

資料A 河道管理のための「河道特性情報集」編集

1. 「河道特性情報集」の意義

河川維持管理、特に河道の維持管理において、河道内に生じた（る）問題を素早く察知して、適切な対応をとるためには、当該河道の状況を過不足なく迅速に把握できる体系的な情報が必要である。この体系的に編集された情報を「河道特性情報集」という。

河道特性情報集を基に河道の現状を評価し、近未来を予想し、必要な対応・対策を行なうこととなる。

なお、「河道特性情報集」は継続的に更新されるべきものであり、持続可能な更新が為されるよう必要最低限の情報を対象とし、将来的なデータベース化も見据え、作成した図表のオリジナルデータ等、データ管理は適切に行うことが求められる。

2. 概要

2.1. 目的

河道特性情報集の編集は、河道管理システムの基幹となる重要な作業である。

河川横断測量結果や水文観測データ等の河川・流域に関する基礎資料（一次情報）は、加工することにより意味づけられ高度なものとなり、河道管理に役立つ情報となっていく。したがって、河道に期待される機能の分析・評価や、対策の必要性の判断、今後の河道形態の予測などの河道管理の目的・視点に合致するように加工する必要がある。

一次情報を管理目的にあった形に加工する際には、“何を知りたいのか”を意識して、各種情報を重ね合わせる。それにより、河道の特性（諸量の関係性）、河道の変遷過程、河道に加えたインパクトとレスポンスの関係、現状と課題、河道変化の将来予測など、様々な事実が浮かび上がり、河道管理情報としての価値が高まる。情報の重ね合わせには、異なる種類のデータの空間軸・時間軸での重ね合わせ、その複合の重ね合わせがある。河道の変化が生じた原因は何か、それを表現できる情報は何か、その問題と原因はいつから始まったかという視点で重ね合わせの方法を選定することが重要である。

この重ね合わせの良否が河道の特徴・状態・予測の正しい理解、管理の方向性を大きく左右することになる。そのため、河道管理の目的・視点（知りたいこと）に合わせた標準的な編集方法を示すことにより、一定レベルを確保して、河道管理に役立つ情報が広く作成されるようになることが期待される。また、河道特性情報集が共通の基準・仕様で編集されることにより、他河川との相互比較が容易となり、他河川の経験を利用する場合の技術的な議論をする共通基盤となることで、個々の河川の特殊性・個性はより明確化されるであろう。

2.2. 対象項目および記述方針

本資料では、「河道特性情報集」の基本的な編集対象項目として、**表 A.2.1** に示す各項目について、その意味や編集上の留意点を下記の方針で記述、整理するとともに、具体的な編集事例を示した。

なお、**表 A.2.1** においては、各編集項目のもつ情報の維持管理における基本的な活用度・重要度を示しているが、当該河川における維持管理上の課題を踏まえて項目を決定すること。

○目的（把握すべき事項）

対象とする項目を整理する目的として，把握すべき事柄を記述する．

○整理すべき事柄

目的とする事柄に照らし合わせ，整理すべき事柄としての図（グラフ）の作成方法等を記述する．対象とする項目で把握すべき事柄の河道管理への反映等を記述する．

○留意点

実際に各河川で河道特性集を編集する際の留意点等を記述する．（基礎情報等（教科書的な内容）は本論に記述）

○河道管理のための情報の読み取り方法

整理（編集）した情報等に対して，河道管理を行っていく上で必要となる事項（観点）の読み取り方法等，技術的な視点を記述する．

○事例

上記の「整理すべき事柄」，「留意点」に記述した内容を具体の事例（作成した図等を用いた河川の分析・評価）により解説する．

表 A. 2.1 河道管理のための河道特性情報集の編集対象項目

No.	大区分	中区分	項目	重要度	備考	
1	基礎的条件	河道を規定・制約する条件となる流域特性	地形形成過程	○		
2			地質区分(流域の地質分布)	◎		
3			河床地質区分(地質の河川縦断分布)	○		
4	インパクト ※河道変化を促す要因とその経年的な変化	出水特性, 土砂供給特性	年最大流量(経年変化)	◎	ダムが設置されている場合は設置前後の期間で整理	
5			ダム堆砂量	◎	土砂供給に対する人為インパクトとして整理	
6		改修事業等の変遷	ダム設置履歴	◎		
7			砂防堰堤設置履歴	△	ダムが設置されていない場合の土砂供給への人為インパクト	
8			堰・床止め設置履歴	◎		
9			築堤履歴	○	可能であれば整理することが望ましい	
10	護岸設置履歴		○	可能であれば整理することが望ましい		
11		河道掘削量および砂利採取量	◎			
12	レスポンス	河道特性	セグメント区分(河床勾配, 河床材料による縦断区分)	◎	同一の河道特性(同様のレスポンス)を示す区間区分.	
13			水理諸量(水深, 水深粒径比, 摩擦速度, 無次元掃流力, 川幅水深比)の縦断変化	◎	現況の縦断的な特性変化	
14	※インパクトに 応答した河道変化の 状況	河道特性要素の 経年変化	形状変化	平均河床高, 最深河床高の経年変化	◎	横断形状の変化の整理から, 河床高を把握
15				横断形状の経年変化	◎	
16				平面形状(川幅, 砂州)の経年変化	◎	航空写真
17				河口砂州, 河口付近汀線の経年変化	◎	
18			河床材料の経年変化	◎	調査時期と人為インパクトの前後関係から整理対象を設定	
19		植生	植生の経年変化(樹木等の繁茂状況)	◎	平面形状の経年変化と合せて整理	
20	河道機能の評価	治水	現況流下能力	◎		
21			堤防詳細点検結果	◎		
22		環境	貴重種・群落等の分布状況	○		

※「重要度」：その編集項目の情報の維持管理における基本的な活用度・重要度を下記の順で示す。ただし、当該河川における維持管理上の課題を踏まえて項目を決定すること。

◎：必須項目

○：必須項目と同等の重要度・活用度ではあるが、適切に整理された資料がない場合、情報編集および解釈の難易度が高い。

△：当該河川の特性や他項目の整理において把握された課題に応じて選択する。

3. 河道特性情報集編集方法

3.1. 基礎的条件

3.1.1. 河道を規定・制約する条件となる流域特性

(1) 地形形成過程

○目的

- ・河床下の堆積物（堆積状況）を把握するための基礎情報として整理する.
- ・河川への供給土砂の量，質を把握するための基礎情報として整理する.
- ・河道の変化に対しての地形・地質的な制約条件を把握するための基礎情報として整理する.

○整理すべき事柄

①文献等により以下の事柄を描出する（文章主体の整理，図は文章の補足）.

- ・第4紀における土砂の堆積過程として，海水面変化と地形変化，火山の噴火と地形変化（火山噴火がある場合）
→河川（河床）の地形・地質構成と河床変動には密接な関係があることから，河川（河床下）の地形・地質構成を把握する上で，その堆積過程を整理する（堆積年代や堆積過程，堆積当時の地形特性等により堆積物や層序構造が異なる.）.

②地形図等により地形区分を描出する（主に流域図の整理）.

- ・流域内の現在の地形区分（山地，台地，平野の配置及び形状）
→河床変動は，上流から流入する土砂の量・質，さらには河床堆積物によって差異が生じることから，河道の形成過程（山地部の岩）を把握する.

○留意点

- ・河成，海成，陸成などにより特性（硬度など）が異なることから，堆積過程として，海水面変化，火山噴火に着目し，これらと地形変化を関連させ整理する.
- ・図には，対象河川を明示するとともに，極力距離標を添付する.

○河道管理のための情報の読み取り方法

火山活動による多量の噴出物の発生，せき止め湖の出現など上流山地流域に供給土砂の質を急変させるような要因が発生した場合には，河床の動的平衡状態が崩れ，セグメントを変えた可能性がある。

また，現在の河道特性の基盤となっているため，河床変動傾向の把握するための技術的視点となる。また，旧河道の位置や河川堤防の立地箇所等の特徴は，今後の河道の地形的な制約条件を把握するための視点として重要である。

○事例1（海水面変化による地形形成史の整理）

地層形成は、約200万年前頃に関東平野の基盤が形成された後、海水面変動に伴って段丘等の中規模地形が形成された。

現在の地層は、海水面が最も高かった約13万年前に形成された層序構造（①の時代）をベースに、下方侵食による台地・谷地の形成（①～③、④～⑦）や土砂堆積による埋没地形の形成（③～④）等の繰り返しにより、複雑な地層が形成された。

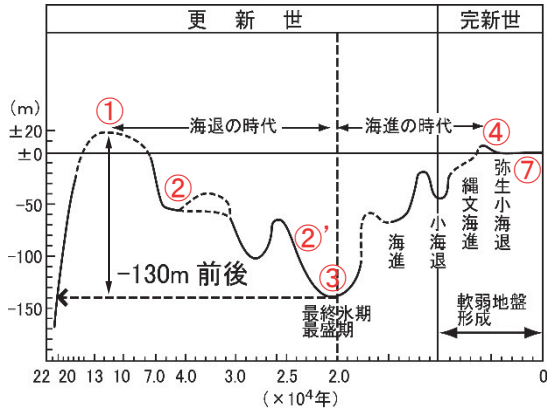


図 A. 3. 1 海水面変動史

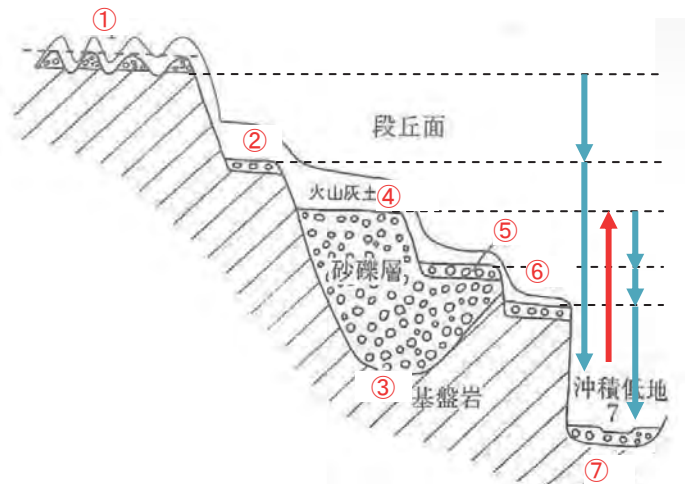


図 A. 3. 2 模式的な河成段丘の横断面形（町田洋他，2003 に付加）

- ①最も海水面が高かった時代の地形
 - ②海水面低下に伴う侵食より，河岸段丘が形成
 - ③更に，著しい海水面低下に伴う急激な侵食により，V字型の谷を形成（更新統面）
 - ④海面上昇により，③でできたV字型の谷を埋積し，平野を形成（埋没谷地の形成）
 - ⑤⑥海水面低下により，河岸段丘が形成
 - ⑦更なる海水面低下により，沖積低地が形成（現在）
- ※なお，海水面の低下・上昇を繰り返すことにより，埋没谷地・埋没台地が形成される。

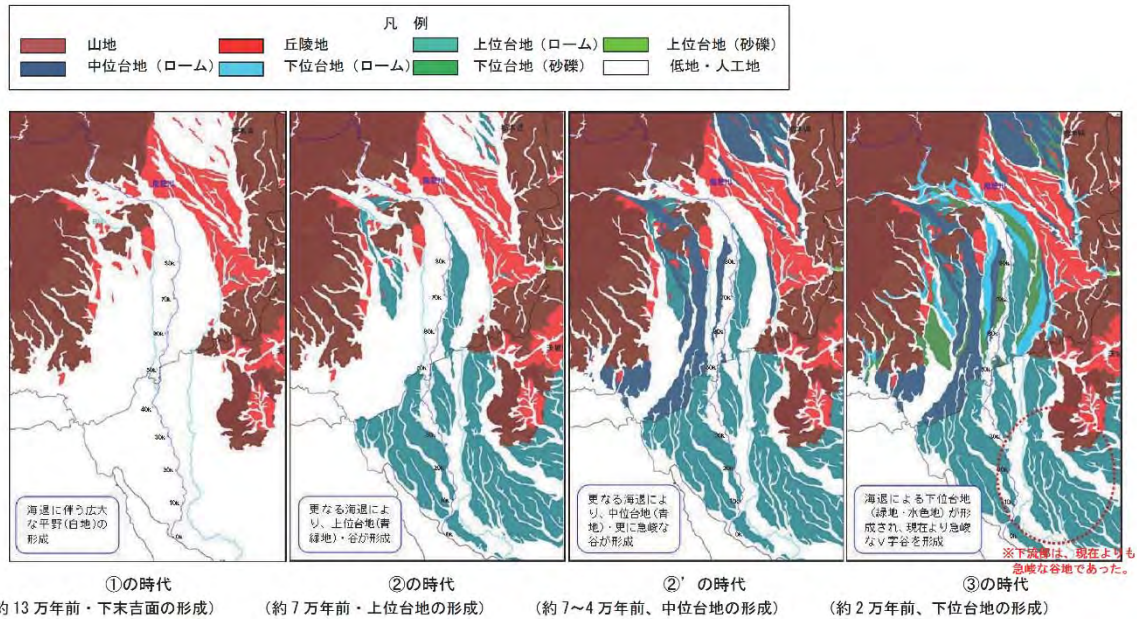


図 A.3.3 鬼怒川流域の地形変化 (イメージ)

2度の海進（下末吉海進-約13万年前，縄文海進-約6000年前）及び，海面変動に伴い，鬼怒川周辺には台地や埋没谷地等の複雑な地形が形成された。また，現在の鬼怒川は39km付近を境に，下流側は2万年前以降の氾濫原堆積物，上流側は約2万年前の基底礫層の上を流下していることが明らかになった。

○事例2（火山噴火による地形形成史の整理）（文献 アーバンクボタ 22, 1984）

菊池川の上流域は，阿蘇地方を中心に溶結凝灰岩から成る阿蘇火砕流堆積物が広く分布しているため，堆積年代や堆積状況等の地史的な変遷を整理した。

阿蘇カルデラをつくった巨大噴火の噴出物は，4ユニットの大規模な火砕流堆積物で，古いものから順に阿蘇1, 2, 3, 4 (Aso-1, 2, 3, 4) と呼ばれている。これらは，火砕流堆積物を主体とするが，Aso-4以外の噴火では，随伴して降下軽石・スコリヤを噴出した。このうち火砕流はクライマックスの噴火で発生した巨大な噴煙柱が崩れ，四方八方に多量のガスとともに流れたもので，山を越えて各地の谷間や平野を埋め，地形を大きく変えた。

4層の噴出年代は，以下のように推定されている。

Aso-1：約25.5~27万年前

Aso-2：約15万年前

Aso-3：約11.5万または13万年前

Aso-4：約8.5~8.9万年前

これらAso-1~4の火砕流堆積物は，阿蘇山周辺の大分平野や熊本平野に広く分布している。これら堆積物は，高温，高速で，高密度の流れであったと想定され，これが平野に出て厚く堆積した地形面は，一般に河成段丘に似た地形を形成する。（→合志川流域）それは，元来平坦な氾濫原や段丘面上に堆積したためである。

また，火砕流が元々あった谷に流入すると，そこに集中して厚く堆積するため，圧密と高温で火山ガラスが変形し付着しあって，溶結凝灰岩になることが多い。堆積物の最も厚い中心部は溶

結の結果沈下するため、その後の流水は再びここを流れ、硬い溶結部であるにもかかわらず、深く下刻して峡谷をつくる。

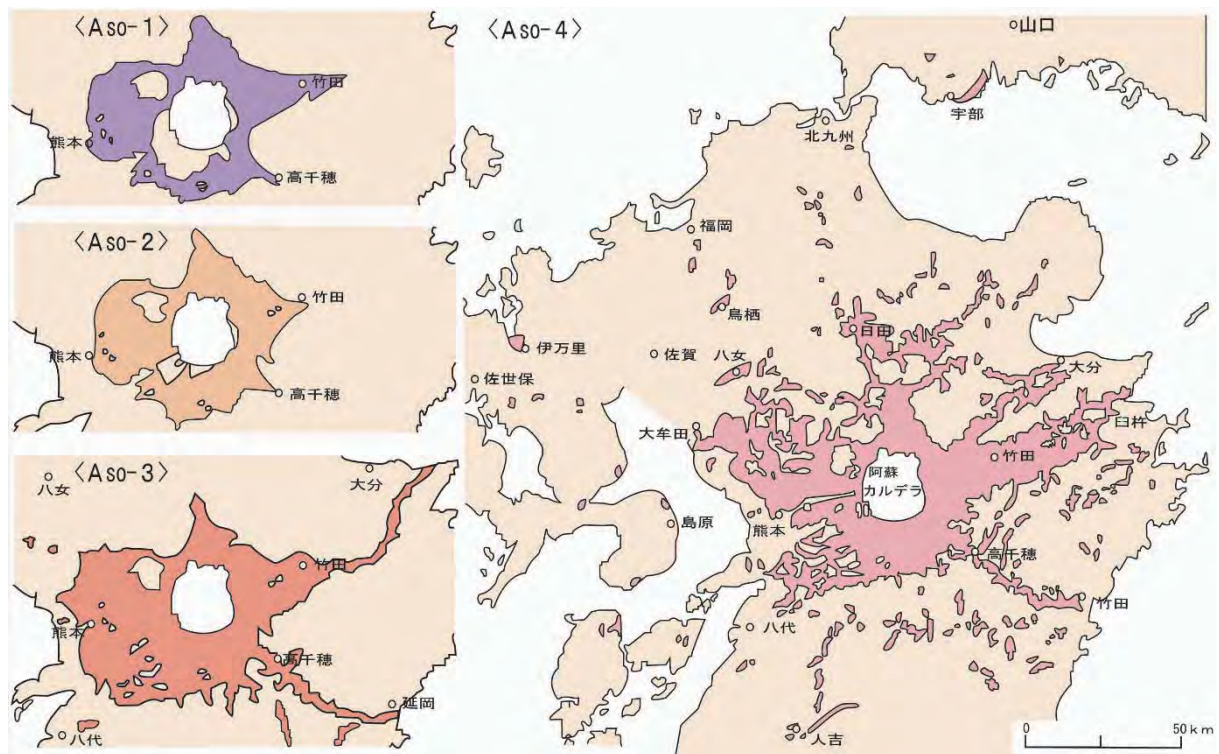


図 A.3.4 阿蘇火砕流の分布 (アーバンクボタ 22, 1984)

菊鹿盆地(菊池盆地)は、北と西を筑肥山地、東を阿蘇カルデラ外輪山に囲まれた海拔 20~200m の盆地で、Aso-4 火砕流の台地を刻む河成段丘や沖積低地からなる。

この盆地は、現在菊池川水系に属しているが、南縁の分水界は、海拔 80~200m の Aso-4 火砕流や託麻段丘の低平な地形で、これを隔てて白川水系の熊本平野と接しており、Aso-4 火砕流などの阿蘇火山噴出物などを取り除くと熊本平野と地形的に連続的である。

Aso-4 火砕流以前には、菊鹿盆地(菊池盆地)から熊本平野に流れ込む河川が存在していたと考えられる。盆地の原形は、中期更新世にすでに存在し、茂藤里層に代表される扇状地が形成されていた。

その後、Aso-1, 2, 3, 4 火砕流が盆地を厚さ 200m 以上堆積した。

Aso-4 堆積後は河川の下刻作用が卓越し、火砕流台地が開析される過程で数段の河岸段丘、すなわち託麻・保田窪段丘や戸城・堂原・鍋倉・築地段丘などの侵食性の河成段丘が形成された。

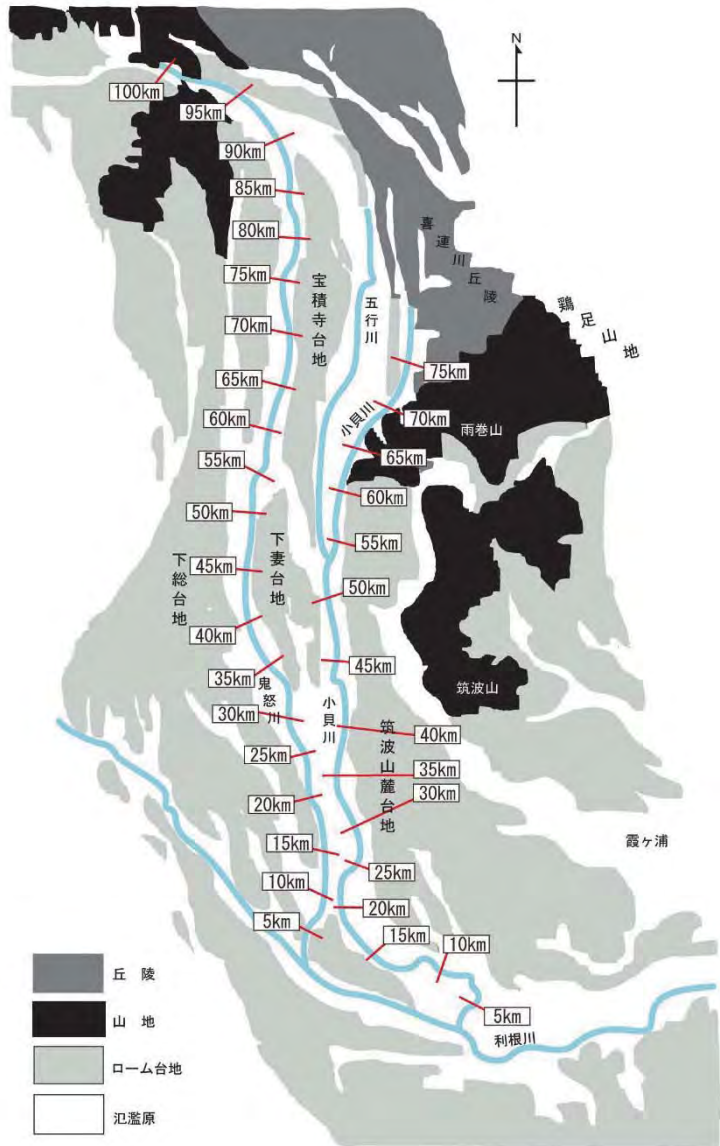
当該地域においては、第三紀における火山活動や地溝形成による地形変化の割合が大きく、第四紀の海面変化の地形変化への影響は小さい。海底勾配と河川勾配があまり変わらないことから、海面低下が生じてても河川は平衡状態にあり、顕著な下刻作用が生じないためであると想定される。

○事例3（地形区分の整理）

小貝川の78km地点上流の指定区間は、なだらかな丘陵である喜連川丘陵を下刻しながら流下する。喜連川丘陵は、扇状地（八溝山地から鬼怒川低地の流下する諸河川が形成した）が離水（60～70万年頃離水したと推定されている）して形成された段丘が、侵食されて穏やかな斜面から構成されるようになったものである。表層は厚さ40mに達する火山性土層に覆われている（火砕流堆積物を挟む）。その下に扇状地性礫層（境林礫層160万年前の堆積物）が存在する。現小貝川は少ないながら、この礫層から礫の供給を受けている。

指定区間の下流部および直轄区間最上流部東側には鶏足山地が存在し、流域の最高峰である雨巻山（標高530m）があり、砂岩、チャートを多少小貝川に供給しているが、丘陵性地形であるため山地起伏度が小さく流出土砂量は少ない。また、西側は後期更新世に形成された段丘が存在する。

小貝川の70km地点より下流は、宝積寺台地（10～15万年前および10万年前に段丘化した宝積寺面、大和田面）、下妻台地（4～3.5万年前に段丘化）と筑波山麓台地の間の沖積面を流下する。この区間の沖積谷は、小貝川が自ら形成したものでなく、鬼怒川が形成した堆積面である。



A. 3. 5 小貝川地形概要図

(2) 地質区分（流域の地質分布）

○目的

- ・河川への供給土砂の量、質を把握するための基礎情報として整理する。

○整理すべき事柄

①地質図等により地質区分を描出する（主に流域図の整理）。

- ・流域内の現在の地質区分

→河床材料の大きさ、粒度分布は、上流山間部から沖積地に供給される土砂の量とその粒度構成に大きく影響される。この供給土砂の質と量は、岩石の風化に支配される。

→山地で生産される土砂の粒度は、山地の地質、岩質の違いと風化作用や変質作用の違いによって大きく異なり、特定の粒径の所に粒度分布のピークを持っている。土砂収支等を把握する上で、上流（主に山地流域）からの土砂供給量として、地質（岩質）による量・質の概略を把握する。

○留意点

- ・花崗岩の分布割合（マサ土）

→花崗岩は風化しやすい。花崗岩が風化して砂状になると「マサ」と呼ばれる。花崗岩がマサ化作用を受けると、山地において砂分を多量に供給する。

→花崗岩質の地質が山地流域の多くを占める河川では、粒径1～3mmの河床材料を持つ河川が多い。これら河川では、河床材料のメイン集団として1～5mmの細・中礫、10～70mmの中礫のどちらの集団が河川スケールを規定しているか判断が困難となり、河床材料の粒度分布以外に河岸物質の形成機構の差異に関する情報が必要となる。

- ・固結度の低い新第三系および更新統のシルト岩、砂岩、凝灰岩の山地

→丘陵・段丘であることが多い。

→礫以上の粒径のものをほとんど生産しない。

○河道管理のための情報の読み取り方法

地質区分と岩石の風化状況等で流出土砂の特徴を読み取ることができる。例えば花崗岩がマサ化されている場合は山地において砂分が供給され、固結度の低い第三系のシルト岩、砂岩、凝灰岩の山地では礫以上の粒径のものをほとんど生産しない、などである。

土砂の粒度は土砂供給箇所（山地部分）の地質、岩質の違いと風化作用や変質作用によって大きさが異なり、特定の粒径の所に粒径分布のピーク（ある粒径をもつ河床材料の占める割合が大きい。例えば、2～5mmの粒径のものが多く、など）を持っている。

○事例（地質区分の整理，生産土砂の概略把握）

菊池川の地質は，上流域の阿蘇地方を中心に溶結凝灰岩から成る阿蘇火砕流堆積物が広く分布し，菊池川沿川には礫，砂，粘土等から成る沖積層が広がっている．中流域では北部及び中央部の山地に泥質片岩や砂質片岩，石英片岩から成る変成岩類が見られ，菊池川沿川には阿蘇火砕流堆積物が見られる．下流域では菊池川沿川に沖積層が広がり，その外側を花崗閃緑岩や阿蘇火砕流堆積物が分布する．また，海岸付近の沖積層は，埋立・干拓地となっている．（地形形成過程 事例-2 の阿蘇山火砕流堆積物の堆積過程参照）

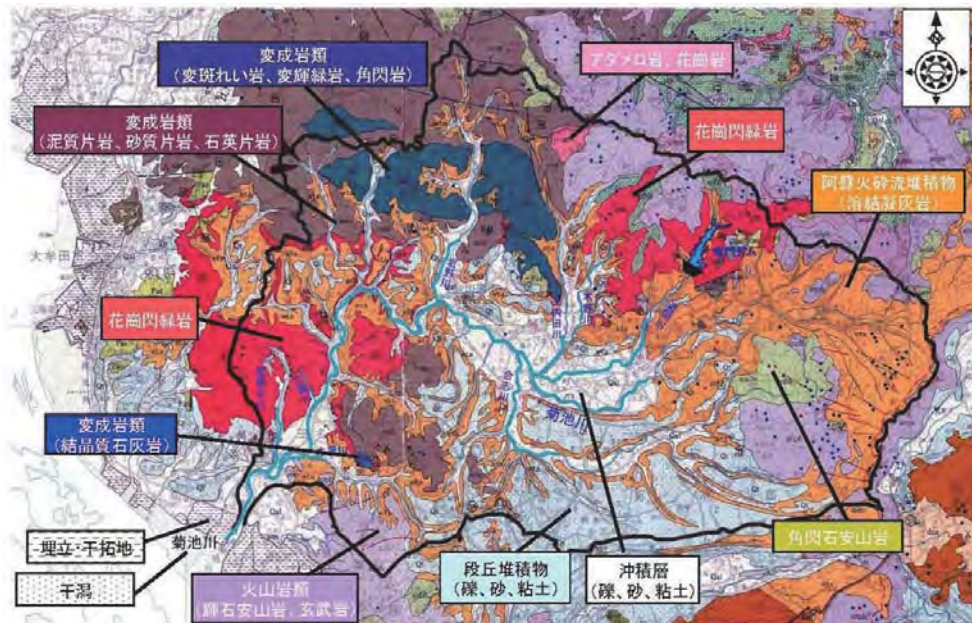


図 A. 3. 6 地質区分図

・菊池川（上流域）

阿蘇山の噴火に伴い地形が形成され，火砕流堆積物，すなわち溶結凝灰岩（阿蘇火砕流堆積物）が大半を占める．侵食されやすい地形であることから，菊池川流域内の他流域に比して土砂生産量は多いと推定される．

・迫間川

阿蘇山の火砕流堆積面と筑肥山地の境界付近に位置し，火山岩，花崗岩が大半を占めるが，特に花崗閃緑岩の割合が高い．これらの岩石は風化されやすく，マサ土を産出する．マサ土の産出域を持つ河川では，粒径 1～3mm がメイン集団となる河床材料を形成しやすい．

・上内田川

火山岩，花崗岩に加え変成岩が大半を占める．上記の迫間川と同様の特徴を持つが，変成岩の割合が多いぶん，マサ土の特徴が薄れていると想定される．

・岩野川

変成岩が大半を占める。変斑れい岩，変輝緑岩は比較的硬い変成岩に属するため，菊他流域に比して土砂生産量は少ないと想定される。

・合志川

上流部は，阿蘇山の噴火に伴い地形が形成されているが，中流部は，下刻作用により形成された段丘堆積物，河床堆積物からなる。礫，砂，粘土などの比較的粒径の小さい成分が生産されるものと想定される。

(3) 河床の土層・地質区分（地質の河川縦断分布）

○目的

- ・河床堆積物として，沖積層（礫，砂など）の厚さ，沖積層以外の地質の露出などを把握するための基礎情報として整理する。

○整理すべき事柄

- ①既往の堤防詳細点検の堤体の土層・地質縦断図を活用して，左右岸ごとの土層・地質縦断図に河床高（平均河床高，最深河床高ともに）を追記した縦断図を作成する。

→図中にセグメント区分，主要構造物を明示する。

- ②上記縦断図を用いて，横断図に地質区分を添付する。

→土層・地質区分は，左右岸の堤体の安定性に関する情報であるので，横断図の両側に添付する。

→土層・地質縦断図においては，ボーリング位置は必ずしも必要としない。ただし，地質分布状況等は，1km ピッチの情報であり，必ずしも精度の高いものではない場合が多いため，必要に応じてボーリングデータを確認する。

○留意点

- ・横断構造物の設置のため，河床下のボーリングデータ等地質情報がある場合は，これらデータの活用を図る。

○河道管理のための情報の読み取り方法

河床下の地質は，土砂供給が変化した際に河道がどう変化するかを把握するための重要な技術的情報である。河床掘削及び山地部からの流掃土砂の減少により河床・河岸に新第三系，更新統，沖積粘土性土層が露出している河川がある。難侵食層は河床の低下を防ぎ止める機能を果たし，沖積粘土層は溝状に侵食され横断形状が不自然なものとなったりする。

○事例（地質縦断面図）

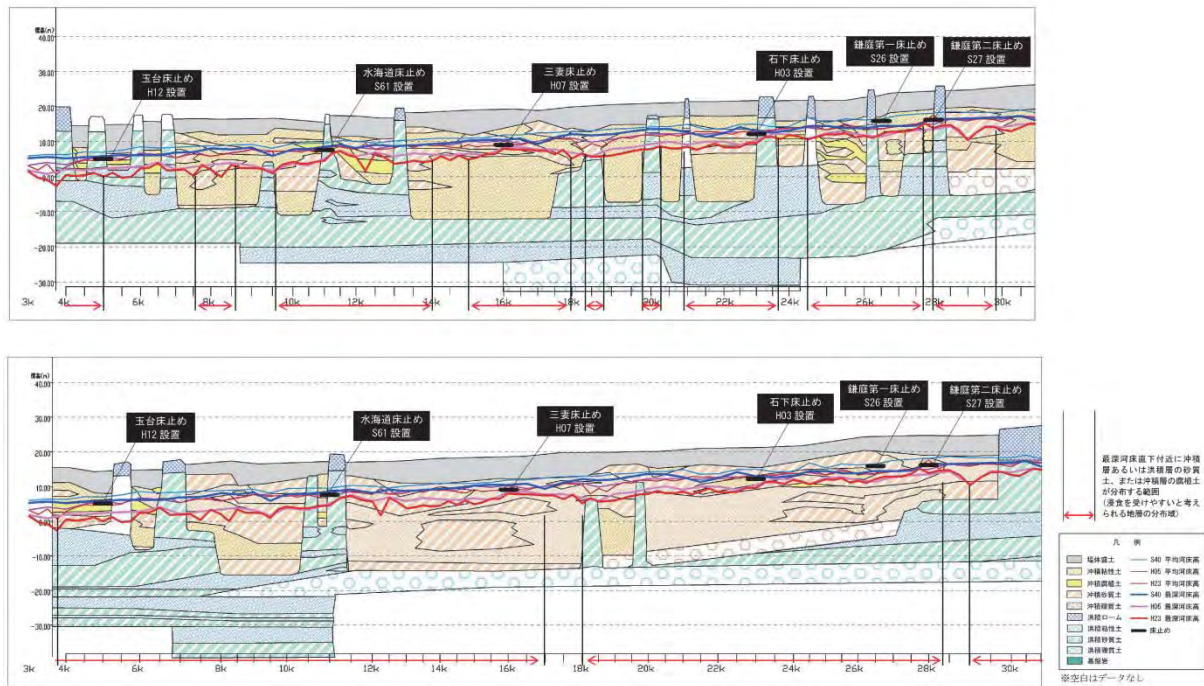


図 A.3.7 地質縦断面図（上：左岸，下：右岸）

- ・河床の砂層は薄く，沖積粘性土層上を流れている区間が多い。
- ・洪積シルト層が露出している箇所もある。

○事例（地質区分を追記した横断面図）

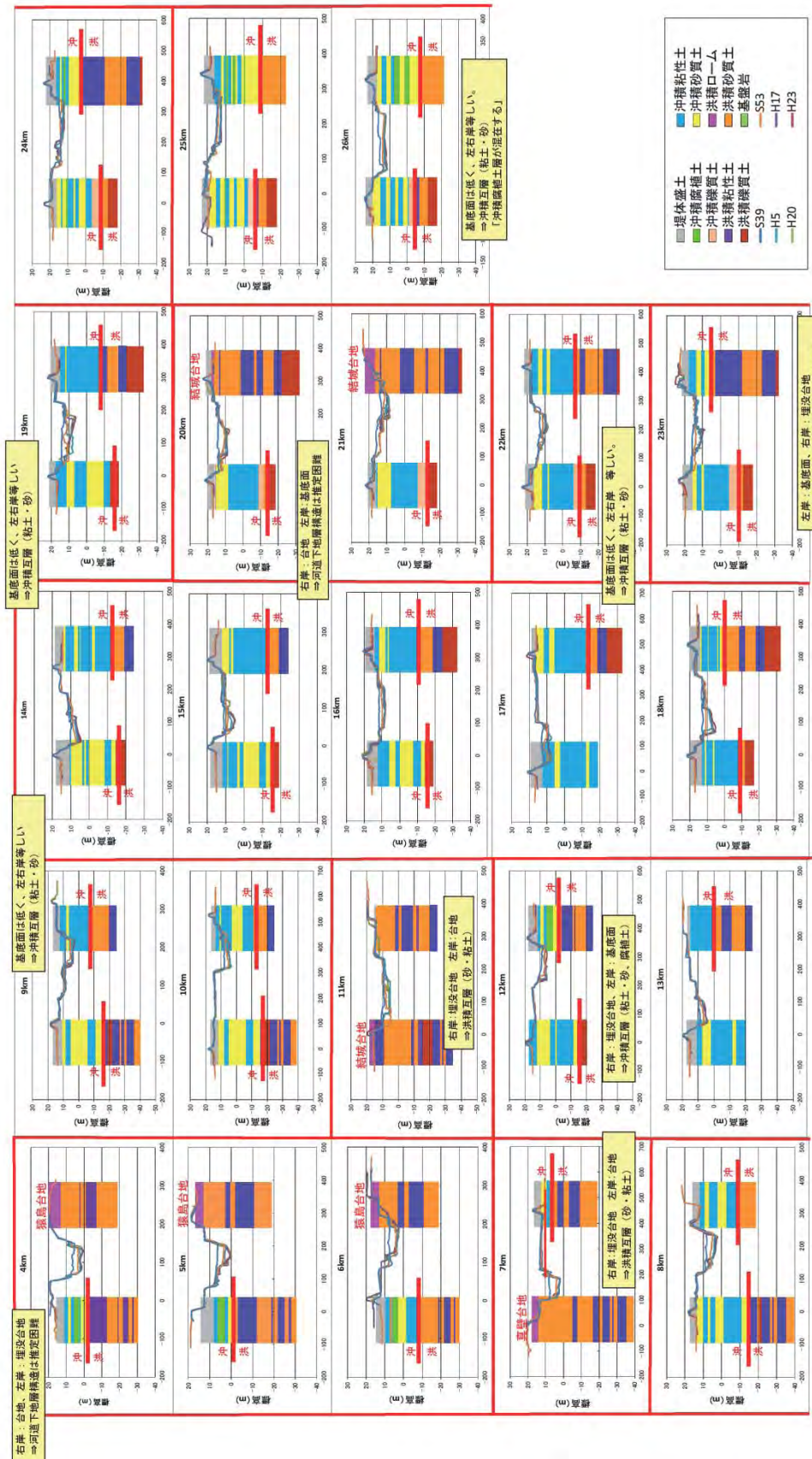


図 A.3.8 河道下の地層構造

(4) 主要流域ごとの標高、傾斜角度、地質区分別割合

○目的

- ・河川への供給土砂の量を把握するための基礎情報として整理する.

○整理すべき事柄

①国土地理院数値地図 50m メッシュ (標高) から, 対象流域の標高 (最大値, 平均値), 傾斜角度 (最大値, 平均値), 例えば傾斜角度 7° 以上の面積率を整理する.

→傾斜角度 0° は, 土石流 (泥流) が発生・発達する区域の目安として設定する.

→傾斜角の算出方法は, 各セルとその近傍間における最大の変化率を計算する傾斜角関数を用いて算出する.

②メッシュごとの地質区分を整理し, 対象流域の生産土砂量を推算する.

→①, ②の整理結果から「ダム堆砂量推計の手引き (案) 平成 17 年 4 月 国土交通省河川環境課」に示されている推定式を用いて生産土砂量を推算する.

○河道管理のための情報の読み取り方法

地形と合わせて土砂の流出しやすさを把握すると共に, 土石流の発生可能性を示唆する勾配を把握しておくこと, 一度に大量の土砂が発生する可能性の大小を把握することができる. 土砂供給量は, 山地の起伏度が大きく, 山地の標高が高く裸地部分が多い方が多くなる.

○留意点

- ・ダム堆砂量等の比較により推算した値の妥当性を検証する.

○事例（標高、傾斜角の整理および生産土砂量の推算）

土砂生産のポテンシャルを把握するため、傾斜角分布図を作成した。

傾斜による地形区分は、土石流や泥流の発生・発達する区域を目安として、傾斜角 7° 以上となる範囲を抽出した。

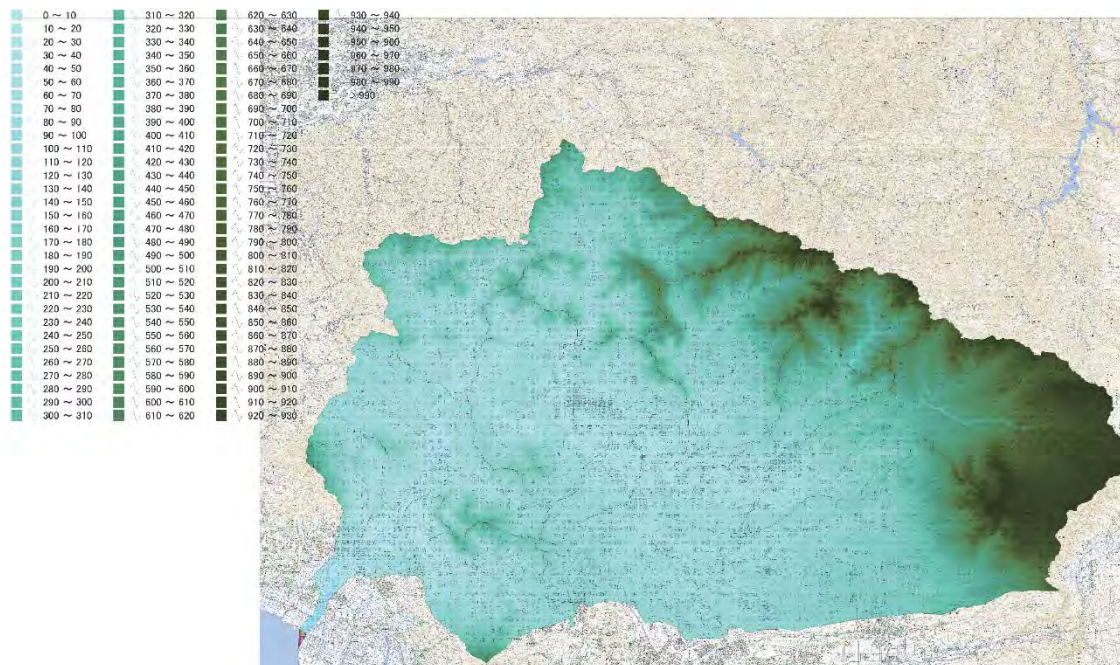


図 A. 3. 9 標高コンター図

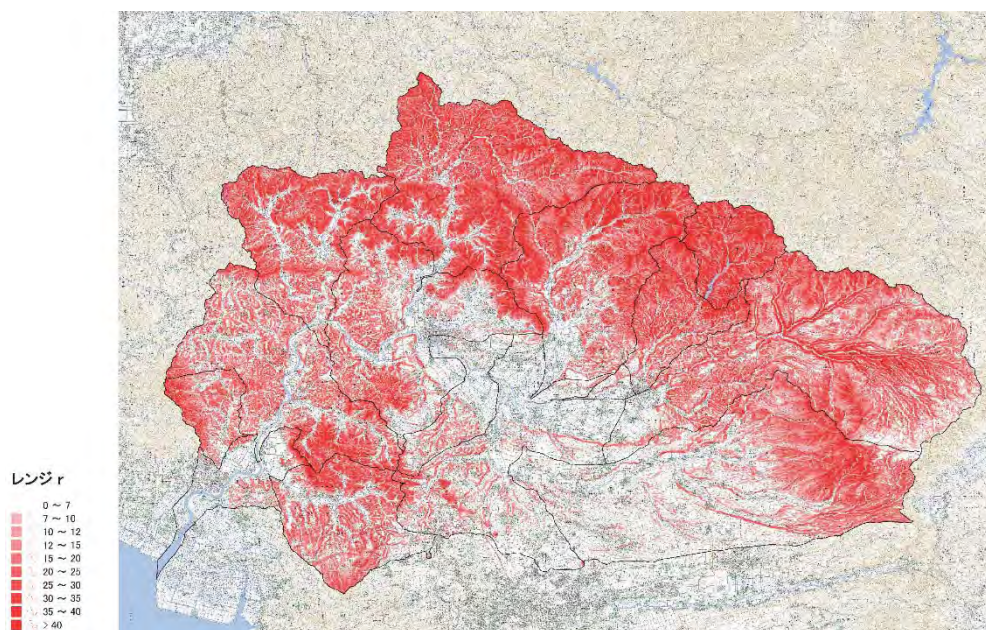


図 A. 3. 10 傾斜角コンター図

表 A. 3. 1 流域ごとの標高，傾斜角度，傾斜角度 7° 以上の面積率

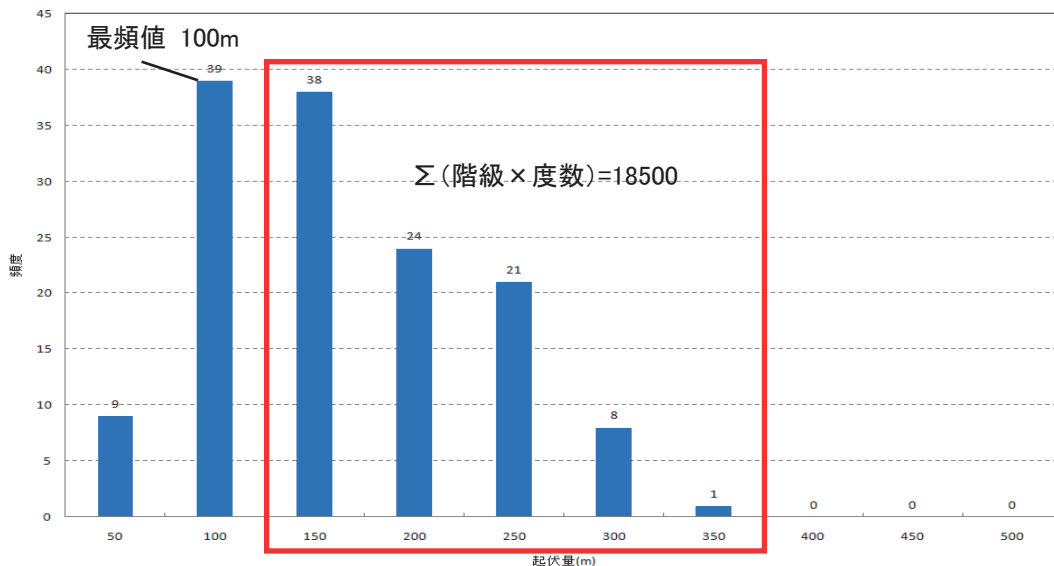
流域 No.	流域名	流域面積 (km ²)	標高 (TPm)		傾斜角度 (°)		傾斜角度 7° 以上の面積率
			最大値	平均値	最大値	平均値	
1	〇〇上流域	152.0	1092	566	52	14	70.6%
2							
3							
...							

