



河道計画検討の 手引き

財団法人国土技術研究センター 編



山海堂

河道計画検討の 手引き

財団法人 国土技術研究センター 編

まえがき

河道計画は治水、環境のさまざまな観点から、今後の川のありようを示す重要な計画であるが、これまでの河道計画では、ともすれば洪水を流す川の容量のみに重点をおいた計画が立てられる傾向にあった。この理由は、河道内での水理現象を検討する技術や河道変化に関する予測技術が十分でなかったこと、河川環境については、河道計画における配慮的事項としてきたことなどが大きな要因である。

河川法の改正に見られるように、河川環境の保全・回復が河川行政にとって重要な課題とされている現在では、洪水流を安全に流下させるとともに河川環境の保全や回復を図ることを目的とした河道計画を策定することが必要とされている。

このようなことから、河道計画検討の手引き作成ワーキンググループを組織し、河道計画策定の基本的な視点や、河道計画上配慮すべき現象等に関する議論を行うとともに、現在までの知見をもとに、河道計画において使用することが望ましい技術的手法についてとりまとめることとした。

本書は、河道計画について検討を行う際の、参考書的なものとして取り扱われるものである。上述したように、現在までにとりまとめられている成果や知見をもとにしたものであることから、今後河道計画の検討に必要なデータや技術的な蓄積等が図られ、河道計画を策定するに際して必要となる技術的手法の予測精度の向上等があったときには、その改訂を行う必要があるものである。その意味で、本書は河道計画策定の技術書としては第一歩目を踏み出したものである。

最後に、本書の作成・編集に協力いただいた河道計画検討の手引き作成ワーキンググループのメンバーの方々に深く感謝の意を表するとともに、本書が洪水の安全な流下と河川環境の保全や回復などを、総合的に取り入れた河道計画検討の一助になることを希望している。

河道計画検討の手引き作成ワーキンググループ

座長 山本 晃一

目 次

まえがき	i
第1章 総 説	1
1-1 本書の位置づけ	1
1-2 総 説	2
1-3 用語の説明	4
第2章 河道計画策定の基本的な視点	11
2-1 従来の河道計画の考え方	11
2-2 河道計画策定の基本的な視点	14
2-2-1 河道計画の目標と方向性	14
2-2-2 河道計画策定の視点と流れ	15
2-3 河川管理上の視点	18
第3章 河道計画上配慮すべき事象に関する知見	21
3-1 移動床現象と河道計画	21
3-1-1 河道計画上配慮すべきセグメント別河道特性	21
3-1-2 流下能力の確保と移動床現象	25
3-1-3 堤防の安全性確保と移動床現象	35
3-1-4 蛇行河道の洪水流況と河床変動特性	39
3-1-5 河岸および河床の土質・岩質	41
3-1-6 コストと移動床現象	43
3-2 移動床現象が生物の生息環境に与える影響	44
3-3 扇状地礫床河道における植生域の増大	48
3-4 構造物周辺の流れ	49
3-5 河道内の現象を把握するための調査と河道計画への影響事項	51
第4章 河川特性の把握	55
4-1 河道特性の把握	55
4-1-1 河床勾配 (I_b)	56

iv 目 次

4-1-2	代表粒径 (d_R)	57
4-1-3	セグメント区分	60
4-1-4	低水路内平均水深 (H_L)	60
4-1-5	エネルギー勾配 (I_e)	61
4-1-6	摩擦速度 (U_*)	61
4-1-7	無次元掃流力 (τ_{*R})	62
4-1-8	川幅水深比 (B/H_L)	63
4-1-9	水深粒径比 (H_L/d_R)	63
4-1-10	河道内の人為的影響等	63
4-1-11	河道の安定の見方	63
4-2	洪水時の水理特性の把握	65
4-2-1	洪水時の水位	65
4-2-2	洪水時の河床変動	68
4-2-3	洪水規模と粗度係数	69
4-3	河川環境特性の把握	69
4-4	流域特性の把握	73
第5章 流下能力の検討		75
5-1	流下能力検討の基本的な考え方	75
5-2	検討手順	77
5-3	水位計算法	79
5-3-1	準二次元解析法	79
5-3-2	境界混合係数 (f) の設定方法	81
5-3-3	射流制御の計算法	84
5-3-4	水位上昇量の算定方法	85
5-4	低水路粗度係数設定の検討	97
5-4-1	低水路粗度係数設定の手順	97
5-4-2	低水路粗度係数設定の基本検討 (第1段階の検討)	99
5-4-3	低水路粗度係数設定の詳細検討 (第2段階の検討)	116
5-5	流下能力の算定と評価	119
5-5-1	流下能力算定のための条件設定	119
5-5-2	流下能力の評価	129
5-6	流下能力不足区間の要因分析	130

第 6 章 河道計画の基本的な考え方	133
6-1 流下能力の確保（縦横断計画に関して）.....	133
6-2 堤防の安全性の確保（平面計画に関して）.....	135
6-3 河道処理方式を決めるうえでの配慮事項.....	137
6-3-1 計画高水位の基本的な考え方.....	137
6-3-2 引き堤，堤防嵩上げの必要性.....	138
第 7 章 河道の縦横断計画（河積確保）	139
7-1 検討手順.....	139
7-2 河積確保の検討条件の設定.....	139
7-3 河積確保にあたっての制約条件と河川環境の保全・回復の基本的な 考え方の設定.....	144
7-3-1 河積確保にあたっての制約条件の設定.....	144
7-3-2 河川環境の保全・回復の基本的な考え方の設定.....	145
7-4 河積確保の基本方針の設定.....	145
7-5 代替案の設定と検討.....	147
7-5-1 代替案の設定.....	147
7-5-2 河道特性変化予測.....	152
7-5-3 流下能力のチェック.....	153
7-5-4 河床変化のチェック.....	153
7-5-5 河床形態のチェック.....	155
7-5-6 河川環境のチェック.....	156
7-5-7 必要河積の設定.....	156
7-6 施設設計のための河床高の設定.....	156
7-6-1 河道特性と最深河床の関係.....	157
7-6-2 施設設計のための最深河床高の評価方法.....	158
7-6-3 河川管理に与える影響の分析.....	159
7-6-4 樋門・樋管設計のための河床高.....	161
第 8 章 河道の平面計画	163
8-1 検討手順.....	163
8-2 河道（低水路）形状の一次設定にあたっての検討.....	164
8-2-1 現況河道の質的安全性の検討（堤防等河川管理施設の安全上の課題把握）.....	164

8-2-2	低水路平面形状についての制約条件の設定	166
8-2-3	低水路平面形状についての基本方針の設定	167
8-3	堤防防護と低水路河岸安定化の検討	167
8-3-1	堤防防護に必要な高水幅の設定	168
8-3-2	低水路河岸安定化の方針の選定	172
8-4	河道（低水路）形状の一次設定	173
8-5	一次設定河道の質的安全度の評価	174
8-5-1	低水路河岸の質的安全度の評価	174
8-5-2	堤防の質的安全度の評価	174
8-6	一次設定河道の河川環境の評価	175
8-7	河岸侵食防止の必要箇所の設定	175
第9章	河道計画のとりまとめ	181
9-1	現況河道の特性と課題の整理	181
9-2	河道計画の検討条件の整理	181
9-3	河道計画策定の基本方針の整理	181
第10章	河道計画モニタリング	185
10-1	総合土砂管理計画と河道計画	185
10-2	現在の河道計画策定の適用範囲とモニタリングの必要性	185
10-3	河道特性モニタリング項目	187

第1章 総 説

1-1 本書の位置づけ

本書は、高水計画で定めた計画高水流量を安全に流下させるために作成される河道計画について、その検討を行う際に念頭においておくべき基本的な考え方や、標準的な技術手法について、記述・解説を行うことを目的としてとりまとめたものである。なお、本書の対象とする河川には、わが国の直轄管理されている大河川のうち、主に沖積河川を想定している。そのような大河川において河道計画を立案する際には、「第2章 河道計画策定の基本的な視点」の主旨や、「第3章 河道計画に配慮すべき事象に関する知見」について十分に理解し、各河川の特性を反映した河道計画について検討を行うことが必要とされる。

本書は、上述したように基本的な視点や考え方、ならびに標準的な技術手法についてとりまとめることを目的としているため、一般にいう技術基準とは別のものであり、河道計画について検討を行う際の技術参考書として扱われるべきものである。特に、河道計画を検討するに際して大きな問題となるのは、治水面と環境面の調和であるが、この考え方について一般的な考え方を記述することはできても、その具体的な展開方策を記述することは難しいため、この点については個別河川ごとに河川特性等を踏まえた検討を行う必要がある。

平成9年の河川法改正によって、河川の整備にかかわる計画は、長期的・広域的な視点から、当該河川の将来的な整備の方向性を示した河川整備基本方針と、20年～30年といった整備の実施期間を想定して、具体的な河川整備の計画を示した河川整備計画が立案されることになった。

河川整備基本方針における河道計画では、当該河川における環境特性等を踏まえて、計画高水流量を計画高水位以下で流下させるために必要な、河積について検討することが中心的な課題となる。一方、河川整備計画においては、当該河川における現況の課題や環境特性、住民意見等を踏まえ、20～30年間の具体的な河川整備の内容について検討することが必要となる。いいかえれば、河川整備計画においては、沿川住民との情報交換や対話を行いながら、複数の代替案について検討を行い、流下能力の確保と自然環境の保全・回復に関する妥協点を見出すことが重要となる。

本書は主に、河川整備計画における河道計画の検討を行うための手引きであり、本書で用いている水位計算法（準二次元解析法）は、高水敷等に繁茂している樹木による洪水流下への

影響も評価することが可能な解析手法である。したがって、治水と環境の調和など、幅広い議論を行う際に地域との共通の土俵を作ることが可能であり、本書を活用した河道計画に関する活発な議論が行われることを期待している。なお、本書で記述した水位計算手法は、河川整備基本方針の河積確保の検討にも用いることができる。

一般に河道計画というと、計画法線の設定から河道縦断形、河道横断形までの一連の検討を行うが、本書において対象としている直轄管理の大河川では、堤防が概成しており計画法線の検討を行う河川が少ないと思われるので、堤防法線の設定については記述しておらず、平面形の検討として低水路の平面形について記述を行っている。

したがって河川整備計画等において、引堤等の堤防法線の検討を行う必要がある河川については、本書において記述している洪水時の水理現象（洪水時の主流線の流向や低水路と高水敷の流れの干渉現象等）について考慮するとともに、社会的な影響を含めた河道平面形の検討を行うことが望ましい。

1-2 総 説

河道は流水の作用の大きさとその頻度に応じて変化するため、維持管理が容易で、自然環境と調和した河道計画を策定するに際しては、河道の変化特性を十分に考慮する必要がある。

河道の変化は、土砂の移動にもとづくものと、植生等の地被状況にもとづくものに大きく分けられるが、前者の変化は後者の変化とも相互にかかわっているため、河道計画の策定に際しては、河川ごとにそれらの相互関連性の現れである河道の状況を十分に把握し、河道計画に反映させることが重要となる。

河道計画策定の基本的な視点として、流砂系の健全性確保が重要である（図1-1）。河道計画は、この基本的な視点を踏まえつつ、①量的安全度の確保（流下能力の確保）、②質的安全度の確保（侵食・洗掘に対する河川管理施設の安全性確保）、③コストの最小化（イニシャルコスト＋ランニングコストの最小化）、④河川環境の保全（自然環境や景観の保全と回復、河川利用との調和）という4つの異なった視点から、対象河川の水理的な特性を踏まえて、それぞれの関係等について検討・整理を行い、水系全体として最適解を見つけ出す作業であるといえる。この4つの視点は、たがいに密接な関係を有し、また、相互に矛盾する場合もあり、必ずしも4つの視点を満足するような解が存在しない可能性もある。このような場合には、必要になる対策の実現性や効果の確実性等を勘案して、水系全体として計画の妥当性を検証する必要がある。

また、河道計画が対象とする時間スケールにより、検討すべき河道形状と現象が変わる。たとえば短期的・中期的な観点からは、段階施工時の河道形状に対する低水路粗度係数や河床変動等が検討対象となるのに対し、長期的な観点からは改修後の河道形状に対する低水路粗度係数や、河床変動等が検討対象となる。

河道計画の出発点として河道の法線を定める必要がある。また、河道は堤防の築造をもって

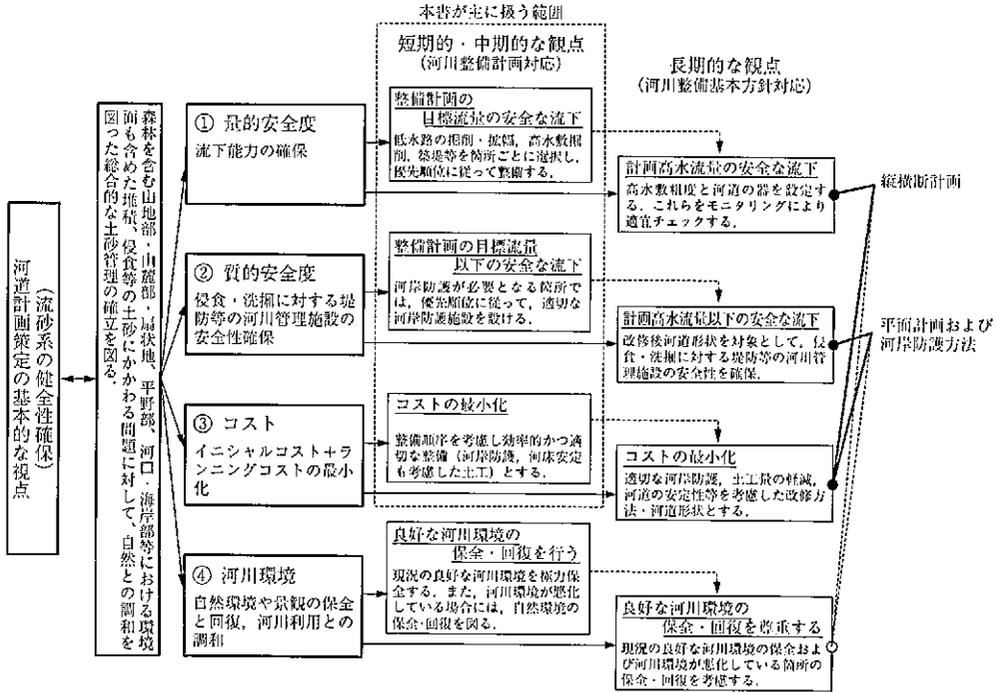


図 1-1 河道計画策定の基本的な視点

横断面が完成し、堤防の安全性は河道の質的安全性にとって重要なポイントになる。これら2点は河道計画の主要な事項ではあるが、大河川では法線計画を広域にわたり新たに定めることは少ないことなどから、ここでは洪水の流下（器としての河道）に特に関係する内容に的を絞り、河道計画策定についてとりまとめている。また、浸透に対する安定などの堤防の質的安全性については、他の専門書に譲ることとした。

本書の構成は図 1-2 に示すとおりである。本書の特色は、現状の河道特性を踏まえたうえで、洪水時または長期的な横断・平面形状が変化することを考慮した河道計画策定の考え方を示していること、これまであまり明らかにされていない河岸侵食についてその実態、要因や評価手法についても記していることにある。なお、河川環境については、河川や地域、社会情勢等によって考え方が異なり、一般論として述べることは困難であるため、現時点で考えられる配慮事項を記すにとどめている。

先の図 1-1 に示した河道計画策定の視点のうち、長期的な観点（河川整備基本方針対応）から策定した河道計画では、主に河積確保について検討するのに対し、短期的・中期的な観点（河川整備計画対応）からの河道計画では、沿川住民との意見交換を行いながら、河川環境の保全・回復に配慮した河積確保や堤防の安全性確保について検討することになる。この際、河川整備計画と河川整備基本方針の河積確保には、不整合が生じないように注意しなければならない。河床形状は掘削や落差工の改築などの河積確保や、河床を安定させるための行為による河床攪乱を契機として縦横断的に変動し、場合によっては、河道改修後の河床が安定な状態に達するまでに、計画期間程度の長時間を要することもあるため、河積確保のための河川整備

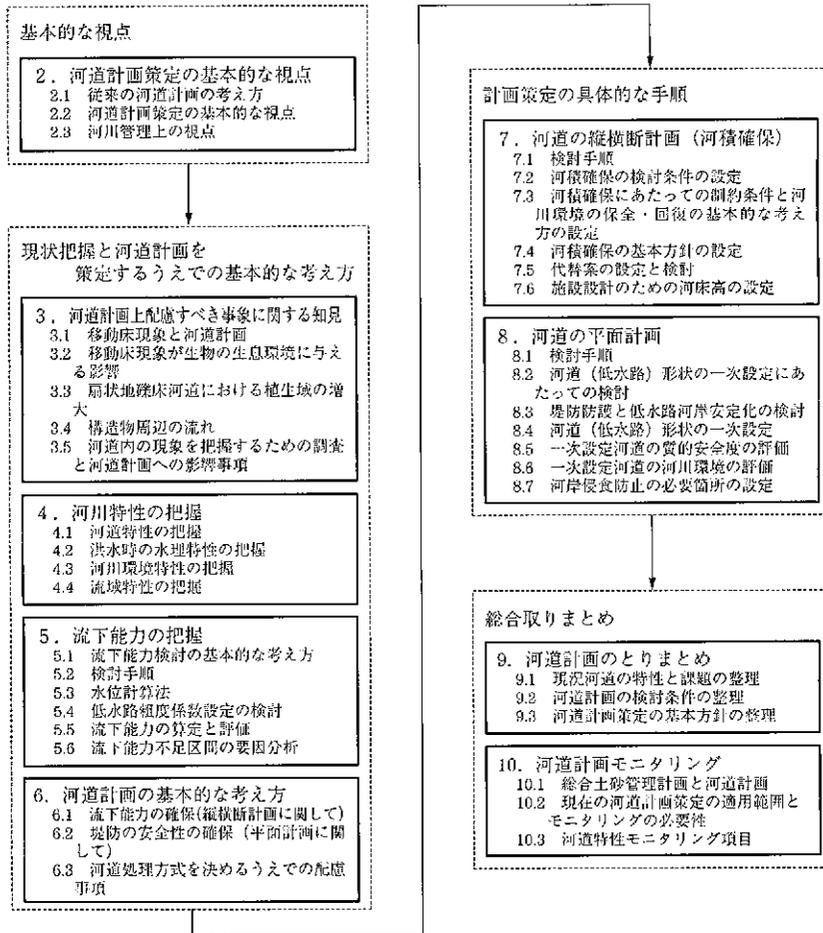


図1-2 本書の構成

を行う際には、事前に十分な予測が必要となる。さらに改修後にはモニタリングにより、河床変動実態を把握して事前の予測との比較検討を行い、必要に応じてその検討結果を維持管理や河道計画の見直しに反映させることが必要となる。

1-3 用語の説明

(1) 河道と河川

河道とは平常時もしくは洪水時に流水が流下する空間をいう。河川とは河道および堤内地を含む河道周辺をいい、場合によっては、広く流域全体をとらえる用語としても使用している。したがって、河川空間や河川環境は広義の意味として使用している。

(2) 低水路、高水敷、中水敷(図1-3参照)

低水路とは、複断面河道内において河床高が低く、中小洪水時には流水が集中して流れるエリアであり、その河床形状は平均年最大流量程度の洪水流(概ね2~3年に1回程度発生する

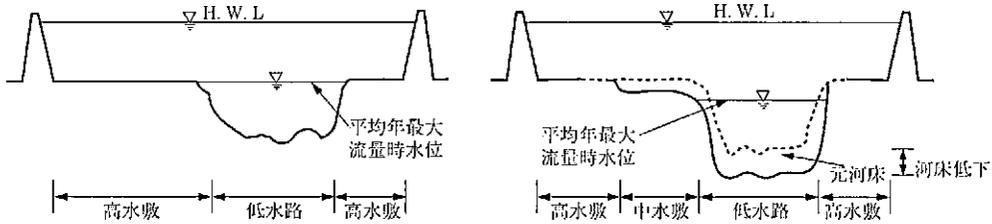


図 1-3 低水路，高水敷，中水敷の概念図

流量)の流下によって形成される部分である。低水路は、洪水により砂州の移動や河岸が侵食されることで変動する部分でもあるため、低水路と高水敷の境界では一般に植生に差が見られる。すなわち、低水路部は裸地もしくは1年草が生育しているのに対して、高水敷では多年草や樹木が生育していることが多い。ちなみに、低水路の河床高の横断的な平均値を、低水路平均河床高と呼ぶ。

高水敷とは低水路以外の部分である。河床低下の進んだ河川では従来の高水敷とは別に、低水路と高水敷の間に新たな段差が生じ、テラスや中水敷と呼ばれている空間が現われている箇所がある。ここでは、この空間を一般的に使用されている「中水敷」と呼ぶ。

中水敷は、河積確保のために高水敷を掘削する際、極端な低水路幅の増大を招くと流砂量のバランスがくずれ、河床上昇を引き起こすことから、極力上下流の低水路幅の変化を少なくするとともに河川改修による水際線の変化を少なくし、河川環境へ与える影響を少なくすることを目的に採用する方法であることから、中水敷の高さを高水敷の高さよりも極端に低くすることは望ましくない。

(3) 河床高

本書において扱っている河床高には、低水路平均河床高、施設設計河床高がある(図 1-4 参

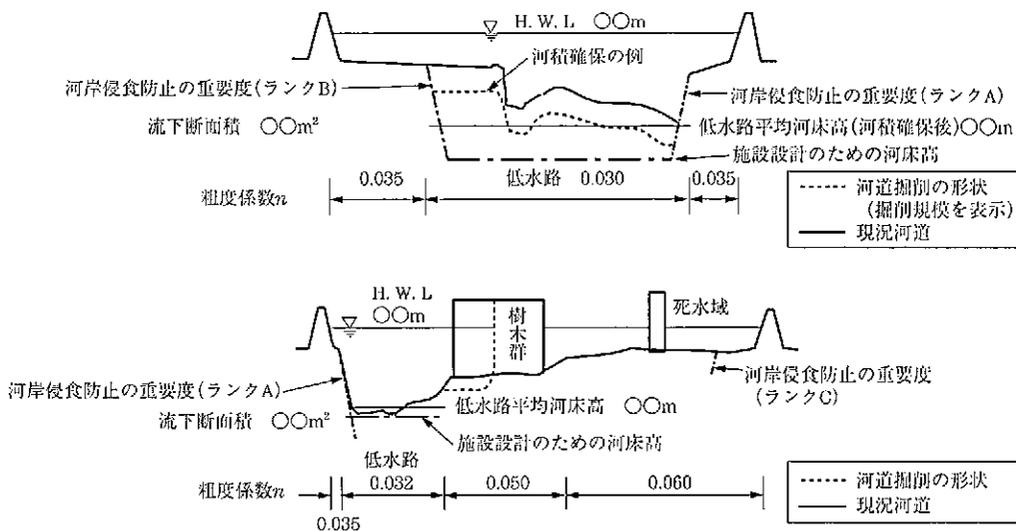


図 1-4 横断形概念図

照)。

低水路平均河床高とは、流下能力把握および河床変動計算等で使用する低水路内の横断的平均値であり、従来の河道計画における計画河床高と同様な意味あいを持つ。しかしながら、計画河床高という用語を用いると、横断的に一樣な高さとしなければならないという誤解が生じるおそれがあるため、低水路平均河床高という用語を用いることとしている。

施設設計河床高とは、護岸等の河川管理施設の根入れ等を設計するにあたり、低水路平均河床高だけでは施設設計を十分に行うことができないために、最深河床高等を参考に施設設計を行うために設定する河床高であり、必要に応じて設定するものである。なお、堰や床止め工の一部のように、低水路平均河床高にもとづいて施設設計を行うものもあるので、一律に理解しないように注意を要する。施設設計河床高は、局所洗掘等を考慮して基本的に左右岸別々に定められるものと考えが、河道計画論と施設設計論を本書において同時に扱うことが難しいので、施設設計のための河床高については多くを言及していない。たとえば、扇状地河川において施設設計のための河床高を設定する際には、同一河道特性区間における最深河床高を包絡してつなげた高さとするのが一般的であり、河道の特性に応じて適切な方法で定める必要がある。将来的に河床高が変化する河川においては、必要に応じて「流下能力確保のための目安となる河床高」を初期値として河床変動計算を行い、適切な河床高の設定を行うことが肝要である。

河床低下の著しい河川などでは、河川を管理するという観点から河川の機能を維持するために保持すべき河床高の設定についても留意する必要がある。河床低下に伴って、以下に示す現象が生じる可能性がある河川においては、河床高の設定について詳しい検討を行う必要がある。

- ・高水敷冠水頻度が減少し樹林化が進行する
- ・河川構造物や河川管理施設の基礎が露出し維持が困難となる
- ・河川の有する自然環境が変化する
- ・堤内地の地下水位が下がる

(4) 移動床現象、河岸侵食

一般に、洪水時における土砂移動により、低水路の河床形状が変化する現象をいう。なお、高水敷や中水敷の植生箇所において、細砂の沈降・堆積、または流水による侵食により、その敷高や形状が変化することも移動床現象に含むものとする。

河岸侵食は移動床現象の一つで、砂州や局所洗掘に起因して発生する低水河岸の侵食、決壊であり、低水路の横断平面形状の変化を伴うことに特徴がある。

(5) セグメント¹⁾

セグメントとは類似した河道特性を有している河道区分を指し、基本的には河床縦断勾配と河床材料から区分を行う。同じような河道特性を有する区間に分割することを「セグメント区分」といい、河道特性を把握分析する単位空間を、セグメントごとにするを「セグメント単位の見方」という。

日本の河川では、山間部の河岸や河床が岩である区間はセグメント M といい、山間部を出

てから海に向かって概ね三区分され、上流からセグメント1（扇状地河道）、セグメント2（中間地河道、自然堤防帯河道等）、セグメント3（デルタ河道）と呼んでいる。また、河床材料や河床波の発生状況から見て、河道特性上はセグメント2の区間をさらに二分割し、上流からセグメント2—1、セグメント2—2に分割して区分している。

さらに実際の河川を詳細に見る場合（たとえば粗度係数の設定を行う場合）には、河床勾配、支川合流、代表粒径の縦断分布を見て、セグメント1およびセグメント2—1、2—2の区間を小セグメントに区分することもある。

（6）粒径集団

河床材料の粒度分布形は、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3つ以上の粒径集団を持っているのが普通であり、河床材料の主モードである集団をA集団、それより細かいものを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。

河床材料の移動特性や小規模河床波の形態は、粒径集団の代表粒径によるところが多いことから、河床を構成している材料の粒径集団を把握する必要がある。

（7）アーミング

上流域から供給土砂量が減少すると、河床が低下するとともに、河床を構成している土砂の細粒分だけが下流へ流下し、河床面に大粒径の土砂だけが残る場合がある。これをアーミングといい、セグメント1やセグメント2—1の玉石や砂利を、河床材料に持つ河川においてよく見られる現象である。

（8）河床波

河床波には、小規模河床波と中規模河床波の2種類があり（表1-1参照）、ある水理量の範囲では両方の河床波が共存可能である。小規模河床波は、掃流力の変化に伴ってできる波動であり、洪水時の水深や流速によって砂漣、砂堆、遷移河床、平坦河床の順に変わり、さらに流速を大きくすると反砂堆に変化する。一般的に小規模河床波は中規模河床波よりも規模が小さい河床波である。中規模河床波とはいわゆる砂州のことであり、わん曲部で見られる固定砂州（point bars）や左右交互に周期的に現れる交互砂州、複列（多列）砂州、うろこ状砂州がある。河床材料が主に砂であるセグメント2—2に該当する区間では、洪水流量の増加とともに河床形態が砂堆河床から平坦河床（河床に形成されていた河床波がなくなり、平坦な河床となっている状態）に遷移する場合がある。このように洪水中に平坦な状況に移動している河床を遷移河床という。

（9）準二次元解析法

準二次元解析法は広義の一次元解析であるが、一次元解析法では断面内の平均流速と水位を求めるのに対し、準二次元解析法では、高水敷の地被状況や高水敷と低水路等の断面内の粗度状況が異なる区間の流速分布と、断面平均水位を求めることができる。準二次元解析法は、河道内に密生した樹木群による河積減少の影響や、粗度が異なることによって生じる流速差に伴う混合現象による抵抗の増大等による流れの変化を取り込んだ手法である。

表 1-1 河床波の特徴と定義¹⁾

河床形態		形状・流れのパターン		移動方向	河床波の特性
		縦断面図	平面図		
小規模河床形態	砂 漣		直線状 	下流	河床波の移動速度は、流水の速度よりも小さい。砂漣の波長は河床材料の粒径の約 500~1500倍である。
	砂 堆		曲線状 三日月状 舌状 	下流	河床波の上流側斜面は、通常勾配の急な下流側斜面に比べると緩やかに傾斜している。砂堆の波長は水深の約 4~10倍である。
	遷移河床				発達初期段階にある小さな砂漣と砂堆が、平坦河床の間に広がっている。
	平坦河床				多量の流砂が平坦な河床上を流れている。
	反砂堆			上流停止 下流	河床波と同位相の水面波と強い相互干渉を持つ河床波
中規模河床形態	交互砂州			停止 下流	水流は水路内を曲がりくねって流れる。交互砂州の波長は水路幅の約 5~16倍である。
	複列砂州			下流	-
	うろこ状砂州			下流	うろこ状砂州のB/Hが非常に大きい領域で発生する。それは魚のうろこのように見える。

(10) 境界混合係数

河道内の植生の繁茂状況や、横断形状の変化（低水路と高水敷等）によって断面内において流速差が発生し、その境界において平面渦が発生する。このような平面渦が発生すると抵抗が増大し、平均流速が減少するとともに水位が上昇する。境界混合係数は、このような断面内の流速差によって生じる抵抗の増大を表わすための係数である。

(11) 推定粗度係数

推定粗度係数は洪水時に河床面に形成された砂漣、砂堆、反砂堆、砂州などの河床波による抵抗を粗度係数として表わすものである。推定粗度係数は建設省土木研究所（当時）で行われた移動床模型実験、および現地高水流量観測結果の解析による無次元掃流力 τ_* と、流速係数 ϕ との関係図から求めた流速係数に、砂州の発生状況や粒径分布による補正を行った値を用いて算定することとしている。

(12) 堤防防護ラインと低水路河岸管理ライン

堤防防護ラインとは、洪水時の流水による侵食作用に対して、堤防と一体として侵食対策（河岸防護）を行う必要がある区間を示すものであり、その設定は、洪水の河岸侵食量（幅）にもとづいて行う。堤防防護ラインは通常全川設定することになる。

低水路河岸管理ラインとは、河川に求められている治水・利水・環境の機能を維持・増進するために、低水路河岸を維持管理する必要のある区間において設定するものである。よって、低水路河岸管理ラインは必要に応じて設定する。

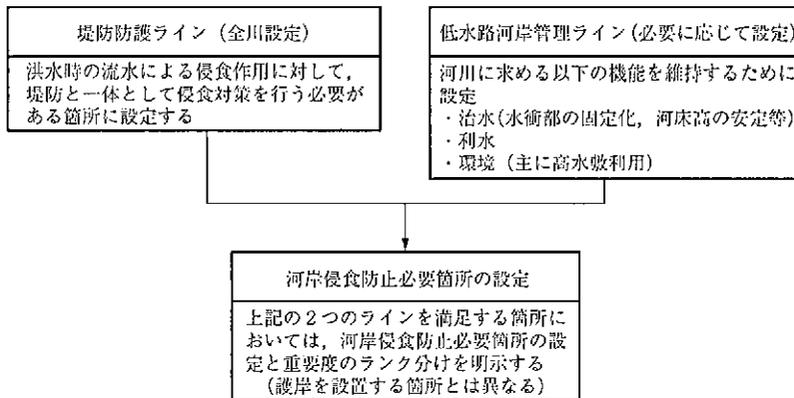


図 1-5 堤防防護・低水路河岸管理ラインと河岸侵食防止必要箇所との関係

堤防防護ラインと低水路河岸管理ラインは、河岸を防護する必要がある区間を明らかにすることによって、河道内の自然環境の保全・回復や治水、利水施設の整備を行ううえでのトータルコストの縮減を行うことを目的として設定するラインであり、この2つのラインをもとに、河岸侵食防止必要箇所を明らかにし、その重要性のランク分けを行う（図 1-5 参照）。

(13) 単断面、複断面、複々断面

単断面とは横断区分のほとんどが低水路である河道の横断面、または明瞭な高水敷がなく低水路と中水敷からなる河道の横断面をいう。複断面とは明瞭な高水敷があり、低水路と高水敷からなる河道の横断面をいう。複々断面とは、以下に示すような河道の横断面をいう。

- ① 複断面河道の低水路において、砂州が中水敷化することによって以前より狭い低水路（低々水路）が形成（低水路が複断面化）された河道
- ② 高水敷の一部を掘削して中水敷とした河道
- ③ 低水路と中水敷からなる河道において、敷高の高い高水敷を造成した河道

(14) 河道の安定性

河道の安定性とは、単に低水路の変動が少ないということではなく、河積の変化、河床高の変化が少なく、容易な維持管理で流下能力を確保することが可能となる状態の河道をいう。

安定した河道について検討を行う際には、現況の河道特性や河床変動の経年的な変化について調査し、現況河道の安定要因、不安定要因について整理を行うことが肝要である。現況の河道が安定している場合には、河道が安定している要因を踏まえ、河床の安定要因を壊さないような計画について検討を行う必要がある。また、河道特性上の変動の程度を検討する際には、文献⁹⁾等を参考にして検討することが有益な成果を得ることにつながる。

なお、河道の安定性の評価は、河道特性諸量によって行われるが、その評価には不確実性（河道そのものの変動幅）があるので、どの程度の変動まで許容し得るかを検討し、ある程度の変動を許容し得る河道計画とすることが望ましい。

河道を大きく改変しなければならない場合には、将来予想される河道の変化について検討し、維持管理の程度を把握してその方針を立案しておく。

(15) イニシャルコスト、ランニングコスト

イニシャルコストとは、河川整備（主に治水施設の整備）に必要な費用をいう。ランニングコストとは、河川整備に関する維持管理に必要な費用をいう。

引用・参考文献

- 1) 山本晃一：沖積河川学，山海堂，1994.

第2章 河道計画策定の基本的な視点

2-1 従来の河道計画の考え方

従来の河道計画の特徴や主な考え方は表2-1に示すとおりであり、昭和30年代以降における河道計画の考え方は時代背景の変化とともに変遷してきている。

一級109水系における現行の工事实施基本計画（以下では、工実と呼ぶ）は、高度経済成長期最中の昭和39年に全面改正された河川法にもとづいて定められたものである。工実は、昭和40年代の一級水系指定（宮川水系のみ昭和50年度）に伴い決定され、その後平成7年に至るまで、ほとんどの水系において改定作業が行われている。これらのことから、河道計画の検討時期を勘案して、工実の河道計画策定にあたり基準または参考となった資料として4資料を選定した。

現行の河道計画は、主に資料③の「建設省河川砂防技術基準（案）同解説」にもとづくものであり、『河状係数（最大流量/最小流量）が大きいので、安定した河道とするために複断面とすることが望ましい』としており、低水路計画の存在を前提としている。旧基準（資料①）でも『普通、複断面とする』としていることから、急流河川や小河川を除いて複断面計画が河道計画の標準であったといえる。

さらに、河道計画における低水路センターライン方式の採用は、両岸に高水敷を有することになり、その高水敷の高さは維持を考慮して冠水頻度（通常1/2～1/3程度）を目安とするなど、河道計画が高水敷利用をも念頭においたものであったといえる。

一方で、高度経済成長期に建設資材として河川砂利が多量に採取（低水路掘削）され、また、都市内の河川敷を公園緑地、運動場として広く市民に開放（高水敷の整正、造成）されたが、このように社会的要請に応えることを通して、実際に複断面形状が形成されてきた経緯もある。

しかし、流下能力の増大のために低水路の拡幅や掘削が行われた河道では、洪水流は堤防により接近し、高水敷や護岸の維持を困難にするだけでなく、中小洪水や平水時には低水路内に新たな蛇行が発生し、河道維持および河川管理上の問題が生じた。さらに河道掘削や砂利採取は、上流部合流点や扇状地河道の安定性を失わせる結果となった。このような状況に鑑み蛇行現象が検討され、資料④が発行されるに至っていた。

また、従来の河道計画は河積の確保に主眼がおかれ、画一的な計画横断形状を定める“形状目標型”の計画であったことから、洪水時の土砂移動や河川の流水および水辺などに生息・生

表 2-1 河道計画に関する主な考え方

資料名	① 建設省河川砂防技術基準・同解説(河川局監修) 昭和33年11月発刊	② 河川工学短期入門講座(縄田) 昭和44年3月~47年4月掲載	③ 建設省河川砂防技術基準(案)・同解説(河川局監修) 昭和51年6月発刊	④ 蛇行現象と河道計画(河川局, 土木研究所) 昭和57年3月発行	⑤ 本書での考え方
河道計画策定の主な課題	計画の再構成と技術の標準化	砂利採取による河床低下計画規模の増大に見合う計画	河川環境(河川空間の利用の増進, 自然環境の保全) 計画規模の増大に見合う計画	低水路幅や掘削の結果生じた河道維持, および河川管理上の問題や, 河道掘削や砂利採取が上流河道の安定性を失わせていること。	河川環境の保全と創造コストの最小化 質的安全性(侵食・洗掘に対する河川管理施設の安全性)の確保
河道計画策定の基本方針	計画高水流量以下の流量を安全に流下させるよう計画する。	現状の河道をさらに切り下げて低水路を形成させる。河床低下に対しては, 砂利採取規制, 護岸の根柢を根柢めの補充・増設等を行うが, 床止めを極力設置しない。	計画高水流量以下の流量を安全に流下させるよう計画するが, 河川の利用の増進, 自然環境の保全および河床に沿う地盤の土地利用の現状等についても配慮する。	蛇行特性(河幅, 蛇行波長, 曲り角, 曲率半径, 砂礫堆の形態などで二次元的流況と密接に関連するもの)を十分に把握し, 河道計画に反映させる。	河道の変化を前提として主に移動床現象を考慮し, 河川ごとに個別的な低水路(移動床)の特性を十分に把握し, 河道計画に反映させる。
縦断形状	河床の安定を考慮して決定する。普通, 現在の河床勾配にならって求める。	主に低水路平均河床の縦断勾配が求められる。	計画河床高と関連させて河床の維持, 工費等を考慮して定めるが, 一般には現状の平均河床勾配を重視して定める。	特に記述なし	計画河床勾配という概念を必要としない。ただし, 河床安定を考慮しつつつづつ河床確保を図る目安として, 河床勾配を設定する必要がある。
横断形状	費用対効果および将来の維持を勘案して決定する。	低水路平均河床高の経年的变化を踏まえ(砂利採取等の人為的な要因も考慮), 通常, 最深河床高を包絡する程度に載定する。	河床勾配, 横断面と関連させ堤内地盤高を考慮して定めるが, 地下水位, 用水の取水位, 既設の重要構造物の敷高などにも配慮する。	特に記述なし (参考: 砂州上の掘削は, 掘削深を水平面以上とし, 流れの蛇行性を乱さないように行う)	計画河床高という概念を必要としない。ただし, 河川工作物への影響等を考慮した管理上の河床高(目安)や, 橋脚や感岸の設置にあたっての施設設計河床高が必要となる。
横断形状	普通, 横断面とする。ただし, 計画高水流量がきわめて小さい河川, 平水流量の大きい場合, 荒れた急流河川ではこの限りでない。	河床深さが非常に大きいので, 断面よりも横断面, 縦断面よりも横断面のほうが流況に致した安定な河道を形成する形状である(河床掘削を前提としている)。	一般に横断面とする。ただし, 急流河川や計画高水流量の小さい河川では河道の状況, 維持の難易を考慮して定める(旧基準と同様)。	計画流量の流下に必要な河幅が, 自然に形成される低水路幅より特に大きい場合は, 横断河道とする。しかし, 単一の低水路幅を形成しない複数航行~網状低水路幅は, 可能な限り水路幅を広く取る。	現況の横断形状を尊重することが基本。ただし, 河道掘削が必要な箇所では, 現況の砂州特性(瀬と淵)の保全を考慮し, 低水路幅幅ではなく, 高水敷の一部切下げによる複数断面化を優先することもあり得る。
横断形状	計画高水流量に対する疎通能力と維持上の限度とを勘案して決定する。毎年2~3回起こる洪水がほぼ低水路のみで流れるようにするのが一応の目安。	低水路の流下能力は, 年に1~2回程度の発生頻度の流量が適当。将来的な複数断面化も考慮し, やや広めに低水路幅を設定する。また, レクリエーション場の確保のため種々の高水敷造成が望ましい。	低水路幅は一般に現状を重視して定める。高水敷の高さは冠水年度年1~3回となるように定める場合が多いが, 高水敷利用への要望や河川環境等に配慮して定める。	自然形成される流路幅(たとえ中間地河道でも=(2.5~8)Q ^{0.75})と同程度とするのが好ましい。低水路幅を極端に広く取る場合は維持工事を前提とする必要がある(高水敷高の記述は特になし)。	現況の横断形状を尊重することが基本。高水敷の維持に問題が発生する場合には, 河床確保の方策と合せた個別の検討が必要となる。

<p>法線一般</p> <p>工事費および将来の維持を考慮して、できるだけ滑らかにすることが望ましい。</p>	<p>既設堤防位置、堤防高を前提として、以下に示す低水路法線のみの記述となっている。</p>	<p>沿岸の土地利用状況、洪水時の流況、現況の河道、将来の河道の維持、工事費等を検討し、できるだけ滑らかになるように定める。</p>	<p>中間地帯列状河川では河幅、砂礫堆積、古い流路跡による波長により河道を適当に蛇行させ、また、水衝部の安定を図る。急流の蛇行と網状流河道では、原則として、水衝部を分散させるため、幅の広い直線的な河道を設定する。</p>	<p>計画築堤法線を前提とするが、洪水の安全な流下のための法線は滑らかであることが望ましい。</p>
<p>平面形状</p> <p>低水路法線</p>	<p>現在の河状および法線形状を踏まえて定める。必ずしも堤防法線と平行であるとは限らない。</p>	<p>一般には河道の維持、河川の利用等を検討して定めるが、必ずしも堤防法線と平行であるとは限らない。堤防にできるだけ近づけないよう配慮（河道センターライン方式）する必要がある。</p>	<p>高水計画上、低水路法線を大洪水時の主流線の蛇行に合せること（洪水主流方式）が有利である。その際、中小洪水における低水路の安定も検討する必要がある。</p>	<p>堤防防護のための必要高水敷幅、低水路の安定化および必要河幅を総合的に勘案して低水路法線を設定する。なお、計画低水路法線という概念はなく、河岸防護ラインにより低水路平面形状を管理する。</p>
<p>当時の社会的背景や河川を巻きく環境</p>	<p>昭和25年：国土総合開発法制定 昭和27年：電源開発促進法制定 昭和28年：西日本で大水害 昭和31年：神武景気 昭和32年：特定多目的ダム法 昭和32、33年：なべ底景気 昭和33年：狩野川台風来襲 昭和34年：伊勢湾台風来襲</p>	<p>① 公害問題や都市問題の顕在化による経済成長第一主義への反発。 ② オイルショックによる経済の停滞。 この結果、縄田の示した河道計画がトーンダウンし、昭和33年以降の研究成果を取り入れた旧基準の引き継ぎ的な性格を持つ基準（案）となったといえる。</p>	<p>① 大河川では河道整備が進捗し、堤防等の水災害が減少。 ② 他の交通機関の発達により舟運が衰退し、航路維持の必要性が減少。 ③ ポンプ場の設置により取水が容易になる。 ④ 動力機械の開発により大規模な河道掘削が可能となる。</p>	<p>① 河川法改正（平成9年5月）により、治水・利水・環境の総合的な河川制度の整備として、河川環境の整備と保全および地域の意見を反映した河川整備の計画制度の導入が、新たに加えられた。 ② 公共事業には費用対効果の明示が必要となった。 ③ 河道内の樹林化による河積の減少に対して、粗度管理（樹木群の管理）の必要性が高まってきた。</p>
<p>備考</p>	<p>作成作業は昭和31年より</p>	<p>改定作業は昭和47年よりこの基準は現在まで河道計画の基本的考え方となっている。</p>	<p>蛇行特性を考慮しなければならぬような事項について、具体的な方法や視点をまとめたものであり、なお、詳細な研究を必要とするとしている。</p>	<p>「河道内の樹木の伐採・植樹のためのガイドライン（案）」 発刊</p>

育する動植物の自然環境や、河川と人とのかかわりにおける生活環境といった河川環境が十分考慮されていない計画になっていた。河川は、治水・利水の機能を確保するとともに、水と緑の貴重なオープンスペースとしての機能を保全・回復させる必要があることから、河川の適正な利用と河川環境の保全を図りながら、“機能目標型”の河道計画を策定していくことが求められるようになった。また、自然的・人為的なインパクトによって供給土砂量や粒径が変化したことなどにより、河道内の土砂堆積や河床低下が生じ、河川構造物の安全度の低下や河川環境が悪化していることから、流砂系全体で土砂環境の総合的な土砂管理を行い、健全性を確保していくことも求められるようになった。

2-2 河道計画策定の基本的な視点

2-2-1 河道計画の目標と方向性

現在の河道の姿は有史以来の自然の営みと、それに対して水害を防除、あるいは河川の恩恵を有効に利用しようとする人々の働きかけによって形づくられてきたものである。したがって河道計画の目標について検討を行う際には、河道が形づくられた歴史的な経緯について十分に理解を行い、今後の目標について考察を行うことが重要である。また、具体的な整備の内容について検討を行う際にも、過去から営々として築きあげられてきた河道という空間的なストックを、有効に利用するというを前提として検討を行われることが望ましい。

いままでの河川改修の歴史や、今後の社会環境の変化を踏まえると、河道は、流域住民が洪水に対して安心して安全に暮らせる環境を作ることを目的に整備を進める一方で、河道内は貴重な生物の生息空間であることから、それらの自然環境を保全または回復するような河道計画を策定する必要がある。以下の2つを河道計画を策定するうえでの目標とすべきである。

- ① 流域住民が洪水に対して、安心して安全に暮らせるように河道を整備する
- ② 河道内の自然環境機能を、最大限保全または回復する

しかし、①と②の目標は相反することがあるため、河道計画においてはその妥協点を見い出すことが重要である。

河道計画を策定するためには、想定外力に対する安全性の確認を行うだけではなく、想定外力を上回る可能性とそのときに起こり得る構造物破壊の可能性、それに伴って発生し得る被害の大きさを評価したうえで、計画を策定する必要がある。

自然環境の保全・回復を最大限組み込む河道計画の検討にあたっては、考慮する時間・空間のスケールに応じて、次の2つのアプローチに大別される。一つは、現状の河道において保全・回復すべき目標（たとえば貴重種など特定種の保全）を定め、それを実現するために具体的な設計、実行、管理を行うというものである。もう一つのアプローチは、長期的な環境の質の予測を行い、予測結果の平均的な諸量をもとに、河道区間ごとの河川環境の保全・回復の目標を定めるというアプローチである²⁾。

種々の自然環境や社会環境の変化は、河川内に限らず河川周辺においても進行しており、このことが河川特有の生態系の適応能力を弱めているとすると（洪水発生等への対応が、河川の自然環境の固有性を担う重要な部分である）、第二のアプローチだけでは自然環境の保全がうまく図られないことも十分考えられる。一方で、第一のアプローチだけでは、洪水という国土の中でも特異なインパクトを受け続けながら、ユニークに形成されている河川の自然環境という大局的な視点を失う懸念を否定できない。したがって、2つのアプローチの特徴を認識して使い分け、組み合わせることが肝要である。このために河道計画においては、自然環境の存立基盤となっている基本的なシステムを明らかにし、河道計画を通じてどのようにそのシステムを確保するかについて、他の目標軸との折り合いの中で検討していくことがまず大切である。

河道は流水の作用と土砂の移動、植生繁茂という自然的支配要因が絡み合いながら形づくられるものであり、その変化予測は容易でない。また、これまでに河道整備が行われている河川においては、特定の目標だけに最適な河道を目指すことは難しく、複数の目標についてバランスの取れた河道計画とする必要がある。また、無理に一つの目標を立て、その目標達成までの過程を描いた一つのシナリオに絞って河道計画を立案したとしても、それに従い相当長期にわたり実行し続けるのは困難である。河道の変化速度等を把握したうえで、当初想定していた目標やシナリオを見直す必要があるかをチェックし、対応していく必要がある。

そのためには河道は洪水の流下とともに変化し、その変化と変化を抑制するために実施した対策が、自然環境に与える影響を現時点で得られている情報や技術によって十分に把握したうえで、量的安全度、質的安全度の確保、自然環境の保全・回復、トータルコストの最小化という視点から河道計画を策定し、そこで考えられたシナリオを支柱にして管理を行い、管理の過程が計画のモニタリングに逐次反映されるよう計画を策定する必要がある。

2-2-2 河道計画策定の視点と流れ

河道およびその一部である低水路は、流水と土砂、植生の相互作用で形成されているため、条件がととのえば比較的容易に変化し、時には、その変化量が河川管理上無視できない量に達する場合がある。一方、この変化特性が川らしさを形成しているともいえる。したがって河道計画は社会的な要請、ならびに流水と土砂、植生の相互作用による低水路の変化特性を踏まえて、その策定を行う必要がある。

低水路変化に対する考え方としては、1) 低水路変化を抑制する、2) 低水路変化を許容する（ここでいう「許容」とは、低水路変化を前提とした河道計画（低水路計画）の策定、河川管理を行うことである）、3) 低水路変化の一部分を抑制し、残りを許容する、という3つの考え方がある。

河道計画を策定するに際しては、具体的には、上記の低水路変化に対応する考え方にもとづく代替案を広く検討し、低水路変化を許容した場合の影響度、低水路変化抑制の難易度と、それを実施した場合の影響度を総合的に評価して計画の策定を行うことが肝要である。なお、総合的な評価の基準としては、つぎのような点を重視する必要がある。

- 短期的な経済性だけでなく、改修後の河道維持、管理に要する労力を含めた長期的な経済性の観点から見て妥当な計画であること。
- 当該河道区間の川本来の魅力を阻害せず、また、そこで期待される洪水処理を含めた幅広い役割を尊重した計画であること。

上記のような評価の視点からいえば、河道計画を策定する際に技術的に目指すべきことは、森林を含む山地部、扇状地部、平野部、河口部、海岸部において堆積、侵食等の土砂に関する問題に対して、自然環境との調和を図った総合的な土砂管理を行い、流域全体において流砂系の健全性を確保するということである。すなわち河道計画は、主に洪水の安全な流下（流下能力や侵食の問題を含む）、維持管理の容易性（トータルコストの最小化）、河川環境の保全（自然環境の保全と回復、河川利用との調和）の視点から低水路の形状のあり方について検討は行うものの、その検討を行う際には、低水路を媒介として発生する流域内の事象の時空間的なスケールを念頭におく必要がある。

したがって、河道計画策定の際に重要となる基本的な視点は、図2-1に示すとおり量的安全

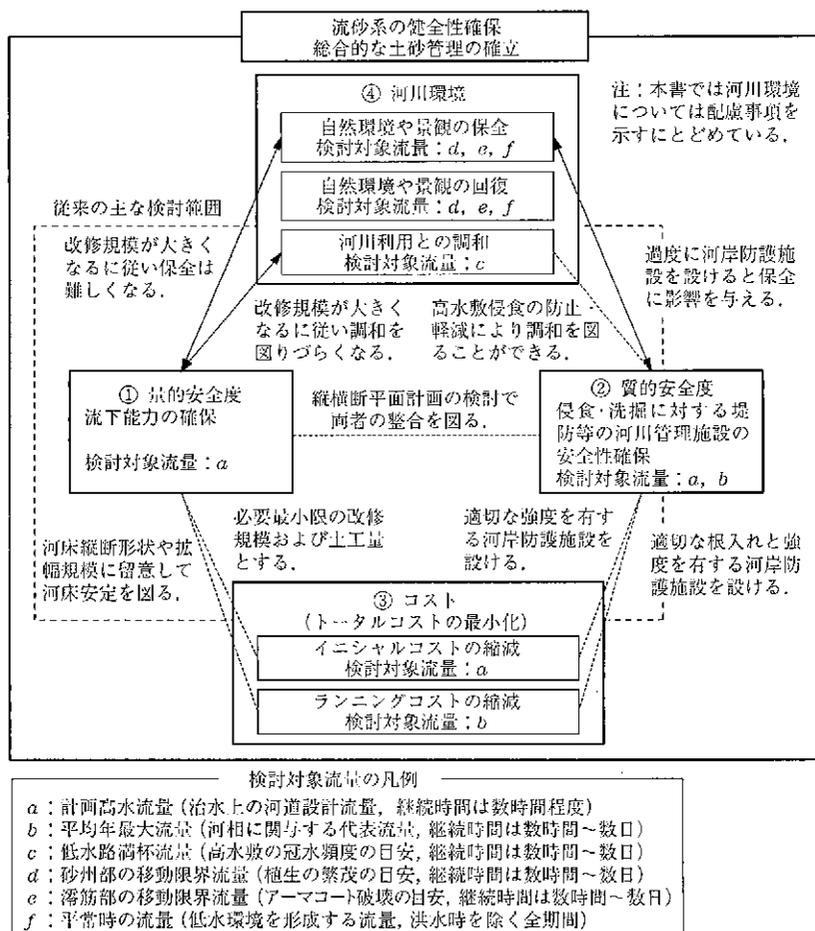


図2-1 河道計画策定の基本的な視点

度の確保，質的安全度の確保，トータルコスト（イニシャルコスト+ランニングコスト）の最小化，自然環境や景観の保全と回復，河川利用との調和という4つの視点であるが，これらの視点を通して，流域全体において流砂系の健全性確保が図られるように計画の策定を行うことが重要となる。なお，ここでいう質的安全度とは，前述のように洪水の流下に伴う侵食，洗掘にかかわる狭義のものであり，浸透に対する堤防の安全などは含んでいない。

ただし，これらの視点に対して検討対象となる流量はそれぞれ異なり，特に河川環境に関する検討においては，対象とすべき流量が多様である。そのため，いわゆる『川の365日』の観点も含め，低水路のあり方について多様な状況の最適化を図る必要がある。

なお，図2-1に示したように，“河川環境”という視点は，“量的安全度”や“質的安全度”の視点と両立することが難しい場合もあるため，河道計画策定にあたっては特にこれらの調整が重要である。

