ESE 方向の波浪の入射頻度が高く、北向きの沿岸漂砂がやや卓越するとされている。

この漂砂系のうち、大淀川河口周辺の海岸を宮崎海岸と称しており、北の住吉海岸から南の青島海岸までの延長約 20km の区間が含まれる。宮崎海岸では、過去から河口導流堤の延長や宮崎港整備に伴って数多くの調査がなされてきた。特に、宮崎港の建設後には北側海岸の汀線後退が生じたため、平成 7 年より蛍光砂を用いた漂砂移動調査などの海岸保全対策の検討が盛んに行われている。

その結果によると、海岸では北向きと南向きの沿岸漂砂が存在するが、輸送エネルギーから見ると北向き漂砂が卓越する。宮崎港北側の前浜の底質分布からは、宮崎港から石崎川までの約 8km 区間では常時波浪により南向きの漂砂が、石崎川以北では北向きの漂砂が卓越しているものと推定される。また、後浜の粒径分布からは高波浪時には北向き漂砂が卓越していると推定される。しかし、この海岸においても沿岸漂砂量を算定する場合における、沿岸漂砂量係数と堆積物の代表粒径との関係は課題として残されている。

3.7 まとめ

ここで報告した漂砂系においては、波浪観測や海浜変形特性および堆積物特性などの調査がかなり行われている。また、沿岸漂砂量の算定や土砂収支の検討もされている。しかし、河川から供給された土砂のうち、どの粒径ものが主に海岸の安定（形成）に寄与しているかについては明らかにされていない。さらに、流砂系における総合的土砂管理計画の必要計画流砂量を決める沿岸漂砂量と堆積物の代表粒径との関係（沿岸漂砂量公式と沿岸漂砂量係数の評価）が検討されていないのが課題として残されている。

4 各河川における河口域の変遷

ここでは、各河川の河口域の変遷を空中写真の比較で示す。写真-1 は姫川河口域の変遷を示したものであり、昭和 20 年代には全区間で砂浜が発達していることが読みとれる。

その後，昭和 30 ～ 40 年代にかけて侵食が進み，姫川河口砂州が後退していることから，姫川からの供給土砂が減少していると考えられる．姫川西側の海岸では，昭和 50 年代以降に離岸堤が設置され，離岸堤の東側から西側に向かって汀線の回復が進んでいるが，離岸堤群より西側（漂砂の下手側）の侵食が顕著になっている．姫川東側の海岸では，昭和 40 年代以降にはほとんど砂浜の存在しない状態が続いている．

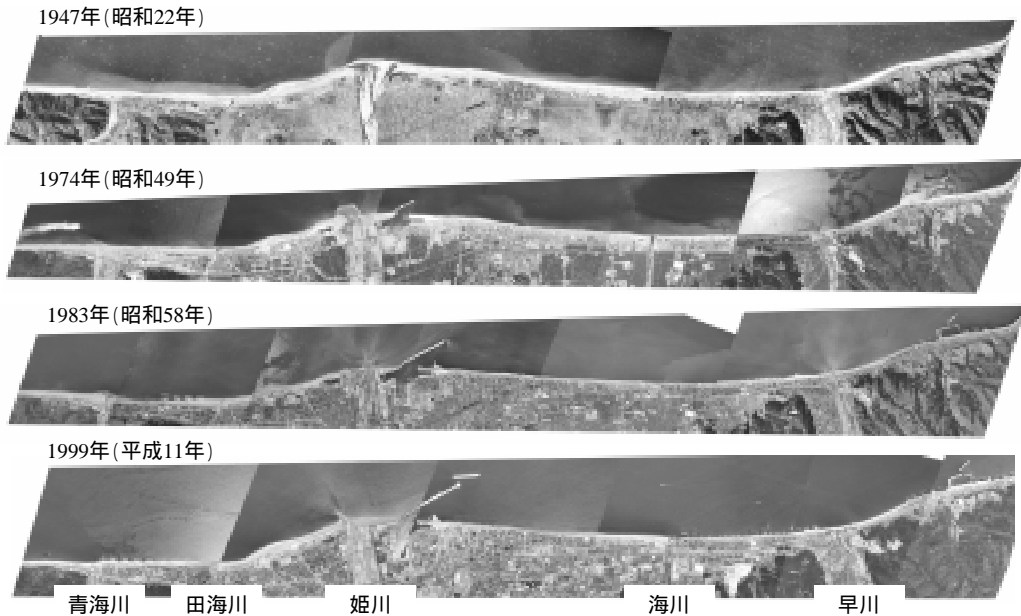


写真-1 姫川河口域の変遷

大井川河口域の変遷を写真-2 に示す．昭和 42 年以降大井川港の建設に伴い，徐々に河口砂州が後退し，南防波堤に砂が堆積している．昭和 59 年以降は河口部，汀線共に安定しており，河口部の開きは左岸から右岸に移動している．