表 A. 3. 2 流域 1 (〇〇上流域) の地質区分割合

	I	II	III	IV	合計
メッシュ数	111	29	1	3	144
地質区分割合	77	20	1	2	100

表 A. 3. 3 土砂生産量強度マップにおける地質区分

区分	特徴	細区分
I	軟質	①第四紀堆積層 (未固結層)
		②第四紀火山噴出物及び火山岩類
		③第三紀 (古第三紀を除く) 堆積岩
II	軟質～硬質	④第三紀火山岩類
III	硬質であるが，割れ目が発達する	⑤先新第三紀堆積岩類
		⑥変成岩類
IV	塊状・硬質 (マサは軟質)	⑦深成岩類



(起伏度) = (150m × 38 + 200m × 24 + 250m × 21 + 300m × 8 + 350m × 1) ÷ 144km² (3次メッシュ数) ≒ 132

図 A. 3. 11 流域 1 (〇〇上流域) 起伏量の分布

表 A. 3. 4 流域 1 (〇〇上流域) の流砂量の算出

地質区分	比流砂量推定式 (最小二乗法回帰式)	X※ 起伏度 × $\frac{\text{平均標高}}{100}$	比流砂量 y (m ³ /km ² /年)	地質 区分 割合 (%)	比流砂量 流域平均 (m ³ /km ² /年)
I	y=0.5447x+10.303	177.97	188.81	0.77	145.39
II	y=1.2662x-489	177.97	-309.77	0.20	0.00
III	y=0.4883x+358.31	177.97	536.76	0.01	5.37
IV	y=0.6655x+17.933	177.97	196.56	0.02	3.93
計					154.69

3.2. インパクト

3.2.1. 出水特性, 土砂供給特性

(1) 年最大流量 (経年変化)

○目的

- ・河道に与えるインパクトとしての洪水外力の現状, 経年変化を把握するための基礎情報として整理する.

○整理すべき事柄

①主要地点ごとの平均年最大を整理する.

- ・年最大流量の経年変化として, 年最大流量および平均年最大流量をグラフ化する (横軸: 年, 縦軸: 流量).
→年平均最大流量は, ほぼ低水路満杯流量に近く, 河道のスケールや平面形態を規定する流量として判断される.

②年最大流量 (平均年最大流量) に変動がある場合, その要因を分析する.

○留意点

- ・年最大流量の経年変化図の作成において, ダム設置や改修などの河道に与えるインパクトが大となることが想定される事柄を追記する.
- ・平均年最大流量の算定は, 全データでの平均化の他に, ダム設置前後で平均化するなど主要なインパクト (あるいは年代) ごとに算定する.
→分析する年代ごとに平均化するとよい.
- ・東北, 関東の河川においては, 昭和 30 年代半ばから昭和 50 年代初めは, 台風の襲来が少ないことから規模の大きな出水が無く, 一方, 平成 10 年以降は規模の大きい出水が多く, 平均年最大流量及びダム等の洪水調節効果の評価に注意を要する.
- ・また, 北海道の河川においては, 近年, 台風の上陸が増加し, 洪水流量が増加していることに注意を要する.

○河道管理のための情報の読み取り方法

年最大流量の時系列変化と, 自然のインパクト, 人為インパクトとの関係から流出特性の変化状況を読み取ることが重要である. 大洪水によって河床勾配が変わることはないと考えて良いため, 自然のインパクトは短期的なものであると考えられるが, 人工のインパクトは河川の流出特性を大きく変える一因となり得, その人為インパクトが存在する限り, 影響を受け続けることとなる.

○事例

昭和43年に洪水調節施設が設置されたことにより、平均年最大流量が約630m³/sから約340m³/sに約5割減少した。

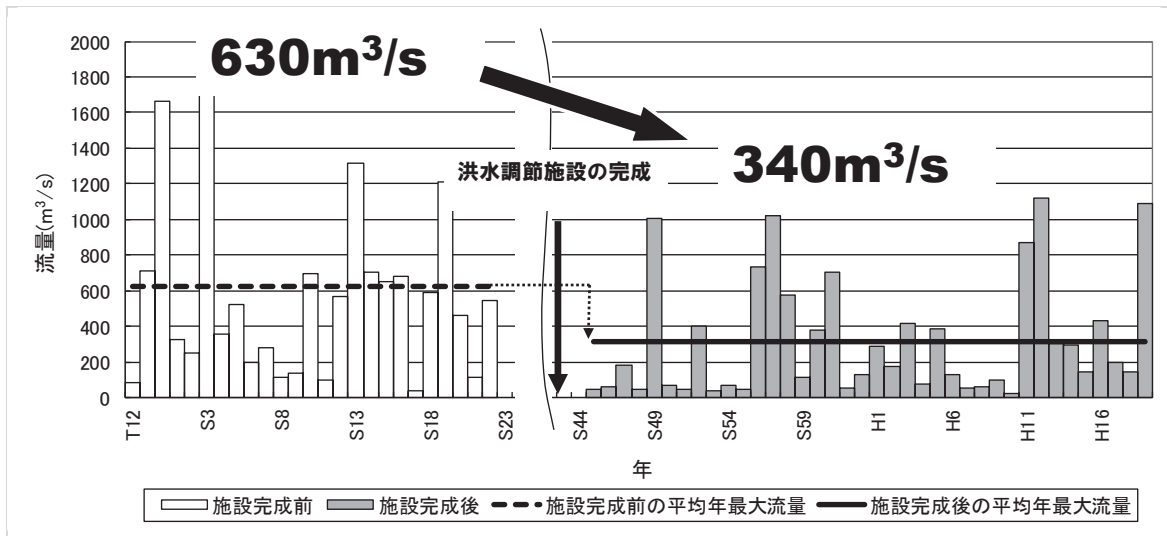


図 A.3.12 年最大流量の経年変化

(2) ダム堆砂量

○目的

- ・河川への供給土砂の量を把握するための基礎情報として整理する。

○整理すべき事柄

①ダム堆砂量報告より、各年の堆砂量等を整理する。

- ・堆砂量の経年変化として、堆砂量、累加堆砂量をグラフ化する（横軸：年、縦軸、堆砂量）。
- ・年最大流量も併せてグラフ化する（第二縦軸）。
 - 洪水の発生した年は、生産土砂量が多い（多くのダムの貯水池での堆積量変化より年ごとの流出土砂量は対数正規密度関数となることが知られている）。
 - 豪雨以外に生産土砂量を急増させる自然的要因は、大地震による山地の崩壊、火山噴火等がある。

○留意点

- ・年間堆砂量がマイナスとなっていることがある。浚渫等によりダム湖外に流出したものであるか確認する。累加堆砂量をグラフ化する場合に、浚渫量をマイナスとしないよう注意する（累加分に上乘せする）。

○河道管理のための情報の読み取り方法

現状の土砂供給量の目安となる。計画堆砂量との乖離が大きな場合はその原因を把握し、今後の予測材料とする。

○事例

ダム貯水池の堆砂量は、年々増加している。特に大きな出水が生じた年（昭和 57 年（1982）、平成 3 年（1991））は堆砂量が急増している。

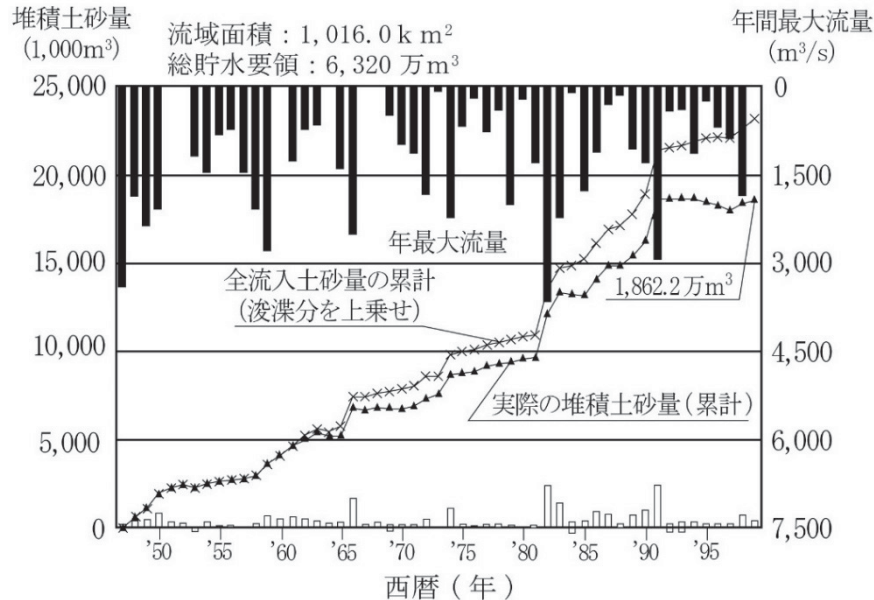


図 A. 3. 13 ダムの累積堆砂土砂量，年最大流量の経年変化

3.2.2. 改修履歴

(3) ダム設置履歴，砂防堰堤履歴，堰・床止め設置履歴

○目的

- ・河道に加えられた直接・間接の人為インパクトを把握するための基礎情報として整理する。

○整理すべき事柄

①ダム及び堰・床止め設置年代，設置位置（距離標）を整理する。

- ・河道への影響が生じ始めた時期として設置年代を整理する。年代にあわせて，影響範囲の基礎情報として施設設置位置について整理する。

②砂防堰堤の設置数の増加傾向を整理する。

- ・砂防堰堤の堆砂ボリュームの経年変化として，砂防堰堤の設置数（あるいは堆砂容量）をグラフ化する。（横軸：年代，縦軸：設置数，累計設置数（堆砂容量））

③各施設の設置年等を時系列で整理する。

- ・ダム，砂防，床止め等河道に加えられた人為的インパクトを総括する表として，各領域の主要な施設等の設置年を年表形式で整理するとともに，平面図等（事例参照）に整理する。

○留意点

- ・砂防堰堤については実績堆砂量があれば、実績堆砂量を整理（平均年比堆砂量に換算）しておくことが望ましい。
- ・ダム等施設は、縦断的にいつ・どこに設置されたか把握する必要があるため、図の作成においてはこの点に留意する。

○河道管理のための情報の読み取り方法

河道形成への人為インパクトの履歴であり、特に横断工作物については、縦断的变化点の形成履歴となる。

ダムは、砂防堰堤の建設と相まって河道の土砂供給量の減少の要因となる。また、洪水調節ダムは流量を平滑化することとなる。

横断工作物は、河床のコントロールポイントとなり、侵食基準面となる。また、大規模な取水を行う施設の場合は低水流量、平水流量を減少させる。これは河原植物の生育条件を変えうる。なお、これらの人為的インパクトによって河道がどのような応答を示すかは、前述した河床及び河岸の土質、地質に関する情報が必須情報となる。

○事例1 (設置年代, 設置位置)



図 A. 3. 14 ダム, 横断構造物 (床止め, 頭首工)

○事例 2 (砂防堰堤の設置数の経年変化)

(下図は、小流域ごとの砂防施設の計画貯砂量の経年変化)

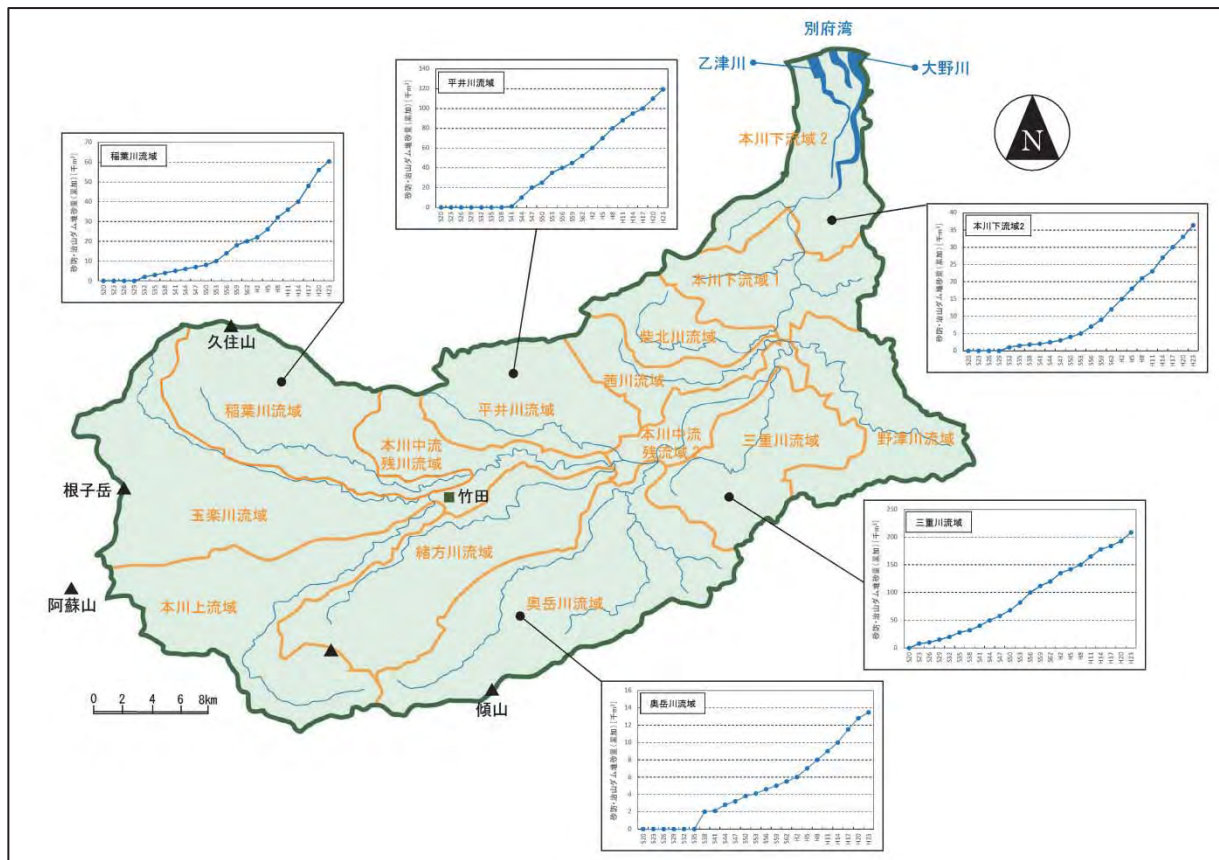


図 A. 3. 15 小流域ごとの砂防施設数の経年変化

○事例3 (各施設の設置年等の時系列整理)

表 A.3.5 人為的インパクトの時系列整理例

年代	人為的インパクト							
	河川事業 (本川・〇〇県)	貯水ダム ()総貯水容量	河川事業 (支川)	砂防事業				
明治 17年 33年	M17 直轄河川事業継続			M33 A川県砂防事業着手				
				直轄砂防事業効果量				
大正 2年 8年 12年	改修工事 (〇〇・□□・△△地区)		T8 A川直轄河川事業開始					
昭和 7年 9年 10年 11年 12年 13年 14年 25年 26年 28年 30年 34年 35年 45年 46年 50年 52年 60年 63年	掘削・堤防高上げ・護岸工事等 (〇〇・□□・△△・☆☆地区)	S13 Aダム完成(3.8百万m ³) S14 Bダム完成(1.9百万m ³) S50 Cダム完成(13.0百万m ³)	S9 B川県河川事業着手 S46~S52 B川で約7万m ³ の砂利採取 S63 C川激特事業により改修	S7 B川県砂防事業着手 S9 C川県砂防事業着手 S11 D川直轄砂防事業着手 S25 E川直轄砂防着手 S52 F川直轄砂防事業着手				
					T12~S9 工事等により毎年30~80万m ³ 河道へ搬出		累計 50万m ³	
					S10~S12 工事等により毎年10万m ³ ±河道へ搬出		累計 100万m ³	
					S26~S34 工事等により毎年10万m ³ ±河道へ搬出		累計 150万m ³	
					S35~ 砂利採取記録・工事による搬出記録抹詳		累計 200万m ³	
							累計 300万m ³	
							累計 600万m ³	
平成 3年 7年 12年 18年 23年	堤防強化・河道掘削等 (☆☆区間)	H3 Dダム完成(109.0百万m ³) H18 Eダム完成(153.0百万m ³)						

(4) 築堤履歴，護岸設置履歴（可能であれば整理することが望ましい）

○目的

- ・河道に加えられた直接・間接の人為インパクトを把握するための基礎情報として整理する。

○整理すべき事柄

①工事履歴等から，築堤・護岸の設置延長を整理する。

- ・工事履歴の経年変化として，左右岸別に築堤・護岸の設置延長を10年ピッチ程度の年代に区切りグラフ化する（横軸：年代，縦軸：設置延長）

②工事履歴等から，護岸設置位置・年代を整理する。

- ・工事履歴（工事施工履歴平面図）から現況の護岸設置箇所を把握する。

→可能な限り把握するものとし，既存の資料（工事施工履歴平面図等）を活用する。

※設置位置については，既存の資料（工事施工履歴平面図等）を活用することになるが，通常，体系的な整理がなされていない。そのため，可能な限り把握するとともに，作成した位置図については，今後の情報蓄積のベースとして活用することが望まれる。

○留意点

- ・改修履歴で整理した代表的な改修工事の年代を踏まえて，年代を区切る。

○河道管理のための情報の読み取り方法

築堤によって，低水路の平面位置変化の幅が規定される。堤体を何回かに分けて形成していれば複数の土質で形成されていることになる。

また，堤防の嵩上げは低水路満杯流量以上の流量時に高水敷上の流速を増大させ，低水路の水深と流速の増大をもたらす。

なお，堤体の地質は堤防詳細点検結果等で把握する。

○事例

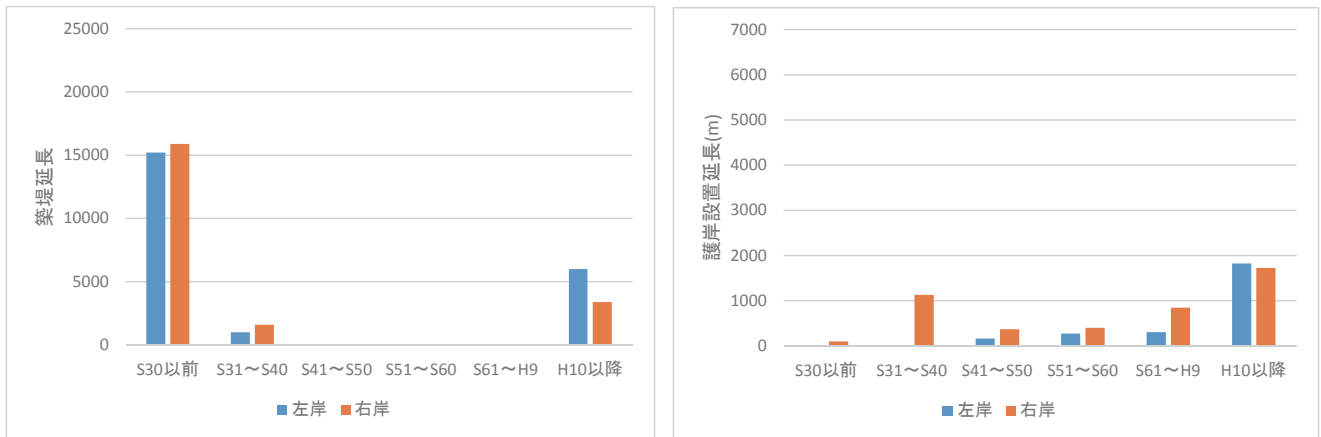


図 A.3.16 築堤履歴（左図），低水護岸設置履歴（右図）

- ・ 築堤については，第二次計画（昭和 30 年（1955）以前）の段階で大部分の築堤がなされており，近年新たな築堤は少ないが，平成の大改修（平成 10 年（1998）以降）において新たに築堤された区間も多い。
- ・ 低水護岸については，昭和 60 年（1985）以前（昭和 61 年（1986）出水前）の設置は少なからずあるものの，昭和 61 年（1986）出水及び平成 10 年（1998）出水を契機とした災害復旧による設置が大部分である。また，昭和 30 年代に右岸側の設置延長が多い。

(5) 河道掘削量，砂利採取量

○目的

- ・ 河道に加えられた直接・間接の人為インパクトを把握するための基礎情報として整理する。

○整理すべき事柄

①河道掘削報告および砂利採取許可量から，区間別，年代別に掘削量を整理する。

→河道掘削量（砂利採取量）を把握するため，年掘削量の経年変化をグラフ化（横軸：年，縦軸：掘削量（採取量），区間ごとの経年変化をグラフ化する（横軸：距離区分，縦軸：掘削量または砂利採取量を年代別に積み上げ）。

○留意点

- ・ 砂利採取量は，砂利採取許可量の 2 倍相当を実際には採取していたと推定されるため，河道掘削量と砂利採取量は分けて整理する。
- ・ 河道掘削については掘削形状（掘削方針）も合わせて整理する。

○河道管理のための情報の読み取り方法

人為的に実施された河道掘削による河床低下は，河床材料の変化に直結する。

砂利採取年代は絞られるが，量は正確に把握できないことも多い。まずは許可採取量で把握する。

また，今後の整備予定箇所も河道管理上の優先度を定める材料となることから必要に応じて把握しておく。

○事例

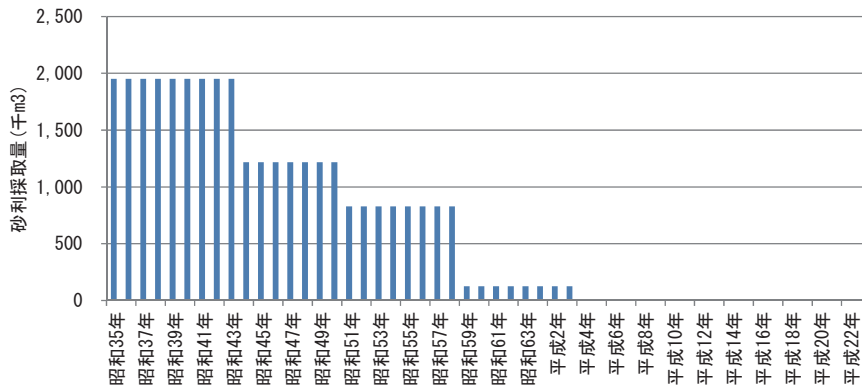


図 A. 3. 17 年ごとの砂利採取量

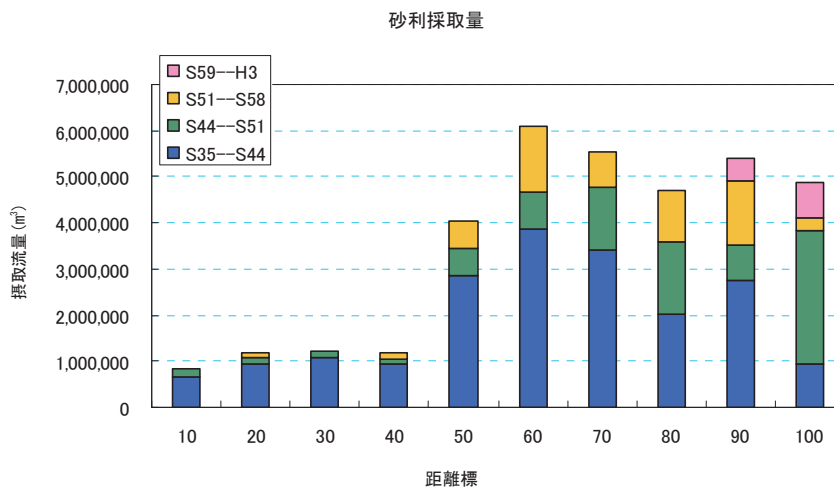


図 A. 3. 18 区間・年代ごとの砂利採取量

図 A. 3. 17 および図 A. 3. 18 より次のことが分かる.

- ・ 砂利採取は平成 3 年（1991）まで行われていたが、それ以降は実施されていない。
- ・ 経年変化をみると、昭和 30 年～40 年代にかけて砂利採取が盛んに行われていたが、その後、昭和 50 年代に入り、概ね 100 万 m³ 程度に減少し、その後昭和 60 年代に入り、更なる砂利採取規制により、さらに減少した。
- ・ 区間別にみると、50～100km 区間で砂利採取量の約 9 割程度を占めている。期間を経るに従い、砂利採取位置が上流に移っていることが分かる。

3.3. レスポンス

3.3.1. 河道特性

(1) セグメント区分（河床勾配，河床材料による縦断区分）

○目的

- ・一般的に河床勾配がほぼ同一である区間（＝セグメント区分）は，河道特性等が類似している．河道特性を分析・評価する上での空間的な分析単位として，セグメント区分しておく．なお，現在，直轄管理河川では，河川整備基本方針が策定されており，この中の河道計画においてセグメント区分がなされている．

○整理すべき事柄

①河川整備基本（あるいは河川整備計画）における河道計画のセグメント区分を再整理する．

→セグメント区分は，河床勾配，代表粒径（ d_{60} ）を基に区間区分し，セグメント（1，2-1，2-2，3）を設定する．

→セグメント区分は，河道特性の分析・評価の目的に応じて，適宜見直す．

②各セグメントの河床勾配，砂州形状，横断工作物設置状況，河床下地質状況等の特徴を整理する．

○留意点

- ・河道の変化を規定する要因を総合的に捉えて，今後の河道変化が同一の傾向で生じるであろう区間として設定する．
- ・セグメント区分時の代表粒径の設定においては，河床材料調査の全データを機械的に処理すると実態と異なった設定となる場合があるため，必要に応じて当該箇所を勘案した上で粒径集団の分布状況から代表粒径の見直しを行うことが望ましい．

○河道管理のための情報の読み取り方法

河道特性を規定する主要因子は年最大流量，代表粒径，河床勾配であり，セグメントはこれらを総合的に勘案して評価されるものである．

セグメントは土砂の堆積分級の基本単位である．河床に働く掃流力と粒径の関係はセグメント形成の具体的な現れであり，沖積河川の基本的な構造であることを示す．

○事例（鬼怒川のセグメント区分）

表 A.3.6 セグメント区分

距離標	セグメント	河床勾配	代表粒径
0～3	2-2-③	1/2500	0.5mm
3～30	2-2-②	1/2500	0.5mm
30～34	2-2-①	1/1500	0.5mm
34～44	2-1-②	1/1700	42mm
44～48	2-1-①	1/710	42mm
48～66	1-④	1/450	48mm
66～80	1-③	1/360	60mm
80～89	1-②	1/245	95mm
89～101	1-①	1/190	97mm

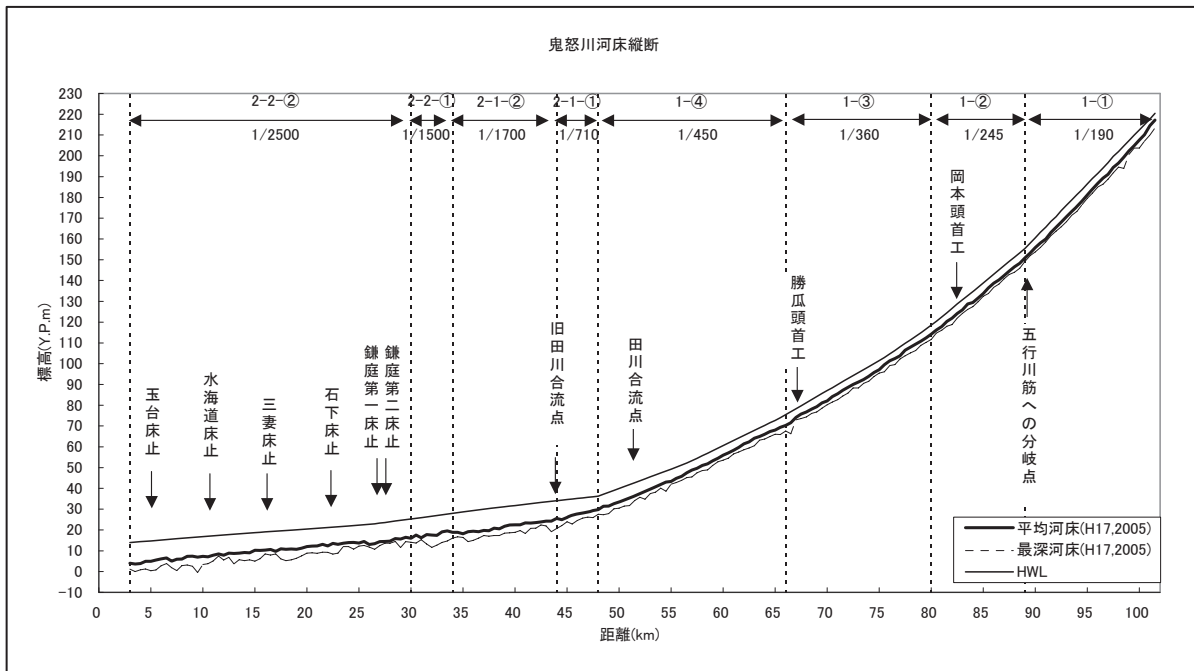


図 A.3.19 セグメント区分の縦断分布

1) セグメント 2-2-③=0～3 k m

本区間は利根川・鬼怒川の水位の低下を図るために、利根川と鬼怒川の合流点の位置を 2200m 引き下げ付け替えた 1.6 k m 以下は掘削河道区間である。利根川第三期改修工事として実施され、大正 4 年（1915）に新河道の通水と旧川の締め切りを行っている。本区間は利根川の水位の影響を受ける背水区間でもある。昭和 35 年（1960）頃までは河床に砂州の発生する砂川河川であったが、利根川の水位低下および鬼怒川の砂供給量の減少により 2.2 k m 付近には河床に更新統のシルト・粘土層が露出している。

2)セグメント 2-2-②=3~30 k m (ただし3~6 k m更新統堆積物を除く)

本区間は砂川の特徴を持つ河道であった。このうち7.2~34 k m区間は10世紀半ばに鬼怒川の流路筋となった河道であり、1000年程度の経過時間しかない。26.2~28.2 k m区間は鎌庭捷水路といわれる人工的に河道を直線化した区間で、ここには2基の床止め工が設置されている。昭和3年(1928)から工事に掛かり、昭和10年(1935)に通水したものである。

本区間は、昭和35年(1960)ごろまでは砂川であったが、高度経済成長期の砂採取と供給砂の減少により、河道に沖積粘土層や洪積層が露出する区間が長くなり、現在では砂川とは言えず穿入河川となっている。

河床勾配は1/2500程度である。

3)セグメント 2-2-①=30~34 k m

河床材料は基本的には砂であるが、流量が平均年最大流量を超えると水面勾配が下流の小セグメントより急になり掃流力も大きい。中出水以上の洪水においては河床が小砂利となる可能性がある。30 k m付近は鬼怒川が下妻台地の南側を流れ小貝川筋を流れた時(8世紀中ごろ以前)の流路位置に当る。

河床勾配は1/1500程度である。

4)セグメント 2-1-②=34~44 k m

本区間は、砂利川から砂川に変化する区間で、河床には砂利部(瀬)と砂部(淵)が分離して存在するようになる。川幅は200mと狭いが高水敷幅が一定しない。高水敷が冠水するような洪水時の水面勾配は、高水敷が広い37~44kmで緩く、これより下流の高水敷の狭い区間で急になる。本区間の39~44 k m区間は、近世に迂曲していた河道を人為的にショートカットした可能性が高い。34~39 k m区間は、8世紀半ばから主流筋でなくなったが、17世紀前期に人為的に戻した。この区間は人為的にショートカットされた河道である可能性が高い。

河床勾配は1/1700程度である。

5)セグメント 2-1-①=44~48 k m

本区間は、扇状地状の河川が砂川に変わる遷移区間で、勾配が緩くなり、川幅が400mから200mに急減している。単列砂州河道である。

河床勾配は1/710程度である。

6)セグメント 1-④=48~66 k m

本区間は上流のセグメント1-②に比べて沖積谷幅が広がる区間である。

河床勾配1/450程度である。

7)セグメント 1-③=66~80 k m

本区間の宝積寺台地と宇都宮台地に挟まれた狭い沖積谷を流れている。左岸78 k m、67~68 k m地点は台地に接近して流れている。67 k m下流には、昭和44年(1969)、勝瓜頭首工が建設されている。可動堰部が左岸側にあり、鬼怒川のみお筋を左岸に固定していた。

河床勾配は 1/360 程度である。

8)セグメント 1-②=80～89 k m

本区間は上流のセグメントより少し勾配が緩く 1/250 程度の扇状地的河道特性を持つ区間であるが、沖積谷幅が堤防間幅の 2～3 倍程度しかない。

83 k m 付近は、左岸は宝積寺台地に接近し、東北本線、国道 4 号が通り、堤防間幅が狭い。その直下流には、昭和 61 年（1986）に岡本頭首工が建設された。岡本頭首工を挟む 84～79 k m 区間の河床下の浅いところに新第三系のシルト・泥岩が存在し、一部河床に露出している。

河床勾配は 1/245 程度である。

9)セグメント 1-①=89～102 k m

本区間の最上流部は新第三系の地質からなる山が両側から迫り、その間が鬼怒川の河原となっている。本セグメントは最上流を扇頂とする扇状地地形を流下する。沖積扇状地の幅は 89 k m 地点で 6.5 k m である。

この鬼怒川の右岸側扇面には西鬼怒川という分派河道があった。享保 8 年（1723）の洪水後、分派水路となったものである。明治 31 年（1898）、旧流入口は二重の石堤により締め切りが完成した。

鬼怒川 90 k m 地点は宝積寺台地の最北端であり扇面を二分している。鬼怒川の左岸側の扇面は五行川筋を流れる扇面と繋がっている。この左岸側の扇面が鬼怒川本川となったという歴史記録はない。

本区間の河床勾配は 1/190 程度である。

(2) 水理諸量（代表粒径，水深，摩擦速度，無次元掃流力，川幅水深比，水深粒径比）の縦断変化

○目的

- ・各河道特性構成要素（洪水時の水理量，河道の平均的なスケール，小規模河床波と流れの抵抗，土砂の運動形態とその量，河道の平面形，河道の横断形，河道の縦断形変化特性，人的作用による河道特性の応答特性）間の関係について分析する。各河道特性構成要素は，洪水時の河道特性量と密接な関係があることが明らかにされているので，他の河川と同じような特性をもっているのか，また特異なものであるか把握できる。特異なものであればその原因について分析・解釈していく。

○整理すべき事柄

①平均年最大流量を設定する。

→年最大流量の経年変化で整理した値を用いる。

②代表粒径を設定する。

→河川整備基本方針（あるいは河川整備計画）における河道計画で検討された値を用いることを基本とする。

→代表粒径の縦断図を作成し，代表粒径の妥当性を確認しておく。

→必要に応じて（例えば、算出した掃流力が沖積河川の平均値と著しく異なる場合など）、粒度分布形を基に代表粒径を再設定する（セグメント区分の留意点参照）。

③断面ごとの水理諸量を算出する。

→低水路満杯水位を算出する（平均年最大流量を外力として不等流計算によって水位を求めることも可能）。

→上記から低水路平均水深を算出する。

→低水路平均水深から、掃流力（摩擦速度、無次元掃流力）、川幅水深比を算出する（低水路川幅は事前に整理しておく）。

④水理諸量の縦断変化を整理する。

→水理諸量について、縦断変化をグラフ化する（横軸：縦断距離、縦軸：各水理量）。

→セグメントごとの平均値を図化および数値で表記する。

→グラフにはセグメント区分、セグメント区分における河床勾配、代表粒径を表記する。

⑤河道特性の評価を行う

→得られた掃流力（摩擦速度）を日本の一級河川沖積河道区間における代表粒径と掃流力の関係図にプロットする。

○留意点

- ・低水路満杯流量によって水理量を算出する（高水敷が冠水する水位によって算出しない）。特に、低水路河岸が明確でない区間（主に扇状地河川（＝セグメント1））については、平均年最大流量流下時の水位を適切に設定し、水理量を算出する。
- ・川幅については、各時点の横断形状および平面形状や植生分布から、低水路として適切な範囲を判断して設定する。（出水前後で地形変化がなく、植生（木本・高茎草本）が継続して繁茂している箇所は、冠水していても低水路としない等）
- ・低水路に働く掃流力は、摩擦速度の2乗 cm^2/s^2 でグラフ化することが望ましい。

○河道管理のための情報の読み取り方法

年平均最大流量時に河床に働く掃流力と河床材料の大きさに密接な関係がある。これらの関係により河道のスケール（河幅、河積、水深）が規定される。また、砂州においては川幅水深比が砂州の列数を規定し、河道の平面形状を規定する重要な因子である。これら諸量のバランスを総合的に分析し、現状の条件下（インパクト）における河道の動的平衡状態（スケール、砂州列数等）を見定め、現状の河道を評価し、動的平衡状態に向けた今後の変化（レスポンス）の有無・方向性を予想する。

○事例（代表粒径）

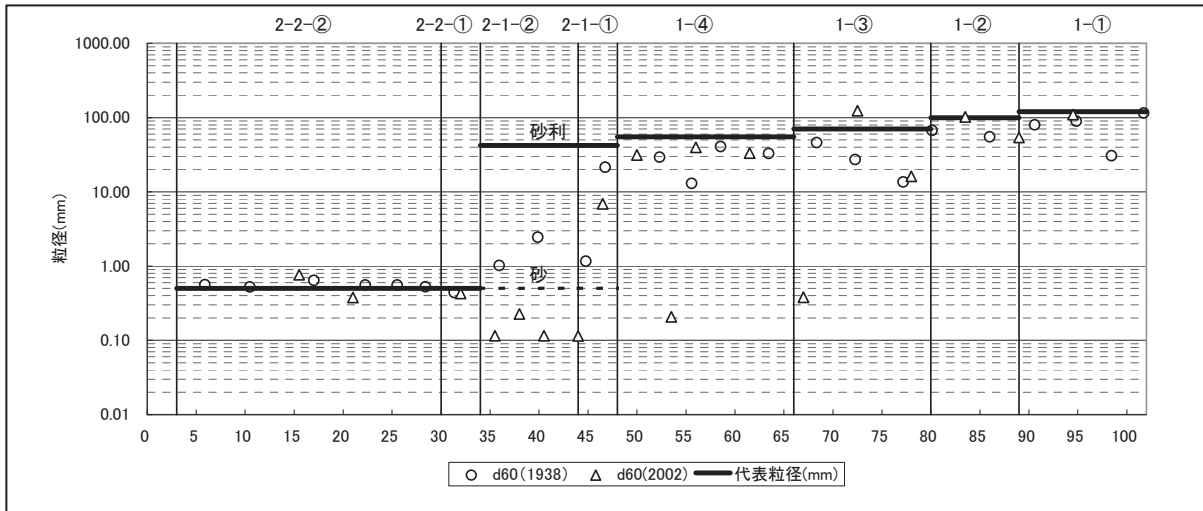


図 A. 3. 20 代表粒径縦断面

- ・現在セグメント 2-2 の区間の河道区間は河床が沖積粘性土あるいは洪積シルト層となっているところが多く、採取された河床材料の構成材料は、細砂集団とはシルト・粘土集団となっているところが多々あるが、ここでは粗い材料である中・粗砂集団（0.5mm）を代表粒径 d_R とした。
- ・なお、セグメント 2-1 については、代表粒径を 42mm としたが 0.5mm の中砂集団が 30～7% を占めており、粒径集団を決定しがたい。

