

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。

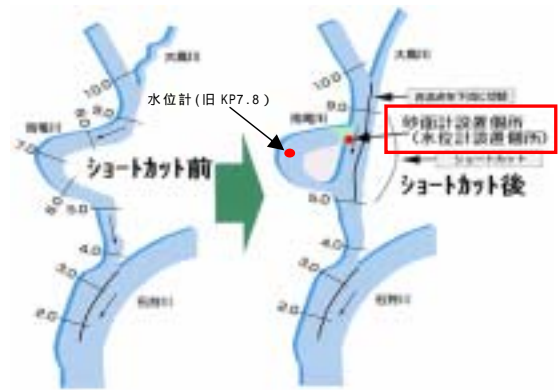


図-3.1.1 雨竜川下流部改修状

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。

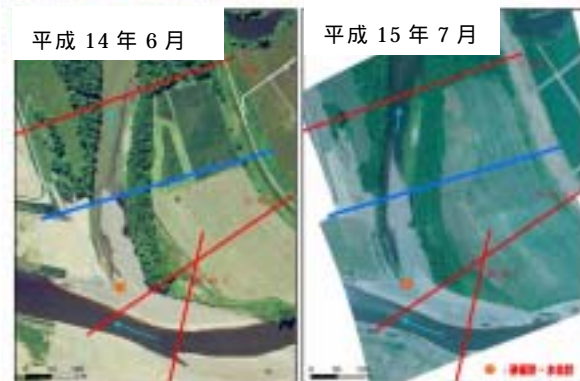


写真-3.1.1 分流地点の変遷

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。

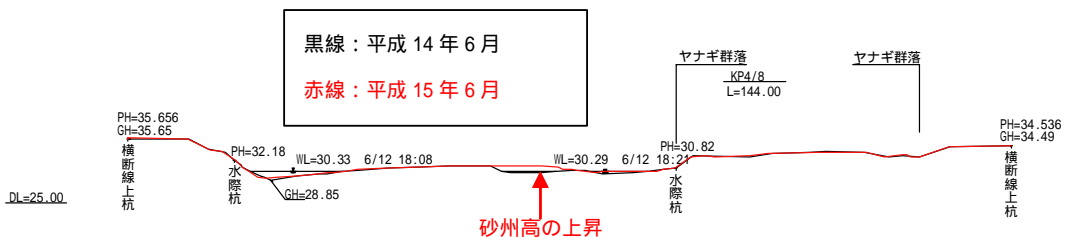


図-3.1.2 分流地点における砂州の発達

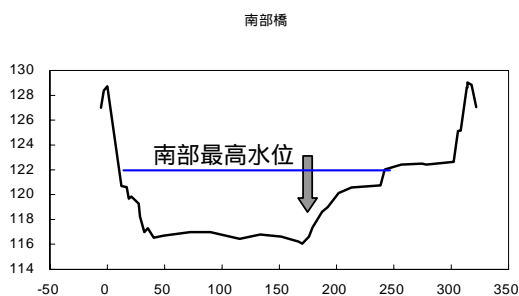
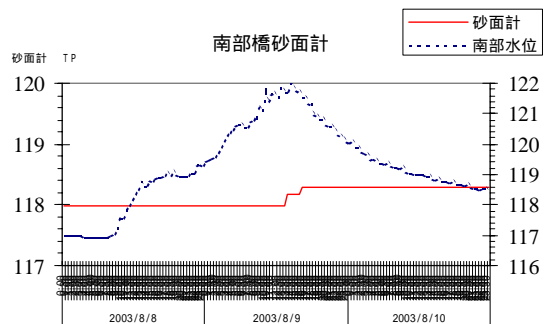
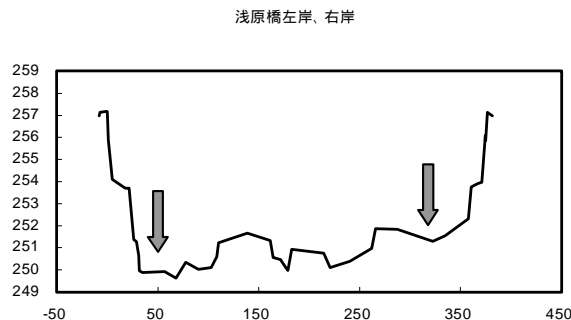
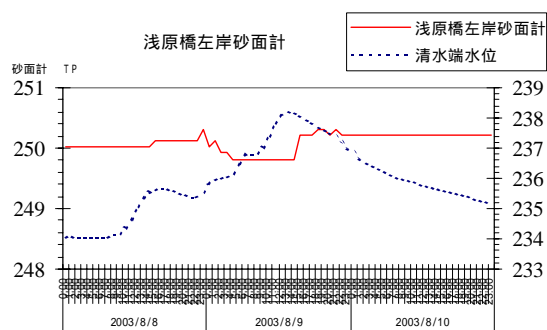