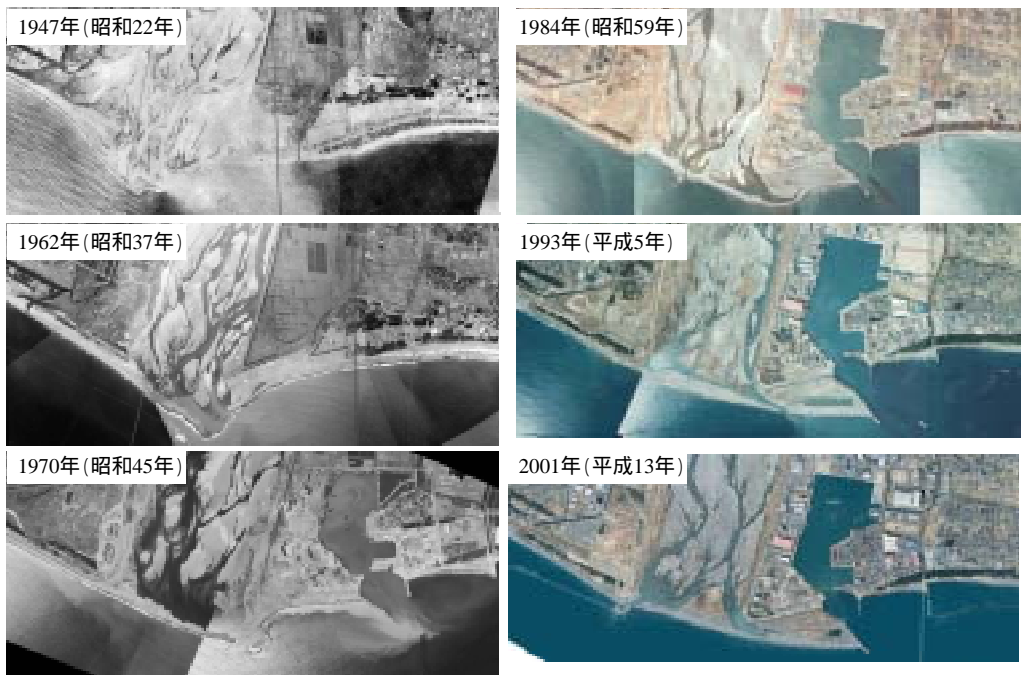


写真-2 大井川河口域の変遷

日野川河口域の変遷を写真-3 に示す．昭和 45 年には河口の沖合に河口テラスが形成されているような傾向があるが，昭和 54 年にはそれが消失して河口砂州が河道内へと移動した．その後は河口砂州の形状がやや変化したが，大きな変化は見られない．