○事例（水深）

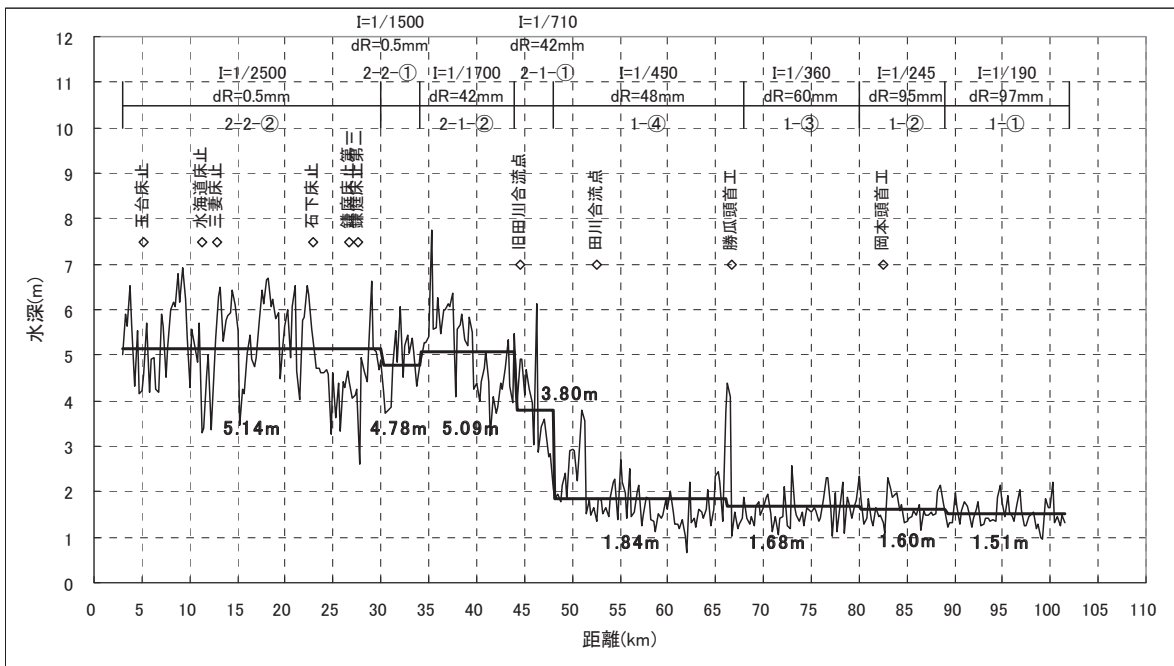


図 A. 3. 21 低水路水深の縦断変化

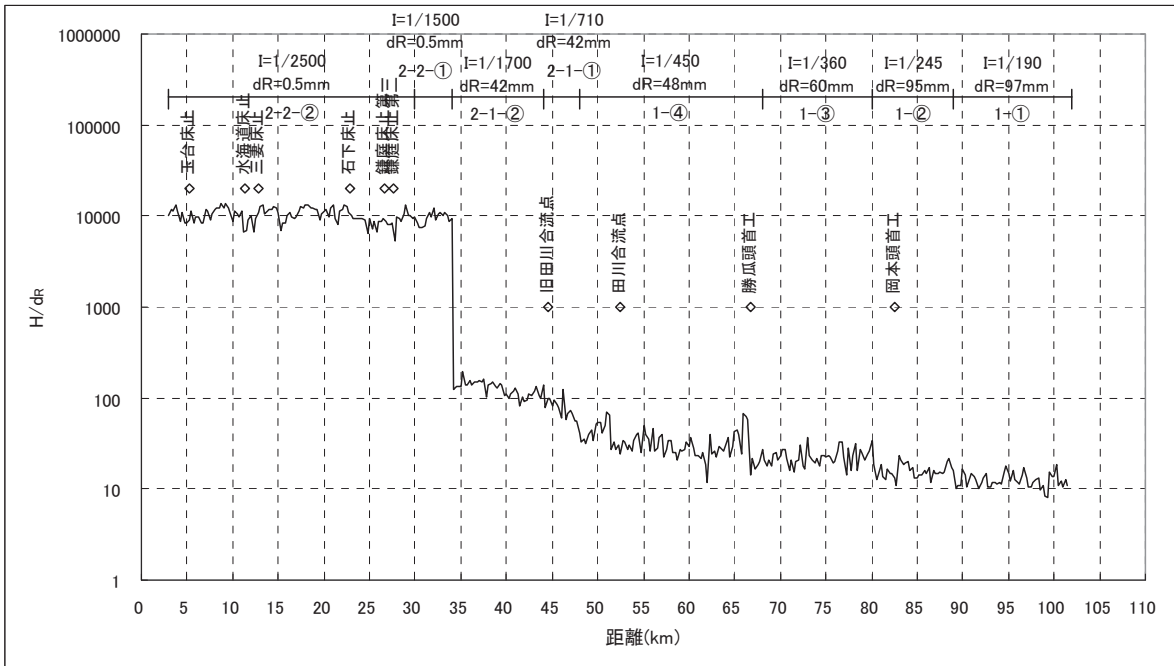


図 A. 3.22 低水路水深粒径比の縦断変化

- 水深はセグメント 1-①及び②の区間で 1.55m 前後であり、セグメント 1-③で 1.7m 前後、セグメント 1-④で 1.8m 前後である。セグメント 2-1-で水深が増加し、3.8m 程度、セグメント 2-2 で 5~5.5m 程度である。

○事例（掃流力）

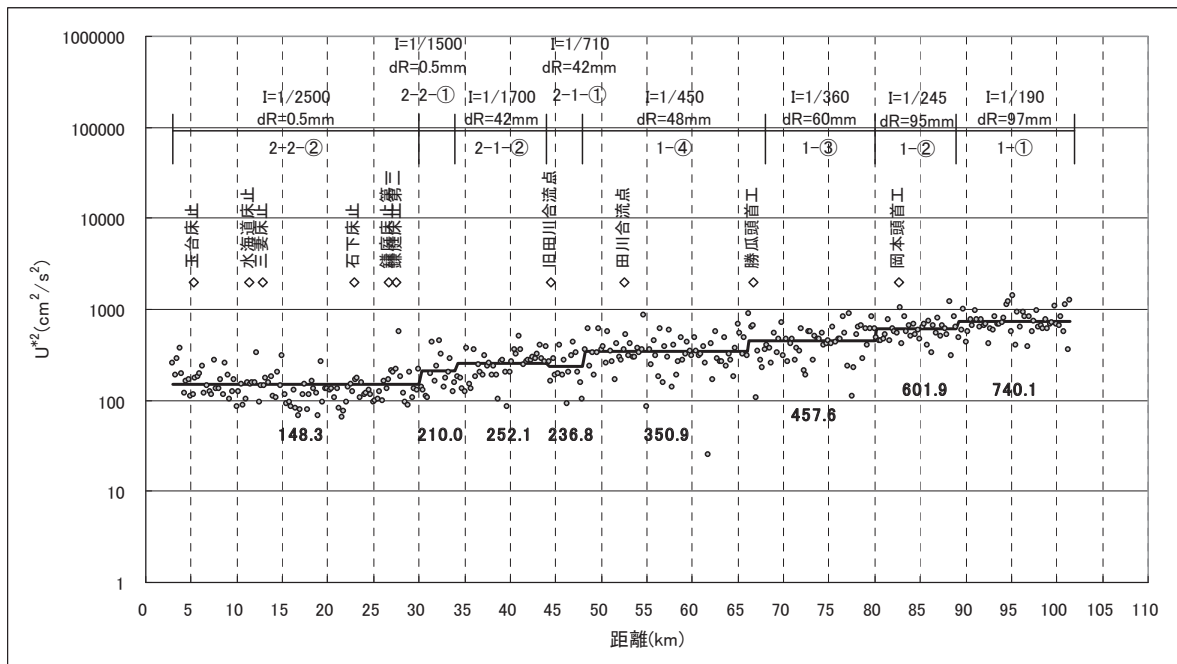


図 A. 3.23 摩擦速度の縦断変化

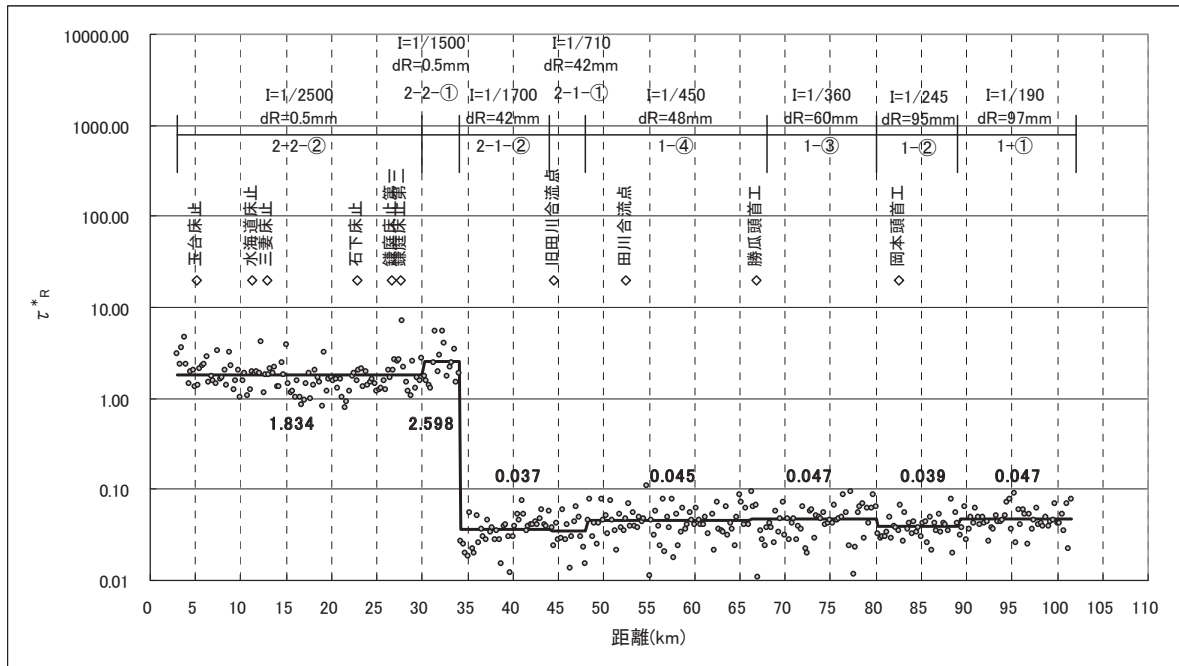


図 A. 3. 24 無次元掃流力の縦断変化

- $1380\text{m}^3/\text{s}$ 時のセグメント 1 および 2-1 の無次元掃流力が $0.039\sim 0.047$ となっている。 $1500\text{m}^3/\text{s}$ 時においても $0.041\sim 0.050$ である。 この値は他の日本の扇状地河川より小さい。 逆にセグメント 2-2 の無次元掃流力は大きい。

○事例 (川幅水深比)

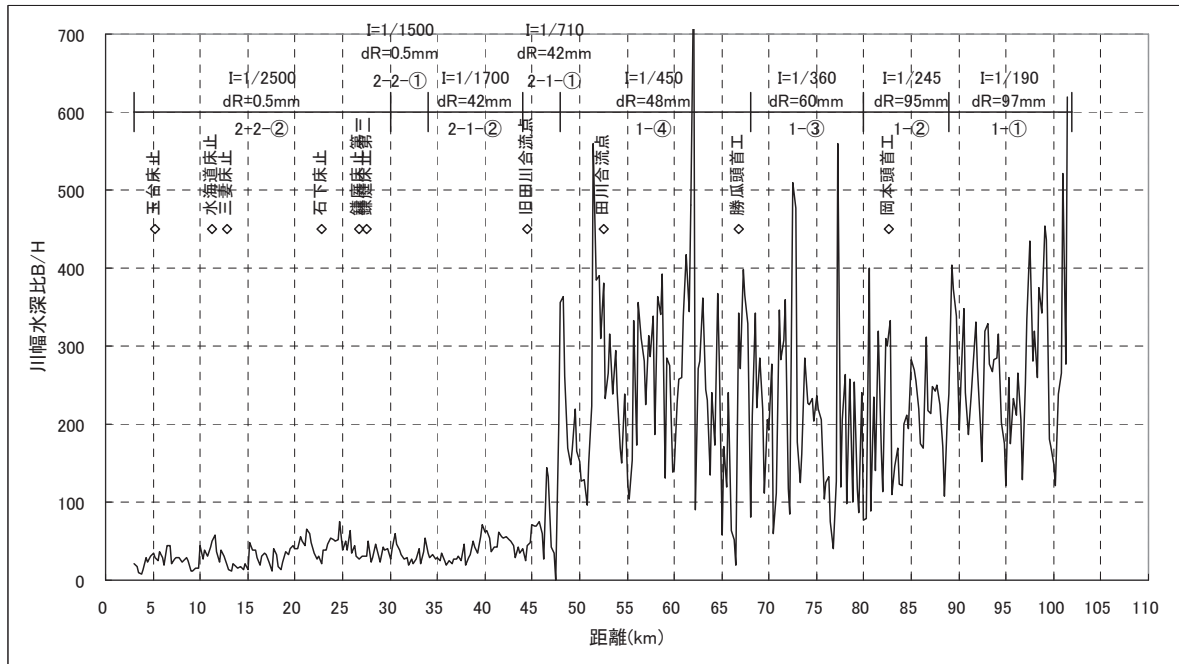


図 A. 3. 25 川幅水深比の縦断変化

- ・川幅水深比はセグメント 1 の区間で 100~300 の間であり、2~6 列の砂州が発生する区間である。
- ・セグメント 2-1 では 50~150 程度で上流のほうが大きい。セグメント 2-1 の最上流では複列の砂州の発生する領域であるが大部分は単列砂州となる区間である。自然河川であれば迂曲あるいは蛇行する平面形状になる特性を持つ。
- ・セグメント 2-2 の河道は川幅水深比が 20~40 程度であり自然河川では蛇行河川となるが、現河川の蛇行度はあまり大きくなく平面形状の人為的改変の影響を受けている。

○事例（河道特性量の評価）

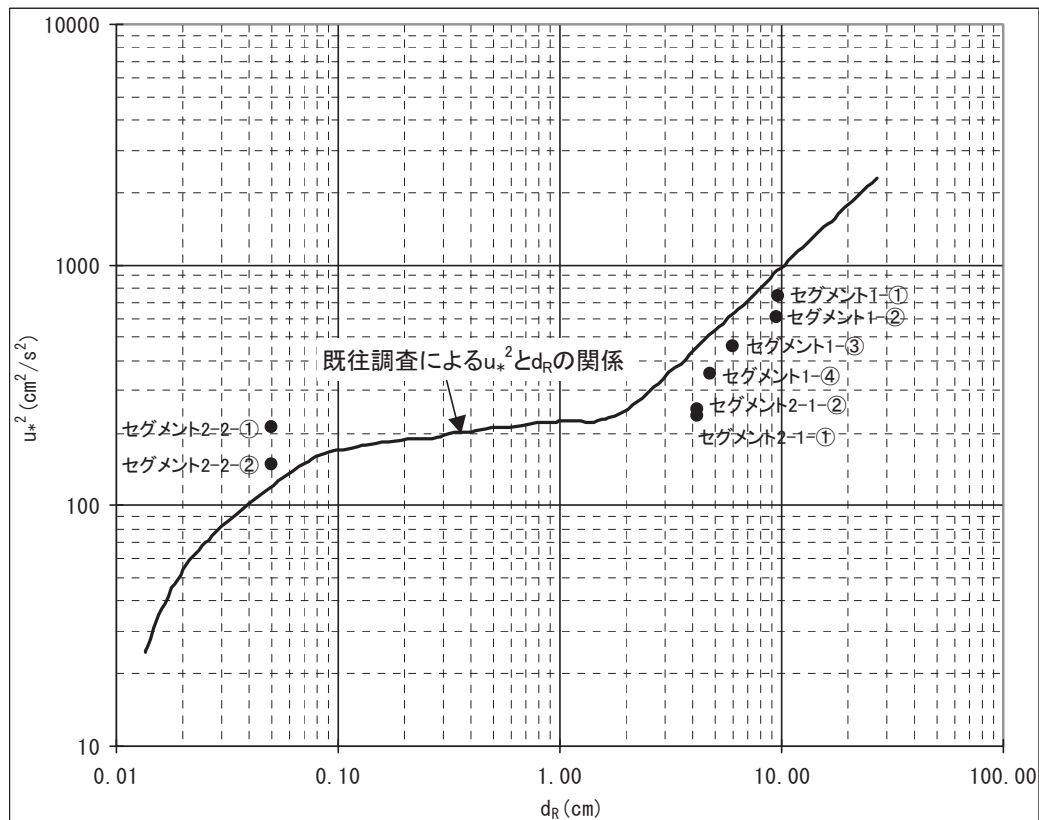


図 A. 3. 26 鬼怒川の河床材料代表粒径と掃流力の関係

- ・セグメント 1 における代表粒径 d_R に対する摩擦速度の 2 乗 u_*^2 の値は、日本の他の河川より小さな値となっている。小さくなった理由として次のことが考えられる。
 - ①平均年最大流量の評価における平均化の長さの問題である。川治ダム完成後の 25 年間の平均である $1380\text{m}^3/\text{s}$ を用いて評価したが、近年は $1500\text{m}^3/\text{s}$ を越えている。 $1500\text{m}^3/\text{s}$ で評価すると摩擦速度の 2 乗 u_*^2 の値は $1380\text{m}^3/\text{s}$ 時の値の約 1.06 倍となる。
 - ②掘削終了から 15~30 年の経過時間でしかないので河道掘削の影響がまだ残っており、河積が動的平衡状態に至っていないということが考えられる。
 - ③各小セグメントの代表粒径の評価法およびサンプリングされた河床材料の代表性の問題である。
 - ④河道特性を規定する関数関係の持つ蓋然性の幅（関係線からの差異のばらつき）である。

- ・セグメント 2-1 の区間は、河床材料が中砂と 4 c m 程度の砂利からなる。砂利川から砂川へ遷移する区間であり、砂利川とも砂川とも言えないような摩擦速度の 2 乗 u_*^2 値となっている。
- ・セグメント 2-2 における代表粒径 d_r (0.05 c m) に対する摩擦速度の 2 乗 u_*^2 の値は、日本の他の河川より大きな値となっている。現河道は砂川と言えず、粘性土の穿入河道になりつつある。沖積粘性土が露出した区間は、河床に溝状水路が形成され、掘残されたところは平坦面を形成し草本類が進入し浮遊物質が堆積し始めている。河道として過渡期にある状態である。

3.3.2. 河道特性要素の経年変化

(1) 平均河床高，最深河床高の経年変化

○目的

- ・河道変化として河床高の時間的・空間的変動を把握するための基礎資料として整理する。

○整理すべき事柄

①平均河床高，最深河床高の経年変化図を作成する。

- ・定期横断測量を実施した年ごとに、5~10km を 1 区分として平均河床高，最深河床高のそれぞれの区間平均値を算出し、基準年（測量開始年）からの変動量としてグラフ化する（横軸：年，縦軸：基準年からの変動量）。
- ・主要洪水の情報（生起年，流量規模等）をグラフに添付する。
→河床高の変動は、洪水との関連性が高いことから、主要洪水の生起年に洪水名や流量規模を明記し、分析・評価に資するものとする。
- ・必要に応じて砂利採取量をグラフに添付する。

②最深河床高変動量の縦断図を作成する。

- ・最深河床高については、①によるグラフ化では洗掘が進行している箇所が特定できないため、最深河床高変動量の縦断図を作成する。
- ・定期横断測線ごとに基準年からの変動量を整理し、縦断図にグラフ化する（横軸：縦断距離，縦軸：基準年からの最深河床高の変動量）

③経年変化図より，河床高の時間的・空間的変動状況の特徴を整理する。

○留意点

- ・平均河床高の算定にあたって、平均年最大流量時水位（低水路満杯流量）の設定や低水路河岸の設定が適切でなく、低水路満杯流量以上（高水敷を含めて川幅を評価）で水面幅を除すなど低水路平均河床高の設定として不適切にならないよう注意を要する。
- ・低水路河岸の設定は、河道特性諸量の算出時の設定と整合を図る。

○河道管理のための情報の読み取り方法

砂利採取やダム建設など土砂供給が大幅に変化するような人為的インパクトの発生や洪水のような自然のインパクトとの関係が、どの年代にどのようなインパクトを受けてどのように変化し

たかを把握するための技術的視点として重要である。

また、平均河床高の経年変化と最深河床高の経年変化の傾向が異なる場合に注意する。最深河床高が低下傾向にある場合には二極化が疑われる。また、平均河床高の変化は横断工作物によってコントロールされているため、代表的な横断工作物との関係で把握する。

○事例（河床高の経年変化図）

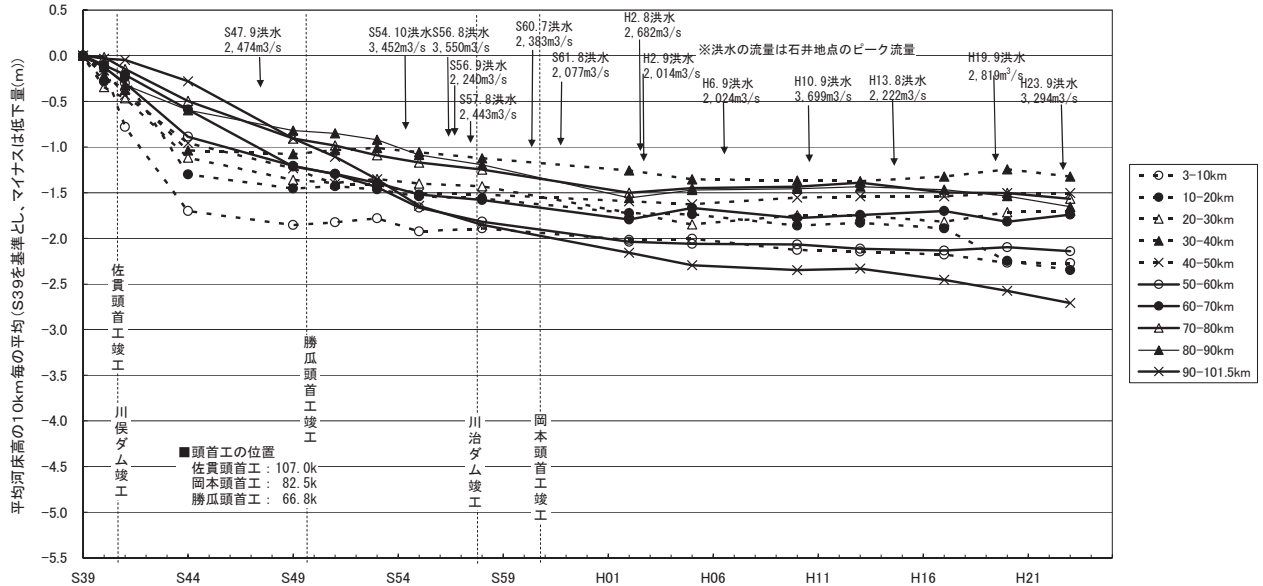


図 A.3.27 平均河床高の経年変化

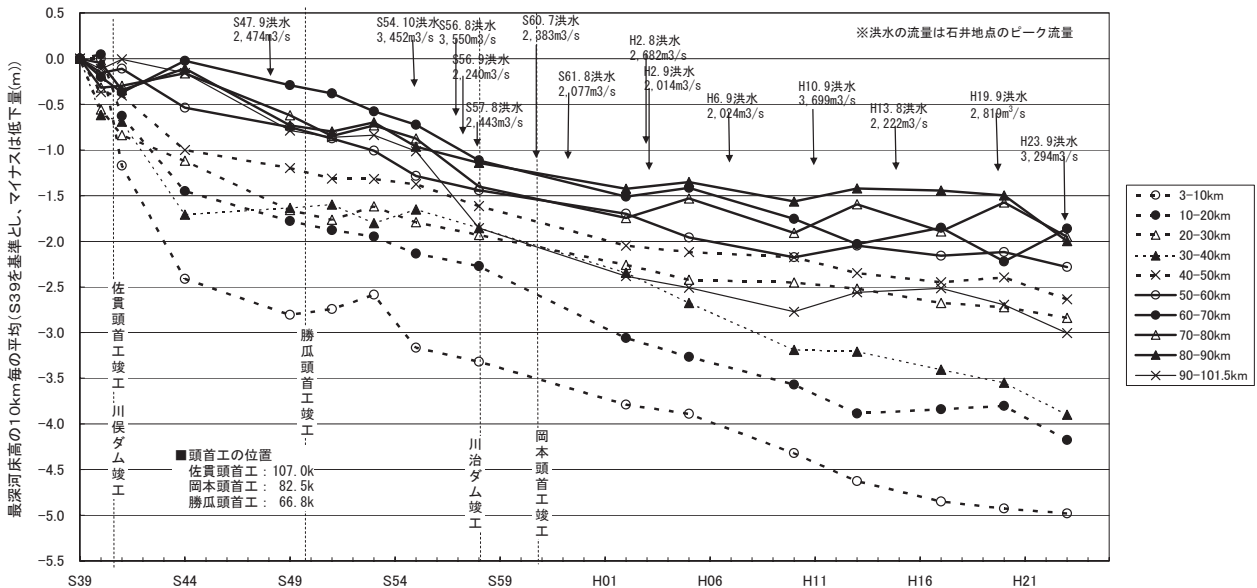


図 A.3.28 最深河床高の経年変化図

- ・ 砂利採取量が多かった昭和 35 年（1960）～昭和 44 年（1969）の間では、60km より下流での河床の低下量が大きく、下流区間で 7 ヶ所の床下が設置されている。
- ・ 石井地点のピーク流量が 2,000 m³/s を超える洪水が頻繁に生じた昭和 54 年（1979）～昭和 57 年（1982）の間に、河床は全体的に低下している。

- ・砂利採取量が減少した昭和 60 年（1985）以降は、平均河床の低下量は緩やかに低下傾向にあるが、最深河床は以前と変わらない速度で低下しており、河道の溝化が進んでいる傾向が伺える。
- ・平均河床高は平成 2 年（1990）以降、安定又は緩やかな低下傾向にある、10～20km 区間で平成 17 年（2005）～20 年（2008）間において河床が大きく低下している。
- ・平成 17 年（2005）以降、最深河床高については、全体的に低下傾向であり、特に 10～20km、30～40km 区間の進行が大きい。

○事例（最深河床高変動量の縦断図）

（平成 2 年（1990）からの変動量をグラフ化）

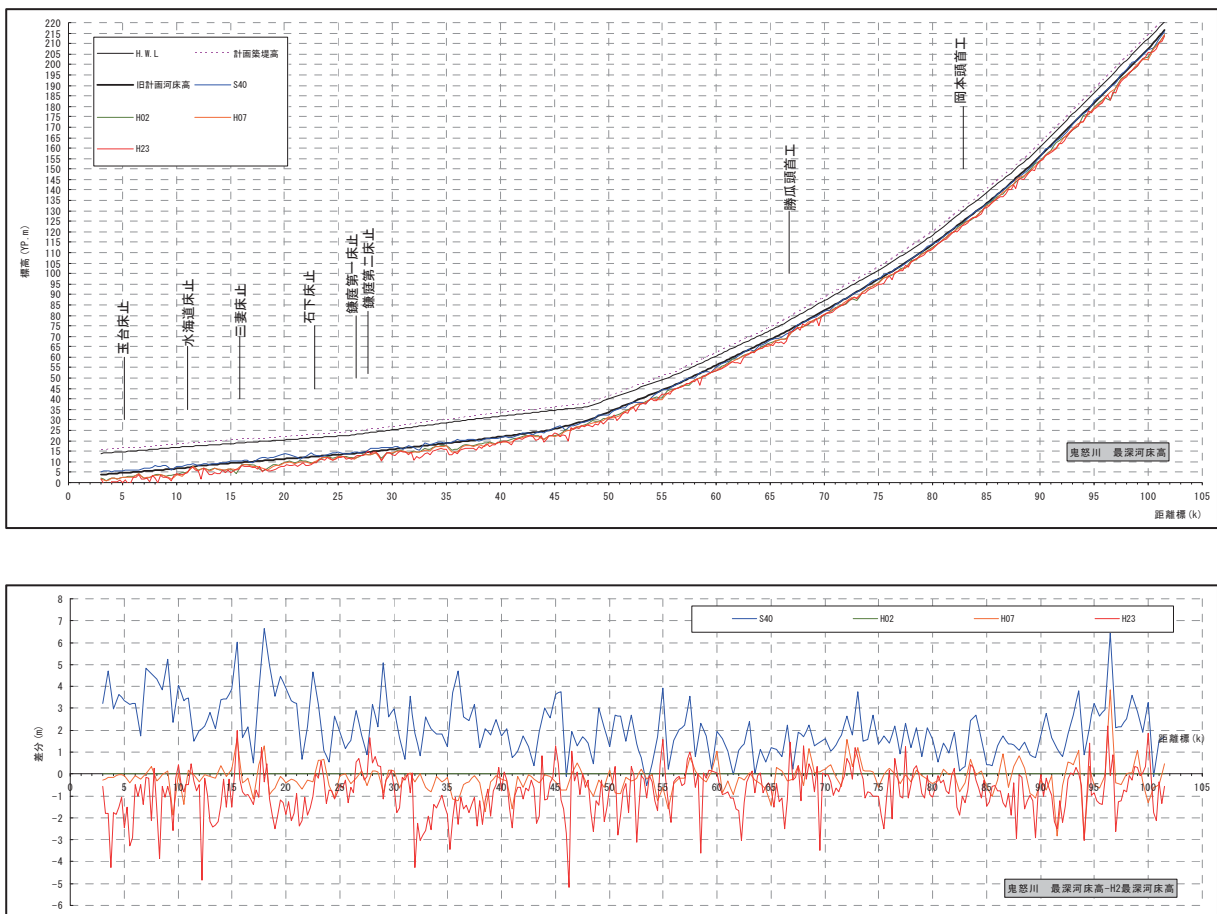


図 A. 3. 29 全川における河床高縦断図及び平成 2 年（1990）を基準とした河床高変動量

(2) 横断形状の経年変化

○目的

- ・河道変化として河道形状の時間的（空間的）変動を把握するための基礎資料として整理する。

○整理すべき事柄

①定期横断測量の経年変化図を作成する。

- ・作成にあたっては、ダム設置や改修などの河道に与えるインパクトが大となることが想定される事柄を踏まえ年代区分した上で、例えば 10 年ピッチで作図する。

→分析する年代ごとに作図するとよい。

→定期横断測量実施年の全ての年で作図すると図が煩雑となり、分析・評価すべき事柄が不鮮明となる。

→年代ごとの河道形状の把握（識別）の容易性に考慮し、線種・色等の工夫を行う。

- ・特徴的な変化は図上に明記する。

②経年変化図より、河道形状の時間的（空間的）変動状況の特徴を整理する。

→空間的な変動を把握する上で、セグメント単位で分析・評価するとよい。

○留意点

- ・経年変化図には、HWL を記入する。

- ・変化を捉えるうえで参考となる出水の痕跡水位や、現況河道の平均年最大流量時の水位を必要に応じて記入する。

○河道管理のための情報の読み取り方法

横断形状には、流水の掃流力、土砂供給量、浸食、堆積作用のバランスが現れる。このため、砂利採取やダム建設など土砂供給が大幅に変化するような人為的インパクトの発生や洪水のような自然のインパクトとの関係が、どの年代にどのようなインパクトを受けてどのように変化したかを把握するための技術的視点として重要である。

また、低水路内の変化に着目し、二極化、蛇行、砂州移動状況から変動傾向を把握する。横断形状の重ね合わせ図はこれらの傾向を明確に示すことが分かる。さらに、セグメントごとに変化傾向が変わることがあるため、セグメントの区分点との関係を示しておく。

○事例（1区間の抜粋）

セグメント 2-1-②=34～44 k m

本区間は、砂利川から砂川に変化する区間で、河床には砂利部（瀬）と砂部（淵）が分離して存在するようになる。昭和 39 年（1964）の低水路幅は 180m ほどあったようで単列の砂利州が存在する。この砂利州は昭和 40 年代に掘削された。

平成 14 年（2002）の横断形状を見ると低水路内に幅 100m ぐらいの溝が形成され、取り残されたところは草本が侵入し浮遊物質の堆積により河床が上昇している。溝の深さは 3～4m であり、その底高は Y. P. 19m 程度である。溝状の河道部分の土質は沖積後背湿地堆積物と推察される。砂利は薄くその上に載っているだけであろう。

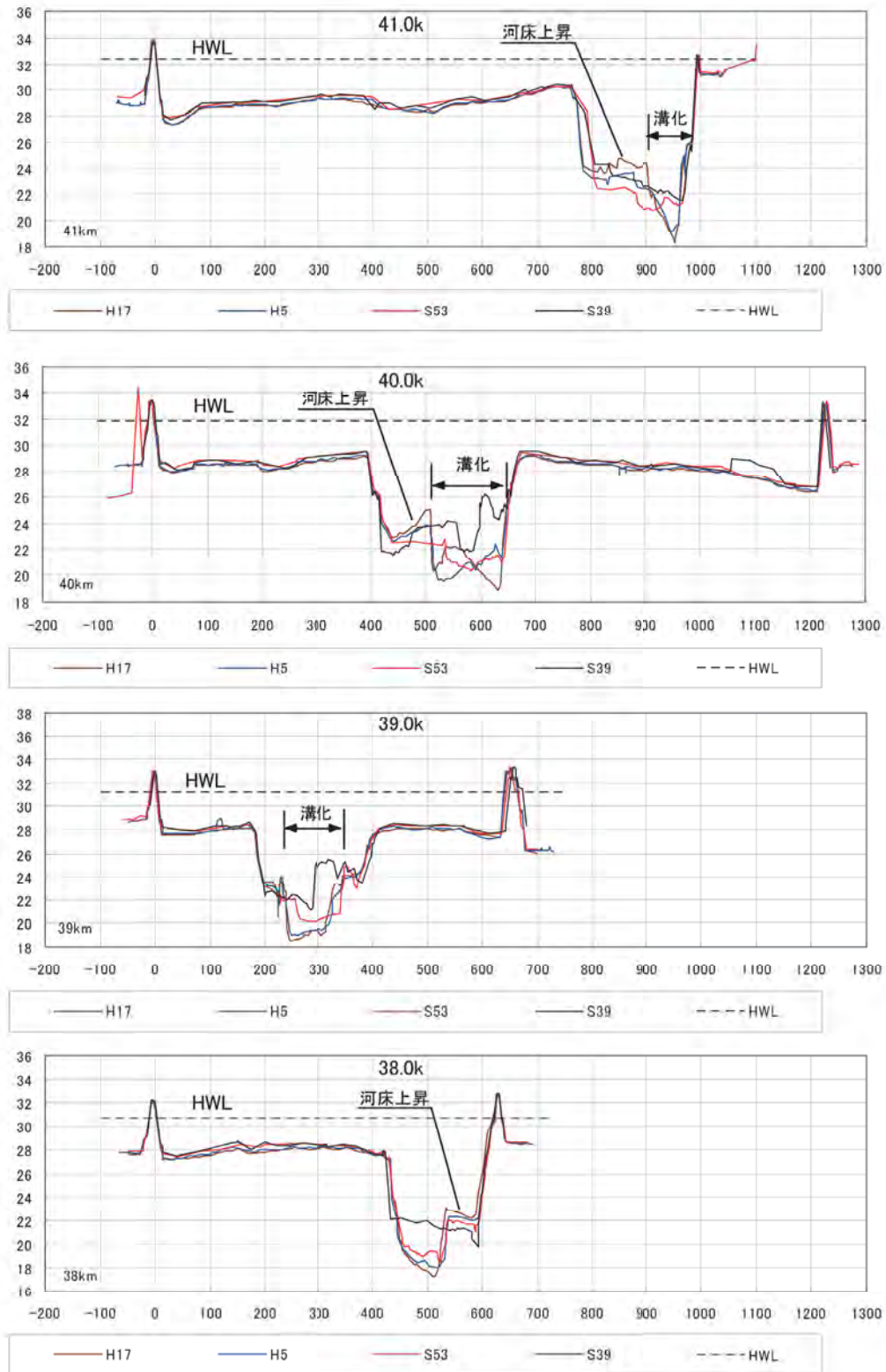


図 A. 3. 30 38～41km 地点横断形状の経年変化図

(3) 平面形状（航空写真）の経年変化

○目的

- ・河道変化として平面形状の時間的・空間的変動を把握するための基礎資料として整理する。

○整理すべき事柄

①航空写真（垂直写真）を用いて任意の区間ごとに4, 5ヶ年毎に並置する。

- ・作成にあたっては、ダム設置や改修などの河道に与えるインパクトが大となることが想定される事柄を踏まえ年代区分した上で、例えば5～10年ピッチで並置する。
→航空写真（垂直写真）は、定期横断測量と異なり、撮影数が少ないため、分析する年代を踏まえて、横断形状の作図年代と整合（近い年代）を図って並置するとよい。
- ・特徴的な変化は写真上に明記する。

②経年変化図より、河道形状の時間的（空間的）変動状況の特徴を整理する。

- 空間的な変動を把握する上で、セグメント単位で分析・評価するとよい。

○留意点

- ・砂州形状（砂州の列数）変化を把握するため、砂州の前縁線を描くとよい。
- ・横断形状の作図対象のライン（距離区分）を記入するとよい。
- ・横断形状との整合を図る上で、規模の大きい出水の前後関係に留意して年代を選択するとよい。
- ・横断形状の経年変化図と平面形状（航空写真）の経年変化図は、相互に見比べて特徴を分析するため、左右に並置することが望ましい。

○河道管理のための情報の読み取り方法

砂州形状の変化、高水敷の占用状況の変化、樹林化の傾向等を概略把握することができる。砂州形状の変化や樹林化の傾向は、土砂供給の変化と密接な関係があるので、砂利採取やダム建設などの人為的インパクト、洪水のような自然のインパクトの発生タイミングと重ね合わせて把握する。

○事例

- ・左右岸の公園等利用により低水路幅が人為的に縮小している。
- ・昭和48年（1973）に比較して砂州の縮小が生じており、列数が概ね2列（複列砂州）から1列（交互砂州）に変化している。



図 A. 3. 31 砂州形状の経年変化（砂州の前縁線記入例）

(4) 河口砂州，河口付近汀線の経年変化

○目的

- ・河口砂州，河口付近の汀線の時間的変遷を把握するための基礎資料として整理する。

○整理する項目

①航空写真の整理を整理する。（平面形状（航空写真）の経年変化と同じ。以下，再掲する。）

①航空写真（垂直写真）を用いて任意の区間ごとに4，5ヶ年毎に並置する。

- ・作成にあたっては，周辺の港湾施設等の設置状況等，河口部砂州，河口付近の汀線に与えるインパクトが大となることが想定される事柄を踏まえ年代区分した上で，例えば5～10年ピッチで作図する。
- ・特徴的な変化は図上に明記する。

②経年変化図より，河道形状の時間的（空間的）変動状況の特徴を整理する。

②河口部の定期横断測量を整理する。（横断形状の経年変化と同じ。以下，再掲する。）

①定期横断測量の経年変化図を作成する。

- ・作成にあたっては，河口周辺の港湾施設等の設置状況等，河口部砂州，河口付近の汀線に与えるインパクトが大となることが想定される事柄を踏まえ年代区分した上で，例えば10年ピッチで作図する。

→分析する年代ごとに作図するとよい。

→定期横断測量実施年の全ての年で作図すると図が煩雑となり，分析・評価すべき事柄が不鮮明となる。

→年代ごとの河道形状の把握（識別）の容易性に考慮し，線種・色等の工夫を行う。

- ・特徴的な変化は図上に明記する.

②経年変化図より，河道形状の時間的（空間的）変動状況の特徴を整理する.

③河口付近の深浅測量成果がある場合，河口部周辺の地形コンターを図示する.

- ・標高の変化量を図示すると変化が明瞭となる.

○留意点

- ・河口部周辺施設の変遷については別途整理しておく.

- ・河口砂州のフラッシュ状況について，流量規模とフラッシュの有無を整理し，フラッシュ開始流量を把握する.

- ・内湾に流入する河川か外洋に面する河川かを区別しておく. これは，河口部の形状変化が大きく異なるため，内湾に流入する大河川の河口付近では，干潟と前置斜面で構成される地形が典型的であるが，外洋に面した河川では河口砂州と河口前面テラスが形成されることが多い.

- ・平均海水面の変動も合わせて整理しておく. これは，平均海水面の変動は河口位置の直接的な変化要因となっており，海水面が上昇すると河口の位置は後退し，下降すると前進するためである.

○河道管理のための情報の読み取り方法

河口砂州や河口干潟の位置，移動の傾向を読み取る. また，河口砂州については，いつフラッシュされたか，そのときの周辺情報（流量，フラッシュされた砂の量）などを合わせて整理しておくことが重要である.