“河川環境”の視点を考慮するためには，現在の河道の特性を形づくっている水理諸量について把握を行うとともに，過去と現在の河道特性とそれに伴う河川環境の変化との関係を十分に把握し，それらの水理諸量を変化させたときの河道の変容や，それに要する時間（河道の応答特性）について十分に検討を行うことが重要となる。また，このような河道の応答特性が，生態系をも含めた自然環境にどのように影響を与えるかを把握し，問題がある場合には，河道の応答特性が自然環境上で大きな問題とならない程度に，河道の諸元を変更する必要がある。

なお，現在の自然環境が良好であり，現在の自然環境を保全したい場合には，河道計画を現況重視型とし，治水，利水，環境上で問題となる箇所・区間に改良を加えることが基本となる。この考え方や堤防防護ラインと低水路河岸管理ラインの性質にもとづいて，今後の河道計画検討にあたっての基本的方向を整理すると，表2-2のようになる。また，河道計画の検討フロー

表2-2 今後の河道計画検討にあたっての基本的方向

縦断形状	計画河床勾配	今後の低水路計画の検討では，計画河床勾配という概念を必要としない。ただし，河床安定を考慮しつつ河積確保を図る目安として河床勾配を設定することは必要であり，この設定にあたって従来の考え方は参考となる。
	計画河床高	今後の低水路計画の検討では，計画河床高という概念を必要としない。ただし，特に河床低下傾向にある河川や河床変動量の大きい河川では，河川工作物への影響等を考慮した管理上の河床高（目安）が必要となり，また，橋脚や護岸の設置にあたっては施設設計河床高が必要となる。
横断形状	計画横断形	計画横断形をはじめから複断面とするのではなく，現況の横断形状を尊重することが基本となる。なお，河積確保のために河道掘削が必要な箇所では，現況の砂州特性（瀬と淵）の保全を考慮し，低水路拡幅ではなく高水敷の一部切下げによる複々断面化を選択することがあり得る。
	低水路幅と高水敷高	高水敷の冠水頻度をはじめから定めるのではなく，現況の横断形状を尊重することが基本となる。冠水頻度が高いため高水敷の維持に問題が発生する場合には，河積確保の方策と合せた個別の検討が必要となる。
平面形状	低水路法線	低水路法線の方式をはじめから定めるのではなく，現況の低水路平面形状を踏まえ，堤防防護のための必要高水敷幅，低水路の安定化を総合的に勘案して河岸侵食防止必要箇所を設定する。なお，今後の河道計画の検討では，計画低水路法線という概念はなく，堤防防護ラインと低水路河岸管理ラインにより，低水路平面形状を管理することになる。

は、図2-2に示すとおりである。

河道の縦横断計画では、高水計画で定めた計画高水流量を安全に流下させるための必要河積の設定を行うこととなる。この設定にあたっては、現況河川特性を把握した結果をもとに、河川環境の保全と回復を踏まえた実現性のある河積確保案を数案提案し、①量的安全度、③河道特性変化、④コスト、⑤河川環境の視点から河積確保のチェックを行い最適な案を抽出する。また、この検討を行う際には、河道内だけではなく河口部や海岸部をも視野に入れた流砂系の健全性確保のため、流域の土砂収支を考慮して検討を行うことが望ましい。

一方、河道の平面計画では、必要河積の設定を受けて堤防防護ライン・低水路河岸管理ラインと河岸侵食防止箇所の設定を行うこととなる。これらの設定にあたっては、主に②質的安全度、④コスト、⑤河川環境の視点からチェックを行い、これらに問題がある場合には河道形状について再度検討を行う。なお、ここでいうコストの視点には、河道計画全体による流域への影響等という幅広いコスト（たとえば流砂系の健全性確保）も含めることとするが、一般的に定量的な把握は難しいので定性的な観点から言及する。

2-3 河川管理上の視点

上述した視点に加え、河道計画について検討を行うときに重要な視点は、「今後、河川をいかに管理するか」ということである。河道計画と河川管理との関係について整理すると、河床高の変化に関する対応方針、植生の変化に関する対応方針、河道の横断的な変化に対する対応方針を明確にすることが重要である。

河床高変化に関する対応とは、河床低下の激しい河川において、河川を管理するという観点から、河川の機能を維持するために保持すべき河床高を設定するかどうかという点が最も重要となる。なお、扇状地河川などでは洪水後に河床が上昇し、流下能力阻害の問題や河川管理上の問題を引き起こすことがあるので、これらの点についても留意しておく必要がある。

河床高の低下は、流下能力を向上させるという観点からは特に問題とすることはないと思われるがちであるが、高水数が冠水する頻度が減少することによって、高水敷の樹林化が進行し、結果として流下能力が減少することもあり得る。また、河床高が低下したことにより堤防護岸等の河川管理施設の根が露出し、洪水時にそれらの河川管理施設が破壊され、その復旧に多大な費用を要することになる場合もある。河床高の低下に伴う問題としては、以上のほかに高水敷への冠水頻度が減少したり、砂州の形態が変化することなどから水辺の湿潤状況が変化し、結果として河川の有する自然環境に変化が生じることも考えられる。

これらのことから、今後の河床高変化の動向について予測を行うとともに、その河床高の変化が河川にどのような影響を与えるのかを把握し、河床高を管理する必要があるかどうかについて検討を行う必要がある。

今後の河床高の予測にあたっては、将来において想定される供給土砂や河床変化の要因を整理したうえで河床変動計算を行い、平均的な河床高の時間的変化を把握する必要がある。この

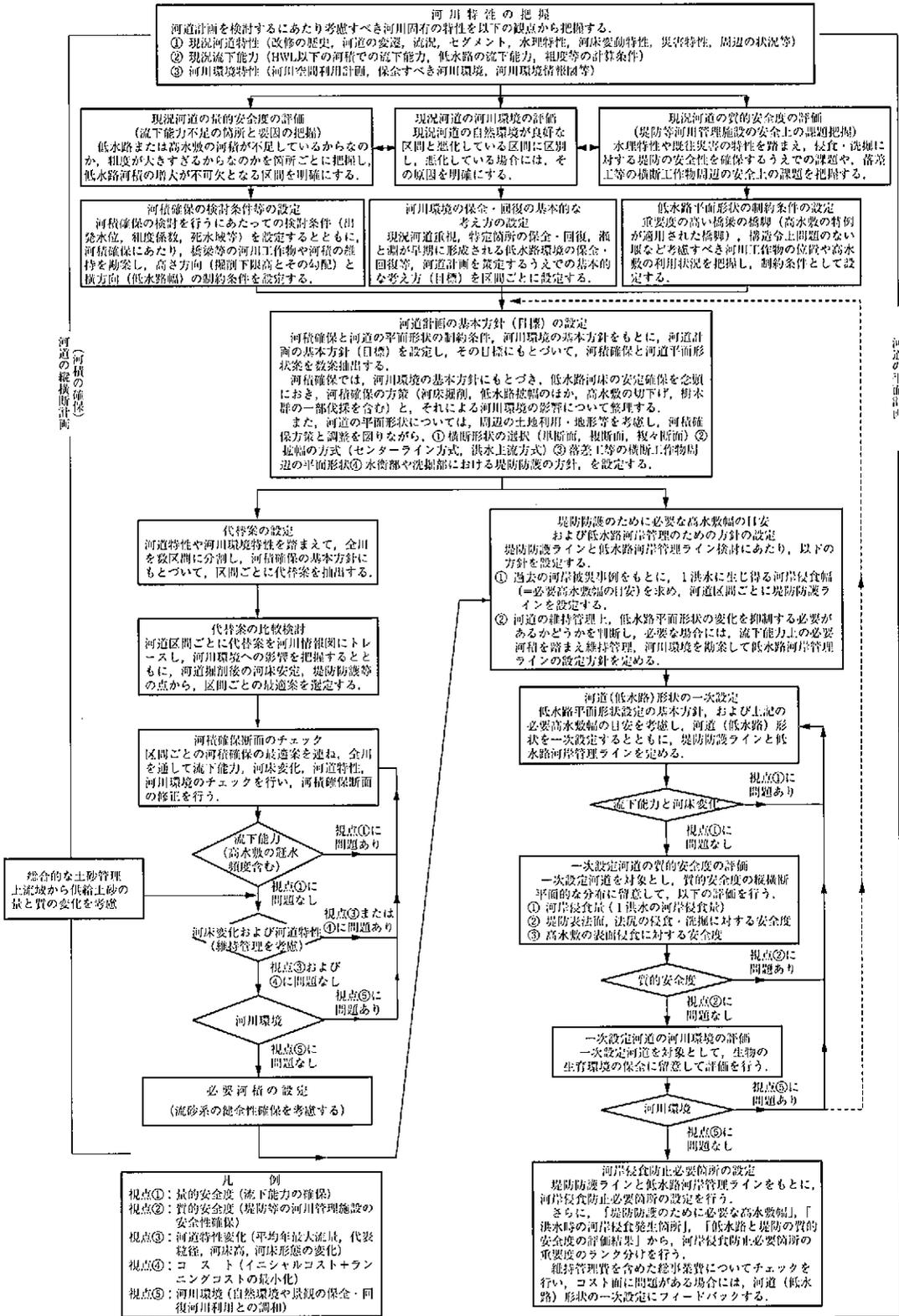


図 2-2 河道計画検討フロー

河床高変化の予測をもとに、将来想定される問題事項の大きさとその影響について整理を行い、河床高管理の必要性について検討することが肝要である。なお、河床高を管理する必要がある場合には、床止めなどの河床管理のための施設の設置を検討することになるが、安易な床止めの設置は、河道の管理をかえって困難にしたりする可能性もあるので、その設置の可否や諸元については慎重な検討を必要とする。

植生の変化に関する対応とは、河積を確保するための植生の管理（粗度管理）である。河床低下や洪水の発生頻度が低下すると高水敷の冠水頻度が減少し、高水敷の樹林化が進行する。これによって河積が減少し、計画高水流量を安全に流下することができなくなるため、河床高の変化と併せて植生の変化に対する対応を検討しておく必要がある。

河道の横断的な変化に対する対応に関係するものとしては、河川空間の占用問題があり、これによる高水敷保護の必要性の違いによって、あとで述べる河岸侵食防止必要箇所設定の考え方が大きく異なってくる。占用については、その歴史的な経緯や流域の要望なども大きく関係するので、河川環境の保全と河川空間の適切な利用のバランスを図りながら、今後の対応等について検討を行うことが必要である。

引用・参考文献

- 1) 山本晃一：河道計画の技術史，山海堂，1999.
- 2) 藤田光一：河道計画が目指すべき方向と技術的課題，1998年度（第34回）水工学に関する夏期研修会講義集Aコース，1998.

第3章 河道計画上配慮すべき事象に関する知見

3-1 移動床現象と河道計画

河道計画の策定にあたっては、縦横断・平面的な低水路形状の変化（低水路の応答特性）を可能な限り予測し、これを考慮することが重要である。そこで、ここでは現在ある知見をもとに、河道形状の変化のもととなる移動床現象を、河道計画策定の基本的な視点ごとに整理を行った^{1),2)}。

3-1-1 河道計画上配慮すべきセグメント別河道特性

表3-3に、各セグメント別に河道計画を策定するうえで配慮すべき事項を河道特性の観点から整理して示す。表では長期的な河道の安定性にかかわる事項と、短期的な安定性にかかわる事項に分けて整理している。これらの配慮事項を参考として、対象とする河道の河道改修方針を検討することが望ましい。

ここでは、まず河道変化によって生ずる可能性のある課題について述べ、その課題に対する河道の変化の特徴や対応方法について整理する。

(1) 河道変化の課題

1) 河道縦断形の長期的変化の課題

河道縦断形の長期変化は、変化の動向を見ながら維持・管理によって対処することが可能である一方、維持・管理を前提にした場合、長期にわたりその変化が継続するという性格を持つ変化である。河床の低下を起こす縦断形変化は護岸、橋脚等の河道内構造物の維持・管理、分流点・遊水池等流量コントロールを行う地点の機能維持にとって重要な問題である。一方、河床の上昇を起こす縦断形変化は疎通能力維持の労力を大きくする。

① 砂利河道（セグメント1, 2—1）

流域状況の変化から過去より供給土砂量の減少している河川では、これに伴うセグメント上流での河床低下が考えられる。一方勾配が急減するセグメント下流端では河床上昇が考えられる。これらの変化は橋脚、護岸等の構造物維持と疎通能力確保の面で課題となる。また、砂利河道では砂河道にはないアーミング現象があり、この現象による河床の低下量の減少、または低下速度の減少等が期待される。河床の上昇、低下それぞれの最終的な量と変化速度を予測し、これを踏まえた河道縦断形の設定、あるいは河道管理のあり方を検討する必要がある。

② 砂河道（セグメント2—2）

①と同様、今後供給土砂量の減少が予測され、これに伴う河床縦断形変化、セグメント上流での河床低下が予測される。砂河川は河床材料の移動が砂利河川に比べて非常に速く、アーミング現象もほとんどないので縦断形の変化が早期に現れることが予想され、変化速度が速い場合には河道管理上対応がきびしくなることも考えられる。また、砂河川では河床下に難侵食層がある場合には、難侵食層が床止めの役割を果たし河床の低下を防止することが期待される。砂河川の河道縦断形を予測し、河床高の設定、河床の管理のあり方を考える必要がある。

③ デルタ河道（セグメント3）と砂河道の接合点

デルタ河道は一般的に土砂の堆積空間であり、特にセグメント2—2との接合点では掃流力の急減により堆積が起りやすい。したがってこの区間では疎通能力の長期的な確保が問題となる。セグメント2—2との接合点における堆積速度を予測し、この堆積を河道計画、河道管理上へ反映する方法について検討する必要がある。

2) 河道縦断形の洪水中的変化の課題

洪水中に起こる河道変化は、変化が生じたあとの維持・管理ではそれによって発生する危険を回避することができないものであり、変化を予測しておき河道計画の中で対処法を考えておくことが重要である。洪水河中床変化で重要なものは、平均河床高の変化と局所洗掘の発達2つである。このうち、ここでは主に洪水中の平均河床高の変化を取り扱うが、特にその上昇は疎通能力不足を生じさせる可能性があり、注意を要する変化である。もう一つの洪水中の局所洗掘の発達は、構造物の破壊、河岸・堤防の侵食につながる問題である。

① 砂利河道（セグメント1, 2—1）と砂河道（セグメント2—2）との接合点における洪水中的平均河床高の変化

砂利河道下流端の勾配変化区間は、掃流力の急減区間であるため洪水時に河床が上昇することが考えられる。この河床上昇量を考慮せずに河道計画を立案することは、疎通能力の過大評価につながる可能性がある。この河床上昇量は洪水規模が大きいほど大きくなると考えられる。砂利河道下流端での計画洪水時の河床上昇量を評価し、この河床上昇を河道計画、河道管理へ反映する手法について検討する必要がある。

② セグメント3（デルタ河道）と2—2との接合点における洪水中的平均河床高の変化

デルタ河道上流の勾配変化点では、砂利河道下流と同様の理由により洪水中に河床が上昇することが考えられる。この河床上昇量を評価し、河道計画、河道管理での取扱いについて検討することが必要である。また、河口部では大洪水時に低下背水が生じるため、逆に河床が低下することが推定される。河口部ではこれに伴って増加する河積を考慮することにより、計画水位を合理的かつ経済的にできる可能性がある。河口部の河床低下量を予測し、河道計画、河道管理への反映について考える必要がある。

3) 河道横断形の長期的変化の課題

河道横断形の変化は、河積の減少、粗度の増加、高水敷への外力増加等をもたらす、河道の維持・管理を必要とするものである。したがって、河道横断形の変化量は、河道維持、河道管

理の労力に直結する。河道特性を十分に理解して最小の構造物により、長期的に安定した横断形を設計できれば、河道の維持・管理労力は非常に少なくてすむ。河道の横断形の変化は、河川が自然の外力により自由に変化できるという観点からすれば許容すべき部分もあり、河道の管理とのかね合いより長期的に見れば安定的であり、かつ自然豊かな河道となるように計画することが非常に重要となる。

① セグメント1における河道複断面化

近年、セグメント1の河道において河床掘削、砂利採取等により、あたかも低水路のような部分が形成されつつある場合がある。このような河道状況を踏まえて計画的に複断面化を図ろうとする例も見られる。セグメント1は河床勾配が急で洪水時の外力が大きい河道であり、もともとは単断面河道である。このような性質を持つ河道で複断面河道の維持可能性、複断面河道にしたことによる流況、土砂流送への影響は河道の維持管理にとって重要な問題である。複断面河道における土砂流送能力、低水河岸の侵食、高水敷上の侵食、疎通能力等の検討を行い、セグメント1の複断面化の河道計画への反映について検討する必要がある。

② 砂利河道（セグメント1, 2—1）における植生帯の形成

砂利河道では、砂州上に植生が繁茂し樹林を形成するような場合もある。このような植生の繁茂は河道の疎通能力の低下をもたらすことが懸念される。また、植生の繁茂はその位置によっては流水の集中を助長し、水衝部の河岸、堤防危険度を増大させることが懸念される。これら植生の繁茂による疎通能力への影響、流況変化特性を把握し、河道計画における植生帯形成の取扱い、植生管理のあり方について検討する必要がある。

③ セグメント2—1, 2—2河道における低水路一部高水敷化

河道の拡幅を行った場合、低水路の高水敷化現象が起こり川幅がもとの幅に縮小していく現象が条件によっては見られる。この縮小が疎通能力確保に支障をきたすものであれば、掘削による川幅維持が必要となる。このようなことから、川幅縮小の有無とその速度を予測し、河道計画、河道管理への反映について検討する必要がある。

4) 河口砂州の後退

近年河口部において、河口砂州および河口周辺汀線の後退が見られる場合がある。河口砂州の後退は波浪による河川構造物の破壊、河口部支川の閉塞等の原因となることが懸念される。また、河口部汀線の後退は海岸域での土砂収支がくずれていることを示唆していると考えられる。将来の河道計画では河道区間だけでなく、流域一体としての土砂管理が重要な問題となると考えられ、河口部での土砂バランスを知ることはきわめて重要である。河口砂州の後退原因、河口部で土砂収支を調べ河口部における河道計画、河道管理について検討を行う必要がある。これら上述した課題を整理したのが、表3-1である。

(2) 河道変化と河道計画・河道管理

河道の時間的変化の基本的パターンとその変化が発生する場所を示し、その対応を整理する。対象とした河道変化パターンは表3-2に示す8パターンであり、それらがどのような場所で起こり得るかも併せて示されている。最初4つは河道縦断面形に、次の3つが河道横断面形に、最後

表 3-1 河道計画・河道管理上考慮すべき河道変化とそれがもたらす課題²⁾

河道計画の項目	考慮すべき河道変化パターン	河道計画・河道管理上の課題
河道縦断形 (長期変化)	砂利河道（セグメント 1, 2-1）の長期的河床変化	・河床低下に伴う橋脚、護岸等構造物破壊と危険とその防止方策 ・河床上昇に対する維持管理対策
	砂利河道（セグメント 2-2）の長期的河床変化	・河床低下に伴う構造物の破壊危険と維持管理対策、分流点・遊水池の機能維持 ・難侵食層の河床低下防止効果の考慮
	セグメント 3 と 2-2 との接合点における長期的河床変化	・河床上昇に伴う疎通能力低下と、その維持管理対策
河道縦断形 (洪水中的変化)	砂利河道（セグメント 1, 2-1）と砂利河道（セグメント 2-2）との接合点における洪水中的の平均河床高の変化	・河床上昇に伴う疎通能力低下と、それを河道計画に組み込む具体的方策
	セグメント 3 と 2-2 との接合点における洪水中的の平均河床高の変化	・河床上昇に伴う疎通能力低下と、それを河道計画に組み込む具体的方策 ・河口部での洪水時河床低下を見込んだ河道計画の可能性
河道横断形 (長期変化)	セグメント 2-1, 2-2 河道における低水路の一部高水敷化	・川幅縮小による疎通能力低下と、それに対する維持管理対策
	砂利河道（セグメント 1, 2-1）における植生帯の形成	・植生帯繁茂による疎通能力低下と、河岸・堤防への水衝り強化 ・植生帯の管理対策
	セグメント 1 における河道複断面化	・高水敷の側岸侵食、表面侵食、水衝部の変化、縦断形の変化 ・複断面河道の維持可能性
河口砂州の退行	河口砂州の退行、河口周辺海岸汀線の後退	・護岸等構造物破壊、支川閉塞

表 3-2 検討対象とする河道変化パターンが起こり得る場所²⁾

	セグメント 1	セグメント 2-1	セグメント 2-2	セグメント 3	河 口
砂利河道の縦断形の長期的変化	●	●			
砂供給量減少による 砂河道縦断形の長期的変化			←←		
セグメント 3 とセグメント 2-2 との接合点での長期的河床変化			→→	←←	
セグメント接合点における 1 洪水中的の平均河床高の変化	→→	→→	←← →→	←←	●
低水路拡幅後の川幅縮小 (低水路の一部高水敷化)		●	(●)		
砂利河道での植生帯形成	●	●			
扇状地河道における河道複断面化	●				
河口砂州の後退					●

- : 基本的に当該セグメント区間全体にわたって生じる性質のもの
- : 当該セグメント区間の下流端から生じる性質のもの
- ←← : 当該セグメント区間の上流端から生じる性質のもの
- () : 起こる可能性はあるが、発生条件についてさらに検討を要するもの

が河口砂州にかかわるものになっている。ここでは主として縦断形（低水路平均河床高の）、横断形（低水路、高水敷それぞれの平均河床高と幅）というマクロな河道諸元にかかわるものを扱い、局所的な河道変化（たとえば局所洗掘など）と平面形については、河口砂州を除いて取りあげていない。なお、砂利採取等による河道変化は、河川管理者がコントロール可能で河道設計にあらかじめ組み込むものとして除外してある。

（3）河道変化への基本的対応方針

- 河道とは水と土砂、植生の相互作用で形成されているため、条件がととのえば比較的容易に変化し、その変化量が河道計画・河道管理上無視できない量に達する場合がある。変化自体が川らしさの本質でもある。したがって、河道計画および管理計画策定にあたっては、現況河道あるいは改修後の河道が変化するかどうか、変化する場合にはその特性（変化速度と量など）を予測し、それを十分考慮しなければならない。
- 河道の変化に対応するには、①河道変化を抑制する/②河道変化を許容する/③河道変化の一部を抑制し残りを許容する、という3つの考え方がある。ここでいう「許容」とは、河道変化を前提にした河道計画策定、河道管理を行うことである。具体的な対応法を決定する際には、上記①～③それぞれの考え方に合う代替案を広く検討して、河道変化を許容した場合の影響度、河道変化抑制の難易度とそれを実施した場合の影響度を総合的に勘案し、また、方法選択の判断基準として特に以下の点を重視する必要がある。
 - ・短期的（河道改修労力自体にかかわる）経済性だけでなく、改修後の河道維持、管理労力を含めた長期的経済性の観点から見て妥当な方法であること。
 - ・該当区間の川本来の魅力を阻害せず、また、そこで期待される洪水処理以外の幅広い役割を尊重した方法であること。
 - ・対症療法に頼らず、当該河道区間の河道特性にかない、対象とする河道変化の原因制御を中心にした方法であること。
- 河道変化予測技術には改良すべき点を多く残している。しかし、予測技術の完成を待って対応を考えていたのでは遅いので、少なくとも前述のセグメント区間ごとに見られるパターン（表3-2）との関係で取るべき対応を、河道計画策定の際に決めておく必要がある。同時に河道変化状況について継続的な監視を行い、監視結果の集積と予測技術の発展に応じて、河道変化への対応法を随時改良していくことが重要である。表3-3にセグメント別河道変化と対応方針を示す。

3-1-2 流下能力の確保と移動床現象

低水路平均河床の上昇や砂州の島状化・高水敷化による植生繁茂（粗度の増大）は、流下能力を減少させる。したがって、所要の流下能力を安定的に確保するためには、縦横断的な低水路形状の変化（河積と粗度の変化）を考慮して低水路計画を策定する必要がある。そこで量的安全度の視点から、流下能力の安定確保に関する移動床現象を整理した。

表 3-3 セグメント別河道変化と対応方法²⁾

課題	対応方法等
砂利河道（セグメント1・2-1）の縦断形の長期的変化	<p>(1) 変化の特徴・性質 砂利河道の縦断形（平均河床高の縦断変化）には、次の3つの変化が起こる場合がある。 ① 供給土砂量（当該区間の河床主構成材料である砂利）減少に伴うセグメント上流端からの河床低下 ② セグメント内の土砂輸送量の縦断的不均衡による局所的な河床変動 ③ 下流に接続する砂河道との接合点で、砂利が堆積することによるセグメント下流端からの河床上昇 上記3つの変化のうち③は常に継続するが、一般的にその最大上昇量は数m/100年である。②は比較的早期（一般に数十年程度以下）に収束（安定縦断形に移行）する。①は長期にわたって継続するが、上流に長い山間部区間がある場合には、下流河道区間に影響が現れるのに相当の時間（河川によっては数百年以上）を要し、また、河床低下の時期がそのかなり前に、上流の河道状況の変化から予知できる可能性が高い。 河床材料の移動が起こるのは、主として中規模以上の洪水によってである。したがって河床材料を活発に動かす規模を持つ洪水の頻度が変化速度を支配する。河道変化原因の発生に対する縦断形変化の応答は砂河道に比較して相当遅い。</p> <p>(2) 変化の予測に必要な検討・調査 一次元河床変動計算により上記①、②、③それぞれの変化特性を把握する。計算のポイントは、供給土砂量の設定、粒径の設定（表層と表層下で粒度分布を把握すること、200mm以上の大粒径を除外せず的確に把握すること）、アーミングの考慮である。計算対象流況は洪水時のみとしてよい。</p> <p>(3) 河道計画・河道管理への反映について 上記②の変化が落ち着いたあとの縦断形を重視して計画縦断形を定める。上記③の変化に対しては維持掘削で対処することが適当である。上記①の変化に対しては、対象区間より上流の河道状況をモニターすることにより、変化が顕在化する時期を予知し、そのうえで対処法を定める。</p> <p>(4) 今後の調査課題 ・ 上流の河道情報（河床材料、河床形状等）の収集により、供給土砂量変化を予測する河道モニタリング手法の開発 ・ 河床材料粒度分布の適切な調査法の確立</p>
セグメント2-2河道における砂供給量減少による縦断形の長期的変化	<p>(1) 変化の特徴・性質 ① 沖積地河川への砂の供給量が減少すると、砂河道区間上流部から河床低下が始まり、減少した供給量に応じた縦断形を作るまで河床低下が継続する。 ② 供給土砂量減少原因が発生してから河床低下が出現・進行するまでの時間は、砂河道区間の場合砂利河道区間に比べて相当短い（数十年以下の場合もある。）砂河道区間の上流に砂利河道区間があっても、砂利河道区間より先に砂河道区間で河床低下が始まるのが起こり得る ③ 砂は大洪水時～平水時に輸送されるため、河床低下は経年的に進行する。河床変動予測においては、洪水時だけでなく平水時の流況を考慮することが重要である。 ④ 河床の下に難侵食層がある場合、この層が河床低下時および低下収束後の河道縦断形を規定することがある。</p> <p>(2) 変化の予測に必要な検討・調査 砂供給量減少が起こってからの河床低下の進行状況と、低下収束後の河道縦断形を一次元河床変動計算により検討する。計算のポイントは、供給砂の減少量の設定、難侵食層の適切な考慮である。</p> <p>(3) 河道計画・河道管理への反映について 予想される河床低下進行状況と低下収束後の河道縦断形、現況河道縦断形から、対応法を定める。この際には以下の点に留意する。 ・ 砂河道の場合、一般的に河床低下の抑制には実際上多くの困難を伴う。河床低下の抑制には、供給砂コントロールによる方法と直接的な方法（床止等により河道内の砂の動きを直接抑える）がある。砂河道の場合、後者は一般に大規模な構造物等が必要となり、その維持労力と河道環境への影響も大きくなるので、原則として避けるべきである。 ・ 河床低下を許容することの影響を検討する際には、河道内構造物の基礎の脆弱化が考慮されなければならない。また、分派点、調節池など流量配分にかかわる施設計画との整合についても考慮されなければならない。 ・ 河床低下の許容に関しては、河床低下の進行度に応じた段階的対応も検討対象とする。</p>

	<p>(4) 今後の調査課題</p> <ul style="list-style-type: none"> ・供給砂コントロール技術と砂供給量モニタリング技術の開発 ・供給砂減少の時期に関する知見の集積とその予測技術の開発 ・河床低下に与える粗粒分混合の影響 ・河床高変化(低下)への対応能力が高い河道, および構造物設計法の開発
セグメント3とセグメント2の 接合点の長期的変化	<p>(1) 変化の特徴・性質 セグメント2-2とセグメント3との接合点では, セグメント2-2からの砂が堆積し河床が上昇する。砂は大洪水時~平水時に輸送されるため河床上昇は経年的に進行する。堆積量, 速度の予測においては, 洪水時だけでなく平水時の流況を考慮することが重要である。</p> <p>(2) 変化の予測に必要な検討・調査 一次元河床変動計算により, 河床上昇と堆積の量・速度を検討する。</p> <p>(3) 河道計画・河道管理への反映について 堆積に対応する場合には, 原則として継続的な掘削等によることを前提にした河道計画とし, 堆積量の予想結果をもとに適切な維持計画を策定し, それを河床高等の設定に反映させる。堆積状況をモニターして適切な維持を行う。</p> <p>(4) 今後の調査課題 セグメント3における細粒土砂分(細砂, シルト, 粘土)の流送・堆積機構の把握と, 細粒土砂が河床変動(特に堆積)を与える影響の把握</p>
セグメント接合点の1洪水中の平均河床高の変化	<p>(1) 変化の特徴・性質</p> <ol style="list-style-type: none"> ① 砂利河道(セグメント1, 2-1)と砂河道(セグメント2-2)との接合点では, 一般に洪水中に平均河床高が上昇する。これは, 砂利河道から接合点に向けて砂河道ではほとんど輸送されない材料が供給されるためである。この河床上昇は疎通能力減少を招き, 1洪水での減少量が無視できない量になる場合がある。 ② 1洪水での河床上昇量は, 一般的に洪水規模が増大するほど大きくなる。 ③ 洪水中に河床上昇を抑制する対策を取ることとは不可能なので, 洪水前に1洪水による河床上昇への対応策を取っておく必要がある。 ④ セグメント2-2とセグメント3との接合点においても, 洪水中に平均河床高の上昇が起こる場合があるが, その程度や発生割合は①の接合点に比較して一般に小さい。 ⑤ 大規模洪水時に低下背水が生じる河口部では, 洪水中に平均河床高が低下する場合がある。この河床低下は河口部の河道の河積を増大させ流下能力を高める。 <p>(2) 変化の予測に必要な検討・調査 一次元河床変動計算により洪水時の河床変動を計算し, 河床上昇が疎通能力に与える影響を検討する。その際には, 想定すべき最大規模の洪水(通常は計画高水決定根拠となった流量ハイドログラフ)を与える。</p> <p>(3) 河道計画・河道管理への反映について セグメント接合点付近の河道計画においては, 必要に応じて, 1洪水中の平均河床高の上昇がもたらす疎通能力減少を計画高水位の設定に考慮する。また, 洪水後に堆積, 河床上昇の状況を調べ, それらが疎通能力と流況へ与える影響を踏まえ適切な河床管理をすみやかに行う。 なお, 急勾配砂利河道から砂河道への変化点では, 土砂堆積が疎通能力減少だけでなく側方侵食の危険度を高める可能性があることに留意する。 洪水時の河床低下を見込むことのできる河口部では, 洪水時の河床低下量を考慮して河道計画を検討する。</p> <p>(4) 今後の調査課題 堆積が洪水平面流況と側方侵食特性に与える影響の把握と, それらを考慮した技術検討手法の開発(特に急勾配砂利河道から砂河道への変化点)</p>
	<p>(1) 変化の特徴・性質</p> <ol style="list-style-type: none"> ① 低水路河道の拡幅を行った場合, 川幅が拡幅前の幅に縮小することがある。この川幅縮小は, 砂やシルト・粘土が低水路の側方に堆積し, 縦断方向に連続的に新しい河岸, 高水敷部分が形成される(低水路の一部高水敷化)ことにより起こる。川幅縮小の速度は縦断形の変化速度よりはるかに大きい場合が多い。

低水路拡幅後の川幅縮小（低水路の一部高水敷化）	<p>② セグメント1では高水敷化を伴う川幅縮小は起こりにくい（なお、この区間では拡幅が行われないことが多い）。セグメント2—1では川幅縮小が起こりやすく事例も多い。セグメント2—2では川幅縮小が起こる可能性があるが、現段階では確認された事例はない。セグメント3ではきわめて発生しにくいと考えられる。</p> <p>③ 川幅縮小で生じた河岸部分には通常植生が繁茂することが多いため、合成粗度係数が以前より増大することが多い。したがって、川幅縮小が生じる河積減少と粗度増大により疎通能力の減少をもたらす。</p> <p>(2) 変化の予測に必要な検討・調査</p> <p>① 次の条件を満たす場合に川幅縮小が発生し得ると判断する。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・水位変動が大きく、低水路河床面の一部が露出する期間が1年のうちで相当期間ある。 ・河道が扇状地河道に属さない。あるいは細砂、シルト・粘土の堆積層が自然河岸に認め得る。 <p>② 川幅縮小が発生し得ると判断された場合、平均年最大流量時の低水路のu_*が拡幅前の低水路u_*になるように川幅が縮小し、縮小部分（高水敷化部分）の高さが縮小後の川幅において、平均年最大流量時に生じる水深と同じになるとして、川幅縮小状況を想定する。</p> <p>③ 上記で想定した川幅縮小状況をもとに、川幅縮小に伴う疎通能力減少量を検討する。この際には、河積減少だけでなく合成粗度係数増大を考慮する。</p> <p>(3) 河道計画・河道管理への反映について</p> <p>疎通能力増大のために低水路拡幅を行う場合には、低水路の川幅縮小とそれに伴う疎通能力減少に対処するための川幅維持労力を検討する。この労力が無視できないと判断される場合には、低水路拡幅を伴わない疎通能力増大方法を代替案として取りあげ、改修後の維持・管理労力を含む総合的な観点から最適な横断形改修方式を選択する。低水路拡幅を伴わない方式としては、引堤方式、低水路掘削方式のほかに、複々断面にする方式、高水敷を含む河床高を切り下げる方式、これらの混合が考えられる。</p> <p>(4) 今後の調査課題</p> <ul style="list-style-type: none"> ・川幅縮小の発生条件と縮小速度・形状を定量的に評価する手法の確立 ・低水路川幅縮小が生じやすい河道における疎通能力増大のための最適横断形改変方式の選定法確立
砂利河道での植生帯の形成	<p>(1) 変化の特徴・性質</p> <p>① 砂利河道では、砂利河床の表面に植生帯が形成される場合がある。</p> <p>② 植生帯は、あまり成長しない段階で洪水に遭遇すればフラッシュされるが、成長が進むと洪水への耐力が増し、洪水流に影響を与えるようになる。その影響は、粗度係数の増大と流況変化であり、後者は、植生帯の平面分布によっては河岸、堤防への水衡り強化を招くことがある。</p> <p>③ 無洪水期間の長期化、河床アーマー化の進行、洪水ピーク流量の減少が生じると植生帯形成を促進すると考えられる。</p> <p>④ 植生帯形成領域には土砂が堆積しやすいが、「低水路の高水敷化」ほど顕著な河床上昇速度は持たないと考えられる。</p> <p>(2) 変化の予測に必要な検討・調査</p> <p>① 過去から現在に至るまでの繁茂過程の追跡調査を行い、当該河道における植生帯の状況、植生帯の消長を支配する要因とその影響を明らかにする。</p> <p>② 植生帯のフラッシュ実績調査、植生帯を構成する樹木等の現地引張り・破壊試験などから流水に対する植生帯の耐力を調べ、洪水時の流速との関係から、流量規模と植生帯フラッシュ程度（植生帯残存状況）との関係を検討する。</p> <p>③ 洪水中に残存している植生帯の状況と合成粗度係数、疎通能力、平面流況との関係を計算する。</p> <p>④ 植生帯を構成する樹木が流木化した場合の下流への影響を調査する。</p> <p>(3) 河道計画・河道管理への反映について</p> <p>植生帯管理方針を作り、植生帯形成状況をモニターし、把握された植生帯形成状況に応じて適切な植生帯管理を行う。植生帯管理方針には次の内容を定める。</p> <p>① 計画洪水時に残存し得る植生帯部分が、疎通能力、平面流況に無視できない悪影響を与えるような植生帯状況であるかどうかの判断基準。</p> <p>② 洪水時に流失する植生帯の樹木等が、下流へ無視できない悪影響を与えるような植生帯状況であるかどうかの判断基準。</p> <p>③ 上記2項目のいずれか、または両方を満たす植生帯に対する必要措置（伐採方法など）。</p>

	<p>④ ④植生帯形成速度、植生帯の特性等から適切と判断されるモニター方法（内容と頻度）。これらのうち③については、疎通能力と平面流況に関して植生帯が及ぼす悪影響に加えて、植生帯の持つ堤防・河岸等の保護効果、生態空間としての植生帯の機能などを含め、幅広い観点から適切な方法を定める。</p> <p>(4) 今後の調査課題</p> <ul style="list-style-type: none"> ・洪水による植生帯フラッシュ状況を予測する技術の確立 ・植生帯の形成を間接的に（伐採等の直接的手段によらず、成育環境をととのえるなどして）制御する技術の開発
<p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">セグメント1における河道の複断面化</p>	<p>(1) 変化の特徴の性質</p> <ol style="list-style-type: none"> ① 扇状地河道では低水路が形成される場合がある。 ② 低水路形成の主因は河道中央部の掘削、砂利採取であり、無洪水期間の出現、ピーク流量の減少が補助的要因となる。 ③ 扇状地河道は本来単断面なので、形成された低水路の今後の取扱いがポイントとなる。 <p>(2) 変化の予測に必要な検討・調査</p> <p>調査の視点と調査方法は以下のとおりである。</p> <ol style="list-style-type: none"> ① 現況低水路河岸維持労力について（側岸侵食の進行に対応して） 低水路形成による掃流力の増大量と洪水規模との関係を把握する。また、既往のデータから1洪水による河岸侵食量を調べる。さらに、複断面化に伴う砂州形態変化の可能性を、低水路形成に伴う領域区分図（砂州の）上の移動特性から把握し、局所洗掘量の変化の方向性を検討する。 ② 高水敷表面の維持の可能性について 既往被災事例の現場試験等から、種々の地殻状態にある高水敷地表面の耐侵食力を把握する。高水敷上に作用する掃流力と洪水規模との関係を計算する。 ③ 低水路形成に伴う縦断面の変化 一次元河床変動計算により、低水路形成による川幅縮小が縦断面に与える影響を計算する。 ④ 低水路維持のための必要最小限の措置を検討する。 ⑤ 複断面化に伴う洪水時の堤防付近の流速を把握する。 <p>(3) 河道計画・河道管理への反映について</p> <p>複断面化の利点（高水敷を側方侵食の削りしろとすることによる堤防堤脚保護効果、高水敷形成による河道の多面的利用の促進、洪水時の堤防近くの水位変動の減少、既設の堤防保護工の根継ぎ処理が原則として不要になること等）が最大限得られ、複断面化の短所（低水路河岸維持労力の増大、高水敷維持管理労力と縦断面変化への対応が新たに必要になること等）が、最小限ですむ最適複断面諸元と、それを実現するために必要となる最小限の措置を検討する。検討結果を踏まえて、形成された複断面河道を生かした（規模の大きい洪水時に高水敷が一定範囲で侵食されることを見込む）河道計画とすらかどうかの判断を行う。</p> <p>(4) 今後の調査課題</p> <ul style="list-style-type: none"> ・調査項目①②④⑤の定量的、具体的検討手法の確立。 ・複断面化を前提とする場合の河道平面形の設定方法の確立。
<p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">河口砂州の退行</p>	<p>(1) 変化の特徴・性質</p> <ol style="list-style-type: none"> ① 河口砂州が存在しているような河口部では、河口での土砂収支の平衡がくずれると河口砂州、海岸汀線の後退がある。 ② 土砂収支の平衡をくずす要因は、砂州あるいは、砂州前面テラスの浚渫、河積増大による新たな堆積空間の出現、上流からの供給土砂量減少、海岸地形改変に伴う波向き変化等である。 ③ 上記のような要因と砂州の後退とは応答遅れがある。 ④ 河口砂州は洪水処理において負の側面を持つことがあるが、同時に河口砂州の存在を前提に河口部付近の河道が維持されてきた側面もある（塩水遡上抑制、波浪進入の防止、河口付近の支川合流位置の規定、海岸への土砂供給ストックとしての役割等）。したがって、砂州の退行に伴って発生し得る諸課題についての検討は、河口部の河道計画・河道管理を考えるうえで重要な位置を占める。 <p>(2) 変化の予測に必要な検討・調査</p> <ol style="list-style-type: none"> ① 上記砂州退行の予測にあたっては、河口部の土砂収支を把握する必要がある。 ② 河口が安定している状態に対して浚渫・河積増大があれば河口砂州は後退するおそれがある。

	<p>③ 土砂収支のより定量的な把握を行うためには流入土砂量、沿岸漂砂量を把握するため、河口砂州前面テラスの測量（洪水前、洪水直後、洪水後しばらく経たあと）を行う必要がある。</p> <p>(3) 河道計画・河道管理への反映について 河口部の河道計画・河道管理の中で、河口砂州の取扱いを次のように考える。</p> <p>① 河口砂州の存在する河口の河道計画は、河口付近での土砂収支の状態を変化させないように考えると河道管理に要する労力が少ない。河口砂州の除去を前提とする計画では、河口砂州除去によって生じる諸課題に対する対策を施す必要がある。</p> <p>② 土砂収支の変動が避けられずその影響を評価しなければならない場合は、河口テラスの地形測量調査を実施する。これによって河口での土砂管理あるいは対策工設置を検討する。</p> <p>③ 河口部全体の河道計画および管理方針の中で、上記2項目の内容を適切に組み込む。</p> <p>(4) 今後の調査課題 ・河口部の土砂収支状況を把握する手法の確立と土砂収支の実態解明。</p>
<p>参 考</p>	<p>現段階での知見が十分でなかったために取りあげていない現象の一つは、セグメント3における細砂、シルト、粘土などの細粒分の堆積である。これら細粒分は流量が小さくても浮遊状態を保ちやすいため、セグメント3と2-2との接合点だけでなくその下流でも堆積する。また、その堆積には潮汐や塩水進入も影響を与える。これらの堆積が河床変動に与える影響を把握することは、セグメント3の河道計画・河道管理を検討するうえで重要である。</p> <p>また、砂利河道・砂河道の河床の長期的変化は上流山地流域からの土砂供給（ダム等の土砂抑制因子がない状況で）が、現在の河道縦断形を作った供給土砂と同じ特性を持つことを前提としている。将来、上流山地流域の状況に大きな変化（土地利用状況、大規模崩壊、火山噴出物の堆積等）が生じ、土砂供給特性が大幅に変化した場合には、ここで記述した内容とは異なる対応が必要となる場合もあろう。しかし、これらの変化を現段階で予想することは不可能なので、いまずくに計画・管理で考慮するというよりも、上流流域のモニタリングの充実や、流域状況変化と河道状況変化との対応についての情報の集積に努めることが大事であろう。</p> <p>砂利河道の長期的河床の変化に関しては、砂利河道を構成する砂利層の下に比較的侵食を受けやすい固結層がある場合には、その取扱いに留意すべきである。河道変化についてのわれわれが持ち得る知見は完全なものではない。河道変化について適切に対応するには、本研究の内容を端緒として、河道状況の不断のモニタリング、河道変化予測と対応策に関する新しい情報の集積と技術開発、それらの河道計画・河道管理への適用を続けていくことが肝要である。</p>

(1) 土砂の流出と縦断的な低水路平均河床の変化

洪水時には、上流域で生産された土砂が洪水外力と粒径に応じた形態（掃流砂、浮遊砂、ウォッシュロード）で流送されるほか低水路内で河床材料が移動するなど、いわゆる流砂が発生する。低水路平均河床高はこの流砂の収支により変化し、たとえば、ある区間に流入する流砂量が区間から流出する流砂量より多い場合には、この区間の河床高は平均的に上昇する。ちなみに各セグメントにおいて、河床変化に寄与する流砂形態は以下のように考えられる。

- セグメント1, 2-1（砂利河道） 主に掃流砂
- セグメント2-2（砂河道） 掃流砂、浮遊砂（卓越する場合多い）
- セグメント3（細砂河道） 主に浮遊砂

このように、流砂量の不均衡から平均河床高が変化することによって、低水路河積が変化し流下能力が変化する。特に平均河床高の上昇は、流下能力不足を招くため、これに留意する必要がある。

低水路の平均河床高の上昇は、現況では安倍川のように膨大な土砂生産源を持つ河川で見られないが、河積確保のための掘削が原因となって局所的に河床上昇の生じることがある。たとえば図3-1に示すように、現況より急な河床勾配を目安にして低水路掘削を行うと、その

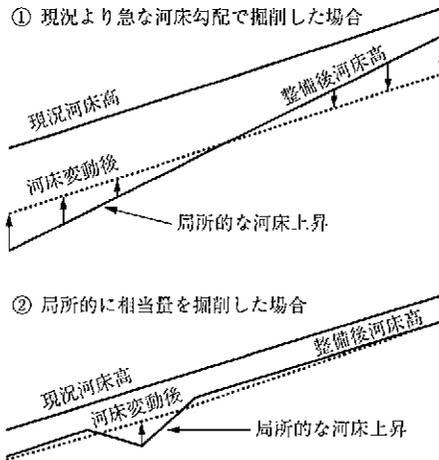


図 3-1 掘削後の河床高変化の例

下流部付近に土砂が堆積しやすくなり、また、局所的に低水路掘削（つば掘り）を行うと、掘削箇所は埋め戻されやすくなる。

したがって、現況の低水路平均河床高の変動傾向を把握したうえで、河積確保のための掘削が局所的な河床上昇を招かないように留意する必要があるといえる。このような河床変化をチェックするため、簡便には経年的な縦断図の重ね合せ、平均年最大流量時の u_{*c} や、流砂量縦断分布の変化を吟味することが考えられる。

以上に示したように流下能力の安定確保のためには、低水路平均河床の上昇に留意する必要があるが、わが国の多くの河川は砂利採取などにより河床低下の傾向にあった³⁾。このことは維持管理上の問題は別にして、将来的に低水路河積が増大する傾向にある河川が多いことを示しているが、一方では次項に示すように、低水路部の砂州の固定化による樹林化の進行や高水敷への冠水頻度が減少することによる高水敷の樹林化現象が生じているため、一概に河床低下によって流下能力が増大するとはいえない。したがって低水路の河床変化だけではなく、河道の流下能力の変化状況とその要因も把握することが重要である。

ちなみに、河床低下の要因の一つとして上流の砂防やダムによる流送土砂の捕捉があるが、これによる低水路河床への影響は定性的には以下のとおりである（図 3-2 参照）。

① 砂利河床区間の河床低下の下流への進行

実際には河床材料の粗粒化（アーミング）により河床低下は抑制され、低下速度が徐々に遅くなり、あるところでとどまること、および、ダム地点から直轄管理区間の上流端まで相当の距離があることから、まだ直轄区間に影響の現われていない場合が多い。

② 砂河床区間の河床低下の進行

洪水時に細砂は上流部礫床区間を通過し、直接的に砂河床区間（セグメント 2—2, 3）に流入しやすいため、ダムによる細砂の捕捉は比較的短い期間で砂成分の砂河床区間への供給減となり、河床低下が進行する。

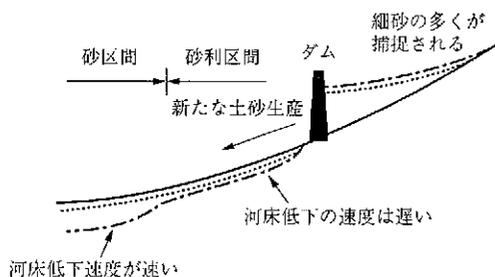


図 3-2 ダム周辺の河床高変化

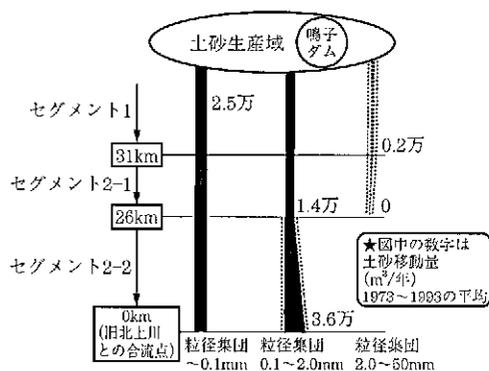


図 3-3 江合川の土砂動態マップの例⁴⁾

上述したようなダム等の土砂供給抑止施設の影響が、下流の河床高の変化にどのような影響を与えるかは、図 3-3 に示した土砂動態マップを作成すると理解がしやすい⁴⁾。なお、土砂動態マップの作成方法については文献⁴⁾を参照されたい。

また、このマップを土台として、人為的なインパクトによって供給土砂の量や粒径が変化した場合、下流部の地形や自然環境に及ぼす影響の短期、長期的な予測、土砂を吸着して流下する物質について、輸送量・質・供給源・堆積域の推定と、それが水質や自然環境に及ぼす影響評価に関する全体的な議論を行うことが可能になる。

【土砂動態マップの作成方法⁴⁾】

土砂動態マップは、図 3-4 および以下に示す手順に従って作成を行う。

① 土砂に関するデータの収集と整理

土砂動態マップを作成するにあたって、必要となる以下のデータの収集・整理を行う。

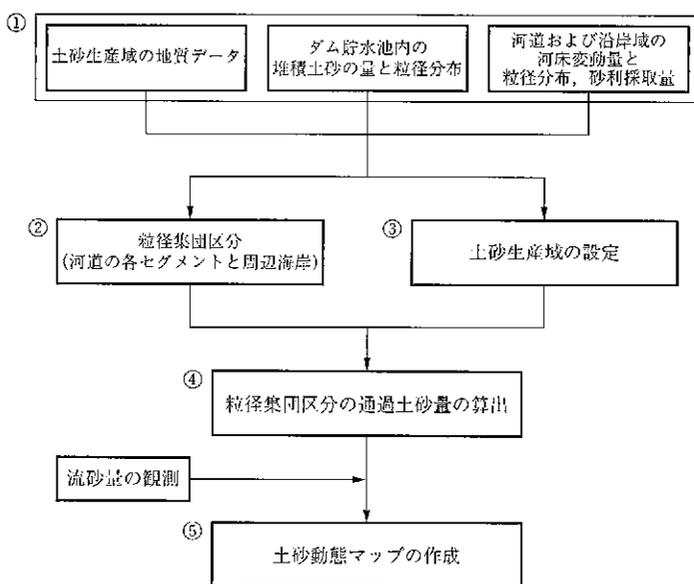


図 3-4 土砂動態マップ作成手順

- ・土砂生産域からの土砂流出を把握するために、土砂生産域の地質データについて整理を行う。
- ・ダムに堆砂した土砂量の経年変化と粒径分布について整理を行う。
- ・河道および海岸を構成している土砂量の経年変化と粒径分布について整理を行う。この場合、砂利採取等の人為的な土砂の変化がある場合には、その量と位置についても整理を行う。

② 粒径集団区分

土砂生産域からは、さまざまな粒径集団の材料が混じって供給されているため、土砂動態マップを作成するためには、河道の各セグメントの河床を形成する集団と河口、また、は海岸を形成する材料に分け、それぞれの粒径集団の通過土砂量を把握する必要がある。

粒径集団は、河道の各セグメントの河床材料の粒径河積曲線をセグメントごとに線種を変えて、重ね書きをすることによって把握する。

③ 土砂生産域の設定

土砂動態マップを作成する前に、調査河川流域の土砂生産域区分を行う。生産域は土砂動態を見たい区間に流入する支川単位や、ダム等貯水池の上下流、地質条件が著しく異なるなど土砂供給条件を与える単位で設定する。

この設定をしっかりと行っておけば、生産域での土砂供給量の推定が精度よくできる。

④ 粒径集団別の通過土砂量の算出

③で設定した各土砂生産域の出口と、②で区分したセグメントで粒径集団別の通過土砂量を算出すれば土砂動態マップを描くことができる。通過土砂量の算出は以下のように行う。

上流のダム等がある場合には、ダム等への堆積物の量と粒径分布調査の結果からダム地点での粒径集団別通過（していたはずの）土砂量を算出する。

各セグメント河床の有効粒径集団については、河床勾配、河道諸元、河床材料、流況をもとにした流砂量式からの砂利河道や砂河道の流送土砂量を算出する。これが、その区間の河床の有効粒径集団の通過土砂量となる。ただし、経年的な河床低下が起こっている砂河道については単純にこの量を通過土砂量としてはならず、上流からの供給土砂量と河床低下の再現について、検討を行ったのちに設定しなければならない。

⑤ 土砂動態マップの作成

④で作成した粒径集団別の通過土砂量の結果をもとに、土砂動態マップを作成するうえでの不足情報を明らかにし、不足情報を補うための流砂量観測を行う。これらの結果を総合して土砂動態マップを作成する。

(2) 横断的な河床変化と粗度変化

セグメント1, 2においては、ダムや土砂抑止施設の設置などにより洪水流量・頻度の減少による河道形成外力の変化、土砂供給量の減少が生じ、河床低下や砂州の島状化・高水敷化などによる低水路幅の縮小や複雑断面化が生じたり、樹木群が繁茂（樹林化）したりする。これらの横断的な河床変化と粗度変化は一体的に生じることが多く、特に樹林化すると、河道内に

死水域が生じて流下能力は相当減少する。このため、横断的な河床変化に伴う粗度変化による流下能力の減少に留意しつつ低水路計画を検討する必要がある。これに反して河床上昇の著しい河川では、活発な土砂移動のため砂州固結化や樹林化は生じにくい。

横断的な河床変化と粗度変化は、河床低下や洪水の発生頻度と洪水規模が密接に関係している。たとえば、多摩川（セグメント1）では以下の図に示すように、昭和49年当時に砂礫床であった箇所が樹木が繁茂し、砂州が島状化するとともに河床低下により低水路が明瞭に形成されている⁵⁾（図3-5）。