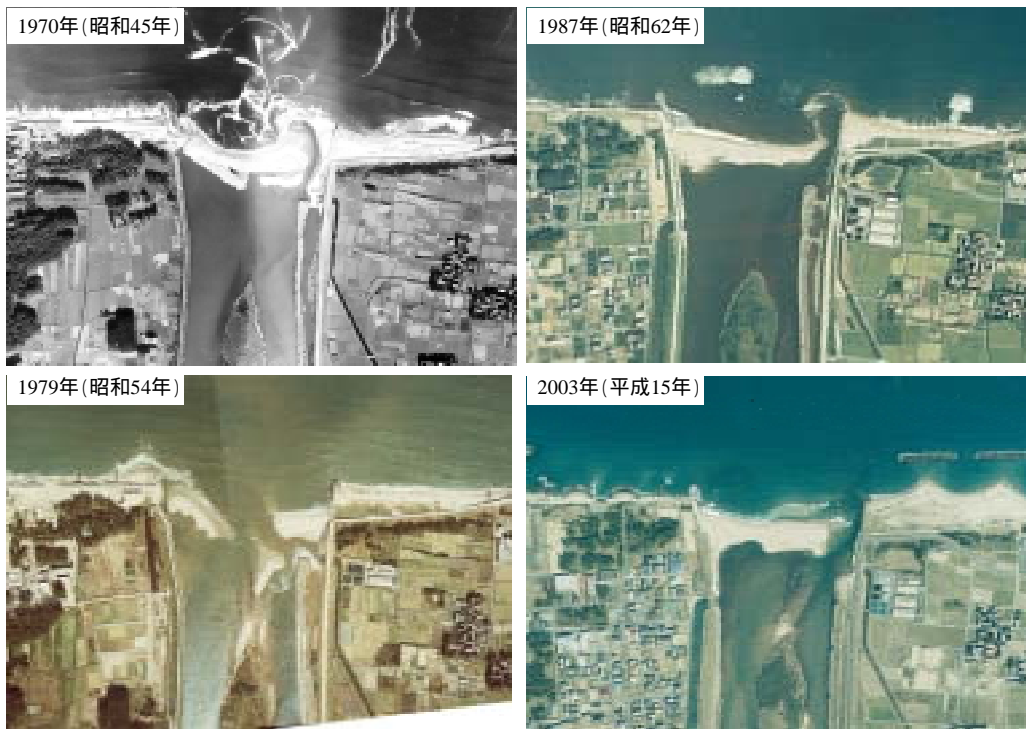


写真-3 日野川河口域の変遷

仁淀川河口域の変遷を写真-4 に示す．昭和 49 年までは河口砂州が沖合に突出していたが，昭和 55 年になると河口砂州が河道内へと移動した．そして河口砂州が岸側へと大きく湾曲した形状となり，その後は大きな変化は見られない．

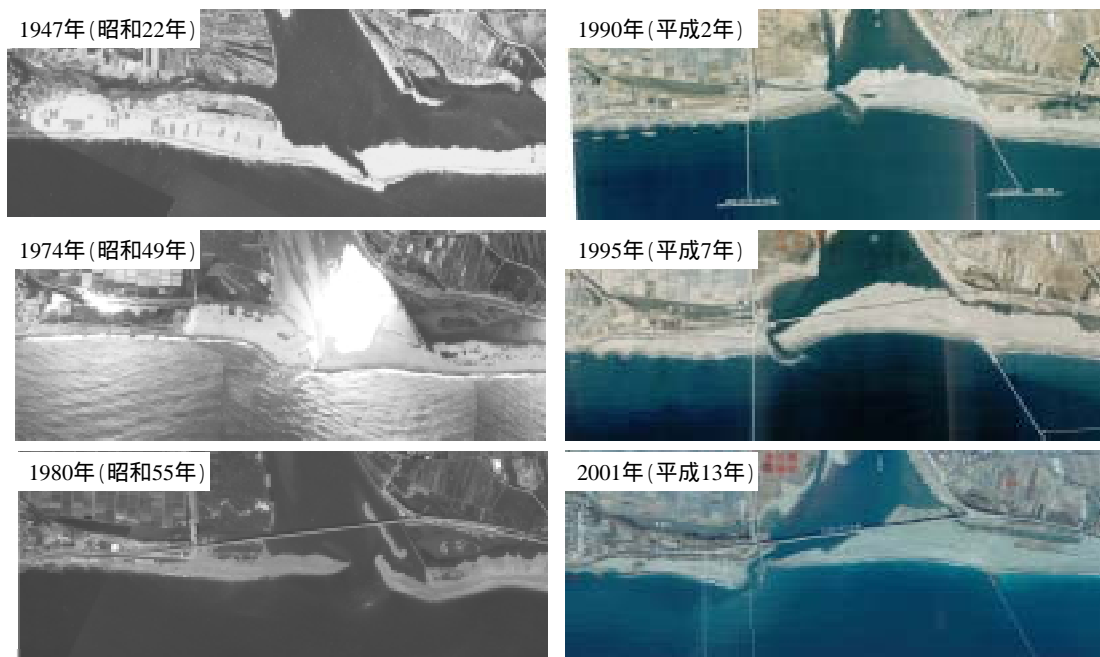


写真-4 仁淀川河口域の変遷

大淀川河口域の変遷を写真-5 に示す．昭和 37 年までは河口には構造物は建設されていなかったが，昭和 46 年には導流堤が建設され，その後は宮崎港と宮崎空港の建設が進み，大淀川河口域は大きく改変された．