○事例（航空写真の変遷等）

表 A. 3. 7 河口部周辺の施設整備状況およびインパクト

種別	項目	内容
主要施設整備	東海発電所の埠頭	昭和 40 年代後半以降整備
	河口付替工事	昭和 44 年度着手, 昭和 50 年度完了
	左岸導流堤	昭和 53 年度完了
	日立港防波堤事業	平成 5~28 年整備
	常陸那珂港	北埠頭地区: 平成 5 年着手, 平成 10 年供用開始 中央埠頭地区: 平成 13 年着手
インパクト	砂利採取	河口部で平成 2 年まで約 2 万 m ³ /年を採取
	維持浚渫	平成 14, 16 年度 2~2.5k 付近で実施 平成 15 年度 0~2k 付近で実施 平成 18 年度 豊岡第一樋管前面で実施
	主要出水	昭和 61 年 8 月 3, 982m ³ /s (榊原) 平成 3 年 9 月 3, 390m ³ /s (榊原) 平成 11 年 7 月 2, 257m ³ /s (榊原) 平成 23 年 9 月 2, 610m ³ /s (山方)
	地震 (東日本大震災)	広域地盤沈下

平成 4 年



平成 10 年



平成 15 年



平成 18 年



平成 21 年



平成 25 年

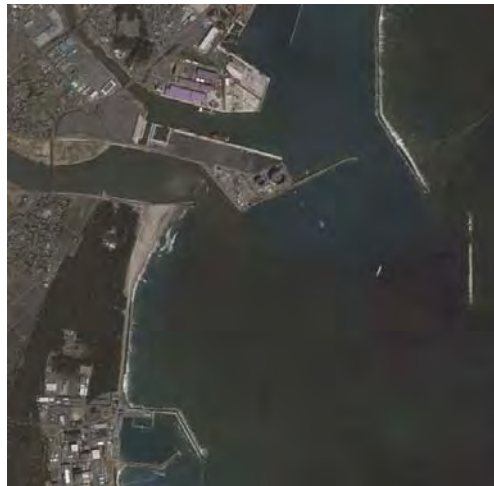
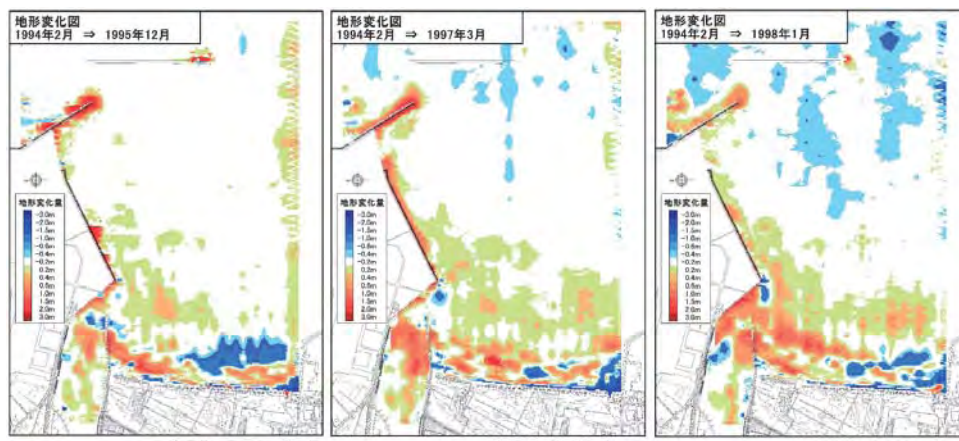
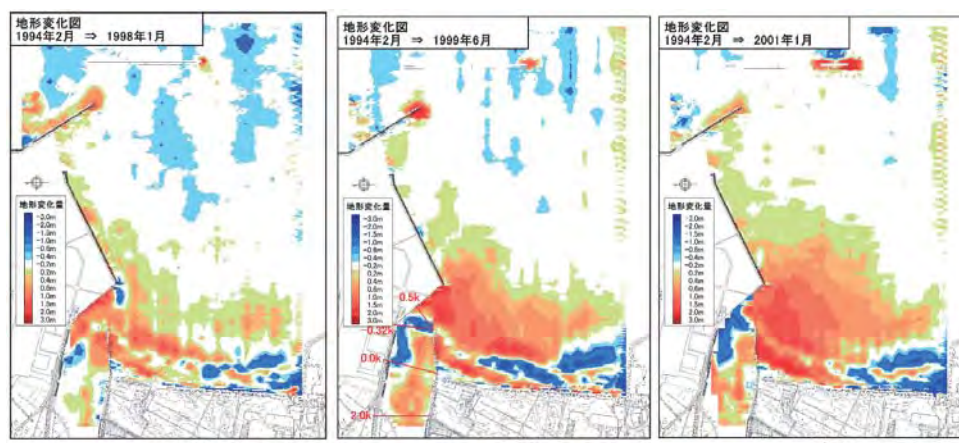


図 A. 3. 32 河口部の経年変化

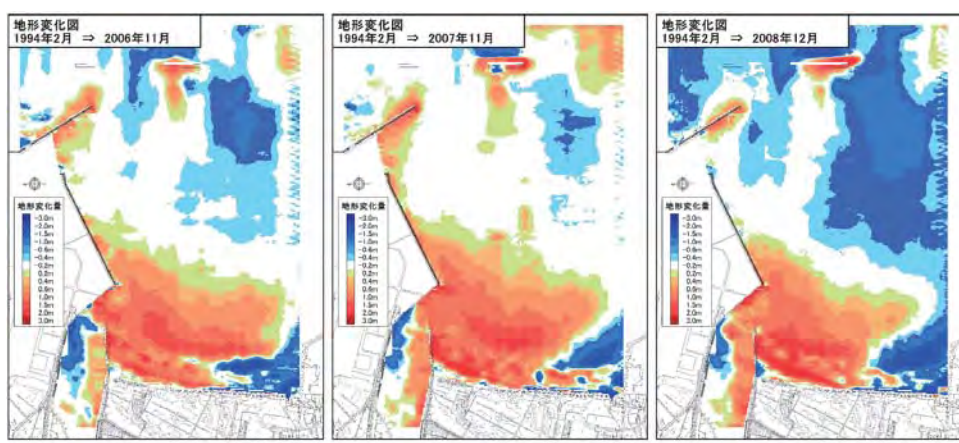
○事例（河口部地形変化量の変遷）



＜河口部の土砂堆積が顕著であった時期の地形変化図（1995年12月～1998年1月）＞



＜導流堤開口部より海岸側の土砂堆積が顕著であった時期の地形変化図（1998年1月～2001年1月）＞



＜河口部の土砂堆積が顕著であった時期の地形変化図（2006年11月～2008年12月）＞

図 A. 3. 33 河口部の地形変化量

(5) 河床材料の経年変化

○目的

河道変化として、河床材料の時間的・空間的変動を把握するための基礎資料として整理する。

→鬼怒川では土砂供給量の減少により、セグメント 1 は粗粒化、セグメント 2-2 は細砂分が増加している。

→河床掘削により、粒径変化はセグメント毎に異なる。

○整理する項目

①セグメントの細区分ごとに粒径加積曲線の経年変化図を作成する。

- ・作成にあたっては、ダム設置や改修などの河道に与えるインパクトが大となることが想定される事柄を踏まえ年代区分した上で、例えば 10 年ピッチで作図する。

→ただし、一般に河床材料調査結果の蓄積は多くないことから、適宜年代区分を設定する

→図には粒径区分も記載する。

②粒径集団割合の縦断図を年代ごとに作成する

- ・距離標ごとのデータに対して、粒径集団の割合を整理し、粒径区分縦断図を作成する。
- ・作成する年代は、①と同様とする。

○留意点

- ・低水路内の調査結果を用いる。

→高水敷で採取したデータによる調査結果は、氾濫原堆積物の粒度分布となり、河道特性量等の河道特性を評価するデータとしては不適である。

- ・河床材料の調査法によって、把握される河床材料の意味が異なるため、調査法の異なる情報を混在させずに整理する。（調査法を併記する）

→（河川砂防技術基準 調査編の第 4 章 4 節および 8 節の記述を引用）

- ・低水路河岸の構成材料と河床の構成材料の違いを必要に応じて整理する。

→ 低水路河岸の材料の層序構造を確認

○河道管理のための情報の読み取り方法

河床材料の変化は、土砂供給量の変化が河床に現れたものである。粗粒化、細粒化の傾向及び代表粒径の変化を把握する。人為的インパクトとの関係が大きい場合、これらのインパクトが発生した年との関係も把握しておく。また、人為的インパクトとなった構造物との距離が遠いほど影響は薄まり、時間をかけて変化が現れる。

また、河床材料調査方法、地点などにより調査結果が大きく変わる可能性があるため、分かる範囲で把握しておくが良い。

メモ参考資料A. 1-1 河道横断面内（あるいはリーチスケール）での河床材料の分類

粒径をA集団, B集団, C集団ではなく, 材料m, s, tで分類することがある. これは, 河床の材料の主役 (Main) と相手役 (Sub), 端役 (transient) に分類したものである.

材料mは河床材料の“主役”であり, 安定的に存在し, 河道の骨格である縦断形状や砂州形状, 低水路の粗度係数, 深掘れ深, 瀬淵の形態などを規定する.

材料sは材料mの“相手役”であり, 主流路の脇で, 浮遊してきた細粒土砂を堆積させることで材料sからなる河床ができる.

材料tは河床材料の“端役”であり, その存在は, 一時的で不安定なことが多く, ちょっとした出水があるとフラッシュされあるいは, 増減する.

出典: ダムと下流河川の物理環境との関係についてのとらえ方 (国総研資料第521号, 2009)

○事例

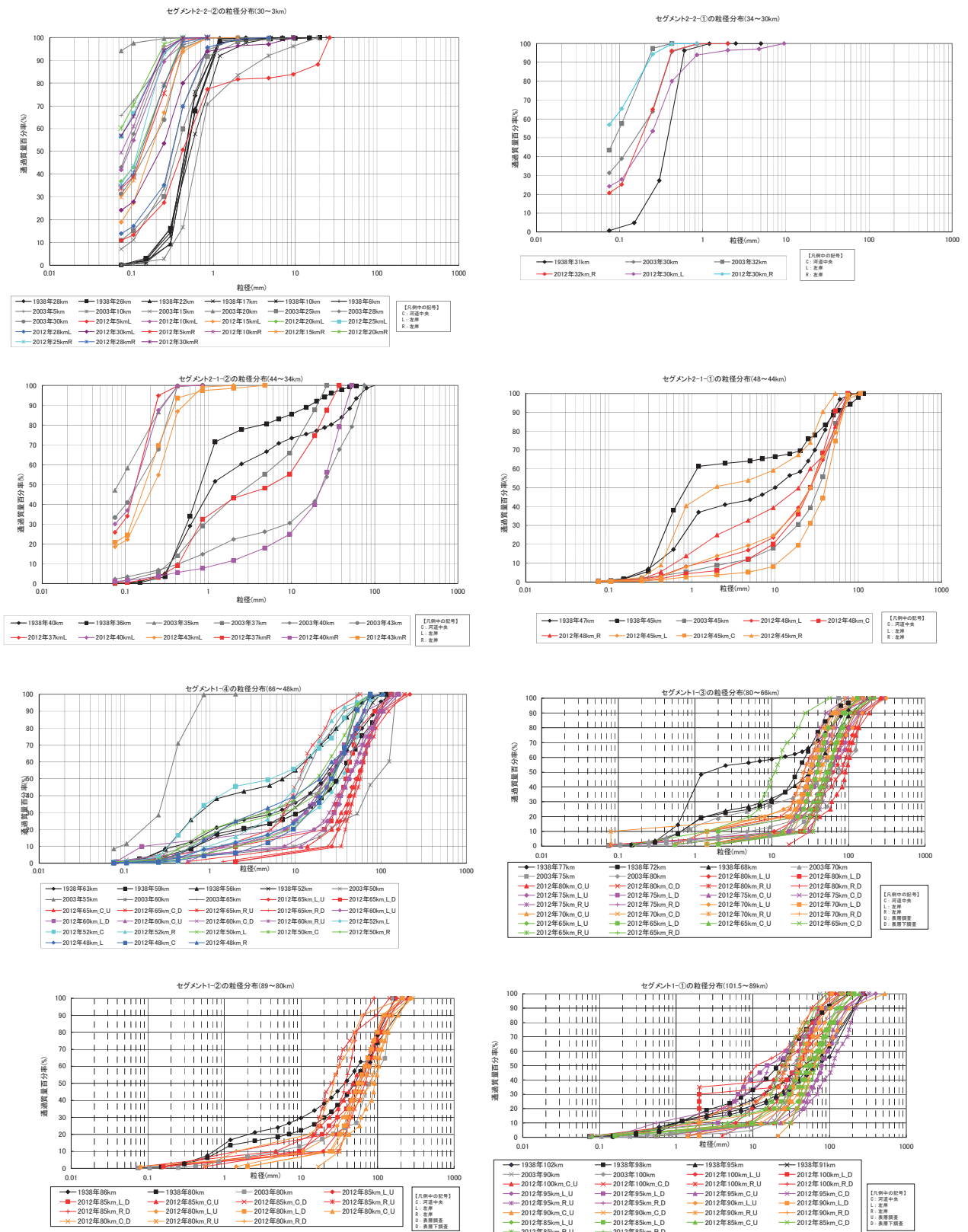


図 A. 3. 34 セグメントごとの粒径加積曲線図

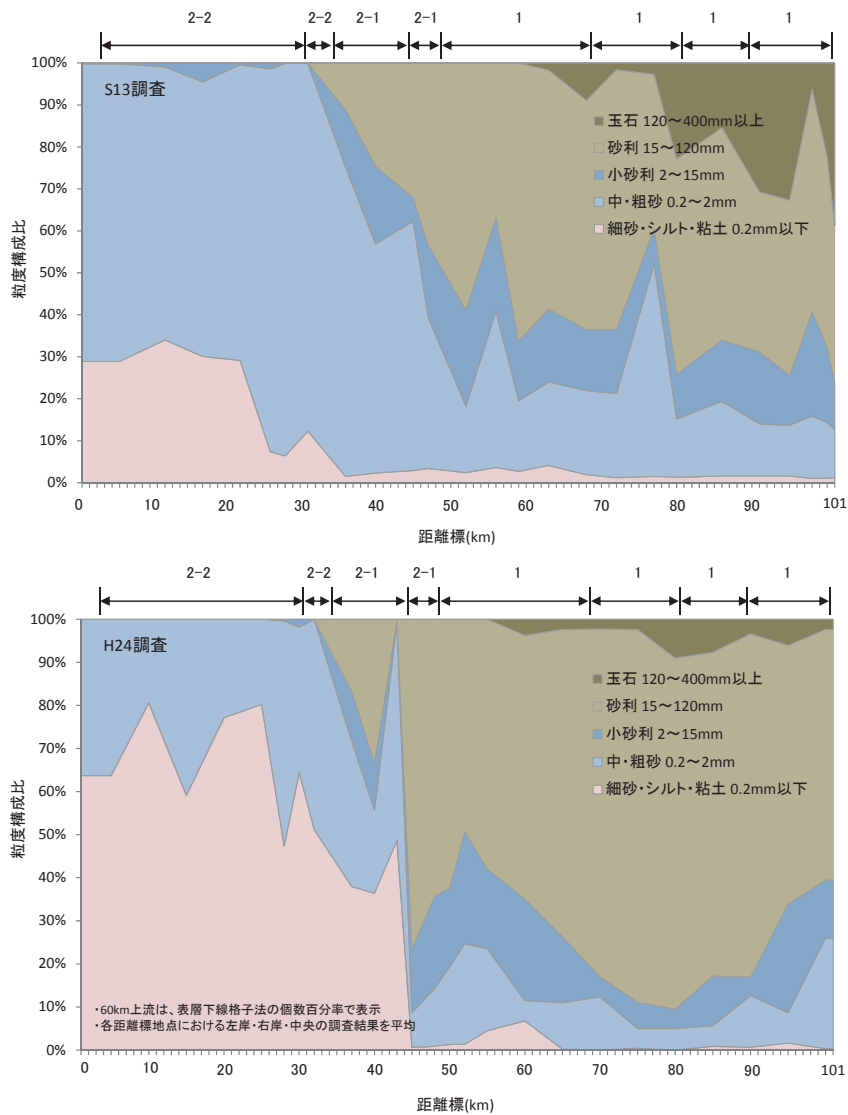


図 A. 3. 35 粒径集団割合縦断図 (上 : S13, 下 : H24)

- ・セグメント 1 は、昭和 10 年代と比べ平成年代には中・粗砂集団が 1/3~1/5 となっていた。
- ・セグメント 2-1 においては、昭和 10 年代と平成年代には中・粗砂集団の割合が 1/5 となった。
- ・セグメント 2-2 については、昭和 10 年代は中・粗砂集団であったが、平成年代は細砂・シルト・粘度集団となった。
- ・粒径集団は、昭和初期と比べ下流部においては細砂・シルト・粘土が増加した。上流部においては小砂利分が増加した分、中砂以下の集団が減少した。これは、マトリックス材の流出を示している。よって、近い将来アーマー化が進行すると想定される。ただし、現時点においては、アーマー化には至っていない。

(6) 植生の経年変化

○目的

河道変化として、植生、特に樹木の繁茂状況の時間的・空間的変遷を把握するための基礎資料として整理する。

○整理する項目

①河川水辺の国勢調査より 1km ピッチの植生面積を調査年代ごとに整理する。

②必要に応じて、河川水辺の国勢調査開始以前の樹木面積を整理する。

→航空写真等から、植生域を特定し、面積を計上する。

③樹木繁茂の経年変化図を作成する。

→対象とする全区間の面積変化をグラフ化する（横軸：年，縦軸：繁茂面積）。

→一定区間ごとに集計した繁茂面積の経年変化をグラフ化する（横軸：年，縦軸：繁茂面積）

○留意点

- ・面積の計上方法（河川水辺の国勢調査結果か航空写真からの読み取りかなど）により面積が異なることに留意する。
- ・資料の整理方法は本事例をそのまま採用せずともよく、植生の変遷が概略の数値で把握できればよい。各河川の情報量及び精度により整理方法を工夫する。

○河道管理のための情報の読み取り方法

基本的に、河原の面積は減少し植生が覆う面積が増加する傾向が見られるものと考えられる。河床掘削、ダム建設、砂防事業の実施、護岸及び高水敷の整備等によって河道が変化した時期が植生の変化点ともなり得るので、これらの人為的インパクトとの関連性を読み取ることが技術的視点として重要である。

○事例

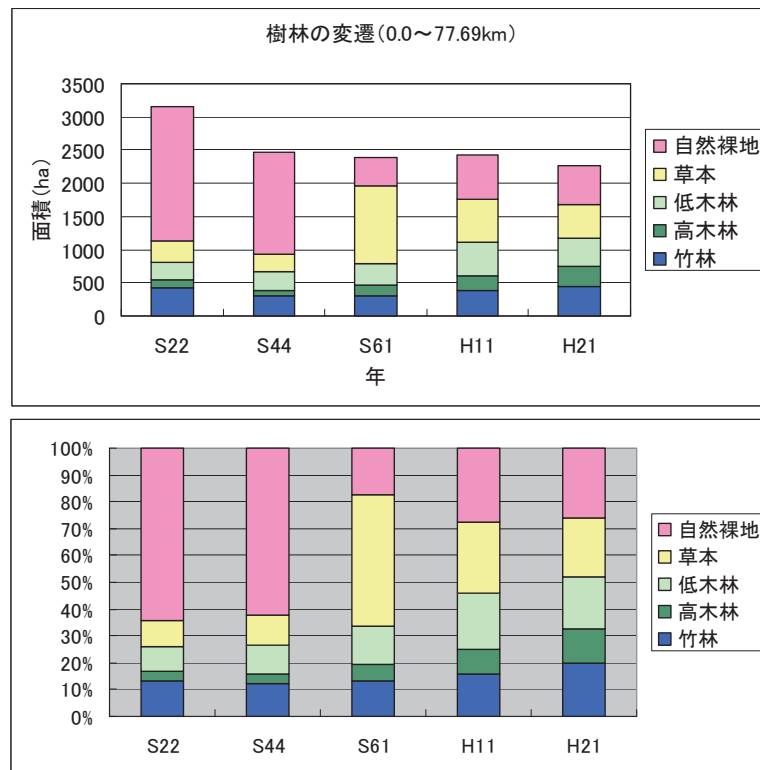


図 A. 3. 36 植生の変遷

- ・昭和 22 年（1947）及び昭和 44 年（1969）には礫砂州などの自然裸地が大きな面積を占めていたが、昭和 61 年（1986）に極端に減少し代わりに草地在著に増えている。
- ・昭和 22 年（1947）から昭和 44 年（1969）までに全体面積が減少したのは、占用地許可、砂利採取（自然裸地が水面となった）等によるものと推測される。
- ・それ以後、平成 11 年（1999）では低木林が増加し、平成 21 年（2009）では高木林が増加していることから、昭和 44 年（1969）以降において、砂州などの自然裸地が草地化し、それがやがて低木林、高木林に変化してきたことが推測される。
- ・平成 5 年（1993）から平成 11 年（1999）の間に草本が減少したのは、その間の渇水や洪水（平成 5 年（1993）洪水）の影響であると推測される。（平成 5 年（1993）洪水は継続時間が比較的長かった）

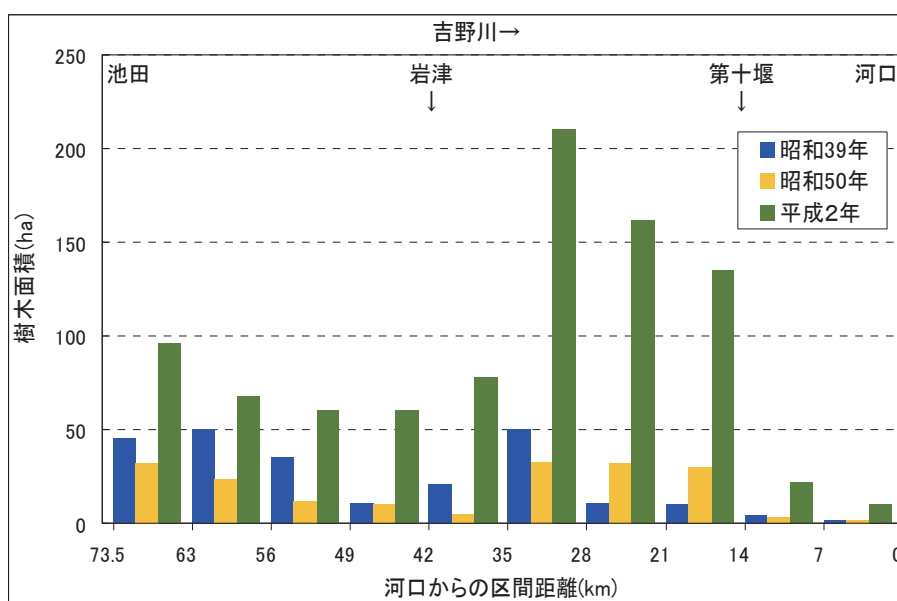


図 A. 3. 37 河道内の樹木面積（竹林以外）の分布と経年変化（7km 間隔毎に整理）

- 区間別では，昭和 39 年（1964）～昭和 50 年（1975）の間では，14～28km の区間で増加しているが，28～73.5km の区間では減少している．
- 昭和 50 年（1975）～平成 2 年（1990）の間では，全区間において増加傾向が見られ，特に岩津下流で増加している．

3.4. 河道の機能の評価

3.4.1. 治水

(1) 現況流下能力

○目的

- ・河道の流下断面の維持管理において、河道流下断面に係る目標設定や対策への判断を行う上での基礎資料として整理する。

○整理すべき事項

- ・既存の検討成果を活用する（新たに追記編集の必要性は低い）。
- ※国土交通省の管理河川においては、堤防データベースを作成し、継続的に更新を行っている。

○留意点

- ・堤防データベース等の情報を活用し、流下能力に加えて、堤防整備率（量的）についても整理することが望ましい。
- ・HWL 評価以外に、現況堤防高、スライドダウン評価を併せて表記することが望ましい。
- ・流下能力不足箇所においては、計画されている対策を併せて表記することが望ましい。

○河道管理のための情報の読み取り方法

流下能力が不足している箇所は、河道計画上の対策が計画されていると考えられる。このため、このような箇所では、今後、河道の縦横断形状が大きく変化する可能性がある。流下能力不足区間と今後の対策の計画を合わせて把握しておくことが、河道流下断面に関わる目標設定や対策への判断を行う上で重要である。

(2) 堤防詳細点検結果

○目的

- ・河道の維持管理から見た河道内施設の機能（器の質）の評価（堤防の浸透に対する安全性）を行う上での基礎資料として整理する。

○整理すべき事項

- ・既存の検討成果を活用する（新たに追記編集の必要性は低い）。

○留意点

横断工作物の位置を合わせて整理する。

○河道管理のための情報の読み取り方法

堤防が河川水等の浸透に対して必要な安全性を持っているかを確認したものであり、横断工作物の安全性とも関係するため、横断工作物の位置と堤防の安全性の結果を合わせて把握しておくが良い。

(3) 貴重種・群落等の分布状況

○目的

- ・河道の維持管理に対して何らかの工事等が必要となった場合の配慮事項として整理する。

○整理すべき事項

- ・既存の調査成果（河川水辺の国勢調査等）を活用する（新たに追記編集の必要性は低い）。

○留意点

特にその場の環境に依存して生育する植物，河川を代表する生物である魚類には，工事実施時等の配慮事項について，既往検討結果を参考にまとめておく。

○河道管理のための情報の読み取り方法

河川水辺の国勢調査区分別（植物，魚類，底生動物，鳥類，両生類・爬虫類・ほ乳類）に整理する。河川では特に植物，魚類に着目する。貴重種のカテゴリも合わせて整理し，河道管理上何らかの対策を実施する必要がある場合，どの程度貴重種に配慮すべきかの目安とする。

例えば，日本中で数カ所しかいないものならば繁殖・生息場の保全及び生息数のモニタリング，有識者との連携など非常に慎重な配慮が求められる。

参考文献

株式会社クボタ（1984）アーバンクボタ 22

国土技術政策総合研究所（2009），ダムと下流河川の物理環境との関係についてのとらえ方，国総研資料第 521 号

町田洋，大場忠通，小野昭，山崎晴雄，河村善也，百原新編著（2003）第四紀学，朝倉書店

参考資料B.1 河道特性の把握

ポイント

河道状況の分析・評価および河道の維持管理対策の適否は、河道特性をどれだけ適確に把握しえるかに依存する。

河道とは、種々の河道特性構成要素の複合的構造体であり、それが支配的因子の影響作用を受けながら、常に新たな形に編成され続ける動的なシステムである。河道・環境特性調査は、河道・環境特性構成要素間の相互関連性を分析・理解し、それを再構成して、技術的目的に対応するように情報編集を行なうものである。

B.1.1 河道特性調査の目的と内容

河道の維持管理対策は、河川整備計画に伴う河道計画や河川環境管理基本計画を上位計画とする従属計画であり、河道特性調査は、本来、上位計画の策定の段階において実施されているべきものである。河道の維持管理のための河道特性調査は、上位計画策定時の河道特性調査より河道の維持管理に必要な情報の引き出しと不足情報の追加調査と、それに基づいた河道状況の分析・評価および河道の維持管理対策立案のための情報整理である。ただし、現状では、河道特性調査が体系的になされ、情報の編集が進んでいる河川は少ない。従って、河道状況の分析・評価および河道の維持管理対策の立案に当っては、河道特性調査とその情報を河道状況の分析・評価および河道の維持管理対策立案のために編集する必要がある。

(1) 河道特性調査の内容・方法と意義

河道特性調査の内容・方法と意義について、その概要を示す（山本，2010）。

個別河川の河道特性調査は、河道特性調査を利用する目的に応じて調査項目を選択するものであるが、一般には表B.1.1に示す項目を含む調査を行うものである。現沖積河川は、河道掘削や上流ダム群の建設等によって河道特性が時間的に大きく変化している場合が多いので、河道特性の空間変化（縦横断方向の変化）の分析のみならず、時間変化の分析を必要としている。例えば河床高、河床材料、川幅、河道平面形状、砂州パターンの時間変化等を調べ、情報として整理しておく必要がある。

河道特性調査では、表B.1.1に示した項目を河床勾配が同一で似たような特徴を持つ区間ごとに河道を区分し、区分された小セグメントごとにその特徴を抽出し、各小セグメントの洪水時の河道特性量との関係を調べ、各河道特性構成要素（洪水時の水理量、河道の平均的なスケール、小規模河床波と流れの抵抗、土砂の運動形態とその量、氾濫原の土質・地質特性、洪水時の氾濫原の挙動特性、河道の平面形、河道の横断形、位況・水面幅特性、河床高の縦断形変化特性、生態系の縦断的・面的分布特性、人的作用による河道特性の応答特性、河川の景観特性）との関係について整理する。各河道特性構成要素は、河道特性量と密接な関係があることが明らかにされているので、他の河川と同じような特性をもっているのか、特異なものであるか把握できる。特異なものであればその原因について分析・解釈していく。なお河道特性量とは平均年最大流量時の低水路の各種水理量（水深、摩擦速度、低水路幅、低水路幅水深比など）である。

表B.1.1 個別河川の河道特性調査の内容

目次	〇〇川の河道特性
1章	河川および流域の概況
1-1	河川概況 河川の位置, 流域面積, 河川長等に関する記述
1-2	流域の地形, 地質
1-3	流域の地形発達史
1-4	〇〇川の河道変遷史
1-5	流域の土地利用の変遷
1-6	河川の利用状況
2章	水文資料調査
2-1	降雨特性
2-2	洪水特性 過去の洪水, 氾濫形態の記述
2-3	流出特性 流出率, 平水, 豊水, 平均年最大流量, 計画高水流量, 確率流量に関する記述
2-4	流量と水位 H-Qの関係, 位況と流量
2-5	低水路の粗度と高水敷の粗度 河道低水路および高水敷の粗度に関する記述
3章	洪水時の営力と河道
3-1	河床材料
3-2	低水路幅, 高水敷幅, 堤防間幅
3-3	河床勾配と河床高 平均河床高と最深河床高の経年変化図. ※平均河床高は, 低水路の平均河床高とする.
3-4	洪水時の河道特性量 洪水時の水深, 流速, τ_{*R} , u_{*c}^2 , H_m/d_R , B/H_m , 粒径, 深掘高 ΔZ 平均年最大流量時(あるいは河岸満杯流量時)と計画高水位時の水理量の縦断方向変化の記述, 図表化
3-5	河道特性量から見た河道のセグメント区分
4章	高水敷の水面形
4-1	高水敷の平面形
4-2	高水敷の土質構造
4-3	河岸近くの表層堆積物と河岸物質
4-4	高水敷の微地形と堆積物
4-5	高水敷の植生
4-6	計画高水位時の高水敷の水理量と流況 水深・流速等の評価, 流況の評価
5章	河道の平面形
5-1	低水路の平面形状と砂州および滞筋 瀬と淵, 滞筋, 平面形状の時間変化
5-2	河岸侵食位置および侵食形態
5-3	洪水時の流況と平面形 水衝部, 航測写真解析
6章	各セグメントの流砂形態と河床変動形態
6-1	各セグメントの流砂形態
6-2	縦断形変動形態
6-3	土砂収支(土砂動態マップ)
6-4	河床変化の方向
7章	河川環境の時空間特性
7-1	植生
7-2	魚類・両生類等の動物
7-3	河川環境図
7-4	河川水質
7-5	河川利用
7-6	景観
8章	既存河川構造物の配置形状
8-1	配置位置と構造
8-2	基礎高と根固工
8-3	護岸・水制の変遷
8-4	河岸災害と護岸・水制
9章	その他 河道の人工的改変とその影響に関する記述. 大出水時の低水路・高水敷の変化および堆積物, 植生の破損状況. 治水・利水史の情報. 基本的には河道特性調査を利用する目的に応じて調査項目を選定する.

この分析・解釈するための道具として, 種々の河道特性構成要素と平均年最大流量, 河床の代表粒径, 河床勾配との関数関係に関する一般的知見(山本, 2010; ⇒B1.2), さらにセグメント,

粒径集団，代表粒径，小規河床波，中規模河床波（砂州），粒径別土砂供給量，河岸・河床の土質，土砂の運動形態，海水面変化，地盤変化と言うような概念装置とそれらに関する基本的な知見を用いる。

これにより

- ・ 対象とする河川の河道特性を上流から下流まで調査することにより，その河川の全体像と個性が浮かび上がり，セグメントごとの特徴に立脚した河道の維持管理対策の立案に役立つ。
- ・ ある程度共通の基準で河道・環境情報が整理されるため，他の河川の河道特性との相互比較が容易となる。これにより他の河川の経験を利用できるかどうかの判断，技術的な検討を行なう共通の基盤を提供する。
- ・ 河道の維持管理対策における技術検討において境界条件，外力条件を間違いの少ないものとするができる。
- ・ 対象河川の河道特性と河道特性に関する共通認識との差異を把握することにより，対象河川の特異性を規定する要因や原因を発見し易くなり，間違いの少ない維持管理対策とすることができる。

(2) 河道の状態把握・評価および河道の維持管理対策のための河道特性調査の内容

最低限必要な調査は，以下の4項目である。

① 河道の一般的な特性を把握するための調査

河床縦断面図および河床材料縦断面図等により，計画対象河道区間の大セグメントの同定を行い，さらに計画対象区間を必要に応じて小セグメント区分する。これにより，大セグメント分類に基づくセグメント毎の河道特性の関する一般的知見，セグメント毎の河道の維持管理計画のあり方・考え方に関する技術的知見を援用し，維持管理上の留意点を把握する。小セグメントは河道特性がほぼ同様な区間であるので，河道の維持管理方針の検討基本単位長となるものである。

② 河道の維持管理上の制約条件および与件条件決定のための調査

河床勾配，河道横断形，平面形状，河床材料などにより，対象地点の河道が持つ水利諸量（水深，流速），洪水時の最深河床高，河岸侵食位置などを評価する。これには小セグメント毎の流速係数（あるいはマンニングの粗度係数），平均および最深河床高の経年変化，砂州形態，河道平面形状，構造物設置状況などを調査分析することが必要である。なお，河道の維持管理において30年程度先において平均河床高の変動が予測され，それが維持管理上問題となりそうな場合には，河床変動解析を行い河床高の時間変化を予測し，河道の維持管理対策に生かす。

③ 環境保全のための調査

河道の維持管理にあたって，河川環境を配慮，あるいは河川環境保全を目的とした維持管理を実行するためには，河川環境の調査が必要である。調査は既存の河川水辺の国勢調査結果を極力利用するが，必要に応じて詳細調査を行い，瀬や淵の配置形態と砂州の関係，植生群落分布と微地形・土壌・地下水との関係，魚類の種・生息場所・産卵場所と瀬・淵との関係などを分析・整理する。また河川景観を把握するため視点場を定め写真・ビデオ撮影を行い，景観設計に役立てる。

④ 維持管理コストに関する調査

河道の維持管理対策案ごとに必要な費用の算出のために，コスト調査などを行う。

メモ 参考資料B.1.1 河道特性調査に関するマニュアル

国土交通省 水管理・国土保全局：国土交通省河川砂防技術基準 調査編 第4章 河道特性調査，第11章 河川環境調査，2012.

B.1.2 河道特性把握の基礎知識

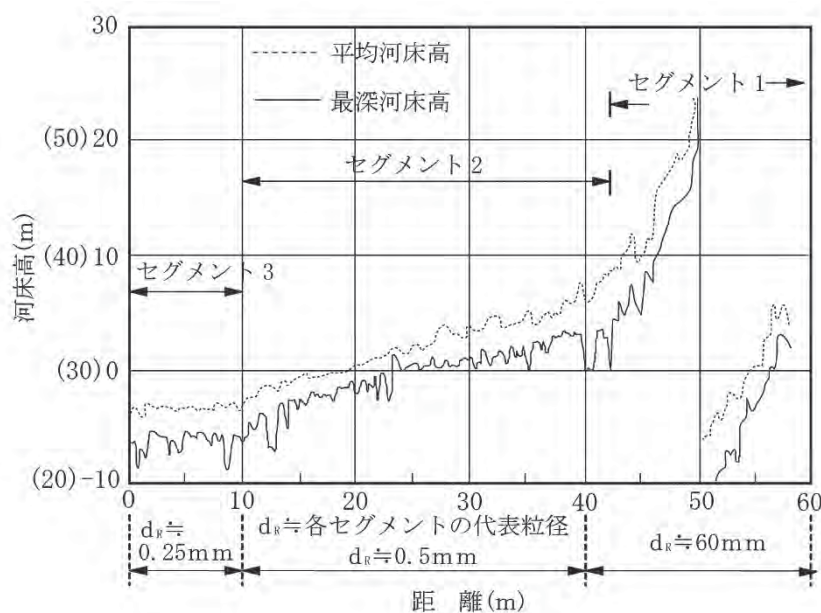
河道特性を把握するため情報を収集し，河道特性構成要素間の相互関連性を分析・理解し，それを河道の維持管理のために再構成しなければならない．ここでは河道特性把握に必要な基礎知識について解説する．

(1) セグメント区分の方法とその意義

本書では，河道特性を評価，分類する方法としてセグメントという概念を使用する．

上流山間部においては，流路の合流により河系次数が変化すると，そこで河川を流れる流量および流送土砂濃度が急変するので勾配が変わり，また河床・河岸の岩質が変化すると土砂を含んだ流れに対する耐侵食力が変化するので，そこで勾配が変わったり滝になったりする．地殻変動速度が周辺に対して相対的に遅い空間があると盆地地形が形成され，河川は沖積地を流下し，盆地出口下流では狭さく部となり，河床には基岩が露出することが多い．狭い沖積谷を流れる場合には所々に基岩が露出し沖積堆積層が薄い．

山間部を出ると，河川は主に自身で運んだ沖積層上を流下する．図B.1.2.1は木曽川の河床高の縦断形を示したものである．これを見ると河川の縦断形は徐々に変化するとよりも，ある地点で急に変わると考えた方がよい．わが国の沖積河川の縦断形を調べると木曽川の事例が例外というものでなく，むしろ一般的なものである．



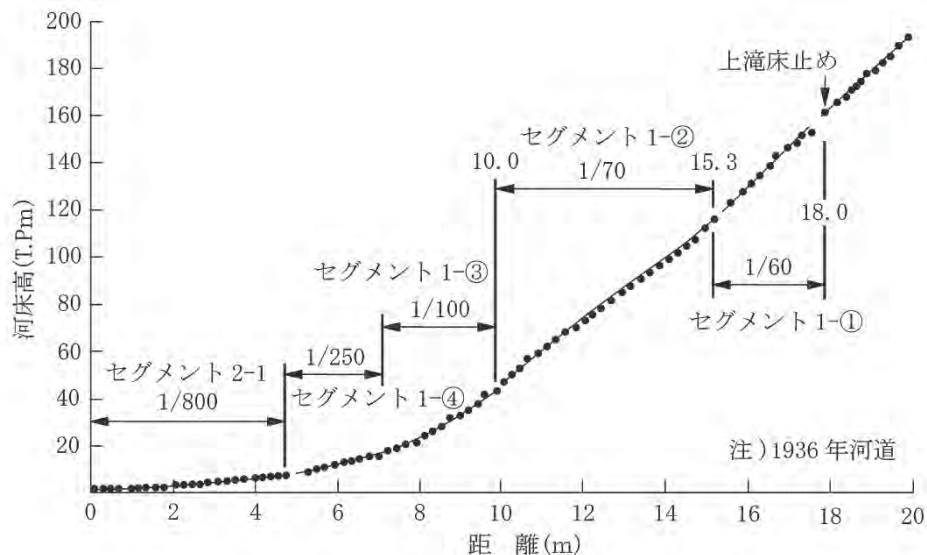
図B.1.2.1 木曽川の河床高縦断形と河床材料の縦断変化

山間部を含めて河川の縦断形は、ほぼ同一勾配を持ついくつかの区間に分かれているとみることが出来る。このような河床勾配がほぼ同一である区間は、河床材料や河道の種々の特性が似ており、これをセグメントと呼んでいる。河川におけるセグメントの数は、河川によって、また河川をセグメントに区分する目的によって異なる。図B.1.2.1に示す木曾川の例では、扇状地を流下する区間に当るセグメント1, その下流で粒径0.5mm程度の中砂を河床材料にもつセグメント2-2, その下流で粒径0.25mm程度の細砂をもつセグメント3からなる。上流山地の起伏度が大きくなく単位面積当たりの砂利成分の供給量が少ない河川では、扇状地をもたず、直接自然堤防帯に入り、砂利を河床材料にもつセグメント2-1をもつことが多い。

セグメント1, 2-1, 2-2, 3に加え、沖積河川の上流の山間部および狭窄部をセグメントMと呼び、これらを地形特性と対応した大セグメントと呼んでいる。表B.1.2.1に各セグメントの定義と特徴を示した。実際の河川は詳細に見ると図B.1.2.2のように大セグメントを2つ以上に区分しえることがあり、これらは小セグメントといっている。この場合は、これらを上流からセグメント1-①, セグメント1-②と順番に番号を付して区分する。粒径1cm以上の供給土砂のうちに平均粒径が1オーダー程度の差がある顕著な粒径集団を持ち、かつ各粒径集団の供給土砂量が別々の堆積地形を作るだけの量があると、勾配のかなり異なる別々の小セグメントを形成する。粒径集団の平均粒径の差が1オーダー程度の差がない場合や1cm以上の粒径集団の数が多いと、勾配の差の小さい小セグメントが形成され、かつ小セグメントの繋ぎ目が明瞭でなくなる。主要な支川が合流すると、流量、土砂量が変わるので小セグメントの結節点となる。

表B.1.2.1 各セグメントとその特徴

セグメント	M	I	2		3
			2-1	2-2	
地形区分					
河床材料の代表粒径 d_R	さまざま	2cm以上	3cm～1cm	1cm～0.3mm	0.3mm以下
河岸構成物質	河床河岸に岩が出てることが多い	表層に砂、シルトが乗ることがあるが薄く、河床材料と同一物質が占める。	下層は河床材料と同一、細砂、シルト、粘土の混合物		シルト・粘土
勾配の目安	さまざま	1/60～1/400	1/400～1/5000		1/5000～水平
蛇行程度	さまざま	曲がりが少ない	蛇行が厳しいが、川幅水深比が大きいところでは8字蛇行または島の発生		蛇行が大きいものもあるが、小さいものもある
河岸浸食程度	露岩によって水路が固定されることがある。沖積層の部分は厳しい。	非常に厳しい	中：河床材料が大きいほうが水路はよく動く		弱：ほとんど水路の位置は動かない



図B.1.2.2 常願寺川の河床縦断形とセグメント区分

なお、わが国の河川は内湾に流出する河川を除けばセグメント3をもたないことが多く、また外海に流出し、その前面に海盆が迫る場合には、砂より小さい土砂成分が波浪によって他の場所に運ばれてしまうため、セグメント1しかもたないことがある。すべての大セグメントを持つ河川は少ない。

河道の維持管理にあたっては、同一河川内においても小セグメントごとに河道特性、景観特性が変わるので、小セグメント単位で河道の維持管理方針・対策を定めていくのが望ましい。なお、計画対象地点付近の堤内地の土地利用や堤外地の利用に応じて河道の維持管理計画を変えなければならないような場合は、さらに河道を周辺土地条件、生態環境条件の変化に応じて細区分するものとする。

このように河道のセグメント分類法を用いて河道分類を行い、分類ごとの河道特性の特徴を整理していくと、河道の維持管理方針・対策における配慮点や設計条件が明確になる。そのうえ、すでに大セグメントごとに河道特性の特徴、河道計画のあり方が整理されているので（⇒山本，1994，2010；国土技術研究センター，2002），それらを参考とすることができる。また同一セグメント分類にある河川間では、河道特性が似ているので他の河川での先進事例などの経験を利用することができる。

メモ セグメントMにおける小セグメント区分

セグメントMの区間は、河岸や河床に岩が露出したり崖からの崩壊礫などの供給により、沖積河川と河道特性が異なるが、兩岸の大部分が現世河川による堆積物である場合は、沖積河川と同様な河道特性を持つ。沖積谷の狭い山間部の河川では、セグメントを小セグメント区分し、沖積河川と同様な河道特性を持つ小セグメントとそうでない小セグメントと区別し、技術的対応方針を取ると良い。

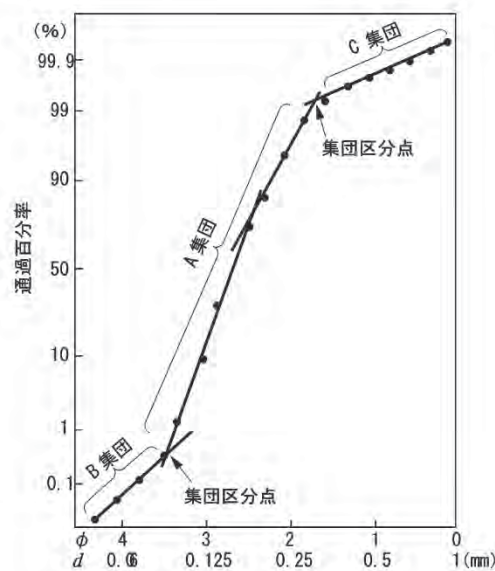
沖積河川と異なる特性を持つ区間は河道幅と沖積谷幅がほぼ等しい区間であり、土砂供給の多い場合（砂州の形成が見られる）は、沖積河川に比較して同一代表粒径 d_R （⇒B.1.2 (2)）の河川

に比し平均年最大流量時の u_*^2 の値が少し大きい (⇒B. 1. 2 (3)). 土砂供給の少ない場合は, 河床はアーミングし砂州が見られず平瀬となることが多い. 河床には側岸から供給された巨石や露岩が露出することもある.