昭和49（1974）年



平成4（1992）年

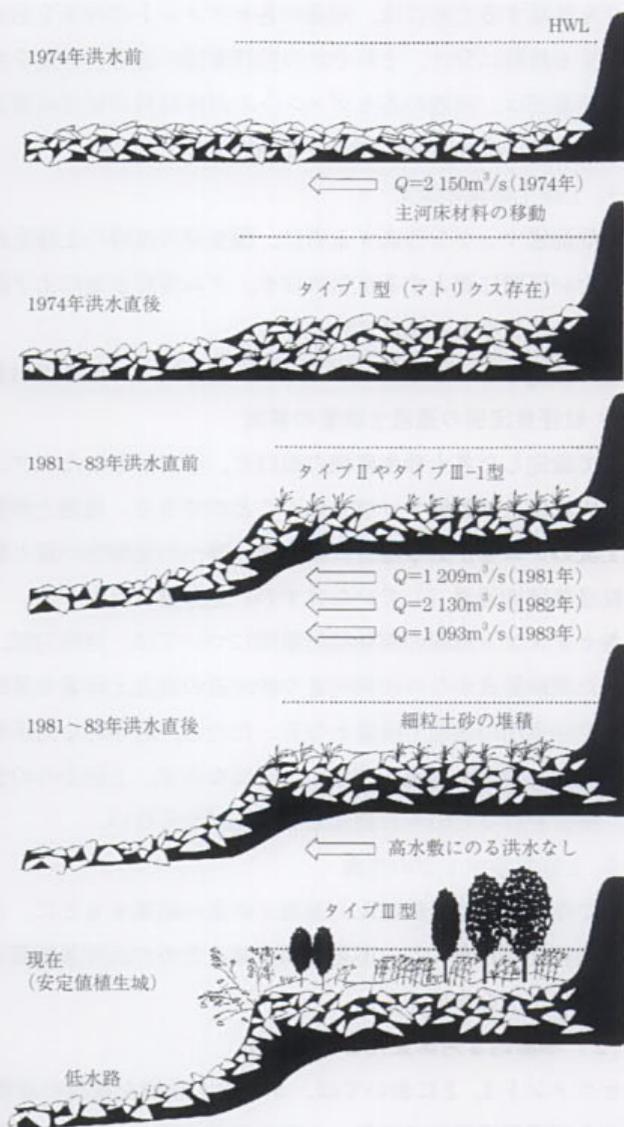


図3-5 多摩川永田橋地区（52.4 km 付近）における安定植生拡大シナリオ⁵⁾

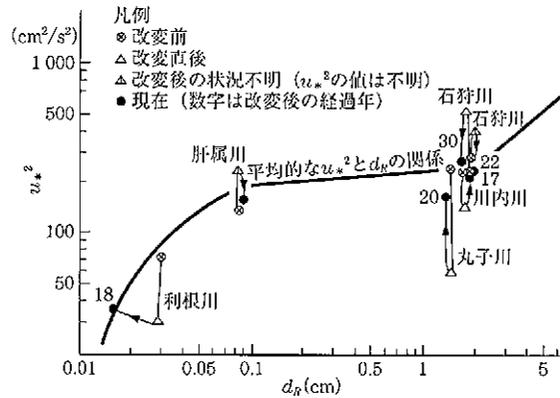


図 3-6 人工的河道改変後の河道の応答⁶⁾

このような現象は、湍筋部が固定されて洗掘が進むと生じやすいため、湍筋部の固定化と洗掘傾向に留意することが必要となる。

流下能力上、このような現象を避ける必要がある場合には、局所的な河床低下を回避しながら砂州部の樹林化を抑制することが必要となり、水はね水制の設置、樹木の一部伐採などの対策が必要となる。なお、これらの対策は、維持管理上の問題（湍筋部における流水の集中と河床低下）に対しても有効である。

上述のような横断的な河床変化と粗度変化は、低水路拡幅後に低水路幅の縮小として現れる場合がある。河道改変後の低水路幅の応答については、図 3-6 に示すとおり低水路の拡幅や河床掘削等の改変に伴い、平均年最大流量対応の摩擦速度 u_* はいったん変化するが、その後、もともとの u_* または全国河川平均値（図中の実線）に戻る傾向にあることが確認されている。なお、河道横断形状の応答変化の要因として、①土砂の堆積と植生繁茂、②低々水路の形成、③植生繁茂などがある。

以上のような低水路の変化特性と、その変化に要する時間の概念（低水路の応答特性）を低水路計画に持ち込み、計画の策定を行うことが肝要である。

3-1-3 堤防の安全性確保と移動床現象

侵食・洗掘に対する堤防の安全性確保を図るためには、横断・平面的な低水路形状の変化を考慮する必要がある。このような低水路形状の変化は、砂州の発達、移動や河岸侵食と密接にかかわっている。そこで、質的安全性（堤防の安全性確保）に関係する移動床現象（砂州の発達と移動、河岸侵食）に関する知見を以下のように整理した。

(1) 砂州の発達と移動（図 3-7 参照）

セグメント 1, 2 の多くの区間では砂州が発生する。セグメント 1 の区間では、多列砂州が発生するような箇所が多く、これによって流水の河岸への集中部は両岸に分かれ、小流量時には中州状・網流状となり、河川の蛇行振幅を小さくする方向に作用する。また、砂州は水路内を前進しようとするため、水衝部がたえず前進する傾向にあり、これも蛇行度を小さくする。

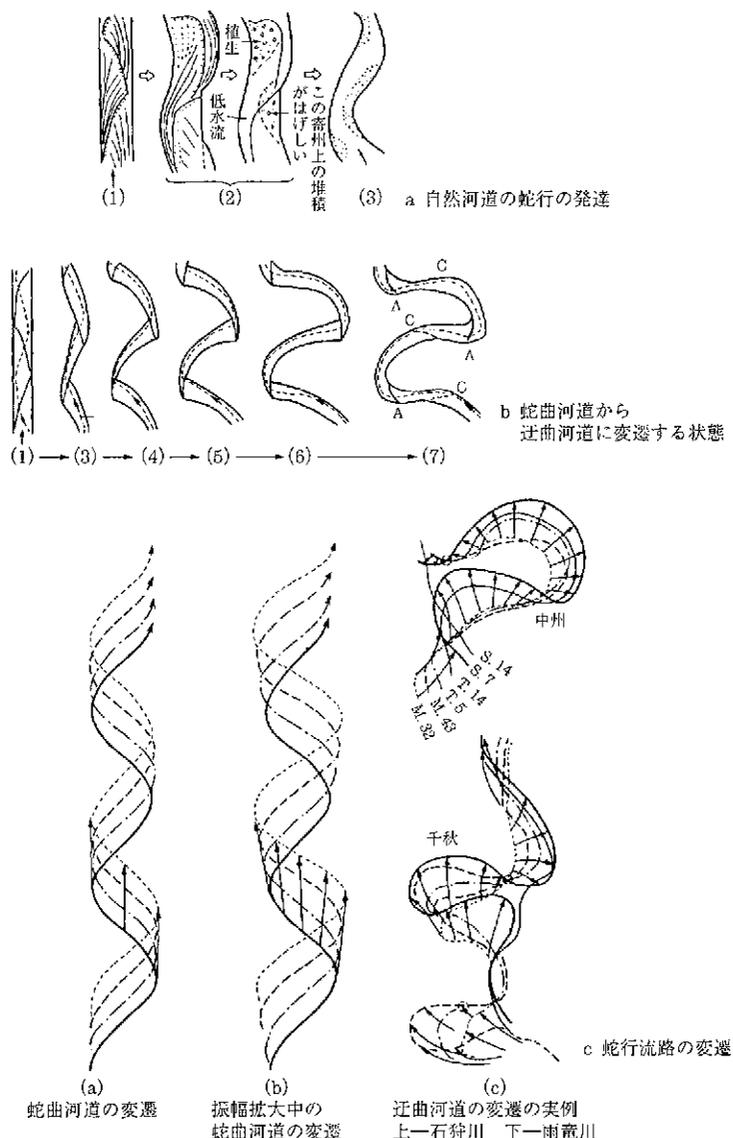


図 3-7 蛇曲の発達と迂曲河道⁷⁾

これにより、川幅水深比 B/H が概ね 100 以上の区間では直線状河道を形成することが多くなる⁶⁾。

一方、セグメント 2—1 の区間においては、砂州が発達すると洪水時の偏流が生じ、滞筋に接する河岸への水あたりおよび局所洗掘が顕著となる。この結果、河岸の侵食や洗掘が生じ、横断・平面的な低水路形状が変化する。

特に交互砂州は、河岸侵食の進行とともに低水路平面形状を大きく変化させる特性を有する。その過程を表わしたのが図 3-8 で、河岸侵食と砂州の発達が同時進行し、この結果、水路が側方移動（蛇行が発達）し、いわゆる蛇曲河道を形成する。その後、迂曲河道（1 蛇行波長に砂州が 3 個）へと進展し、自然短絡が生じたりする⁷⁾。

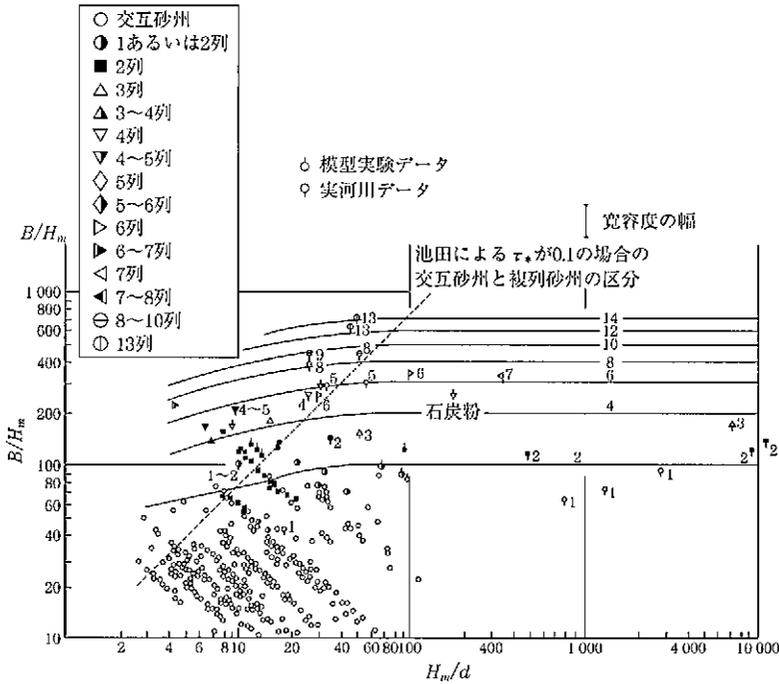


図3-8 多列砂州の発生条件⁶⁾

したがって、交互砂州の発生する河道においては、蛇曲の発達を放置すると堤防の安全性に影響を与えるおそれがあるため、低水路平面形状を安定化させる目的から、必要に応じて河岸防護施設による蛇曲の抑制が必要になる。ただし、河岸防護施設を設けて側方侵食を止めた場合には、河岸沿いの洗掘深が大きくなることから、護岸の根入れ高について十分な検討が必要となる。

また、砂州は縦断方向に移動するので洗掘部が移動することになり、河岸が侵食されやすくなる。実河川では、たとえば落差工の切下げや大規模な河道掘削のように大きな河床攪乱を契機として、それまで停止していた砂州が移動し始めたり、また、その安定化に相当の期間を要することもある。このため、河川整備による砂州移動の可能性を考慮して、堤防の安全性について検討を行う必要がある。

なお、川幅がある程度広く砂州が形成されるような状態で、河岸侵食防止工により河岸を固定すると、水路平面形状の幾何的な要因により砂州の移動が停止する。図3-9は、水路の蛇行波長と砂州の移動停止角度の関係を表わしたもので、水路の蛇行波長と幅の比に応じて停止限界角度が変化することを示している⁷⁾。

(2) 河岸侵食

1) 河岸侵食の一般的特徴⁸⁾

河岸の侵食形態は、河岸の高さや河岸物質の材料によってその侵食スケールや形が変わる。河岸侵食形態は、河岸の形状、構成材料の種類と層序などによって表3-4に示すパターンに分類される。侵食規模については受食型で最も大きくなり、崩落型では河岸高の1~3倍が目安

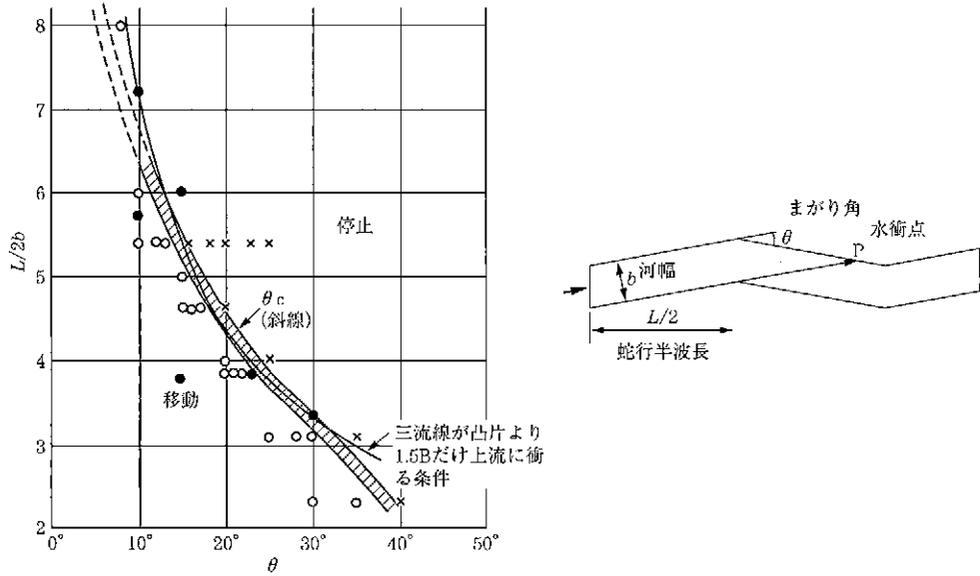


図3-9 砂州の停止限界角度 θ_c ⁷⁾

表3-4 自然河岸の主な侵食形態と発生要因⁸⁾

河岸侵食形態	主な発生箇所	発生要因	侵食規模	代表的な河岸の土質	備考
① 受食型	セグメント 1, 2-1	砂州の発達に伴う河床洗掘の進行および水衝の増大	侵食幅が100 mに達することもある。侵食長さは砂州のスケールと関係、	Ag (沖積砂礫層) 河床材料と同様	砂州の移動により侵食箇所も移動。
② 崩落型	セグメント 2, 3	河岸法尻の洗掘の進行 (または細砂層の流出)。これにより高水敷が崩落	侵食幅は河岸高の1~3倍程度であることが多い。	As (沖積砂質土層) Ac (沖積粘性土層)	緩勾配の河川では、崩落物はある期間そこに残るため侵食が緩和される。
③ すべり型	セグメント 2, 3	洪水時の河岸の含水比上昇によるせん断力の低下。流水の作用とは無関係	侵食幅は崩落型より大きい。	As (沖積砂質土層) Ac (沖積粘性土層)	このタイプの河岸崩落は少ない。

注：液状ベンチカット型を崩落型に含んでいる。

となる。

河岸侵食の大部分は、侵食部前面の河床洗掘に起因しているため、河岸侵食形態は主に受食型と崩落型になる。受食型の特徴は砂州の発達に関係していることで、崩落型の特徴は河岸の土質構造が侵食速度に関係していることである。

河岸侵食を生じさせる河床洗掘の要因として、以下のものが考えられる。

- ① 水路の平面形状 (湾曲や蛇行, 川幅の急縮等)
- ② 砂州 (交互砂州や多列砂州, 湾曲と砂州が共鳴すると洗掘量はより大きくなる)
- ③ 構造物 (橋脚, 護岸周辺の流速増大, 築堤や高水敷造成による掃流力の増大等)

④ その他（平均河床高の変化，小規模河床波，植生繁茂による低水路幅の減少等）

2) 河岸侵食のとらえ方

① セグメント1, 2—1

河岸侵食発生の主要因は河道特性上，砂州が発生・発達しやすいことによって生じる河岸への水衝（偏流）と河床洗掘の増大である。したがって，河岸侵食の発生箇所はいわゆる淵の周辺に限定されることになるが，砂州は以下に示す河道の人為的改変を行うと移動や変形が生じることがあり，河岸侵食箇所の移動に対する注意が必要である。

- 落差工の改築（敷高の大幅な切下げ）
- 水はね水制の設置，護岸の設置
- 砂利採取，河道掘削

交互砂州が発生すると，偏流に起因する河岸侵食と水裏部の土砂堆積により蛇曲河道が発達する。したがって交互砂州の発生する河道では，低水路の蛇曲が過度に発達し河道管理上の問題が生じる場合には，河岸防護施設により低水路形状を制限する必要が生じる。また，砂州とは別に，低水路の急縮部（高水敷から低水路へ落込む流れが過度に集中し河床が洗掘される），わん曲部，構造物周辺などにおける河床洗掘も河岸侵食の要因となるため注意が必要である。

河岸侵食形態については，扇状地河川（セグメント1）では通常，受食型である。セグメント2—1では河岸の土質によって異なり，沖積砂礫土 Ag の場合には受食型，沖積砂質土層 As や沖積粘性土層 Ac を含む場合には崩落型となる。

② セグメント2—2, 3

セグメント2—2では，河岸侵食規模はセグメント1, 2—1に比べて小さい場合が多く，セグメント3では，洪水時の掃流力が小さいこともあって河岸侵食事例は少なく規模も小さい。このことから，本区間では自然河岸を極力残すような河川整備の可能性が考えられる。

河岸侵食形態については崩落型であり，河岸侵食規模は河岸の土質（主に粘着性の程度）や層構造によって異なる。

3) 自然河岸の侵食速度

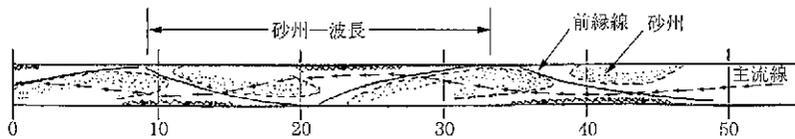
自然河岸を残したり河岸を多自然型に保護するには，河岸を構成する土の耐侵食力の評価が必要となる。自然堆積土からなる河岸は複雑な土質構造を成し，場所ごとに土の組成，締め固め度等が異なり，河岸の侵食機構，侵食速度は複雑に変化する。したがって，河岸の侵食速度の評価には，現地において種々の土質材料，土質構成について耐侵食特性を評価することが最も重要な点である。

3-1-4 蛇行河道の洪水流況と河床変動特性

河川の蛇行現象については，地理学的，堆積学的視点から以下のように整理されており，これは多くの河川に適用できる河川の一般的な特性であるといえる⁹⁾。

- ・ 蛇行現象には，図3-10(a)に示すような河床に形成された砂州によって生じる水流の蛇行と，図3-10(b)のような河道法線が曲ったことによる河道蛇行の2つのタイプがある。

(a) 直線河道における水流の蛇行



(b) 河道の蛇行と水の流れ：河床勾配が緩い区間

図3-10 水流の蛇行と蛇行河道⁹⁾

- ・水流の蛇行は砂州に応じて発生するものであり、1波長の砂州の上を流れが1波長分蛇行する。
- ・下流域では河道の蛇行が顕著に現われて、砂州の存在と位置は明らかでも、これによる蛇行は認めにくくなっている場合も生じる。

以上の点から、セグメントごとの蛇行特性を整理すると、以下のとおりである。

- ① セグメント1のような急流あるいは扇状地河道は、勾配が急なことによる流れの激しさと、山地生産源に近いことによる大量かつ未分級の土砂によって形成されている。ここには薄く広い流れの中に、活発なウロコ状の砂州（多列砂州や網状砂州）がいくつも形成され、その上を洪水は集中発散を繰り返しながら、あるいは網流しながら流れ流路は何本かに分かれる。砂州の移動変形は激しく、側岸は侵食されやすいが、水衝部を分散させるため直線的な河道になりやすい。
- ② セグメント2—1および2—2の河道では、交互砂州が形成される場合が多い。そこでは、単列砂州上の流れに対応した単列蛇行と河道変遷とが特徴である。迂曲河道跡の残存や、河岸が固定されていない場合の蛇曲河道の形成などは、このような河道で見られる。なお、川幅が広い河川では複列砂州が生じたり、中州が生じたりするが、このような河川では蛇行はそれほど大きくならない。
- ③ セグメント3の河道では砂州形成が見られないか、あるいはあっても勢力が弱く、流れの蛇行がほとんど河道形状によって決められるような河道である。このような河道では、砂州による流れの蛇行性を考える必要がなく、河道法線による蛇行だけとなる。

一方、福岡の研究^{10), 11)}によって、複断面蛇行河道においては図3-11に示すような単断面流れと異なるメカニズムがあることが確認されている。この現象はどの河川においても生じる現象ではなく、砂河川において堤防法線と低水路法線の蛇行度が違うなどの条件下で生じるものと考えられるが、内岸側に洗掘が生じることがあるため、高水敷利用が行われている場合や橋

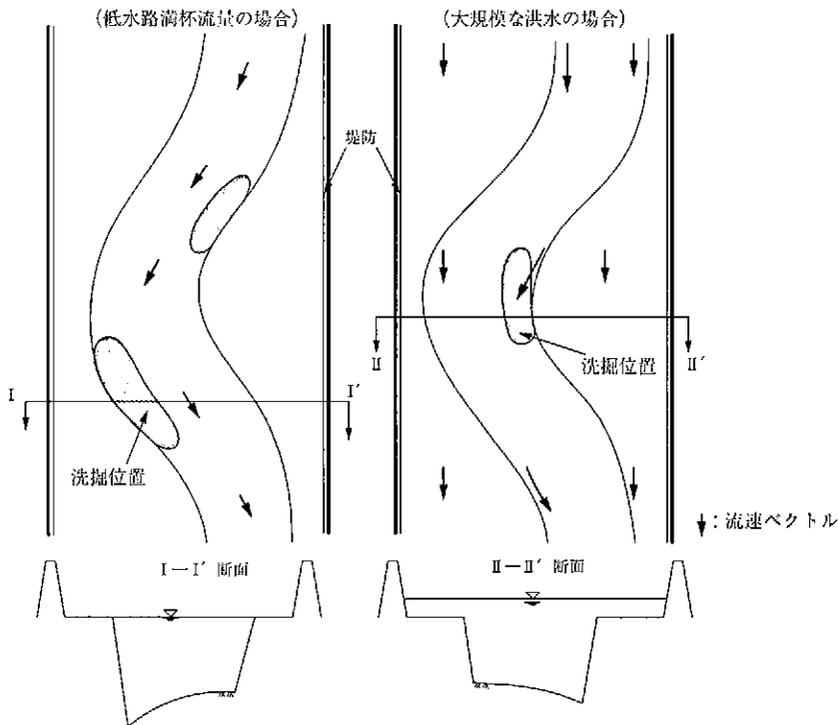


図 3-11 堤防法線と低水路法線のパターンが異なる場合における複断面河道の流れと洗掘位置の例

脚を設置する場合などにおいては、河岸防護の方法や施設設計のための河床高の設定に考慮を要する。

3-1-5 河岸および河床の土質・岩質⁶⁾

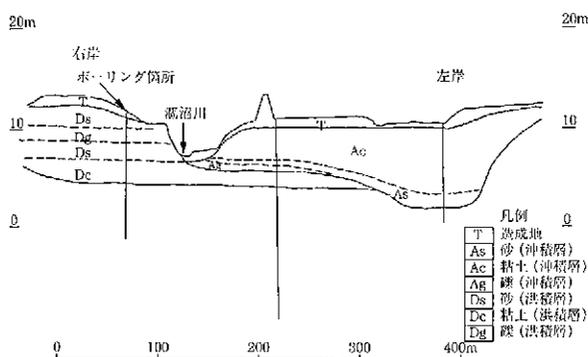
河道の横断形状、最深河床高の経年変化等を詳細に調べてみると、通常なら深掘れの発生するところであるにもかかわらず、掘れていないところや予測されるより浅い深掘れのところ、逆に深掘れの発達しないと考えられる地点で、掘れているところを多々見ることができる。

この原因は河床に河床材料とは異なった土質、地質のものが露出したり、大きな礫が集中したりして、深掘れが抑制されたり逆に異常な深掘れを発生させられたりしているためである。以下に、セグメント別に難侵食層が河床洗掘形態や深掘れに及ぼす影響について記す。

① セグメント 1

扇状地河川では侵食力が強いので、洪積層からなる段丘に河道が接してもこれが現河床材料、河岸材料と同程度の耐侵食力しか持たないので、深掘れ現象にほとんど影響しない。しかしながら下部が第三紀層である段丘に接して流れているところや山脚に接しているところでは、河床に基岩が露出し河床洗掘が抑制されている。また、薄層扇状地では河成堆積物が薄く深掘れが抑制されることがある。難侵食層がなくても深掘れ部に大きな礫が集中し、ある程度以上の深掘れ部が抑制されることもある。

② セグメント 2—1

図3-12 地質推定断面図(那珂川支川瀬沼川)¹²⁾

基本的にはセグメント1と同様であるが、河床に粘土質の物質が露出すると、これを簡単には侵食し得ず、深掘れが抑制されることがある。

③ セグメント2—2

【代表粒径が3~8 mmの場合】

このような河道区間は、沖積層の厚さがそれほど厚くないこと、また、沖積谷の幅も狭いことが多いので、深掘れ部に河床材料と異なった難侵食層が露出することが多くなる。洪水時に河床に動く掃流力がセグメント2—1に比べて小さいため、河床にあまり固結度の高くない物質が露出しても難侵食層として機能する。

九州の河川では、更新世の弱溶結凝灰岩や火砕流堆積物が河床最深部に露出し、これが難侵食層として働き、洪水時の河床洗掘を防いでいる事例が多々見られる。図3-12に那珂川支川瀬沼川において、埋没洪積段丘の最上面のシルト質の半固結物質が最深河床高の位置に存在し、洪水時の深掘れの進行を妨げている例を示す。

【代表粒径が0.3~1 mmの場合】

セグメント2—2は、流水の侵食力がそれほど強くないこと、河床材料と同質の材料を持つ砂層の厚さがあまり厚くないことが多いので、河床の深部に沖積粘土層、埋没洪積段丘層が露出することが多い。特に人工的に河道を掘削したところの河床深部は、現河床材料と質の異なった堆積物が存在することが多い。

この質の異なった堆積物の耐侵食力は、土質によって大きく異なり、同じ洪積層といっても泥層と砂層ではまったく性質が異なる。更新世の河成堆積物は地盤変動による変形をあまり受けていないので、堆積物はほぼ水平な層序構造を持っている。したがって耐侵食力のある層の一部が破壊されると、その下層が急激に侵食されたり、耐侵食力がある層が見えなくなる直下流が異常に洗掘されたりすることがある。

図3-13に江戸川16.5 km付近において、河道の中央のみが大きく掘れる不自然な地形となっている例を示す。ここは洪積層の一部が航路のため掘削され、それが存置されている箇所である。

このような洪積層が河床に露出しているところは、関東地方を流れる砂河川に多く見られる。

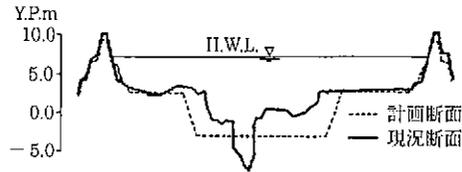


図 3-13 江戸川 16.5 km 地点の横断面¹³⁾

さらに、この洪積層面が破壊されつつあるところが何箇所か存在し、そこが小さい滝となり、下流の異常洗掘および小滝の上流への移動が生じ、橋脚の保護や河岸侵食防止に問題が生じている。

縄文海進時のデルタ底置層、あるいは後背湿地の沖積粘土層が河床に露出すると長い間には粘土層が流水によって侵食され、深掘れ状の地形となり、一見難侵食層の存在を認知し得ない。しかしながら、このような地点は大出水後でも河床高があまり変化せず、また、平均河床高が低下してもそれに応じて最深河床高があまり変化しない。縄文海進時、浅い潟湖であったところ、また、浅海であったところは最深部に粘土層が露出することが多い。

④ セグメント 3

セグメント 3 の最深河床部には、デルタ底置層である粘性層が露出し、河床の低下を妨げていることがある。

沖積地河川における難侵食層は、河道特性に影響を与える一つの要素であり、河道計画は河道縦断形計画、河道平面計画、河岸侵食防止必要箇所の設定時に考慮しなくてはならない重要な要素である。

この難侵食層の位置の同定にあたっては、河道周辺の地形分類図、河道の横断形状の変化図、河岸物質の現地観測、堤防沿いの地層層序図（堤防点検のため多くの河川で作成）などを利用する。また、必要があれば現地ボーリングを実施し、その層序構造と土質・岩質を把握する。

3-1-6 コストと移動床現象

河道改修にかかわるコストとしては、低水路護岸の設置や河道掘削等の工事費（イニシャルコスト）と、河道の流下能力を維持するための維持浚渫や、河道内樹木の伐採に要する維持費用（ランニングコスト）がある。

河道に求められる所要の機能を確保・維持するための費用の最小化を図るためには、河道改修に伴う縦横断・平面的な低水路形状の変化と、それに要する時間を予測し、この予測結果をもとにして、トータルコストが最小となる河道改修案を選定する必要がある。ここでは、イニシャルコストとランニングコストに分け、それぞれのコスト縮減に関する移動床現象を整理した。

河道改修費用（イニシャルコスト）の縮減にあたっては、一般に護岸等の河岸防護施設のコストが大きな割合を占めることから、河岸防護の必要性和強度を明確にし、その必要に応じて適切な河岸防護施設を設けることが必要となる。

河岸防護の必要性は、河岸侵食の実態や特性に大きく関係している。セグメント1のように砂州の発達、移動のために受食型の河岸侵食形態が発生しやすい河道区間では、低水路形状の安定化の目的から河岸の全面防護が必要となる。一方、セグメント2のように、低水路平面形状の蛇行が大きくなる河道区間においては、低水路平面形状に応じて水衝部などの必要な箇所には護岸を設置する必要がある。なお、セグメント2, 3のように崩落型の河岸侵食が発生する場合には、捨て石工等による河岸法尻部の保護による対策も取ることができる。低水路掘削により河岸高が高くなると、河岸侵食が発生しやすくなるため、河川整備に伴い必要となる河岸防護についても考慮する必要がある。

河岸防護の強度については、当該箇所に作用する洪水外力に応じて定めることが基本であり、この検討にあたっては文献¹⁴⁾等を参考にされたい。

維持管理費用（ランニングコスト）の縮減にあたっては、3-1-2項で述べたように河川整備後の移動床現象による河積の減少や、粗度の変化（樹林化）により流下能力が減少する場合もあるため、まず流下能力（河積）を安定的に確保することが必要である。このため、河床縦断形状や低水路の拡幅規模に留意して河床安定を図るとともに、粗度変化の可能性も勘案して低水路計画の検討を行う必要がある。

また、河岸防護施設の基礎根入れには、将来的な河床高変化が関係する。河床洗掘が顕著になると基礎根入れが不足し所要の機能を果たさなくなるため、根継ぎ等の改築が必要となる。このようなことにならないために、あらかじめ適切な根入れ（施設設計河床高）と強度を有する河岸防護施設を設けることが必要となる。

なお、河川が変化しようとする方向と違う方向の河道計画を策定すると、河川が本来有する生態系などの河川環境が損なわれ、その回復に莫大な費用を要する場合もあることから、計画策定時において河川本来の水理的な特徴を把握し、十分河川環境を考慮する必要がある。

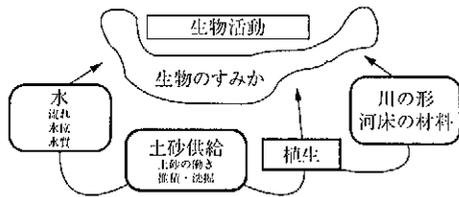
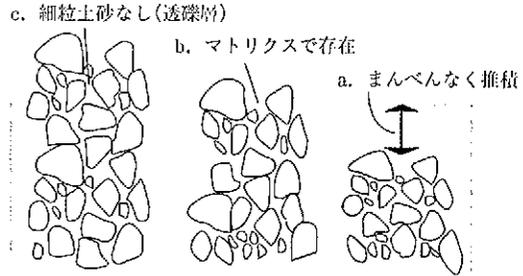
3-2 移動床現象が生物の生息環境に与える影響

河川環境とは、河川の自然環境（河川の流水に生息・繁茂する水性動植物、流水を囲む水辺地域に生息・繁茂する陸生動植物の多様な生態系）、河川と人とのかかわりにおける生活環境（流水の水質（底質を含む）、河川にかかわる水と緑の景観、河川空間のアメニティ）であると定義される。

自然環境との関連では、生物の生息地（ハビタット）と移動床現象が大きくかかわっており、河川と人とのかかわりにおける生活環境との関係では、河道内の植生、高水敷の維持が移動床現象と大きくかかわっている。

河川における生物生息空間は、図3-14に示したように、河川の物理的な作用に大きな影響を受けながら形成され変化する。河川の生物生息空間の固有性は、河川の物理作用と切り離すことはできない。

生物生息空間の構成要素のうち、河床形状は従来の知見をほぼそのまま適用できるが⁵⁾（たと

図 3-14 河川の作用とハビタット形成⁵⁾図 3-15 種類の礫床表面状態⁵⁾

えば砂州の形成と瀬・淵との対応), 表層河床材料の状態や植物については, 新たな水工学的研究を必要とする。植物については, 河道の粗度とも大きく関連するので, 河床材料や河床地形と同等に, 河道を構成する重要な要素の一つと位置づけて検討を行う必要がある。

生物生息空間形成機構の解明と予測においても, 基本的には, 水と土砂の動きという水工学が扱ってきた現象が基本になるが, 河床変動予測と生物生息空間予測とでは, 求められる情報の質が大きく異なることから, その取り扱い方は相当変える必要がある。

この検討を行った事例として, 多摩川の永田橋地区の代表的エリアで, 1968年以降に起こった樹林化(ニセアカシア), 安定的な植生域の拡大について, 李ら⁵⁾は図3-5に示したシナリオを提示している。

これによれば1981, 1982, 1983年の洪水により, それまでの複断面化により発生していた高水敷的河床部分(礫床)にうっすら(数cmから最大でも40cm程度)ウォッシュロード起源の細粒土砂(シルト, 微細砂を含む細砂)が堆積し, このイベントがその後の樹林化, 安定域拡大にとって重要であった。従来の河床変動のとらえ方からは, ウォッシュロード成分で形成される, こうしたわずかな地形変化はさほど重要でないと言われていたが, 生物生息空間形成という観点からは, 礫床の上に数cmでも泥が被るかどうかは大きな違いをもたらす。図3-15に示された礫床表面の3つの状態は, 河床変動という点からは有意な差があるとは認識されないが, 生物生息空間形成あるいは生物生息空間自身としては, 非常に重要な差があると見なければならない。生物生息空間予測のために, このような次元の異なる現象を対象にする必要がある。

河川植物の動態予測において, 生物学的知見が不可欠であることはいうまでもない。しかし同時に, 河川固有の植物になるほど, 河川の物理的作用を強く受けて成り立っていると考えられることから, 河川の物理的作用が植物動態に及ぼす影響を一度徹底的に定量分析し, それによって植物動態がどこまで追跡できるか, その有用性と限界をはっきりさせ, そのうえで生物学的アプローチと照合させ, さらに植物動態のコントロールを河川の物理作用の制御から行う方法に取り組むことが重要である。

図3-16は, 前述の多摩川永田橋地区を含む多摩川礫床河道区間で起こった代表的な安定的植生域について, そのシナリオを提示し, その中で河川の物理的作用(河床変動)の位置づけ

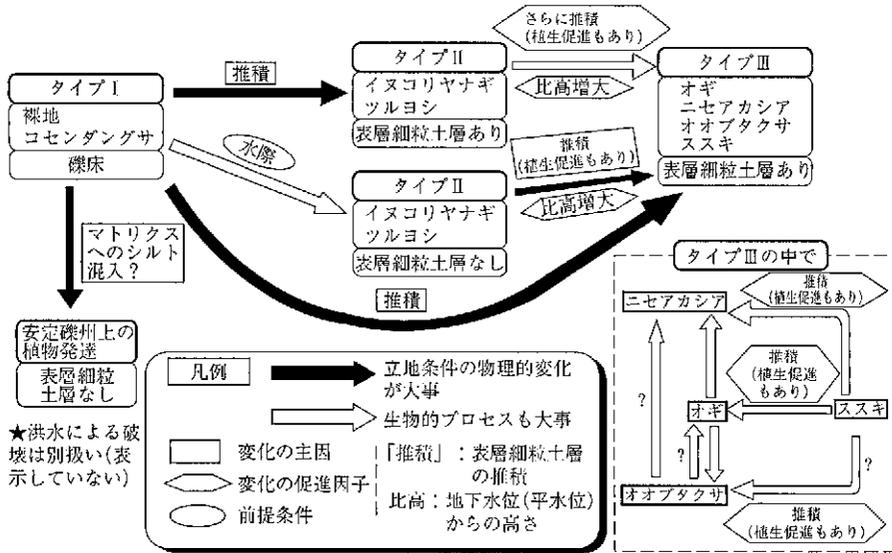


図 3-16 礫床裸地から安定植生域への変化の筋道について考察⁵⁾

を把握する試みを行ったものである。代表的な物理作用である洪水の植生破壊を対象外としているにもかかわらず、広い意味での河床変動が植生動態に重要な役割を果たしているといえそうである。

河川と人とのかかわりにおける生活環境については、河川にかかわる水と緑の景観、河川空間のアメニティに関する現状を評価し、将来に向けて生活環境を維持・増進することが重要である。この際、河道計画の検討・策定における自然環境の維持・増進を図るための基本的な考え方として以下のものがある¹⁵⁾。

- ① 多様な河川形状を保全・回復する。
- ② 連続した環境条件を確保する。
- ③ 注目すべき生物の保全を図る。
- ④ 水の循環を確保する。

低水路計画の検討・策定にあたっては、特に上記①を考慮する必要がある。場としての河川形状の多様性を維持・増進する必要がある。具体的には、以下に示す事項が考えられる。なお、局所的な環境の保全・回復については、その場の状況に応じて個別に検討していく必要がある。

○ 瀬と淵の保全・回復

一般に礫床区間（主にセグメント 1, 2—1）では、洪水により自然発生的に砂州が形成される。瀬と淵は砂州の移動と関係しているため、河道形状を大きく変える計画の場合は、河川整備後において砂州形成がどのように変化するかを、平均年最大流量時の水量をもとに、図 3-7 に示した多列砂州の発生条件、または図 3-17 に示す交互砂州の形成領域区分図によりあらかじめ検討する必要がある。

一般には、蛇行による側方の侵食を防ぐと、淵が深くなることが多い（わん曲部の外岸側に自然の岩等が存在する場合に、その前に淵が形成されるのはこのようなことによる）。なお、

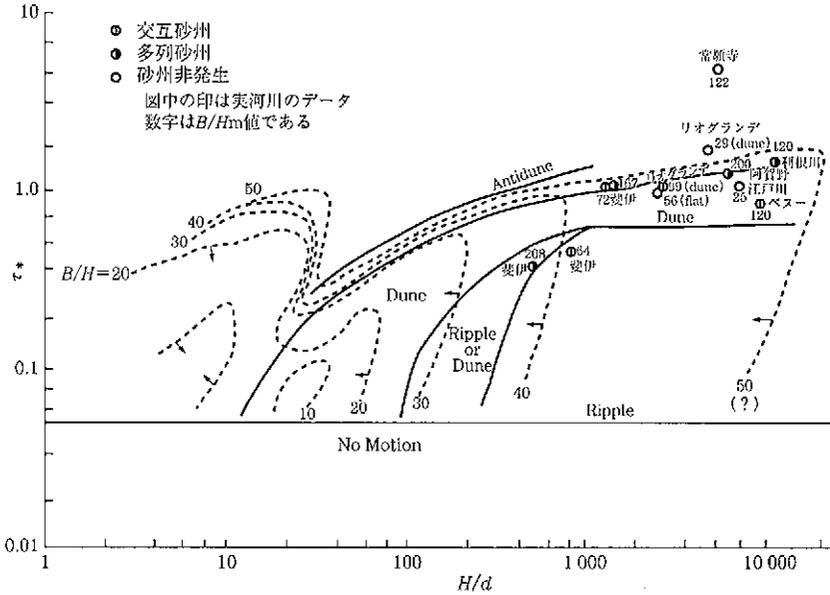


図 3-17 直線河道で一定流量の場合の交互砂州の発生領域 ($d_m > 0.02 \text{ cm}$ の場合)⁶⁾

注：点線は B/H_m の一定の線であり、この B/H_m を持つ水路では、この一定の線の内側（細い矢印の方向）の τ_* , H_m/d_m の領域で交互砂州が発達することを示す。

湾曲の外岸を護岸等の河岸防護施設によって防護する場合には、その前面に淵が形成されるが、あまりに大きな淵になると、河岸防護施設そのものが破壊される可能性もあるので、侵食深等に関する予測を適切に行い、必要な対策を検討しておくことが重要となる。

中小の支川改修などで平坦に河床掘削を行うと、自然な砂州の形成がなされない場合があるので、あらかじめ水みちを作るなどの必要がある。

○水際のも多様性の保全・回復

水際のも多様性は、砂州の形成・発達、砂利河川における複々断面化（砂州の固結化および深筋部の河床低下）、自然河岸の存在等と関係する。このため低水河岸の将来的な姿を推定し、これをもとに水際のも多様性の保全・回復について検討することが必要である。

一般に、水際のも多様性を保全・回復するためには、自然河岸を可能な限り残し冠水頻度を多様化させるために、低水路部水際を自然状態から大きく変化させないことが望ましい。

また、河積確保の一方策として、高水敷の一部を掘削して中水敷とすることは、結果として自然豊かな水際のも保全にも寄与することになる。ただし中水敷の形成により低水路内の水理量が大きく変化したり、中水敷では土砂の堆積や植生の繁茂による粗度の増大により流下能力が減少することがあるため、これらの変化に留意する必要がある。

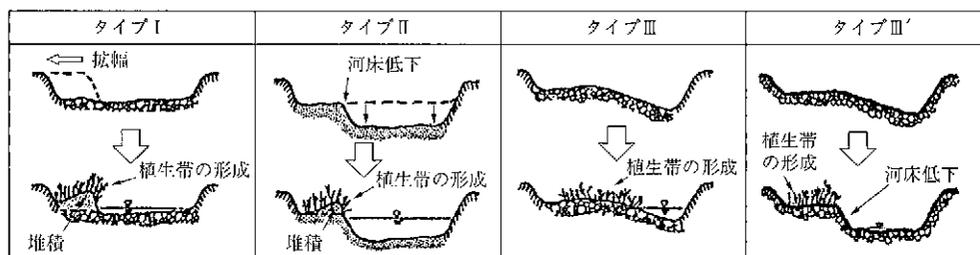


図 3-18 横断形状についての河道変化パターン^{5), 16)}

表 3-5 河道セグメント分類ごとの各河道変化パターンの発生数^{1), 2), 5)}

河道変化パターン		河道セグメント分類			
		1	2-1	2-2	3
横断 形 変 化	タイプⅠまた、はタイプⅡ：低水路幅縮小、 低水路における高水敷化、植生帯形成	0	2	3	0
	タイプⅢ：礫床河道における植生帯の形成	1	2		
	タイプⅢ'：礫床-網目上流路における低水路 の形成と植生帯の形成	2			
検討対象河川の各セグメント総数		7	10	13	4

3-3 扇状地礫床河道における植生域の増大⁵⁾

(1) 植生域拡大の全国実態

主に日本の河川において、最近数十年間で生じた河道変化は、横断形状に着目すると図 3-18 に示すように3つないし4つのタイプに分類できる¹⁶⁾。タイプⅠは、礫床河川において河床の一部に堆積が生じることによる川幅縮小であり、堆積する場所以外の河床では有意な変動がほとんど見られない。形成された高水敷には植生が繁茂している。タイプⅡは砂床河川において、河床の一部が低下し、低下しないで残った部分に堆積が生じ、そこが新しい高水敷となることにより川幅縮小が起こるといものである。このタイプの新高水敷も植生を持つ。タイプⅢは礫床河川において、有意な河床変化を伴わず河床の一部が植生で覆われることにより、外見上川幅が小さくなったように見えるタイプである。なお、有意な堆積は伴わないが、河床の一部が低下し、低下せずに残った部分に植生が繁茂するというタイプがあり、ここではこれをタイプⅢの亜種としてⅢ'と分類している。

表 3-5 は、これらのタイプがどのような河道で生じたかを、全国代表 20 河川について調査したものである^{1), 2)}。タイプⅠは、セグメント 2-1 で観察され（セグメント 2-2 でも生じる可能性がある）、低水路川幅の拡大に対する応答として現れる。タイプⅡは、セグメント 2-2（砂床河川）で観察されている。この河道変化は、低水路河床における一部幅の低下に対する応答として起こる。タイプⅢについては、セグメント 1 と 2-1 で観察される。タイプⅢの変

化が連続的に生じている区間を上空から見ると、低水路の両側に形成された植生の帯によって、その川幅が縮小したように見える。タイプⅠの場合と異なり、植生繁茂領域での河床地形変化はいまのところ顕著でない。タイプⅢ′は、もっぱらセグメント1で観察されている。セグメント1の区間は一般に網上の河床形態を持つため、そこにははっきりした低水路がないことが通常であるが、複数の河川においてセグメント1区間に新たに明確な低水路が形成され、相対的に高くなったもとの河床部分に植生が繁茂するという変化が起こっている。タイプⅡの場合と異なり、植生繁茂領域での河床地形変化はいまのところ顕著でない。

上記の各タイプはいずれも植物の繁茂が伴う変化であるが、とくにタイプⅢあるいはⅢ′の変化においては、裸地の礫床いわゆる白州河原が広範囲に植生にとってかわられる現象が起こるため、植生繁茂が起こす河道状況変化として規模が大きい。礫を河床主材料に持つセグメント1や、セグメント2—2の河道区間において、タイプⅢ、Ⅲ′の変化あるいは“河道樹林化”が生じる傾向が全国的に見られ、そのことが河道の自然環境の変化という点で見すごせない現象であるといえる。一方、こうした河道変化は、樹林やその他の密生した植物による粗度の増大に直結し、粗度の増大は洪水時の流況変化をもたらす、河積が変わらなければ水位上昇につながる。この意味で、治水安全度を確保するうえでも、こうした現象の理解は重要な意味を持つ。

(2) 河川管理への応用を意識した植物変化予測の枠組み

植物繁茂状態の予測を行う方法として、李ら⁵⁾は2つのアプローチを提案している。一つは洪水出方についてシナリオをいくつか用意し、それぞれについて計算を行い、すべての計算結果を総合的に吟味しながら、河道管理の方針を検討するというものである。立てられる方針は、その後の洪水の出方に応じて柔軟に対応する形になるであろう。

このアプローチは直接的でわかりやすいが、洪水シナリオの違いによる結果の差が大きくなる可能性が高く、種々の大きく異なる計算結果を前に、河道管理のための判断を行うのはそう簡単ではないと考えられる。

もう一つは長期的な予測計算を行い、計算結果の平均的な諸量をもとに、各“河床場”の“特性”を評価するというアプローチである。これには、存在期間割合や持続期間の平均値、分散などが評価指標となろう。この方法は、直接的な予測結果をベースとしないというわかりにくさはあるが、種々の条件変化に対し、対象とする河床場の植生繁茂にかかわる特性が、大局的にどう変わるかを理解するのが容易であるので、河床場の特定に関する評価軸が整備されれば、河道管理につながりやすいアプローチといえる。

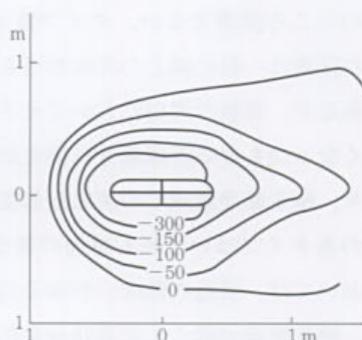
3-4 構造物周辺の流れ

河道内に構造物が設置されると、構造物周辺において流れが局所的に変化し、それに伴って河床洗掘や河岸侵食を引き起こす。構造物による影響の主なものは次のとおりである。

① 構造物付近における水位上昇と上流側での堰上げ



写真3-1 出水時における橋脚周辺の水面状況（姫川）

図3-19 橋脚による洗掘深形状の例¹⁷⁾

河道内に橋脚や堰等の構造物が存在すると、その構造物の抵抗により流れに水位上昇を引き起こす（写真3-1参照）。河道計画においては、このような水位上昇によって越水・破堤が生じないように計画を策定する必要がある。

なお、河道内に水制工が設置されている場合には、水制工の前面で局所的に水位上昇が生じ、その部分の痕跡水位が大きくなるため、全体的な水位縦断から見ると過大な左右岸水位差を生じたようになることがあるため、構造物の設置位置と痕跡水位との関係についても留意する必要がある。

② 構造物周辺の流向・流速の変化

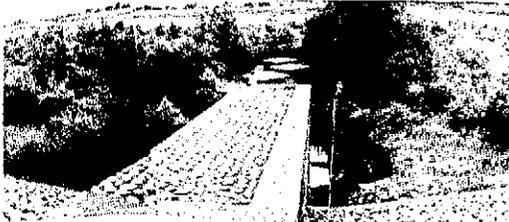
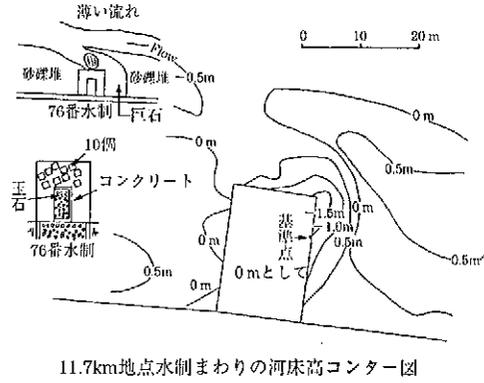
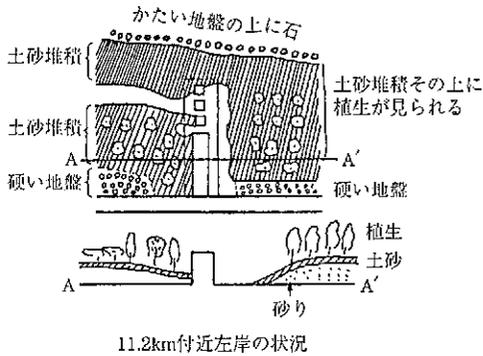
河道内に設置された橋脚の前面では水位の堰上げが生じ、橋脚の側面で高流速が発生する。このような流れが生じると、堤防近傍に設置された橋脚においては堤防の侵食等が生じる原因となるおそれがあるため、橋脚等の構造物が占用している場合には、構造物の設置による流れの影響範囲を十分に把握したうえで保安距離を設定し、河岸侵食による堤防の破壊が生じないようにしなければならない。

③ 構造物付近の局所流による洗掘・堆積

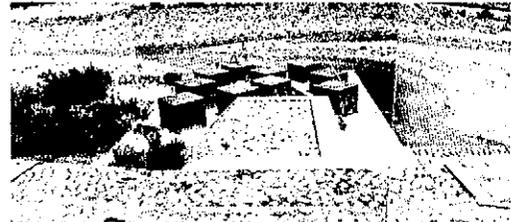
構造物の周辺では、局所的な流れの変化によって河床が洗掘される場合がある。特に橋脚周辺では、図3-19に示すようにすりばち状に洗掘されることから、構造物の設置にあたっては、このような洗掘を考慮して設計する必要がある。

河道内に設置された水制においては、図3-20に示すように水制によってはねられた流れによる水制先端部の局所洗掘や、水制間での土砂堆積が生じる。上下流断面に比べて高水敷幅が短い区間においては、河岸付近の局所洗掘対策と合わせて高水敷化の形成を目的とした水制工の設置を行うこともある。

また、河床高の安定を目的として設置される床止め工の下流部においては、床止め工によって堰上げされた流れが高水敷上を流下し、低水路内へ流れ込むことにより、河岸付近の河床が著しく洗掘されることがある¹⁸⁾。したがって床止め工の下流部においては、このような河床洗



11.2km付近水制まわりの状況 (1990)
水制間の土砂堆積砂



11.7km地点の水制と浸食計上 (1990)
水制周りの浸食

図 3-20 水制付近の土砂堆積・侵食状況 (黒部川)⁸⁾

掘による河岸の崩落を防止するための対策が必要である。

3-5 河道内の現象を把握するための調査と河道計画への影響事項

前節までに述べた知見は、河道計画を策定するうえで配慮すべき事項であり、この現象を把握し、河道計画に反映させるためには、その現象を把握するための調査が必要となる。河道内の現象を把握するために必要となる調査と、それを把握したことによる河道計画への影響事項について整理すると、表 3-6 に示すとおりとなる。

表 3-6 河道内の現象とそれを把握するための調査内容

	河道内の現象	現象把握のための調査内容	河道計画への影響事項
流下能力の確保と移動床現象	・土砂流出と縦断的な低水路平均河床の変化	・洪水前後の河床変動量 ・経年的な河床変動量	・河積確保を行ううえでの将来河床高の設定
	・横断的な河床変化と粗度変化	・低水路平均河床高の経年変化 ・横断形状の経年変化 ・高水敷上の樹木群の変化	・高水敷上の樹木設定 ・将来河床高の設定
堤防の安全性の確保	・砂州の発達と移動	・みお筋の経年変化（空中写真） ・最深河床高の経年変化	・河岸侵食防止の重要度のランク分け ・施設設計のための河床高の設定
	・河岸侵食	・洪水前後の横断形状の変化 ・洪水時の水位と流量	・堤防防護のために必要な高水敷幅の設定
複断面蛇行河道	・複断面蛇行河道の洪水流況	・低水路と堤防法線（平面形状） ・洪水時の流速ベクトル（空中写真） ・洪水時の流量規模と水位の縦断分布	・河岸侵食防止の重要度のランク分け
	・複断面蛇行河道の河床変動	・洪水時の河床変動状況（洗掘位置の変化と洗掘深）	・堤防防護のために必要な高水敷幅の設定 ・施設設計のための河床高の設定
ハビタットの域の変化	・河川の作用とハビタットの形成 〔瀬と淵の保全・回復 水際の多様性の保全・回復〕	・生物の生息状況 ・植生の繁茂状況 ・横断形状の経年変化	・河積確保のための高水敷の掘削範囲と、横断形状の設定
	・扇状地礫床河道における植生域の増大	・低水路平均河床高の経年変化 ・横断形状の経年変化 ・高水敷上の樹木群の変化	・高水敷上の樹木設定 ・将来河床高の設定
構造物周辺の流れ	・構造物付近における水位上昇と上流側での堰上げ	・構造物付近と上流河道の洪水時の水位	・構造物による水位上昇量(Δh_{02})の設定
	・構造物周辺の流向・流速の変化	・構造物付近の洪水時の流速分布	・河岸侵食防止の重要度のランク分け
	・構造物付近の局所流による洗掘・堆積	・構造物付近の洪水時の河床高の変化	・施設設計のための河床高の設定

引用・参考文献

- 1) 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. 696~737, 1991.
- 2) 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46回建設省技術研究会報告, pp. 600~651, 1992.
- 3) 藤田光一: 河道計画が目指すべき方向と技術的課題, 1998年度(第34回)水工学に関する夏期研修会講義集Aコース, 1998.
- 4) 藤田, 平館ほか: 水系土砂動態マップの作成と利用—澗沼川と江合川の事例から—, 土木技術資料41-7, pp. 42~47, 1989
- 5) 李參熙, 山本晃一ほか: 扇状地礫床河道における安定植生域の形成機構に関する研究, 土木研究所資料第3622号, 1999.
- 6) 山本晃一: 沖積河川学, 山海堂, 1994.
- 7) 建設省河川局治水課, 建設省土木研究所河川研究室: 蛇行現象と河道計画, 1982.
- 8) 山本晃一: 日本の水制, 1996.
- 9) 木下良作: 河床における砂礫堆の形成について—蛇行の実態の一観察—, 土木学会論文集No. 42, 1957.
- 10) 福岡捷二: 治水にかかわる河川水理学, 応用生態工学研究会河川水理学基礎講座, 1998.
- 11) 福岡捷二: 洪水防御計画における水防林と低水路の法線形のありかた, 自然共生河川研究所, (財)リバーフロント整備センター, 1997.
- 12) 山本晃一, 高橋晃, 藤田光一ほか: 澗沼川洪水観測所レポート(1)1988~1989, 土木研究所資料第2895号, pp. 31~32, 1990.
- 13) 山本晃一, 平林 桂: 河道地質調査の河道計画への利用, 土木技術資料第32巻11号, pp. 62~67, 1990.
- 14) 護岸の力学設計法, (財)国土開発技術センター, 1999.
- 15) 中小河川における多自然型川づくり研究会編, (財)リバーフロント整備センター: 中小河川における多自然型川づくり, 1998.
- 16) 藤田光一, John A. MOODY, 宇多高明, 藤井政人: ウォッシュロードの堆積による高水敷の形成と川幅縮小, 土木学会論文集, No. 551/II-37, pp. 47~62, 1996
- 17) 宇多高明, 高橋 晃, 伊藤克雄: 治水上から見た橋脚問題に関する検討, 土木研究所資料第3225号, 1993.
- 18) 山本晃一, 高橋 晃, 長谷川賢市: 床止め工に関する調査報告書, 土木研究所資料第2760号, 1989.