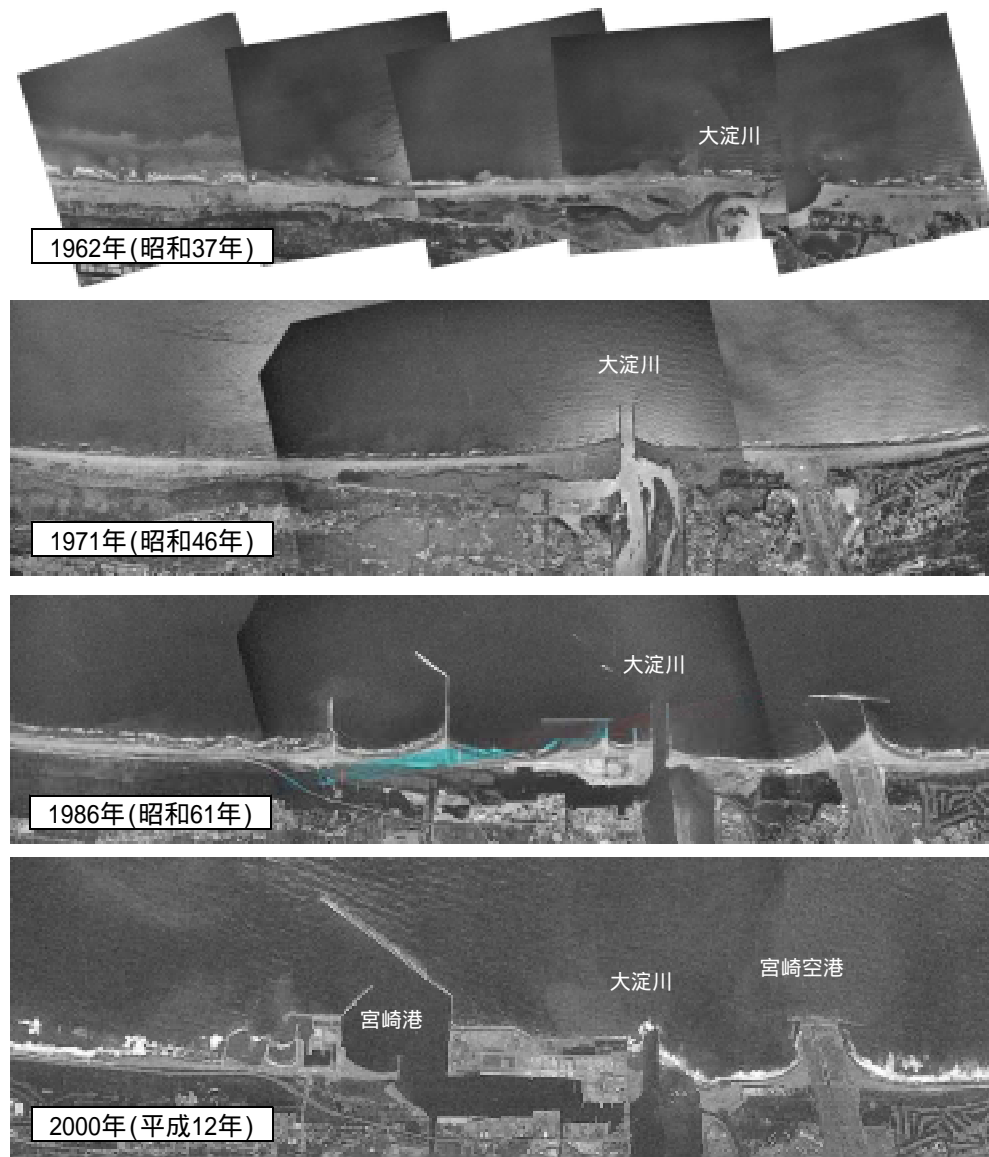


写真-5 大淀川河口域の変遷

以上のように各河川における河口域の変遷を比較すると，姫川と大井川では河口の右岸または左岸のどちらかに大規模な港湾が建設されて，その影響により沿岸漂砂の不均衡が生じて周辺海岸で海浜変形が進んだと推定できる．ただし，河川からの供給土砂の変化も生じていたと考えられ，それが周辺海岸の変形に影響したことは否定できない．

一方，日野川や仁淀川では河口部には大規模な構造物は建設されておらず，河川からの供給土砂の変化が河口域の海岸の変形に大きく影響したと推定できる．また，大淀川のように両岸に大規模な構造物が建設された場合は，近年においては大淀川の供給土砂の変化は，周辺海岸の変形に大きな影響を与えることはないと考えられる．

これらのことは、漂砂系に流入する河川の河口域に大規模な構造物が建設されているか否かにより分類することの必要性を示している。また、仁淀川河口沖では砂利採取が行われ、その影響が周辺海岸の変形に生じたことが報告されている。したがって、各河川の河口沖の地形を把握して、出水時における河川からの流出土砂の堆積領域や堆積過程を推定する必要があると言える。

5 河口域における堆積物調査の事例

ここでは、河口域における土砂の堆積過程を明らかにするために行われた調査の一例として、阿武隈川河口での堆積物柱状採取結果を紹介する。

阿武隈川河口域の河口テラスは扇状地形を成しており、水深は-1m ~ -10m、沖合 1km 程度の規模を持つものである。調査は、地表面下の地層断面を定方位にて採取する地層抜取採取法により、図-3 に示す 8 地点において実施した。そして、採取した堆積物試料を観察・分析して地質断面図を作成した。