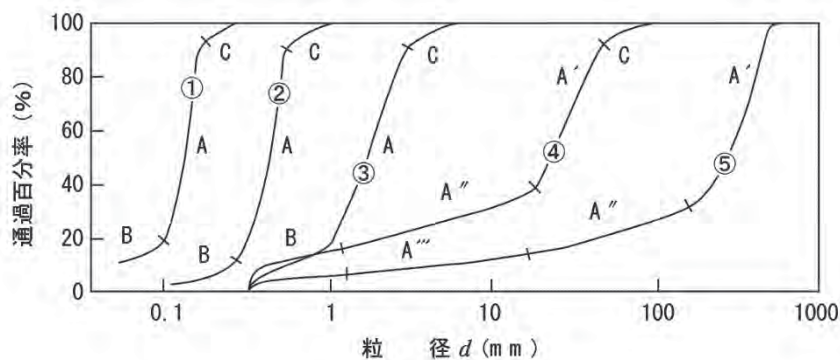
沖積谷の狭い河川においても, 扇状地河川的な河道特性を持てば, これをセグメント 1 の河道と見なし技術的対応を取ればよい. セグメント区分は地形区分ではなく, あくまで河道特性から見た区分なのである.

(2) 河床材料の粒径集団と区分粒径

河床材料の粒径分布形は, 対数正規分布形に近いといわれているが, 実際には, 特性の異なる三つ以上の粒径集団を持っているのが普通である. 堆積学では図 B. 1. 2. 3 のごとく河床材料の主モードである集団をA集団, それよりも細かいものをB集団, A集団より粒径の大きいものをC集団と呼んでいる. 粒径集団に区分するのは, セグメント毎に各粒径集団の土砂の移動形態, 河道形成や河川生態系に及ぼす役割が異なり, 河川で生じる現象やその変化を分析・予測するのに実用的であるからである.



図B. 1. 2. 3 河床材料の粒度分布



図B. 1. 2. 4 種々の粒度分布形におけるポピュレーションブレイク

各粒径集団の区分粒径は、**図 B. 1. 2. 4** に示すように粒径加積曲線上での勾配急変点とすればよいが、扇状地河川の場合、粒径の存在範囲が広く、粒径集団区分粒径の決定に困難を覚えることが多い。この場合は次のように区分粒径を設定する。

- ① セグメントごとに測定された河床材料の粒径加積曲線を描く。
- ② 大粒径集団であるチャンネルラグデポジット (channel lag deposit: その移動速度が河床材料の主構成材料である A' 集団より遅く、河床に取り残されていくような材料をいう。河床がアーマ化されるとこの集団が表面を覆う) である C 集団と河床材料の主構成材料である A' 集団は、通常、粒径加積曲線で勾配の急変転が現れるので、その粒径を区分粒径とする。
- ③ 砂成分を B 集団とする。この場合、粒径加積曲線上で勾配の急変点が生じていれば、これを区分粒径とする。通常 1~2mm 程度となることが多い。勾配の急変点が明確でない場合は、2.0mm を区分粒径と仮設定する。
- ④ A' 集団と A'' 集団の区分粒径は、粒径加積曲線上で勾配の急変点として評価しえることが多いが、細粒分の多い河床材料の場合、勾配の急変点不明确であることがある。この場合は、濬筋部の表層材料の粒度分布 (ほぼ C 集団と A' 集団からなることが多い。線格子法による表層材料の調査により簡単に粒度分布を測定しうる⇒メモ) から判断するか、粒径が 2mm 以上であれば、同じような土砂の移動形態を持つものは、最大と最小の比で 7~8 程度であるので、C 集団と A' 集団の区分粒径の 8 分の 1 程度の粒径を A' 集団と A'' 集団の区分粒径とする。
- ⑤ A' 集団と A'' 集団の区分粒径と B 集団の最大粒径の比 γ が 8~10 程度であれば、A' 集団と A'' 集団の区分粒径と B 集団の最大粒径の間の材料を A''' 集団とする。 γ が 15 を超えている場合は、下流のセグメントの粒度分布形を参照しながら A' 集団と A'' 集団の区分粒径と B 集団の最大粒径の間の粒径成分を最大と最小の粒径比で 8 程度となるように再区分し、大きな集団から A'', A''' 集団とする。
- ⑥ 最後に対象河川の各小セグメントの区分粒径が、上下流で一致するように区分粒径を微調整する。このようにするのは、河川の土砂収支の検討、河床変動計算などにおいて、粒径集団ごとの移動量の収支や河川で生じる種々の現象を解釈することが、工学的に有益であり実用的であるからである。

粒径集団が形成される要因は、土砂供給源における岩石の風化プロセスにおける不連続風化が主因であるが、流水による分級プロセスによっても粒径集団が形成される。A'' 集団などは、生産土砂量の多い A' 集団と流水に対して異なった動きをすることにより形成される集団であり、通常は大セグメントの主モードの材料となれるだけの供給量がなく、大粒径集団のマトリックス、あるいは砂州の頂部付近堆積物として堆積してしまう。

メモ 線格子法

線格子法とは、**図 B. 1. 2. 5** のように河床上に巻尺等で直線をはり、一定間隔ごとにその直下にある石を採取しその粒径を測定するものである。測定された石径の個数加積曲線 (採取した 1

個の石の支配率を $1/N$ と評価する．ここで N は全採取石数) は，表層材料が表層下においても同一な粒度分布であるとした場合の篩分けによる重量粒径加積曲線とほぼ等しい (山本, 1971 ; 山本, 2010) .

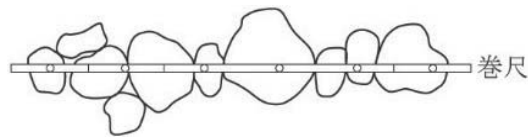


図 B. 1. 2. 5 線格子法によるサンプリング

メモ 粒径集団と小セグメント

④, ⑤における 8 という数字は混合粒径河床材料での移動床実験結果, 河床材料の粒度分布形より定めたものであるが, 最近, 扇状地河川における小セグメント間の粒径分布形の変化より 4 程度で集団の分離があると思うようになった. 例えば C 集団である 60 cm の粒径集団が, 次の小セグメントでほとんど見られず, そこでの A' 集団は上流の小セグメントと同じ 15 cm であるなどである. いずれにしても⑥のプロセスを実施し河川の実態に合った, また技術目的に合った粒径集団区分を行うべきである.

なお砂河川における A 集団と B 集団の関係は, セグメント間の粒径変化, 粒度分布形, 高水敷堆積物粒度分布径と分級特性から, 概略, 表 B. 1. 2. 2 のようにまとめられる.

表 B. 1. 2. 2 砂および小礫河川の A 集団と B 集団の関係

A 集団	B 集団	コメント
0. 15~0. 2mm	シルト・粘土	利根川、鶴見川
0. 5~0. 6mm	0. 2~0. 3mm	木曾川、関川、Apure 川
0. 3~0. 4mm	0. 1~0. 2mm	利根川、江戸川
2~3mm	0. 3mm	斐伊川での観測
2~5cm	中砂 (0. 4~1mm) (2~5mm) の小礫 が A' 集団となるこ とがある	1~10mm の土砂生産量が 少ないため、A と B 集団の 粒径は 20~100 倍の差が ある

(3) 代表粒径の考え方と定め方

河床材料は, 河道特性を規定する重要な規定因子である. ここでは, 河床材料の特性を表すものとして代表粒径 d_R を用いる. 代表粒径 d_R とは, 河床の動きやすさを規定する粒径である. 以下に求め方を示す.

ところで河床材料, 特に 60% 粒径が 1 cm 以上である場合は, 大粒径から小粒径まで含む均一度の悪い粒度構成となっている. このうち小粒径のものは大粒径間に存在するマトリックス集団であり, 低水路河床高の変化にあまり関係しない. 河床変動に影響するのは C, A' 集団であり, また河床の動き易さを規定するのもこの集団である.

代表粒径 d_R は, A' 集団以下の粒径成分が 20% 以下の場合には, 60% 通過粒径 d_{60} (あるいは平均粒径 d_m) としてもよいが, A' 集団以下の材料が 30% 以上を占めるような場合は, C 集団と A'

集団のみからなる河床材料の粒径加積分布曲線を新たに作成し、その60%通過粒径（あるいは平均粒径）を求め、これを代表粒径 d_R とする。

表 B. 1. 2. 3 簡易な代表粒径 d_R の求め方

河床材料の d_{60}	代表粒径 d_R
1 cm 以下	d_{60} を採用する。
1 cm 以上	A”集団以下の材料が 30%未満である場合は、 d_{60} を採用してよいが、できれば30%以上の場合と同様とする。 A”集団以下の材料が30%以上を占める場合は、A’集団とC集団を対象として、新たに粒度分布を作成し、その平均粒径 d_m を代表粒径とする。

(4) 河道特性を規定する主要因子

沖積地を流下し、かつ河岸が自身の河川流下物で構成された河道では、平均年最大流量 Q_m 、河床の代表粒径 d_R 、河床勾配 I_b を河道特性の諸構成要素を規定する主要因子とすることができる。

図 B. 1. 2. 6 は、わが国の一級河川の沖積河道区間において平均年最大流量 Q_m 時に低水路河床に働く平均掃流力（ここでは掃流力 τ を水の密度 ρ_w で除した摩擦速度の2乗 $u_*^2 = g \cdot H_m \cdot I_b$ で表してある。 g は重力加速度、 H_m は平均水深、 I_b は河床勾配である。 $1 \text{ cm}^2/\text{s}^2$ は、 $0.1 \text{ N}/\text{m}^2$ に相当する）と代表粒径 d_R の関係を示したものである。

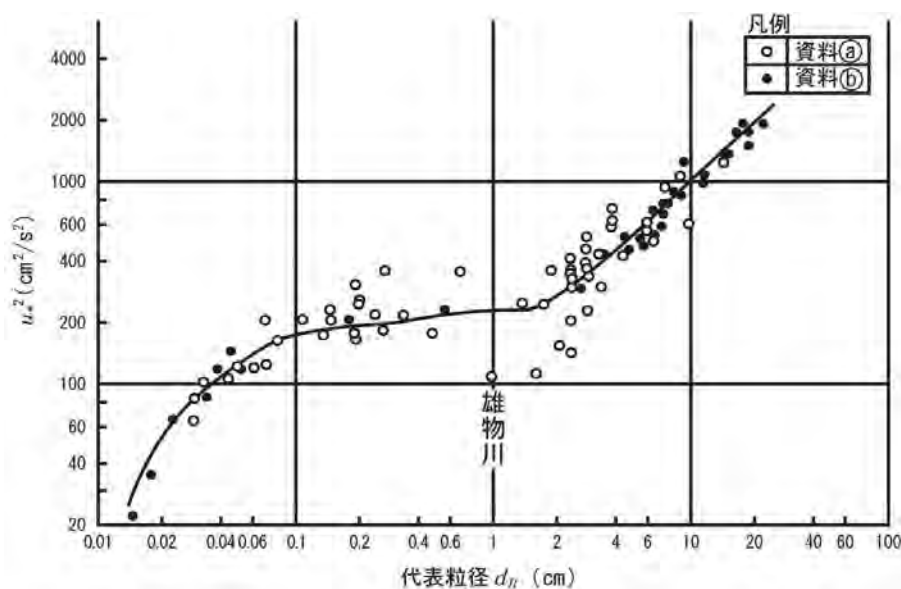


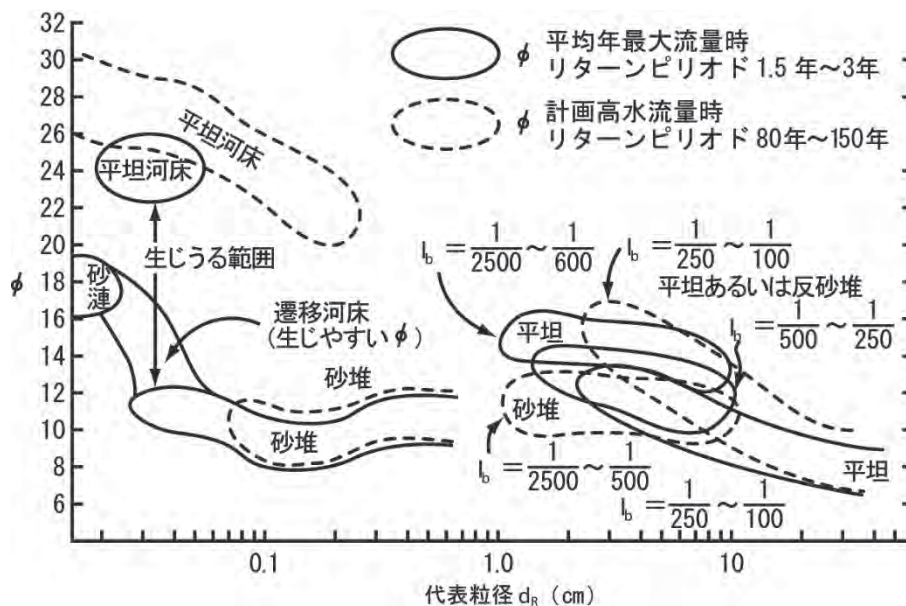
図 B. 1. 2. 6 日本の沖積河川の u_*^2 と d_R の関係

d_R が 2 cm 以上の河道では、 Q_m 時の u_*^2 は河床材料が全面的に動き得るような値となっている。セグメント 1 では河岸が河床材料と同様なもので構成されており、河床材料が全面的に移動しうる掃流力の状態まで川幅が広がり、それ以上広がると砂州の移動を伴いつつ、一方で侵食、他方で堆積が生じて、ある範囲に落ち着くのだと考えられる。セグメント 2-1 では河岸の上・中層が

粘着力をもち流水にある程度の流速に耐えられる材料からなるが、下層は河床材料と同様であり、洪水時に河床が全面的に移動すると湾曲部に深掘れが生じ河岸が崩れてしまう一方、対岸では湾曲部滑走斜面の上昇と浮遊砂の堆積が生じ、セグメント1と同様な代表粒径と u_*^2 の関係になるものだと考えられる。

d_R が2cm以下0.6mm以上の河道では u_*^2 がほぼ $150 \sim 200 \text{ cm}^2/\text{s}^2$ となっている。これは河岸の粘土混じりシルト・細砂の耐侵食力の大きさが河床材料を移動させる力より大きく、河岸の耐侵食力に応じた河道スケールになるためと考えられる。ただし、これは河岸が侵食されないということではない。凹岸側が侵食をされると、その後、凸岸側への細粒物質の堆積が生じる水理環境となり、ある川幅に落ち着くのである。これより d_R が小さくなると急に u_*^2 が小さくなる。中砂を河床材料としてもつセグメント2-2の河道では、上流のセグメントで浮遊砂的に流下していた中砂が掃流砂となるような u_*^2 の値に、また d_R が0.3mm以下の河床材料をもつセグメント3の河道では、上流のセグメント2-2でワッシュロード的であったものが、浮遊砂的な運動形態をもつ水理量($u_*^2/\omega_0 = 4 \sim 5$ 程度、ここで ω_0 は粒子の沈降速度)となっている。

図B.1.2.6は沖積河川がもつ基本的な内的構造特性であり、事実、河道掘削によって河積を増大したり、蛇行していた河道を直線化したりした後の変化は、図B.1.2.6の関係に戻ろうとする。



図B.1.2.7 平均年最大流量時および計画高水流量時の ϕ と d_R の関係

低水路のスケール、すなわち、川幅 B 、河積 A 、水深 H_m は、図B.1.2.6および別途求めた平均年最大流量時の流速係数 ϕ と代表粒径 d_R の関係を示す図B.1.2.7より、平均年最大流量 Q_m 、河床勾配 I_b 、代表粒径 d_R の3量でほぼ評価される。なお低水路満杯流量は平均年最大流量に近い。

図B.1.2.7より、 ϕ は d_R と I_b によってほぼ定まるので

$$\phi = f_1(d_R, I_b) \quad \dots \dots \dots (B.1.2.1)$$

図B.1.2.6より

$$u_*^2 = f_2(d_R) \quad \dots \dots \dots (B.1.2.2)$$

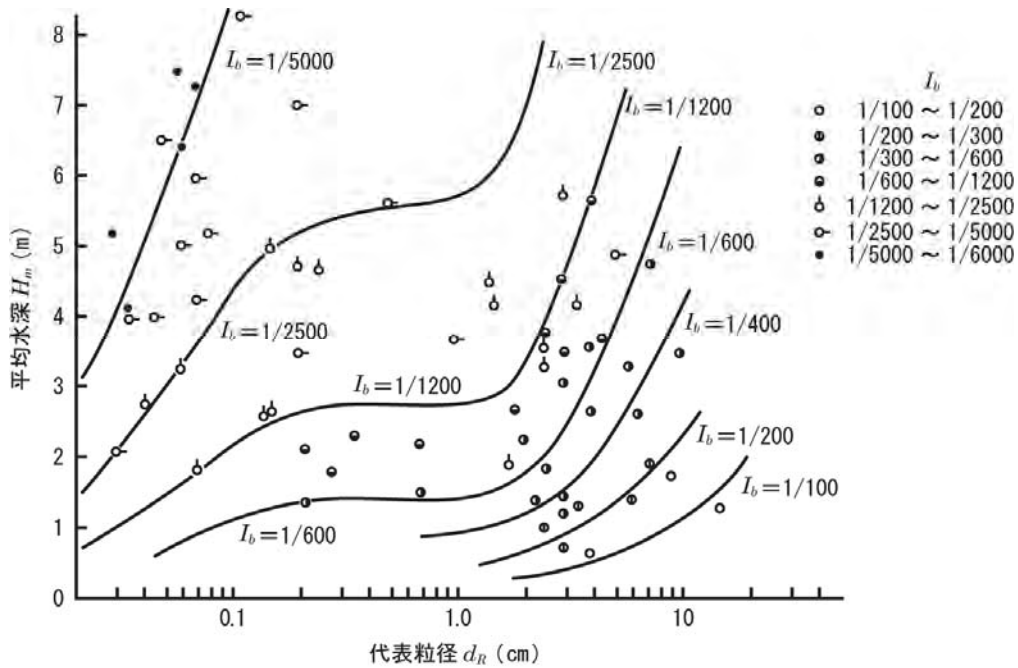
であるので、 $u_*^2 = g \cdot H_m \cdot I_b$ 、 $Q_m = B \cdot V_m \cdot H_m$ より

$$H_m = 1 / g \cdot f_2 / I_b \quad \dots \dots \dots (B.1.2.3)$$

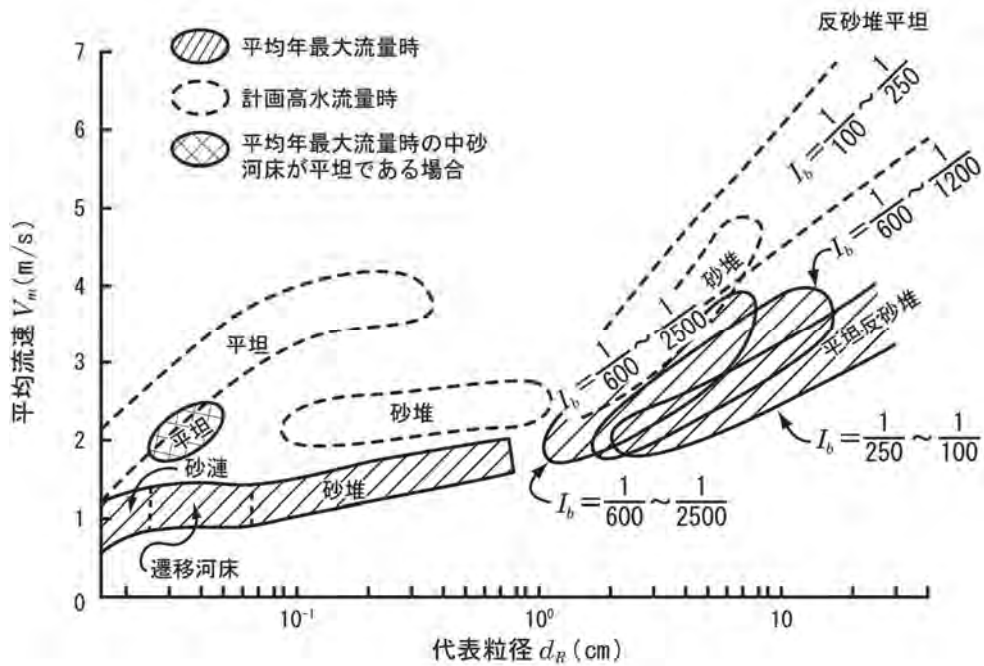
$$B = f_1^{-1} \cdot f_2^{-3/2} \cdot g \cdot I_b \cdot Q_m \quad \dots \dots \dots (B.1.2.4)$$

$$A = f_1^{-1} \cdot f_2^{-1/2} \cdot Q_m \quad \dots \dots \dots (B.1.2.5)$$

となる. 図B.1.2.8に平均年最大流量時の水深 H_m と代表粒径 d_R , 勾配 I_b の関係, 図B.1.2.9に平均年最大流量事および計画洪水時の低水路平均流速を示す(山本, 2010).



図B.1.2.8 平均年最大流量時の平均水深 H_m と d_R , I_b の関係



図B.1.2.9 平均年最大流量時および100年確率洪水時の低水路の平均流速

以上, 例示してきたように河道特性の各構成要素を Y_i とすると

$$Y_i = f_i(Q_m, d_R, I_b) \dots \dots \dots (B.1.2.6)$$

の関係が成立するものとして記載が可能である。ただし、人工的に流路位置を変えたり、河川自身で生じる川幅を人為的に大きく変えた場合などでは、式(B.1.2.6)の関係が生じないことがあるので注意が必要である。

セグメントMの狭窄部および上流から土砂供給の少ない河道では、河床がアーミングしたり、河岸や河床の基岩が露出したりするので、それらが河道特性を沖積地河川と異ならしめる。特に砂州形態や瀬・淵構造、さらには洪水時の河床洗掘形態が異なる。従ってこのような河道区間では、沖積層厚、表層河床材料調査などを行い、それらが河道特性のどのような影響を与えているか分析、河道の維持管理計画に取り入れる必要がある。

セグメントMにおいて狭くても沖積氾濫原があれば、基本的には沖積河川と同様な特性を持つが、谷壁により河道平面形や移動形態が規制されていること、さらに沖積層が薄いので河床洗掘に影響を与えていること、に注意する。

河口域では、波浪、潮汐、風、河水と海水などの要因の影響を受けるので、これらについて配慮が必要となる。

なお河道の平面形状、河岸侵食位置の堆定のためには、 Q_m 、 d_R 、 I_b の3量を用いて河道特性を記述する必要はない。(B.1.2.3)、(B.1.2.4)、(B.1.2.5)式より主要因子を転換しうるので、 B/H_m 、 d_R 、 I_b の3量を用いた方が直接的である(⇒B.1.3(2))。

メモ 参考資料B.1.2 河道特性把握に関する参考図書・マニュアル

国土交通省 水管理・国土保全局：国土交通省河川砂防技術基準 調査編 第4章 河道特性調査、第11章 河川環境調査、2012。
 平成9年度版 河川水辺の国勢調査マニュアル 河川版(生物調査編)、2001
 リバーフロント整備センター；河川環境表現の手引き(案)、リバーフロント整備センター、1999。
 財団法人河川環境管理財団：河道・環境特性情報の読み方と利用、河川環境総合研究所資料 第18号、2007。
 河川環境管理財団：ノート 河道・環境特性情報編集とその展開、河川環境総合研究所資料 第22号、2007。
 河川環境管理財団：鬼怒川の河道特性と河道管理の課題、河川環境総合研究所資料 第25号、2009。

コラム 河道特性調査結果から河川を読む

河道特性調査に意義と方法についての理解が徐々に進み、河川に関わる種々の調査・計画(河道計画、河川環境管理基本計画、維持流量・正常流量設定調査、河道の安全度点検調査)に応用されつつある。しかしながら、私の周辺でこれらの調査・計画に関わる河川技術者を見ると、河道特性量を通した河道特性項目間の相互関係を読み取れる人はまだほんの少数といえる。河道特性の読み取るには、沖積河川に関する基本的な知見を身体化しなければならず、そのためには、それ

なりの勉強と修行が必要である。わたしのこれまでの経験によると、1～2年の勉強と訓練でほぼ河道の読み取り技術を習得してしまった人もいたが、何年かかっても身体化できない人もいた。

河道を読むには、河道特性量とそれと関連する図形的表象（風景）が同時に浮かび上がらなくてはならないようなのである。部分を全体との相互関連性の観点から見るという優れた臨床医的能力が、実践的経験と視覚的情報の蓄積が、必要なのである。そして表出された情報を自身の経験、知見と比較し、場合によっては表出された情報そのものを疑い、見直し、さらなる知見の拡大と一般化を行わなければならないものなのである。

これからの河川管理の方向を考える時、種々の河川に関わる計画ごとに同じようなものを含む河道特性調査をそのたびに行うのは無駄である。新たに生産された河道の関わる情報の付加・蓄積とその共通言語化した表現様式は、河川管理行為の根幹となると確信している。それなくして、河川の安全度管理、河川環境管理、河川流域との連携化などありえないのだから。

河道特性情報（図形・記号）を意味あるものに読み解く人が必要である。河川技術教育をどのようにするか考えなければなるまい。

参考文献

（財）国土技術研究センター（2002）河道計画検討の手引き，山海堂。

山本晃一（1971）礫河床のサンプリングと統計的处理，土木技術資料第13巻7号，pp.354-358。

山本晃一（1994）沖積河川学，山海堂。

山本晃一（2010）沖積河川，技報堂。

山本晃一（2003）護岸・水制の計画・設計，山海堂。

参考資料B.2 河岸侵食位置の同定法（山本編著，2003 より）

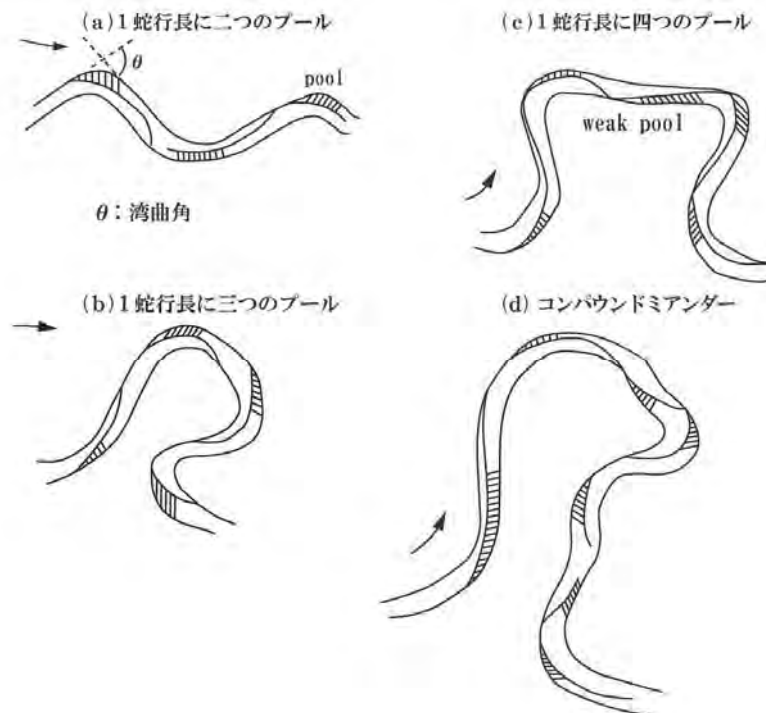
河岸侵食防止の緊急性から見た河岸の評価を行うには，河岸侵食の発生位置（深掘れが生じるところ）とその移動方向の評価が必要となる．以下にその評価法について記す．

(1) 自然河岸における河岸侵食位置とその移動方向の評価

河岸侵食が発生し易い地点およびその移動方向は，低水路の平面形状，砂州形状，濤筋位置（最深河床高線）の平面位置より評価可能である．以下に判定のために必要な情報と評価法を記す．

1) 蛇曲・迂曲河道の場合

低水路に発生する砂州の列数が1以下で，平均年最大流量時の川幅水深比が60以下の蛇行河道（⇒図B.2.1(a)タイプ）あるいは迂曲河道（⇒図B.2.1(b)，(c)，(d)タイプ）の河道平面形変動特性の共通項について取りまとめる．



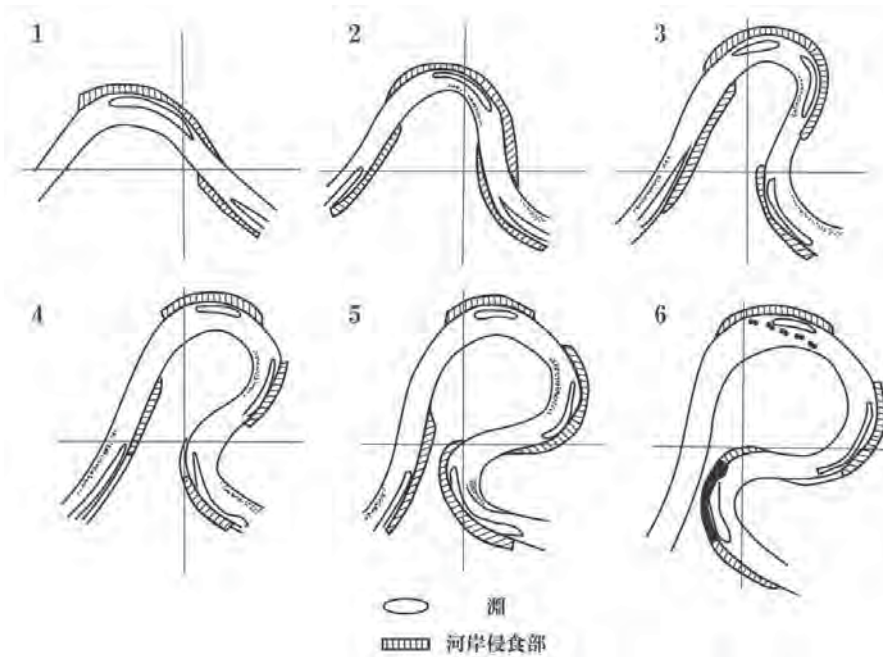
図B.2.1 蛇行形状とプール

① 蛇曲から迂曲への発達

1 蛇行長に2つのプール（淵）のある蛇曲から3つ以上ある迂曲への発達過程の典型例については，図B.2.2に示す．蛇曲の状態においては，外湾部の最大曲率点位置を基準点とすると河岸侵食部の長さは下流の方が長く，蛇行の振幅を増しつつ低水路位置を全体に下流に移動させるが，振幅の増大につれて水路長が長くなると，砂州の分裂あるいは新たなプールが発生し，これが生じると低水路全体の下流への移動は停止する．

② コンパウンドミアンダーの発生

蛇曲から迂曲に変わった後は，湾曲部はますますその径路を長くし，自然短絡（湾曲の首部が繋がること）が起こらなければプールの間隔が川幅の8～10倍程度となると，新たなプールを發



図B.2.2 蛇行の発達形態 (Kondr A. tyev, N. Y., 1968 に付加)

生させ、図B.2.1 (d) のような複雑な形 (compound meander) となる。プールの発生ごとに流路の移動方向、移動速度が変化する。プールの発生は低水路変動形態の質的変化時点である。

③ 自然短絡

迂曲河道では低水路の全体的な前進がないので、蛇行の進行に伴ってネック部 (首部) がくっついて自然短絡が生じる。氾濫水がネック部を走り、氾濫原を侵食し新たな水路を作って自然短絡が生じることもある。

④ 蛇曲から迂曲への移行時の流路長・蛇行波長比は 1.4 程度であり、湾曲角は $140\sim 180^\circ$ ，曲率半径川幅比 B/r は 3 程度である。

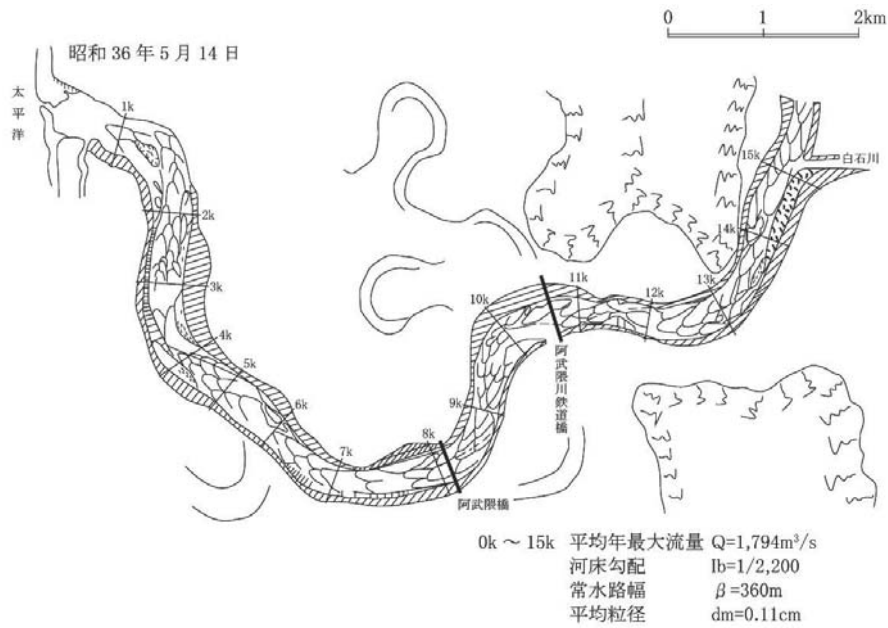
⑤ 河岸物質の影響

河岸の物質が流れに対して耐侵食力のある固結した物質があると蛇曲、迂曲の発達が妨げられる。例えば谷壁、段丘崖は低水路の側方移動を規制する。また沖積層が薄く、埋没洪積層が露出したり、沖積層内に粘土プラグが現れると河道の側方移動を妨げる。

⑥ 砂州の前縁線の位置、深掘れの位置が明らかな場合の侵食位置および方向の判定法

航空写真や横断測量図より河道内に存在する砂州の前縁線の位置、最深河床線が明瞭であれば、砂州の前縁線が河岸から離れる地点から対岸に達する地点まで、あるいは濬が河岸に寄った範囲を侵食位置とし、その中央地点の河岸線に直角方向に河岸が移動するとする。

セグメント 2-2 の河道では、平常時と洪水で砂州のモード (列数) が変わることがあるので、平常時の砂州形態からでは侵食区間を判断できないことが多い。多列砂州の砂州幅 B_s は水深の 100 倍程度であるが、セグメント 2-2 では小流量時でも河床材料が動くので洪水時と平水時では砂州のスケールが異なるのである。図B.2.3 に阿武隈川の小流量時における砂州前縁線位置と洪水時に生じるであろう前縁線位置を示した。洪水時に生じる河岸侵食位置の同定は、大洪水後の航空写真、河道平面形状図、河床横断図、災害復旧工事箇所等から総合的に判断する。この場合、以下の⑦の判定法が役立つ。



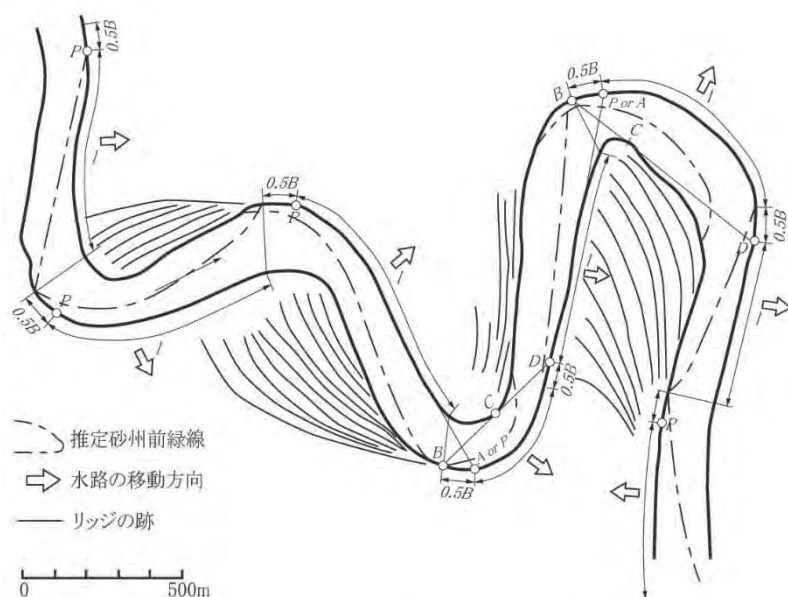
図B.2.3 阿武隈川における砂州形態

⑦ 河道の平面形状からの侵食部および侵食方向および方向の判定法

- ・直線河道であれば交互砂州が発生する水理条件にある場合

図B.2.4の1番目から3番目の湾曲部のように、水衝部の位置が左右交互に現れる木下良作(1961)がいうA型タイプ(蛇曲型)の砂州接続で湾曲角が 20° 以上の場合、河道の最大曲率点の位置Pより上流 $0.5B$ 、下流 $5B$ 程度を侵食域とし、その侵食長の中央の地点の河岸線に直角方向に河道が移動するものとする。

4番目の湾曲部のように、水衝部が外岸側に2つ連続して現れる木下良作のいうC型タイプの接続の場合は、湾曲部上流部の内湾側の直線部を延ばし、外湾側との交点をAとし、それより $0.5B$



図B.2.4 天塩川10km付近の水路の移動方向の推定と線状微高地

上流と 3~4B 下流を侵食域とする。2 つ目の侵食部はそこでの曲率が最大の地点より 0.5B 上流と 3~4B 下流を侵食域とする。曲率に変化が見られない場合は、図中の B 点と C 点を直線で結び、外湾との交点 D を求め、それより 0.5B 上流と 3~4B 下流を侵食域とする。両侵食域は繋がることが多い。各々の侵食部の中央地点の河岸線に直角方向に河道が移動するものとする。

・直線河道であれば砂州が発生しない条件にある場合

湾曲角が 20° 以下の場合、最大曲率位置より上流に 2B と下流に 2B 程度、 $20\sim 45^\circ$ では、上流に 1.5B と下流に 3B 程度、 45° 以上の場合、上流に 0.5B と下流に 4B 程度を侵食域とする。湾曲角が 60° 以上では、1 湾曲の長さが川幅の 7 倍以上ある場合は、C 型の接続型式になるとし、上流の最大曲率点より川幅の 5 倍程度の所（一般にそこは曲率が再度大きくなる所に相当する）を基準点とし、その上流 0.5B と下流 3~4B 程度を侵食域とする。直線部の長さが川幅の 10 倍程度ある場合は直線部の中央に新しいプールが発生するものとする。水路の移動方向は砂州の発生する場合と同様にして評価する。

・直線河道であれば多列砂州が発生する条件にある場合

平面形状からだけでは侵食部の判定は難しいが、河岸線が岸側に膨らんでいる所の最大曲率点 (A 点) からへこんでいる所の最大曲率点 (B 点) 間の距離を L とし、侵食部は、A 点上流 0.1L 程度から下流長さ L 程度の区間とすれば概略把握できる。

メモ 複断面河道における大洪水時の侵食部

福岡他 (1995) は、水理実験により複断面蛇行水路において低水路満杯流量以下の河岸深掘れ部位置が、大洪水のときに高水敷上の流れの影響で大きく変わる可能性のあること (外湾部から内湾部へ) を示唆した。最近 (2000)、初期河床を実河川の形状に想定して行なった非常実験により、よほど大きい高水敷水深が続くか洪水が続けて発生するのでなければ、湾曲部内岸河床の洗掘は生じにくいとしている。

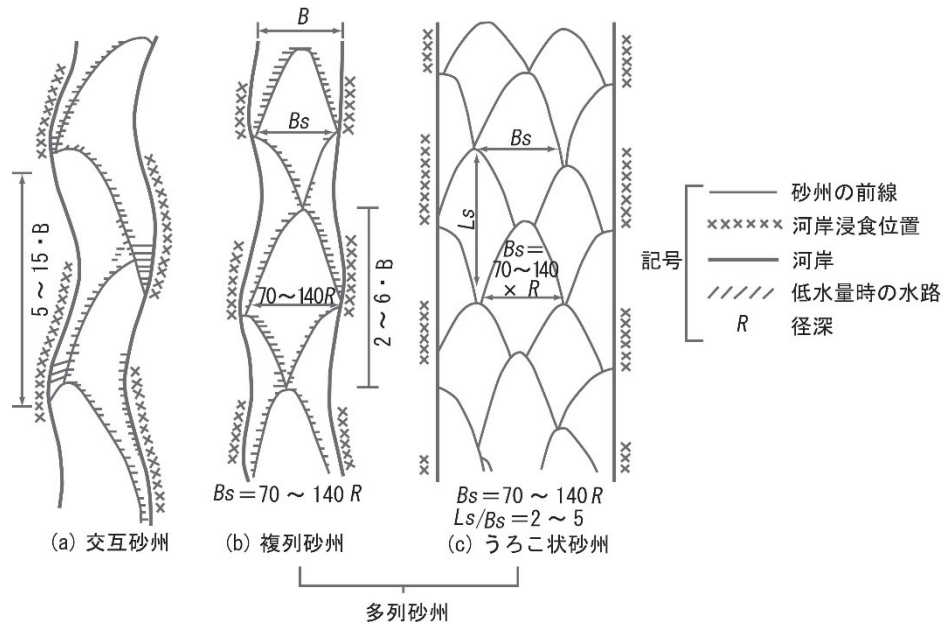
2) 直線状河道の場合

直線状河道の場合、河岸侵食の位置とその長さは、砂州のスケールとその配置形態から推定できる。図 B.2.5 は砂州に関する実験資料と現地河川の砂州形状の分析より、ほぼ直線状の河道状の河道で生じる砂州の平均的なスケールを示したものである。交互砂州の場合は、その長さ L_s は川幅の 5~15 倍程度であるが、図 B.2.6 に示すように B/H_m が大きくなり、砂州が複列的になると L_s/B が小さくなる傾向にある (山本他, 1989)。