第4章 河川特性の把握

河道計画検討対象河川の河道特性、洪水時の水理特性、河川環境の特性、現況河道状況、流域特性の把握は低水路、および高水敷の粗度係数の設定や河道の安定性を判断するために必要なものであり、この調査・検討の精度によって、河道計画が左右されるほどの重要性を有している。

現況河道の特性や洪水時の水理特性等を把握したうえで、河道の安定性を判断し、現状の河川環境（自然環境および生活環境）が成立している要因を把握することによって、流域住民の要望を含む河川全体の特徴に配慮した適切な河道計画を策定することが可能となる。また、対象河川の特性を十分に把握することは、今後実施する事業の説明を行ううえにおいても重要なことであり、アカウントビリティ（事業の説明責任）を満たす要件の一つとなる。

4-1 河道特性の把握

河道計画においては河道の有する諸特性を十分に把握し、河道にインパクトを与えた場合の応答特性を勘案した計画を策定することが重要である。また、河道計画策定の出発点は現況河道からであり、現況河道の尊重が前提である。

このようなことから、現況河道の河道特性を検討しておくことが必要となる。この場合、検討の対象とする河川のさまざまな姿として重要なものは次のとおりである。

① 洪水時の水理量

洪水時の流速、掃流力

② 河道の平均的なスケール

河道の川幅、水深、勾配

③ 小規模河床波の形態と流れの抵抗

流量変化と小規模河床波の対応

④ 土砂の運動形態とその量

各粒径階ごとの輸送形式と、その河道形成に及ぼす役割

⑤ 氾濫原（高水敷）の特性

高水敷堆積物の質、洪水時の高水敷の挙動

⑥ 河道の平面形状

蛇行形態、砂州と平面形状との関係、河岸侵食位置と侵食速度、島の発生状況

⑦ 河道の横断形

洗掘深，洪水による横断形変化

⑧ 位況・水面変化特性

流況と位況の関係，左右岸水位差

⑨ 河道の縦断形変動形態

変動速度，アーミング形態

⑩ 生態系

植物，動物

⑪ 人的作用による河道特性の変化形態

⑫ 河川の景観

以降，上述の河川のさまざまな姿を総称して河道特性と呼び，個々の特性項目を河道特性の構成要素と見なす。上述したような河川のさまざまな特性は，個々ばらばらに存在しているものではなく，相互に密接に関連し合っており，河道という一つのシステムを作っている。これらの河道特性を把握分析するための方法として，以下に示す河道特性値を求めておくとよい。

① 河床勾配 (I_b)② 代表粒径 (d_R)③ 低水路内平均水深 (H_L)④ エネルギー勾配 (I_e)⑤ 摩擦速度 (u_*)⑥ 無次元掃流力 (τ_{*R})⑦ 川幅水深比 (B/H_L)⑧ 水深粒径比 (H_L/d_R)

このうち，③～⑧については平均年最大流量時の値である。なお，平均年最大流量時以外の低水路内平均水深は H_m とする。

①および②は，河道を同じ特性を有する区間（セグメント）に分割するのに用いる。その他の諸量は河道の安定性の判断や河道特性項目の特徴把握，相互関連性の分析に用いることができる。これら諸量は④を除き縦断的に整理することを原則とする。この諸量の把握の方法を以下に記す。

4-1-1 河床勾配 (I_b)

河床勾配は平均河床高から算定する場合と，最深河床高から算定する場合がある。通常は平均河床高をもとに河床勾配を算出する。平均河床高は低水路平均河床高を用いるものとする。

(1) 低水路平均河床高

低水路平均河床高は，平均年最大流量流下時の河積をこのときの水面幅で除し，当該水位から減じて算定する（図4-1参照）。

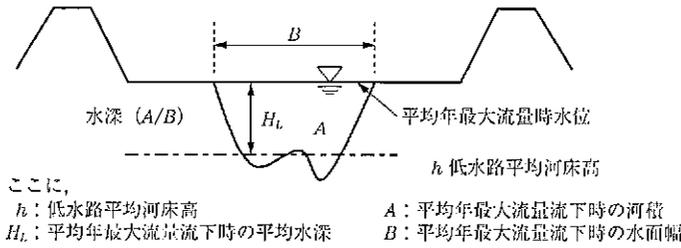


図 4-1 低水路の諸元の概略

(2) 平均河床高縦断面図の作成

(1) で作成した平均河床高をもって、平均河床高縦断面図を作成する。

(3) 同一河床勾配区間の設定

(2) の平均河床高縦断面図をもとに、同一河床勾配区間を目視により設定する。ただしあまり細かく分割するのではなく、ある程度の距離を有するように設定する。

4-1-2 代表粒径 (d_R)

河床材料の粒度分布形は、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3つ以上の集団を持っているのが普通である。堆積学では図 4-2 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。

河床材料の粒度分布形は、A, B, C の各集団の粒度分布形を対数正規分布と見なし、各集団ごとの粒度分布形の合成されたものと解釈されることが多い。たしかに砂を河床材料とする場合には、各粒径集団ごとにその粒度分布を対数正規分布と仮定し、河床材料の粒度分布を解釈したり、あるいは、その粒度分布形成要因を解釈することは、経験的事実と合い、妥当性を持っているが、砂利を河床材料の主モードとする場合には、砂利成分を A 集団とすると A 集団と見なされる粒径の存在範囲が広く、これを一つの粒径集団と見なすことは問題が多い。その

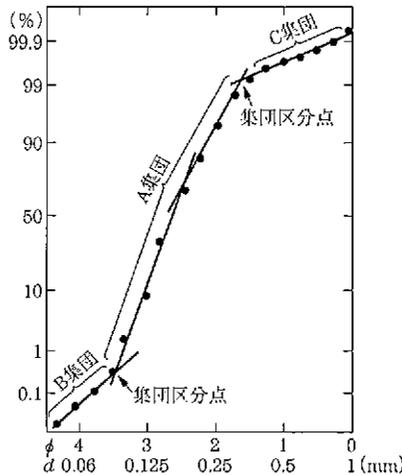


図 4-2 河床材料の概念図¹⁾

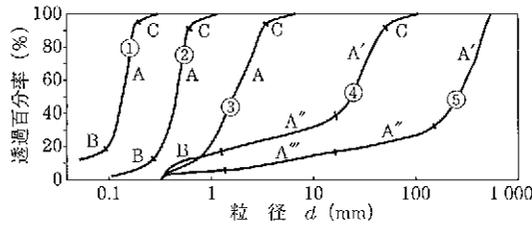


図4-3 種々の粒度分布における縦断区分点¹⁾

ため、A 集団を2つあるいは3つに分けたほうがよく、それぞれを大きいほうから A', A'', A''' 集団と名づける。

対数正規分布を持つ粒径集団を合成したものとして、河床材料の分布形を解釈する場合には、各集団ごとに、粒径の存在範囲を決めることができないが工学上は、図4-2に示すように集団区分粒径を決め、この区分粒径によって集団ごとの存在範囲を定め、その存在範囲ごとの粒径集団の移動特性と、移動量を評価したほうが、河床変動の評価や土砂の分級機構を解明および解釈するうえで有効と考えられる。

ここでは、河床材料の分布形を片対数紙を使って表現することにする。この場合粒径集団区分粒径は図4-3に示すように、粒径加積曲線上での勾配の急変点の粒径とすればよい。ただし扇状地河川の場合は、粒径の存在範囲が広く、勾配区分粒径の分け方に困難を覚えることが多い。この場合は次のように考えて区分粒径を決めればよい(表4-1, 図4-4参照)。

- ① 各セグメントごとに各観測地点の河床材料の粒度分布曲線を描く。
- ② 大粒径集団であるC集団と河床材料の主構成材料であるA'集団は、通常、粒径加積曲線上で勾配の急変点が現れるので、そこの材料をC集団とA'集団の区分粒径とする。
- 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、それを区分粒径とする。通常1.0~2.0mm程度になることが多い。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得ることが多いが、混合粒径河床材料は、粒径が粗砂以上であれば、同一粒径集団として同じような土砂の移動形態を持つものは、最大と最小の粒径の比で7~8程度であるで、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を超える場

表4-1 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% 以下である場合は、 d_{60} を採用する。
	A''集団以下の材料が30% 以上を占める場合は、A' と C 集団を対象として、新たに粒度分布を作成し、その通過粒径の d_{60} を採用する。

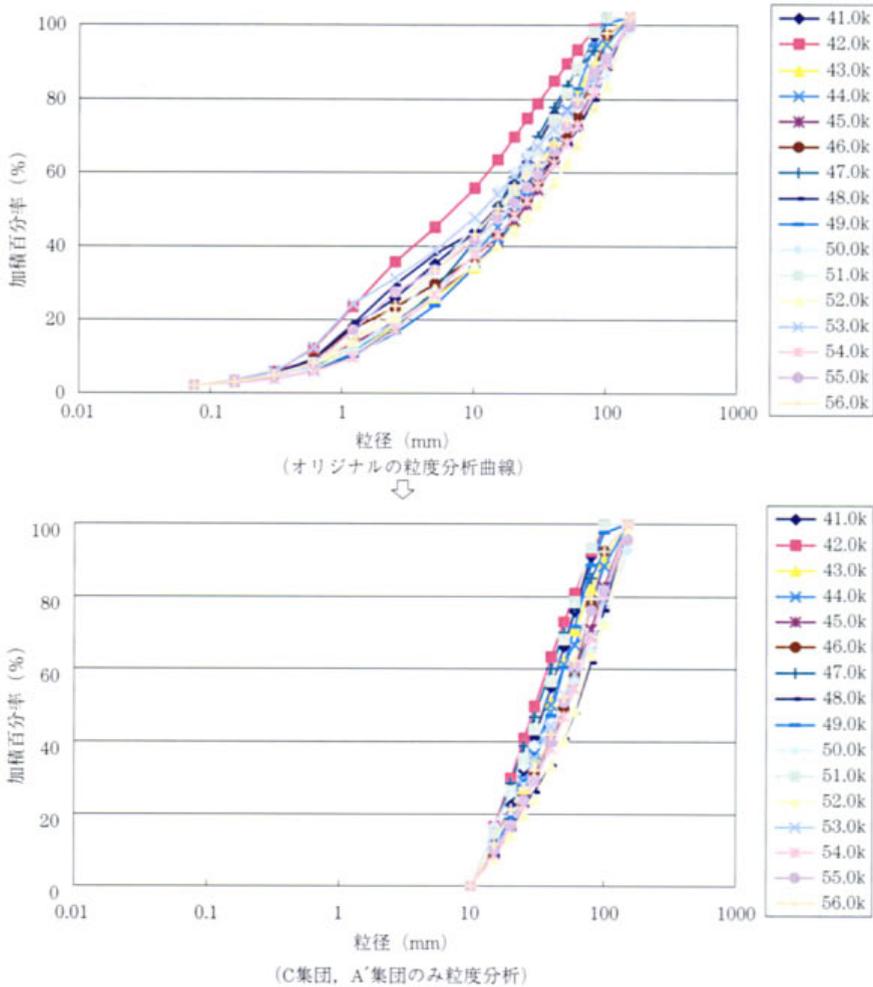


図4-4 同一河床匀配区間での d_R の求め方

合は、下流のセグメントの粒度分布形を参考にしながら、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程度となるように区分し、大きな集団からA'', A''', A''''集団とする。

扇状地河川表層下の河床材料は、混合粒径であり大粒径から小粒径のものを含んでいる。このうち小粒径のものは、河床変化にはあまり関係しない。河床変動に関係するものは主にC集団、A'集団であり、また、河床材料の動きやすさを規定するものもこの集団である。

A''集団以下の材料が20%以下であるような場合は、平均粒径 dm あるいは60%通過粒径 d_{60} がC集団とA'集団の代表粒径(C集団とA'集団のみからなる材料の平均粒径)とあまり変わらない。しかし、河床材料中にA''集団以下の材料が30%程度占めるような場合には、河床材料の平均粒径 dm 、あるいは60%通過粒径 d_{60} とC集団とA'集団の代表粒径との差異が大きくなり、河床の動きやすさを示す指標として適切でなくなる。そこで河床の動きやすさ、河床変動に影響を与える代表粒径 d_R を、C集団とA'集団のみからなる河床材料の粒度分布よ

り、その平均粒径あるいはその60%通過粒径を取ることとする。具体の検討方法は次のとおりである。

代表粒径 d_R は、河床材料の変動のしやすさを考慮して、河床材料の粒径加積百分率分布形の変曲点に留意して河床材料の集団をA~Cに分類し、通常は60%通過粒径 d_{60} で与える。ただし、図4-3の④に示すように、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 (d_{60}) を求め、これを代表粒径 d_R とする。

代表粒径 d_R は、平均粒径もしくは60%粒径で与えることになるが、ここでは作業の容易性を考えて、60%通過粒径 d_{60} で与えるものとした。

4-1-3 セグメント区分

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見ることができ、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。

セグメントとは、類似した河道特性を有している河道区分を指し、基本的には河床縦断勾配と河床材料から区分を行う。同じような河道特性を有する区間に分割することを「セグメント区分」といい、河道特性を把握分析する単位空間をセグメントごとに取り、これを「セグメント単位の見方」という。

日本の河川では、山間部の河岸や河床が岩であったり、崖からの崩壊礫などの供給がある区間をセグメントMといい、山間部を出てから海に向かう河道については概ね三区区分され、上流からセグメント1(扇状地河道)、セグメント2(中間地河道、自然堤防帯河道等)、セグメント3(デルタ河道)と呼んでいる。また、河床材料や河床波の発生状況から見て、河道特性上はセグメント2の区間をさらに二分割し、上流からセグメント2-1、セグメント2-2に分割して区分している。この各セグメント別の特徴を表4-2に示す。

また、実際の河川を詳細に見ると、扇状地河川ではセグメント1を2つあるいは3つの小セグメントに分割され、上流からセグメント1-①、セグメント1-②と呼ぶ。自然堤防と流れるセグメント2-1および2-2においても、支川の流入等による河床勾配の変化を考慮して小セグメントに区分する場合がある。

4-1-4 低水路内平均水深 (H_L)

低水路内平均水深は後述する出発水位と低水路粗度係数により、平均年最大流量時の流量をもとにした不等流計算を行い、前述の平均河床高からの水位差で算定する。ただし、場合によっては径深を用いたり、低水路が明確に判断される場合には、低水路の肩と平均河床高との差をもって算定してもよい。

表 4-2 各セグメントとその特徴¹⁾

	セグメント M	セグメント 1	セグメント 2		セグメント 3
			2-1	2-2	
地形区分					
河床材料の代表粒径 d_R	さまざま	2 cm 以上	3 cm ~ 1 cm	1 cm ~ 0.3 mm	0.3 mm 以下
河岸構成物質	河床河岸に岩が出て いることが多い。	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	1/400~1/5 000	1/5 000~水平	
蛇行程度	さまざま	曲りが少ない	蛇行が激しいが, 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。	
河岸侵食程度	非常に激しい	非常に激しい	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	
低水路の平均深さ	さまざま	0.5~3 m	2~8 m	3~8 m	

4-1-5 エネルギー勾配 (I_e)

エネルギー勾配は 4-1-4 項と同様に, 平均年最大流量流下時の不等流計算によって得られたエネルギー勾配を用いる。

セグメント 1 およびセグメント 2-1 の河道では, 河床勾配でエネルギー勾配を代替させてもよいが, セグメント 2-2 およびセグメント 3 では潮位等の影響を受けるので, 河床勾配を用いることは適当ではない。

4-1-6 摩擦速度 (u_*)

摩擦速度は壁面のせん断応力 (流体から見たときは掃流力) を水の密度で除した値であり次式で算定される。ここで考えている摩擦速度は, 平均年最大流量時の水理諸量をもとに算定する。

$$u_* = (g \cdot H_L \cdot I_e)^{0.5}$$

摩擦速度は, 全国河川の摩擦速度の平均値からのズレを調べることで, 河川の変化方向を判断できる。 H_L は R でおきかえてもよい。

4-1-7 無次元掃流力 (τ_{*R})

無次元掃流力 (τ_{*R}) は、河道の安定にかかわる河床構成材料の移動のしやすさを無次元化して現わしたものであり、流れが河床構成材料に及ぼす掃流力と、抵抗力との比で示している。このときの河床構成材料は代表粒径で評価する。

$$\tau_{*R} = u_*^2 / (s \cdot g \cdot d_R)$$

u_* : 摩擦速度

s : 河床構成材料の水中比重 (≈ 1.65)

d_R : 河床構成材料の代表粒径

g : 重力の加速度

この無次元掃流力を介して、後述する水深粒径比ごとの流速係数の関係をもとに、同一河道特性区間の粗度係数を算定することができる。また、算定した無次元掃流力 τ_{*R} や摩擦速度の縦断変化図を作成し、その縦断図と河床高の縦断変化図を図4-5に示すように比較することによって、河床高の変化と無次元掃流力または摩擦速度との関係を明らかにすることができる(具体的には、摩擦速度や無次元掃流力が上下流に比べて大きい区間は河床低下、上下流に比べて小さいところは河床上昇となっている)。

このような河床高と摩擦速度の縦断変化は、土砂動態マップとも関連しており、無次元掃流

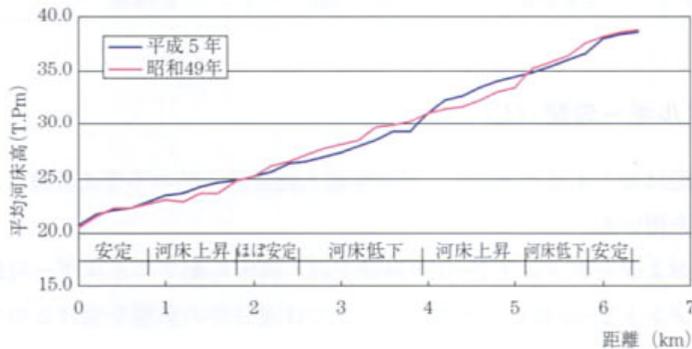


図4-5(a) 平均河床高縦断図の例

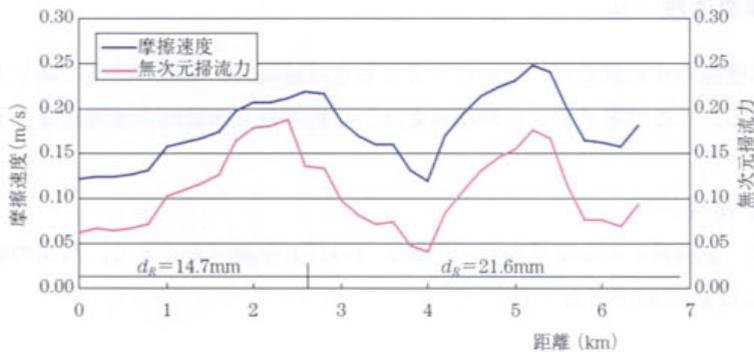


図4-5(b) 摩擦速度・無次元掃流力の縦断分布の例

力 τ_{*R} または摩擦速度の縦断変化図，土砂動態マップを用いた場合の河床変動の実態の把握方法を以下に示す。

- 土砂動態マップは、一連区間内の平均的な河床変動傾向を把握するために用いることができ、土砂量が上流から下流へ向かうに従って増えている場合は、河床低下傾向、反対に減っている場合は河床上昇傾向である。
- 摩擦速度の縦断変化は、局所的な河床高の変化を表わすことができ、上流の摩擦速度に比べて下流側の摩擦速度が大きければ河床低下、反対に下流側の摩擦速度が小さければ河床上昇となることが多い。ただし上流側は代表粒径が大きくなるため、無次元掃流力は小さくなる場合もある（図 4-5 参照）。

4-1-8 川幅水深比 (B/H_L)

砂州の変化など河床の三次元的形態については、この川幅水深比が重要になる。つまり川幅水深比は、砂州の性質や移動床の流れを判断する指標ということになる。

このときの川幅および水深は、平均年最大流量時の水理諸量を取るものとする。川幅水深比は低水路の安定性を判断する一つの指標となる。

4-1-9 水深粒径比 (H_L/d_R)

水深粒径比は小規模河床波の形成を現わす指標であり、低水路の抵抗（粗度係数）を決める要素となる。また、中規模河床波の性質等を判断する指標ともなる。

4-1-10 河道内の人為的影響等

これまで河道内においては、堰や橋梁等の河川構造物の設置や砂利採取等が行われており、それらの人為的インパクトによって、河床低下や洪水時の水位上昇を引き起こしている。河道計画を策定するにあたっては、既往の測量結果から、砂利採取等の人為的インパクトと河床変動量との関係を把握し、将来の河床変動を推定するうえでの基礎資料とするとともに、河川構造物の設置位置と諸元を把握し、洪水時の水位に与える影響について検討する。

また、河道計画は河道内の河川構造物の安全性のみならず、取排水施設の機能にも影響を及ぼすため、それらの施設の設置状況についても把握する必要がある。

4-1-11 河道の安定の見方

現状の河道が安定していることの確認は、原則として過去 10 年間程度の河道測量資料と、砂利採取等の人為的な影響を判断する資料や、河川横断構造物の建設状況をもとに実証的に判断する方法や、過去から現在までの空中写真から判断する方法がある。河道測量資料等から判断する場合は、平均河床高の変化と低水路幅の変化を総合的に見て、低水路の安定性について判断を行うことが重要であり、平均河床高の変化から判断すると、セグメントごとに異なるが、10 年間で 30~40 cm 程度以内の変化を一つの目安とすることもできる。

また、空中写真から判断する方法とは、同一区間の過去から現在までを空中写真を古い順番に並べ、撮影年次の異なる空中写真間で生じたイベント（大規模出水、砂利採取、河川構造物の設置、河川整備等）を、空中写真の横に記述する方法である。この方法を用いれば、洪水による砂州の移動現象や低水路法線の変化、河川構造物の整備による影響などを把握することができる。

もう一つ別の見方は、前述の平均年最大流量時の水理諸量をもとに、各セグメントごとに算定した摩擦速度や無次元掃流力をもとに判断する方法である。

図4-6、図4-7は、平均年最大流量時の τ_{*R} と d_R の関係と u_* と d_R の関係を示したものであり、 τ_{*R} と d_R が密接な関係にあることがわかる。また、 H_L/d_R は d_R が同じような河川間では限られた値の中に入るので、河床材料が同じような河川では洪水時の小規模河床波と流れの抵抗が同じようになる。また、図4-7は、平均年最大流量時の u_* と d_R の関係を示したものであるが、この線上からのズレの程度で河道の変化傾向を知ることができる。

現況河道の低水路の摩擦速度が、この線上よりも大きな場合は摩擦速度を減少する傾向にあり、この線上より下方にあるときは摩擦速度を上げるように作用する傾向になる。つまり無理

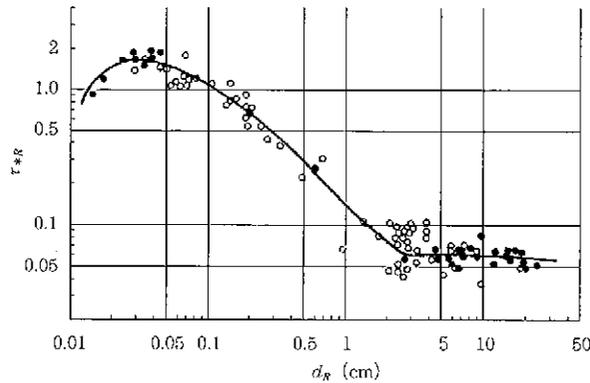


図4-6 日本の沖積地河川の τ_{*R} と d_R の関係²⁾³⁾⁴⁾⁵⁾

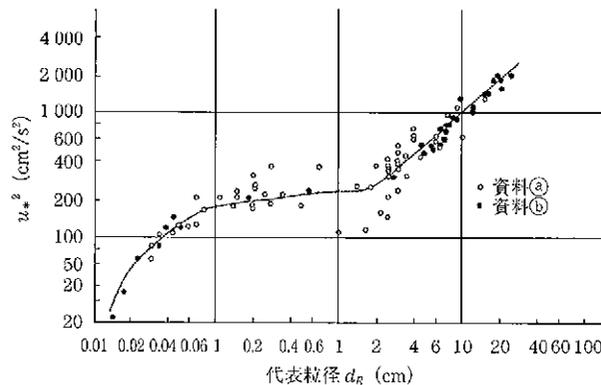


図4-7 日本の沖積地河川の u_*^2 と d_R の関係²⁾³⁾⁴⁾⁵⁾

な拡幅は河道を縮小する傾向となり、河床勾配を急にして摩擦速度を上げれば拡幅する傾向を示すことになる。ただし、上述した方法は一つの目安を示すものであるため、単純に得られた数値だけによって河道の安定性を判断することは避けるべきで、総合的な観点から判断する必要がある。また、 u_* 等を算定する場合には、エネルギー勾配を算定する区間をあまり短くせず、算定区間の代表的な勾配を用いて算定することが肝要である。

4-2 洪水時の水理特性の把握

河道計画を策定するためには、洪水時の河道内水位、河床変動状況、植生の倒伏状況、洪水規模と粗度係数との関係を把握したうえで、河道計画を策定するために必要な諸条件を設定しなければならない。

ここでは、河道計画を策定するための諸条件を設定するうえで必要となる洪水時の水理特性の把握方法について説明する。

4-2-1 洪水時の水位

(1) 既往洪水の流量と痕跡水位

河道計画を策定するにあたっては、粗度係数の設定が重要である。粗度係数を設定する方法の一つとして、痕跡水位を用いて逆算粗度係数を求める手法があり、この場合には痕跡水位と流量の精度が重要である。

痕跡水位の精度は本来さほど高くなく、測定方法によって精度がさらに低くなる可能性がある。測定の際はある程度の精度が確保できるように、以下の点に留意して測定する必要がある。

- ① ピーク水位発生後なるべく早く測定する。
- ② 痕跡の判定はなるべく泥の付着によるものとする。
- ③ ゴミで判定する場合、測定点周辺の付着状況をあらかじめ観察し、他の場所に比べて低いところに付着した場所は測定対象からはずす。
- ④ 水位計による最高水位と比較し、痕跡水位の精度のチェックを行う。
- ⑤ 縦断方向にも密に、一つ一つ確認しながら左右岸で痕跡を採取する。痕跡の間隔としては、直線部河道で50～100 mに1個は確実な資料が取れることが望ましい。
- ⑥ 低水路満杯流量規模の洪水の場合には、痕跡水位が低水路の河岸にある場合と、堤防の法面にある場合があるため、このような場合には痕跡水位の位置についても記録しておくことが望ましい。

測定した痕跡水位については、左右岸の水位差を求め、対象区間の河道特性と合せて、図4-8に示すような関係図を作成し、左右岸の痕跡水位差が発生した要因分析を行っておく必要がある。

流量については、主に流量観測所での流量観測結果を用いることになるが、観測方法等につ

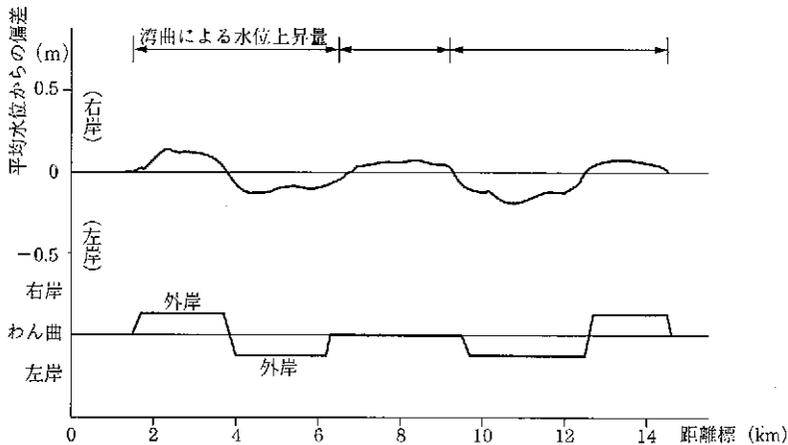


図4-8 河道特性と痕跡水位差の関係

いては、「建設省河川砂防技術基準（案）同解説調査編」の「第3章 流量調査」を参照されたい。なお、洪水流量は痕跡水位の逆算粗度係数を求めるうえで重要であることから、本川の流量が変わるような支川の合流や分流がある場合には、支川の合流や分流による流量の変化を把握することができる地点で流量観測する必要がある。また、流量観測所の水位・流量の観測結果から図4-9に示すように水位～流速、水位～流量の関係を整理し、

- 水位上昇に伴う流速の変化
- 高水敷上の粗度が流速に与える影響
- 河床形態の変化が水位や流速に与える影響（遷移河床の発生の可能性）

等について把握する必要がある。図4-9に示した水位～流速～流量の関係図をもとに、セグメントごとの主な特徴を整理すると次のとおりである。

- セグメント1は、水位～流速関係および水位～流量関係が若干ループを描くが、ほぼ直線に近い関係となる。また、同区間は高水敷幅が狭いことが多いことから、高水敷粗度の影響はほとんど受けない（水位～流速関係が水位に関係なく同一勾配の直線となる）。
- セグメント2—1の区間も、セグメント1と同様に水位～流速および水位～流量関係が大きくループを描くことはないが、水位上昇し流量規模が大きくなると、河床の粗度が平坦河床から砂堆の粗度が変わることから、水位上昇しても流速はあまり大きくならない。
- セグメント2—2は、河床勾配が緩くなるため、水位～流速関係および水位～流量関係のループが大きくなる。特に高水敷幅が広い河川では、水位が上昇すると高水敷上の抵抗によって水位～流量関係の傾きが変化する。また、流量が増大し、河床が遷移すると河床抵抗が減少するため、水位上昇に伴う流速の増分は大きくなり、水位と流速の関係が逆のループを描く。
- セグメント3は河床勾配がかなり緩いため、下流の水位（または潮位）の影響を受けやすく、また、高水敷幅がかなり広い河川が多いため、水位～流量関係は非常に複雑な関係を示す。水位が上昇すると低水路よりも高水敷上の抵抗を大きく受けることになり、水位が

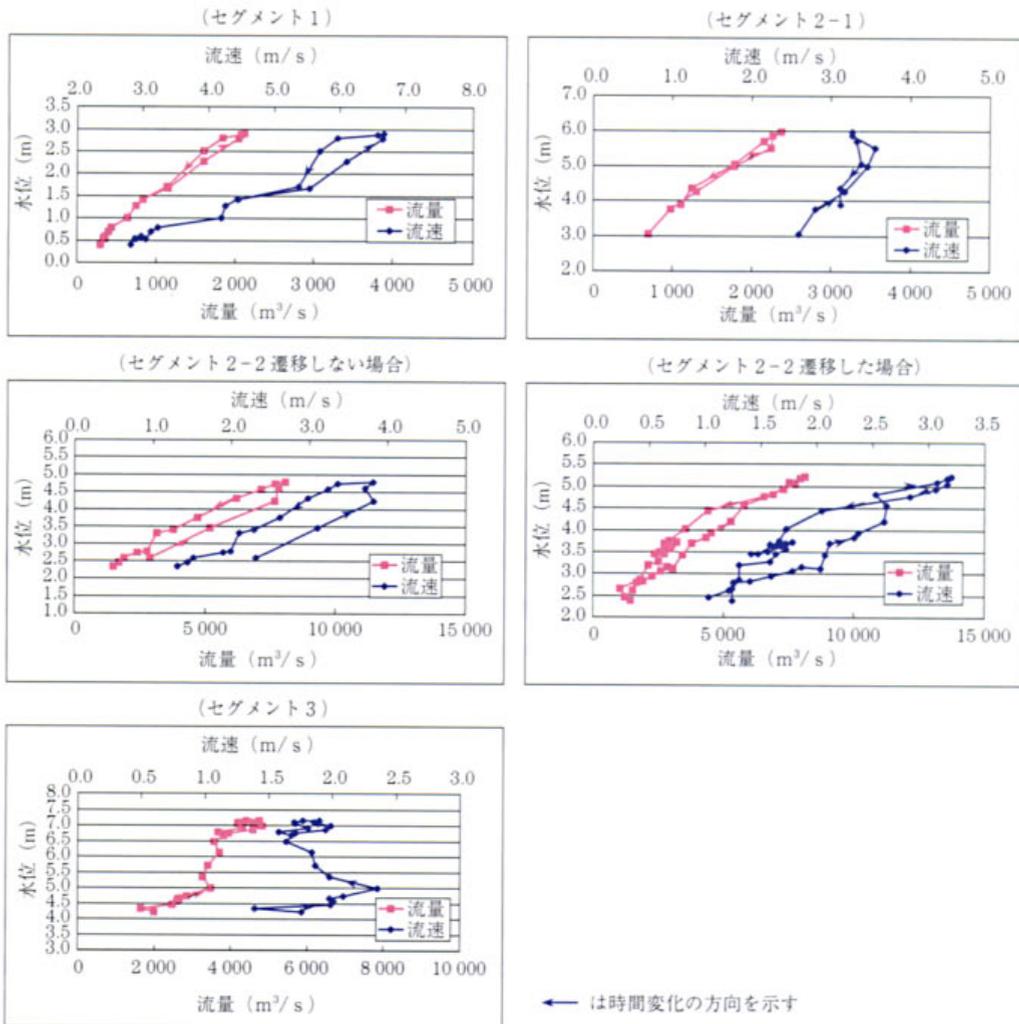


図 4-9 洪水時の水位～流速～流量の関係の例

上昇しても流速がほとんど変化しないような水位～流速関係を示す場合が多い。

(2) 支川合流部における本川と支川の関係

本川と支川の流域の規模に大きな差が見られる場合には、洪水ピークの発生時刻が本川と支川とで大きく異なる場合がある。このピーク時差は本川と支川の降雨分布や規模によって異なるものである。このような河川において、支川の逆算粗度係数の算定や河道計画を策定する場合には、合流前後の本川に水位・流量観測所を設置し、本川と支川のピーク時差を十分に把握したうえで、出発水位や支川流量を決める必要がある。

また、本川の流量に影響を与えるような支川等が合流する場合には、合流によって生じるエネルギー損失によって水位が上昇したり、合流部の形状によっては偏流が生じ、河床洗掘や河岸侵食を引き起こす場合があるため、支川合流部においては、合流部の角度、本川と支川の川幅、既往洪水の本川と支川の合流時差と流量比、合流部の流向と河床形状等について把握する

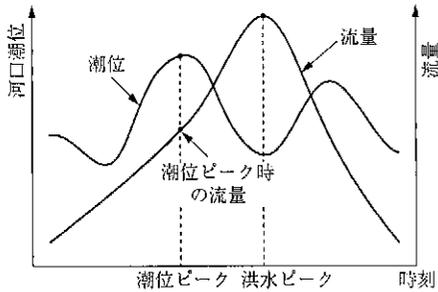


図4-10 潮位と洪水にピーク時差がある場合の水位・流量ハイドログラフ

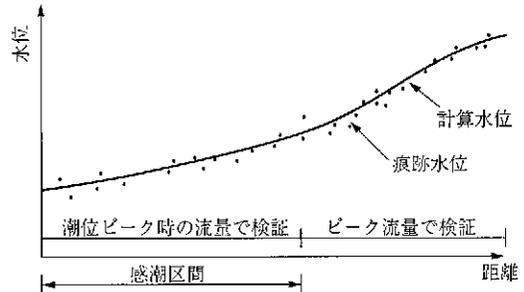


図4-11 潮位と洪水にピーク時差がある場合の痕跡再現流量の考え方

必要がある。

(3) 河口部の潮位変動と痕跡水位との関係

一般に洪水痕跡水位は、洪水のピーク時の水位としてとられ、ピーク流量を用いて逆算粗度係数が算定される。ただし、台風の規模や経路によっては、図4-10に示すように河口部の潮位変動が激しくなり、洪水流量のピーク前に潮位のピークが発生することがある。この現象は、感潮区間の痕跡水位は洪水時のピーク流量で決まるものではなく、ピーク潮位で決まることを指しており、このような場合の痕跡水位を再現するために用いる流量は、図4-11に示したように、河口部の潮位変動と洪水流量との時差を十分に考慮したうえで設定する必要がある。

4-2-2 洪水時の河床変動

洪水時には、流水によって河床を形成している土砂が流送され、掃流力が大きい箇所では河床洗掘が生じ、掃流力が小さい箇所では土砂の堆積が生じる。洪水時の河床洗掘が進むと、場合によっては河岸侵食等によって堤防の破壊等が発生する場合があります。そのための対策が必要となる。特に洪水時の河床洗掘が著しい箇所として、次の箇所があげられる。

- わん曲部外岸側
- 構造物周辺
- 狭窄部
- 単列または多列砂州による淵発生部

このような箇所においては、洪水時の空中写真や既往の平面・横断測量結果から、水衝部の発生位置と最大洗掘深の変化を十分に把握する必要がある。なお、セグメント1やセグメント2—1のように、河床に単列または多列の砂州が発生する区域においては、洪水時に砂州の移動とともに局所洗掘の発生位置が変化するため、このような区域では、既往の空中写真等からみお筋の経年変化等を把握し、局所洗掘の発生位置を推定する必要がある。

また、河口部において河口砂州が発生している河川においては、ある一定流量以上の洪水が発生すると、砂州がフラッシュされる場合がある。このような河川においては、河口部における既往の横断測量結果を用いて横断河床形状の重ね合せ図を作成し、既往洪水の流量・水位資料と合せて、洪水による河口砂州フラッシュの有無とフラッシュ状況を把握するとともに、汀

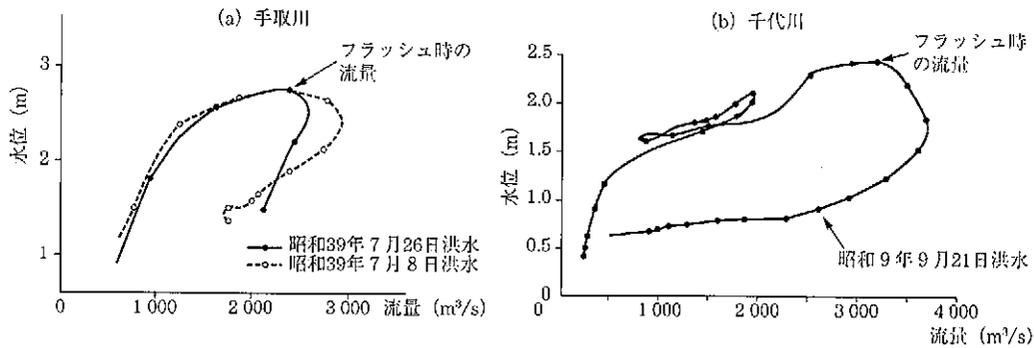


図 4-12 河口部の水位と流量の関係^{6),7)}

線測量結果をもとに作成した汀線の経年変化図や、空中写真による河口部の砂州の変動状況から、過去から現在までの砂州の変化やフラッシュ後の砂州の復元状況を把握する。

さらに、洪水規模と河口砂州のフラッシュ現象との関係把握や砂州のフラッシュ現象を含む河口部の河床変動計算を行う際の流量規模の目安とするため、河口部に最も近い水位・流量観測所の時刻流量・水位データから、図 4-12 に示すような水位と流量の関係を調べ、河口砂州がフラッシュされる際の流量規模（流量が増加しているにもかかわらず、水位が低下するときの流量）を把握する。

河口部に砂州が形成されていない河川においても、洪水時に河床低下や河床上昇が生じている場合があるため、洪水前後の測量結果や場合によっては洪水時の河床高の観測を行い、洪水時の河床変動状況を把握することが望ましい。

4-2-3 洪水規模と粗度係数

洪水時の水位が高水敷高を越え高水敷が冠水すると、高水敷上に繁茂した植生によって流れの抵抗が大きくなるが、水深がさらに増大すると高水敷上の植生が倒伏し、抵抗が小さくなる場合がある。このため既往洪水の水位、流量、洪水後の植生の状況から、洪水の規模に応じた水位、植生の倒伏状況との関係を把握する必要がある。また、低水路についても、洪水の規模により河床波が変化する場合があり、粗度係数が大きく変化するので注意が必要である。

4-3 河川環境特性の把握

(1) 配慮すべき環境要素

河川の有する重要な機能として、水と緑の貴重なオープンスペースである良好な河川環境がある。河川環境は、河川の自然環境（河川の流水に生息・繁茂する水生動植物、流水を囲む水辺地等に生息・繁茂する陸生動植物の多様な生態系）、河川と人のかかわりにおける生活環境（流水の水質（底質を含む）、河川にかかわる水と緑の景観、河川空間のアメニティ等）であると定義されており、河道計画を通してこのすばらしい河川環境の維持・増進を図る必要がある。

特に都市化の進展や生活活動の拡大に伴い、身近な自然環境としてその保全を図ることが急務となっている。また、河川は淡水域の生態系としての貴重な場でもあり、生物の多様性を維持する観点からの河川の自然環境保全は重要である。

河道計画に関する検討を行うにあたっては、河川環境の維持・増進や生態系の保全等の自然環境の保全を念頭におくことはもちろんのこととして、防災空間、レクリエーション利用をはじめとする河川空間の利用にも配慮する必要がある。このため、平成2年度より「河川水辺の国勢調査」を開始し、河道の形態、生物の状況、河川利用の状況など河川環境の把握に努めてきた。また、河川の適正な利用と河川環境の保全を図るため、各河川で「河川環境管理計画」が策定された。

河道計画を検討する場合にも、このような河川の多機能性に配慮し、現在の貴重な自然環境を保全し、現状の河道特性に大幅な改変を加えることなく、所与の安全を確保することが必要である。「河川環境管理基本計画」には、低水路計画に関わる水辺の自然環境と高水敷計画にかかわる高水敷の自然環境の保全と、空間利用の形態が整理されており、最近の市民の要請等を踏まえつつ、この計画にも十分配慮する必要がある。当然、利水計画等の他の諸計画と整合を図ることも必要である。すなわち、策定する河道計画が今後の河川環境、および周辺環境を形成していくという意識をもって計画することが肝要である。

配慮すべき環境要素としては自然生態系、景観、利用の3要素であり、これらの河川環境に配慮するためには、環境調査等を行い、周辺住民の要望等を勘案して将来を十分に見すえて河道計画を策定する必要がある。

河川の生物生息空間の固有性は、河川の物理的な作用に大きな影響を受けながら形成され変化するため、河川の物理作用と切り離すことはできないことから、河川の生物生息空間と先で整理した河道特性を重ね合せて整理を行い、対象河川の環境特性に関する検討を行うことが重要である。

また、現況河道の流下能力が大幅に不足している場合には、引き堤によって河積確保を図らなければならない場合があり、そのような場合には、沿川堤内地の生物の生息環境や土地利用状況を踏まえて、河道計画を策定する必要がある。

(2) 河道内の樹木特性

河道内に繁茂している樹木は、洪水流下の妨げとなり、洪水時の水位上昇の原因となる場合がある。河道計画の策定にあたっては、現況の樹木特性を十分に把握したうえで、将来の樹木群の繁茂状況とその管理を想定する必要がある。

現況の樹木群の状況を把握する項目と、把握方法を以下に示す。

① 樹木群の繁茂状況

樹木群の繁茂状況は、空中写真と現地調査をもとに把握する。また、将来の樹木群の繁茂状況を推定するため、既往の空中写真や植生分布調査結果から、樹木群の経年変化を洪水の発生状況と合せて整理する必要がある。

② 樹木群の樹種と密生度

樹木群の密生度は、樹木群による水位上昇を求めるうえでの重要な要素であり、樹木群ごとに、その密生度を把握する必要がある。把握方法は現地調査によるものとし、目視による粗密の判断だけでなく、樹種、樹木群の高さ、枝下長さ、胸高直径、単位面積当たりの樹木本数、下草の有無について樹木群ごとに把握することが望ましい。

③ 洪水時の状況

樹木群の洪水時の状況（直立、たわみ、倒伏の別）によっては、洪水流に与える影響が異なる。洪水後の現地調査をもとに、洪水後の植生の倒伏状況を把握するとともに、不等流計算による樹木群付近の流速または摩擦速度から、水理量と植生の倒伏状況を整理する必要がある。

(3) 河川環境情報図の作成⁸⁾

計画流量を計画高水位以下で安全に流下させるためには、低水路や高水敷を掘削しなければならず、その際には、掘削後の河床の安定性だけでなく、河川環境にも十分配慮する必要がある。

河道計画の策定を行う際に必要となる河川環境に関する情報を、適切に把握することを目的に、河床形態や植生の状況、生物の確認状況、生物の生息・生育環境、河川環境の特徴などをわかりやすく図面上に整理した河川環境情報図を作成する。

河川環境情報図の作成手順を図4-13および以下に示す。なお、河川環境情報図の作成例を図4-14に示す。

① 植生図・航空写真等による河川環境の特徴の整理

植生図、航空写真、横断図、縦断図等により、自然特性、社会的特性、経年的な変遷等を整理することを通して、生物の生息・生育基盤となる河川環境の特徴を整理する。この整理をもとに環境区分（案）を作成する。

② 生物群集の特徴の整理

河川水辺の国勢調査などにより得られた生物リスト等を用いて、生物群集の特徴を整理する。

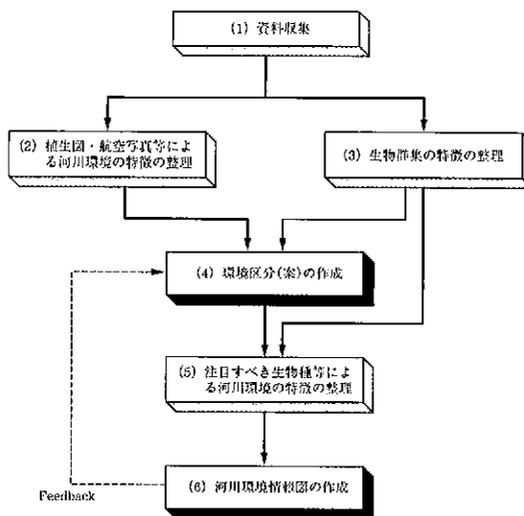


図4-13 河川環境情報図の作成の流れ⁸⁾

これにより河川環境を生物から見た特徴や、自然特性や社会的特性などを把握するとともに、③における注目すべき生物種等選定のための基礎資料を提供する。

③ 注目すべき生物種等からの河川環境の特徴の整理

環境区分(案)と「②生物群集の特徴の整理」の整理結果にもとづいて、注目すべき生物種等を選定するとともに、注目すべき生物種等の生態的特徴や分布状況などにもとづいて、河川環境の特徴を整理する。また、選定された注目すべき生物種等の生態的特徴などから環境区分(案)を修正し、河川環境情報図を作成する。

4-4 流域特性の把握

河道計画を策定するにあたっては、河道内(左右岸の現況堤防で囲まれた範囲内)の河道特性や自然環境を把握するだけでなく、堤内地を含めた流域の特性を把握する必要がある。特に、引き堤や堤防高の嵩上げを行わざるを得ない場合には、沿川家屋の密集状況や土地利用状況、文化財、貴重種等の現状を十分に把握し、用地取得の難易について配慮するとともに、堤防高の嵩上げを行う場合には、堤内地の地形や地盤高を把握し、破堤・氾濫が生じた場合の被害ポテンシャルについても配慮する必要がある。

また、河道計画策定区間の上流端や支川からの供給土砂量によっては、将来的に河床高が変化することがあるため、ダムに堆積した土砂量や河床変動量の経年変化、砂利採取量等から現状の土砂流出量を把握するとともに、流域の開発に伴う流出土砂の増大(土地の造成に伴う流出土砂の増加)、ダムや砂防施設の建設等による供給土砂量の減少などについても検討し、将来の河床高を推定する必要がある。

河道内の自然環境は、流域との密接なつながりをもって形成されているものであり、河道計画の検討においても、支派川との連続性や周辺植生との関連等についても、十分に把握しておく必要がある。

引用・参考文献

- 1) 山本晃一：沖積河川学，山海堂，1994。
- 2) 山本晃一：河道特性論，土木研究所資料第2662号，pp. 37-50，1988。
- 3) 山本晃一ほか：澗沼川洪水観測所レポート(1)1988~1989，土木研究所資料第2895号，pp. 19~80，1990。
- 4) 山本晃一，高橋 晃：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. 199~204，1993。
- 5) 山本晃一：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. 156~158，1991。
- 6) 山本晃一：河口処理論 [1]，土木研究所資料第1394号，1978。
- 7) 鳥取工事事務所：千代川河口処理について，1963。
- 8) 河川環境表現の手引き(案)，(財)リバーフロント整備センター，1999。

第5章 流下能力の検討

5-1 流下能力検討の基本的な考え方

河道計画を検討するにあたっては、現況河道の流下能力を把握したうえで、計画流量を計画高水位以下で安全に流下させるための河積確保を行う必要があり、そのためには、洪水時の水位を決める要因を的確にとらえた水位の予測を行う必要がある。

河道計画における水位は図5-1に示す要素から構成され、全川もしくは複数断面に及ぶ水位への定常的な影響は、計画高水位の内数として考慮する必要があることを考えると、流下能力の検討にあたっての水位の算出には、計画高水位以下に取り込む要素はすべて考慮する必要がある。なお、風浪、うねり、跳水等の局所的・一時的な水位への影響は、堤防余裕高に含まれるものとする。

流下能力の検討にあたっての水位算出において、考慮すべき要素の見込み方を以下に示す。

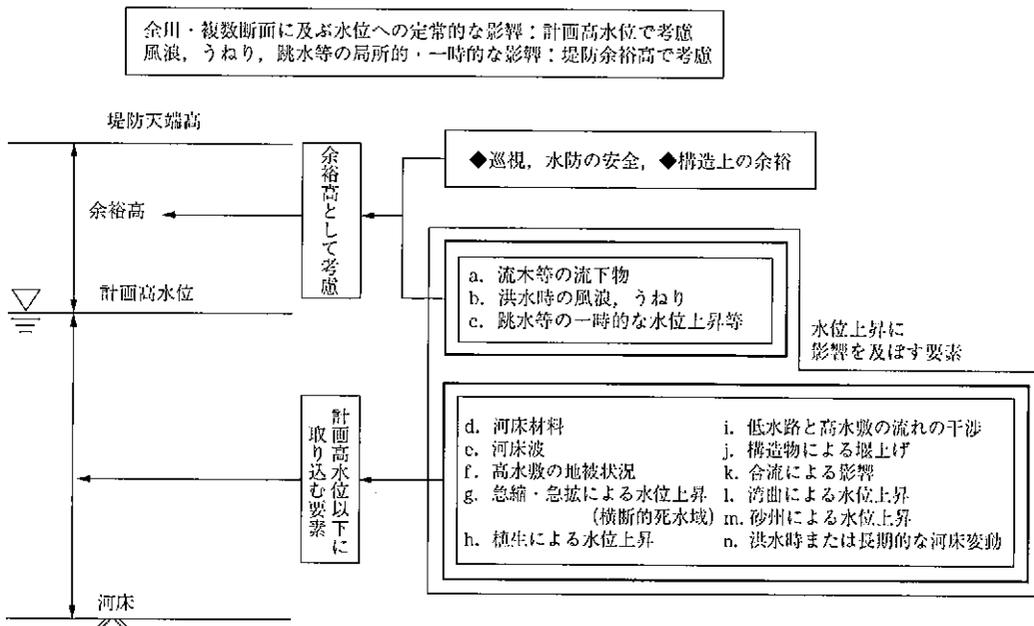


図5-1 水位の構成要素

① 河床材料、河床波、高水敷の地被状況

河床材料および河床に形成されている小規模河床形態の河床波については、低水路粗度係数として評価する。なお、小規模河床形態は流量規模によって変化することがあるため、流量規模の変化による河床形態の変化を考慮して設定する。

高水敷の地被状況については、洪水時の植生の倒伏状況を考慮して、高水敷上の水深と植生の高さ等から、高水敷粗度係数あるいは死水域として評価する。

② 急縮・急拡および植生による水位上昇量

急縮・急拡による水位上昇量は、死水域を設定することによって評価する。また、河道内に繁茂した樹木については、その密生度を考慮したうえで死水域として評価する。ただし、樹木の密生度が粗の場合や、河積に対して樹木群の面積割合が多く死水域として扱うことが適切でない場合には、高水敷粗度係数として評価する場合もある。

③ 低水路と高水敷等での流れの干渉

低水路と高水敷の境界や樹木境界などのように、横断的な流速差が大きい箇所においては、断面分割を行うことにより流速差を求め、その流速差によって生じる摩擦抵抗を準二次元解析法の中で評価する。

④ 合流による影響 (Δh_{01})

支川合流による影響は、合流地点の本川および支川の川幅や角度等の諸元を与え、水理計算法の中で合流によるエネルギー損失として評価する。

⑤ 構造物による堰上げ (Δh_{02})