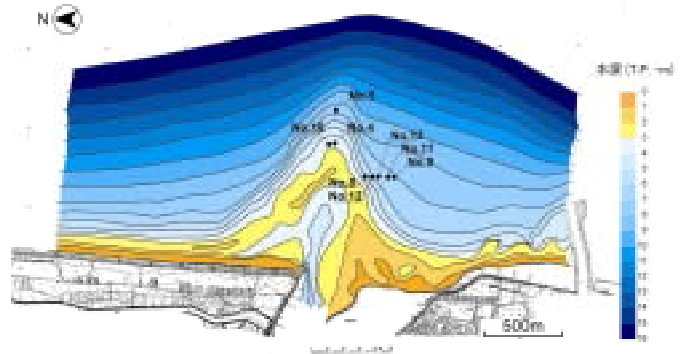


図-3 阿武隈川河口域の地形と調査地点

No.5, No.4, No.10 で採取した堆積物の観察・分析結果から作成した地質断面図(図-4)では、No.4 と No.10 は採取間隔が約 35m と比較的近いこと、地層の対比を行いやすい。特に、マサ混じりの粗粒砂～ハンモック状斜交層理砂層～リップル葉理砂層～シルト(もしくはシルト混じり)層は両者とも層厚約 2m で同一の地層であると思われる。

なお、これらの地層の下位は侵食面が見られ、スナモグリの巣穴がその下位に見られるといった共通性がある。No.4 の T.P.-8.0m 付近にはビニール等のゴミが若干含まれていた。同様のゴミが含まれる層が No.5 の T.P.-9.0m 付近に見られ、その下位にはハンモック状斜交層理砂層やマサ混じりの粗粒砂層など共通の特徴が見られる。これらの地層は大規模な一回のストーム堆積物として認定されるものであり、同一の層準であると判断できる。

この対比可能なストーム堆積物の上位には

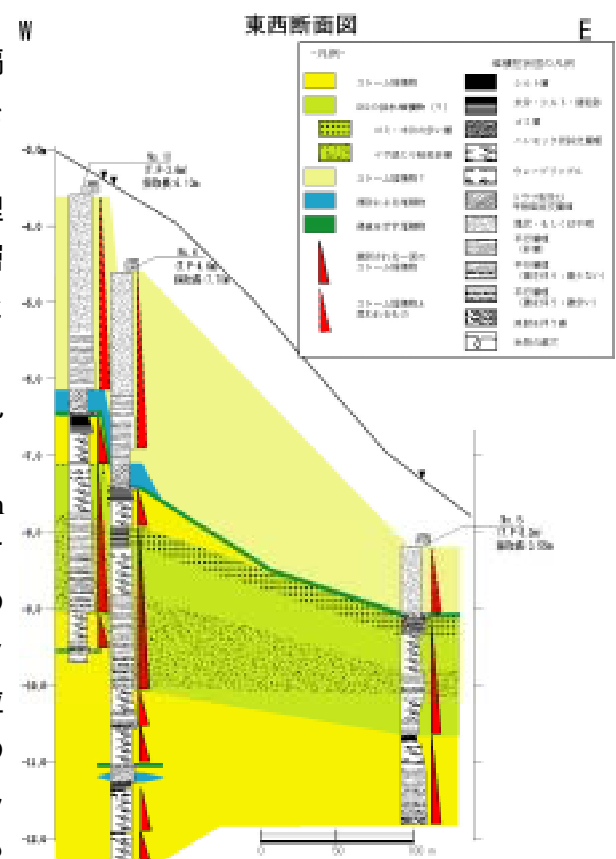


図-4 作成した地質断面図

侵食を示す残留堆積物である礫層(貝殻混じり)が見られる。そして、No.4 の T.P.-7.30m 付近と No.10 の T.P.-6.30m 付近では、トラフ型斜交層理や平板型斜交層理が見られる。これらの地層の上位はマサ混じりの粗粒砂があり、同様の地層であることがわかる。

その他の部分の地層については、対比することは困難であるが、そのほとんどはハンモック状斜交層理を伴う砂層であって、ストーム堆積物からなることがわかった。対比可能となったストーム堆積物は厚さが 1.5 ~ 2m 程であり、他のストーム堆積物よりも遙かに厚い。恐らく、非常に大きい洪水等を伴う低気圧によって形成された地層であると思われる。

堆積相解析結果とゴミ年代、洪水記録の検討から、No.5 の T.P.-9m 付近で確認されたゴミ堆積物から、昭和 61 年 8 月 5 日の洪水に対応すると考えられる堆積物を識別することができた(図-4の黄緑色の地層、写真-6)。これは、ストーム堆積物の最上部にアイスキャンデーの容器が含まれ、これが中折れタイプの特徴的な形を持ち、製造年代などから昭和 60 年代以降のものであることが確認されたことによる。つまり、河口域における堆積物の柱状採取とその分析により、洪水や波浪の作用にともなう土砂の堆積過程が把握できると言える。