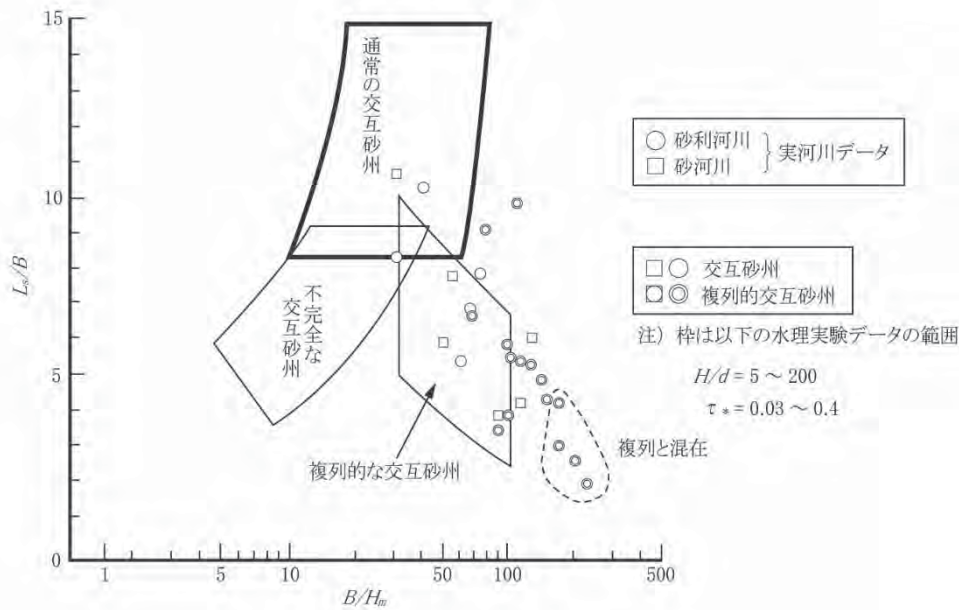
複列砂州の場合は、 L_s は川幅の 2~5 倍程度であるが、これより列数 (図 B.2.5 の交互砂州を列数を数える基本単位とし、これを 1 列とする。図 B.2.5 の c) は 4 列である) が大きいと、砂州幅 B_s は砂利河川で平均年最大流量時の 70~100 倍程度であり、 L_s は B_s の 2~5 倍程度である。以下にセグメント毎の具体的推定法を示す。

① セグメント 1 の場合

セグメント 1 の河道区間では、一般に多列砂州が発生し河道は直線状に近い。河岸侵食位置は砂州による滯筋が河岸に寄る区間に発生する。河川整備計画の時間スケールである 30 年程度の時



図B.2.5 典型的な砂州のスケール



図B.2.6 実河川の L_s/B と B/H_m の関係

間スケールでは砂州が移動するため兩岸の河岸はすべて侵食の可能性がある。

小河川で、川幅水深比が小さく単列砂州が発生する場合には、河道は緩い蛇行河川となることが多い。この場合、河岸侵食に伴い侵食位置は下流に徐々に移動する。

メモ 砂州の固定化

近年、セグメント1の河道で上流部に大ダムが建設された河川、頭首工をセグメント1の河道区間にいくつも設置し、かつ河道掘削を実施した河川では、川幅の縮小と河道の一部の高水敷化が生じている。このような河川では、同時に頭首工下流の河床材料の粗粒化と砂州移動の停滞が生じている。とくに川幅水深比が70以下の河川では、濇筋の固定化が進み、水衝部が固定する傾向にある。このような河川では、護岸の設置範囲の設定に当たって、現実を受け入れた（砂州が移動しないと）河岸のランク区分を行うべきである。すなわち濇が寄った方のみ河岸侵食の恐れがあるとする。

メモ 近年における沖積河川における砂州前縁線の不明瞭化

近年、多列砂州の存在する河川において、砂州が樹林化、島状化したりして、砂州の前縁線の不明瞭化、砂州形状の変状が生じている。ダムによる洪水流量の変化や河床材料の変化（粗粒化）、河床掘削などが原因していると推定される。大洪水時の侵食位置の推定が従来より難しくなった。

② セグメント2-1の場合

自然河道で単列砂州が発生する条件では、一般に蛇行河川となり直線状河道とならないが、人工的に直線化し、そこで砂州が発生する場合は、**図B.2.4(A)**のような個所で侵食部が発生する。河道平面形状を侵食防止工で固定すると、砂州が下流に移動するので、長い時間の間には兩岸ともに深掘れが生じるが、その移動速度は遅く、砂州が移動しないととして護岸の設置位置を定めてよい。

複列砂州が発生する条件では、砂州に移動に伴い河岸が侵食し、結局長い時間の間には兩岸とも河岸侵食が発生する。しかし砂州の移動速度は遅いので単列砂州と同様砂州の移動に合わせて護岸・水制を設置してよい。

③ セグメント2-2の場合

セグメント2-2の河道で一級河川の指定区間外であり、海水位により平常時河床材料の移動が少ない区間以外では砂州の列数が平水時と洪水時で異なることが多い。兩岸ともに深掘れが生じる可能性がある。ただし河岸物質が耐侵食力のある粘土層などからなる場合、侵食速度が小さく河岸のランク区分（⇒**5.6.1(5)**）3、4の河岸とし得る。

④ セグメント3の場合

直線状の河道では、砂州の発生条件にないことが多く、また河岸も粘性土で構成されていることより、流水による河岸侵食作用は弱い。波浪、航走波で河岸が侵食される場合がある。

(2) 河岸が硬いもの構成される場合の砂州の配置形態と深掘れ部の位置

わが国では低水路の位置の変化を許容できる河道区間は短い。護岸・水制を設置せざるを得ない区間が長いのである。河岸が護岸等で固定されている場合には、低水路の平面形状とそのスケ

ールが低水路内に発生する砂州のスケールに対応しないことがある。低水路のスケール（蛇行波長や川幅）が砂州のスケールより小さいと、低水路のスケールに対応した強制砂州（水路形状に

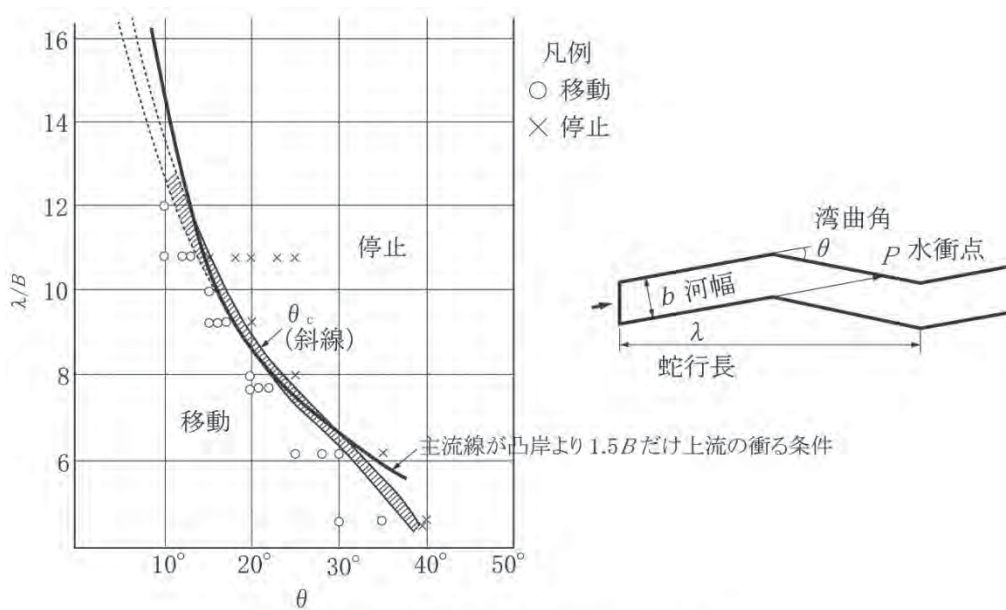


図 B. 2. 7 砂州の移動停止限界（三輪，1974 を微修正）

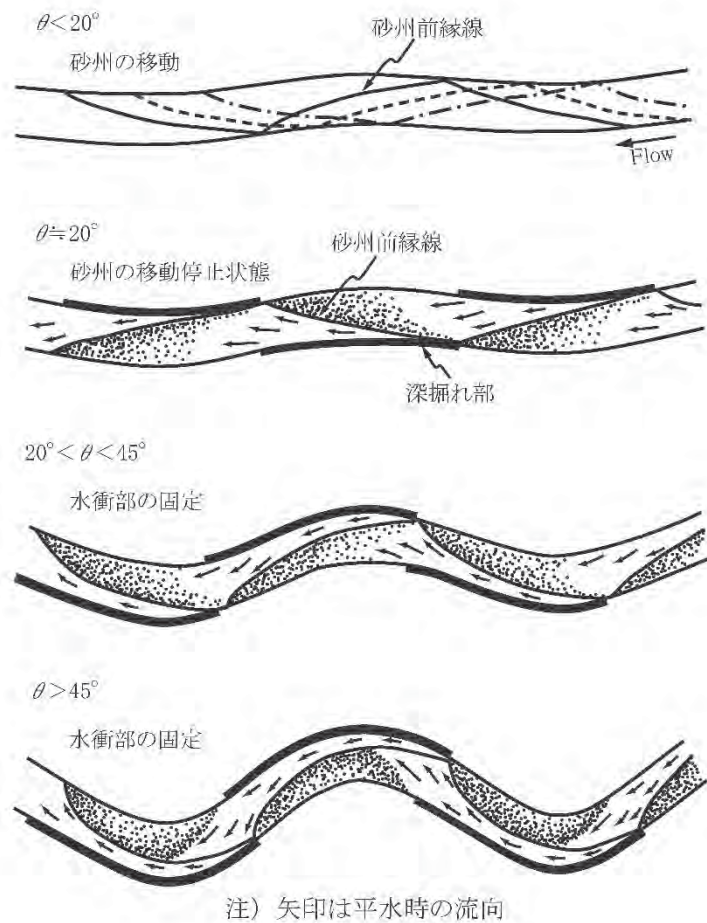


図 B. 2. 8 河道の湾曲角と砂州配置形態との関係（山本他，1989）

規定された砂州)が発生し、逆に低水路のスケールが砂州のスケールより十分に大きいと、砂州は低水路内を自由に動き回ることになる。

直線河道が単湾曲でつながっている場合には、上流から流下してくる砂州は、湾曲部で変形を受けるが砂州の流下という波動性を下流に伝える。低水路が砂州の長さ程度の蛇行波長を持って蛇行しある程度湾曲角が大きく、かつ河岸が固定されていると(護岸等で侵食防止がなされていると)、砂州は移動を止めてしまう。砂州の移動が停止してしまう限界角度は 20° 前後である。図 B.2.7 に、砂州の移動停止条件を示す(三輪, 1974)。また蛇行波長川幅比が 8~12 程度の場合の河道の曲がり具合と砂州の配置、深掘れ部の位置関係を図 B.2.8 に示す。

このように河岸を護岸等で固定すると深掘れ部の位置が自然河岸の場合と異なることがあるので、注意が必要である。

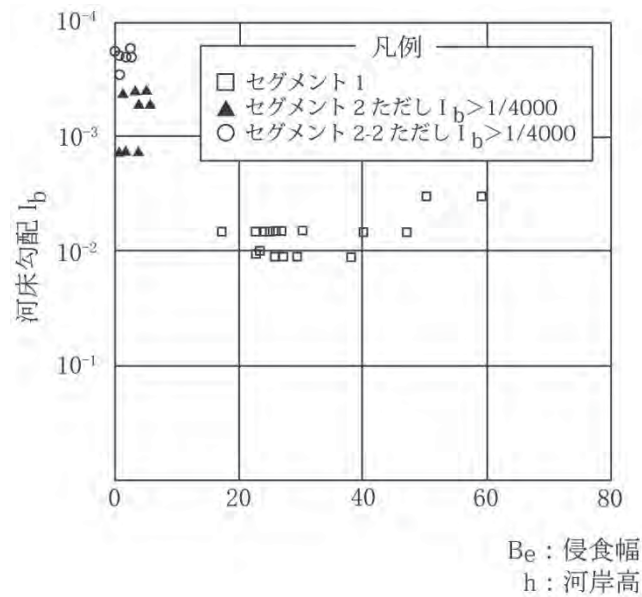
参考文献

- 木下良作 (1961) 石狩川河道変遷調査, 科学技術庁資源局資料第 36 号.
- 福岡捷二, 小俣篤, 嘉村大輔, 平生昭二, 岡田将治 (1995) 複断面蛇行河道における洪水流と河床変動, 土木学会論文集 No. 621/II-47, pp. 11-22.
- 三輪式 (1974) 砂レキ堆の位置が安定化する流路形状, 新砂防 Vol. 94, pp. 12-17.
- 山本晃一 (1994) 沖積河川学, 山海堂 pp. 129-190.
- 山本晃一, 高橋晃, 佐藤英治 (1989) 河道平面形状と砂州の関係に関する基礎調査, 土木研究所資料第 2806 号, pp. 312-368.
- Kondrat'yey, N. Y., (1968) Hydromorphological principles of computation of free meandering, Trans. of the State Hydrologic Institute(Trudy GGI), No.155, pp. 5-38.

参考資料B.3 河岸侵食形態と侵食スケール

図B.3.1は、わが国の河川資料を用い、一洪水で生じた河岸侵食幅 B_e と河床勾配 I_b の関係を示したものである（建設省治水課他，1990）。この図では侵食幅は、低水路河岸高 h （高水敷高と低水路平均河床高との差）で無次元化してある。これより、扇状地河川では、多列砂州の砂州幅 B_s は平均年最大流量時の平均水深 H_m の100倍程度であり、河岸高 h は平均年最大流量時の平均水深よりやや大きいので、一洪水で砂州幅の半分以上にも達する侵食があること、セグメント2-1では、 B_e/H_m が2～5程度、セグメント2-2および3では2～3程度であることがわかる。

以下にセグメントごとの河岸侵食量や形態になぜ差異が生じるのか述べよう。

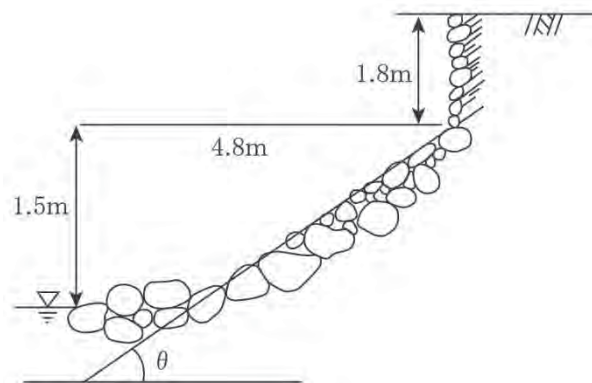


図B.3.1 侵食幅と河床勾配の関係（建設省治水課他，1990 修正）

(1) セグメント1

扇状地河川のように河岸物質の大部分が河床材料と同様な粗粒物質からなる場合は、河岸前面の洗掘、砂州の移動を伴いながら、洪水によって侵食される受食型のタイプとなる。

侵食部の河岸の特徴としては、図B.3.2に示すように河岸上部が切り立ち、下部がほぼ一定勾配を



図B.3.2 黒部川7.6km右岸の河岸形状（山本他，1993）

表B.3.1 河岸侵食面の高さおよび斜面の角度（山本他，1993）

河川	調査地点	高さ H (m)	斜面角度 θ (°)
黒部川 1990年 6月調査	12.8km左岸	3.0	22
	12.6km右岸+15m	3.0	32
	12.6km右岸+10m	3.1	34
	12.6km右岸	2.9	32
	10.6km左岸	1.6	31
	9.6km左岸	2.0	39
	8.0km左岸	3.0	39
	7.6km右岸	3.3	17
	6.6km右岸	1.8	27
	5.2km右岸	1.4	32
	2.4km右岸	2.0	—
1.1km右岸	1.1	—	
常願寺川 1990年 11月調査	12.4km左岸	2.5	32
	11.3km右岸	2.0	31
	10.8km右岸	3.5	40
	10.1km右岸	4.6	27
	9.5km左岸	1.6	27
	7.7km左岸	1.8	34
	4.5km右岸	6.5	32
	4.0km左岸	2.0	27

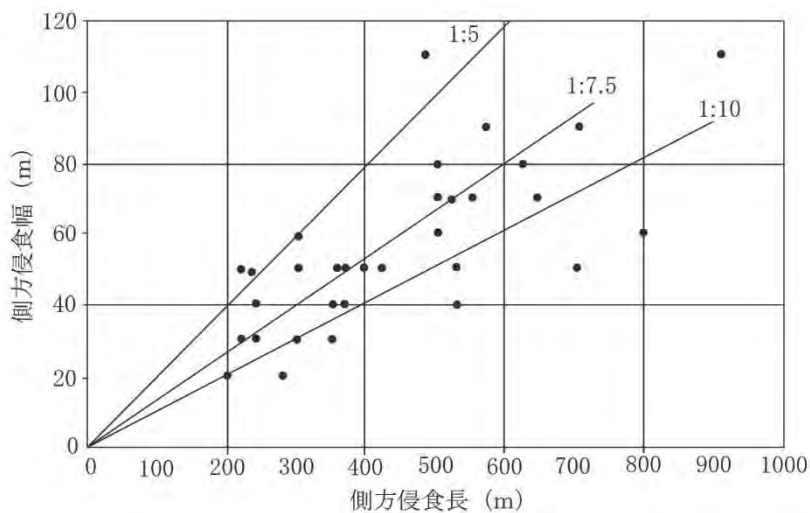
持つ斜面からなることが多い。黒部川，常願寺川での河岸侵食面の高さと同斜面部の斜面角度は表B.3.1のようである(山本他，1993)。斜面角度は $30\sim 35^\circ$ であり，玉石の安息角に近い。その表層材料は河床材料のC集団，A' 集団からなりアーマ化されている。垂直部分の材料は，玉石の間にマトリックス材料としてA''，A'''，B集団が詰まっており，これらが一種の胴込め材となって垂直壁の安定性を保持している。洪水時流水にさらされるとアーマ化され土砂は流速増大により動かされ河床低下し斜面の安定性が崩れ，あるいは斜面が流水により削りとられ，河岸侵食が生じる。

侵食崖の肩線は，写真B.3.1の常願寺川（6.6km左岸，昭和58年（1983）撮影）に示すように滑らかである。この侵食は砂州の発達と移動と密接に関係しており，その侵食は砂州の長さによって支配される。図B.3.3は，黒部川で生じた河岸侵食長と側方侵食幅の関係を示したもので，側方侵食幅は側方侵食長の $1/10\sim 1/5$ となっている。側方侵食幅の2倍と側方侵食長の比は1対3～4程度であり，砂州幅と砂州長の比に近い。これは侵食が砂州と密接な関係にあるということを示している。

1回の洪水で生じた河岸侵食幅は，過去の事例によると最大で100m程度である。侵食幅が大きな理由は，河岸物質が河岸材料と同様なものからなり，流水に対する耐侵食力は河床と同程度であるので，流水が河床材料を動かすことができる限りは侵食が連続して発生し得ること，侵食が生じると同時に多量の土砂が上流から運ばれ砂州の前進が生じ，河岸前面の侵食力が弱くならないことによる。



写真B3.1 常願寺川左岸 6.6km 付近 (1983年8月, 富山工事事務所提供)



図B.3.3 黒部川の側方侵食長さと側方侵食幅の関係 (富山工事事務所資料に付加)

(2) セグメント 2-1

河岸の上層が細砂混じりのシルト, 中層が砂層と泥層の互層, 下部が砂混じり礫からなることが多い, 水衡部で河岸前面が洪水時に洗掘されると河岸の安定性が崩れ, 上・中層が滑落する崩落型の河岸侵食が生じる. 上・中層は, 切り立っているのが特徴である. 下部の斜面は1/2から1/3程度である.

河岸侵食面の細砂層と泥層の互層面は, 小出水によって細砂層が差別的に侵食されたり, 雨水による浸透水によって細砂層が液状化して多少流出したり, あるいは泥層の乾燥収縮等によって崩れたりしていき, 大きな出水がないと少しずつ勾配が緩くなり, そのうちに植生に覆われてしまうようである.

河岸の侵食は間欠的であり, 侵食幅は河岸高の2~3倍程度であり, 侵食長は蛇行河道で滞筋が

河岸による長さ，川幅の5倍程度である．

(3) セグメント 2-2

セグメント2-1と同様な滑りを伴う崩落形式の侵食となるが，セグメント2-1と比べて洪水時に河岸に働く掃流力が弱いこと，また河岸物質がより細粒化し粘着力もあり，その層厚も厚いこともあって河岸崩落はより間欠的である．

この崩落による河岸の側方移動速度は，河床材料の大きさが同じであっても河岸物質によって大きく異なる．河岸の物質が後背湿地の粘土質の物質である場合や縄文最海進時のデルタ底置層，あるいは更新統の半固結物質が下部に露出したりすると側方移動速度は非常に小さくなる．逆に河岸物質がデルタフロントの細砂やポイントバーの粗粒物質である場合は，河岸侵食速度が大きくなる．

法崩壊が河岸下部の洗掘による滑落で生じるので，侵食面が切り立っているのが特徴である．滑った河岸物質がそこに滑った形のまま残り，一時的に河岸の侵食を防止する役目を果たしていることがある．崩壊面は，大きな出水がないとセグメント2-1同様少しずつ崩れ斜面が緩くなっていく．河岸物質が粘土質の場合や洪積層の場合は，侵食面がほぼ垂直のまま長い期間存置する．

深掘れ深が大きい所の河道横断面によると水平面以下の斜面勾配は，2割勾配程度となっている所が多い．このような場所は，ブロック等の乱積みによって河岸侵食防止を行っているので，ブロックの安定斜面角が2割勾配程度となることを示しているといえる．

河岸下層が河岸材料と同じような堆積物からなる場合，この層の斜面角度がどの程度となるかについては河岸の堆積物の調査がなされていないので明らかにすることができないが，中・細砂を河床材料に持つ河川での橋脚周辺の深掘れ形状から判断すると3割程度となると推定される．

水面下の横断方向勾配が2割より急な場合には，そこに粘着力のある粘性土層，固結した更新統の堆積物が存在すると考えてよい．

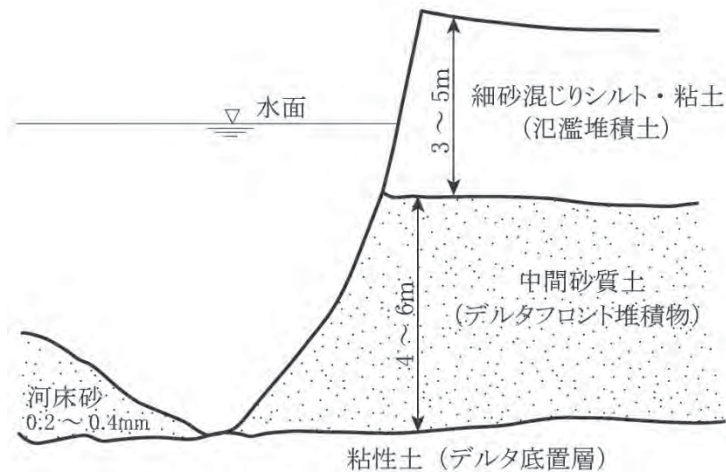
(4) 細砂をA集団に持つセグメント 3

このような河道が少ないこと，また人工的に改変された河道である場合が多く，河岸侵食形態や速度に関する資料が少ない．河床材料の代表粒径が0.2～0.3mmで図B.3.4のような河岸層序構造を持つ荒川30km付近では，デルタフロント堆積物である細砂層が侵食されて，上・中層の氾濫原堆積物が滑落し，河岸侵食が生じた．

なお外国の細砂を河床材料に持つBramaputra川 ($d_R = 0.15 \sim 0.25\text{mm}$) (Coleman, 1969)，長江 ($d_R = 0.15 \sim 0.25\text{mm}$) (Pan, 1984)，黄河 ($d_R = 0.1 \sim 0.3\text{mm}$) (Long, 1984)では，河岸侵食規模および速度がわが国の河川と比べて大きい．わが国の河川と異なるのは，流域規模が大きく洪水継続時間が長いこと，および勾配が緩く水深が深いことが主因である．

長江の河岸侵食の実態を見てみよう(山本，2003)．

河口より312～932 km区間の河岸侵食部の年間最大崩壊幅は，25～350mであり100m程度が多い．崩壊河岸の前面の水深は30m程度であるので，崩壊幅/前面水深は1から5程度である．これは1洪水当たりの滑りによる崩壊幅程度と考えられるので，河岸侵食の大部分は1洪水期に何回も崩壊が生ずるものでないとする．河岸から河岸前面の最深河床が生じている地点までの河岸の勾配は1.8～5であるが3程度が多い(長江流域規格弁公室，1978)．

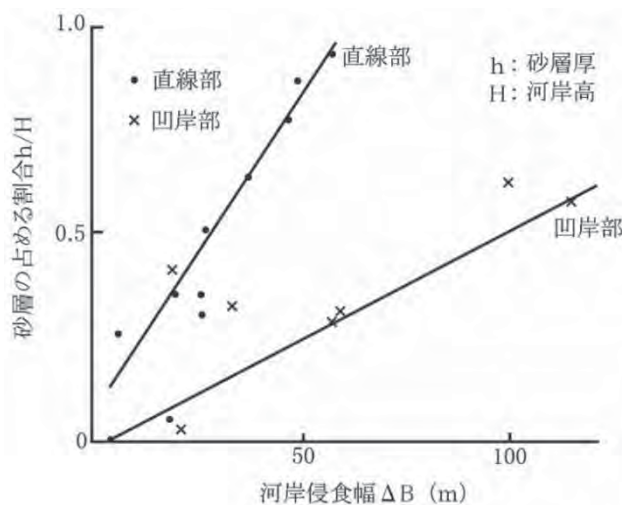


図B.3.4 セグメント3の河岸（荒川30km付近）

この値は日本の細砂・中砂を河床材料に持つ河川と同様である。なお本区間の河岸材料は、河岸上層は主に粘性土で局部的に粘性土，砂土を挟む（0.05mm以上18.3%，0.05~0.005mmのシルト56%，0.005mm以下25.7%）。下層は中細砂層（砂粒80.05%，シルト15.8%，粘土4.15%）である（長江流域規格弁公室，1978）。河床材料は細砂（0.125~0.25mm）と判断される。河岸満杯流量時の水面勾配 $I_s \doteq 1/44000$ ，平均水深 $H_m \doteq 13\text{m}$ ，河幅水深比 $H_m/B \doteq 130$ である。中島が多数存在する。

河岸の崩壊し易さとその規模は、河岸における上層の粘性土層の厚さとその下の砂層の厚さとの比，流水の集中度，すなわち湾曲部と直線部では異なる。図B.3.5は河口より1500~1800kmの区間（ $d_r=0.125\sim0.25\text{mm}$ ， $I_s=1/30000\sim1/22000$ ， $H_m \doteq 13\text{m}$ ）における年間河岸侵食幅 ΔB と砂層の厚さ h に対する河岸高 H の比 h/H の関係を直線河岸と湾曲凹岸に分けて示したものである（長江流域規格弁公室，1978）。河岸高に占める砂層の割合が小さいと侵食幅が小さい。凹岸部の方が直線部より崩壊幅が大きいのは，凹岸部での侵食地点前面の深掘れ深が直線部より大きく，崩壊規模が大となるためであろう。

河岸高の大きいMississippi川，Ganga川，Meghna川では，洪水により砂層水分が飽和し，洪水



図B.3.5 h/H と ΔB の関係（長江流域規格弁公室，1978より）

の終期において浸透水が抜けず内部間隙圧の高い状態で水位が低下し、河岸の土質力学的安定性が崩れ、法崩壊に至るといった現象が観測されている。長江においても同様の現象は生じている。

(5) シルト・粘土を河床材料に持つセグメント 3

シルト・粘土を河床材料に持つセグメントが自然に形成された六角川の横断面形状の代表例を図 B.3.6 に示す(山本, 1991)。5.0km までは大潮時、川幅水深比が 35~100 あり皿形の横断面形状をしているが、5.0km より上流部では、川幅水深比が 15~20 程度と小さくなり直線部では逆台形状、蛇行部では三角形の横断面形となっている。昭和 60 年 (1985) の測量結果より河道横断方向の斜面勾配を調べると、最も潮汐の影響の大きい標高 T.P. 0m の位置で図 B.3.7 のようになる。これによると 2km 付近までは 1/10 以下、2~5km が 1/10、5~18.0km が 1/5、18.0km 以上は 1/3.3 と段階的に急となっている。また部分的に急な勾配となっている所があるが、これは湾曲による深掘れ部と一致している。写真 B.3.2 と写真 B.3.3 は河口堰 (4.5km 地点) と六角橋 (11.2km 地点) の河岸の様子を示したものである。斜面勾配は六角橋地点のほうが急なのがよく分かる。なお急斜面の所は斜面が泥濘化し崩れ (流れ) ている。表層のガタ土(シルト・粘土)の含水比は液

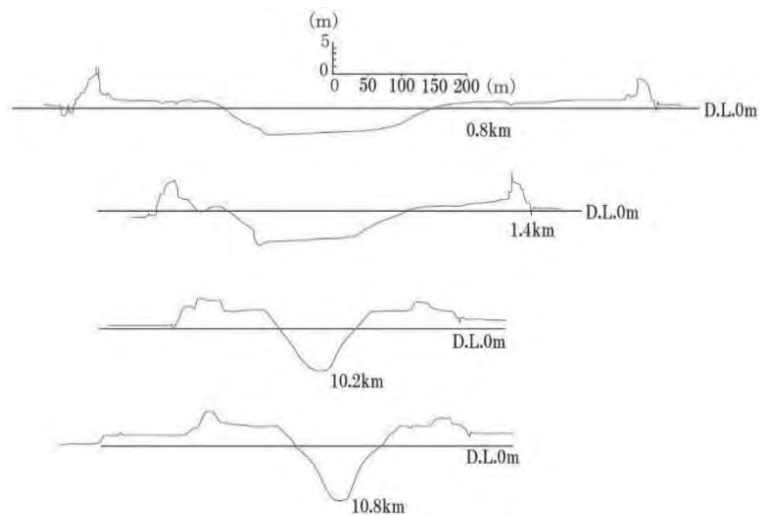


図 B.3.6 六角川の代表的な横断面形状

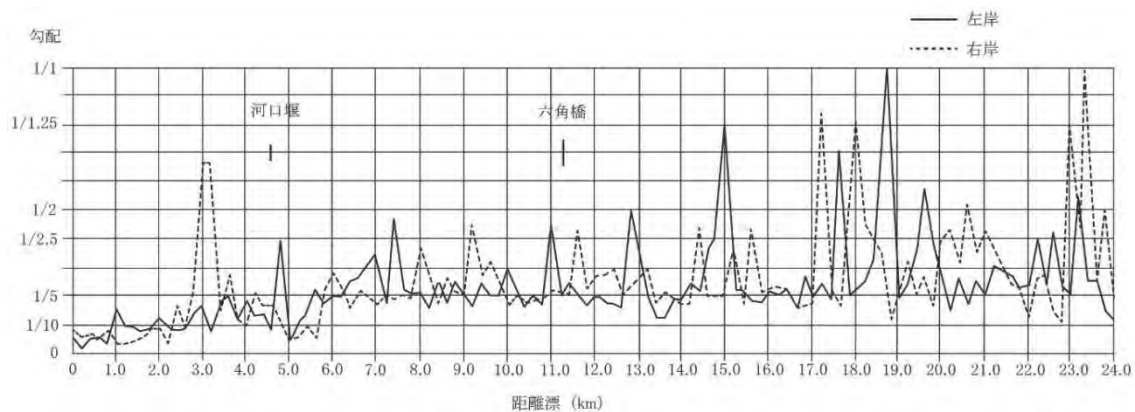
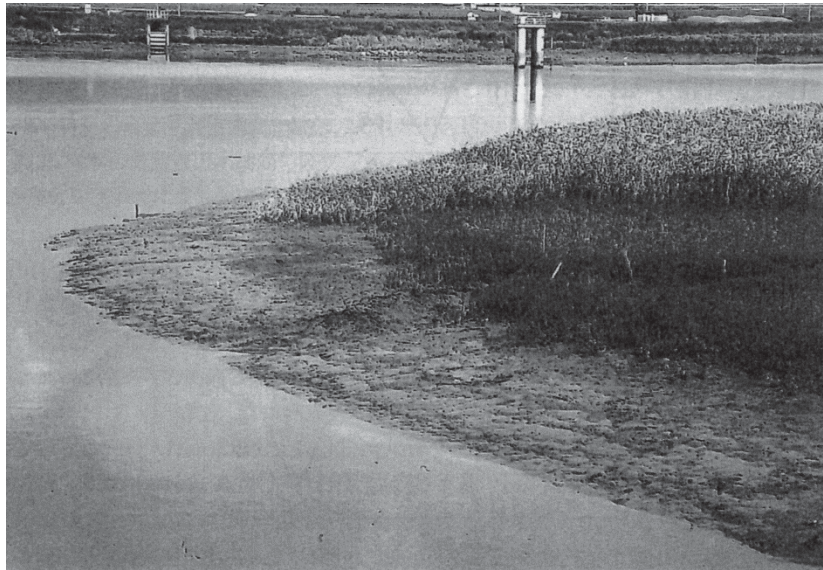


図 B.3.7 六角川水際部の斜面角度 (武雄工事事務所資料より)



写真B3.2 六角川河口堰 (4.5km 地点, 1989年9月撮影)

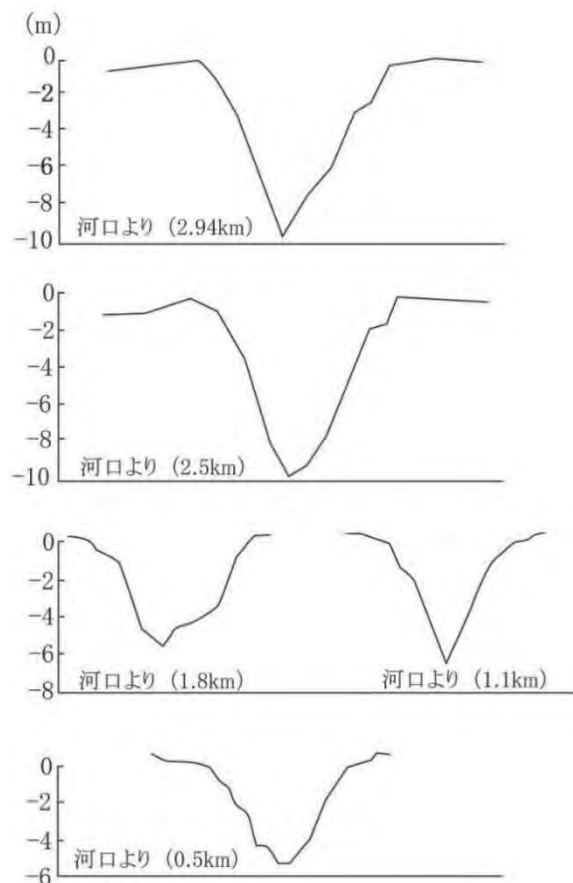


写真B3.3 六角橋 (11.2km 地点, 1989年9月撮影)

性限界の含水比を超えており、振動や外力を与えると容易に流動化してしまう。下流のほうは斜面勾配の緩いのは、セグメント形成年代が若く (⇒注1)、含水比が高いため粘着力Cが小さいのである。河道の位置は人為的改変を除けば、近世以来ほとんど動いていない。

潮汐流の影響があまり強くないインドネシア国の Solo 川河口部のシルト・粘土を河床材料に持つ区間はほぼ直線状の水路であるが、横断形状は図B.3.8に示すように逆三角形形状である。斜面角度は急な所で1/8.6程度となっている (山本, 1989)。河道位置は新水路の形成による以外は、移動がない。

シルト・粘土を河床河岸に持つ河川の水際下の最大斜面角度は、1/15~1/5程度で、若い堆積物ほど緩くなる。このようなシルト・粘土を持つ河川では、河岸侵食による河道位置の移動はほとんどないと考えてよい。



図B.3.8 インドネシア・ソロ川河口部の横断形状 (Bengawan Solo Survey Team, 1974)

注1) 六角川河口位置の変化

海岸汀線位置は、A. D. 800年ごろで現河口より11km地点、A. D. 1300年ごろで9km地点、A. D. 1600年ごろで7km地点、A. D. 1850年ごろで3km地点くらいであると推定されている(佐賀市史編纂委員会, 1977)。

参考文献

- 長江流域規格弁公室 編集 (1978) 長江中下遊護岸工程経験編 pp.9-18, pp.98-120.
- 山本晃一(1991) 沖積低地河川の河道特性に関する研究ノート, 土木研究所資料第2912号, pp.113-153, pp.163-170.
- 山本晃一 (2003) 気候の違いは河道特性の内的構造を変えるか, 第2編 ベネズエラ国アプレ川の河道特性, 河川環境総合研究所資料第6号, pp.1-32, pp.59-82.
- 山本晃一, 高橋 晃 (1993) 扇状地河川の河道特性と河道処理, 土木研究所資料第3159号, pp.98-104, pp.261-253.
- Coleman, J.M. (1969) Brahmaputra River, Channel processes and Sedimentation, *Sedimentary Geology* 3, pp.129-239.
- Pan Qingsheun(1984) Artificial cutoffs of the Middle Chang jiang River, Reports for Japan-China bilateral seminar on River hydraulics and engineering experiences.