堰・橋梁等の構造物による堰上げは、構造物設置または計画地点の断面を挿入し、構造物の諸元等を与えることにより、水理計算法の中で評価する。

⑥ わん曲および砂州による水位上昇 (Δh_{03} および Δh_{04})

わん曲による水位上昇量は、わん曲部の平面形状から求められた曲率半径と川幅、流速から求めた水位上昇量を、砂州による水位上昇量は、直線部における既往洪水の左右岸痕跡水位差から求めた水位上昇量を、それぞれ水理計算法によって求めた水位に別途上乘せすることによって評価する。

⑦ 洪水時または長期的な河床変動

洪水時または長期的な河床変動が著しい地点においては、一次元河床変動計算によって、その変化を推定することによって評価する。

これまでの河道計画では、②の急縮・急拡による水位上昇と、⑦の洪水時または長期的な河床変動を除く要素をすべて粗度係数として主に取り扱ってきたが、本手引きにおいては③は流速差による抵抗（境界混合係数を使用）、④～⑥は水位上昇量 ($\Delta h_{01} \sim \Delta h_{04}$) として取り扱い、粗度係数の中に含めない。

5-2 検討手順

河道計画を検討するにあたっては、現況河道の流下能力を把握したうえで、計画流量を計画高水位以下で安全に流下させるための河積確保を行う必要がある。流下能力検討は、現況河道の特性や洪水時の水理特性等を踏まえたうえで、出発水位や低水路粗度係数、死水域等の不等流計算を行ううえで必要となる条件設定を行い、既往洪水の逆算粗度係数の算定と流下能力の検討を行うものである。流下能力の検討手順を図 5-2 および以下に示す。

流下能力検討にあたっては、低水路粗度係数の設定を行わなければならないが、その設定には第 1 段階と第 2 段階がある。第 1 段階の設定では現況河道特性や洪水時の水理特性、高水敷の地被状況等の河川環境、河道状況から設定した条件をもとに不等流計算、または不定流計算によって痕跡水位による逆算粗度係数を求めるとともに、流量観測地点の低水路流速から逆算粗度係数の算定を行う。推定粗度係数の設定が可能な区間においては、逆算粗度係数と推定粗度係数の比較を行い、既往洪水時の逆算粗度係数と推定粗度係数の差が 10～15% 以内であれば、推定粗度係数の算定方法を用いて流下能力を算定することになる。しかし逆算粗度係数と推定粗度係数の差が大きい場合には、第 1 段階から第 2 段階に進んで代表粒径や高水敷粗度係数等の見直しを行い、再度低水路粗度係数の設定を行う。

なお、洪水時の流れが明らかに潮汐の影響を受け、水位と流量が一对一の関係にならない場合には、不定流計算を用いて粗度係数の逆算を行う。ただしその場合には、下流端の時刻水位と時刻流量が必要である。

実績洪水の痕跡水位には、下記の要因が含まれている。

- 摩擦抵抗（河床材料、小規模河床波、高水敷の地被状況）
- 樹木群や急縮・急拡による死水域
- 断面内の流速差の干渉
- 支川合流による水位上昇
- 構造物による水位上昇
- わん曲や砂州による水位上昇
- 波浪やうねりによる水位上昇

このうち、「波浪やうねりによる水位上昇」は、主にセグメント 2-2 や 3 のように、流れが穏やかな河川で顕著に見られるものであり、痕跡水位の再現の中には含めない。

洪水痕跡水位の再現および低水路粗度係数の逆算は、以下の手順に従って行う（図 5-3、図 5-4 参照）。

- ① 出発水位、洪水時のピーク流量、洪水時の植生の状況等を設定するとともに、低水路粗度係数を仮定し、準二次元解析手法により断面平均水位を算出する。
- ② 支川の合流・構造物の影響（ Δh_{01} 、 Δh_{02} ）を考慮した水位を算出し、これと左右岸痕跡水位の平均値と比較する。計算水位と痕跡水位の平均値が一致しない場合には、低水路粗

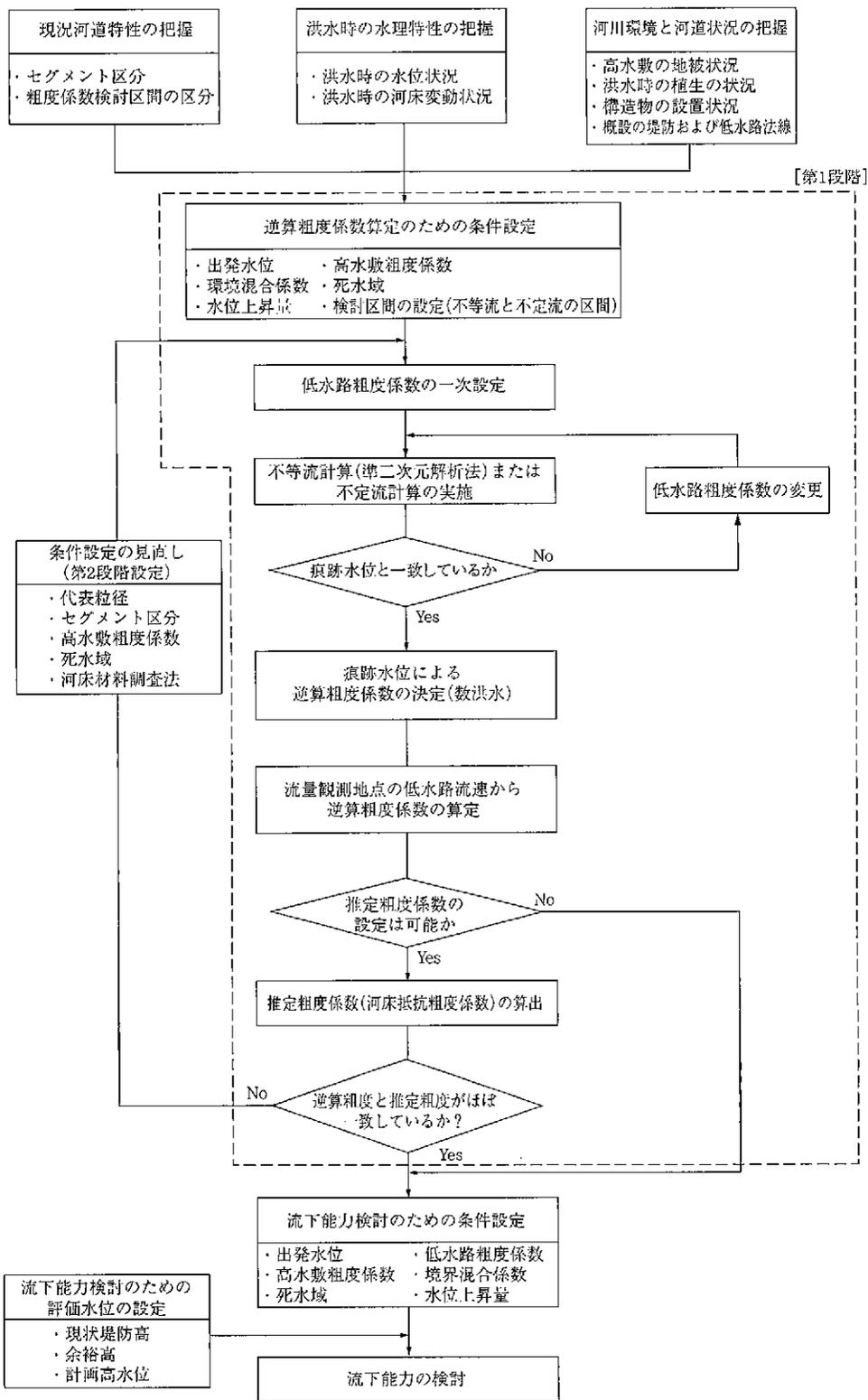


図 5-2 流下能力検討フロー

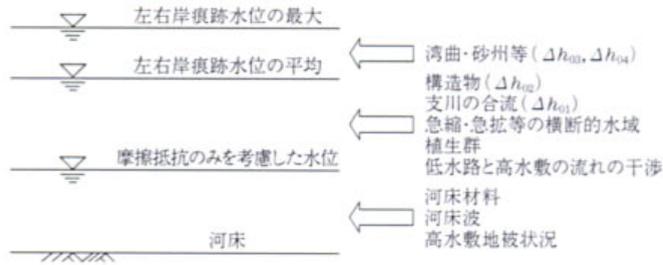


図 5-3 痕跡水位と計算水位の比較

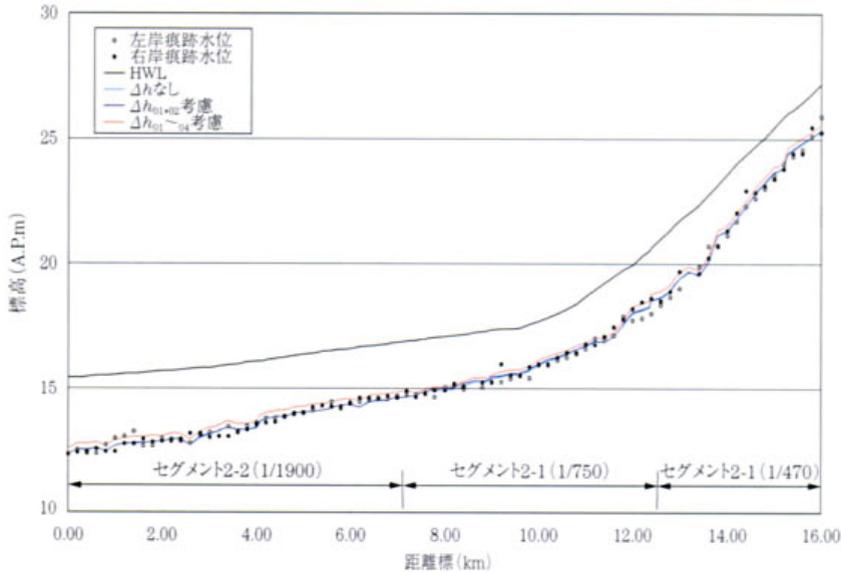


図 5-4 痕跡水位と計算結果の比較の例

度係数を変更して再度計算を行う。

- ③ ②の水位にわん曲および砂州等による水位上昇 (Δh_{03} , Δh_{04}) を考慮した水位を求め、左右岸痕跡水位の最大値と比較する。ただし、 Δh_{04} については中規模河床波が発達しており、それによる左右岸の水位差が洪水時に生じる区間において考慮するものとし、わん曲部においては Δh_{03} と Δh_{04} のいずれか大きいほうの値を用いる。

5-3 水位計算法

5-3-1 準二次元解析法¹⁾

低水路粗度係数の逆算や、流下能力の検討に使用する計算手法は、以下に示す「準二次元解析法」を用いることを基本とする。ただし、堤防法線と低水路法線の平面形状が洪水流下に影響を及ぼす場合や、既設構造物等によって平面的に流れが大きく変化する場合など、一次元解析では取り扱うことができない場合には、他の水理計算法（二次元または三次元計算等）を部

分的に用いる場合もある。

準二次元解析法は、河道断面内を横断形状や樹木群繁茂状況、粗度の状況から、顕著な流速差が生じると考えられる位置でいくつかの断面に分割し（図5-5参照）、分割断面ごとの平均流速と断面平均水位を求めるものであり、「横断面内流速分布の計算」と「縦断水位の計算」で構成されている。

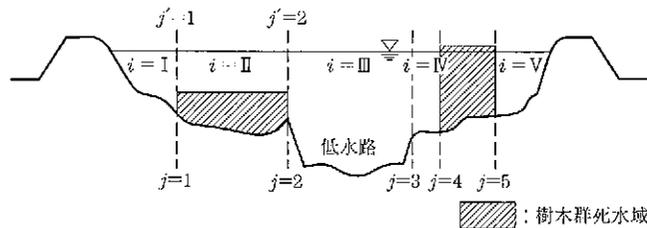


図5-5 断面分割の例

(1) 横断面内流速分布の計算

横断面内を植生の繁茂や粗度状況等から、数区間に分割した分割断面で等流近似が成立するものとし、運動式と流量の連続条件から各分割断面での平均流速を求める。

分割断面*i*についての運動式は次のように表わされる。

$$\frac{n_i^2 \cdot u_i^2}{R_i^{1/3}} S_{bi} + \frac{\sum_{j_i} (\tau'_{ji} S'_{wji})}{\rho g} + \frac{\sum_{j_i} (\tau_{ji} S_{wji})}{\rho g} = A_i \cdot I \quad (5.1)$$

ここに、 S_b ：底面せん断力が働く潤辺長、 S_w ：樹木群境界の潤辺長、 S'_w ：樹木群境界以外の分割断面境界の潤辺長、 τ ：樹木群境界に作用するせん断力、 τ' ：樹木群境界以外の分割断面境界に作用するせん断力、 u ：分割断面での平均流速、 n ：マンニングの粗度係数、 R ：径深、 A ：死水域を除いた面積、 I ：エネルギー勾配、添字*i*：*i*番目の分割断面についての量であることを表わす、添字*j_i*：*j*番目の分割断面境界あるいは樹木群境界についての量であることを表わす（ただし、*i*番目の分割断面にかかわる境界のみが対象）。

せん断力 τ 、 τ' は、隣り合う分割断面間の流速差の2乗の形で表わされる。

$$\tau_{ji} = \rho \cdot f \cdot u_i^2 \quad (5.2)$$

$$\tau'_{ji} = \rho \cdot f \cdot (\Delta u_{ji})^2 \cdot \text{sign}(\Delta u_{ji}) \quad (5.3)$$

ここで、 τ は樹木群内を死水域($u=0$)と考えているため、流速そのものの2乗に比例する形となる。 Δu は τ' が作用する境界に接する隣の断面との流速差である。 f は境界混合係数と呼ばれ、境界部での流体混合の大きさを表わすパラメータである。

また、 $\text{sign}(\Delta u)$ は Δu が負値のとき（当該断面の平均流速が隣の分割断面の平均流速より小さい場合）は -1 、正値のときは $+1$ を取る。

すなわち、流速の速いほうの流れに対しては τ' が抵抗として流速を減ずる方向に作用し、流速の遅いほうの流れには τ' が加速する方向に作用する。

計算においては、式(5.1)～(5.3)を連立させて、ニュートン法などを用いて解くことにより u_i/\sqrt{I} を求め、次の連続式が成り立つようにエネルギー勾配 I を定めて最終的に u_i を得る。

したがって、エネルギー勾配 I は与えるものでなく、 u_i と同様に、式 (5.1)～(5.4) を解いて得られる未知数の一つである。

$$Q = \sum_i (u_i \cdot A_i) \quad (5.4)$$

ここに、 Q は全断面の流量である。

(2) 縦断水位の計算

(1) の計算で求められる横断流速分布 u_i を用いて、河床・河岸および個々の樹木群が洪水流に与える抵抗 τ_r を直接算出し、流れ方向の運動量方程式を適用して縦断水位を計算する。すなわち、

$$\frac{1}{gA} \cdot \frac{\partial}{\partial x} \left(\int u^2 dA \right) + \frac{\partial H}{\partial x} + \frac{\tau_r}{\rho g A} = 0 \quad (5.5)$$

$$\frac{\tau_r}{\rho g A} = \frac{1}{\rho g A} \sum_i \left\{ \frac{\rho g n_i^2 \cdot u_i^2 \cdot S_{bi}}{R_i^{1/3}} + \sum_j (\rho \cdot f \cdot u_i^2 \cdot S_{wji}) \right\} \quad (5.6)$$

$$\int u^2 dA = \beta \sum_i (u_i^2 \cdot A_i) \quad (5.7)$$

ただし、 β は運動量補正係数であり、 $\beta \doteq 1.1$ あるいは 1.0 を標準とする。

前項で得られる u_i を用いて、式 (5.6)、(5.7) を計算し、式 (5.5) をもとに次の標準逐次計算を行うことにより、 H_2 を求める。

$$\left[H + \frac{1}{gA} \int u^2 dA \right]_2 - \left[H + \frac{1}{gA} \int u^2 dA \right]_1 = \frac{\Delta x}{2} \left\{ \left[\frac{\tau_r}{\rho g A} \right]_1 + \left[\frac{\tau_r}{\rho g A} \right]_2 \right\} \quad (5.8)$$

ここに、添字 1 は下流断面の既知水理量で、添字 2 は上流断面の水理量で、 H_2 (および H_2 から決まる径深などの断面諸量) が未知であり、式 (5.8) より得ることができる。

ただし、式 (5.6)、(5.7) の計算においては u_i を求めるうえで仮定した水位による断面諸量を用いているので、上流側断面について仮定したこの水位が式 (5.8) により得られた H_2 と異なる場合、式 (5.8) から得られた H_2 を条件として、式 (5.1)～(5.8) による一連の手順を H_2 が収束するまで繰り返す必要がある。

5-3-2 境界混合係数 (f) の設定方法

① 境界混合係数の設定

低水路と高水敷の境界、死水域とする樹木群境界においては、参考-1 に示したような平面渦が発生し、抵抗を増大させる。5-3-1 項で述べた準二次元解析法では、このような境界で発生する平面渦による抵抗を、境界で発生する流速差によるせん断力として表わすこととしており、その際に用いる係数として、図 5-6 に示す境界混合係数 (f) を第一次近似値として与えるものとする。ただしこの境界混合係数は、新たな実験結果や現地観測結果が得られ次第修正を行う場合がある。また、樹木群下流の死水域部の境界混合係数 (f) は樹木群と同じ f 値を与える。

この数値は、低水路と高水敷の粗度の違いや水深、流速等の水理量によって変わることがあ

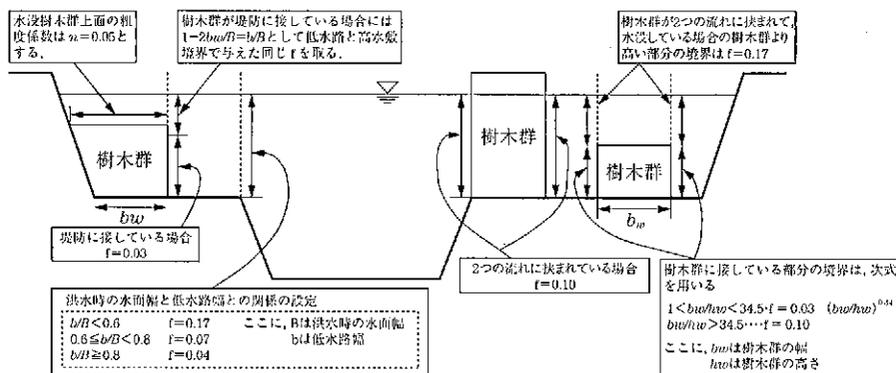


図 5-6 標準的な境界混合係数 f の値

るため、既往の実験結果²⁾や現地河川での検討結果をもとに、標準的な値を示したものである。この値を用いたことによって、既往洪水の低水路逆算粗度係数が異常値を示す場合や、この値を用いた場合の低水路と高水敷の流速が実測値と異なる場合には、洪水時の観測結果等をもとに境界混合係数の見直しを行う必要がある。

② 計算断面の設定

河道横断形状と死水域とする樹木群の分布状況から、顕著な流速差が生ずると考えられる位置で横断面をいくつかの断面に分割して、これを計算断面として取り扱う。

基本的な分割は、「低水路区間」、「死水域とする樹木群区間」、「低水路以外で死水域として取り扱わない高水敷区間」の3種類となる(図 5-7 参照)。

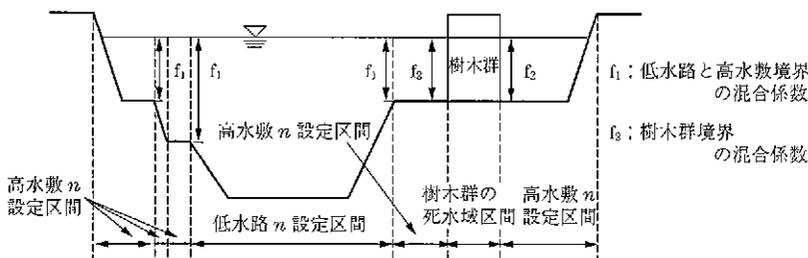


図 5-7 断面内の分割と境界混合係数の設定位置

(参考-1)

複断面開水路における平面渦の発生

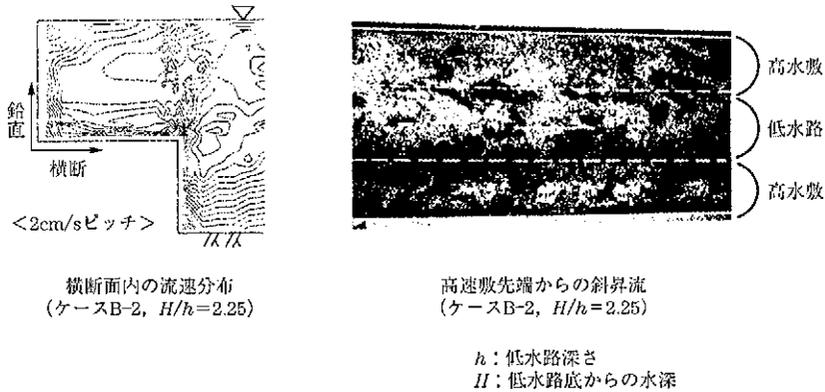
(1) 低水路と高水敷の間の混合現象

木下³⁾や福岡・藤田⁴⁾は、複断面河道における模型実験結果により、境界部の流れに①低水路肩付近で間欠的に発生するボイルと、②鉛直の軸を持つ大規模な平面渦の2種類の組織的な構造があることを明らかにしている。

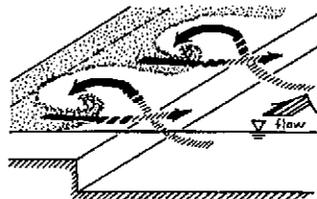
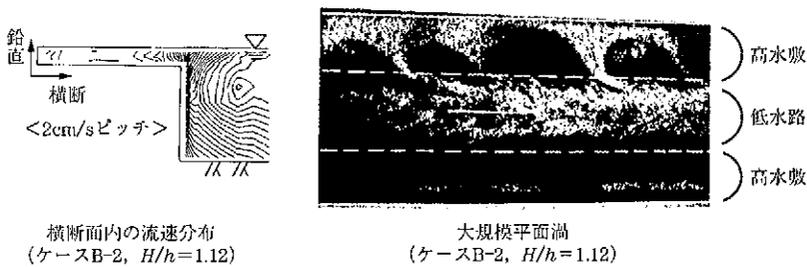
参考図 1-1 は、低水路肩付近で発生するボイルを示しており、低水路河岸上の流速がそ

の両側に比べてかなり減少していることがわかる。これらは、高水敷先端からの斜昇流によるものと考えられる。また、参考図 1-2 は、鉛直の軸を持つ大規模な平面渦の状況を示す。この渦はその影響範囲がほとんど高水敷内に位置し、規則的であり、かつ長時間にわたってその形を維持するという特質を持つ。また、渦は水平方向の流速変動だけでなく、湧昇流と沈降流を伴っている。

以上のように、高水敷と低水路の流体の場合は二次元的ではなく、組織的な湧昇・沈降流を伴う三次元的な形で表われる場合があり、その現象は低水路と高水敷の粗度によって変わる。高水敷と低水路の粗度係数が同じ場合には、 H/h の増大に伴い大規模平面渦から斜昇流へ流れの形態が変化するのに対して、高水敷粗度係数が低水路に比べて大きい場合には、すべての領域で大規模平面渦の発生が見られる。これらのことは、大規模平面渦発生の必要条件が低水路と高水敷上の流れとの顕著な流速差であることを示している。また、大規模平面渦発生の有無は b/B (b : 低水路幅, B : 全幅) にはほとんど影響されない。



参考図 1-1 高水敷先端からの斜昇流の状況⁴⁾



大規模平面渦に伴う流れの三次元構造

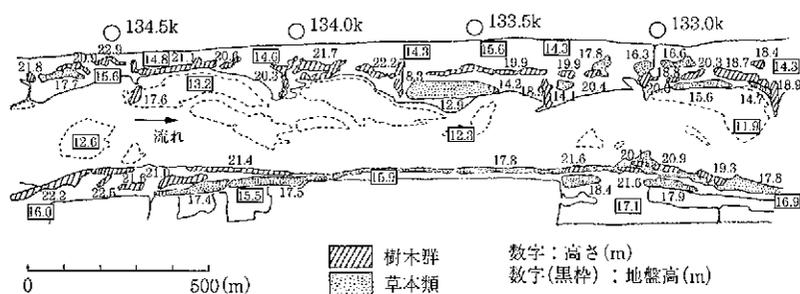
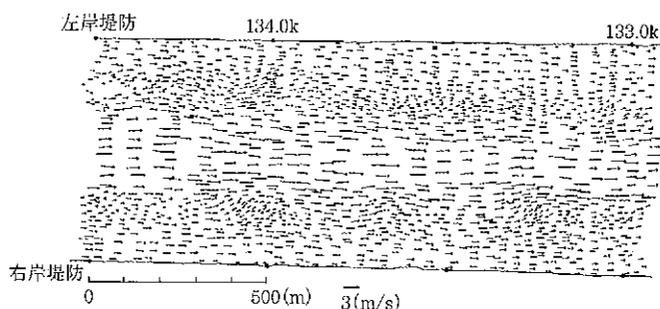
参考図 1-2 大規模平面渦の状況⁴⁾

(2) 水河岸沿いの樹木群による平面渦⁵⁾

河道内に樹木群が繁茂している場所では、洪水時に主流と樹木群の間で水平混合が生じることが報告されている。

参考図 1-3 は、利根川新川通 (133~139 K) における樹木位置および高さの分布を示したものであり、参考図 1-4 に昭和 58 年洪水における航空写真から作成した表面流速ベクトルを示す。

この図を見ると、低水路河岸沿いに繁茂している樹木群に沿って、低水路から高水敷、高水敷から低水路へ流れ込む蛇行流の構造が見られ、この渦の発生が、流れの抵抗を増大させている。

参考図 1-3 樹木位置および高さの分布⁵⁾参考図 1-4 航測写真から求めた表面流速ベクトル⁵⁾

5-3-3 射流制御の計算法

河道の水理計算を行う場合、射流または射流に近い状態となり、不等流計算の水面勾配が逆転する場合がある。洪水痕跡水位が逆勾配現象を呈していないにもかかわらず、このような結果となる理由は、平面的死水域を十分考慮していなかったり河道内に繁茂している樹木を死水域として取り扱ったために、急激な河積の変化が発生したことが原因にあると考えられる。したがって、このような急激な河積の変化が生じている区間において不等流計算を行うにあたっては、以下に示す対応を行う必要がある。

なお、射流が発生する原因には、急勾配河川において高流速となる場合や床止め工等によっ

て河床高に急激な落差が生じる場合もあり、このような場合には、5-3-1項で述べた水理計算法ではなく、常流と射流が混在する場の流れの解析が可能な水理計算法の選定や、支配断面位置での河道区分等の工夫が必要である。

① 適正な死水域設定

河道断面が急拡および急縮する場合においては、急拡の場合は 5° 、急縮の場合は 26° の角度をもって死水域の法線設定を行うことになっており（後出の図5-21参照）、この死水域設定が適正に行われているかのチェックを行い、必要に応じて死水域の設定範囲を変更する。なお、樹木群の評価方法については、洪水時に現地で生じている状況を勘案して決める必要があり、特に樹木群の幅が広い場合に死水域として取り扱くと、河積を極端に狭めることになるため、その場合には粗度係数として評価することが望ましい場合もある。

② 内挿断面の作成

上下流断面で大きく河積が変化している場合には、内挿断面を挿入することにより急激な河積の変化を極力少なくする。内挿断面の設定方法の考え方の一例を以下に示す。

不等流計算（標準逐次計算法）は、図5-8に示すように断面1、2における dh/dx の平均値が $(h_1 - h_2)/dx$ と等しくなるように h_2 を定める計算法である。したがって dh/dx が大きな値である場合は、計算値が等流水深を下回るような理論上あり得ない水面形を計算するおそれがある。

不等流計算で正しく水位計算を行うためには、内挿断面を設けるなどによって、 dh/dx の値に従って Δx の大きさも変える必要がある。

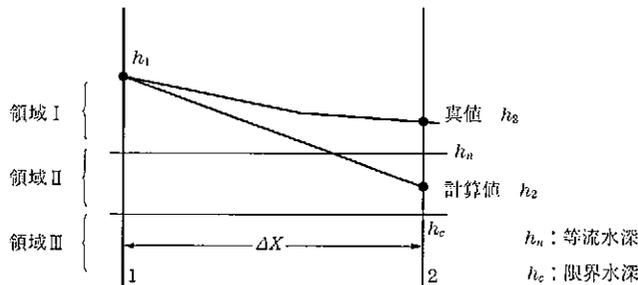


図5-8 水面形の計算誤差

5-3-4 水位上昇量の算定方法

水位上昇量 ($\Delta h_{01} \sim 04$) として、現時点で評価すべき要素は次のように考える。（図5-9参照）。以下、具体的な評価方法について述べる。

① 合流による水位上昇 (Δh_{01})

合流付近において合流角度が大きい場合や、流量規模に大差がある場合などには、両方の河川あるいは一方の河川に大きな堰上げが生ずる場合がある。ここでは運動量保存則を適用した下記の推定式により水位上昇量の影響を評価する。図5-10に示す破線で囲まれる支配断面に

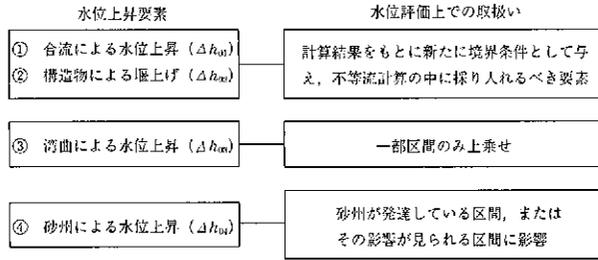


図5-9 水位上昇量として評価すべき要素の評価上の取扱い

対して、本川（河道3）方向の運動量保存式を立てると次のようになる。

$$\begin{aligned} & \beta \rho Q_2 \frac{Q_2}{B_2 h_2} \cos \theta_2 + \beta \rho Q_1 \frac{Q_1}{B_1 h_1} \cos \theta_1 - \beta \rho Q_3 \frac{Q_3}{B_3 h_3} \\ & = B_3 \cdot \frac{1}{2} \rho g h_3^2 - B'_2 \cos \theta_2 \frac{1}{2} \rho g h_2^2 - B'_1 \cos \theta_1 \frac{1}{2} \rho g h_1^2 \end{aligned} \quad (5.9)$$

ここで、 ρ ：水の密度、 g ：重力加速度、 Q ：流量、 B ：水路幅、 h ：水深、 θ ：図5-10に示す合流角度、 β ：運動量補正係数（ ≈ 1.1 ）、 B' ：図5-11参照、添字1、2、3はそれぞれ河道1、2、3の諸量であることを示す。

合流前の川幅の和と合流後の河川の川幅が大きく異なる場合には、図5-11のように合流前の川幅を補正する。

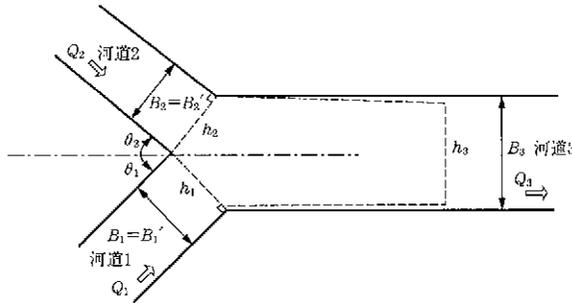


図5-10 合流点の取扱い

①合流前の川幅が合流後の川幅より広い場合 ($B_1 + B_2 > B_3$)

②合流前の川幅が合流後の川幅より狭い場合 ($B_1 + B_2 < B_3$)

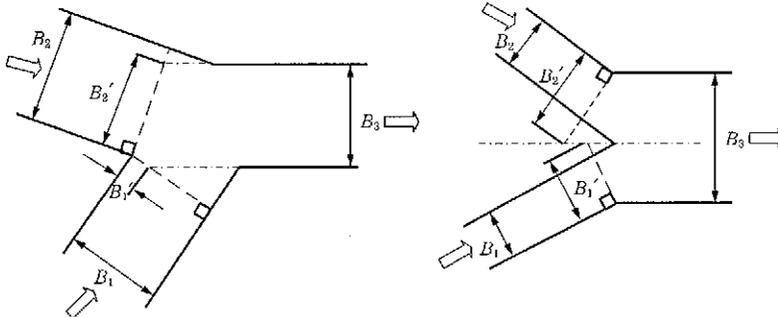


図5-11 $B \neq B'$ の場合の B' の取り方

図 5-11 の①には合流前の川幅の合計が、合流後の川幅より広い場合を示している。この場合には、

- (a) 下流の川幅 B_3 を図中一点鎖線に示すように、流下方向を考慮して上流に延伸する。
- (b) 図の破線のように合流前各河川の合流点から対岸に向かって、合流前河川の流下方向に垂直に線を引く。
- (c) この一点鎖線と破線との交点をもとに、図のように合流前河川の川幅を補正する。
- (d) 補正された川幅 (B_1' , B_2') を計算に用いる。

図 5-11 の②には合流前の川幅の合計が、合流後の川幅よりも狭い場合を示している。この場合には、

- (a) 合流点付近で合流後河川の流下方向を勘案して、図のように合流点から直線（図中の一点鎖線）を引く。
- (b) 図の破線のように合流前各河川の屈曲点から対岸に向かって、合流前河川の流下方向に垂直に線を引く。
- (c) 屈曲点の堤防法線から引いた垂線（図中の破線）と、一点鎖線との交点をもって図のように川幅を補正する。
- (d) 補正された川幅 (B_1' , B_2') を計算に用いる。

なお、本計算では河道を長方形断面と仮定し、また水位、速度が不均一となる区間がそれほど大きくないと考えて重力および摩擦の効果を無視している。従来より行われてきた実験結果などを根拠に $h_1 \doteq h_2$ と仮定し、若干の変形を施すことにより式 (5.9) は次のように変形される。

$$\left[\cos \theta_2 \frac{B_2'}{B_3} + \cos \theta_1 \frac{B_1'}{B_3} \right] \left[\frac{h_1}{h_3} \right]^3 - [1 + 2 \beta F_r^2] \frac{h_1}{h_3} + 2 \beta \left\{ \left[\frac{Q_2}{Q_3} \right]^2 \frac{B_3}{B_2} \cos \theta_2 + \left[\frac{Q_1}{Q_3} \right]^2 \frac{B_3}{B_1} \cos \theta_1 \right\} F_r^2 = 0 \quad (5.10)$$

ここで、 $(Fr)^2 = (Q_3)^2 / \{g (B_3)^2 (h_3)^3\}$

式は (h_1/h_3) に関する 3 次方程式であり、合流後水深 h_3 が既知であれば式 (5.10) を解くことにより、合流前水深 $h_1 \doteq h_2$ を得ることができる。また、 $\Delta h = h_1 - h_3 \doteq h_2 - h_3$ である。なお、支川と本川の合流角度や流量比によっては、式 (5.10) による解が「1」以下 (Δh がマイナスを意味する) になる場合があり、この場合には $h_1 = h_2 = h_3$ として計算を進める。

具体的な計算手順は次のとおりである。

- イ. 合流点あるいは屈曲点から川幅の 3~4 倍下流に行った地点における水深 (h_3) などの水理量を、下流からの不等流計算により求める。
- ロ. 式 (5.10) に上記の水理量を代入して、合流点あるいは屈曲点直上流側の水深を求める。
- ハ. 合流による水位上昇量の算定は、原則として合流点あるいは屈曲点より上流の水位をロ. で求めた水深 (h_1 , h_2) を下流端条件とした不等流計算結果と、合流による水位上昇を考慮しなかった場合の不等流計算結果との差 (Δh_{01}) をもって判定する。

不等流計算では水位は算定しているが、自然河川のような不定形な形状に対して水深を定義

することは困難である。本検討では水深を代替する河道特性として径深 (R) を用いる。一方、樹木群を考慮した不等流計算では、横断面内の流速分布を算定するとき、各分割断面ごとの径深 R_i および流積 A_i を算定しているので、ここでは、この各分割断面ごとの R_i と A_i をもとに、井田法により求めた径深 R をもって水深とする。

$$R = \{ \sum (R_i^{2/3} \cdot A_i) / \sum A_i \}^{3/2} = h$$

② 構造物の堰上げによる水位上昇 (Δh_{02})

ここでは、橋脚による水位上昇を考え樹木群を考慮した不等流計算の中に、式 (5.11) を組み入れる。

橋脚についてはドビッソン公式を用い、支配断面となる堰については、段落ち部の損失水頭を考慮して水位上昇量を推定する。

$$\Delta h = \frac{Q^2}{2g} \left\{ \frac{1}{C^2 b_2^2 (H_1 - \Delta h)^2} - \frac{1}{b_1^2 H_1^2} \right\} \quad (5.11)$$

Δh : 橋脚による堰上げ高

Q : 流量

C : ピアの平面形状によって定める定数 (すでに設置されている橋脚については、その形状に応じて設定するが、新規の橋脚については $C=1.0$ とする)

b_1 : ピア上流側の水路幅

b_2 : ($b_2 = b_1 - \Sigma t$) 全水路幅から、ピア幅の総計を削除した幅

t : ピア1基の幅

H_1 : ピア上流側の水深

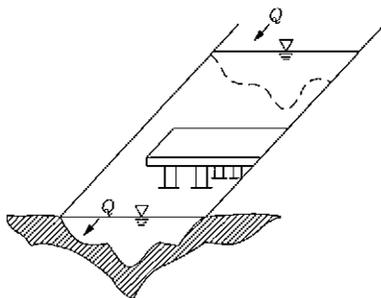
この式はエネルギー式から導かれたもので、ドビッソン式では係数はピア形状によって異なる値を与えている。これは実際の流れの幅 b_2 に対して、ピア上端部付近の流れの剥離による縮流によって有効幅が減少することに対応している。なお、横断形状が不規則な河道を対象とすることから、水深のかわりに径深を採用することが望ましい。

橋脚を考慮していない計算水位と橋脚を考慮した計算水位の差を Δh_{02} とする。ただし、フルード数 $Fr > 0.6$ 以上となる区間については、構造物の堰上げによる水位上昇量は局所的であり、その影響は上流にほとんど伝わらないことから、橋脚による堰上げは考慮しない。なお、流下能力判定などで流量規模によってフルード数が増減し、 $Fr > 0.6$ を基準として橋脚による堰上げの有無を判断すると流下能力を適正に評価できない場合には、現地の状況等を十分に勘案して適切な設定を行う必要がある。

【参考 潜水橋による堰上げの影響】

潜水橋の上下流を支配断面として矩形断面を想定して、運動量保存則を適用し整理すると

$$\begin{aligned} \Delta h &= h_2 - h_1 \\ &= D / \left\{ \frac{1}{2} \rho g B (h_2 + h_1) - \frac{\rho Q^2}{B} \cdot \frac{1}{h_1 h_2} \right\} \end{aligned} \quad (5.12)$$



となる。

D は障害物に働く抗力であり、次式で算定する。

$$D = \frac{1}{2} \rho \left(\frac{Q^2}{A_1 - a} \right)^2 a \cdot C_D \quad (5.13)$$

式 (5.13) を式 (5.12) 式に代入すると下式になる。

$$\begin{aligned} \Delta h &= h_2 - h_1 \\ &= \left(\frac{1}{A_1 - a} \right)^2 a \cdot C_D / \left\{ gB (2h_1 + \Delta h) - \frac{2Q^2}{Bh_1(h_1 + \Delta h)} \right\} \end{aligned}$$

h_1 : 下流側水深 (低水路平均水深)

h_2 : 上流側水深 (低水路平均水深)

B : 水路幅

A_1 : 下流河積

a : 障害物群を流れ方向に投影した面積

Q : 流量

C_D : 障害物の抗力係数

g : 重力の加速度

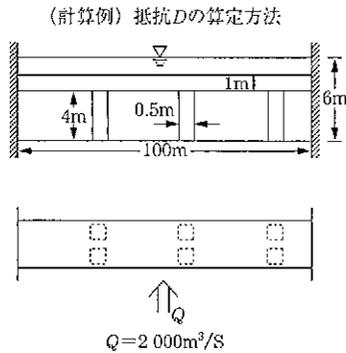
Δh : 水位差 (上流側水深 - 下流側水深)

ここに、各障害物の抗力係数は障害物の形状に合わせて次のように設定する

障害物の形状と抗力係数 C_D

形状	C_D
桁	1.62
直方体	1.62
円柱	0.98
小判 (楕円) 型	0.49

ただし、フルード数 $Fr > 0.6$ 以上になる区間については潜水橋による堰上げは考慮しない。

(計算例) 抵抗力 D の算定方法

① 橋脚の投影面積

$$a = 0.5 \text{ (m)} \times 4 \text{ (m)} \times 3 \text{ 本} = 6 \text{ (m}^2\text{)}$$

② 橋脚の抵抗力係数 C_D

直方体であることから、

$$C_D = 1.62$$

③ 桁の投影面積

$$a = 100 \text{ (m)} \times 1 \text{ (m)} = 100 \text{ (m}^2\text{)}$$

④ 桁は抵抗力係数

桁は直方体であることから

$$C_D = 1.62$$

抵抗力 D は

$$D = \frac{1}{2} \rho \left(\frac{2,000}{600 - 106} \right)^2 \cdot (6 \times 1.62 + 100 \times 1.62)$$

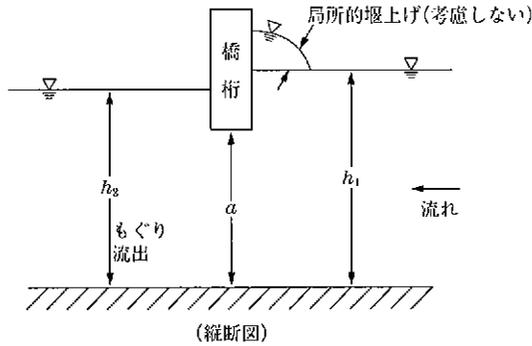
で算定される。

【参考 橋桁に流水が作用する場合の水位上昇の影響】

橋桁による水位上昇量の算定は、ゲートの滞り流出の公式を準用した次式を用いる。なお、上流からの流れが橋桁にぶつかることによる「局所的な堰上げ」は局所的な水位上昇であり、生じる範囲も狭いことから、橋桁に流れがぶつかることによる水位上昇を考慮しない。

$$\frac{h_1}{h_2} + \left(\frac{h_2}{h_1} \right)^2 \frac{1}{2} F_{r2}^2 = \frac{F_{r2}^2}{2\beta^2} + 1 - 2F_{r2}^2 \left(\frac{1}{\beta} - 1 \right)$$

ここで、 F_{r2} = 下流側のフルード数、 $\beta = a/h_2$ である。 β はどんなに小さくても 0.95 程度であることから、 $\beta = 0.95$ として橋桁による水位上昇量を求めると次表に示すとおりとなる。



橋桁による水位上昇の記号説明
橋桁による水位上昇の算定例(β=0.95の場合)

F_{r2}	0.1	0.3	0.5	0.7
$(h_1 - h_2)/a$ [%]	0.001	0.02	0.04	0.07

③ わん曲による水位上昇 (Δh_{03})

わん曲部外岸の水位差 Δh を推定する方法が、次式のように提案されていることから、わん曲部における水位上昇量の推定は次式で算定する。

$$\Delta h = \frac{BV^2}{grc} \tag{5.14}$$

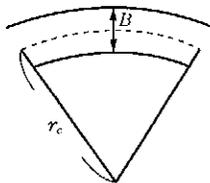
$$\Delta h_{03} = \Delta h / 2 \tag{5.15}$$

不等流計算ではわん曲部の中央部に沿う水位が計算されるものと考え、わん曲内岸では $\Delta h / 2$ だけ低下し、外岸では $\Delta h / 2$ だけ上昇するものとする。

ここに B はわん曲部の水面幅、 V は断面平均流速、 g は重力の加速度、 rc は水路中央の曲率半径である。 rc は平面図より平均的な半径を求める。

なお、ここで得られた水位上昇はわん曲部による一時的な水位上昇であり、上流水位を算定する場合の不等流計算の境界条件とはせず、局所的なものとして当該わん曲区間の樹木群を考慮し、支川の合流による水位上昇と、橋脚による水位上昇を加えた不等流計算によって得られた平均水位に加算する。

わん曲による水位上昇量を算定するための具体方法は次のとおりである。



わん曲の判断： $rc/B < 10$ を対象とする。

B : 水面幅 B は、わん曲区間の水面幅の平均値とする。

V : 流速 V は、わん曲区間の計算断面の平均値とする。ただし、このときの平均流速 V は、樹木群を考慮した不等流計算に支川の合流、および橋脚の影響を

加えた不等流計算から、全断面を対象とした平均流速 V を用いるものである。この平均流速 V は、各分割断面の流積 A_i と検討流量 Q をもとに $V=Q/\Sigma A_i$ より求められる値を用いる。

当該わん曲区間の水位上昇量 Δh_{03} は、わん曲区間で一定値とする。

【参考 わん曲区間の取り方】

わん曲による水位上昇量 Δh_{03} は、わん曲区間の取り方によって大きく異なる。特にわん曲による水位上昇量の算定に用いる式 (5.14) は、縦断的に一様の曲線半径を有するわん曲が長く連続した状態(一様わん曲河道)を想定して導いた式であるため、わん曲角度が小さい区間や川幅に比べて曲率半径が長い区間に、この式を適用すると過大な水位上昇量を与えることになる。

このような点を考慮して、以下に示す方法をわん曲による水位上昇量 Δh_{03} を求める際のわん曲区間の取り方の目安とするが、わん曲区間の判定が困難な場合には、河道の法線形と痕跡水位の左右岸水位差からわん曲区間を判断するのが望ましい。

- わん曲区間は、曲率半径川幅比が $rc/B < 10$ の区間を対象とする。
- わん曲角が概ね 60° 程度以上になれば、河道内の流れは一様わん曲河道に近い流れとなることから、わん曲角が 60° 以上の区間をわん曲区間の目安とする。
- 2つのわん曲区間が連続して存在する場合には、上流わん曲区間と下流わん曲区間の間が、川幅の3倍以上離れていれば、別のわん曲区間として扱う。

④ 砂州等による水位上昇 (Δh_{04})

河床勾配が $1/2000$ よりも急勾配の河道区間 (主にセグメント1とセグメント2の河道) においては、単列または複列の砂州等が形成されている。このような中規模河床形態が形成されると、参考-2に示すように河道内を流れが蛇行し、直線河道であっても左右岸に水位差が発生することになる。この河床に形成された砂州によって生じる左右岸の水位差の半分の値を砂州による水位上昇量といい、図5-12および以下に示す方法で算定する。なお、河床勾配が $1/2000$ よりも緩やかな河道区間においても、図5-15の阿賀野川下流部の水位調査結果のように(阿賀野川は $0.0\sim 6.0\text{k}$ 区間がセグメント3)、砂州等による水位上昇が見られ、そのときの水位上昇量は平均水深の 2.5% 程度である。

【痕跡水位の記録が多くある場合】

- 河道を一連の河床勾配を有している区間 (小セグメント) に分割し、ほぼ直線河道と思われる区間の大きな洪水時の水理量 (平均水深、水面幅) と、左右岸痕跡水位差を整理する。この場合、河道内に設置された構造物によって左右岸痕跡水位に大きく差が生じる場合があるため、構造物の設置状況と痕跡水位との関係を十分に調べ、極端な水位上昇が生じている痕跡水位は除く。
- 整理した洪水の流量規模が、計画流量とほぼ同規模であれば、上記で整理した痕跡水位差の上位3個の平均値に $1/2$ を乗じ、それを Δh_{04} とする。
- 流量規模が小さく砂州上の水深が浅い場合には、砂州上の蛇行流が顕著であるため左右岸の水位差が大きくなるが、流量規模が大きく砂州上の水深が深い場合には蛇行流による影

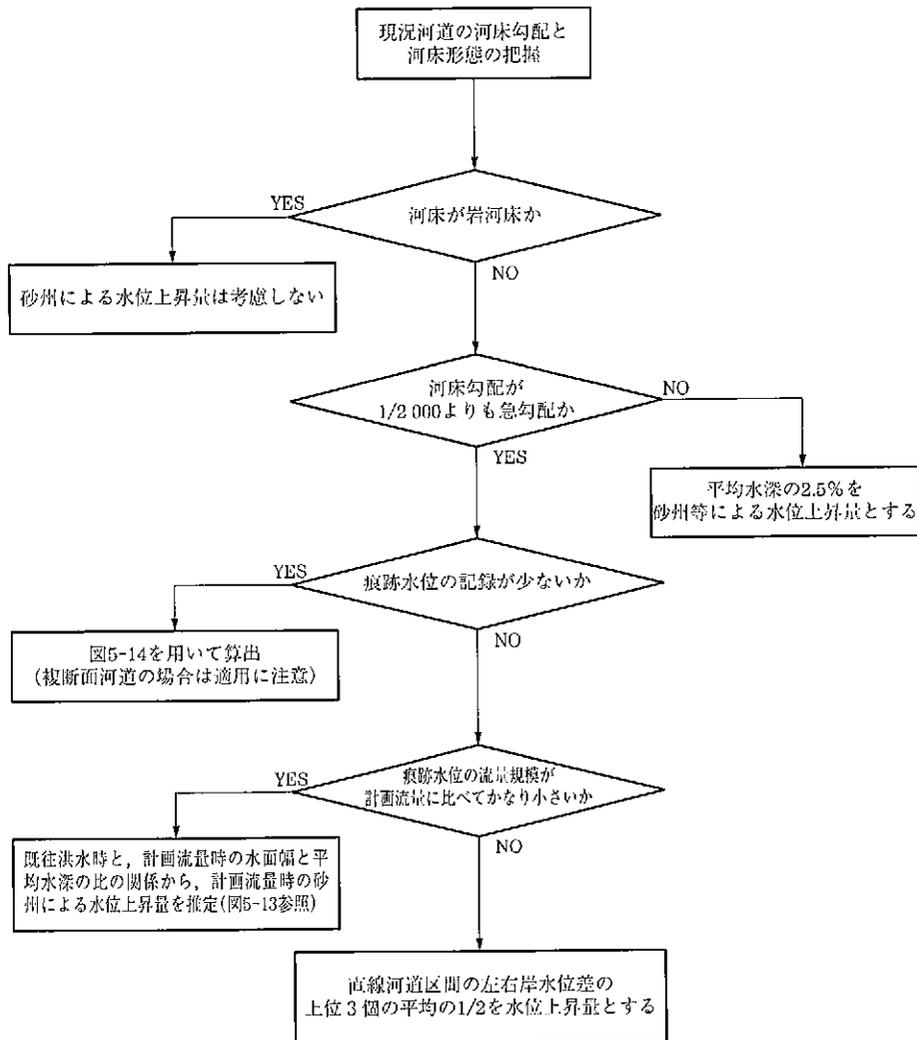


図 5-12 砂州による水位上昇量の算定フロー

響は小さくなるため、左右岸の水位差は小さくなる。したがって、上記した方法によって左右岸痕跡水位差から水位上昇量を求める際の洪水の流量規模が、計画流量に比べてかなり小さい場合には、流量規模の違いによる水位上昇量の変化を考慮する。具体的には、整理した洪水時の区間別の痕跡水位差の上位3個の平均値に1/2を乗じた値と、水面幅 B と平均水深 H_m との比 (B/H_m) との関係を作成し、その関係図をもとに、不等流計算による計画流量時の水面幅 B と平均水深 H_m との比から、計画流量時の砂州による水位上昇量を求める(図5-13参照)。

【痕跡水位の記録が少ない場合】

- 痕跡水位の記録が少ない場合には、図5-14に示す水位上昇量 $(\Delta h_{04}/H_L)$ と河床勾配の逆数 $(1/I_b)$ の関係から Δh_{04} を求める。なお、ここでの水面幅 B および平均水深 H_L は、平均年最大流量時の水理量を用いる。ただし、図5-14は単断面河道に近い河川のデータを

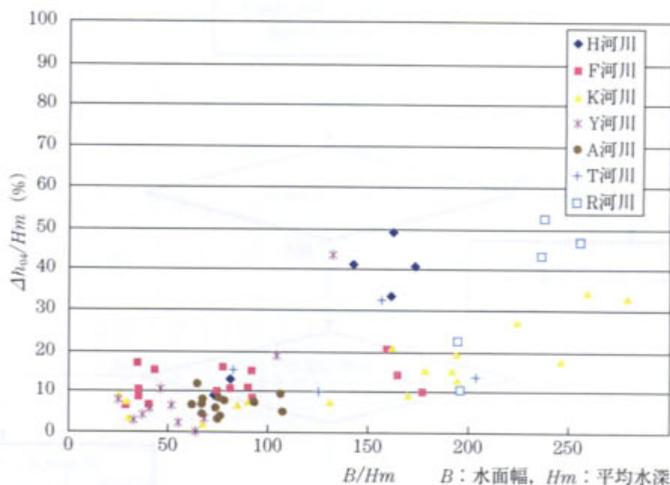


図 5-13 B/H_m と砂州による水位上昇量との関係

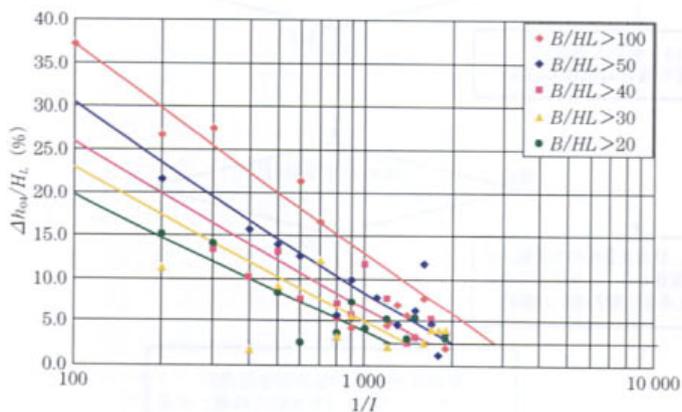


図 5-14 砂州等による水位上昇量 (区間上位3の平均・ H_L , B は平均年最大流量流下時)
 わん曲の影響がないと考えられる直線区間における左右岸痕跡水位差の1/2より算出

もとに作成したものであり、単断面河道の場合は参考-2に示したように、河床に形成された砂州上を流れる蛇行流が河岸に近く、その蛇行流による水位上昇が複断面河道に比べて顕著であることから、複断面河道に図5-14で求めた値を適用する際には注意を要する(同じ水理量であれば、複断面河道の場合は単断面河道よりも砂州による水位上昇が小さい)。

岩河床区間などのように、河床に中規模河床波(砂州)が形成されない区間においては、砂州による水位上昇量 ΔH_{04} を考慮しなくてもよい場合がある。また、参考-3に示したように洪水規模によっては河床形態が、砂州の発生領域から平坦河床に遷移する場合があります。そのような場合には、砂州による水位上昇量は考慮しない。