写真-6 堆積物の一例

6 おわりに

以上、本年度の調査結果を簡単に報告したが、今後は以下の検討を行う予定である。

代表海岸(漂砂系)において堆積物の採取・分析を行い、土砂の供給源と海岸の安定(形成)に寄与している土砂の粒径集団を明らかにする。

代表流砂系においては、総合的土砂管理計画の必要計画流砂量を決める沿岸漂砂量と堆積物の代表粒径との関係(沿岸漂砂量公式と沿岸漂砂量係数の評価)を解明する。

代表漂砂系に流入する河川の河口域においては、大規模な構造物の建設経緯および海底地形などを調べ、河川からの流出土砂の堆積過程の観点から河口域の分類を行う。

代表河川での河口域における堆積物の柱状採取とその分析を行い、洪水や波浪の作用にともなう土砂の堆積過程を把握する。

「流砂系の総合的な土砂管理」にもとづいた、改正「海岸法」の理念の実現に向けた海岸保全を推進するために必要とされる、「漂砂系における流砂量モニタリング手法」を提案する。

参考文献

磯部雅彦(1998): 海岸環境と流砂系土砂管理, 河川, No.628, pp.24-31.

磯部雅彦(1999): 改正海岸法の理念の実現に向けて, 海岸, 第 39 巻第 1 号, pp.14-18.

(文責: 国土技術政策総合研究所河川研究部海岸研究室 主任研究官 山本幸次)

河川事業における環境影響分析手法の高度化に関する研究

河川局河川環境課
(独)土木研究所水循環研究グループ河川生態チーム
北海道開発局建設部河川計画課
東北地方整備局河川部河川環境課
関東地方整備局河川部河川環境課
北陸地方整備局河川部河川計画課
中部地方整備局河川部河川環境課
近畿地方整備局河川部河川環境課
中国地方整備局河川部河川計画課
四国地方整備局河川部河川管理課
九州地方整備局河川部河川計画課

1. はじめに

本研究では、計画段階及び事業実施段階において想定される河川事業に伴うインパクトに対するレスポンス（以下IRという）を科学的に予測するために、いくつかの異なるインパクトを対象にした検討を行い、このレスポンスを予測するための手法の高度化を図ることを目的としている。

これまで行ってきた個々の事例を対象としたIRの検討についても、モニタリングを通じた予測結果の定性的な検証に引き続き取り組んでいくが、それに加え、特定のインパクトに対する定量的な分析手法の確立を目指し、今年度から3つの個別課題をとりあげ、全国の河川からのデータをもとにした解析を行い、今後の河川事業における環境影響分析手法の高度化と事業の円滑な進捗に資する。

2. 研究方法

個別課題は既存事例の中で多く見られるものを取り上げた。課題を以下に示す。

捷水路建設に伴う環境影響分析手法の高度化

河床低下と河道の高水敷化に伴う河川生態系への影響と分析手法の検討

ヨシ原の成立要因に関する研究

また、個々の事例を対象とした研究については、これまでの検討内容を中心に、現況把握・分析、計画、事前調査、事業の実施、モニタリングの評価という一連の流れを通じた最終的な予測結果の検証とIRが抱える課題の発掘・整理・情報交換・解決に取り組むことにより、総合的にIRの技術向上を図る。

3. 個別研究

3.1 捷水路建設に伴う環境影響分析手法の高度化

3.1.1 概要

これまでの研究の中で、捷水路建設は比較的多く扱われてきた課題であり、湾曲等の平面形状、交互砂州等の中規模河床形態が、ハビタットの分布や構造を決める重要な要因であることが明らかになっており、この点を考慮して、これまで、砂鉄川を対象としたハビタット調査と分布・構造の把握、早出川を対象とした予測結果の検証を行ってきた。しかし、河道特性とハビタットの関係については未だ不明瞭な点が多く、河道特性の相違によるハビタットの定量的予測を困難にしている。そこで、2タイプの河道特性（湾曲部、直線部）を選出し、

ハビタットの分布状態との関連性を把握するため、河道特性量からRHA（ハビタットの面積率、Ratio of Habitat Area）を算定する。図-1にそのフローを示す。