参考資料B.4 最深河床高の評価（山本，2003 より）

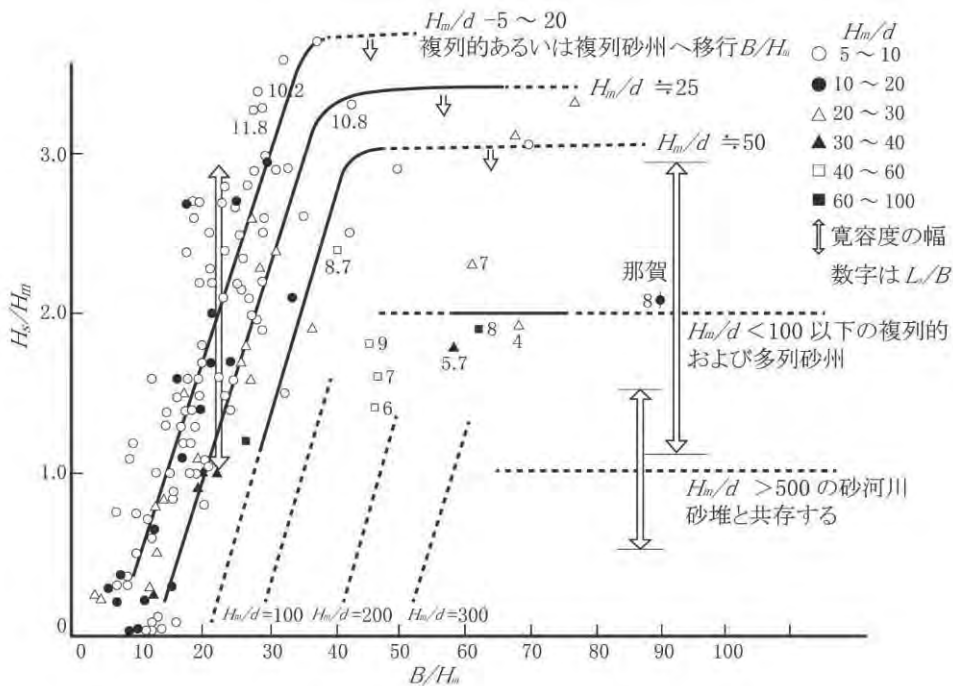
護岸破壊のほとんどは、護岸前面の河床低下によるものである。また水制破壊の原因も砂州や河道の湾曲に伴う河床洗掘と水制自体による洗掘によるものが多い。従って、設置対象河岸付近の最深河床高（水制による局所洗掘は除く）の評価は、護岸・水制の設計において最も重要なものである。

最深河床高は、供給土砂量や流況の変化に伴う河床の長期的変化、人為的河床掘削、砂州の移動、洪水時における短期的河床の変化（河道の曲がり、川幅の変化、小規模河床波、水制などの河川構造物によるもの）によって時間的に変化する。この変化形態は河道のセグメントごとに異なる。洗掘現象の複雑さと定量的な評価に必要な現地観測が困難なこともあり、最深河床高の定量的評価は難しく、今までは河川の深掘れ状況、過去の経験に基づいて評価されてきた。

ここでは、これまでの研究などから明らかになった成果などを基にして、河道特性に応じた設計対象河床高の設定法を提案する。

(1) 河道特性と最深河床高の関係（山本，1994）

河岸付近の最深河床高とその時間的変動形態は、河道の平面形状、砂州の発生・移動と密接に関係している。また自然河川においては、河道の平面形状は低水路内に存在する砂州の形態や配置および移動と密接に関係している。砂州は、河道地形の一つのユニットであり、瀬や淵はその部分である。直線河道における砂州の形態とスケールについては、図B.4.1に示す。交互砂州の発生している河道では水流が蛇行し、集中と発散を繰り返す、うろこ状砂州では水流が離合集散する。直線河道では、砂州は下流に向かって移動し、それに伴って河岸侵食位置が変化する。



図B.4.1 水理実験による相対砂州高 H_s/H_m と川幅水深比 B/H_m の関係
 （無次元掃流力 τ_* は 0.03~0.4 の範囲）

セグメント 1 および 2-1 の河道では、砂州のスケールは図 B. 4. 1 に示したように低水路の川幅 B と平均年最大流量時の水深 H_m に規定される。交互砂州の波長 L_s は B の約 10 倍程度であり、緩やかな蛇行する河川の蛇行長にも対応する。複列砂州およびうろこ状砂州の L_s/B は 2~5 程度である。自然河道の蛇行程度は B/H_m が小さいほど大きく、複列砂州が生じる B/H_m が 100 以上では蛇行度が小さく直線状となる。

河川の水深は流量変動に伴って変化するが、砂州のスケールは河床材料を全面的に移動させるに十分な流量で、かつ頻度の比較的高い流量における水深に対応すると考えられ、セグメント 1, 2-1 では平均年最大流量程度である。すなわち、砂州の形態、蛇行程度は Q_m , H_m , I_b (または B) の 3 量に規定される。一方、砂を主成分とするセグメントでは、比較的小さい流量でも河床材料が動くので、大流量時と小流量で砂州の形態やスケールが異なることが多く、平水時の河床地形データから洪水時の砂州形態を推定することが困難である。

屈曲した河道が護岸や岩・谷壁によって固定されていると、それらが砂州の移動・配置に影響を与える。河道の湾曲度が大きいと砂州は移動しなくなり、深掘れ部の位置が固定される。

1) ほぼ直線河道の場合

河道幅がほぼ一定の直線状河道では最深河床高とその位置は、主に砂州の波高と波長で規定される。砂州の洪水時の変動形態は、大セグメントごとに違いがある。

① セグメント 1 および 2-1 の河道

セグメント 1 および 2-1 では、通常、単列砂州あるいは多列砂州が発生している。最深河床高は砂州波高に規定される。この砂州波高および砂州波長は平均年最大流量時の水深、川幅に支配される。単列砂州の場合は(平均年最大流量時の川幅水深比が 70 以下)、計画規模の洪水流量時には川幅水深比が平均年最大量時の半分程度となるので、むしろ砂州高が小さくなる(図 B. 4. 1 参照)。多列砂州の場合には、砂州が統合され砂州の列数が減少し砂州高が大きくなる傾向にあるが、砂州のスケールが大きいため統合される前に流量が低減し砂州高は余り変わらない。なお洪水後の深掘れ部の埋め戻しは、移動床模型実験によると神経質に考える必要はなく、洪水後の河床高測量結果より洪水時の深掘れ高を推定してよい。

ノート 扇状地河川における砂州の統合

現状の技術判断としては、計画洪水時においても砂州高はあまり変化しないものとする。河床材料が小砂利 ($d_r=2\sim 3\text{cm}$) である大井川では砂州高および長さも小さく、砂州の統合が起こりそうであるが確認されていない。手取川、黒部川の移動床模型実験において洪水ハイドロ流下させた結果(山本他, 1975; 山本他 1993) では、統合を考えなくてもよさそうである。大洪水時の深掘れの増大に対しては根固めで対処しておけばよからう。

② セグメント 2-2 の河道

河床勾配が $1/800\sim 1/3000$ の場合、小出水で河床材料が動くので、洪水時に形成された砂州は変形され、小流量の水深に対応した砂州スケールになろうとする。洪水後期に深掘れ部の埋め戻

し現象が発生するので、洪水後の洗掘部の測量データを用いて最深河床高を評価できない。

河床勾配が 1/3000 程度より緩い場合には洪水時に形成される砂州のスケールが大きくなり、埋め戻し現象が顕著でなくなる。特に河口近くでは、海水面によって小流量時の水面勾配が緩くなるため洪水時の河床高を存置するので、最深河床高の評価に利用しえる。

ノート セグメント 2-2 における最深河床高の推定

セグメント 2-2 における砂州によって生じる深掘れ高の適切な評価法は、いまだ完成していない。各種流量が定流として長時間流下した場合の砂州高評価値と現河川の深掘れ高の情報等を基に総合的に判断するしかない。河口部での河床高測量結果によると、うろこ状砂州の砂州高は、平均年最大流量時の平均水深程度はあるようである。

③ セグメント 3 の河道

セグメント 3 の河道で河床材料代表粒径が 0.15mm 以下の場合には、砂州が発生しないようであり、直線状の河道では河岸近くに深掘れは生じない。わが国の河川では、最深部に粘土層などが露出し、河床洗掘がその層以下に進まないことが多い。

2) 単湾曲河道の場合

自然の河川においては、単湾曲河道は人為的に河道平面形状を規制するか、沖積谷あるいは山間部において強制的に河道平面形状が規制される場合以外には、一般に生じない。以下には河岸が固定されている場合の砂州変動形態について記す。

① セグメント 1 の河道

セグメント 1 では一般に顕著な単湾曲は生じないが、山間地等では地形的要因により強制的に湾曲している場合がある。多列砂州が生じているようなところでは砂州によって流水が分散するため、湾曲による深掘れの影響は緩和される。いずれにしてもこのような河道区間は特殊性の強いところであるので、現地の河道地形、河道地質などの影響を適確に把握する必要がある。

② セグメント 2-1 の河道

セグメント 2-1 の湾曲部では、湾曲による流水の集中と二次流の影響による深掘れ、さらに砂州の発生する場合には、砂州の湾曲部への進入によって砂州の移動に伴う深掘れが生じ、砂州の配置状況の変化に応じて、深掘れ高が時間的に変動する。設計対象深掘れ高の設定に当っては、砂州の移動に伴う最深河床高の変動のうち、最も深い河床高を設計最深河床高とするべきである。従って現況河床における最深河床高を、設計対象河床高とするのは問題がある。長年の河床横断測量データがあれば、砂州配置の変化状況との関係を見ながら、最も深い河床高を設計対象深掘れ高とするべきである。

③ セグメント 2-2 の河道

セグメント 2-2 の河道も基本的考え方は、セグメント 2-1 と同様であるが、洪水終期およびその後の土砂流送によって埋め戻しがある。測量結果を利用して設計対象最深河床高を評価するのは問題があるが、大洪水直後の測量結果は深掘れ深の評価の参考となる。

今のところかなりの確度で深掘れ高を評価しうる方法は、移動床模型実験しかない。護岸・水制設計論および補修修繕システムの中でこの不確実性を担保せざるを得ないとする。

④ セグメント3の河道

セグメント3の河道では、最深部に粘土層が露出したりするので、これらに対する考慮が必要である。

3) 蛇曲河道の場合

蛇曲河道の最深河床高については、蛇行角が20度程度以下では砂州が下流に移動するので、最深河床高が砂州の移動に伴い変化する(木下他, 1979)。これ以上蛇行角が大きくなると砂州は河道の曲りにより流向が規制され、砂州は停止し水衝部が固定してしまう。洪水時の最深河床高と洪水後の測量結果の関係は、単湾曲河道とほぼ同様である。

(2) 最深河床高の評価法

最深河床高の評価法としては、次の4つの方法がある。

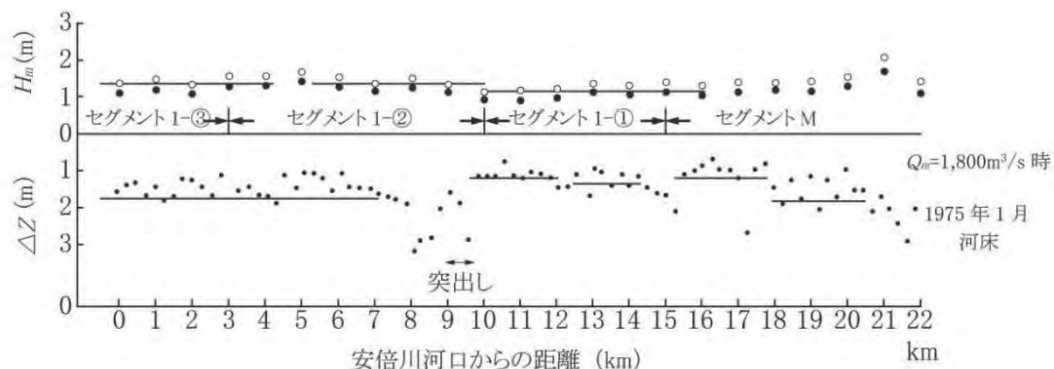
- 方法1：河床縦横断測量結果からの評価
- 方法2：既往の研究成果からの評価
- 方法3：移動床模型実験による評価
- 方法4：数値計算による方法

これらの4つの方法の中から、検討対象河道に関するデータの存在状況、河道特性、河道改修計画、設計対象区間の重要度等を勘案し、適切な方法を組み合わせて最深河床高を総合的に評価する。以下、各方法について概説する。

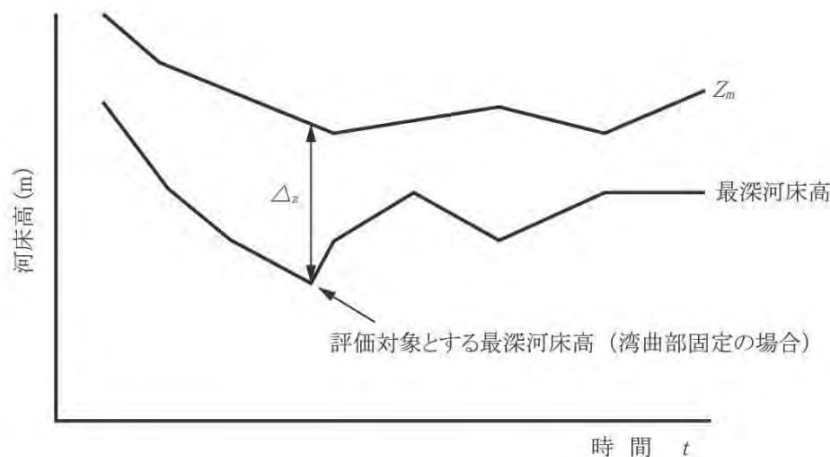
1) 方法1：河床縦横断測量結果からの評価

長期間にわたる河床縦横断測量の成果がある場合は、これにより経年的な低水路部の平均河床高 Z_m と深掘れ深 ΔZ の経年変化を求めることができる。この資料および河道平面形状図、航空写真、河道特性調査結果を用いて最深河床高を評価する。手順は以下のようなものである。

- ① 河道特性結果より河道の大セグメントおよび小セグメントの区分を行なう。
- ② 最新の平均河床高および最深河床高縦断図を作成し、セグメント名を図示する。
- ③ 各測量年における深掘れ深 ΔZ の縦断方向変化図(図B.4.2)を作成し、それらを重ね合わせる(年次で記号を変える。すべてを図示するのではなく大洪水後の測量結果を重点に選択する)。
- ④ 測量横断面ごとに Z_m と ΔZ の経年変化図を作成する(図B.4.3)。



図B.4.2 扇状地河川の平均年最大流量時の H_m および ΔZ の縦断方向変化



図B.4.3 低水路平均河床高および最深河床高の経年変化図

- ⑤ 砂州形状・濬筋の確認を行なう。航空写真，河道平面図，河道横断図より，濬筋を調査し，砂州の形態(砂州の列数，移動状況)，濬筋の固定状況，蛇行角度，蛇行状況を把握する。濬筋が安定して同一位置にある場合は，その原因をさぐる。
- ⑥ 河床掘削や河道整齊工事などの記録を調べ，平均河床高の変化の原因を探る。湾曲，床止工，水制などによる深掘れにより最深河床が生じている場合は，その資料にマークを付す。上述の情報より以下のように最深河床高を評価する。

(a) 河道平面形状が直線状の場合

セグメント1および2-1の河道においては， ΔZ の縦断図(図B.4.2)より，小セグメントごと包絡線を求めてその小セグメントの基礎高設定用の ΔZ とする。 Z_m から ΔZ を引き最深河床高とする。なお， ΔZ が特異的に大きい場合はその原因を把握し，それが場の特殊性(水制，橋梁等などによる深掘れなど)に基づくものであれば，マーク付きデータとし，それらを除外して包絡線とする。

セグメント2-2では洪水後の埋め戻しがあるため，海水面の影響のある区間のデータ(海水面の影響により洪水の後期に水面勾配が緩くなり埋め戻しが小さい)より類推，あるいは方法2, 3, 4により推定する。

ノート 砂州の固定化と低速度砂州移動の場合

上述の方法は，護岸・水制の設計寿命(耐用年数)内において砂州が移動し水衝部が変化してしまうという前提で記述されている。

しかし，近年セグメント1の上流部において河床のアーミングと河床低下が進んだ区間，頭首工が多数設置されかつ河床掘削された区間では，砂州の固定化が進行している。このような河川では，水衝部がほとんど移動しなくなっている。

またセグメント2-1の河道では砂州のスケールが大きく実質上水衝部がほとんど移動しないとしてよい場合がある。

上述のような河道区間では，水衝部が固定しているものとして護岸の設計を行う。

(b) 河道が湾曲あるいは蛇行し、滞筋位置が安定している場合

当該地点の経年的な最大 ΔZ を用いて最深河床高とする。ただし、大洪水のデータがない場合、またセグメント 2-2 の場合では、測定結果の最大 ΔZ より深く洗掘される可能性があるため、方法 2, 3, 4 を援用する。

長期にわたる河道測量資料がない場合（二級河川においては測量年の異なる資料がないのが普通である）には、測量結果は大洪水時の最深河床高を捕らえていない可能性が高いので、他の方法を加え総合的に判断する。

ノート 河床縦横断測量結果による評価の限界

河道改修により河道横断形や河道平面形状を大きく変へた場合、川幅に比し長い水制を出し流向が変化した場合は、この方法が使えない。また最近では、ダム等の影響により、河道内に樹林が生じたり、島が生じたりして、深掘れ形態が従来と異なったものとなっている事例が増加し、この方法による評価精度が低下している。

2) 方法 2 : 既往の研究成果からの評価

長期間わたる河道形状測量結果のない場合には、対象個所の河道特性・洗掘要因に適した既存の理論式、経験式を用いて最深河床高を評価し、さらに必要であれば方法 3, 4 による評価を加え、総合的に判断する。

① 河道平面形状と深掘れ

河道内には、砂州、蛇行、湾曲による流水の集中、二次流により洗掘・深掘れが発生する。これらの現象は、河道平面形状と河道特性によりその影響程度が異なり、それぞれの特性に応じた評価が必要である。これらについては多数の研究成果があるが、技術判断に利用しようとする問題の多いものが多い。ここでは、主に実験および現地河川の資料を基とした評価方法を示す。

② 直線河道の場合

河道幅がほぼ一定の直線河道の深掘れ高は、主に砂州波高で決まる。なお一定流量が流れる場合に砂州波高は、低水路幅、平均水深、河床材料に支配される。図 B. 4. 1 は、水理模型実験によって得られた砂州波高・水深比 (H_s/H_m) と低水路幅・水深比 (B/H_m) との関係を表したものである(図中、実線は実験資料を基にしたものであり、破線は推定線である)(山本, 1994)。実験は流量一定の条件で行なわれている。ここで H_m は実験水路の平均水深である。

最大洗掘部の水深 ($H_{\max. s}$) は、これまでの実験データから、

$$H_{\max. s}/H_m = 1 + 0.8H_s/H_m \quad \dots \dots \dots (B. 4. 1)$$

と評価される。

実河川では、流量が変化するので、どの流量時の水深を使って砂州が発生するかどうか決めなければならない。セグメント 1 および 2-1 では、一般に、大洪水においても砂州の規模が大きく変わらないので平均年最大流量時の水理量を使って評価すればよいと考えられている(現地河川の砂州の平面スケールは、そのスケールが平均年最大流量時の水深によって規定されたものと考えられると、実験水路で形成される砂州の平面スケールと調和的である)。したがって、最大洗掘部

の洗掘深 ΔZ (平均河床高と最深河床高の差) は、**図 B. 4. 1** において H_m を平均年最大流量時の低水路平均水深 H_m と見なして評価すれば、

$$\Delta Z/H_m = 0.8H_s/H_m \quad \dots \dots (B. 4. 2)$$

より評価される。

なお、**図 B. 4. 1** において、同一 H_m/d の線が B/H_m の値が大きい領域で不連続となっているのは、水理量の変化に応じて砂州形態が質的に変化する現象 (B/H_m が大きくなると交互砂州が複列砂州に変化する) を反映したものである。

セグメント 2-2 では、小流量時でも河床材料が動くので、洪水時と平水持で砂州規模(列数)が変わることがあり、砂州高を規定する流量(水深)を決められないが、平均年最大流量時の水深程度の砂州高 H_s となるとしておけば十分であろう(わが国の河川では河口部以外ではこのような砂州高とならず過剰設計である。洪水期が数ヶ月も続く大陸河川では、この程度の砂州高となっている)。

わが国のセグメント 3 の河道では、砂州が発生せず直線河道であれば最深部は河道中央寄りとなることが多い。また最深部にはデルタ底置層である粘土層が露出し、河床洗掘がそれ以上進まないことがある。

なお、直線河道であっても川幅に変化があると、洪水時には川幅の狭いところが洗掘され、広いところに堆積する。このような所では一次元河床変動計算を行い平均河床高の洪水中的の変化を把握する。

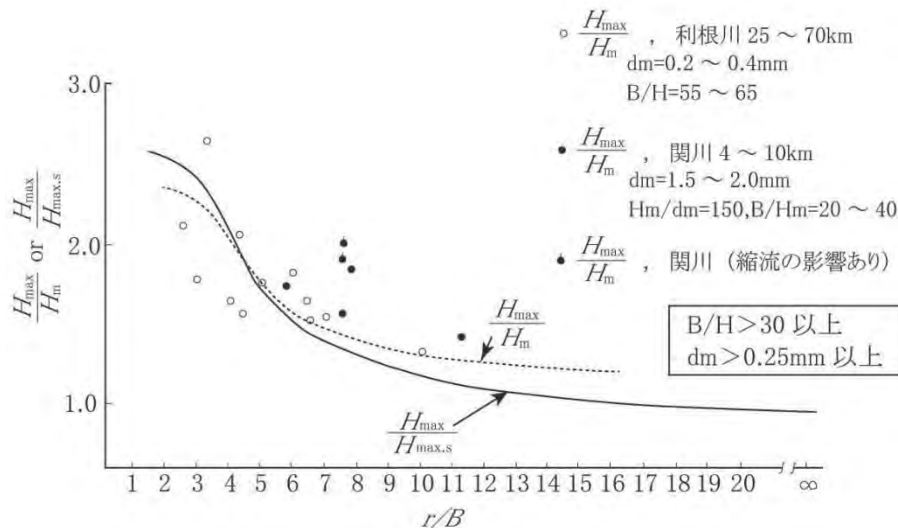
③ 単湾曲河道の場合

単湾曲河道の最深河床高は、水理模型実験結果から、流量が大きくなるほど深くなること、また計画高水流量規模の洪水では流量変化に対する河床変化の応答遅れが生じることが判っている。したがって、水理模型実験によって計画高水流量を定常流で流下させて河床高を求めると洗掘深は過大評価となる。このため、計画高水流量規模の洪水時の最深河床高の観測データを増やしていくことが必要である。

計画高水流量規模の洪水時の観測データが不十分な現状では、当面、平均年最大流量時の観測データを基にした評価図を用いて、平均年最大流量時の最大洗掘部の水深 (H_{max}) を評価し、平均年最大流量相当水位からの H_{max} の 1.2~1.3 倍の深さの標高が計画高水流量時の最深河床高となるとして評価する。ただし、洗掘時に沖積粘土層、洪積層、基岩が露出している場合には、河床洗掘がそれ以上進まないことがある。したがって、既存のボーリングデータの収集や必要に応じてボーリング調査を行い、河床の土質状況を把握したうえで、最深河床高の評価をおこなうことが望ましい。

平均年最大流量時の最大洗掘部の水深 (H_{max}) と低水路の曲率半径・川幅比 (r/B) との関係を **図 B. 4. 4** に示す(山本, 1994)。同図の使い方を示す。

当該湾曲部の水理量を直線河道の砂州形成条件に当てはめた場合に砂州が形成されないと判断される区間では、単湾曲部の最大洗掘部の水深 H_{max} と H_m との比 (H_{max}/H_m) を、 r/B との関係で評価することができる。一方、同様にして単列砂州が形成されると判断される区間では、 H_{max} と直線河道の最大洗掘部の水深 $H_{max \cdot s}$ との比 ($H_{max}/H_{max \cdot s}$) を r/B との関係で評価する。この際、直線河道の最大洗掘部の水深は、式 (B. 4. 1) を用いて評価する。ただし、**図 B. 4. 4** は、限られたデータから作成されたものであるため、フォロー調査等により精度向上に努めることが望ましい。



図B.4.4 湾曲部におけるHあるいは H_{max} あるいは $H_{max} \cdot s$ と r/B の関係

④ 迂曲河道の場合

迂曲河道の最深河床高については、セグメント1を除き単湾曲の場合と同様と考える。なお複断面蛇行河道においては、大洪水時には流水が直進し水衝部が変化し湾曲凸岸が侵食する可能性がある。このような現象の起こる可能性があり技術的な対応を考慮しなければならないのは、セグメント2-2の河道で、高水敷上の植生が草地や畑地で、かつ大洪水時の高水敷の水深が低水路の水深の半分以上となるような場合である。護岸の設計論としては、河岸防禦範囲の設定において凸岸突部まで防護区間とするなど配慮する(突部は堤防からの距離もありあまり心配する必要はない)。

メモ 河床下の地質の確認

河床低下の進行により、河道の最深部あるいは河岸部に固結した洪積層、沖積粘土層、第三紀層あるいは露岩が露出し、最深河床高をコントロールしている事例が増えている。洗掘深の評価に当たっては、堤防点検において実施された堤防周辺の土層・地質縦断図により、河床深部の土質を確認しておく。ダム下流のように土砂の供給が急減すると、河床はアーミングし ΔZ が小さくなり、直線状の河道では平瀬の連続となる。

メモ 小規模河床波による深掘れ

セグメント2-1の河道では、計画規模の洪水時には砂堆と言う小規模河床波が生じる。これによる深掘れ量は平均水深(砂堆による凹凸を平均したもの)の1割程度であろうと推定されている(山本, 1994)。これを深掘れ高の評価に付加すべきかの判断の難しいところである。深掘れ部は洪水時侵食傾向にあり砂堆の発達を抑えられること、また現状では現地河川で実体把握がなされていないことより、これを見積もらないものとし、根固めで対処するものとする。

セグメント 2-2 の河道で代表粒径が 2mm 以上の場合は、計画規模の洪水時に砂堆が発生している。砂堆による深掘れ高は平均水深の 1 割 5 分程度と推定されている（山本，1994）。砂州による深掘れ高が明確でないところに、これを加えることに躊躇するところがあるが、砂堆による深掘れ高が大きいことにより加えた方がよいと考える。平均年最大流時の低水路平均水深の 1 割 5 分ぐらい加えたらどうであろうか。

代表粒径が 1mm 以下であると、計画洪水流量時には河床が平坦となる。砂堆による深掘れはより小さい出水時に生じる。砂堆による深掘れは評価しないものとする。

3) 方法 3：移動床模型実験による評価

河道計画に、特に重要な区間については、移動床水理模型実験によって最深河床高を把握するとともに、砂州の配置・移動状態、河岸近くの流速を把握する。これによって最深河床高の評価のみならず、護岸・水制設置個所の設定、代表流速の設定、さらには護岸・水制の形式まで評価することができる。ただし実験に当っては、相似性に十分に注意しなければならない。

セグメント M および 1 では実験に用いる移動床河床材料の選定が正しければ（模型縮尺 1/50～1/100 の場合、河床材料のうち大粒径である C 集団、A 集団を対象として模型縮尺により縮小した混合粒径材料とする）、実験結果の相似性は高い。セグメント 2-1 では、模型縮尺を 1/60 程度とすると模型では実際の河川では生じない砂漣河床が生じる場合があるので注意が必要である。セグメント 2-2 の河道では、軽量骨材を模型の移動床材料として利用せざるを得ず、種々、相似性に問題が生じるため、模型縮尺や実験結果の解釈に十分な検討が必要である（山本他，1980）。

4) 数値計算による方法

近年、河床の二次元的な変動を数値シミュレーションで予測する技術の信頼性が向上した。この計算は二次流を含む流れの計算モデルと土砂の収支モデルを結合して、数値計算により河床の二次元的な変動を評価するものである。ここでは最深河床高のみならず代表流速も同時に評価しえる。しかしながら、数値計算に必要なパラメータ設定に当っては経験則に基づく値を設定せざるを得ず、計算結果の適合性について十分な検討が必要である。また洪水時の砂州の消滅や発生については適確に計算できない。少なくとも、数値計算による大洪水後の河床変動量を現地の河床変動資料より検証を行い、計算モデルの妥当性を明らかにしておく必要がある。

メモ 評価法の選択

最深河床高の評価は、できれば一つの方法だけでなく他の方法による評価を加え、総合的に技術的評価を下すのが好ましい。なお評価精度が良いと考えられる方法を順として、以下に示す。

① 河道の平面形状が変わらない場合

セグメント 1 および 2-1 では、方法 1、方法 3、方法 2、方法 4 の順

セグメント 2-2 では、方法 3、以下同等の順

セグメント 3 では、方法 1、地質学的方法（土質の層序構造による判定法）の順

② 河道平面形状が改修などにより大きく変わる場合

セグメント 1、2-1、および 2-2 では、方法 3、方法 4、方法 2 の順

セグメント 3 では、どの方法が良いか判定不可能であり、地質資料、地形発達史に関する資料を含め総合的に評価する。

(3) 設計最深河床高の設定

護岸・水制設計のための設計最深河床高は、護岸・水制の設計寿命中において生じるだろう最深河床高とするべきものである。従って平均河床高が設計寿命中に低下すると判断される場合、あるいは狭窄部であり洪水時河床が低下すると判断される場合は、その低下量を最深河床高の設定にカウントする。また河道を大きく変形する河川改修を行なう場合は、その状況で生じる最深河床高を設計最深河床高とする。

メモ 護岸・水制の設計寿命（耐用年数）

護岸・水制の設計寿命は一種の性能規定であるが、基準化されていない。材料、期待する機能に応じて変わるものである。例えば、水制として木材を使用し、それが空気にさらされれば 10 年程度であろう。蛇籠に用いる垂鉛引き鉄線は水質や設置状況にもよるが 20 年程度であろう。石材であれば半永久的となろう。今後の検討課題である。

メモ 可能性としての河床高と設計最深河床高

設計最深河床高は、生じる可能性としてある河床高をすべてカバーするべきものであろうか。同一水理条件においても発生する砂州高は、**図 B. 4. 1** に見るように平均的な砂州高に対して倍・半分の広がりがある。このように一律に決まらない量に対してどの量を設計に用いればよいのだろうか。大きめに取れば安全性が増すが、コストがかかる。今のところ最も生じ易い砂州高（平均的な砂州高）を深掘れ評価のための砂州高としたい。可能性としてあるより深い深掘れに対しては、根固め工で対処、あるいは変形を許容する構造形式、補修修繕で対応すべきと考える。

参考文献

- 木下良作，三輪式（1979）砂レキ堆の位置が安定化する流路形状，新砂防 Vol. 94. pp. 12-17.
福岡捷二（1998）治水に関わる河川水理学，応用生態工学研究会河川水理基礎講座。
山本晃一（1994）沖積河川学，山海堂。
山本晃一編著（2003）護岸・水制の計画・設計，山海堂。
山本晃一，高橋晃（1980）河川水理実験の手引き，土木研究所資料第 2803 号。
山本晃一，高橋晃（1993）黒部川の河道特性と河道計画，土木研究所資料第 3139 号。
山本晃一，高橋晃（1993）扇状地河川の河道特性と河道処理，土木研究所資料第 3159 号
山本晃一，林敏夫，野積尚（1975）手取川河口処理に関する水理的検討，土木研究所資料第 1069 号。

参考資料B.5 人為インパクト・大洪水による河道状況変化の分析・評価

B.5.1 河道への人為インパクト要因

国土に対する人為的改変が本格化した明治中期以降から現代にいたるまでの河道に及ぼした主要な人為的作用として、次のようなものが挙げられる。以下においては人為的作用の作用時間が比較的短いので、これを河川への人為的インパクトということにする（山本，2010）。

① 新川開削，捷水路開削

大規模なものは近代河川改修がはじまった明治中期から戦前に多く，戦後に行われた工事も1970年代までに多い。主要河川の河道の骨格は比較的早い時期に固まったといえる。これらは河床勾配の増加，河道流下能力の変化をもたらした。

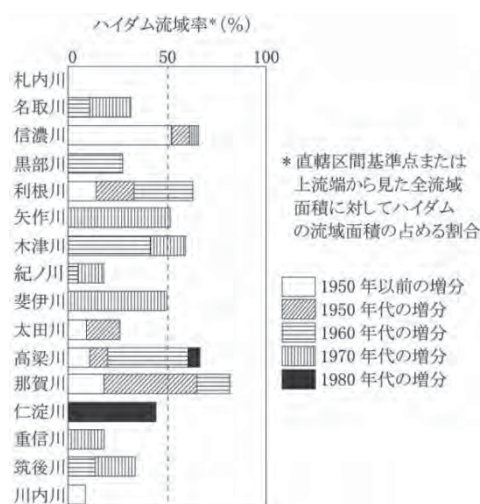
② 築堤，堤防嵩上げ

氾濫災害防止を目的として着々と進められた堤防嵩上げは，低水路満杯流量規模以上の流量時の高水敷上の流速増大，低水路の水深と流速の増大をもたらした。また，無堤河川に比べ土砂の堆積を堤防間に限り，河床上昇速度の増大(1960年代以前)をもたらした。大ダム等の建設により供給土砂量が減少し，侵食空間となった区間では側刻が制限されたため河床低下速度の増大をもたらした。

③ ダム貯水池の建設

流量，流入土砂量の変化を生じさせるような治水・利水のためのハイダム（high dam；ワッシュロード以外の土砂を捕捉してしまうような堤高の高いダム）を持つ大規模貯水池（群）の建設は，1930年代から始まり本格化したのは戦後，特に1950年以降である。図B.5.1.1は日本の16河川のハイダム流域率（ハイダム支配流域面積/流域面積）の経年変化である。この図から分かるように，かなりの河川でハイダム流域率が50%を上回っている。土砂災害防止のために進められてきた砂防事業の進捗と相まって，主に1950～1970年代にかけて河道への土砂供給量の減少が始まったといえる。

またハイダムは，通常，洪水ピーク流量を減少させ流量を平滑化させる。わが国のダム貯水池は容量があまり大きくないので洪水流量をドラスティックに変える事例が少ないが，平均年最大流量の変化を見ると明らかに数割減少している河川が多々見られる。



図B.5.1.1 ハイダム流域率の経年変化（建設省河川局，1991）

④ 山間部の土地利用の変化

・治山・砂防事業

砂防ダム，流路工，遊砂地などの砂防工事は，戦後の高度経済成長時代以降，投資量が増加し現在にいたっている．渓流土砂の流出の抑制・調整，土石流の流下の防止により，山地の解体速度を減少させ土砂災害を軽減させた．

戦後，荒れた山林に植林を進めた．山腹工による土砂侵食の軽減と植林は，荒廃地の減少と同時に河川への土砂供給を減少させた．

・山地・丘陵の開発

山地の開発，特に森林から裸地への転換は，表層土壌の侵食を急増させる．高度経済成長時代，都市近郊の丘陵地が住宅地に転換された．鶴見川流域（流域面積234.5 k m²，山地面積179.4 k m²）では，1960年代から1990年代にかけて多摩丘陵の都市開発がなされ，流域面積の市街化率は，昭和33年（1958）で10%，昭和41年（1966）には20%，昭和50年（1975）には60%，平成9年（1997）には84%に達している．工事に伴い多摩丘陵を覆うローム層が侵食され，これが鶴見川下流部に堆積した．河積の変化量と浚渫量から堆積量は昭和40年（1965）から昭和50年（1975）で年22万 m³，昭和50年（1975）から昭和59年（1984）で年15万 m³と評価された．これより山地の比生産土砂量は，それぞれ約1700 m³/k m²/年，1600 m³/k m²/年となる（山本他，1993 b）．この比生産土砂量は，中部地方の山岳地帯の土砂生産量に匹敵している．流域の地形起伏から判断すると農村的土地利用の時代はこの値より1オーダー少ない生産量であったと推定される．

また戦後食料増産時代に山地丘陵部や台地の農地開発がなされた．樹林から農地への転換は河川への流出土砂量，特に細粒分の流出を増大させた．

・鉱山開発

中国地方の斐伊川（流域面積2070 k m²）では，花崗岩の風化物であるマサ土を鉄穴流しという流水洗鉱方式で流し，その中に含まれる砂鉄を採取したため，多量のマサ土を斐伊川に流出させた．江戸時代平均で1年当り50万 m³と推定されている（建設省中国地方建設局，1995）．これにより宍道湖は埋め立てられ新田となると同時に斐伊川を天井川化させた．戦後は，鉄穴流しによる砂鉄取り産業の衰退によって，小礫，砂分の供給量が減少している．

渡良瀬川（流域面積2621 k m²）では明治以降，銅の生産量の急増と精錬に伴う S O²の排出により，精錬所周辺の森林が裸地に変わり流出土砂量を増加させ，下流の洪水被害の増加や鉱毒被害の要因となった．

⑤ 低水路掘削，拡幅

建設用骨材としての河床材料の利用と河道の洪水流下能力増大という二つの目的のため，高度経済成長期（1950年代後半から1970年代前半）をピークとして多量の砂利・砂の採取が行なわれた．採取による河川機能の劣化（既設構造物の破損，地下水位の低下など）が生じるようになり，砂利採取の規制が強化され採取量は急速に減少した．ちなみに河川砂利供給量は，昭和41年（1966）2億7000万トン，昭和48年（1973）1億1000万トン，平成元年（1989）4300万トンである（河川行政研究会，1995）．

わが国の山地からの総流出土砂量は年間2億トン程度と推定され，そのうち骨材として利用するのは30%程度と考えられるので，1960年代にはその3~5倍の骨材をそれも大河川で集中的に採取していたのである．

⑥ 取水堰，床固め

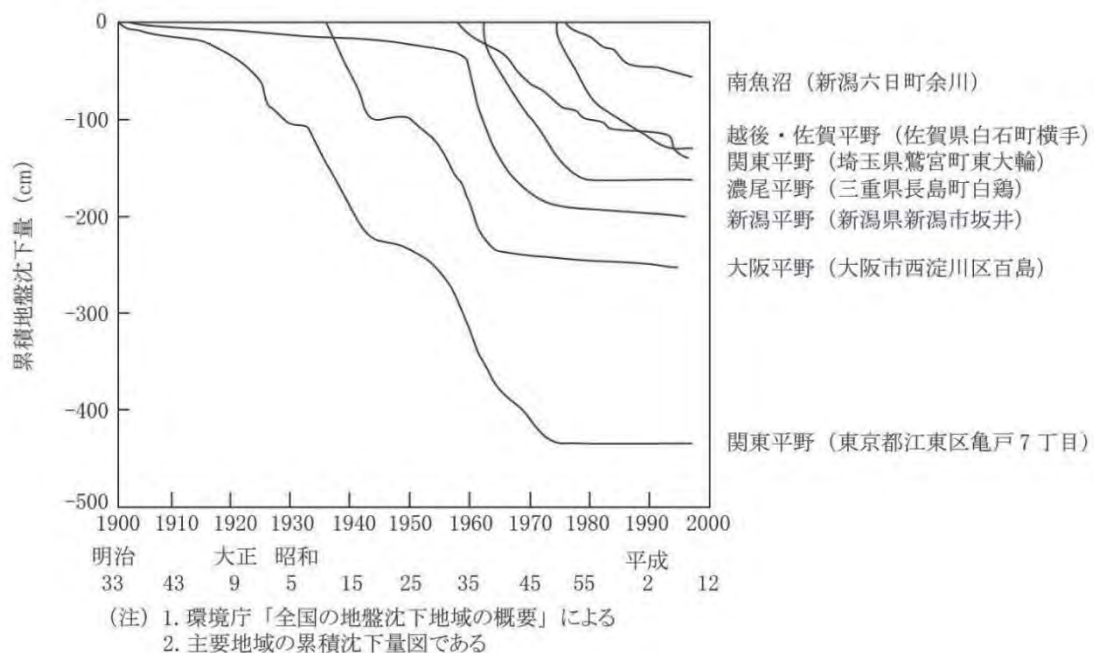
取水施設からの取水は，洪水流量を変えるものではないが，低水・平水流量を減少させる．この流況の変化は河原植生の生育条件を変える．また河床を横断する施設は，水位，河床高のコントロール施設であるので，上流に対して侵食基準面となり，河道の変化のコントロールポイントとなった．

⑦ 高水敷の利用

高水敷は，近世以来，流作場として利用され，セグメント1および2では畑地，桑畑に利用され，セグメント2-2および3では一部水田としても利用された．セグメント1および2-1で水防林として保全されなかったところ以外では，樹木は燃料，農業用資材として利用され伐採された．1960年代まではこのような利用であったが，1970年代に入ると高水敷の都市的利用が始まり，一方で1990年代に入ると高水敷の占用解除，農地利用の放棄，緑地環境の価値の高まりによる高水敷樹林伐採の躊躇により高水敷樹林化の一因となった．高水敷利用の変化が河川植生の変化をもたらしている．これは，高水敷堆積土砂量および河岸侵食速度に影響を与えた．

⑧ 地盤沈下

沖積低地での水溶性ガスの採取，都市用水，工業用水のための地下水のくみ上げは，沖積層および洪積層の圧密沈下をもたらす．高度経済成長時代，**図B.5.1.2**に見るように，地下水の汲み上げにより沖積平野で地盤沈下を起こした例が多い（国土庁，1999）．地盤沈下現象は広域的なものであり，淀川河口付近では高水敷が水面下に沈み，江戸川では高水敷が冠水する洪水回数が増加し，河口付近にある行徳堰では高水敷の低下により海水が高水敷上を流れ，堰の設置目的である潮止め機能に障害が生じた．河口に接するセグメント2-2および3の河道での年間数cmを超える地盤沈下（水位上昇）は，洪水による高水敷上の土砂堆積上昇速度を上回る．



図B.5.1.2 代表的地域の地盤沈下の経年変化（国土庁，1999）

⑨ 低水路幅および河道平面形の制御

河道整正による低水路平面形と護岸・水制による低水路幅の制御は，洪水時水量を変化させ，土砂動態を変化させた．

以上の人為インパクトのうち、影響の大きいものは、砂防・林野事業およびダム建設による供給土砂量の減少、治水・利水・発電・取水による流況の変化、河道改修に伴う砂利採取・河床掘削である。

なお、人為インパクトによる河道の応答に関する実態およびその法則性については、山本(2010)、山本他(2005, 2007, 2009, 2012)、藤田(2007)、藤田他(2009)が参考となる。

B.5.2 人為的インパクトによる河道の応答

以下では人為的インパクトによって河道がどのように応答するのか、さらに人的インパクトに対する河道の応答方向とその変化速度について記す。

(1) 河道の応答方向

図B.1.2.6に示す代表粒径と平均年最大流量時に河床に働く掃流力の関係から大幅にずれるような人工的改変を行うと、河道は、改変された状況を、図中の関係線に戻るように応答する(人工的改変に対する河床の応答を考える場合、対象とする現象の違いによってそれが現れてくる応答速度が異なることに注意しておかなければならない。例えば河道掘削による水位変化は即時的であるが、掘削された河床の変化はより時間がかかる。ここではスケール1~100年程度の現象、また空間スケールとしては、一つのセグメントの長さ程度と考えておく。ただし、その戻り方には種々の可能性が考えられるので、セグメントごとにどのような形態が生じやすいか知る必要がある)。

河道特性の変化に関する事例が少ないため、十分実証的にこの変化方向について述べることができないが、少ないながら事例を踏まえて、河岸の侵食が許されている沖積河川で、平均年最大流量 Q_m および対象としているセグメントの河床材料を構成している土砂の上流部からの供給量 Q_s が変化した場合、そのセグメントの特性がどう変わるか示してみる(山本, 1981, 1982, 2010)。

河道特性の変化に関する事例研究と図B.1.2.6より、河岸の侵食が許されている沖積河川での平均年最大流量 Q_m 、対象としているセグメントの河床材料のA集団の上流セグメントからの供給量 Q_s が変化した場合、対象セグメントの特性がどう変わるかを示すと、表B.5.2.1および表B.5.2.2のようである。ここでは、ある量が増加する場合は+、減少する場合は-、変化しない場合は0を、ある量の記号の右上に付すことにより示してある。なお時間スケールとしては10~100年オーダの現象、空間スケールについては小セグメントスケールの現象を対象としている。ただし、セグメント3では、デルタ底置層の粘土層の影響や堆積面の前進等の非平衡性をそのセグメント自身が持っていること、また河道特性の変化に関する実証的事例がすくないことより、変化の方向を示していない。なおCは土砂の濃度で Q_s/Q_m である(⇒注1)。

Q_s 、 Q_m の変化に対して河道は、まず川幅あるいは粒径(どちらが早いかは、河床材料の混合度やB、C集団の上流からの流入量や河岸物質の特性によるが、よく分かっていない)が応答し、それにより川幅水深比が変化し、次に蛇行度Sの変化が現れ、最後に勾配の変化が現れるようである。なお、上流土砂生産源での生産量の変化による河道の変化は、上流のセグメントから徐々に伝わってくるものでなく、各セグメントの主モード(A集団)の河床材料の上流からの伝播速度の差(シルト、砂、砂利ではその移動速度が異なる)によって、下流側のセグメントの方が上流より先に変化するのが一般的である。

表B.5.2.1 セグメント1における河道の応答

地形 変化 するもの	扇 状 地 (セグメント1)
Q_s^+ Q_m^+	$C=Q_s/Q_m$ が変わらなければ、 B は Q_m に比例、 $I_b^0, S^0, d_R^0, H^0, V_m^0$ C^+ であれば、 B はまず Q_m によって増加、その後 I_b^+ による B の増加が加わる。 H, V_m^- となる。 C^- であれば、 B はまず Q_m によって増加、その後 I_b^-, d_R^+ による B の減少が加わる。 H^+, H_m^+ となる。
Q_s^- Q_m^-	C^0 であれば、 B は Q_m に比例、 $I_b^0, S^0, d_R^0, H^0, V_m^0$ C^+ であれば、 B はまず Q_m に比例して減少するが、 I_b^+ による B の多少の増加、 H, V_m^- となる。 C^- であれば、 B はまず Q_m に比例して減少するが、 I_b^-, d_R^+ による B の減少が加わる。 H^+, H_m^+ となる。
Q_s^- Q_m^+	B の流量増による増加要因と、 I_b^-, d_R^+ による減少要因あり、どちらが強いかによって川幅の変化が異なる。 扇頂河床低下、扇端河床上昇、 V_m^+
Q_s^+ Q_m^-	B は流量減による減少要因と、 I_b^- による増加要因にあり、河床上昇、 V_m^-, H^+
Q_s^+ Q_m^0	I_b^+ による B の増加、河床上昇、 V_m^-, H^+
Q_s^0 Q_m^+	Q_m^+ による B^+ の要因があるが、 d_R^+, I_b^- による減少要因もある。 V_m^+, H^+