図 - 3.2.2 砂面計による河床変動状況

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なっている。

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。

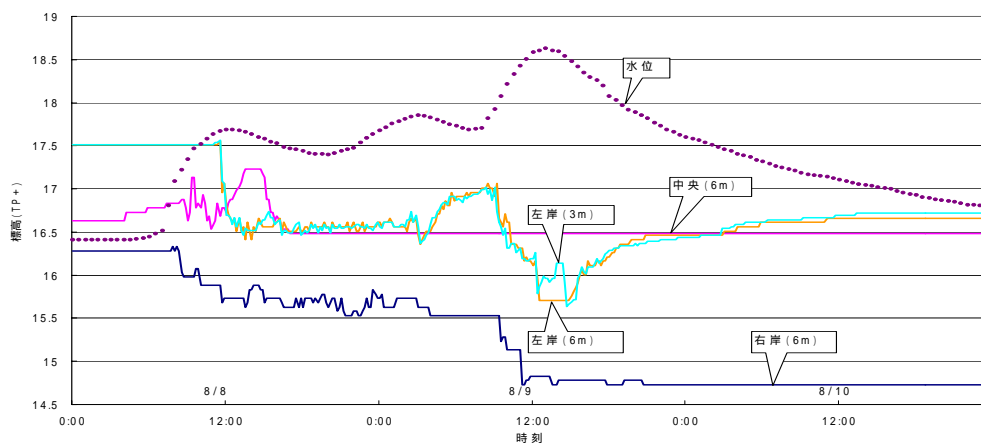


図 - 3.3.2 手越地点 (4.0km) 河床高・水位変動観測結果 (H15.8 出水)

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兩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。