わん曲部においては、固定砂州が形成される場合が多く、わん曲部入り口付近での砂州による水位上昇と、わん曲部中央から出口付近でのわん曲(遠心力)による水位上昇とが生じる。

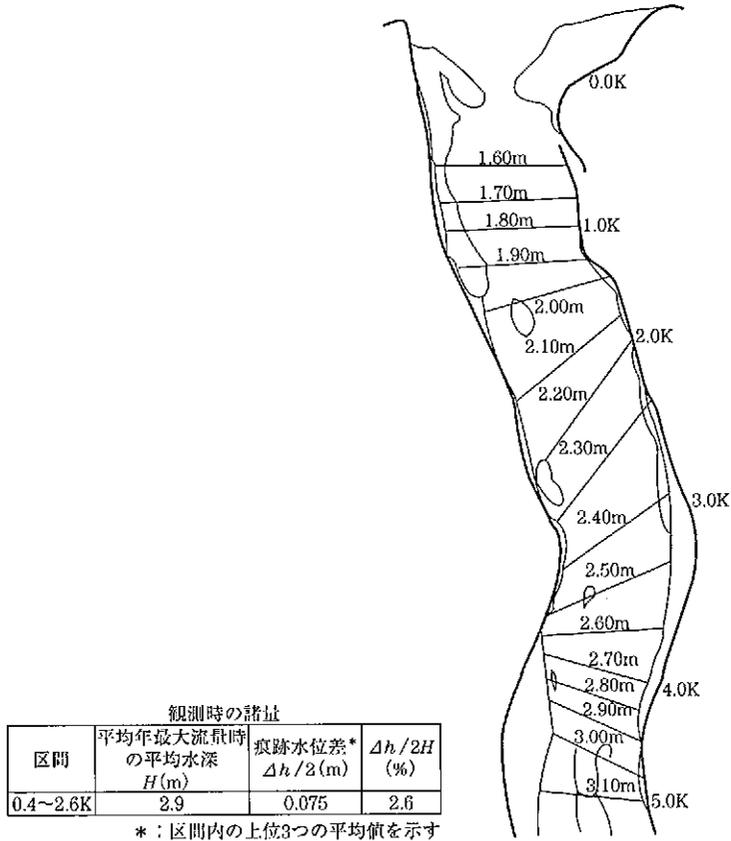


図 5-15 阿賀野川 7 000 m³/s 出水 (1995. 8. 3) 最高水位痕跡調査による水面コンター図 (文献⁶⁾ の下流部のセグメント 3 区間を拡大)

したがってこの両者をそれぞれ算出し、このうち大きいほうの値を（水位の連続性を考えて）わん曲部全体にプラスする。

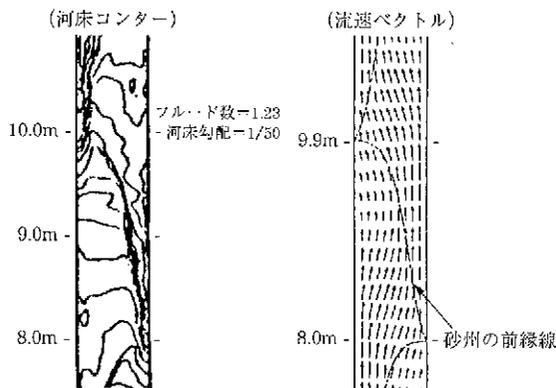
$$(\text{わん曲部の水位}) = (\text{計算水位}) + \max(\text{砂州による水位上昇}, \text{わん曲による水位上昇分})$$

(参考-2)

単列交互砂州による水位上昇

交互砂州は河川蛇行の主要因と考えられ、その特性を明らかにすることは治水面において重要であるばかりでなく、瀬と淵など、河川環境形成の重要な構成要素の一つとなっている。交互砂州の形状特性に関し、河床材料として混合砂を用いた場合と一様砂を用いたものとを比較すると、前者において波高は小さくなり、しかも形状がほやけやすいことが水路実験により確認されている。また、砂州前縁には不連続水面である跳水や流れの剥離などが生じていることもある。このうち跳水は、砂州前縁において掃流力の分布に影響を及ぼし、砂礫の輸送と分級を大きく支配していることが推定される。

河道内に単列交互砂州が形成されると、次図に示すように形成された砂州の上を、蛇行するような流れが生じる。その蛇行流れは、砂州の前縁線に直交するように蛇行するため、その蛇行流れによって発生する遠心力や流速変化、河床変化により左右岸に水位差が生じる。



参考図 2-1 単列交互砂州の流れと河床形状 (実験水路)⁷⁾

(参考-3)

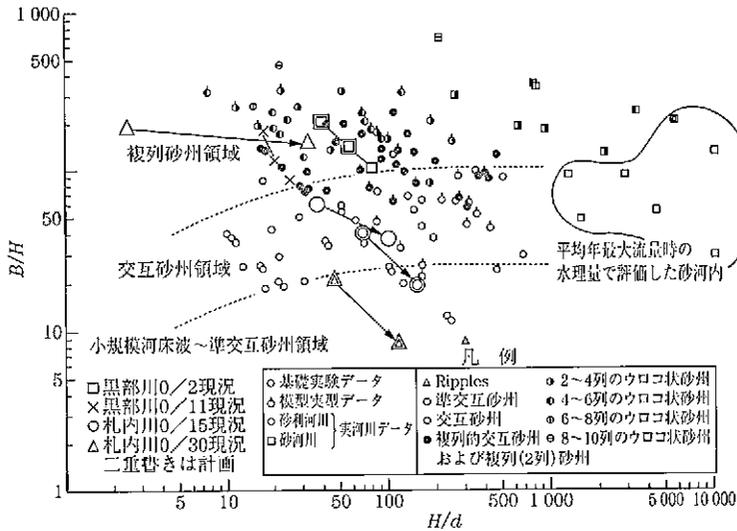
流量規模と砂州による水位上昇との関係

洪水時は、時間とともに流量と水位が変化し、河床に堆積している土砂を移動させる掃流力も変化する。掃流力が変化すると、洪水の規模によっては、河床形態が多列砂州の発生領域から単列砂州の発生領域に移行したり、平坦河床に遷移する場合がある。次図は現況断面および計画断面において、砂州の流量規模を変化させた場合の発生領域区分の変化を示したものである (図中の○→○等の矢印は、流量規模を平均年最大流量から計画規模相当の流量に変化させた場合を示す)。

流量規模の変化に伴い砂州発生領域が変化すると、砂州による水位上昇が変わるため、流量規模に応じた水位上昇量の設定が必要である。しかし、セグメント1または2-1では砂州のモードを変化させるほどの土砂移動量がないので、通常時の砂州形態で水位上昇量を予測しても特に問題にならない。一方セグメント2-2では、このような現象が過去に生じているかを十分調査し、流量規模に応じて適切な砂州形態を設定することが望ましい。

また、低水路拡幅や河床掘削などの人工改変によっても砂州形態が変化することがある (図中の二重書きシンボルが計画河道を示す) ため、河道改変による応答速度、もとに戻

ろうとする特性についても考慮したうえで、水位上昇量を予測することが望ましい。



参考図 3-1 砂州の発生領域区分⁸⁾

5-4 低水路粗度係数設定の検討

5-4-1 低水路粗度係数設定の手順⁹⁾

流れの抵抗には主に次の4つの要素があり、これまでの河道計画ではこれらの全要素を合成して一つの粗度係数として取り扱ってきた。

- ① 河床材料と小規模河床波の形成状況から決まる低水路の粗度係数
- ② 高水敷の地被から決まる高水敷粗度係数
- ③ 樹木群や死水域の存在による直接的影響
- ④ 流速の異なる流れが、横断方向に混合することによるエネルギー損失

低水路粗度係数は、上述した4つの要素のうち①の要素によるものである。しかしこの低水路粗度係数を求めるためには、他の3つの要素の設定が重要となり、これらの要素の設定が実河川の洪水時の現象と一致しなければ、適切な低水路粗度係数を得ることができない(得られた低水路粗度係数が妥当でない場合には、②~④の要素のチェックを行う必要がある)。特に堤防法線と低水路法線に位相差がある場合などにおいては、河道形状が大きく影響し、一次元解析では取り扱うことが困難な場合があり、このような場合には、河道形状と流れの相互干渉に十分注意した水理計算法の選定や、境界混合係数等の定数設定を行わなければならない。

低水路粗度係数を設定するためには、計画流量流下時の河床波の形成状況を推定する必要がある。したがって、これまでに計画規模相当の洪水が発生している河川においては、その洪水

の逆算粗度係数を計画流量流下時の低水路粗度係数として用いればよいが、既往洪水の流量規模が計画流量よりも小さい場合には、計画流量時の河床形態（小規模河床波の状況）を推定して低水路粗度係数を設定することになる。しかし山地河道、岩河床区間、アーマー化された河道区間や連続的横断構造物区間等のように計画流量流下時に河床形態が変化しない場合や、河床形態の変化が水位に影響を及ぼさない区間等においては、大規模洪水時の逆算粗度係数等を参考に、計画流量時の低水路粗度係数を設定することになる。

低水路粗度係数を検討するうえでの全体の流れを図5-16に示す。なお、セグメント3の区

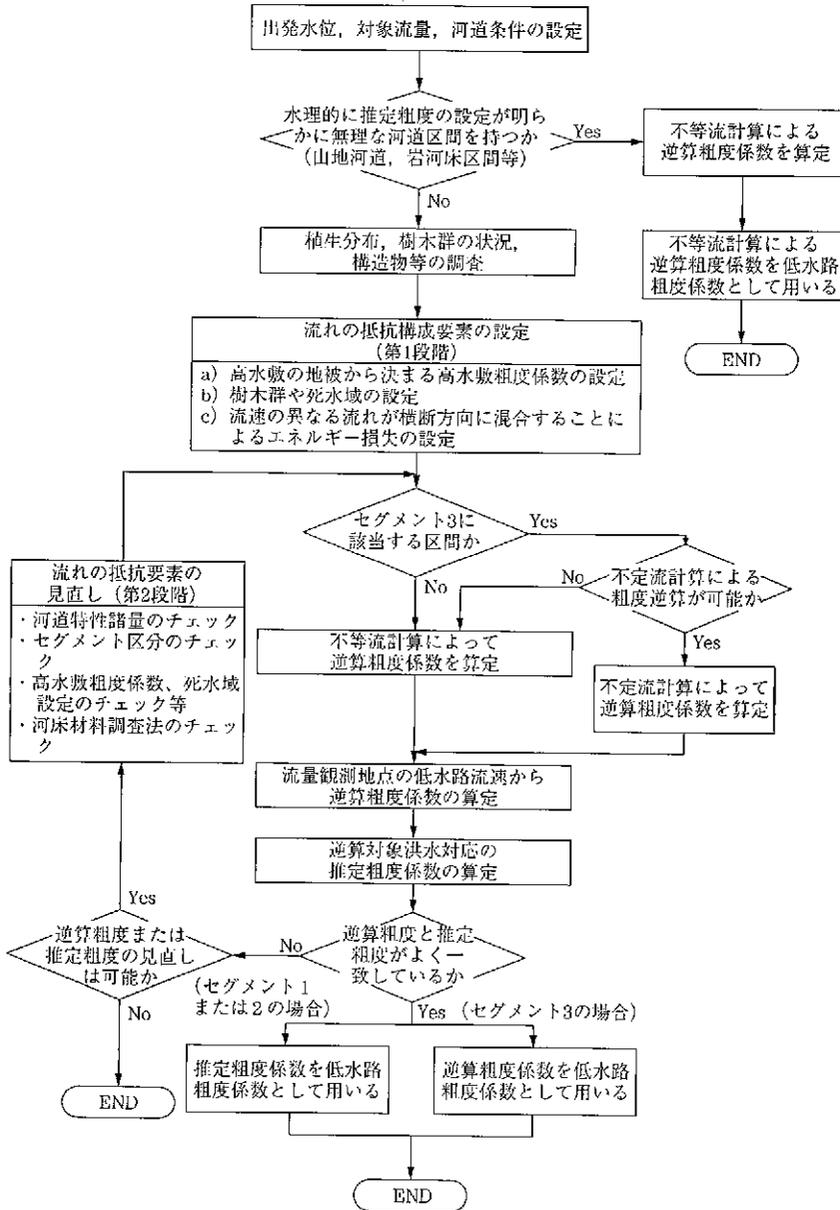


図 5-16 低水路粗度係数の設定方法の検討フロー

間においては、潮汐の影響を受けて水位と流量の関係が一意の関係にならず、流量ハイドログラフの上昇区間と低減区間でループを描くことがよく見られるため、不定流計算によって既往洪水の粗度係数逆算を行うことを考える必要がある。

5-4-2 低水路粗度係数設定の基本検討（第1段階の検討）

（1）粗度係数検討区間の区間分けの方法

既往洪水の逆算粗度係数の算定や、流下能力の検討を行うにあたっての低水路粗度係数検討区間の区間分けはセグメント区分を基本とするが、同一のセグメント内において、縦断的に河床材料や水量（主に平均水深）が一定区間で大きく異なる場合には、セグメント区分内を細分割（小セグメントの設定）して検討を行うことが望ましい場合もある。

また、セグメント3の区間においては、不定流計算による粗度逆算が可能な場合には不定流計算によって逆算粗度係数を求める。そのため、同区間は他のセグメント区間と分離して取り扱う。

（2）流量

既往洪水の粗度係数逆算時の流量は、洪水時の流量観測結果から算定した流量を用いる。なお、流量変化区間ごとの流量観測結果がない場合には、逆算対象洪水の流出計算結果や同じ降雨分布での流量配分を参考に流量を決める。

（3）出発水位

低水路粗度係数の逆算を行う際の出発水位は、左右岸痕跡水位の平均値を用いる。なお、河口部の潮位ピーク時刻と洪水流量のピーク発生時刻に差がある場合には、洪水流量のピーク時に水位が最大とならない場合があり、このような場合には、洪水の発生と潮位の変動を十分に調査したうえで河口部の出発水位を設定する必要がある。

また、セグメント3の区間は不定流計算を用いて逆算粗度係数を求めることから、同区間の下流端には、河口部の実績潮位波形を用いる。

（4）低水路粗度係数の設定

低水路粗度係数は河床材料の代表粒径を用い、所定の流量流下時（粗度係数の逆算時は既往洪水の流量、計画時は計画高水流量）の水理状況を想定して設定する。ただし、「流量観測地点の低水路流速からの逆算」、「不等流計算による既往洪水の低水路粗度係数の逆算」から推定される粗度係数と矛盾がないかチェックする。

低水路の粗度係数の設定にあたっては、既往の実績洪水から見た河道特性の検討を行い、代表粒径 d_R の設定の妥当性や代表粒径 d_R を用いて、低水路粗度係数を設定してよいかを決めておく必要がある。なお、粗度係数は既往検討で実施した河道区分ごとに与える。河道特性量 (d_R , I_e , H_m) の設定方法については、前述の河道特性諸量の把握方法に準ずるが、 H_m については前述の H_L と異なり、既往洪水時または計画高水流量流下時相当の水深をもって検討することになるので、注意しておく必要がある。

ただし、以下に該当する河道区間については、代表粒径 d_R を用いて低水路粗度係数を求めることは困難であり、原則として規模の大きな洪水による逆算粗度係数を用いることを考え、

それでも課題が残る場合には、状況に見合ったより高度な水理的推定法の適用の可能性を個別に検討することが必要である。

【山地河道区間】

沖積地より上流の山地河道で、川底や側岸に岩や巨石が存在し、河床材料の動きが沖積河道のものとは異なる河道区間

【岩河床区間】

河床が全面的に岩で覆われている河道区間

【岩露出区間】

河床のところどころに岩や土丹が露出していたり、砂礫、砂の堆積はあるがその堆積厚が薄く、出水時に基底層が現れるような河道区間

【アーマー化された区間】

上流からの土砂供給が少なく、細粒分の河床材料が抜け出しアーマーリングされた河道区間

【低水路強蛇行区間】

堤防法線に対して低水路河道法線が大きく蛇行し、高水敷にのり上げるような流れが発生し、低水路と高水敷の間に生じる流れが低水路の粗度係数に大きく影響する河道区間

【連続的横断構造物区間】

河道縦断方向へ連続的に横断構造物が設置されて、それによって水位だけでなく河床材料も大きく影響を受けている河道区間

なお、セグメント3の区間においては、不定流計算によって求めた逆算粗度係数と後述する粒径成分から決めた粗度係数（推定粗度係数）と比較した結果、逆算粗度係数が異常値を示す（推定粗度係数と一致しない）場合には、推定粗度係数を用いるが、逆算粗度係数が異常値を示さない（推定粗度係数と一致する）場合には、既往洪水の逆算粗度係数を用いる。

また、セグメント3の区間でも、洪水時のデータの存在状況から不定流計算による粗度係数の逆算を行うことができない場合には、不等流計算による逆算過程をチェックしたうえで、不等流計算による逆算粗度係数と推定粗度係数を比較して設定する。

① 流速係数 ϕ と低水路粗度係数の関係

流速係数 ϕ は、流れの垂直方向流速分布式である対数流速分布式より

$$\phi = 6.0 + 5.75 \log(H_m/k_s)$$

となる。すなわち、流速係数 ϕ は相対水深 (H_m/k_s) が変わると値が変わる。ここで K_s は相当粗度といわれるもので、河床面の凹凸の大きさを表わす係数である。

流速係数 ϕ と低水路粗度係数 n との間には、次のような関係がある。

$$n = \frac{H_m^{1/6}}{\sqrt{g} \cdot \phi}$$

ここで H_m は m 単位、 g は重力の加速度で $\sqrt{g} = 3.13$ とする。

② 流速係数 ϕ と河道特性

流速係数 ϕ は相対水深 H_m/k_s によって変化する。河床がほぼ平坦であれば k_s は d_R とほぼ比

例した値となるが、河床が移動河床状況になると河床面上には、砂漣、砂堆、反砂堆、砂州などの河床波が発生し、これらの河床波形状の発達程度および河床波の種類によって k_s の値は大きく変化する。相似律によればほぼ均一粒径の河床材料、直線河道の場合は、

$$\phi = (\tau_*, H_m/d_R, u_* \cdot d_R/v, B/H_m)$$

の4量で規定される。この4量が ϕ に及ぼす関数について、移動床の実験流量および実河川資料を用いた分析より、 τ_* と H_m/d_R の二量の影響が大きいことが明らかにされている。ここで $\tau_* = u_*^2/(S \cdot g \cdot d_R) = H_m \cdot I_0/(S \cdot d_R)$ であり、 v は水の動粘性係数、 B は川幅である。

平均年最大流量時の τ_* と d_R が密接な関係にあること、また、 H_m/d_R も、 d_R が同じような河川間では限られた値の中に入るので、同じような河床材料を持っている河道では、洪水時に発達する小規模河床波および流れの抵抗係数が似たような値となる。

また、流速係数 ϕ は平均流速を摩擦速度で割った値である。したがって、図5-17に示すような流量観測線に沿って洪水時に観測した結果から、低水路内の平均流速を求め、低水路内の平均水深と水面勾配から求めた摩擦速度を用いれば、 $n = H_m^{1/6}/(\sqrt{g} \cdot \phi)$ の関係式によって、流量観測地点の低水路流速を用いた逆算粗度係数を求めることができる。なお、この場合の水面勾配については、流量観測地点付近を縦断方向に観測した水位があれば、その値から求めることになるが、その観測結果がない場合には、河道特性に応じて河床勾配または痕跡水位の縦断勾配を用いることが望ましい。

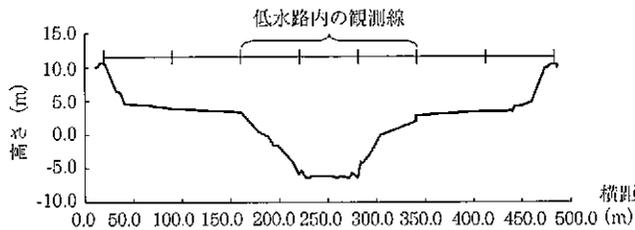


図5-17 流量観測地点の横断形状と観測線

③ 低水路粗度係数の標準値について

原則として、各セグメントの低水路粗度係数は、ここに示す標準値をもって検討するが、河床に岩が露出している河道、粘土層などが露出している河道および山間狭窄部等では説明がつかない範囲で、既往検討で逆算した粗度係数を標準値として用いる。

(a) セグメント1に相当する区間 (図5-18 参照)

セグメント1の河道は平均年最大流量時において $\tau_* = 0.05 \sim 0.1$ 程度であり、計画高水流量相当時には $\tau_* = 0.15 \sim 0.2$ 程度となる。なお、 τ_* が0.25を超えている場合には d_R のチェックを行う。

図5-19は均一河床材料で砂州の発達のない場合の ϕ と τ_* の関係図である。これによれば平均年最大流量時の河床はほぼ平坦、計画高水流量相当時には急勾配扇状地では反砂堆、緩勾配扇状地では砂堆となる。

しかし、土木研究所で行った移動床河道模型実験によると、砂州によって場所的に水理量の

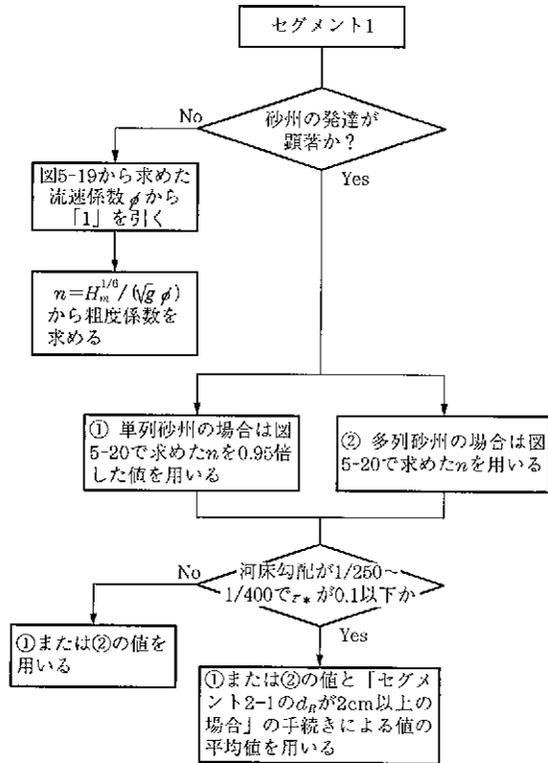


図5-18 セグメント1における低水路粗度係数標準値の算定手順

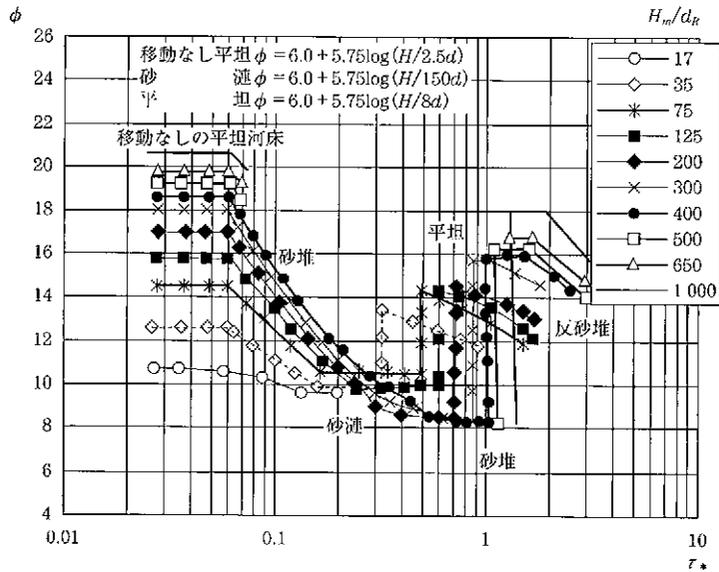


図5-19 ϕ と r_* の関係 (d が 0.4 cm 以上)

変化があること等によって河床勾配 1/250 以上では大部分の河床面は平坦であるため、計画高水流量相当時の流速係数 ϕ 、および低水路粗度係数 n の標準値は、河床に形成された砂州の状況に応じて次のとおりとなる。

【砂州が顕著でない場合】

河道に発達した砂州が顕著でない場合には、土木研究所で行った移動床模型実験と実河道との河床抵抗の違い（模型実験の河床面は平坦であるが、実河道の河床面は砂堆または反砂堆が形成されており、実河道のほうが河床抵抗が大きい）を考慮して、計画高水流量相当時の ϕ は、そのときの τ_* と H_m/d_R をもとに図 5-19 から求め、その値から 1 を減じた値を用い、粗度係数は $n = H_m^{1/6} / (\sqrt{g} \phi)$ より求める。

たとえば $\tau_* < 0.06$ の移動なしの平坦河床の場合は、

$$\begin{aligned} \phi &= 6.0 + 5.75 \log(H_m/2.5 d_R) \text{ の値から } 1 \text{ を減じた値} \\ &= 5.0 + 5.75 \log(H_m/2.5 d_R) \end{aligned}$$

となる。

【砂州の発達が顕著な場合】

河道に砂州の発達が顕著に見られる場合には、砂州の発達が顕著でない場合よりも発達した砂州によるエネルギー損失に伴う水位上昇が生じることから、多列砂州の河道では、砂州の発達が顕著でない場合の流速係数に 0.9 を乗じる。

$$\phi = 0.9(5.0 + 5.75 \log(H_m/2.5 d_R))$$

河道に発達している砂州が単列の場合は、多列砂州に比べると砂州の波長が長く、エネルギー損失は少ないことから、上式と $n = H_m^{1/6} / (\sqrt{g} \phi)$ より粗度係数 n と低水路平均水深 H_m の関係を示した図 5-20 から、計画高水流量相当時の低水路粗度係数を求め、その値に 0.95 を乗じる。

なお、河床勾配が 1/250 から 1/400 の場合については、 τ_* が 0.1 以下であれば、勾配 1/250 以上の場合と同様とする。 τ_* が 0.1 を超えていれば、次に示す「セグメント 2—1 の d_R が 2 cm 以上の場合」の手続きで求めた n と、ここで示した方式で求めた n の平均値を取ることにする。

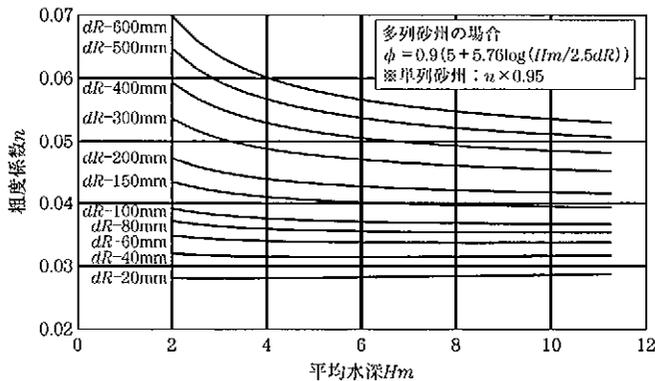


図 5-20 セグメント 1 の低水路粗度係数 ($I_b > 1/250$)

(b) セグメント2—1に該当する区間

セグメント2—1における低水路粗度係数の標準値は図5-21に示すフローおよび以下の手順に従って算定する。

【 d_R が2cm以上の場合】

d_R が2cm以上の河川は平均年最大流量時の τ_* が、0.05~0.1程度となる河川が多く、計画高水流量相当時の τ_* は0.1~0.25程度となる(計画高水流量相当時の τ_* が0.25以上と評価されたら代表粒径 d_R の設定が適切か、再チェックする。特別の場合以外は0.3以上とならない)。

計画高水流量相当時の1/2程度の洪水では河床には、小規模河床波の発達はなく平坦河床相当であるが、計画高水流量相当時には砂堆が発生する(河床がアーマ化されていると砂堆は発達しない。この場合は表層材料の粒度分布を線格子法(文献¹⁰⁾p.12~15参照)

を用いて測定し、その平均粒径を d_R とする必要がある)。

低水路粗度係数は図5-19を用いて、まず流速係数の初期値 ϕ_1 を評価し、水理量の変化に河床波の発達が追いつかない効果や、混合粒径の効果(混合粒径河床材料の砂堆は均一粒径河床に比較して砂堆高が小さく、 ϕ の値が大きい)を考慮して、次のように最終の流速係数 ϕ_2 を定める。

$$\tau_* < 0.08$$

$$\phi_2 = 6.0 + 5.75 \log(H_m / 2.5 d_R)$$

$$0.08 < \tau_* < 0.1$$

図5-19で評価された ϕ_1 に0.5を加えたもの

$$0.1 < \tau_* < 0.15$$

図5-19で評価された ϕ_1 に1を加えたもの

$$0.15 < \tau_* < 0.2$$

図5-19で評価された ϕ_1 に1.5を加えたもの

$$0.2 < \tau_*$$

図5-19で評価された ϕ_1 に2を加えたもの

ここで、図5-19で評価された流速係数 ϕ_1 にある値を加えたのは、移動床模型実験結果の実河川との対応を考慮(水理量の変化に河床波の発達が追いつかないことや、混合粒径の効果から実河川の流速係数は、模型実験結果に比べると大きい)したものであり、 τ_* の値に応じて

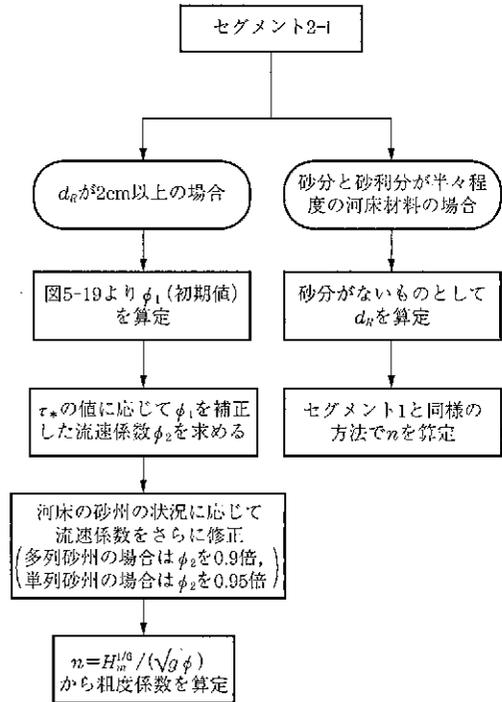


図5-21 セグメント2—1における低水路粗度係数の標準値の算定手順

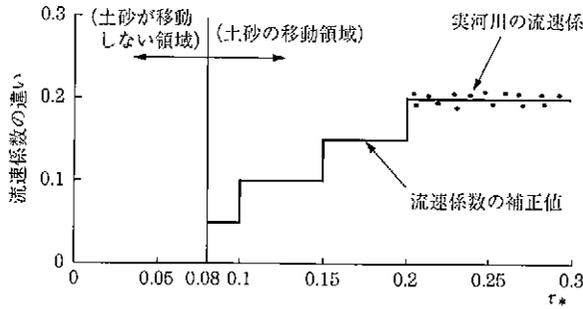


図 5-22 τ^* と流速係数の補正值との関係の概念

ϕ_1 に加える値を変更したのは、実河川の限られたデータを用いて流速係数を補正するにあたり、極端な補正は行わず図 5-22 に示すように、 τ^* の値に応じて少しずつ補正することにしたものである。

さらに多列砂州が発達している場合は ϕ_2 に 0.9 を乗じ、単列砂州の場合には ϕ_2 に 0.95 を乗じたものを ϕ_2 とする。以上の手続きより求められた最終の ϕ_2 を ϕ とし、低水路の粗度係数を下式より設定する。

$$n = \frac{H_m^{1/6}}{\sqrt{g} \phi}$$

図 5-23 に、上式による n と H_m の関係を ϕ の値ごとに示した。セグメント 2-1 においては、代表粒径 d_R の評価が低水路の粗度係数に大きく影響するので、 d_R の算定に十分に留意する。

【砂分と砂利分が半々程度の河床材料の場合】

河床材料が、0.5~2 cm の砂集団と 1~3 cm の小砂利集団の 2 峰性の集団からなる場合は、砂分が多くなると砂粒径相当の粗度となり、砂利が多くなると砂利集団の粗度となることがある。計画高水流量相当時の粗度は、砂分がないものとして d_R を評価して、 d_R が 2 cm 以上の場合の手続きで求める。

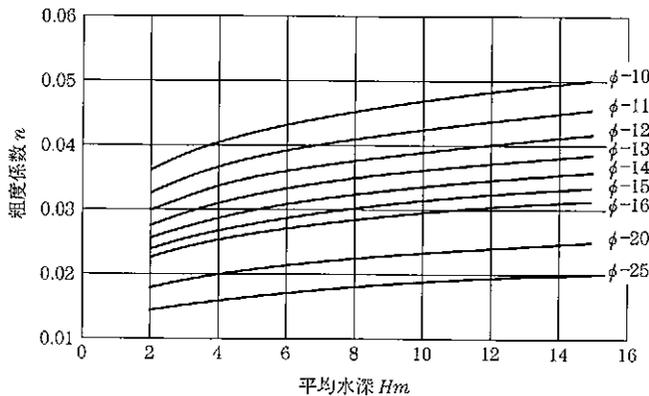


図 5-23 n と H_m , ϕ の関係

【 $\phi \sim \tau_*$ の関係図を用いた推定粗度係数の算定方法】

- 既往洪水または計画流量での不等流計算による水理量（断面平均水深 H_m と河床せん断 τ_* ）と、河床材料調査結果による代表粒径 d_R から、 H_m/d_R と τ_* を求め、この値を $\phi \sim \tau_*$ の関係図（図5-19）にあてはめ、そのときの流速係数 ϕ_1 を図中から読み取る。この場合、算定した H_m/d_R に該当するラインが図中がない場合には、図中の H_m/d_R のラインから推定して流速係数 ϕ_1 を求める。
- 当該区間のセグメント分割、当該流量時の河床せん断力、河床に形成されている砂州の状態（単列または多列砂州）から、上記で求めた ϕ_1 を補正した新たな流速係数 ϕ_2 を求める。
- 上記で求めた流速係数 ϕ_2 と当該流量の断面平均水深 H_m を用いて、次式により推定粗度係数 n を求める。

$$n = \frac{H_m^{1/6}}{\sqrt{g} \phi}$$

表5-1に、いくつかの砂利河川の粗度係数および流速係数 ϕ の検討結果を参考として示す。
 (c) セグメント2-2に該当する区間

セグメント2-2における低水路粗度係数の標準値は、図5-24および以下の手順に従って算定する。

【代表粒径3~10mmの場合】

実河川のデータから、 d_{84}/d_{16} の値が大きくなると砂州の発生が顕著でなくなることを考慮して、河床材料の d_{84}/d_{16} が7以上である場合は、混合砂の影響、水理量の変化に河床波の発

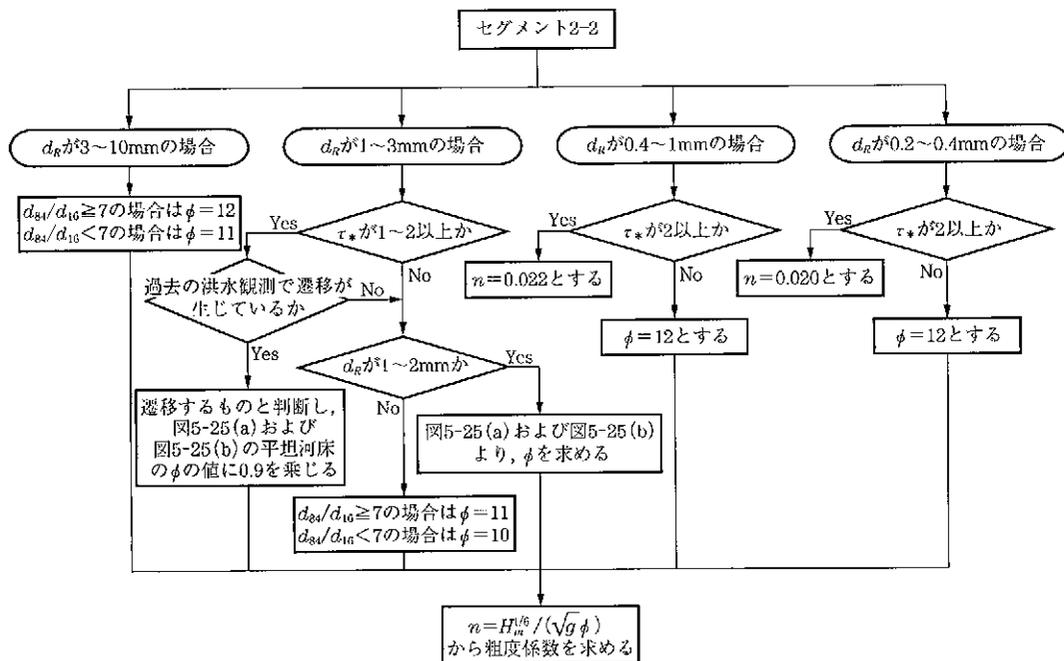


図5-24 セグメント2-2における低水路粗度係数の標準値の算定手順

表 5-1 砂利河川の粗度

河川名地点	d ₆₅ mm	d ₅₀ /d ₁₆	ストリックラー 公式	水深が小さいときの粗度		dune と考えられる粗度		移行時の水理量		そ の 他
				μ	φ	μ	φ	τ*	R/d ₆₅	
大井川神座	35	70/1=70	0.027	0.02 ~0.026	14~16	移行起こらず	10	0.10	900	τ* _{max} =0.17 はつきりせず
信濃川小千谷	65	150/25=6	0.030	0.025~0.03	15	0.04	11~12	0.15	570	明確
雄物川権川	6.5	17/0.7=24	0.020	0.02 ~0.025	16~20	0.035~0.04	12~14	0.10	220	はつきりせず
米代川二ツ井	25	40/1=40	0.028	0.021~0.026	15~19	移行起こらず				τ*=0.02 以下
石狩川伊納	60	80/3=26	0.03	0.025~0.03	10~13	移行起こらず				τ*=0.09 以下
手塩川岩平	25	40/0.7=57	0.028	0.02 ~0.03	13~16	移行起こらず				
阿賀川山科	25	70/0.7=100	0.028	0.02 ~0.025	16~18	0.035~0.04	12	0.10	100	τ*=0.17 以下の資料なし
仁淀川伊野	15	25/3=7	0.025			0.035	10~12		150 以上	
物部川戸板橋	23	40/1=40	0.025	0.02 ~0.025	14~16	0.03	13	0.2	150	
川内川斧川	9	40/0.5=80	0.022	0.02	20	0.035	12	0.11	440	
球磨川渡	50	60/7=8.57	0.028	0.032	13.5	0.045	10	0.13	120	
球磨川前川	35	50/0.6=83	0.026	0.028	14	0.04 ~0.045	10	0.12	120	
大淀川風田	20	50/3=17	0.024			0.04	10			τ* _{min} =0.037 小さすぎる?
菊池川鹿	15	40/1=40	0.023	0.02	20	0.035	12	0.09	250	移行 τ* が小さすぎる?
菊池川中富	40	50/10=5	0.027	0.027~0.030	12~14	0.04	10	0.03	75	τ*=0.069 以上の資料のみ
菊池川玉名	3	8/0.6=40	0.018			0.035~0.045	10~12			τ*=0.10 以下の資料のみ
筑後川慈蘇の宿	130	200/50=4	0.033	0.03	13	移行起こらず				
重信川出合	30	51/1.7=2.9	0.026	0.025	13	0.035	12	0.05~0.08	40~60	τ*=0.12 以下の資料のみ
渡川県同	40	70/0.8=87	0.027	0.03	13	0.04	10	0.01	125	τ*=0.01~0.02 以下資料のみ
吉野川中央橋	20	60/1=60	0.024	0.02	20	移行起こらず				τ*=0.1 以上の資料のみ
猪名川小坂	20	50/0.8=63	0.024	0.02 ~0.025	15~20	移行起こらず				τ*=0.115 以下の資料のみ
冠の川舟戸	20	35/2=17.5	0.024			0.03 ~0.04	10		100 以上	
野洲川中郡橋	30	55/1.8=31	0.026	0.02 ~0.025	16~20	移行起こらず				
野洲川笠原	30	40/1=40	0.026	0.025~0.03	13	0.05	9	0.07	83	
由良川福地山	35	70/0.7=100	0.027	0.03 ~0.035	13	0.04	10	0.12	120	
錦磨川木田	8	20/1=20	0.021	0.02	20	0.035	10	0.2	220	

ストリックラー公式: $n=0.015 d_p^{1.5}$

達が追いつかない影響を考慮して、 $\phi=12$ の砂堆河床として計画高水流量時の粗度係数を評価する(図5-25(a)の $\phi=12$ を用いる)。 d_{80}/d_{10} が7以下の場合は11を取る。

【代表粒径1~3mm】

代表粒径 d_R が1~2mmの場合は、計画高水流量相当時の τ_* は1~2程度となり、平坦河床となることがあるため、この場合には、過去の洪水観測より平坦河床になることを確認したうえで、図5-25(a)および図5-25(b)より求める平坦河床の ϕ の値に0.9を乗じた値を用いて推定粗度を求める。

$$n = \frac{H_m^{1/6}}{\sqrt{g} \phi}$$

なお、河床が平坦河床とならない場合には、 τ_* および H/d の値を用いて、図5-25(a)およ

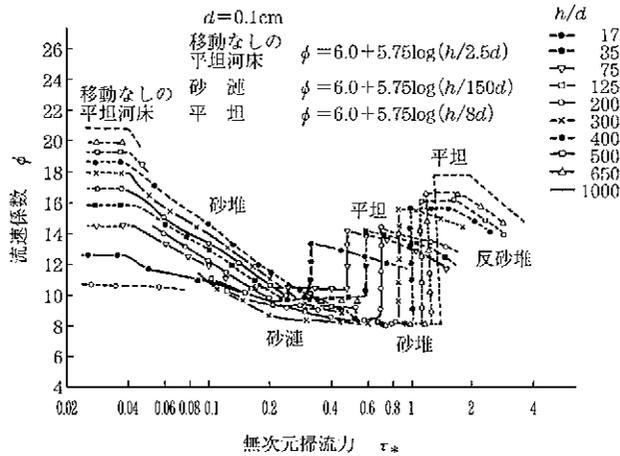


図5-25(a) ϕ と τ_* の関係
($d=0.1$ cm, $H/d=15\sim 1000$ の場合)¹⁾

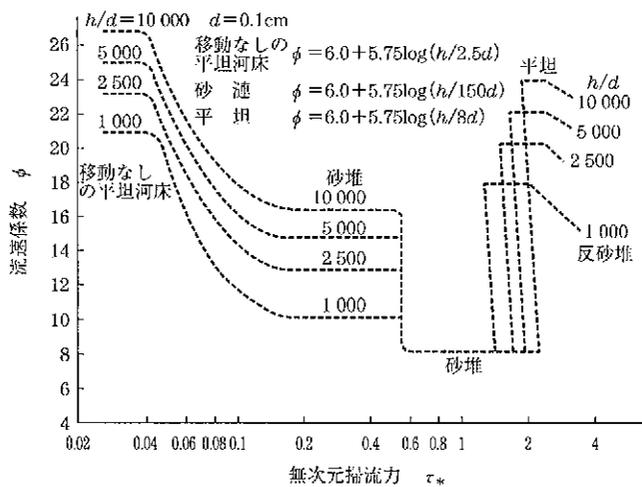


図5-25(b) ϕ と τ_* の関係
($d=0.1$ cm, $H/d=1000\sim 10000$ の場合)¹⁾

び図 5-25(b) より流速係数 ϕ を求める。

代表粒径 d_R が 2~3 mm で d_{84}/d_{16} が 7 以下の場合（花崗岩の風化物からなる場合が多い）は、水理量の変化に河床波の発達が進まない効果を考慮して、砂堆河床では $\phi=10$ 、 d_{84}/d_{16} が 7 以上の場合には $\phi=11$ として図 5-23 より推定粗度係数を求める。なお、この場合においても、過去の洪水観測より平坦河床になることを確認したうえで、図 5-25(a) および図 5-25(b) より求める平坦河床の ϕ の値に 0.9 を乗じた値を用いて設定する。

【代表粒径 0.4~1 mm の場合】

計画高水流量相当時の河床形態は平坦河床である。計画高水流量相当時の粗度係数は標準値として $n=0.022$ とする。ただし河道拡幅により河積が増大し、計画高水流量相当時の τ^* が 2 以下として評価された場合は、 $\phi=12$ として粗度を評価する。また、計画高水流量相当の洪水による粗度係数の観測値がある場合には、その観測値を尊重する。

【代表粒径 0.2~0.4 mm の場合】

計画高水流量相当時の粗度係数は標準値として $n=0.020$ とする。その他の考え方は、代表粒径 0.4~1.0 mm の場合と同様である。

(d) セグメント 3 に該当する区間

セグメント 3 における低水路粗度係数の標準値は、図 5-26 および以下の手順に従って設定する。

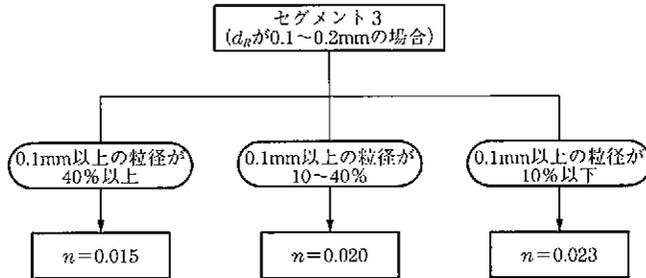


図 5-26 セグメント 3 における低水路粗度係数の標準値の算定手順

【代表粒径 0.1~0.2 mm の場合および 0.1 mm 以上の粒径が 40% 以上ある場合】

計画高水流量相当時の粗度係数は標準値として 0.015 とする。洪水観測結果の分析より、粗度係数が十分に精度よく求められている場合は、その値を用いてもよい。

【0.1 mm 以上の粒径成分が 10~40% の場合】

計画高水流量相当時の粗度係数は標準値として 0.02 を用いる。洪水時の観測データがあり、その観測精度がよい場合はそれを用いてもよい。

【0.1 mm 以上の粒径成分が 10% 以下の場合】

計画高水流量相当時の粗度係数は、標準値として 0.023 を用いる。

(5) 死水域の設定

① 平面形、縦断形の変化による死水域

河道の線形による死水域を設定すると同時に、樹木群およびその背後にも死水域を設定する。

(a) 河道の平面線形による横断的死水域の設定

主に急縮・急拡箇所において、「河川砂防技術基準（案）」に準拠して、図5-27に示すように急縮の場合は 26° で、急拡の場合は 5° で設定する。なお、急拡・急縮の場合の死水域部の境界混合係数(f)は $f=0.04$ で与える。

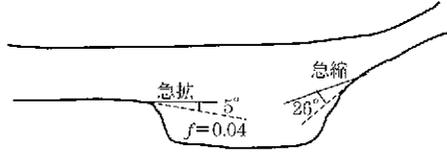


図5-27 急拡・急縮部の死水域設定方法

(b) 河道の縦断形による縦断的死水域の設定

深掘れ部分は、原則として全断面有効である。ただし、深掘れ部分が砂利採取等で人為的に形成され、洪水後埋め戻されることが予想される箇所や大きな洪水時に深掘れが移動する箇所、流れの急変箇所等については、経年的に横断図を重ね合わせや河床変動予測を行い、埋め戻される部分等を想定して、死水域を設定する（図5-28参照）。なお、河口部において深掘れが発生している箇所には、洪水時に土砂が堆積するだけでなく、塩水が滞留したことによる死水域となる可能性があり、このような場合にも死水域を設定することが望ましい。

また、周辺の橋脚等の構造物と深掘れ部の関係についても整理をし、死水域として扱うかどうかを整理しておくことが肝要である。

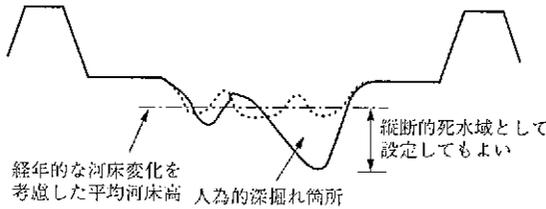


図5-28 人為的深掘れ箇所がある場合の縦断的死水域の設定方法

【人為的な深掘れ箇所の判断方法】

人為的な深掘れとの違いは、経年的な横断図の重ね合せにより判断を行う。これだけでは判断が難しい箇所については、セグメント1およびセグメント2—1の直線河道においては次式を目安として考える。

$$\Delta Z = 0.8 H_s$$

ΔZ ：深掘れ部の深さ（最深河床高—平均河床高）(m)

H_s ：砂州波高 (m)

式中の H_s は、図5-29を用いて算出する。ただし、図中の H_L （平均河床高）は平均年最大流量時の水深である。

【河床変動予測からの設定方法】

経年的な河床変動の実態が不明な箇所においては、河床変動予測計算を実施し、将来的に埋まるか否か判定を行い、死水域として取り扱う（図5-30参照）。ただし、経年的に洗掘箇所が

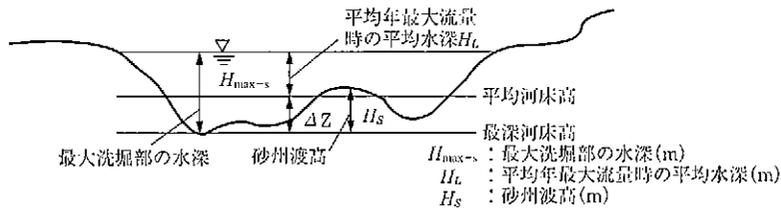
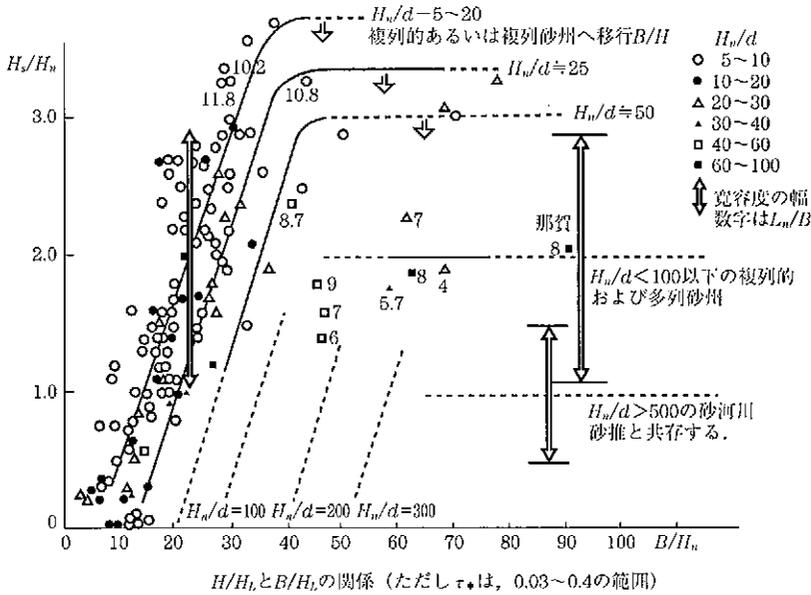


図 5-29 川幅水深比と砂州水深比の関係¹²⁾

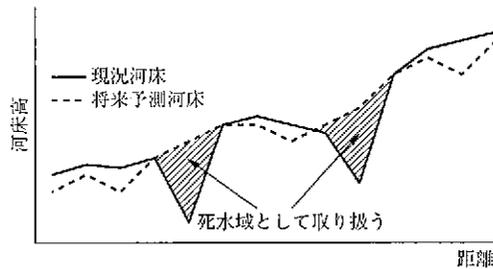


図 5-30 河床変動予測を用いた設定

固定されている場合には死水域として取り扱わない。

② 河道内樹木の死水域

(a) 樹木群の死水域設定

一般に密生した樹木群内は低流速域となり、死水状態もしくはそれに近い状態となるため、このような部分は実用上流水の疎通に関係のない死水域と見なし、低水路粗度係数の逆算を行う。なお、死水域の設定の考え方は、文献¹⁾を参照し、高水敷上の樹木群の繁茂範囲、高さ、密生状況について図 5-31 のように整理する。

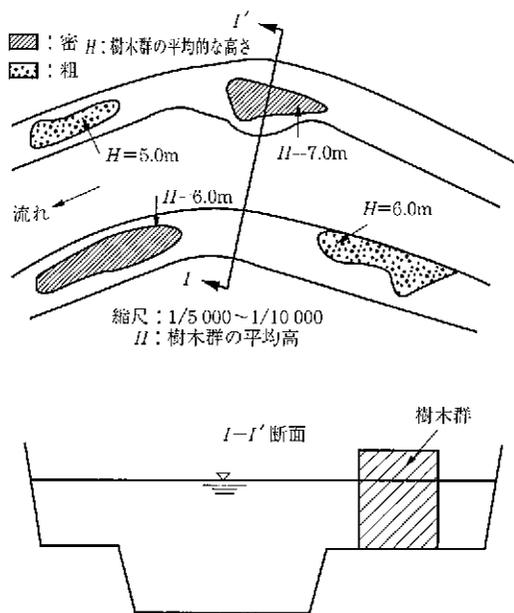


図 5-31 河道内の樹木群繁茂状況の整理例

整理した樹木群を横断面図内に重ね合せ死水域の設定を行う。なお、河道内の樹木は高水敷だけでなく、低水路内の樹木においても、洪水時に流失していなければ、高水敷の樹木と同様の取り扱いを行う。また、樹木に流木・ゴミ等が付着し、樹木間が閉塞しているような場合には、この間を死水域として取り扱う。ただし、樹木密生の密度が低く、樹木が繁茂している部分全部を死水域として扱うことが適当でないと考えられる場合には、樹木が繁茂している区域を 30% 割り引いて扱う (図 5-32 参照)。

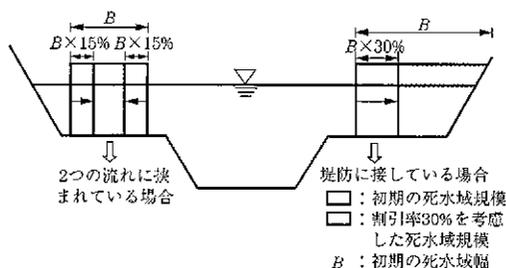


図 5-32 粗な樹木群の取り扱い

【樹木群の粗密の判断】

樹木群は繁茂状況に応じて粗密に分けられる。この粗密の判断については、現地踏査を実施したうえで樹木群ごとに次に示す諸量を求め、樹木群ごとに粗密の判定を行うことが望ましいが、困難な場合には、写真 5-1 をもとに粗密の判定を行う。

- 単位面積当たりの樹木本数
- 平均的と思われる樹形の樹木について、投影面積の算定に必要な、胸高直径、枝下高、枝の本数と平均枝径・枝長、樹高、樹冠幅



(a) 明らかに死水域と見なせる樹木群 (密)



(b) 死水域とならない樹木群 (粗)

写真 5-1 樹木群の粗密の判断 (文献¹⁾からの引用)

(b) 高水敷樹木群による死水域および低流速域の設定

枝下長さ $h_m = 0$ である樹木群は死水域, $h_m > 0$ である樹木群は河積に占める樹木群面積の割合や実河川での洪水時の流況を勘案して, 死水域および低流速域を以下の方法に従って設定する.