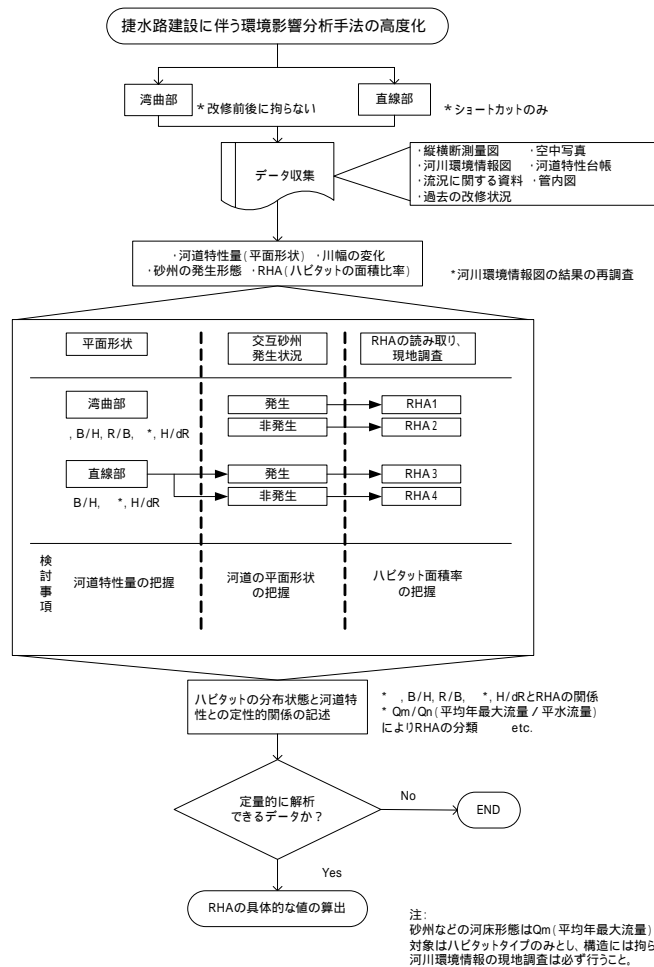


図-1 捷水路建設に伴う環境影響分析手法の高度化のフロー

3.1.2 指標の検討

ハビタットの分布状態と河道特性との関係を明らかにし、RHAの数値を具体的に算出する。

3.1.3 対象河川及び区間

- ・石狩川水系雨竜川 5.0k ~ 9.0k
- ・阿賀野川水系早出川 直線部：捷水路区間（2.2k ~ 4.2k）
湾曲部：捷水路下流（1.0k ~ 2.2k）

3.2 河床低下と河道の高水敷化に伴う河川生態系への影響と分析手法の検討

3.2.1 概要

河床低下と河道の高水敷化は、国内のみならず海外でも問題とされている。我が国において、その多くは高度経済成長期の砂利採取に起因しているものが多いと考えら

れており、その結果として、相対的に上昇した陸域において樹林化の進行、水際域において河原の減少が見られ、さらに、このような地被状態の変化は様々な生物に影響を与えている。このような問題は数年前から指摘されているが、河床低下に伴う水際域～陸域の冠水頻度等の実態や生態的な健全度等を示す指標についての検討はなされてこなかった。

そこで、セグメント1又は2-1を対象に、河床低下、高水敷化が顕著な事例を選定し、「河床低下と高水敷化に関する要因の分析」、「河床低下を示す指標の開発」、「河床低下が河川生態系に及ぼす影響を示す指標の開発」、「再生手法の提案と適用」についての基礎的データを収集しとりまとめる。図-2にフローを示す。