ここで、 B ：川幅、 I_b ：河床勾配、 S ：蛇行度、 d_R ：代表粒径、 H ：水深、 V_m ：平均流速

表B.5.2.2 セグメント2における河道の応答

地形 変化 するもの	中 間 地 (蛇行帯) (セグメント2)
Q_s^+ Q_m^+	$C=Q_s/Q_m$ が変わらず、 B/H が100以上であれば B は Q_m に比例、 $I_b^0, S^0, d_R^0, H^0, V_m^0$ であるが、 B/H が100以下であれば、 S が減少し、 I_b^+ となり、 B はより増加する。 C^+ であれば、 C^0 と同様な現象がまず生じるが、 C^+, I_b^+ による B の増加が加わる。 H, V_m^0 C^- であれば、 C^0 と同様な現象がまず生じるが、その後 I_b^- による B の減少が、アーマ化による d_m^+ の場合には、これによる B の減少も加わる。
Q_s^- Q_m^-	C^0 で、 B/H が変化後で100以上であれば B は Q_m に比例、 $I_b^0, S^0, d_R^0, H^0, V_m^0$ であるが、 B/H が100以下になるような場合には S が増加し、 I_b^- となり、 B はより減少する。 C^+ であれば、 C^0 と同様な現象がまず生じるが、 C^+ による I_b^+ によって B の増加が加わる。 H, V_m^0 C^- であれば、 C^0 と同様な現象がまず生じるが、その後 I_b^- による B の減少が加わる。また、アーマ化による d_m^+ の増加があれば、より B の減少が進む。
Q_s^- Q_m^+	B は流量増による増加要因と C^- による I_b^- によって少要因あり、まず Q_m^+ の現象が現れ、 C^- による I_b^- が続く、河床低下によるアーマ化が生じる所では、これによる川幅減少もある。 S は B が増加すれば S^- 、減少すれば S^+ となる。したがって、 I_b の変化方向は C^- によるものと S の変化量の二つの影響を受ける。
Q_s^+ Q_m^-	B は流量減による減少要因と C^+ による増加要因にあり、まず Q_m^+ の現象が現れ、これによる B による S^+, I_b^- が続く、 C^+ による I_b^+, B^+ の要因が続く。
Q_s^+ Q_m^0	C^- による I_b^+ 、これによって $B^+, S^-,$ 河床上昇
Q_s^0 Q_m^+	Q_m^+ による $B^+, (B/H)^+, S^-, I_b^+$ がまず現れるが、 C^- による I_b^- により $B^-, (B/H)^-, S^+, I_b^-$ の影響が続く。アーマ化による d_m^+ があると後者の影響はより大きくなる。

ここで、 B ：川幅、 I_b ：河床勾配、 S ：蛇行度、 d_R ：代表粒径、 H ：水深、 V_m ：平均流速

日本の河川は、側方方向の河道の移動（河岸侵食となる）を護岸等により防いでしまい表B.5.2.1および表B.5.2.2のような変化方向を示さないことが多い。そこで表B.5.2.3には、河道の側方移動が制限されているという条件の基で、人工的に河道のスケールや勾配を変えた場合の河道の応答を示した。

実際の河道に影響を及ぼす要因は種々のものが同時に作用し、複合要因による河道の変化を評価しなければならず、表B.5.2.1、表B.5.2.2、表B.5.2.3では評価できないものがある。例えば、近年、多列砂州の存在するセグメント1の河道において、砂州が島状・樹林化し、砂州の前縁線の不明瞭化、砂州形状の変形が生じている。ダムによる洪水流量の変化による河床土砂の移動機会の減少、供給土砂の減少による滞筋の河床低下と固定化、河床掘削などが原因である。さらに近年、外来種であるハリエンジュが礫床河床における先駆植生として入り込み、成長速度の速さもあり砂利州の樹林化・氾濫原化をより促進させている。

表 B. 5. 2. 3 人工的变化に対する河道の応答

地形 人工 的变化	扇状地 (セグメント1)	中間地 (蛇行帯) (セグメント2)
B ⁺	低水路内に Q_m , Q_s に対応した河道幅をつくってしまう。	最終的には扇状地と同様であるが、拡幅巾が大でなければ、まず拡幅に合わせた中規模河床波が発生し、蛇行特性が変わる。特に単列の砂州発生条件であった所が、複列の条件に変わる場合には注意が必要である。
I _b ⁺	河口部の河床掘削による I_b^- は d_r^- , B_m^- , Z_m^+ となる。 落差工による I_b^- は d_r^+ , B^- , Z_m^+ となる。	cutt-off の連続は、 I_b^+ となり、 B^+ となる。河道が固定あるいは耐侵食性が強い場合には、河床低下が進む。アーマ化による d_r^+ となることもある。
B ⁻	低水路のアーマ化 d_r^+ , I_b^- の方向となる。	扇状地と同様の傾向、蛇行特性の変化。
A ⁺	河口近くで河床掘削、川幅の増加を行うと、粒径の急変（砂利から砂へ）が現れることがあり、砂利分の河口から流出の減少を生じる。	河口近くで河床掘削、川幅の大幅な増加を行うと、粒径の急変がまず第一に現れることがある。（新しいセグメントの発生）河床は上昇の傾向。

ここで、A：河積、 Z_m ：河床高

メモ B.5.1 河道の応答特性に及ぼす河床および河岸の土質・地質の影響

日本の沖積河川は、河床掘削および山地部からの流送土砂量の減少により河床が低下し、河床・河岸に新第三系、洪積層、沖積粘性土層が露出する河川が増え、本節で述べた河道の応答方向と対応しない事例が増加している。難侵食層は河床の低下を防ぎ床止め機能を果たし、沖積粘性土層は溝状に侵食され横断形状が不自然なものとなったりする。

人為的インパクトによって河道がどのように応答するか検討する場合、河床および河岸の土質・地質に関する情報とその流水に対する応答特性に関する基礎的知見が必須のものとなったが、調査研究が始まったばかりであり（山本他、2010）、知見が少ない。

以下のような基礎的調査研究が必要である。

- ・河道および高水敷の土質構造の把握（探査技術で表出された情報の三次元空間化する方法、セグ

メント 2-1, 2-2, 3 の河川沿いの土層構造は三次元的であり、河岸の侵食の可能性や護岸根固め工基礎高の設定のために河道内の土層構造を知る必要がある。ボーリングに代わる費用のかからない物理探査手法の開発)

- ・粘性土層毎の物理指標と耐侵食力（何を指標とするか、水平・垂直方向の耐侵食力、侵食形態と速度、平水時における水中と空中部分の侵食形態の差異、乾燥収縮と生物作用）
- ・穿入(土層)河道の川幅の規定要因とその関係
- ・穿入(土層)河道の流れの抵抗係数評価
- ・軟岩の侵食形態と侵食速度(溝化、平坦化、乾燥収縮)

(2) 河道の応答速度

参考資料 B.1 の図 B.1.2.6 に示した関係線は、沖積地河川が持つ基本特性であり、この関係となるように河道が調整される。実際、河道掘削によって河積を増大したり、蛇行していた河川を直線化したりした後の変化は、図 5.2.7 に示したように、図 B.1.2.6 の関係に戻ろうとしている。

ここでは川幅の変化応答速度がどの程度であるか、実例を通して述べる。

Q_m と Q_s の条件が変わらない場合の川幅の応答速度は次のようである。なお応答速度は改変量の大きさや洪水頻度で変わり、推定するのが難しい。以下は、少ない事例より類推したので参考程度の位置付けしかないものである(山本, 2010)。

① u_*^2 を増大させる改変後の応答速度

セグメント1において川幅を縮小させた場合、比較的早く(5~20年程度)川幅が拡がり元の u_*^2 に戻る。ただし、洪水時にしか河床材料の A 集団, C 集団が動かないので、洪水の出現がないと戻らない。河岸を護岸水制で固めてしまうと、高水敷高が低い場合は高水敷が荒れ、元の川幅に戻るが、洪水が数十年に1回くらいしか高水敷に乗らないような場合には、上流から河床低下と河床材料の粗粒化が生じる。

セグメント2では、河床下の材料が河床堆積物と同じものであれば、比較的早く元の u_*^2 に戻る(10~20年程度)。河床および側岸が粘着性を持つ場合は、その物質の耐侵食力に対応した u_*^2 の値を持つ河道断面積となろう。

河岸を護岸水制で固めてしまうと上流からの河床低下(セグメント2-2の河道で生じ易い)あるいは河床材料の粗粒化(セグメント2-1で生じ易い)が生じよう。その発現時期は河岸が固定化された区間の長さや検討対象地点位置による。一次元の河床変動計算によりその発現時期を評価できよう。

セグメント3で、派川統合や蛇行の直線化によって u_*^2 を増大させた場合、河岸物質が粘性土であれば河床材料の粗粒化が、河岸部がデルタフロント堆積物である細砂であれば川幅の増大が生じよう。

② u_*^2 を減少させる改変後の応答速度

セグメント1において川幅の拡大によって u_*^2 を減少させた場合、多少の u_*^2 の減少では小礫、砂が堆積するような環境にならないので、ある程度の期間、川幅は維持し得ると思われる。ただし、始めは改変河道の上流部の河床上昇、河床材料の細粒化が生じ、数十年の後には川幅の縮小が生じて元の u_*^2 に戻ろう。

セグメント2で砂州の発生等によって河床が平水時水面に出るような場合は、かなり短い期間（10～20年程度）で浮遊砂、ウォッシュロードの河岸への堆積（同時に植生の進入）により川幅が縮小し、元の u_{*2} に戻ろう。平水時河床が水面に出ないような条件にある場合は（例えば河口付近）、川幅の縮小速度は遅くなる。この場合、 u_{*2} の減少がB集団を堆積しえるような値まで低下すれば、改変後数年のうちに細粒化が生じよう。ただし大洪水時、粒径集団の入れ替え（粗粒化、改変前の粒径の戻り）が生じる可能性がある（山本，2010）。

セグメント3では、川幅の変化は遅いが、河床への堆積速度はかなり速く、 u_{*2} の変化が大きいと数年のうちに改変後の u_{*2} に対応する細粒物質が堆積し、河床材料がシルト・粘土化する。

(3) 大洪水による河川地形の変化

大洪水による沖積地河川の各セグメントにおける河床変動の実態について述べる。

① セグメント1（ただし河床勾配1/80以下）（山本他，1993a）

堤防が無ければ、大洪水時には洪水は流路から溢れ、扇面の低い所を流下する。表層の土層を侵食し、新しい流路となってしまうこともある。扇状地河川の堆積は河床勾配が変わるところで生じるので、小セグメントの結節点で新流路が生じることが多い。扇頂より上流がセグメントMで河道幅が狭いと、川幅の広がる所で土砂が解放され河床上昇し、そこから氾濫し易い。

堤防を築き流路を固定すると、堆積幅が狭くなるので河床上昇は自然状態より早くなる。扇端付近は河床上昇が早く天井川を形成する。大洪水時の扇頂部、扇中央部の河床上昇量は、セグメントM区間における粗粒物質の調整機能（粗粒物質は、山地部での供給の急増があっても、扇頂直上流のセグメントの流送能力しか扇状地に輸送されない）によりそれほど大きくない。扇端部の河床上昇量は、黒部川および常願寺川の昭和44年（1969）洪水（平均年最大流量の約4倍のピーク流量）において川幅平均で約0.8m程度であった。なお、常願寺川では、この洪水により扇頂、扇中央部は多少侵食し、黒部川では、扇頂部（11～13km）が侵食し、その下流の川幅の広い所（7～11km）で縦断方向1km平均で0.1～0.25mほど堆積した。

盆地を流化する扇状地河川では、出水時この狭窄部の存在によって水位が上昇し、大出水になればなるほど、水面勾配が緩くなる。この堰上げ区間の掃流力は上流より小さく、この掃流力に見合った粒径の土砂を堆積し、堰上げ区間は上流より勾配が緩い小セグメント（セグメント2-あるいは2-2）となる。一般に盆地部は沈降帯であり、それを取り巻く山間部は盆地に対して相対的に地殻が上昇するから、この盆地域（堆積域）を一つのセグメントで埋め尽くすことができないことがこの小セグメントが持続的に存在できる理由である。

天竜川天竜峡直上流（川路・龍江地区、河床勾配1/220）では狭窄部上流の小セグメントの形成が見られないが、大きな洪水時に狭窄部の存在により水位が堰上がり流速が落ちるため、低水路部に砂が堆積する。

大洪水時の川幅水深比は年最大流量時の1/2～1/3であるので、砂州は統合されスケールの大きな砂州となろうとするが、洪水時間が長くないので砂州の統合化と拡大は河道が湾曲しているようなところを除けば生じないようである。

洪水による河岸侵食は砂州の発達と移動によって生じる。今までの観測によると100m程度の河岸侵食の例がある。大洪水時には高水敷が冠水しその流速が速いので高水敷侵食が生じる。人為的に高水敷を造成し、その河岸高が平均年最大流量程度の水位相当であり、かつ樹林でなければ

ば、大洪水時には侵食破壊され河原状となる。

低水路部分に生育している草本、ヤナギなどは倒伏流出する。高水敷化されたところに生える樹木は、河岸侵食が生じると根本がすくわれ流出する。また、河岸侵食がなくても高水敷上の流速が速いので倒伏・流出する可能性がある。倒伏・流出するかは、高水敷の高さ、代表粒径により異なる。高水敷上の流速が 2.5m/s を超えると、細砂・シルトからなる表層材料は侵食され、樹木回りが洗掘され倒伏する可能性が高くなる。代表粒径が $2\sim 3\text{cm}$ 程度である場合は、大洪水時の低水路の平均流速が $3\sim 4\text{m/s}$ 程度であるので、高水敷に樹木が群生していれば洪水流に耐えられよう。

② セグメント 2-1

大洪水時には、河床に砂堆が発生し、洪水流量の大きさにもかかわらず低水路部分の平均流速は $2.5\sim 4\text{m/s}$ 程度である。蛇行河川であれば洪水時水衝部の河床高は低下するので河岸が崩壊する（護岸が無い場合）。崩壊の幅はそれほど大きくなく河岸高の $2\sim 5$ 倍程度である。蛇行河川であれば両岸が侵食されることはほとんどない。ただし平均年最大流量時の川幅水深比が 60 を超えると砂州が複列的配置となるため、濬筋が 2 列となり両岸侵食されることがある。そのようなところでは川幅が前後より広い。

自然河道であれば侵食部は崖状となり河岸の樹木は根本をすくわれ倒伏流出する。人為的に河岸を固定し河岸崩壊が発生しないようにすれば樹木は倒伏することはあっても何とか流水に耐えられる（であるからこそ水防林で洪水に対処した歴史がある）。ただし樹林が孤立したような所では樹林の先頭部周辺の河床が洗掘され樹木が倒伏する。また、竹が群生する竹林の周辺は折れたり倒伏したりする。草本類は倒伏してしまうが表層材料が侵食されない限り破壊されない。樹林でないと高水敷上の流速が 3m/s 程度となるので、裸地、畑地などでは侵食される可能性が大である。低水路部のヤナギは倒伏し、流出する。

ポイントバーの上流側は侵食され、中央から下流にかけては堆積傾向となる。そこでは上流から下流方向にまた河岸方向に粒径が小さくなる。中砂が堆積することもある。また、流水が乗り上げ高水敷上を走る（樹林がない場合）と細砂を広い範囲に薄く堆積させる。

河床高は、大ダムがなければセグメント 2-1 の A・B 集団の供給土砂量が急増するので上昇するのが一般的である。セグメントの長さが短いほどこの急変の影響を受け易い。常願寺川 $0\sim 5\text{km}$ では（河床勾配 $1/800$ 、河床材料は $4\sim 5\text{cm}$ の砂利と中砂の混合物であり、中砂の供給が多いと中砂の割合が増加し、平常時には河口近くを除き砂利となる。この洪水では中砂が増加）、昭和 44 年（1969）洪水（平均年最大流量 $700\text{m}^3/\text{s}$ の約 3 倍のピーク流量）において平均 $0.3\sim 0.4\text{m}$ 程度上昇した。

大洪水においても河道が大きく変わるとことはない（すなわち河道形成流量は大洪水流量でない）。

③ セグメント 2-2

河床材料の A 集団粒径が 2mm 以下では、大洪水時河床がフラットとなり低水路部分の流速が $3\sim 4\text{m/s}$ にもなる。しかしながら河岸斜面に生えた柳・竹などは、群生し、かつ河岸の根元が侵食されなければほとんど倒伏しない。ただし一本立ちだと倒伏する。河岸近くの草本類は倒伏するが破壊されない。

水衝部では河床低下により河岸が崩れ侵食されるが、せいぜい河岸高の $2\sim 3$ 倍程度である。高水敷は植生が生育していれば侵食されない。むしろ流水の高水敷への乗り上げ部に細砂・中砂を河

畔堆積物として堆積する(20~30 cmにも達することある)。その背後には細砂混じりのシルトが堆積する(10~20 cmにも達することある)。

平均年最大流量時の川幅水深比が 50 以上の直線状の河川では、低水路川幅水深比が小さくなるので小出水に対応してできた砂州が統合され、大きな砂州となるので河床の凹凸は大きくなる。ただし川幅水深比の小さい河川(平均年最大流量時の川幅水深比が 40 程度以下らしい)では砂州が消滅の方向に向かうので横断方向の凹凸は小さくなる。蛇行河川では大洪水ほど流水が直進し、深掘れ部が少し下流へ移動する。

セグメント 2-2 が直接海に接する場合は、河口部の水面勾配が急になり河口付近の河床は低下する。一般に、破堤しなければ河道が大きく変わるといえることはない。一度シルト・粘土が堆積し高水敷化すると、氾濫水では高水敷は侵食されず、河岸侵食で破壊される。

④ セグメント 3

大洪水時においては、河床材料の A 集団は浮遊砂となるが河岸近くに薄く堆積する程度であり、氾濫原(高水敷)の植生(ヨシ、マコモ)は河岸近くを除けば倒伏しない。氾濫原には細砂混じりシルトが堆積する。低水路幅の大きな変化は生じない。上流のセグメントでウォッシュロードとして運ばれて来た細粒物質が急増するが、一方で細粒物質の流送能力も急増するので、河床が上昇するか低下するかは上流からの供給量と流送能力の差異による。

B.5.3 河道地形変化の評価法

(1) 河道・環境特性調査と既存の経験則を用いて河道・景観変化を評価する方法

沖積河川に関する一般的知見(⇒B.1)、土砂水理学、流体力学、土質・地質学、生態学的な基礎知見に基づき、人為的インパクトおよび大洪水の入力条件のシナリオに対して河道地形および生態環境の変化を読み解くものである。

山本他(2005)、山本(2010)は、上流山間地に大ダムが建設された後のセグメントスケールにおける 100 年スケールの地形・生物相変化を、上流に大ダムが建設され、平均年最大流量が $1500 \text{ m}^3/\text{s}$ から $1000 \text{ m}^3/\text{s}$ 程度に減少した本州の一級河川規模の河川を対象に描いている。ただし、ダム建設による豊・平・低・渇水流量および水質の変化は大きくないものとしている。また検討対象セグメントの下流端河床高の変化は小さいものと仮定している。その検討結果の一例を記す。

① 対象セグメント 1

次のような人為的インパクトにおける河川環境の変化を考える。

長さ 15 km 程度のセグメント 1 の下流部を除く河道を考える。河床勾配 I_b は 1/150、代表粒径 d_R は 10 cm、ダムによる洪水流量減少量以上に土砂の供給が急減する(ダム地点と検討対象区間の距離が短く、土砂の供給源がない)。

・評価された変化プロセス

以下に変化プロセスを時間ステップ毎に記す。

ステップ 1: ダム建設前の河道状況は、平均年最大流量時の河床に働く掃流力 (u_*^2) は、 100 N/m^2 ($1000 \text{ cm}^2/\text{s}^2$) 程度である(⇒図 B.1.2.6)。流速係数 $\phi(f_2) = 10$ 程度である(⇒図 B.1.2.7)。このときの平均水深 H_m および川幅 B は式(B.1.2.3)、式(B.1.2.4)より、1.53m、306m となる。 $B/H_m = 200$ であり、4 列程度の砂州が形成されている(山本, 2010)。

小洪水しかない年が続くと浮遊砂が砂州の標高に高いところに堆積し、表層水分条件が変化し、

草本類が進入するが平均最大流量程度以上の洪水があると草本の生育基盤が破壊され白州へ戻る。
ステップ2: 洪水流量および供給土砂量が急減するため、改変前の濬筋に流水が集中し、上流から濬筋部の河床低下が1~2m程度進む(山本, 1976)。瀬のところは上流から供給土砂の減少のため河床が低下しC集団(40cm)が多くなる。

ステップ3: 砂州頂部の冠水頻度が濬部の河床低下および洪水流量が減少し、そこに小粒径のものが堆積する。ただし、細粒分の供給土砂も減少するため堆積速度が小さく、細粒土層の形成が貧弱である。草本類の進入を見る。

ステップ4: ヤナギ, アキグミ, ハリエンジュ, オニグルミ, エノキなど木本類が侵入する(5~15年)。

ステップ5: C集団(40cm)が河床面の60%程度を覆うと河床低下は止まり(パラレルデグラデーション; 山本, 1976)平瀬状の流路となる。アーマ化される区間は時間とともに延伸する。アーマ化の進行中は、流水部の瀬と淵の標高差が小さくなり、州の標高の高いところは河床低下により粒径が大きくなる。アーマ化されたところは大洪水でも動かなくなる。川幅は粒径が大きくなるので、洪水流量減少比以上に縮小する(川幅100~150m)。

ステップ6: 河道は淵と瀬の標高差が小さくなり平瀬状となる。低水路幅は100~150m程度となり静的安定状態となる(15~50年)。高水敷化された空間は樹林となる。

水生生物の種が変化する: 造網性の水生昆虫が増える。魚類は種が少なくなる。砂, 小礫を生育環境とする種が減少する。

② 対象セグメント2-2

長さ20km程度のセグメント2-2の下流部を除く粗砂を河床材料にも持つ河道を考える。河床勾配 I_b は1/2000, 代表粒径 d_R は0.1cm, 砂分以上の土砂の供給が急減する(ダム地点と検討対象区間の距離が短く, 砂集団の供給量が急減する)。

河道は直線状で護岸が整備されているものとする。ダム建設前の平均年最大流量時の河床に働く掃流力(u_*^2)は, 17N/m^2 ($170\text{cm}^2/\text{s}^2$)程度である(⇒図B.1.2.6)。流速係数 $\phi(f_1)$ は10程度である(⇒図B.1.2.7)。このときの平均水深 H_m および川幅 B は式(B.1.2.3), 式(B.1.2.4)より, 3.47m, 332mとなる(山本, 2010)。 $B/H_m=96$ となり洪水時2列, 小流量時多列砂州が形成されている。河道は直線状で護岸が整備されているものとする。また河床材料にはC集団である砂利集団(平均4cm)が5%存在するものとする。

・変化プロセス

以下に変化プロセスを記す。

ステップ1: ダム建設前は川幅328mの河道に多列の砂州が形成されている。砂州頂高は豊水位程度で水面に出る程度の高さである。草本類は低水路には侵入していない。

ステップ2: 洪水流量が急減するため, 砂州の移動速度が減少する。小出水でB集団である細砂が掃流形式で運ばれ砂州上の河床が高くなる。ただし少し大きい洪水で細砂は再移動する。

ステップ3: 豊水流量が変化しなければ砂州の頂部および湾曲内湾側は冠水頻度がそれほど低下しないので, 草本類の進入それほど早くない。豊水流量が減少すると, 冠水頻度が減少し, 減少しない場合に比べて, 草本類の進入が早くなる。

ステップ4: 草本類の進入が生じたところでは, ウォッシュロード(シルト・粘土)の堆積が生じるが, ウォッシュロード(シルト・粘土集団)の供給量も減少するので, ダムが無い場合の高

水敷化速度に比較して堆積速度が遅くなる(10~20年)。川幅は平均年最大流量の減少比に比例して縮小し220m程度になる。

ステップ5: セグメント2-2の上流部では山地からの砂分の供給減少のため河床が低下し河床中に存在したC集団である砂利が取り残され、砂利集団の量が多くなり河床低下進行速度が遅くなる。このプロセスが下流に伝播していく。この現象が進行している区間の河床勾配は多少緩くなり、河道特性がセグメント2-1に対応するものになっていく。すなわち平均年最大流量時の河床に働く掃流力が砂利川対応のものとなる。高水敷化された場所には、ヤナギ、エノキなどの木本類が侵入する(20~50年)。

ステップ6: セグメントの上流部の川幅は流量減少比に対応する川幅220mより4~5割りも減少し120m程度となる(式(B.1.2.4)を用いて $\phi=15$, $u_*^2=380\text{ cm}^2/\text{s}^2$ に変化したとした)。水生生物は砂川対応種から砂利川に生息する種に変化する(30~100年)。

ステップ7: 大洪水時においてアーマ層が破壊され河床低下が進み、セグメント2-2の上流部には基岩等が露出するようになる(50~200年)。

ステップ8: 沖積層の層序構造、河床下の地質条件、C集団の供給量によりその後の河道変化の方向は異なる。これらの情報無しには変化方向の予測は不可能である。

河道特性および環境特性調査によりその特性とインパクトによる応答を抽出し、河道や河道景観の変化を予測する方法は、何をおいてもまず実施すべき技術的行為である。その予測精度は以下に示す(2)、(3)に方法と比べて決して低いものでなく、河道の管理に必須の検討なのである。

(2) 数値シミュレーションによる評価法

河道地形の変化を予測評価するために河床変動計算を行うことが普通になった。またシミュレーション結果に基づいて技術判断が行われている。しかし、数値シミュレーション手法は種々の問題点を抱えており(安易に計算結果を正しいものとするべきではない。実際、(1)による河道特性に関する情報の分析・解析による評価精度を超えるものではない。また、数値シミュレーションにおける境界条件の設定、数値計算の検証データとして(1)による情報生産行為は必須なものなのである(山本編著, 2014)。

数値シミュレーションに当たっては、実績の河床変動データを用いて、セグメント毎の地形変化の実態に合った初期条件、境界条件、流入土砂および流量条件を設定する必要がある。

数値シミュレーションに当たっては、その計算目的に合わせて、解析手法を選択する必要がある。これについては、「河川砂防技術基準調査編 第5章 河川における洪水量の水理解析, 第6章 河床変動, 河床材料変化および土砂の解析」(国土交通省水管理・国土保全局, 2012)において解説されているので、それに倣う。

メモ B.5.2 河床変動の数値シミュレーションの問題点と解決の方向

① 混合粒径河床材料の流砂量式

わが国では混合粒径河床材料の移動限界掃流力、流砂量の評価式として、芦田・道上(1972)

による修正 Egiazaroff 式, 芦田・道上式が使用されている. しかし, この式の適用にはつぎのような問題がある(山本他, 1992 ; 山本, 2010).

移動限界掃流力については, 河床表層材料の粒度分布形を表す d_{84}/d_{16} の値によって式の適用性が異なる. d_{84}/d_{16} が 4 以下では, 河床材料は同時に動き出し, また停止し, 均一砂と見なしてよい.

d_{84}/d_{16} が 4 以上で河床が低下傾向にある平坦河床では, ほぼ修正 Egiazaroff 式と合うが, 河床材料の d_m に対する移動限界掃流力は, 岩垣式(無次元掃流力 $\tau_{*cm}=0.05$)で評価できず, d_{84}/d_{16} が大きいほど τ_{*cm} は小さくなる. 芦田・道上式による粒径別流砂量の評価に当たっても, τ_{*cm} が小さくなるとして評価しないと適切な流砂量とならない. そもそも移動床実験は τ_{*cm} が 0.1 以下の実験が大部分でありアーマ化の過程にある. τ_{*cm} が 0.1 以上のデータを用いた修正 Egiazaroff 式, 芦田・道上式の検証がなされていない. また小規模河床波が生じる場合の移動限界掃流力は修正 Egiazaroff 式で評価できない. さらに砂漣が生じる場合は芦田・道上式適用できない.

ほぼ掃流力が一定に保たれているアーマ化の過程にある実験では, 初期の方が d_{84}/d_{16} が大きく, アーマ化の過程で d_{84}/d_{16} が小さくなるので, 移動しうる最大粒径は徐々に小さくなる.

修正 Egiazaroff 式, 芦田・道上式が使用されるのは, より適切な関数関係で表される混合粒径河床材料を対象とした流砂量式が無いからであり, 技術判断には留保が必要である. 河床変動に関する検証データがある場合は, 検証データに合うように流砂量式のパラメータとチューニングを行って調整する.

② 有効掃流力

移動床流れの抵抗は, 形状抵抗と河床表面抵抗の和であり, 流砂量を規定するのは表面抵抗に起因する掃流力であるとし, それを有効掃流力と言い有効掃流力を用いて流砂量を評価することがなされている. 芦田・道上式による流砂量評価も同様である. 移動床流れの流速係数を適切に評価すること(山本, 2010), また有効掃流力の評価式が適切であることが必要である. 洪水流量増加時, セグメント 2-1 では平坦河床から砂堆へ, セグメント 2-2 では砂漣, 砂堆, 平坦へ遷移し, 減衰期は逆となる, この小規模河床波の発生・遷移を考慮した流砂量評価を行い, 河床変動計算を実施しなければならない(山本他, 1992). そもそも砂漣河床では有効掃流力評価式での流砂量評価は合わない(砂川で砂漣が生じるのは流量が小さい時である. 芦田・道上式で流砂量を評価すると, 実際より過大な流砂量となる.)

また川幅水深比が 20 以下では河岸付近の植生による抵抗増加や河岸の抵抗を評価し, 流砂量への影響を評価する必要があるが, 十分に課題が解決されているとは言えない.

③ 交換層厚さ

混合粒径河床材料を持つ河床変動計算においては, 河床材料が移動しながら混合する層厚を規定しなければならない. 流砂量式は河床に生じる小規模河床波スケール以下の水理場の水理量を用いて評価するものでなく, その水理場を平均化した水理量を用いた平均流砂量を評価するものである.

交換層の取り方は河床での土砂の交換状態に対応したものを与えることが望ましい. 礫床河川の平坦河床の場合は, 河床粒度分布の最大粒径若しくは d_{90} 程度に交換層の厚さを設定しても構わないが, 小規模, 中規模河床波が形成されている場合は砂の移動形態が複雑となり, 最大粒径

で与えることが適切でなくなる。この時は、河床波の波高が交換層厚を決定する1つの目安となる。小規模河床波の波高については、山本(2010)が移動床の実験結果より得た堆砂の波高評価を図に示している。この図の横軸には無次元掃流力、縦軸には堆砂の波高 H_s と平均水深 H との比をとり、内部関数として相対水深 H/d を用いる。これによると、堆砂の波高は平均水深の最大4割程度である。小規模河床波が生じている区間の交換層の取り方は、小規模河床波の1/2程度を交換層とするべきである(山本2010)。

砂防学会編(2000)では、「交換層とは、河床に停止した砂礫粒子の流れによる拾い上げと移動してきた砂礫粒子の着床・停止、換言すれば河床材料と移動粒子群との間の「粒子交換」に關与する範囲の河床表層部を示すものである。そして、粒子交換は一般に交換層内の粒度分布とは異なった比率で生じるので、河床変動とともに i_b も変化する。例えば、河床低下が生じる場合、交換層からは細粒の粒子が相対的に多く抜け出すので、交換層内の砂礫は粗粒化する。また、交換層の厚さは、通常、河床に存在する砂礫の最大粒径程度と考えてよいが、もしも顕著な河床波が発生することが予想される場合には、その波高の程度まで大きくなる。」としている。

④ 粒径階

混合粒径河床材料を持つ河床変動計算においては、河床材料を機械的に粒径階に区分し、各粒径階の流砂量を評価する。粒径階の設定に当たっては、河床材料の粒径集団別の流砂量を適切に評価できるように設定するべきであるが、設定法が適切でないものが多い。ダム下流のようにアーミング過程を解析するのでなければ、河床材料の各粒径集団の区分粒径幅の半分を一つの粒径階とすれば十分であろう。土砂は粒径集団毎にまとまり動くようなのである。

⑤ 急流河川の掃流力の評価

山地河川やセグメント1の河川では、常流と射流の混在する流れとなり水面に波動および段波が生じる。流体の運動を規定する式の上でフルード数1となる地点は特異点であり解けないが、種々のスミージングにより計算がなされ、それによる計算値をよしとしている。マコーマック法などのより常射流が混在する場での計算法があるが(村他, 1993)、扇状地は水深数mの流れ場であり、一方、一次元河床変動計算では横断測量がなされる200m程度であり、川幅は数100mである。このような場で、マコーマック法に物理的意味があるとは思えない。末次(2004)は、急流河川を対象に洪水流の計算を行う場合、区間によっては常流と射流が混在する場合があります、計算が不安定となるので、射流制御のため以下のような工夫を行うのがよいとしている。

- ・上下流で断面が大きく変化する場合は、適正な死水域を設定し、内挿断面を設定する。
- ・射流区間では $Fr=1$ に相当する限界水位に適宜置き換えて計算を行う。しかし、このような工夫を行っても射流区間の上流で水位が高くなる場合がある。そこで、移流項に緩和係数 $(1-Fr^2)$ を乗じて、移流項の重みを小さくする。

⑥ 粘性土、軟岩の扱い

河床に露出する粘性土・軟岩の河床変動計算における取り扱いについての手法が開発されていない。

⑦ 川幅・供給土砂量変化の取り扱い

上流山地部に大ダムが建設されると、洪水流量および山地から供給される粒径集団毎の供給量に変化が生じる。これらについては、ダム地点から流水および土砂を追うことで評価が可能であるが、沖積地河川の川幅変化をいかにシナリオ化、理論化するかに関する知見が十分でなく、河

床変化を的確にシミュレートできない。

⑧ 浮遊砂の取り扱い

浮遊砂の上流端における供給量の取り扱いが適切でない事例が多い。他の方法による粒径集団毎の供給土砂量評価などを使い、検証データに合うように設定する。検討目的や検討する場の特性によっては、浮遊砂量を計算しなくても良いことがある。

注.

注 1) 厳密な意味での土砂濃度でなく概念的なものである。

参考文献

- 芦田和男, 道上正規 (1970) 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, pp. 233-242.
- 芦田和男, 道上正規 (1972) 移動床流れの抵抗と流砂量に関する基礎的研究, 土木学会論文報告集, 第 226 号 pp.561-597.
- 河川行政研究会編 (1995) 日本の河川, 建設広報協議会, pp.514-517.
- 建設省河川局治水課, 土木研究所 (1991) 河道特性に関する研究 (その 3) -河床変動と河道計画に関する研究, 第 45 回建設省技術研究会報告, pp.514-517.
- 国土交通省水管理・国土保全局 (2012) 河川砂防技術基準 調査編 平成 24 年 6 月版 第 5 および第 6 章.
- 国土庁長官水資源部 (1999) 日本の水資源, p.225.
- 佐藤清一, 吉川秀夫, 芦田和男 (1953) 河床砂礫の掃流運搬に関する研究, 建設省土木研究所報告第 98 号, pp. 119-124,
- 砂防学会編 (2000) 山地河川における河床変動の数値計算法, 山海堂.
- 末次忠司 (2004) 河川の防災マニュアル, 山海堂.
- 建設省中国地方建設局, 斐伊川改修四十年史編集委員会 (1989) 斐伊川改修四十年史, 建設省出雲工事事務所, pp.52.-69.
- 藤田光一 (2007) 河道セグメント 2 における川幅縮小のメカニズムと予測技術, 第 43 回水工学に関する夏期研修会講演原稿.
- 藤田光一, 富田陽子, 大沼克弘, 原野宗, 小路剛志, 伊藤嘉奈子, 山原耶康嗣, 萱場裕一 (2009) ダムと下流河川の物理環境との関係についての捉え方, 国土技術政策総合研究所資料 第 4140 号.
- 村三郎, 中谷剛 (1993) TVD-MacCormack 法による常射流込混在流の数値計算, 第 37 回水工学論文集, pp.763-768.
- 山本晃一 (1976) ダム下流の河床低下に関する研究, 土木研究所報告 第 147 号, pp.16-18.
- 山本晃一 (1981) 河道特性論ノート [I], -護岸論のために-, 土木研究所資料第 1625, pp.174-187.
- 山本晃一 (1982) 人的作用による河道特性の変化, 土木技術資料 pp.119-204.

- 山本晃一 (2010) 沖積河川—構造と動態—, 技報堂, pp.13-14, 114-142, 202-204, 274-276, 303-361, 382-389.
- 山本晃一編著 (2014) 総合土砂管理論, 技報堂.
- 山本晃一, 阿佐見敏和, 田中成尚, 新清晃, 鈴木克尚 (2009) 鬼怒川の河道特性と河道管理の課題, 河川環境総合研究所資料 第 25 号.
- 山本晃一, 阿佐見敏和, 本多信二 (2007) 河道・環境特性情報の読み方と利用 第 1 編 小貝川の河道特性, 第 2 編 鈴鹿川の河道特性の特異性とその解釈, 河川環境総合研究所資料 第 18 号, pp.1-100.
- 山本晃一, 小林雄介, 佐々木博章, 新清晃, 鈴木克尚, 田中成尚, 中村彰吾, 福田朝生, 本多信二, 山内豊, 和田健一 (2010) 河道特性に及ぼす粘性土・軟岩の影響と河川技術, 河川環境総合研究所資料 第 29 号.
- 山本晃一, 小川明宏, 川端理恵, 佐々木博章, 鈴木克尚, 原口幸雄, 益子隆一, 山本嘉昭, 吉田勢 (2012) 河川植生管理論, 河川環境総合研究所資料 第 31 号.
- 山本晃一, 白川直樹, 大塚史郎, 伊藤英恵, 内田史郎 (2005) 流動変動と流送土砂の変化が沖積河川生態系に及ぼす影響とその緩和技術, 河川環境総合研究所資料 第 16 号.
- 山本晃一, 高橋晃 (1993A.) 扇状地河川の河道特性と河道処理, 土木研究所資料 第 3159 号, pp.21-110.
- 山本晃一, 長沼宏一, 渡辺明英, 大森徹治 (1993 b) 鶴見川河口部の土砂堆積と浚渫計画, 建設所関東地方建設局, 京浜工事事務所.
- 山本晃一, 藤田光一, 平林桂, 小澤祐二, 池内覚 (1992) 一次元河床変動計算の改良, 土木研究所資料 第 3099 号.
- Einstein, H. A. (1950) The Bed Load function for sediment transportation in open channel flow, U. S. Dept. of Agriculture Tech. Bull. 1026.
- Lane, E. A. and Kalinske, A. A. (1941) Engineering calculation of suspended sediment, A. S. C. E. Trans., pp. 603-607.

参考資料B.6 河川環境の維持管理と河道管理

国土交通省「河川砂防技術基準維持管理編（河川編）」には、第8章「河川環境の維持管理対策」に関する4ページの記述がある。河道の維持管理対策に当たっては、当然、河川環境の維持管理の視点を考慮すべきであり、本論においても必要な記述を付加した。

河川環境の維持管理対策は「河川整備計画に基づいて良好な河川環境が保全されるよう、自然環境や河川利用に係わる河川の状態把握を行いながら、適切に河川環境の維持管理を行うことを基本とする」とされている。ここでは、生物の良好な生息・生育・繁殖環境の保全対策として河道形状の意図的改変を実施した場合の河道の維持管理対策を記す。

① 自然再生事業として直線化した河道を再蛇行化

北海道の釧路川、標津川では直線化された河道を以前の蛇行した河道に復元する取り組みが行われている。直線化された河道を蛇行河川に戻すと勾配が緩くなり最終的には勾配の変化率に応じて川幅が縮小する。維持管理に当たっては、直線河道と蛇行河道が併存する間の河道変化に対して最終目標の河川形状に誘導するよう河道掘削や堆積土砂の除去という維持行為が必要である。

最終形状およびそこまでの地形変化速度を評価・予測して維持管理計画を立案することになる。変化速度の予測が難しく順応的管理を取らざるを得ないが、最終河川形状のイメージを持ち河道の維持管理行為計画の立案および実行していく必要がある。

② 自然再生事業としての湿地造成

自然再生事業は、治水や利水を目的とする事業の中でミティゲーションとして川の環境保全を行うものでなく、河川環境の保全を目的とし、流域の視点から「川のシステム」を再自然化する初めての河川事業である。

円山川流域では、国の天然記念物であるコウノトリと人が共生できる地域づくりを目指して、官民一体となった取り組みを進めており、エコロジカルネットワークの保全・再生・創出を実施している。河川では高水敷の掘削による浅い湿地の造成を行っている。

円山川を含めて湿地造成後は、土砂の堆積状況を監視把握し、堆積量が湿地の機能を損なうようであれば維持掘削を実施する必要がある。自然再生計画の策定に当たっては河川地形変化の方向・速度を評価し、維持管理計画を策定しておく必要がある。

③ 多自然川づくりとしてのワンドの造成

多自然川づくりとして人工ワンドが多く河川で造成されている。ワンド造成後は、土砂の堆積状況を監視把握し、堆積量がワンドの機能を損なうようであれば維持掘削を実施する必要がある。

なお、砂利川の人工ワンドは維持が困難であり、造成後、洪水により土砂堆積・侵食が生じ放棄された例がある。少なくとも10年でワンド機能が損なわれる恐れがない計画としたい。

④ 多自然川づくりとしての淵の再生

河川工事等により良好な淵が浅くなり、生物の生息場の劣化や文化的景観の劣化を回復するために、河道形状の変更（河道平面形状の変更や水制等による流向の制御）を実施した場合、その後の河道形状の変化を監視し、必要に応じて河道形状の修正（河岸線の制御や掘削）を行う。

河川総合研究所資料 第 32 号

平成 28 年 11 月編集・発行

ISSN 1347-751X

河道の維持管理論

編集・発行 公益財団法人 河川財団 河川総合研究所

〒103-0001 東京都中央区日本橋小伝馬町 11-9

TEL 03-5847-8304 FAX 03-5847-8309

URL <http://www.kasen.or.jp> E-mail info@kasen.or.jp

印刷・製本 株式会社サンワ

〒102-0072 東京都千代田区飯田橋 2-11-8

TEL 03-3265-1816 FAX 03-3265-1847