- 横断方向範囲: 実際に樹木群が繁茂している範囲とする (図 5-33 参照).
- 高さ方向範囲
 - $0.9h \leq h_v$ の場合 (非水没の場合)
高水敷地表面から水深 h までの範囲とする.
 - $0.9h > h_v$ の場合 (水没する場合)
高水敷地表面から樹高 h_v までの範囲とする.
- 流下方向範囲

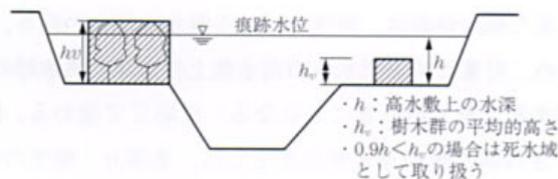


図 5-33 樹木群による死水域および低流速域の設定概念図

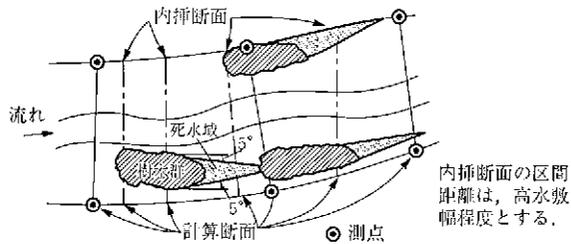


図 5-34 計算断面の補間

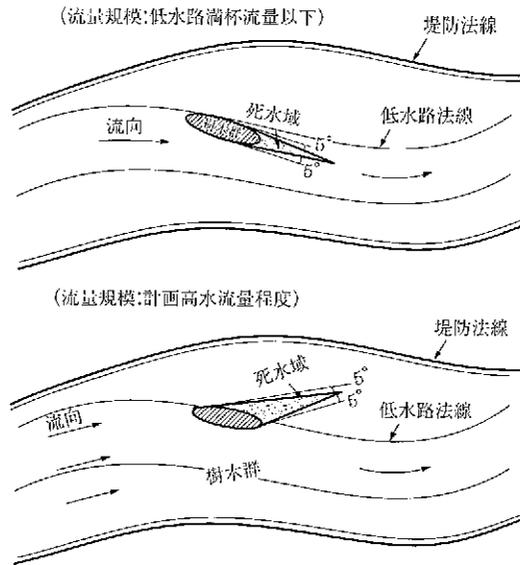


図 5-35 流量規模と流下方向の死水域設定

実際に樹木群が繁茂している範囲とその直下流側の図 5-34 に示す範囲となる。なお、河道形状の変化または樹木群の存在に起因する上下流の断面変化が大きい箇所では、内挿断面を図 5-34 に示すように設定し、樹木群の平面分布をとらえることができるようにする。また、流下方向の死水域は流向に従って 5° の設定を行う。流量規模に応じて流向が大きく変化する場合には、流量規模ごとに流下方向の死水域設定を行う必要がある (図 5-35 参照)。

(6) 高水敷粗度係数の設定

検討対象洪水時の高水敷粗度係数は、高水敷上の水深と地被状況 (樹木・植生の高さ、倒伏状況) から設定する。

高水敷地被状態から見た粗度係数は、繁茂している樹木や植生の高さ、洪水時の植生のたわみ状況に支配されるため、対象とする洪水時の高水敷上の水深と洪水時の地被状況 (主に洪水後の草の倒伏状況に関する資料を用いることになる) に応じて変わる。図 5-36 は、実河川の洪水時の水位とそのときの高水敷の地被状況をもとに、水深 h 、植生の高さ h_v との比と、水位から逆算した粗度係数との関係を図化したものであり、この図を用いて高水敷粗度係数の設定を行う。ただし、洪水後の草の倒伏状況に関する資料がない場合には、洪水時の植生の状況

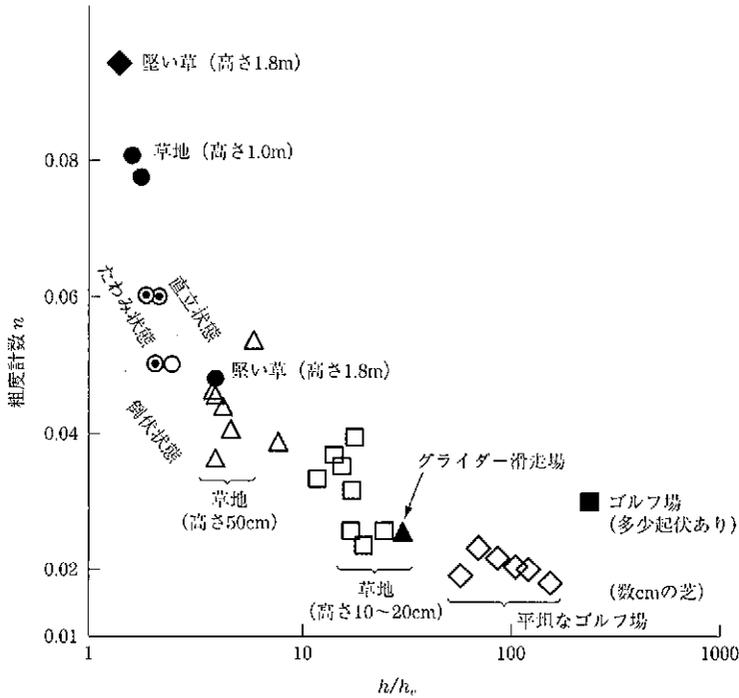


図5-36 高水敷の植生の状態と水深と粗度係数の関係 文献¹³⁾に加筆

がわかる洪水の流量規模と倒伏状況から、当該洪水の倒伏状況を判断する。なお、図5-36に示した高水敷の植生状態と水深と粗度係数の関係は、新たな観測結果が得られ次第追加・修正を行う。また、植生の高さが高く h/h_v が1.1を下回り、倒伏しない状態ではその箇所は死水域として取り扱う。

上記した高水敷粗度係数を用いたことによって、低水路粗度係数が異常値を示す（逆算粗度係数と推定粗度係数が一致しない）ことがある。このような場合には、流量規模が異なる既往洪水データを用いて低水路粗度係数を求め、その低水路粗度係数が正しいと仮定して高水敷粗度係数を逆算し、高水敷粗度係数の妥当性をチェックすることも必要である。

(7) 水位上昇量を算定するための条件量

準二次元解析手法で求めることができない洪水時の水位上昇量を算定するための条件量は、表5-2に示すとおりである。

表5-2 水位上昇量の算定条件

支川合流による水位上昇量 (Δh_{01})	現況河道の本川と支川の川幅、合流角度を用いる。
構造物の掘上げによる水位上昇量 (Δh_{02})	現況河道内に建設されている構造物の諸元を用いる。
わん曲による水位上昇量 (Δh_{03})	一連のわん曲区間の現況堤防法線の曲率半径を用いる。
砂州等による水位上昇量 (Δh_{04})	河床に砂州が発達している区間の既往洪水の左右岸痕跡水位差から求める。

5-4-3 低水路粗度係数設定の詳細検討（第2段階の検討）

低水路粗度係数は、高水敷の粗度係数や樹木群の死水域設定に大きく影響されるものであり、洪水時の実現象よりも、これらの抵抗を過大に評価すると低水路粗度係数は小さく評価され、抵抗を過小に評価すると低水路粗度係数は大きく評価されることになる。また、推定粗度係数を求める際の代表粒径が大きい場合には、低水路粗度係数を過大に評価することになる。

したがって5-4-2項の「低水路粗度係数設定の基本検討（第1段階の検討）」において、逆算粗度係数と推定粗度係数に大きな差が見られる場合には、低水路粗度係数を設定する際の条件量（代表粒径とセグメント区分、高水敷粗度係数、死水域設定）を以下に示すように詳細に検討したうえで、再度低水路粗度係数の設定を行う必要がある。

（1）代表粒径とセグメント区分の見直し

低水路粗度係数設定を行うにあたっての河道区分は、4-1節で述べた河道特性把握によるセグメント区分、または小セグメント区分に従って行うことを基本とするが、セグメント区分内の粒径分布が縦断的に大きく変化する場合には、セグメント区分内の代表粒径の設定が困難な場合がある。このような場合には、以下の方法によってセグメント区分や代表粒径の見直しを行う必要がある。

- セグメント区分内の河床材料調査結果を縦断的に重ね合せ、同じセグメント区分内で明らかに分布が分かれている場合には、セグメント区分内を細分割する。
- 同じセグメント区分での粒径分布が明確に分かれておらず、ばらついている場合には、同一勾配を有する他河川の代表粒径や縦断的な粒径の変化を考慮して設定する。

また、特に河床材料が大きい河川においては、河床材料の粒径分布が正確に調査されていない場合があるため、河床材料調査のチェックを行い、代表粒径の見直しを行う必要がある。

（2）高水敷粗度係数の見直し

洪水時の草は、作用する流体力の大きさと草が有する曲げ強さの大小に応じて、通常繁茂している場合と同じように直立している状態（直立状態）、流向に沿って倒伏している状態（倒伏状態）、さらにはそれらの中間的な状態（たわみ状態）を呈することになる。草の粗度としての大きさはこれらの状態によって変化する。

洪水後の草の倒伏状態が十分把握されていない場合においては、以下に示す高水敷上の摩擦速度より、設定した高水敷粗度係数のチェックを行い、必要に応じて倒伏状態を変更する。

【堅い草が繁茂している場合】

堅い草とはヨシ、ススキ、セイタカアワダチソウなどに代表される。高さ1~3mに達する直立した堅い茎を有する草を指す。流水中の堅い草の状態は摩擦速度の大きさと以下のように設定する。

直立状態	$u_* \leq 12 \text{ cm/s}$
たわみ状態	$12 \text{ cm/s} < u_* \leq 22 \text{ cm/s}$
倒伏状態	$22 \text{ cm/s} < u_*$

【柔らかい草が繁茂する場合】

柔らかい草とはエノコログサ、イヌエビ、ネズミムギなどに代表される、地表面近傍から多数の葉が生えており、かつ比較的曲がりやすい茎を有する草を指す。流水中の草の状態は、摩擦速度の大きさを以下のように設定する。

直立状態 $u_* \leq 7 \text{ cm/s}$

たわみ状態 $7 \text{ cm/s} < u_* \leq 15 \text{ cm/s}$

倒伏状態 $15 \text{ cm/s} < u_*$

なお、高水敷上に多種類草が繁茂している場合には、各草の繁茂状況を勘案し、繁茂面積によって荷重平均を取る。

(3) 高水敷樹木群の評価方法の見直し

高水敷上に繁茂する樹木群が下記の特徴を有する場合には、樹木群を死水域として取り扱うと過大な評価を行うおそれがあるため、樹木群内を低流速域として扱う不等流計算を行う。

- 枝下長さが大きい、または繁茂密度が小さい樹木群である場合
- 樹木群の幅が低水路幅以上である場合
- その他の要因によって樹木群内を流下する流量を無視すると、不等流計算の精度が悪くなる場合

樹木群内を低流速域として取り扱う方法は、樹木群の樹高、枝下高さ、幹の胸高直径、単位面積当たりの樹木本数から粗度係数を設定する以下の方法を用い、その際の樹木群の繁茂状況の整理方法と管理方法についても併せて示す。

【高水敷樹木群の粗度係数の設定】

高水敷樹木群の粗度係数は、以下の方法に従って設定する。なお、透過係数 k (m/s) は式(5.16)より計算する。

$$k = (2 \cdot g / a_w / C_d)^{0.5} \quad (5.16)$$

ここに、 $a_w = N \cdot D_m$ (m²)、 $C_d = 1.2$ 、 $g = 9.8$ (m/s²) である。 N は単位面積当たりに繁茂する樹木本数、 D_m は幹の胸高直径である。

$$\left. \begin{array}{l} h_m = 0 \text{ 場合} \\ \quad n = \infty \text{ とする (すなわち死水域とする)} \\ h_m > 0 \text{ かつ } h \leq h_m \text{ の場合} \\ \quad n = (n_b^2 + h^{4/3}/k^2)^{0.5} \\ h_m > 0 \text{ かつ } h_m < h \leq h_v \text{ の場合} \\ \quad n = (h/h_m)^{5/3} \cdot (n_b^2 + h_m^{4/3}/k^2)^{0.5} \\ h_m > 0 \text{ かつ } h_v < h \text{ の場合} \\ \quad n = (h_v/h_m)^{5/3} \cdot (n_b^2 + h_m^{4/3}/k^2)^{0.5} \end{array} \right\} \quad (5.17)$$

ここに、 h_m は枝下長さ、 h_v は樹高、 n_b は樹木群が繁茂する範囲内での高水敷地表面の粗度係数であり、下草の有無によって以下の値を用いる。

- 下草あり $n_b = 0.04$

- 下草なし $n_b=0.03$

【高水敷樹木群の繁茂状況の整理】

高水敷樹木群の繁茂状況を整理し、粗度係数に関するパラメータ、そして下草の繁茂状況について以下に示すように整理する。

〈粗度係数に関するパラメータ〉

粗度係数を算出する際に必要なパラメータとして、樹高 h_v 、枝下高さ h_m 、幹の胸高直径 D_m 、そして単位面積当たりに繁茂する樹木本数 N があげられる。これらのパラメータを現地調査などを行って測定し、表 5-3 に示すように整理する。なお、植物学的な樹木分類において低木類に分類される樹木や幼木などでは、明確な幹を持たない場合がある。その場合には、 $h_m=0$ (m) とする。なお、表中の粗度係数は、水深が 2 m および 4 m の場合の式 (5.17) による値である。

表 5-3 粗度係数に関するパラメータ例

樹木名	樹高 h_v (m)	枝下長 h_m (m)	胸高直径 D_m (m)	単位面積当たりの 樹木本数 (本/m ²)	透過係数 K (m/s)	下草の 有無	粗度係数 $h=2$ m	粗度係数 $h=4$ m
A	5.0	2.0	0.2	0.03	52	有	0.050	0.160
B	6.0	3.0	0.4	0.029	38	有	0.058	0.110
C	7.0	3.5	0.5	0.025	36	無	0.053	0.088
D	6.0	3.0	0.4	0.03	37	無	0.052	0.103

〈下草の繁茂状況〉

樹木繁茂領域内においても、地表に草木類が繁茂している場合がある。その状況を現地調査によって調べ、a) 下草ありと b) 下草なしに分類する。下草ありとは、膝下高さ程度の草丈の草木類が高い被度で繁茂する場合とする。また、下草なしとは草丈が 10 cm 未満の草木類が繁茂する場合、もしくは草木類がほとんど繁茂せず地表が見られる場合とする。

【樹木群の評価と管理】

樹木が生長することにより、洪水支障があると判断される場合には枝の刈込みや撤去などを行う必要があり、そのためには樹木群を管理しなければならない。

樹木群の管理方法については、現状の樹木群の粗密状況と水理計算モデルの樹木の評価方法によって異なり、表 5-4 に示すとおりである。

表 5-4 樹木群の密生度と管理方法

樹木群の密生度	樹木の評価方法	樹木群の管理方法
密の場合	死水域として取り扱う	樹木群の面積が広がらないように管理する
粗の場合	樹木群の幅を削り引いて死水域として取り扱う	樹木群の面積と単位面積当たりの樹木の本数で管理する
	透過係数による粗度係数として取り扱う	単位面積当たりの樹木の本数で管理する

5-5 流下能力の算定と評価

5-5-1 流下能力算定のための条件設定

現況河道流下能力の検討は、現況河道が計画高水流量に対してどの程度の流量を流下することができるかを判断するものであり、流下能力を検討するうえでの条件は、5-4 節の「低水路粗度係数設定の検討」での検討結果を踏まえて、計画流量時の状況を想定しながら設定する必要がある。ここでは、流下能力を検討するために必要な条件量の設定方法について述べる。

(1) 河道区分

低水路粗度係数を設定するうえでの河道区分は、逆算粗度係数の算定時と同様のセグメント区分を基本とするが、5-4-3 項の「低水路粗度係数設定の詳細検討」において河道区分の見直しを行った場合には、見直し後の区分を用いる。

(2) 流量配分

流下能力検討時の流量配分は、現計画高水流量配分をもとに、計画高水流量配分比に応じて下流から上流まで設定した流量の範囲で計画高水位を挟むことができるように数ケース設定する。

(3) 河口出発水位の設定方法

① 河口部の位置

出発水位の設定位置は原則として（物理的な）河口部にする。これは、沖合から計算を実施すると、水面形状が実現象と大きく異なる可能性があることなどの影響を取り除くためである（図 5-37 参照）。

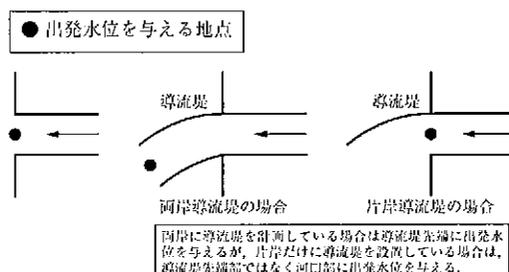


図 5-37 出発水位設定位置の概念図

② 河口部の出発水位

(a) 出発水位を設定するうえでの基本的な考え方

河口部出発水位を設定する際には、河口部付近における水理事象の中で、計画に取り入れることが妥当と判断されるものを考慮する必要がある。

(i) 洪水時の河床変動

一般に河口部は堆積空間であり、極端な河口部の拡幅は河口部の河道形状を維持管理すること

を困難にするばかりでなく、河床材料を細粒化させることなどにより、河道特性を変化させるとともに環境保全上の問題を発生させることがある。

実際の河口部では、洪水時の河床変動によって流下断面が確保される場合が多く、この現象を計画論に導入することによって、合理的な河道計画を立案することが可能となり、維持管理面や環境保全面から河道計画上のメリットが期待される。このようなことから、洪水時に河床が洗掘され流下能力が向上するような現象が見られる河川においては、洪水時の河床変動を計画論の中に取り入れた計画の立案を行う。

(ii) 密度差

河口部は河川水と海水の密度差によって塩水くさびが発生し、洪水時に水面から河床（海底）までを、有効断面（有効河積）として考慮することができない場合がある。このような河川においては、密度差による影響を考慮する必要がある。

この場合の密度差による水位上昇量は、静水圧分布状態での値（河口部の水深の2.5%）を用いる。

(iii) 洪水と高潮の同時生起

流域の規模や河口付近の地形形状によっては、台風によってもたらされる洪水の発生と、高潮が同時に発生する可能性が高い河川がある。このような河川においては、既往洪水における洪水ピークと潮位偏差の関係について整理を行い、時差が小さい場合には不等流計算出発地点で与える水位は、潮位のピークと流量のピークを調査し、必要に応じて改修計画規模と同一の確率偏差を考慮した水位を与えることが基本である。

なお、河口付近の河道部の背後地が非常に重要な場合にも、改修規模相当の偏差の潮位についても検討を行ったうえで出発水位を設定する必要がある。

(b) 河口出発水位の設定方法

不等流計算の出発地点は原則として河川管理区域の末端とし、その地点で与える水位は基本的には朔望平均満潮位を用いるが、計画対象河川の河口部の河道特性、将来的な河口部の地形変化の可能性等を総合的に勘案し、次のように考える。その手順のフローを図5-38に示す。ただし、既往洪水の流量ハイドログラフと潮位波形との関係を整理した結果、洪水と高潮が同時に生起する可能性が高い河川においては、その影響を考慮して出発水位を設定することも考える必要がある。

(i) 維持可能な砂州高を勘案して不等流計算出発地点の水位を与える場合

河口部に砂州が存在し、洪水時に洪水が砂州を越流する場合には、土木研究所の実験結果や砂州が存在する河川での水位観測結果等によると、図5-39に示すように洪水中のピーク水位（A点水位）は、洪水流によって砂州がフラッシュされる直前に出現し、その水位はフラッシュされる砂州高+0.5mを上回らないことが知られている⁸⁾。

このことから河口部に砂州が存在し、砂州地点が必ず支配断面となる場合には、維持可能な砂州高+0.5mを砂州直上流地点において不等流計算の出発水位として与える（図5-38中の〈判定1〉）。具体的には、河口付近の水位観測所の既往洪水時の水位記録と流量ハイドログラ

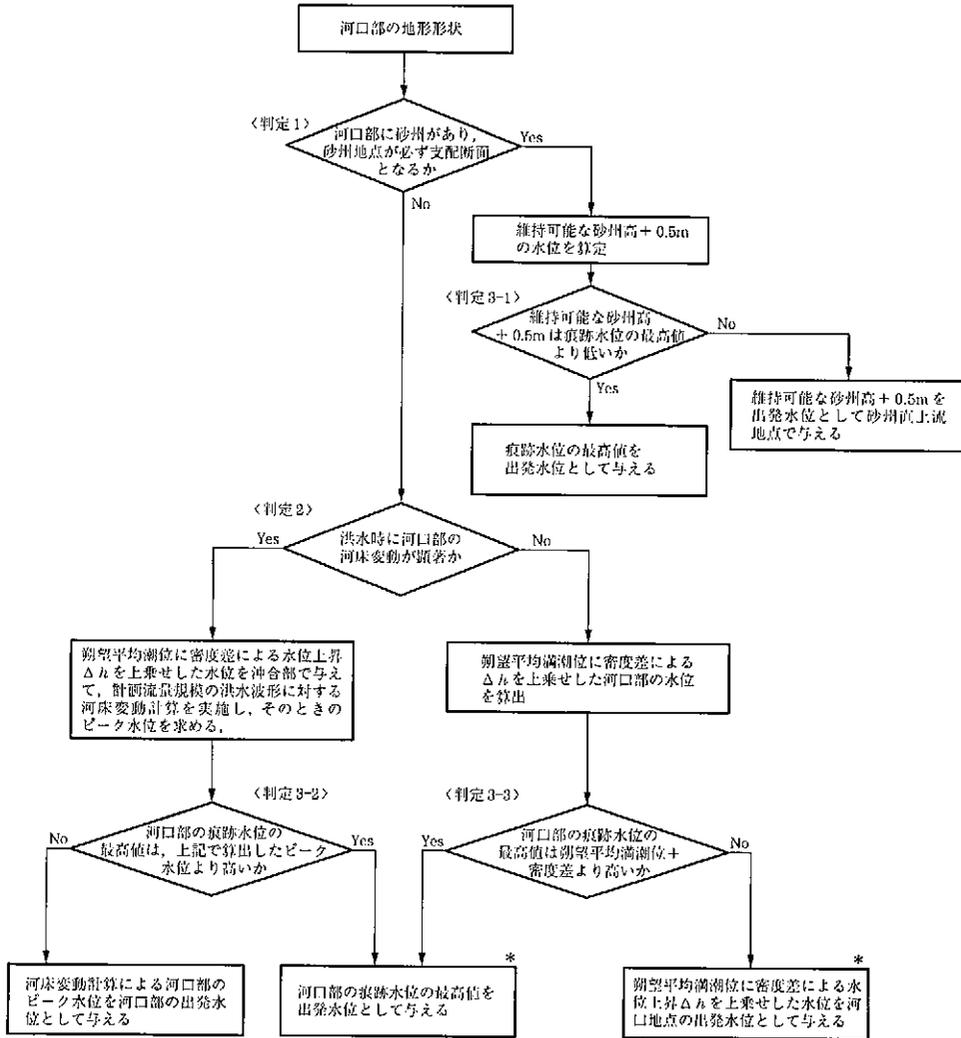


図 5-38 河口部の出発水位の設定フロー

【*：既往洪水の流量ハイドログラフと潮位波形との関係を整理した結果、洪水と高潮が同時に生起する可能性が高い場合には、その影響を考慮して出発水位を設定することが望ましい。】

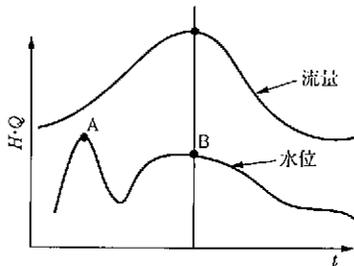


図 5-39 砂州フラッシュ洪水の水位と流量

フを図5-39に示すように重ね合せ、洪水時の砂州フラッシュの有無を把握し、砂州がフラッシュされる場合にはフラッシュ後の維持可能な砂州高を用いる。砂州がフラッシュされない場合には、現況の砂州高を維持可能な砂州高として用いる。この場合の砂州の高さは、図5-40に示したようにフラッシュされる砂州の範囲と砂州上流河道の法線形をもとに、流心に沿って下流へ延伸して設定し、そのフラッシュされると想定した範囲の平均高に取る。

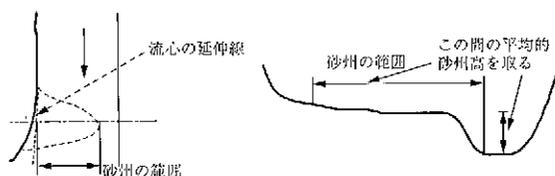


図5-40 砂州高さ把握の概念図

ただし、砂州直上流地点の最高水位が洪水ピーク発生時（B点）に対して発生する場合には、「維持可能な砂州高+0.5m」の水位とB点水位の高いほうの水位を採用するものとし、既往洪水の痕跡水位が、A点またはB点の水位よりも高い場合には、その水位を出発水位として用いる。なお、河口部の砂州の存在が洪水時の最高水位に対して支配的であることについては、河床変動計算や実測資料によって確認することが望ましい。

また、「維持可能な砂州高+0.5m」の水位が、既往洪水の痕跡水位の最高値よりも低い場合には、痕跡水位の最高値を出発水位として与える（図5-38中の〈判定3-1〉）。

（ii）洪水時の河床変動を考慮して河口水位を与える場合

将来的に埋立等によって河口部の地形変化が予測される場合や、洪水時に河口部の河床変動が生じる場合には、洪水時の河床変動を見込んで不等流計算出発地点における水位を与える（図5-38中の〈判定2〉）。特に逆算粗度係数を求めた結果、その値が異常値を示す場合には、洪水時の河床変動による影響が大きい可能性が高いため、その場合には河床変動計算を行って確かめる必要がある。

河口部の地形変化による河床変動の予測については、その影響を考慮した河床変動計算を用いて判断する。洪水時の河口部の河床変動については洪水時の河床高の観測結果から判断する（洪水時の河床高の観測結果がなく、洪水前後の横断河床形状の比較結果から、洪水時に明らかに河床高が変動し、洪水時の水位に影響していることがわかる場合には、その結果をもとに判断することもできる）。河床変動計算を行うにあたっての計算範囲は、河口部の地形形状や洪水時の河床変動を考慮して沖合から適当な河道区間を設定する。このときの downstream 条件には、朔望平均満潮位に淡水と海水の密度差を加えた水位を用いる。上流端では、高水計画で対象とした洪水波形を計画流量規模に引き伸ばしたハイドログラフを与えて河床変動計算を行う。

このようにして算定した結果をもとに、河口地点におけるピーク流量時の水位を求め、これを不等流計算出発地点における水位として、計画高水位設定のための不等流計算を行う。

ただし、この場合の水位よりも、既往洪水の痕跡水位の最高値のほうが高い場合には、その水位を出発地点の水位として与える（図5-38中の〈判定3-2〉）。

(iii) 朔望平均満潮位を与える場合

洪水と高潮の同時発生を考慮する必要がない場合で、洪水時の河床変動を考慮する必要がない場合には、河口部付近の観測所の朔望平均満潮位を不等流計算出発地点の水位として与える。なお、この場合には、淡水と海水の密度差を勘案し、水位を与える地点の水深見合いの補正を行う。河口部のすぐ近くに観測値がない場合には、外海のできるだけ河口部に近い観測所の値を用いる。

ただし、この場合の水位よりも、既往洪水の痕跡水位の最高値のほうが高い場合には、その水位を出発地点の水位として与える（図 5-38 中の〈判定 3-3〉）。

なお、淡水と海水の密度差による水位上昇量を算定する際の水深は、河口部の地形形状を考慮して適正な値を設定する（図 5-41 参照）。

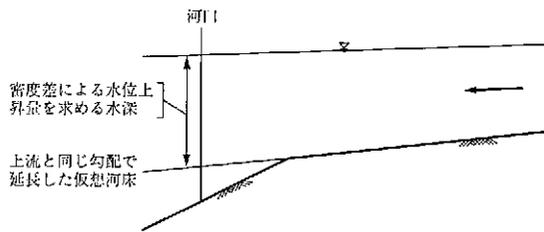


図 5-41 河口部の地形形状を考慮した河口水深の設定

(4) 支川合流部の出発水位の設定方法

背水区間を有する支川の出発水位については、以下の方法で設定する。

- ① 支川と本川の合流時差がない場合には、本川のピーク水位を支川合流部の出発水位として、合流地点に与える。
- ② 支川と本川の合流時差がある場合には、本川と支川の合流時差を考慮して、次に示す 2 種類の支川の出発水位と流量の組み合わせを決め、それを包絡する流量を支川の流下能力とする。

- ・支川ピーク流量とそのときの本川水位を出発水位として用いる。
- ・本川ピーク時の水位を出発水位とし、そのときの支川流量を用いる。

また、樋門等により本川水位の影響を遮断している支川や本川の影響を受けない支川については、本川との合流点において支川の自己流による等流水深を与える。

(5) 低水路粗度係数の設定

① 低水路粗度係数の設定方法

流下能力検討時の低水路粗度係数は、逆算対象洪水の流量規模と当該区間の河道特性等に応じて図 5-42 に示すフローに従い、以下の手順で低水路粗度係数の設定を行う。

(a) 逆算対象洪水時の流量規模が計画流量とほぼ等しい場合

既往洪水の流量規模が計画流量とほぼ同規模の場合には、逆算粗度係数を現況流下能力検討に用いる低水路粗度係数として用いる。

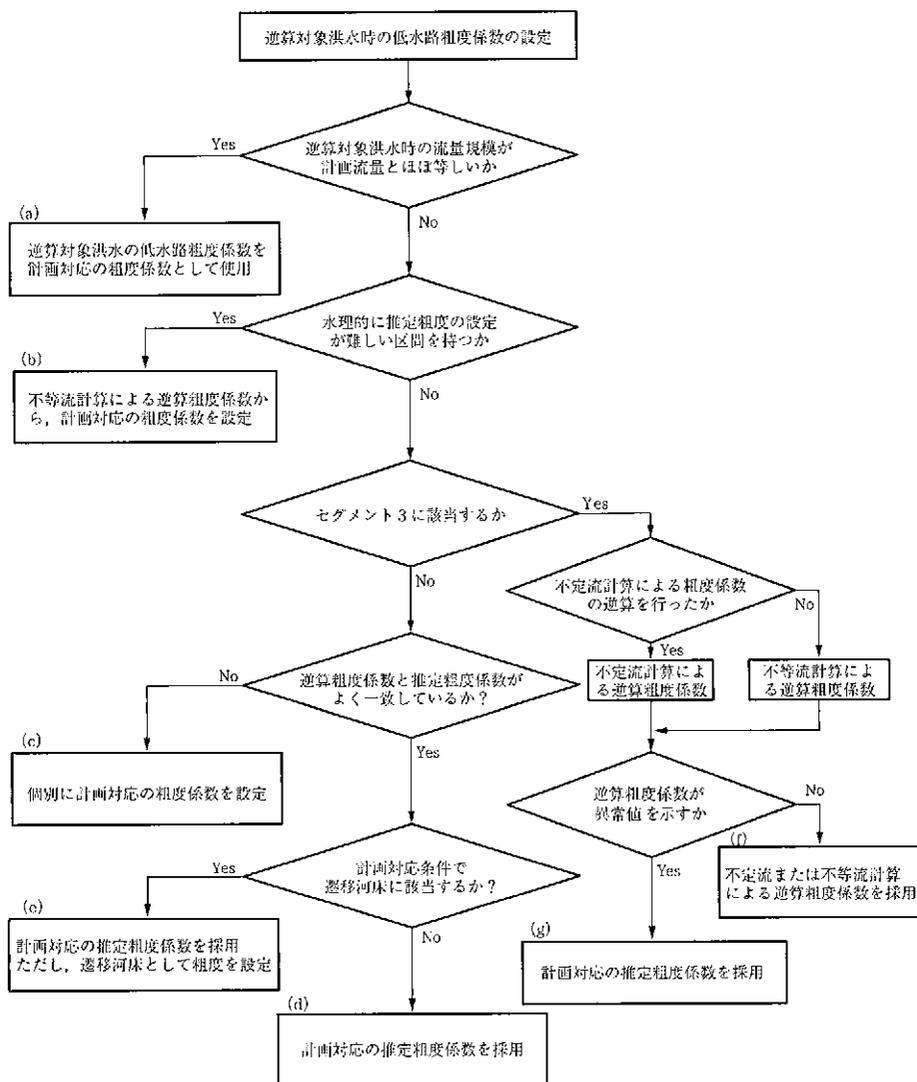


図 5-42 計画流量対応の粗度係数の設定フロー

(b) 水理的に推定粗度の設定が難しい区間を持つ場合

山地河道区間，岩河床区間，低水路強蛇行区間，連続的横断構造物区間等，5-4 節の「低水路粗度係数設定の検討」において，推定粗度の設定が困難な区間においては，不等流計算による逆算粗度係数から流下能力検討時の低水路粗度係数を求める。

この場合，逆算対象洪水の流量規模が計画高水流量よりも小さい場合には，流量規模と逆算粗度係数との関係を図化し，その図から流量規模と逆算粗度係数との関係を把握したうえで流下能力検討時の低水路粗度係数を推定する。

(c) 逆算粗度係数と推定粗度係数が一致しない場合

5-4 節の「低水路粗度係数設定の検討」において，逆算粗度係数と推定粗度係数がよく一致せず，逆算粗度係数が異常値を示し，修正のしようがない場合には，個別に検討を行って粗度

係数を設定する。その方法としては計画対応の推定粗度係数の採用、逆算粗度係数の採用、計画対応の推定粗度係数の修正、逆算粗度係数と、計画対応の推定粗度係数の両方を加味するなどが考えられる。

なお、セグメント2-2に該当する区間では、河床形態が砂堆から平坦河床に遷移することにより、逆算粗度係数と推定粗度係数が一致しない場合が考えられる。このような場合には、 τ_* の値および③の「遷移河床における粗度係数の推定方法」を参考に、適切な粗度係数を設定する必要がある。

(d) 計画対応の推定粗度係数を用いる場合

5-4節の「低水路粗度係数設定の検討」において、逆算粗度係数と推定粗度係数がよく一致し、計画対応条件で河床が遷移河床に該当しない場合には、計画高水流量時の推定粗度係数を流下能力検討時の低水路粗度係数として用いる。

(e) 遷移河床として計画対応の推定粗度係数を用いる場合

5-4節の「低水路粗度係数設定の検討」において、逆算粗度係数と推定粗度係数がよく一致するが、②の「遷移河道の妥当性の判断方法」によって計画対応条件で河床が遷移河床に該当する場合には、③の「遷移河床における粗度係数の推定方法」に従って、流下能力検討時の低水路粗度係数を求める。

ただし、計画対応条件で遷移河床に該当すると判断した場合には、既往洪水の逆算粗度係数が遷移領域の範囲にあることを確認する必要がある。このとき、既往洪水の値が遷移領域に含まれていない場合には、計画対応条件で遷移河床に該当しないものと判断することが望ましい。

(f) セグメント3の区間で、不等流または不定流計算による逆算粗度係数を用いる場合

セグメント3の区間において、不定流計算による逆算粗度係数が推定粗度係数（粒径成分から求まる粗度係数）に比べて異常値を示さない場合には、逆算粗度係数を用いる。なお、洪水時の水位・流量データの存在状況から不定流計算による粗度係数の逆算が困難な場合には、不等流計算による逆算粗度係数を用いる。なお、不定流計算は不等流計算と異なり、支川合流や構造物による水位上昇を粗度係数の中に入れて逆算を行うため、不定流計算で求めた逆算粗度係数を不等流計算で用いる場合には、粗度係数に含まれている中身に十分に留意して使用する必要がある。

(g) セグメント3の区間で計画対応の推定粗度係数を用いる場合

セグメント3の区間において、不定流計算または不等流計算による逆算粗度係数が異常値を示す場合には、計画対応の推定粗度係数を用いる。

② 遷移河床における妥当性の判断方法⁹⁾

特に河床材料が砂分であるセグメント2-2に該当する区間は、洪水などで河床形態が砂堆河床から平坦河床に遷移することがある。この遷移河床における推定粗度係数は砂堆相当～平坦河床相当の粗度係数の幅を持ち得ることから、逆算値との単純な比較になじまない。そこで、水理的推定法にもとづいたとき対象データを遷移河床と判断できるかどうかを調べ、水理的推定法から見て遷移河床に該当すると判断できるデータについては、逆算 n と推定 n の比較に

たうえて、計画に用いる粗度係数を設定する必要がある。

計画高水流量流下時には、明らかに河床波の形態が砂堆から平坦に変化すると想定される場合には、平坦河床の粗度係数を用いることができる。しかしながら、洪水時の河床波は水量量の変化にすぐ応答するものではなく、時間的ずれが生じること、また、実洪水時の水深、流速および河床変動は断面内で一様ではなく、河道内において平面的な分布を有しており、同一の河道特性を有する区間内においても、部分的に河床が遷移したり砂州が発達している区間が混在していることなどから、平坦河床の粗度係数を用いることが適切でないと考えられる場合には、流量観測結果をもとに総合的な判断をする必要がある。図5-44に示した流速係数と τ_* の関係がばらついている原因の一つに、このような洪水時の平面的な流速分布や河床状態の違いによるものがあり、計画を策定するにあたっては、洪水時の流速係数のバラツキを考慮したうえて適切な値を用いることが望ましい。

流量観測結果が十分ではなく、上述したような判断が行えない場合の遷移河床における粗度係数の推定方法の一つとして、次のような方法が考えられるが、この方法を用いた場合にはモ

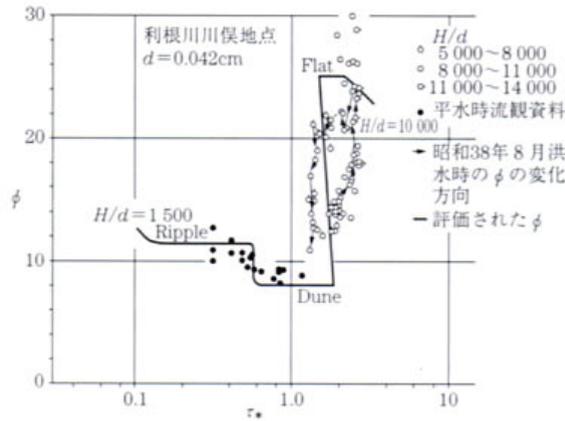


図5-44 流速係数と無次元掃流力、相対水深の関係図¹²⁾

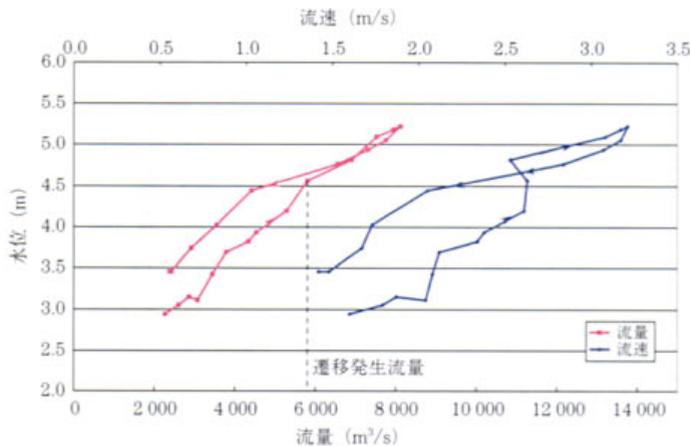


図5-45 流量観測地点の水位～流量～流速関係のイメージ（河床が遷移した場合）

ニタリングを十分に行い、粗度係数の妥当性を検証しておく必要がある。

なお、河口付近においては、上げ潮時と下げ潮時で水面勾配がかわるため、遷移河床の発生状況が変わるおそれがあることから、既往洪水時の条件と計画上の条件とを十分に確認したうえで、河道計画を策定する際の河床形態（計画流量流下時に遷移河床となっているか）を設定する必要がある。

【遷移河床に該当する河道区間の取扱い】

河床が遷移する場合、流速係数 ϕ が図 5-43 に示した範囲のいずれかの値となると考えられるが、実河川においては、洪水時の平面的な流速分布や河床形態の違いによって流速係数 ϕ が変わるため、それを一つの値として定めることが難しい。本方法は、計画流量流下時に河床波の形態が砂堆から平坦河床に遷移する場合の便宜的な粗度係数設定方法の一つであり、計画流量流下時に想定される τ_* を設定すれば、流速係数 ϕ を推定することができる方法である。以下に具体的な算出方法を示す。

- 1) $\phi - \tau_*$, H/d 関係図（図 5-46 参照）を用いて、計画流量相当流下時の H/d に近い H/d に対応する推定線上の遷移領域部分の右側に、コ形の範囲の流速係数 ϕ の上限値と下限値を設定する。囲まれた範囲は、粗度係数設定において遷移領域と見なす範囲である。推定線を太らせたのは、粗度係数を過小評価する危険を避けるためである。以降、これを粗度係数設定のための遷移領域と呼ぶ。図中では、 $H/d = 10\,000$ の場合を示す。
- 2) 次に、設定された粗度係数設定のための遷移領域（コ形の範囲）の τ_* に関する上限値は、既往洪水データ $\phi - \tau_*$ 関係図上での位置・パラツキおよび計画上見込みたい安全度などを十分検討したうえで設定する。なお、この方法によれば、粗度係数設定のための遷移領域の τ_* 値に関する上限値を大きくするほど（もともとの推定線の右側への張り出しを大きくするほど）、一般に粗度係数の推定値は大きくなる。
- 3) 計画流量時の不等流計算において、既往実績洪水による粗度係数を参考に粗度係数を 6 ケース程度仮定して計算を行う。
- 4) 不等流計算でそれぞれ計算結果として得られた τ_* 値と、仮定した粗度係数に対応する ϕ

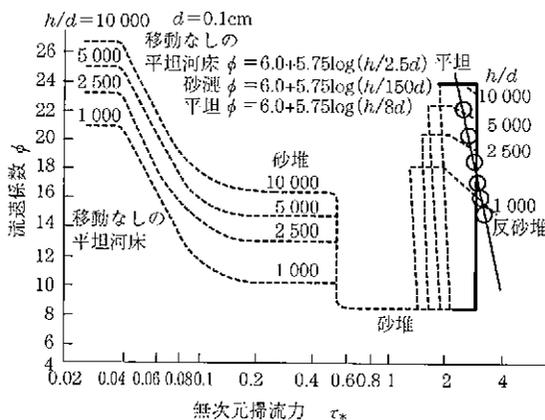


図 5-46 遷移領域における粗度係数の推定方法の説明⁹⁾

値を、 $\phi-\tau_*$ 図上にプロットする（図中の○印）。

5) 4) でプロットした ϕ 値と τ_* 値の点（○印）を線で結び、その線と粗度係数設定のための遷移領域との交点（遷移領域の右側境界での）の ϕ 値を読み取り、その ϕ 値により粗度係数を算出する（図中では交点の ϕ の値は 17.00 である）。ただしコ形の縦線と交わらない場合には、以下のように粗度係数を設定する。

- 粗度係数設定のための遷移領域の下側の境界線と交わった場合：砂堆（Lower Regime）と判断して、それに対応した粗度係数を算出する。
- 粗度係数設定のための遷移領域を囲む境界線のどこにも交わらず、その領域の上を通りすぎた場合：Upper Regime の ϕ 値により粗度係数を算出する。

（6）高水敷粗度係数の設定

河道内の植生は、繁茂状況や洪水時の倒伏状況によってその影響が異なる。流下能力の検討結果は、現況断面の河積で計画高水流量を流下させることが可能であるかを判断するものであることから、高水敷粗度係数は、逆算粗度係数算定時のものを用いるのではなく、計画高水流量時の植生の状態を想定し、安全側となるよう設定することが望ましい。

また、類似の河川において、水理諸量と草本類の倒伏の関係が明らかになっている場合には、これを参考に設定する。なお、計画高水流量時の植生の倒伏状態の推定が困難な場合には、5-4 節で述べた摩擦速度と倒伏状況との関係を用いる。この場合、一般にセグメント 1 の高水敷上の草本類は計画流量流下時には倒伏するものとして、セグメント 3 およびセグメント 2-2 では倒伏しないものとして、また、セグメント 2-1 では状況に応じて倒伏するものとして評価する。

（7）河道内樹木群の評価

河道内樹木群については、樹木管理が行えるのかどうかを見きわめたうえで、適切な値を設定する。

（8）水位上昇量の算定条件

① 構造物による水位上昇量

構造物による水位上昇量の算定にあたっては、現在設置されている構造物以外に都市計画決定されているなど、現時点で想定される橋脚等については考慮する。なお、橋脚幅、スパン割りについては、河川管理施設等構造令で示している阻害率を参考に設定する。

② 支川合流、わん曲、砂州等による水位上昇量

支川合流、わん曲、砂州等による水位上昇量については、逆算粗度係数算定時の条件を用いる。

5-5-2 流下能力の評価

現況河道の流下能力は計画高水位で評価する。この場合の検討流量は、対象となる河道区間の計画高水位相当の水位を内挿できるように流量を取る。5 ケース以上の流量を対象とし、このときの水位と流量をもとに、最小二乗法で下式の係数を算定し、各地点の計画高水位相当の水位をもとに流下能力を算定する。

$$Q = a * (H + b)^2$$

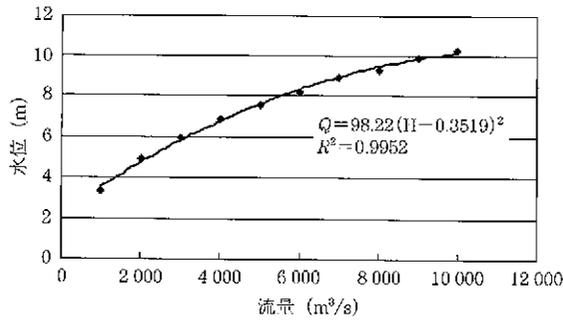


図 5-47 水位～流量関係図

ただし、一般に最小二乗法で求めた相関係数が0.9以下の場合には再度検討流量を見直して算定し直すか、河道の特性を踏まえた流下能力の評価を行う（図5-47参照）。

なお、流下能力の評価区間には、本川および支川（背水区間を除く）を取る。この場合、河口部や支川の背水区間においては移動床模型実験、過去の洪水時の実態調査、河床変動を含む不定流計算等によって種々の流量時の水位が評価し得る場合には、これらの水位から流下能力の評価を行ってもよい。

5-6 流下能力不足区間の要因分析

流下能力の評価によって、計画高水流量を流下させることができない場合には、計画高水流量を流下させるための対策を実施することになるが、流下能力不足となっている要因によって

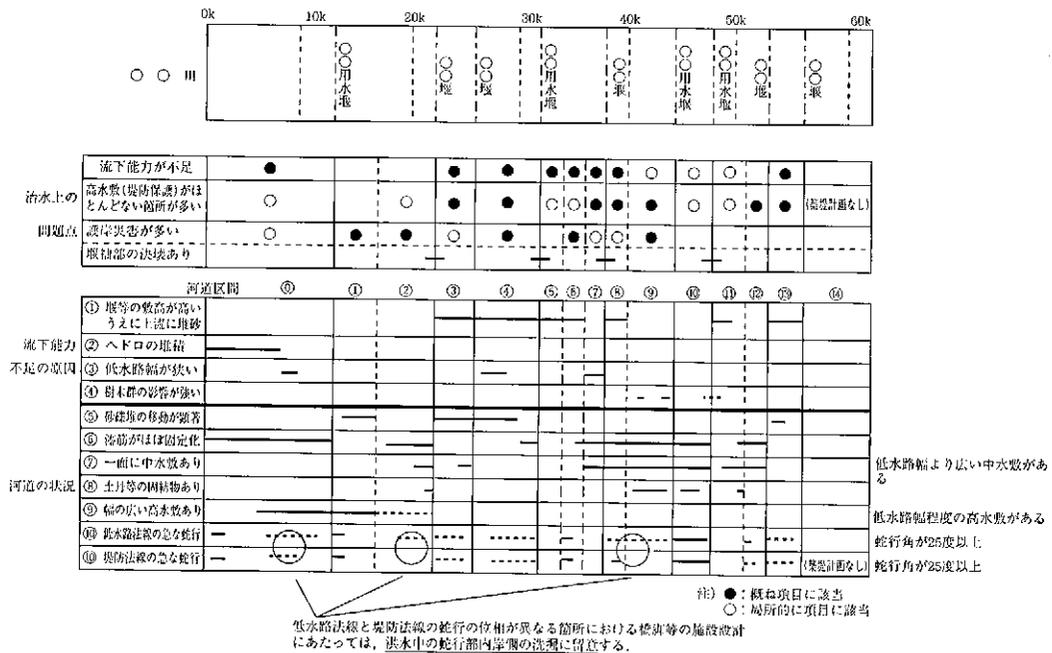


図 5-48 現況河道の治水上の問題点

はその対策方法が変わる。このため、計画高水位以下で計画高水流量を流下させるための河積確保を行うにあたっては、流下能力が不足している要因を図 5-48 に示すように整理する。

流下能力を検討した結果、計画高水位以下で計画高水流量を流下させることができない要因としては、一例として次のものがあげられる。

- 河道内に樹木が繁茂しており、それによる水位上昇が大きく生じている。
- 河道内に樹木がなくても、もともと一連の区間で河積が少ない。
- 局所的に狭窄部となっており、それに伴う水位上昇が生じている。
- 支川の合流、河道内の構造物やわん曲による水位上昇が大きい。

上記の流下能力不足の要因が、河道内のどこに位置しているかについては、河道内樹木がなかった場合や支川合流、構造物等による水位上昇量を考慮しない場合の不等流計算を行うことによって調べることができる。流下能力不足が生じている区間ごとに、その要因を明らかにする必要がある。

引用・参考文献

- 1) 河川における樹木管理の手引き—河川区域内における樹木の伐採・植樹基準の解説—, 財団法人リバーフロント整備センター編集, 山海堂, 1999.
- 2) 福岡捷二, 藤田光一: 洪水流に及ぼす河道内樹木群の水理的影響, 土木研究所報告, 第 180 号の 3, 1990 年 5 月.
- 3) 木下良作: 洪水と流路形態の現地観測, 第 14 回水工学に関する夏期研修会講義集 A コース, 1978.
- 4) 福岡, 藤田: 複断面河道の抵抗予測と河道計画への応用, 土木学会論文集, No. 441, 1989.
- 5) 福岡, 渡辺: 低水路河岸に樹木群のある河道の洪水流の構造, 土木学会論文集, No. 509, 1995.
- 6) 木下良作: 河川下流部における洪水流量観測法に関する一提案, 水文水資源学会誌, vol. 11, pp. 460~471, 1998.
- 7) 福岡, 山坂: 河床形状・流れ・流砂量の非線形関係を考慮した交互砂州の平衡波高の理論, 土木学会論文集, 1985.
- 8) 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 46 回建設省技術研究会報告, pp. 600~651, 1992.
- 9) 藤田光一, 山形 宙: 河道計画における低水路粗度係数の推定に関する資料, 土木研究所資料, 第 3642 号, 1999 年 3 月.
- 10) 山本晃一: 沖積河川学, 山海堂, 1994.
- 11) 山本晃一: 一様砂からなる開水路移動床の抵抗と流砂量, 土木学会論文集, 第 357 号, II-3, pp. 55~64, 1985.
- 12) 山本晃一: 河道特性論, 土木研究所資料, 第 2662 号, 1988.
- 13) 河道特性に関する研究, 第 42 回建設省技術研究会報告, pp. 761~791, 1989.