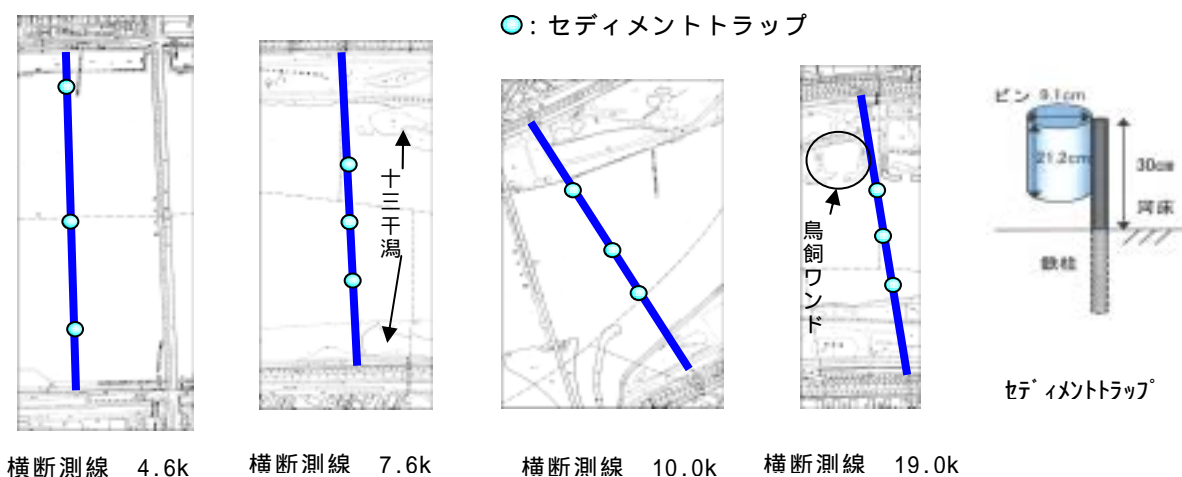


図-3.4.1 セディメントトラップ設置地点

【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。

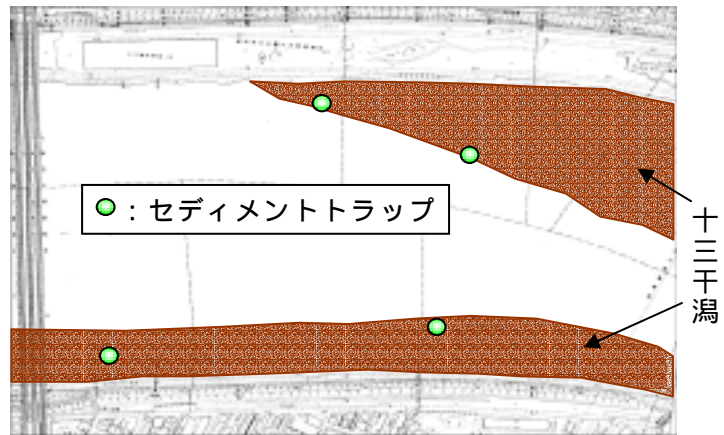


図 - 3.4.2 調査位置図

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

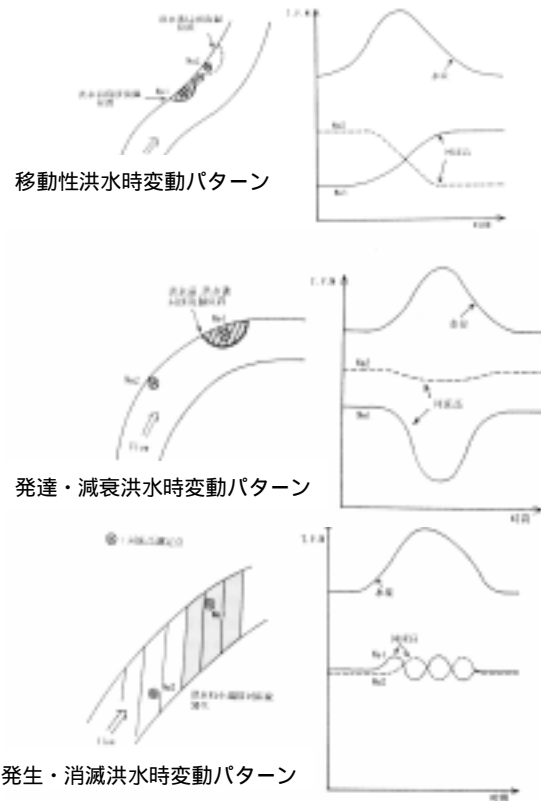


図-4.1.1 洪水変動パターン

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。

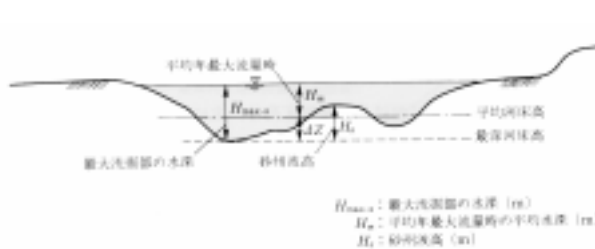


図-4.1.2 dZ/H_m と B/H_m の関係図
(ただし *は 0.03~0.4 の範囲)

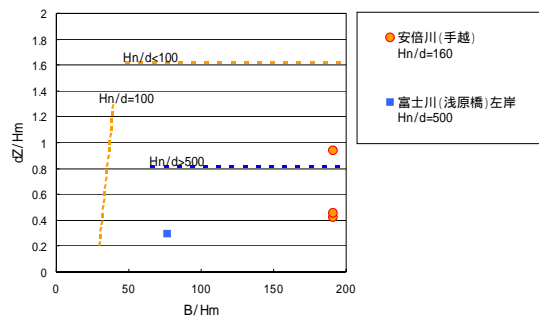


図-4.1.3 実河川の最大洗掘説明図

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的那賀川の事例では±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ことができる。

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。