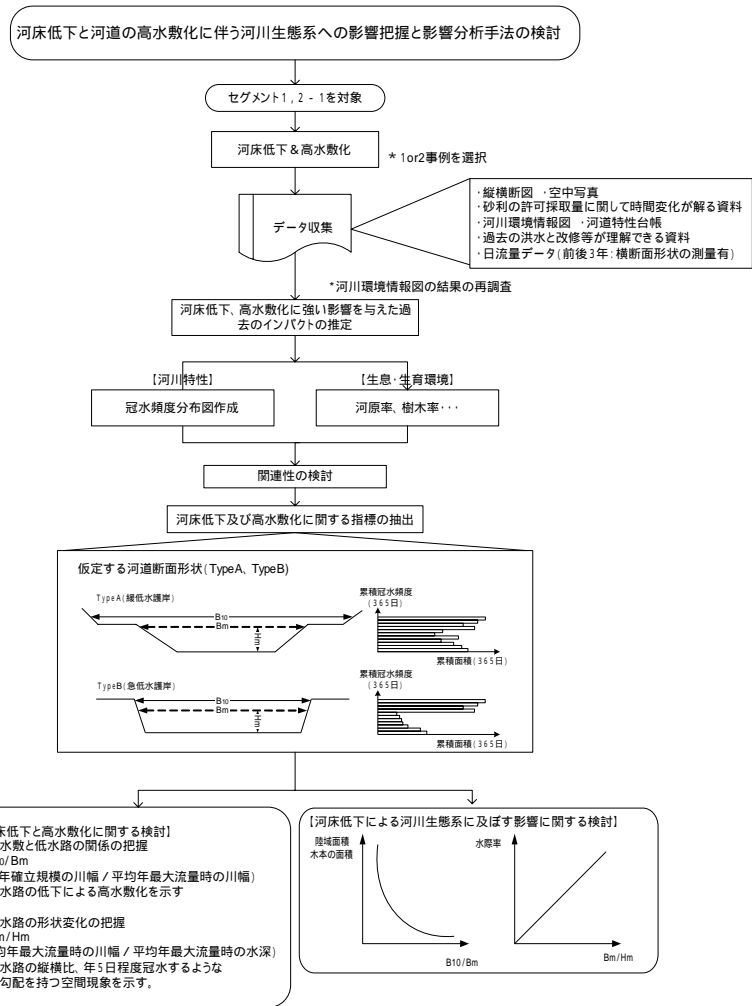


図-2 河床低下と河道の高水敷化に伴う河川生態系への影響と分析手法の検討フロー

3.2.2 指標の検討

河床低下を示す指標として、 B_{10}/B_m 及び B_m/H_m 等の算出を試み、その有効性を検討する。

3.2.3 対象河川及び区間

- ・多摩川水系多摩川 51.7k ~ 53.3k
- ・天竜川水系三峰川 ~ 8.4k
- ・江の川水系江の川 168k ~ 172k 付近
- ・渡川水系四万十川 10.4k ~ 13.0k

3.3 ヨシ原の成立要因に関する研究

3.3.1 概要

ヨシ原の再生については全国で多くの試みが行われているが、これらの試みは独自に実施されていて、ヨシ原の移植、生育、維持・管理に関する情報は系統的に扱われていない。これらの情報を収集・整理して、今後の事業に活かすことは重要な課題である。

そこで、既存の知見を収集し、ヨシの生育適地や生育方法について、外的要因のない状態で育成された生理的最適域と実際の場で繁茂する生態的最適域の把握を行う。

図 - 3 にフローを示す。

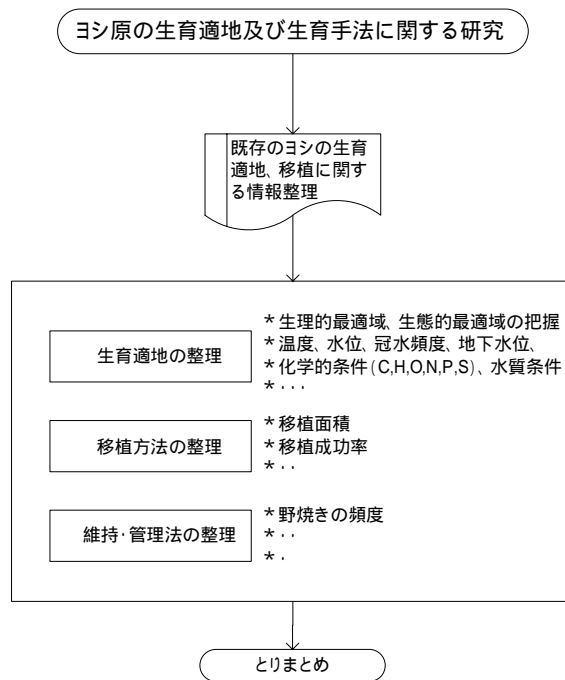


図 - 2 ヨシ原の成立要因に関する検討フロー

3.3.2 対象河川及び区間

- ・北上川水系北上川 ~ 15km
- ・淀川水系淀川 30km ~ 33km
- ・本明川水系本明川 0.8k ~ 1.0k

4. 事例研究

事例研究については、最終的な予測結果の検証とIRが抱える課題の発掘・整理・情報交換・解決を通じ、総合的にIRの技術向上を図ることを目的とする。表 - 1 にこれまでに暑かった主要インパクトの種類と事業の進捗状況を示す。

表 - 1 主要インパクトの種類と事業の進捗状況

主要インパクトの種類	事業の進捗状況				
	現況把握・分析	計画	事前調査 (インパクト前)	事業実施中	事後調査 (インパクト後)
流量の変化	近畿(淀川)	中国(神戸川) 北海道(永山新川)	北海道(永山新川) (牛朱別川)		
ショートカット		中国(斐伊川・神戸川)	北陸(信濃川) 近畿(淀川)		北陸(早出川)
低水路拡幅		中国(神戸川) 九州(加勢川)	九州(加勢川)		
高水敷切り下げ			近畿(淀川) 関東(多摩川)*		関東(多摩川)*
高水敷化、樹林化等* (この場合以外)	中部(三峰川) 四国(四万十川)	九州(加勢川)			
堰改築	関東(江戸川)				
濁水	中部(三峰川)				
河口導流事業(流形変更)		四国(波介川)			

*多摩川は今後予定されている事業を対象として整理している。中部及び四国は現況をレスポンスとし、インパクトの分析にIRを用いている。

これら課題については、今後モニタリングを定期的に行い、予測結果の検証を適宜行う他、テーマ別課題に重点を置いた検討を行う。その際、事例研究を実施する際のポイントとして、以下のものが考えられる。

- ・ 現況把握、事前調査、事後調査における適切な調査方法・解析方法
 - ・ レスポンスの予測の可能性及びその精度
- 等