第6章 河道計画の基本的な考え方

河道計画の策定にあたっては、各河川の個性的な河道（移動床）の特性および諸条件を十分に把握し、“河道計画策定の基本的な視点（量的安全度、質的安全度、コスト、河川環境、流砂系の健全性確保）”のもとで計画の最適化を図る必要がある。ここではこれらの視点から、① 流下能力の確保、② 堤防の安全性の確保、③ コストの縮減、④ 自然環境の保全・回復を具体的な課題として取りあげ、それぞれについて河道計画の基本的な考え方を述べる。

第2章の図2-2に示したように、河道計画は上記①に関する部分（主に縦横断計画）と、上記②に関する部分（主に平面計画）とに分けられるため、本章では①と②の項目に分けて移動床現象の観点から重点をおいて検討すべき項目を明確にし、基本的な考え方を整理した。なお、上記の③と④については、それぞれの項目の中で記すことにするが、④の自然環境の保全・回復についての基本的な方針は次のとおりである。

河道計画を策定するにあたっての河川環境への配慮は、過去から現在までの河道特性の変化と、その変化が河川環境に与えてきた影響との関係を十分に考慮したうえで、河積確保と堤防の安定性の確保という治水上の目的と調整を図りながら検討する必要がある。たとえば、現状の河川環境が良好であれば、その河川環境を極力保全するように河積確保や、堤防の安定性を確保する方針を設定することになる。

しかし、現状の河川環境がすでに悪化している河川においては、河積確保や堤防の安定性を確保する方針の中で、過去の良好な河川環境を回復することを目標とする。この場合、良好な河川環境を回復する方策については、河川環境が良好であった過去の河道特性と、河川環境が悪化している現状の河道特性を比較しながら、その方策を見い出すことになる。

6-1 流下能力の確保（縦横断計画に関して）

流下能力の確保についての基本的な考え方は、図6-1に示すように、流下能力不足の程度によって異なる。すなわち流下能力不足の程度により低水路の改変規模が異なり、改変後の移動床現象を考慮する程度が異なるのである。

流下能力が少し不足する場合には、現況河道を基本とする局所的な対策が有効である。しかし流下能力が大きく不足すると、効率性やコストの面からは低水路掘削を基本とした対策が取られることが多く、河道を大きく変えることから、現況の河床変動特性を十分に踏まえた検討が必要になる。

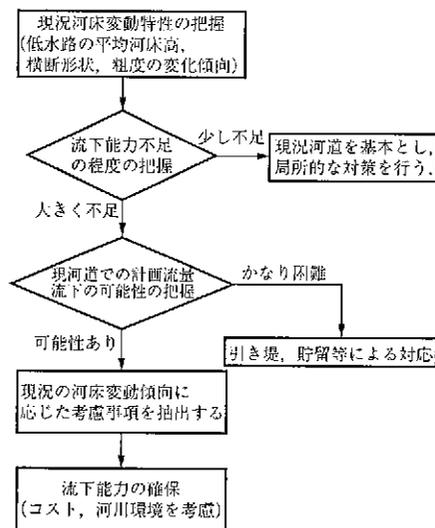


図6-1 流下能力確保の基本フロー

流下能力にかかわる移動床現象としては、低水路平均河床高の変化、横断的な河床変化と粗度変化がある。低水路平均河床高が上昇傾向の場合には、土砂堆積による河積減少に対処していくことが重要となる。

一方、低水路平均河床高が低下傾向の場合には、低水路河積は増大するが、一方では砂州の島状化・樹林化等により粗度が増大することがあるので、このような現象の進行および流下能力の変動傾向を把握し、計画検討に反映させる必要がある。セグメント2、3では、上流からの砂の供給量が増加しない限り河床低下を防止できないため、河道の維持管理上、河床低下を許容するか土砂管理による対策を行うかを判断する必要がある。以上をもとに、流下能力の確保にあたってのパターン分類を図6-2に示した。

なお、この図は現況の河床変化状況に対する基本的なパターン分類であるが、現況の河床変動特性を保持しようとしても、河川整備による水量変化に起因して、現況とは異なる特性が現れることもある。したがって、できるだけ河川整備後の河床変動予測を精度よく行い、これを考慮して図6-2によるパターン分類を行うことが必要である。

流下能力の確保にあたっては、コストの縮減と自然環境の保全・回復という2つの観点からのチェックが必要である。まず、コスト縮減の観点からの留意事項は、以下のとおりである。

- ① イニシャルコスト（低水路掘削が最も効率的、経済的である。河床低下を許容できる場合には将来的な低下量を考慮する）
- ② ランニングコスト（河床安定を図る；縦横断的な河床変化の推定をもとに施設設計河床高を設定する）

また、自然環境の保全・回復の観点からは、多様な河川形状を保全・回復することが重要である。このための留意事項としては、冠水頻度の変化に伴う植生分布の変化、土砂移動状況の変化による瀬と淵の形状変化があげられる。

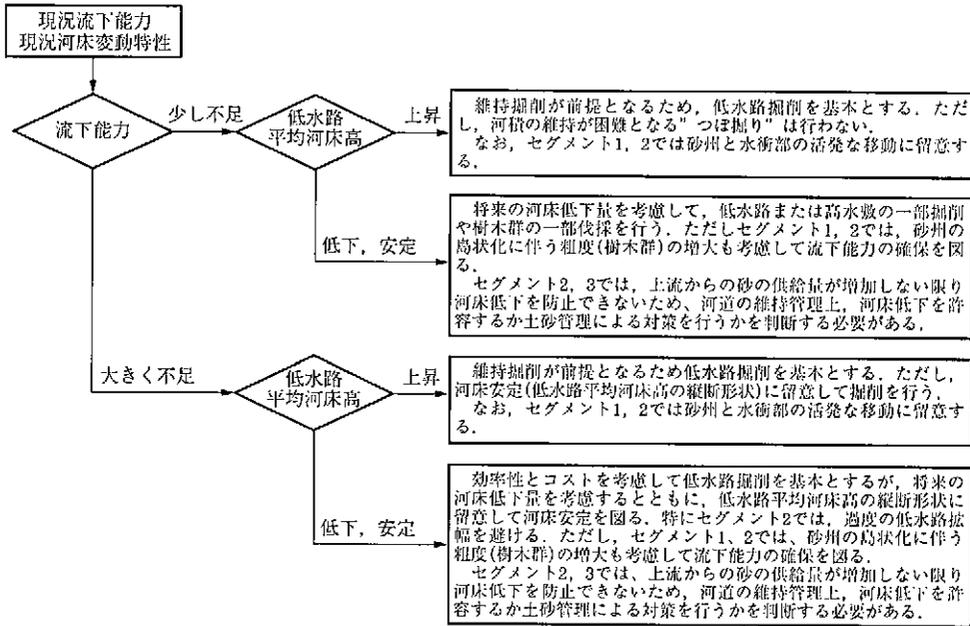


図 6-2 流下能力の確保にあたってのパターン分類

6-2 堤防の安全性の確保（平面計画に関して）

流水による侵食や洗掘に対する堤防の安全性確保の基本フローは、図 6-3 に示すとおりである。堤防の安全性確保の考え方は河道形状によって異なるため、現況河道形状における知見をもとに、一次設定した河道形状について検討することが必要となる。

その着目点は、砂州の形態や移動状況（河岸侵食含む）、掘削による河岸高の増大、および低水路や堤防の法線形状の違いに分けられる。以下にこれらについての基本的な考え方を示す。

砂州は、特にセグメント 1, 2—1 における河岸侵食発生の要因となるので、当該河川の砂州

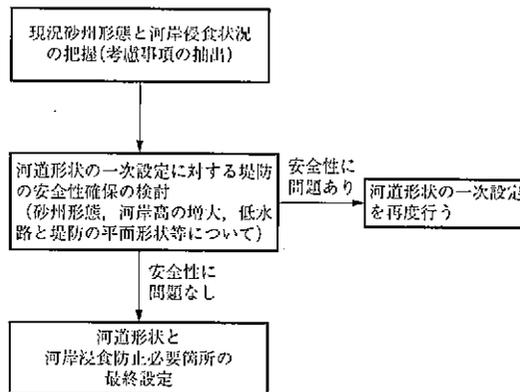


図 6-3 堤防の安全性確保の基本フロー

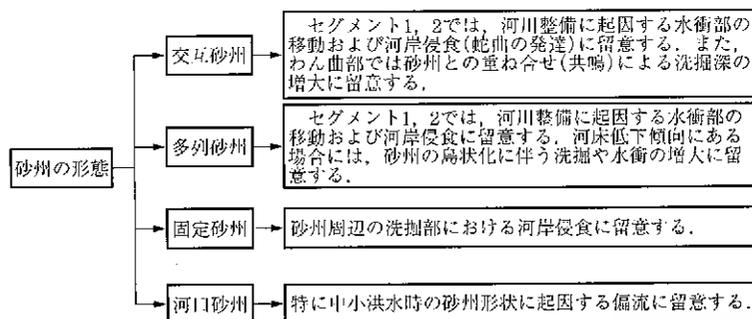


図6-4 砂州の形態に応じた堤防の安全性確保の基本的な考え方

形態や移動状況を把握することが重要で、さらに河川整備（低水路掘削、拡幅等）による砂州の形態変化や移動可能性を検討する必要がある。砂州の形態に応じた堤防の安全性確保の考え方は図6-4に示すとおりで、特に交互砂州の蛇曲の発達に対して、低水路形状の安定化のために河岸防護施設により平面形状を制約する必要性が生じる。また、砂州は中小洪水時に偏流の要因となるので留意する必要がある。

掘削による河岸高の増大について見ると、セグメント2における崩落型の河岸侵食規模は一般に河岸高の1~3倍であることから、河岸高の増大により河岸侵食規模が増大したり、いまままで生じなかった箇所でも、河岸侵食が生じたりすることが考えられるので、注意を要する。ただしセグメント2—2や3では、水衝部、洗掘部、工作物周辺等を除くとある程度自然河岸の耐侵食性を期待できる。洪水外力が大きい場合には、捨石による河岸法尻部の保護（パシヤル護岸¹⁾）によって自然河岸の保全を図ることができる場合もあり、このことはコストの縮減や自然環境（水際部の多様性）の保全・回復にとっても望ましい。

また、掘削がなくても最深河床が低下傾向にある箇所の河岸高は増大するため、低下箇所周辺の河岸侵食に留意する必要がある。セグメント1や2—1のように最深河床の低下が砂州の鳥状化に起因する場合には、必要に応じて砂州の鳥状化を抑制する必要がある（砂州の一部掘削、水制の設置等による）。

最後に、低水路と堤防の法線形状の関係による流況の変化について述べる。洪水の流れ方は、一般に低水路の平面形状、堤防の平面形状および洪水規模に応じて変化する。洪水水位が高水敷高から計画高水位に上昇するに従って、洪水流は堤防法線の影響を受けるようになる。このとき低水路法線が堤防法線と同位相であれば、洪水規模にかかわらず水衝部と洗掘部はわん曲部外岸側に生じる。しかし、これらの法線の位相が異なる場合には、水位に応じて主流部が移動するようになる。当然、主流部の移動に伴って河床の洗掘状況は変化する。したがって、当該河川における河道平面形状（整備後）をもとに、洪水規模を考慮した洪水の流れ方を必要に応じて二次元流解析などにより推定し、これをもとにした堤防防護を検討する必要がある。

6-3 河道処理方式を決めるうえでの配慮事項

現況河道の流下能力が計画高水流量を大きく下回り、低水路内の掘削や河道内の樹木伐採を行ったとしても、計画高水位以下の水位で計画高水流量を流下することができなく、現況の川幅の中で、計画高水流量を流下させるためには、低水路内の河床や高水敷を大幅に掘削しなければならない場合がある。このような掘削を行うと、河道内の河川環境を大幅に悪化させることになり、現況河道内だけで計画高水流量を流下させるのではなく、引き堤や堤防高の嵩上げによる対応を図る必要がある場合がある。このような場合には、河道改修を行ったことによる河川構造物や自然環境に与える影響を十分に把握したうえで、現況河道の改修限界を評価し、コスト縮減や自然環境の保全・回復という観点から河道処理方式を決定する必要がある。

6-3-1 計画高水位の基本的な考え方

一般に堤防のある場合の河道計画では、計画高水位を高くするほど内水排除、支川処理などに難しい問題が残るため、計画高水位はできるだけ低くし、通常は既往洪水の最高水位より低く取るべきものとされている。上・下流の河道条件から掘込河道とすることが可能であり、低水時における地下水位の確保、各種用水の取水位の確保、その他の流水の正常な機能の維持を図るための対策が十分行われている場合には、掘込河道とすることが積極的に検討される。これは背後地からの排水が河道内に十分に流入できること、および堤防のような工作物がないので、破堤等の災害を避けることができるからである。ただし、過度の掘込みとした場合には下流への流量を増大させるため、下流には一般に堤防区間があるので堤防の安全の点で好ましくない。したがって、計画高水位は地盤高程度とするのが通常最も好ましいとされている。

河道計画の策定にあたっては、定められている計画高水位のもとで流下能力評価や河積確保の検討を行う。ただし、山付き区間や局所的に流下能力が不足している場合で、一部の区間を改修すれば計画高水流量を安全に流下することができるような場合には、河道改修方式を十分に検討したうえで、計画高水位の変更を行う必要が生じることもある。ただし安易な計画高水位の引き上げは、災害ポテンシャルの増大を引き起こすことになるため、十分に慎重な検討を要する。

また、本川の背水区間内の支川の計画高水位は、本川の各水位に対応する支川の洪水流量にもとづく支川の高水位を包絡して定めるのが正しいが、一般にはそれほどの検討を必要とせず、次の方法で定められる。

【本川ピークと支川ピークが同時合流する場合】

本川および支川のピーク流量時に、背水計算によって求められる水位を基本として定められる。

【本川ピークと支川ピークに時差がある場合】

以下の水位のいずれか高いほうを基本として定められる。

① 本川が計画高水位であって、支川は本川のピーク流量に対応する合流量が流下する場合には、背水計算によって求められる水位

② 支川から計画高水流量が合流するときの、本川流量に対応する本川水位を出発水位とした背水計算によって求められる水位

ただし、本川の計画高水流量に対して支川のその比が比較的小さいような場合には、②の水位にかえて支川の計画高水流量に対応した等流計算によって求められる水位にできる。

本川と支川の流域の状況が極端に違っている場合で、ピークの出現状況がほとんど関係ないと思われる場合には、本川の背水はほとんど水平と考えられる。このような場合の水位は合流点の本川水位に対して水平の水位とされる。

6-3-2 引き堤、堤防嵩上げの必要性

引き堤や堤防の嵩上げを行う計画では、現況河道を改修した場合の河川構造物や自然環境への影響を十分に把握して、河道改修の限界を評価し、堤内地の土地利用状況、コスト縮減や自然環境の保全・回復の観点、堤防嵩上げによる被害ポテンシャルの増加、すでに整備されている堤防などの既存ストックの有効利用を踏まえたうえで、引き堤、堤防嵩上げの必要性とその規模を示す必要がある。なお、引き堤や堤防の嵩上げの検討を行った結果、そのような対応が困難とされる場合には、ダムや遊水地の設置による計画高水流量の変更について検討する必要がある。

第7章 河道の縦横断計画（河積確保）

7-1 検討手順

河道の縦横断計画の検討手順は、図2-2に示したとおりである。必要河積の設定にあたっては、河積確保のための制約条件を踏まえて、低水路の掘削規模、高水敷の掘削や樹木群（死水域）の伐採も検討し、最適な組合せを見い出す必要がある。これを見い出すため、基本的には掘削や樹木伐採による流下能力の増分の把握（感度分析）を行い、コスト、河川環境および流砂系の健全性確保の視点を加えて必要河積を設定する。

7-2 河積確保の検討条件の設定

河道の縦横断計画検討に際しては、まずはじめに将来の河道等の状況、計画流量が流下するときの状態などを想定して、第5章に示した手法により検討条件を設定する必要がある。以下に検討条件の設定方法を整理する。

（1）河口部の出発水位

計画流量流下時の河口部の出発水位は、①河口部に形成された砂州の洪水時のフラッシュ状況とそのときの支配断面の発生状況、②洪水と高潮の同時生起の可能性、③洪水時の河床変動、④河口部の海水と河川水の密度差による水位上昇、⑤既往洪水時の河口部の最高水位を考慮し、図5-38に示したフロー図に従って設定する。なお、将来的に河口部の埋め立てや浚渫を行う可能性がある場合には、それらによる洪水時の河床変動や水位上昇を十分に考慮して設定する必要がある。

（2）支川出発水位

支川の出発水位は、計画高水流量流下時の本川の背水区間や本川と支川の合流時差を考慮して設定する。なお、支川の処理方式によって背水区間等に影響がある場合には、この影響を考慮する。

（3）低水路粗度係数

計画に用いる低水路粗度係数は、5-5節に示した方法によって求める。なお、ダム・放水路の建設や背割堤の整備等を行う場合には、平均年最大流量とともに河床を構成する代表粒径が変化するおそれがある。このような区間において推定粗度を計画に用いる粗度係数として用い

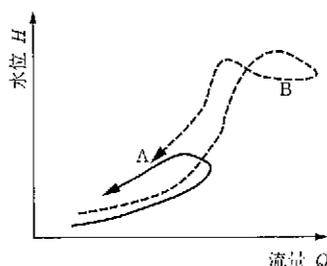


図7-1 一洪水のH-Qの関係

る場合には、混合粒径の一次元河床変動計算を実施するなどして、代表粒径に十分注意をはらって計画流量流下時の低水路粗度係数を設定する必要がある。

また、流量の増大によって河床形態が変化する場合には、流量規模によって河床形態が変わることによる粗度係数の変化を考慮して、低水路粗度係数を設定する必要がある。流量規模の違いによる粗度係数の変化が卓越する河道区間はセグメント2-2であり、5-5-1項の(5)において、既往洪水の逆算粗度係数が遷移領域に含まれることが確認された場合には、以下の点に留意して計画に用いる低水路粗度係数を設定する必要がある。

- 洪水の規模によって異なるが、河床が遷移しない場合には図7-1に示すAのパターンのような水位と流量の関係になる。洪水後期に流量の割に水位が高いのは水面勾配が緩くなるためであるが、この関係は洪水波形によって異なり、一義的に決定することは困難である。ただし、流量の規模にかかわらずこの関係にあるときには、粗度係数の算定において痕跡水位と流量観測値を用いるため、河道計画は安全サイドとなる。
- 河床波の形態が砂堆から変化し、平坦河床となる場合などは、Bのように流量増加しても水位が上昇しないことがある。洪水の途中で河床が遷移する場合には、洪水の流量ピーク付近で洪水期間中の最高水位とならないおそれがあるため、流量観測結果から逆算された粗度係数とそのときの流量を用いた不等流計算を数ケース実施し、洪水期間中の最高水位を求める必要がある。

なお、計画対応条件で遷移河床に該当すると判断した場合には、既往洪水の逆算粗度係数が遷移領域の範囲にあることを確認する必要がある。

また、セグメント3において、不定流計算による逆算粗度係数を不等流計算に用いる場合には、逆算で求めた粗度係数の中身を十分に留意して使用する必要がある。

(4) 高水敷粗度係数

高水敷上の植生の繁茂状況は、季節や高水敷の冠水頻度等によって異なる。特に低水路の河床高が低下し、高水敷の冠水頻度が低くなったり、洪水の発生頻度が低い場合には、高水敷上の樹木が樹林化する場合がある。逆算粗度係数を求める際の高水敷粗度係数は、洪水当時の状況から判断して設定を行うが、河道計画の策定に際しては、①高水敷上に繁茂した樹木群の密生度、②洪水時（計画高水流量流下時）の植生の倒伏状況、③高水敷植生の成育の推定と維持管理等を考慮し、実際に管理できる状況を想定して樹木群による死水域設定と高水敷粗度



流木・ごみ等による樹木間閉塞の事例



樹木へのごみの付着例

写真 7-1 洪水時の樹木へのごみの付着例（文献¹⁾からの引用）

係数の設定を行う。この場合の粗度係数は、図 5-36 に示す水深・草丈比と粗度係数との関係図から設定する。

また、洪水時には写真 7-1 に示すように樹木へゴミが付着し、死水域となる場合があることから、計画時の樹木はこのようなゴミの付着を考慮して、死水域の設定を行うことが望ましい。

（5）断面分割と境界混合係数

計画時の断面分割は、河道改修や樹木管理、計画に用いる粗度係数の設定状況等から、顕著な流速差が生ずると考えられる位置で断面内をいくつかに分け、図 5-6 に示した値を境界混合係数として使用する。なお、河道改修によって、高水敷を掘削し、低水路幅が広がった場合には、それに応じて断面内の分割を行う。

（6）死水域の設定

河道の平面形状による死水域（急拡・急縮による死水域）と、縦断形状の変化による死水域（深掘れ部の死水域）は、第 5 章に示す方法を用いる。河道改修によって断面が大きく変化する場合には、その影響を考慮する。

また、樹木群による死水域は計画時の樹木の粗密や、伐採等管理の内容に応じて設定する。樹木群による流下方向の死水域については、計画流量流下時の流向に応じて設定する。

（7）水位上昇量を算定するための条件量

準二次元解析手法に含まれていない水位上昇量としては、第 5 章に示したように①支川合流による水位上昇量、②構造物の堰上げによる水位上昇量、③わん曲による水位上昇量、④砂州等による水位上昇量がある。

① 支川合流による水位上昇量 (Δh_{01})

現況河道の本川と支川の川幅、合流角度を用いるが、合流点処理を行う計画がある場合には、合流点処理後の形状を用いる。また、支川処理方式の変更によって本川と支川の流量が変更する場合には、これについても考慮する。

② 構造物の堰上げによる水位上昇量 (Δh_{02})

現況河道内に建設されている構造物の諸元を用いることを基本とし、現存構造物が改築、移設、撤去の計画がある場合にはこれを考慮する。また、都市計画決定および都市計画審議会で

審議されている新設構造物のうち、その諸元が明らかな施設についても対象とする。

③ わん曲による水位上昇量 (Δh_{w3})

一連のわん曲区間の現況堤防法線の曲率半径を用いる。堤防法線形を大きく変更する場合には、変更後の法線形における諸元を用いる。

④ 砂州等による水位上昇量 (Δh_{s4})

計画流量流下時の砂州等による水位上昇量は、第5章に示した方法によって求める。

河積の確保により河道形状が複断面から単断面に変わる場合などについては、計画河道における砂州形態を推定し、適切な水位上昇量を設定する必要がある。

(8) 河口部掘削と塩水くさびの関係

河口部付近の現況流下能力が不足している場合には、低水路を掘削（浚渫）することによって、流下能力を増加させることがある。一般には、洪水時における河口部の内部フルード数が1より大きければ塩水くさびを考慮する必要がない。河口付近の河床を凹形状に掘削するなどして、内部フルード数が1を下回るような場合には、河道内に進入した塩水が洪水時に残存し、全断面を計画流量を流下させる断面として評価することができないことがある。このような場合には、河川水と塩水の密度差による流れへの影響を求めることができる鉛直二次元モデルや、三次元モデルを用いて、計画流量流下時の塩水の進入範囲を把握し、塩水部分を死水域として設定しなければならない。

【河床掘削を行った場合の塩水位置の把握方法】

河口部において、計画流量を計画高水位以下の水位で安全に流下させるために低水路内の河床を掘削した場合には、洪水時の河床付近の塩水位置が現況河道に比べて大きく変わる。この計画高水流量流下時の塩水位置、河川水と塩水の密度差が流れに及ぼす影響を推定する方法として、鉛直二次元モデルや三次元モデルがあり、その方法を以下および図7-2に示す。

① 計算対象領域の設定

計算を行うにあたっての海側と河道側の計算対象領域を設定する。海側の範囲は、河川から洪水流が潮位に影響を及ぼさない範囲とし、河道側の範囲は塩水の遡上がなく、流量条件を与えることができる地点とする。

② 河道条件の設定

計画高水流量を計画高水位以下の水位で安全に流下することができる河道の縦・横断形状と平面形状の設定をする。

③ 差分計算メッシュの作成

①の計算対象領域内の海底高と②の河道条件から、平面方向と鉛直方向の差分計算メッシュ分割を行う。この場合は、鉛直方向のメッシュ分割は、河口付近の密度差を表わすことができる程度の分割数とする。また、河口付近の河道の平面形状が曲っている場合には、その曲がりによる流れの影響が河口付近の塩水位置に影響を及ぼす場合があることから、平面方向のメッシュの大きさは、河道内を少なくとも3分割できる程度とする。なお、鉛直二次元モデルの場合には、流速の平面分布を計算することができないため、河口部の河床変動計算と同様に沖合

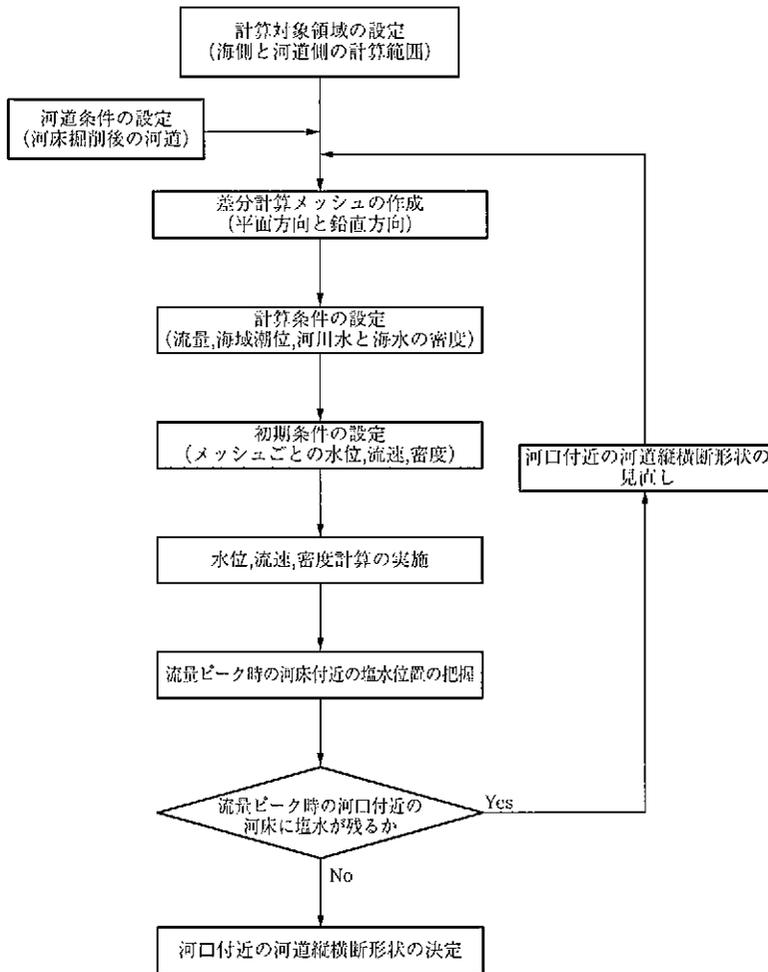


図 7-2 河口付近の河床掘削後の塩水位置の把握フロー

いに仮想河道を設けて鉛直方向の差分計算メッシュだけを作成する。

④ 計算条件の設定

計算を行うにあたって必要となる河道流量、海域潮位、河川水と海水の密度を設定する。河道流量は計画流量ハイドログラフを用いるものとし、海域潮位は、河口部の出発水位の設定方法による水位を用いる。

⑤ 初期条件の設定

メッシュごとの水位、流速、密度の初期条件は次のとおりとする。水位は、海域潮位のはじめの時刻の値をすべて一定で与える。流速はすべて「0」とし、密度は河道内も含めてすべて海域の密度とする。

⑥ 水位、流速、密度計算の実施

河道の上流端に流量ハイドログラフから求まる流速と河川水の密度を与え、沖合いに与えた潮位を用いて、差分計算メッシュごとの水位、流速、密度の計算を行う。

⑦ 流量ピーク時の河床付近の塩水位置の把握

⑥の計算を続け、流量ピーク時の密度計算結果から、河口の河床付近の塩水の位置を把握する。

⑧ 河口付近の河道縦横断形状の見直し

⑦の結果、河口付近の河床に塩水が残る場合には、その部分を計画流量が流下する場合の有効河積として取り扱うことができないため、塩水部分を死水域として河口付近の河道の縦断形状と横断形状、平面形状の見直しを行う。

7-3 河積確保にあたっての制約条件と河川環境の保全・回復の基本的な考え方の設定

7-3-1 河積確保にあたっての制約条件の設定

河道の河積確保にあたっては、その制約条件を明確にする必要がある。制約条件は、低水路を掘削する場合の河床勾配や低水路幅などの河積を安定的に確保するうえでのものと、低水路や高水敷の掘削下限高、低水路位置などの河積確保による影響を勘案したものとに分類される。

低水路については、以下に示すように高さ方向（掘削下限高とその勾配）と横方向（低水路幅）の制約条件を設定する。

① 高さ方向の制約条件（掘削下限高とその勾配）

流下能力が不足する区間では、橋脚等の河川工作物への影響、高水敷の冠水頻度、周辺の地下水の状況、河川環境の変化等の河川を管理するうえで必要となる河床高（管理河床）を考慮して、掘削可能な河床高の下限値を設定する。

掘削下限高の縦断勾配の設定にあたっては、河積の安定確保を目的として現況河床変動特性を勘案しつつ河床の安定性を検討し、区間上下流の低水路の平均河床勾配やその縦断形の連続性を考慮する。

② 横方向の制約条件（低水路幅）

流下能力が不足する区間で低水路拡幅が必要となる区間では、河積の安定確保を目的として現況低水路幅とその変動傾向、拡幅による平均年最大流量時の u_{*} の変化、および、河道改変後の低水路幅の応答事例を勘案し、維持可能な低水路幅を設定する。特にセグメント 2—1 で十分な検討を行う。一方、河積の安定確保の観点から低水路の拡幅が困難な場合は、高水敷の一部掘削（高水敷の一部切下げによる中水敷化）が有力な河積確保の手段となる。

また、橋梁、堰等の河川工作物の存在による低水路幅の制約（橋脚根入れについての高水敷の特例、堰の横断平面形状等）を明確にする。

高水敷については、現況の河川環境を尊重する観点から現況河道とすることが望ましい場合が多い。しかしほかに有効な河積確保の手段がなく、あるいはより良好な河川環境をもたらすために高水敷を全体的に切り下げる場合には、橋脚等の河川工作物への影響、高水敷の維持

(冠水頻度、流れの乗上げと落込み)、河川環境への影響を勘案し、平面的な形状も考慮して高さ方向(掘削下限高、勾配)の制約条件を設定する。掘削後の高水敷高さは、河床高の安定を考慮して平均年最大流量対応の水位を目安にして、高さを設定することが望ましい。

河積確保のために、密生した樹木群(死水域)を一部伐採する場合については、河川環境の保全・回復の基本的な考え方とは別に、治水上、特に樹木群の一部伐採が堤防の安全性に影響を与えないように留意する必要がある。たとえば樹木群の一部伐採により、堤防近傍の流速が増大(伐採による急縮流が発生)しないように留意する必要がある。

7-3-2 河川環境の保全・回復の基本的な考え方の設定

河道内の自然環境は、個別河川において区間ごとに異なるものであり、河道計画における自然環境の保全・回復の基本的な考え方(目標)は、「第4章 河川環境特性の把握結果」をもとに、現在の河川環境が良好である区間と悪化している区間に分けて、それぞれの区間ごとに設定する必要がある。

すなわち、現在の河川環境が良好な区間においては、現状の河川環境と洪水時の水理量との関係を把握したうえで、「第4章 河川特性の把握」において作成した「河川環境情報図」を参考に、貴重種の保護を含めた特定箇所の保全を行うなどの、現状の河川環境を保全するための基本的な考え方を定める。

河川環境がすでに悪化している区間においては、河川環境が良好な区間の水理量と生物の生息環境等との関係等を参考にしながら、河川環境を回復するための基本的な考え方を定める。

7-4 河積確保の基本方針の設定

河道内河積の安定確保を念頭におき、河積確保の方策(河床掘削、低水路拡幅のほか、高水敷の切下げ、樹木群の一部伐採を含む)を選択する考え方、および河積確保の基本方針を設定する。河積確保のための低水路掘削は、河川環境や低水路平面形状と密接な関係があるため、基本方針の設定にあたっては河川環境上の制約条件、および低水路平面形状についての基本方針を十分に考慮する必要がある。なお、現在の河川環境がどのような条件で成り立っているのか、①流速、②高水敷の冠水頻度、③上下流の連続性などを把握したうえで、これらの条件が変わることによる自然環境への影響を河川環境情報図にトレースするとともに、変化許容範囲を検討し、基本方針を設定する。

一般に、流下能力不足の要因は明確であっても、河積確保の基本方針を明確にすることは容易でない。河道区間それぞれで低水路の特性、高水敷の利用状況および樹木群の繁茂状況が異なるような河道に対しては、低水路の掘削規模のほか、高水敷の掘削規模や樹木群(死水域)の伐採規模の最適な組合せを見い出すことが必要となる。このとき流下能力の感度分析が有用な手段となり、河積確保の基本方針の設定にあたっては、この感度分析を行うことが望ましい。

たとえば、①現況河道、②低水路掘削河道(現況河岸を保全し下に掘る)、③低水路拡幅

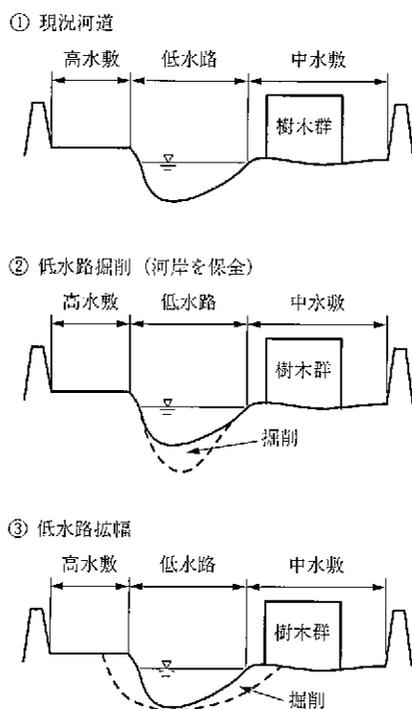


図7-3 流下能力変化の感度分析で検討対象とする横断形状の例

河道を設定し（図7-3参照）、これに樹木群あり、なしとする合計6ケースの流下能力を算出し、各ケースにおける流下能力の増分を把握する。さらに、水理量や河道形状の変化も十分に把握し、これらを考慮して河積確保の基本方針を設定する。なお、感度分析では、当該河道で懸案となる事項を抽出できる検討ケースを設定することが基本である。

河道内の河積不足の形態としては、①河道内に樹木が繁茂していることによる河積不足、②低水路内の河床高が高いことによる河積不足、③低水路幅が狭いことによる河積不足、④高水敷高が高いことによる河積不足がある。流下能力を増大させるためには、いずれかの河積不足を解消するための方策の優先順位を決め、それによる影響に留意しながら河積確保の基本方針を設定する必要がある。河積確保の優先順位は、河川特性や河川環境に応じ河川ごとに異なるものであり、それぞれの特性に応じて河積確保の優先順位について整理する。

また、河積確保の方策と整備後の影響は表7-1に示すようであり、河積確保によって量的安全度を確保すると、質的安全度、コスト、河川環境に影響を与えることがあることを考慮する必要がある。河積確保を行うにあたり、高水敷や河床の掘削、樹木伐採による死水域の変化等によって、部分的に射流状態に近い流れが生じるような河道を作ると、その付近において河床低下が生じ、河床の安定性を確保できない場合があるため、部分的に高流速にならないような河積確保を行う必要がある。

なお、既往の測量結果から低水路内の平均河床高が安定していない河道や、河川の整備（ダム建設、放水路建設等）による流量の変化によって、低水路平均河床高の安定性が変化するこ

表 7-1 河積確保方策と整備後の影響

河積確保方策	整備後の影響
低水路内の河床掘削	<ul style="list-style-type: none"> 低水路内に流れが集中し、河岸侵食を引き起こす外力が大きくなるため、低水路の河岸高が現況より高くなり河岸は侵食されやすくなる。 部分的に河床掘削を行った場合には、低水路の縦断形状が変化するため、低水路の河床の安定性がそこなわれるおそれがある。 低水路の河床高が現況より低くなるため、感潮区間においては、干潮時の高水敷からの落ち込み流による河床または法肩が侵食されやすくなる。
低水路の拡幅	<ul style="list-style-type: none"> 低水路内の水理的状況が変化し、河床高変化や低水路環境に有意な影響を与える場合がある。
高水敷樹木の伐採	<ul style="list-style-type: none"> 植生繁茂に伴い、短期間で増大しやすいため、河川整備後にも、流下能力を維持する目的から、将来的に粗度管理を行う必要がある。
高水敷の掘削	<ul style="list-style-type: none"> 高水敷の河川環境に有意な影響を与える場合がある。 将来的に樹木伐採等の粗度管理を行う必要がある。

とが予測される河道においては、流砂系土砂管理との整合を図った一次元河床変動計算によって将来河床高の予測を行い、それに伴う流下能力の変化を考慮するものとする。

また、河口部は河床変動の大きな区間であるので、洪水時の河床変動状況も考慮して必要河積の検討を行うことが重要である。特に河口部に存在する砂州は汽水域の環境を維持するうえで重要な要素を担っていることが多いことや、河道部への波の進入を防止しているなどの効果もあるので、その取扱いについて慎重に検討を行う必要がある。したがって、河口部において河口砂州の影響により流下能力が不足する区間では、既往洪水の痕跡水位や砂州の変形状況等を勘案して流下能力を検討し、必要に応じて河口砂州の洪水フラッシュを考慮して、河口部の流下能力を検討することが望ましい。

7-5 代替案の設定と検討

河積確保のための河道形状の設定にあたっては、河道特性や河川環境特性から河道を数区間に分割し、その区間ごとに河川環境情報図を用いながら、河積確保の制約条件と河川環境・河積確保の基本方針にもとづいた代替案の抽出および比較検討を行う。そのうえで区間ごとの最適案を抽出し、全川を通して流下能力、河床の安定性、河床形態の変化、河川環境の変化等についてチェックを行い、コストの視点からの検討を踏まえて、最終的な河道形状（必要河積）の設定を行う（図 7-4 参照）。

7-5-1 代替案の設定

7-3 および 7-4 節で設定した河積確保の制約条件、河川環境の基本方針および河積確保の基本方針を踏まえ、低水路河積、低水路平均河床高、低水路法線、高水敷高をはじめとする河道

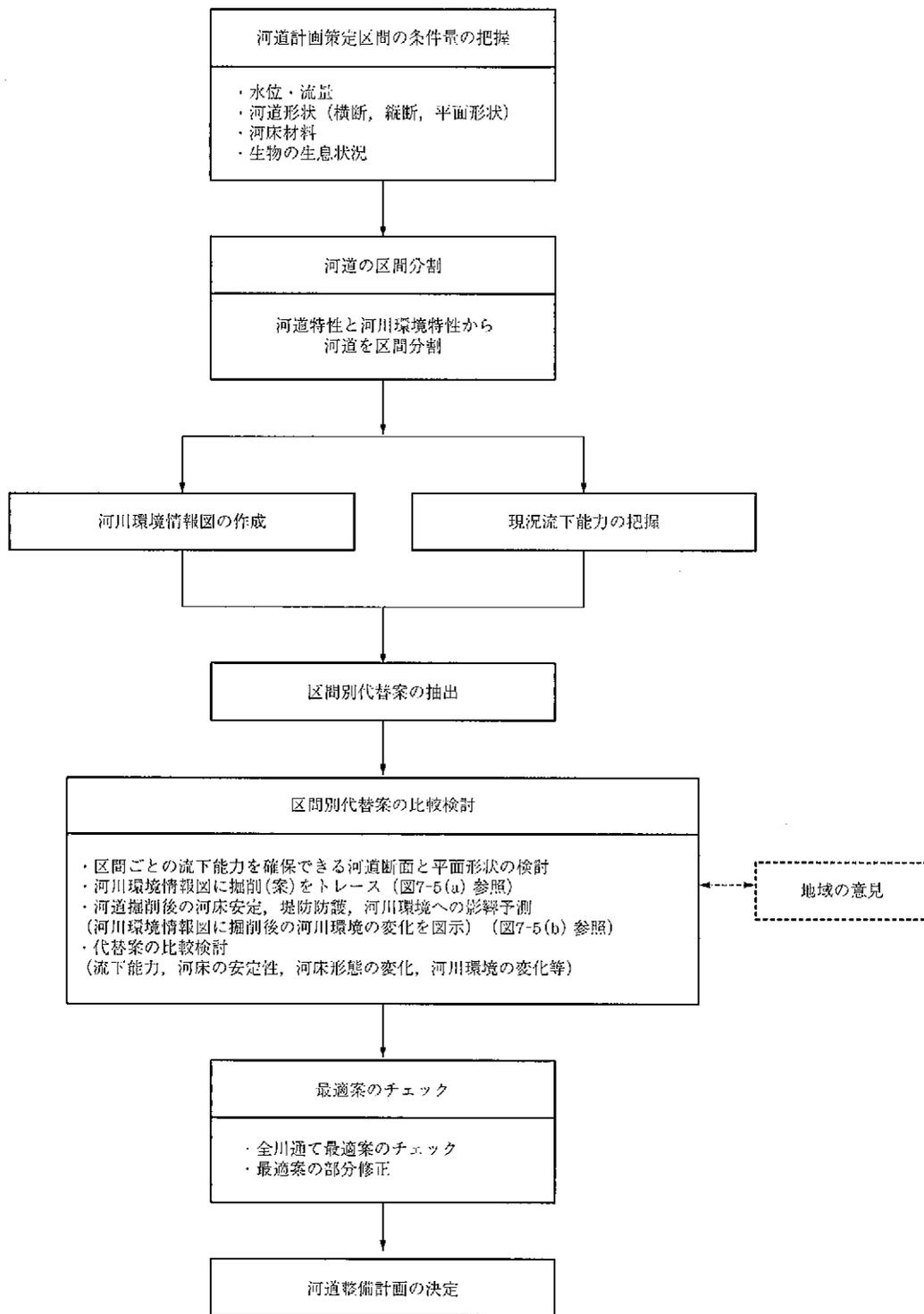


図7-4 河川環境情報図を用いた河道計画策定の流れ

形状（河積）の代替案を設定する。河積確保の代替案は、河道特性や河川環境特性を踏まえて、全川を数区間に分割し、各分割区間ごとの制約条件や河川環境の基本方針をもとに設定した掘削下限高と低水路幅をもとに、流下能力確保のための目安となる低水路平均河床高を設定し、この河床高をもとにして設定を行う。また、高水敷の切下げを行う場合には、高水敷の維持管理面、低水路平均河床高の安定、現況の河川環境の保全から、その敷高を平均年最大流量対応の水位以上とすることが望ましい（一部を切り下げて中水敷とする方法を除く）。

なお、最新の現況横断面形状をもとに、現計画の堤防断面、法勾配を基本として、河川環境の保全・回復を行うための断面形状を設定するものとし、代替案を比較する際の横断面図は、市民の方々の理解を得るために、縦と横のスケールを同じにした図を使用するとよい。

具体的には、河道分割区間ごとに、河川環境情報図に河積確保（案）をトレース（図7-5(a)参照）し、掘削範囲が生物の生息環境等の河川環境に大きな影響を与えないことを確認する。そして、次に掘削箇所をどのような環境に整備するかを図示する（図7-5(b)参照）。

河積確保の手段として、高水敷掘削を行う場合の河川環境への配慮の考え方を以下に示す。

- 水際部の自然環境の保全が可能となるよう、高水敷の掘削高さは極力平水位程度までとする（図7-6参照）。
- 掘削箇所が貴重生物の生息域となっている場合には、掘削範囲を極力狭くし、ワンド等の自然環境の回復の場を整備する（図7-7参照）。この場合の掘削後の高さは、年に2～3回程度冠水する高さとする。

このようにして検討を行った区間別代替案を対象に、河床の安定性や河床形態の変化についても比較検討を行い、区間別の最適案の抽出を行う。なお、代替案の比較検討にあたっては、

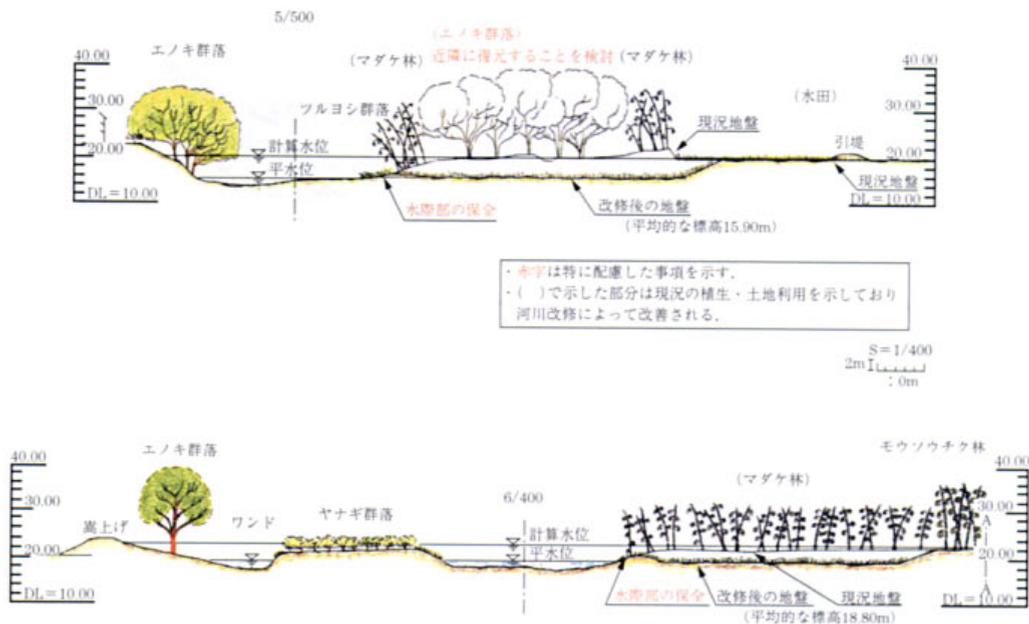


図7-6 河川環境に配慮した高水敷掘削事例（文献²⁾をもとに修正）

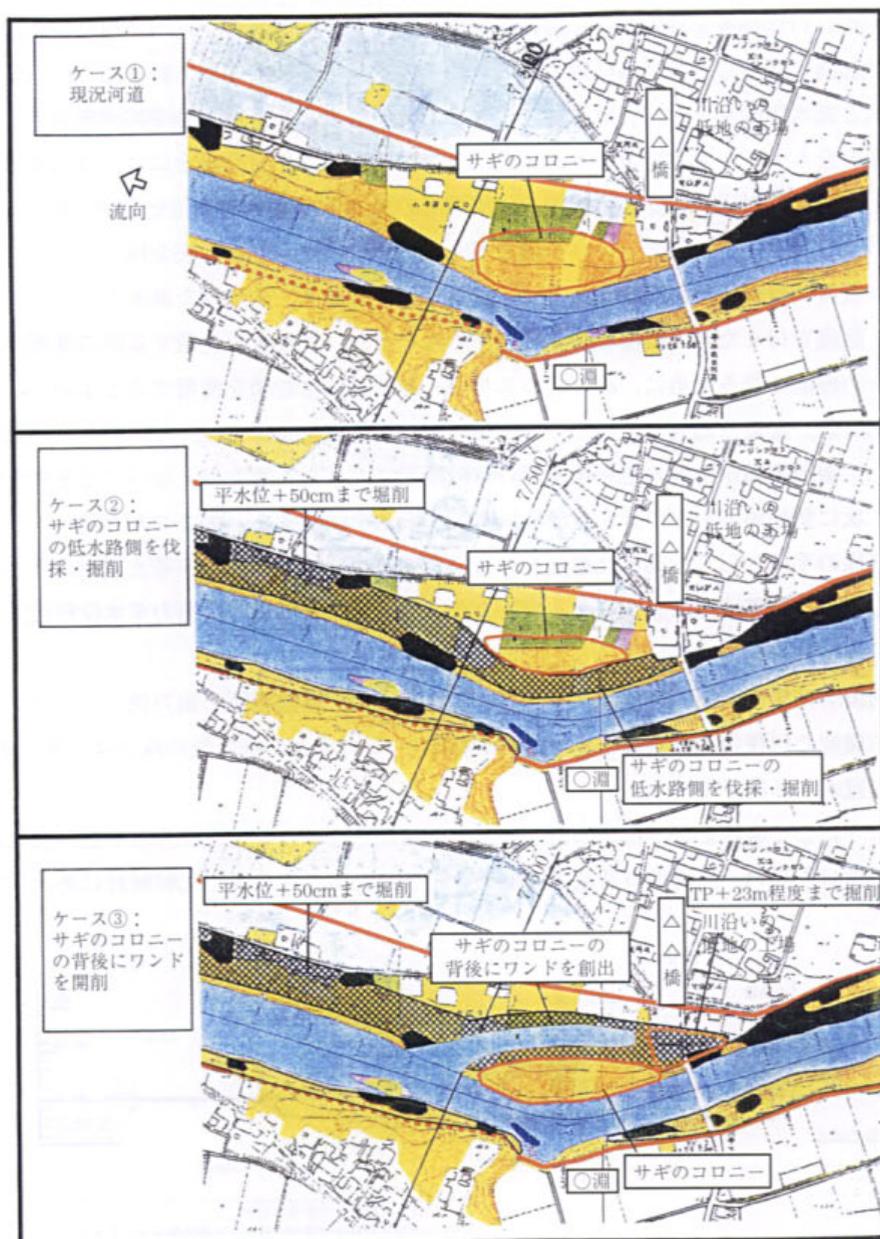


図7-7 自然環境の保全・回復に配慮した高水敷掘削（案）の比較（文献²⁾をもとに修正）

地域の方々や関連する市民団体等の意見を聞くことも必要である。

さらに区間別最適案を上流から下流までつなげ、次節以降の項目についてチェックを行ったうえで、最適案の部分的な修正を行う。

7-5-2 河道特性変化予測

河道計画は、既往洪水時の河道内の水理現象や河床材料、河床高の経年変化等の現況河道の

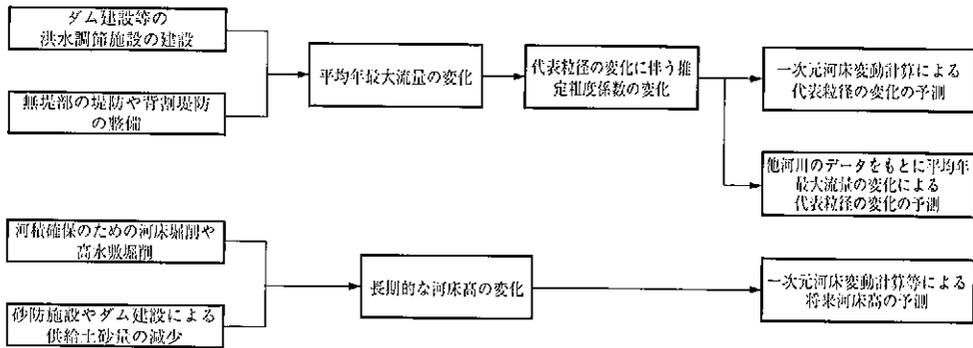


図 7-8 河川整備と河道特性変化の予測例

河川特性を考慮したうえで、将来の変化を踏まえて策定するものである。したがって、河道計画を策定するうえで用いた粗度係数や樹木の評価、河床変動が当初想定した状態よりも変化する場合には、その変化を予測しなければならない。現況河道の流下能力が不足しているために、将来的に河床掘削したり低水路の拡幅によって河積確保を行う場合や、ダム建設等によって洪水流量が変化し、河床材料の変化に伴って粗度係数が変化した場合などには、その変化を予測したうえで、計画高水流量を流下するための必要河積の設定を行わなければならない。なお、近年土砂生産域や河道からの供給土砂量の減少によって海岸侵食や河床低下等の問題が顕在化し、流砂系土砂管理の必要性が取りあげられていることから、長期的な河床高の変化予測にあたっては、土砂生産域、砂防、ダム、河道における土砂流出の変化を十分に把握したうえで実施する必要がある。

必要河積の設定を行ううえでの、河道特性の変化要因とその影響項目、予測手法の例を図 7-8 に示す。

このような河道特性の変化予測を行った結果、当初設定していた条件と変わらない場合は、7-5-3 項に進むものとするが、条件が変わる場合には、「第 5 章 流下能力の検討」または 7-5-1 項にフィードバックして再度検討を行うものとする。また、河床低下による高水敷の樹林化による影響等、予測が困難な場合には、その変化を把握するためのモニタリング項目を整理するものとする。

7-5-3 流下能力のチェック

7-5-1 項で設定した河道形状を対象として流下能力（評価水位は H. W. L）を算出し、所要の流下能力を確保できるか否かをチェックする。さらに、高水敷の維持管理の観点から高水敷の冠水頻度をチェックする。これらのチェック内容に問題があると判断される場合には 7-5-1 項にフィードバックし、河道形状の仮設定を再度行う。

7-5-4 河床変化のチェック

(1) 簡便な方法

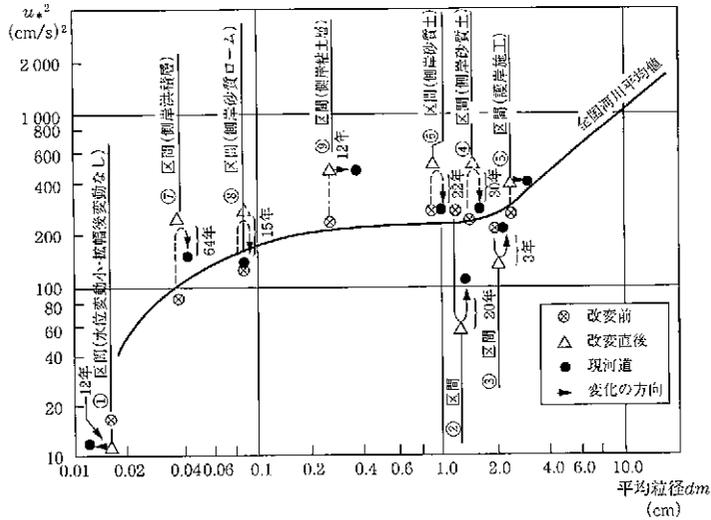


図 7-9 低水路川幅改変に伴う u_*^2 の変化³⁾

7-5-3 項のチェックを経た河道形状を対象として、整備後の河床変化のチェックを行う。簡便には平均年最大流量時の u_* を算出し、現況 u_* からの変化をもとに将来的な河床変化傾向をチェックするものとし、整備後の u_* が現況 u_* の 0.85~1.15 倍であれば、整備後の河床は安定すると判断する。なお、整備後の河床安定の判断基準（現況 u_* の 0.85~1.15 倍）は図 7-9 に示す人工改変後（低水路拡幅や河床掘削等）の河道応答状況から求めたものである。ただし、 u_* を算出するためのエネルギー勾配 I_e については、河道特性が同一と考えられる区間の平均的な I_e を用いることが望ましい。

特に、河川整備により u_* が著しく低下する場合には低水路河積の維持が困難となるため、整備後に維持掘削を行うかどうかの判断を踏まえ、必要に応じて 7-5-1 項にフィードバックし河道形状の仮設定を再度行う。なお、“ u_* が著しく低下する” という判断は河道セグメントや河床変化状況等によって異なるため、一概に u_* の限界値を設定することは難しい。したがって、河道変化の応答事例（3-1-1 項参照）を考慮して検討することが重要となる。なお、現況で顕著に河床低下が進行している箇所では、現況の u_* を比較の対象とすることは難しいが、その箇所の u_* が現況の u_* と同程度の場合には、該当箇所の河床低下対策を施す。

河床縦断形の変化や河床低下が懸念される場合には、当該箇所の維持管理（掘削、浚渫、河床低下対策等）を前提とするか、または、現況の u_* 程度となるように河道形状を見直す（前 7-5-1 項にフィードバックする）。なお、低水路幅の縮小が問題となるのは主にセグメント 2 の区間である。

（2）河床変動計算による方法

低水路改変の規模が大きく、河床縦断形状の変動傾向が懸念される場合には、一次元河床変動計算を行う。計算モデルとしては、掃流砂と必要に応じて浮遊砂を対象として、河床材料の時間的変化を算定できるモデルが望ましい。河床変動計算の具体的な方法は以下に示すとおり

であるが、一次元河床変動計算モデルを用いて河床変動予測を行うにあたっては、実績の河床変動データを用いて流砂量式等のモデルのパラメータ同定を十分に行う必要がある。また、河床変動計算では、将来的な河床変動傾向を予測することが重要であり、その計算外力として、たとえば近年20~30年程度に生じた流況を利用することが考えられる。この検討の結果、河床上昇や河床低下に対応した維持管理を行うのに問題があると判断される場合には、7-5-1項にフィードバックして、河道形状の仮設定を再度行う。また、流砂系の健全性確保の観点からも検討を行い、必要に応じて土砂管理も考慮した検討を行う。

計算方法の詳細については、水理公式集、河川砂防技術基準（案）調査編、土木研究所資料第3099号（1992）⁴⁾、水理公式集例題集⁵⁾等を参照されたい。

7-5-5 河床形態のチェック

河積確保のために、低水路の拡幅や河床掘削を行うと砂州のモードが変化し、計画流量時の河床形態が単列砂州から多列砂州に変化する場合がある。このように河床形態が変化すると、低水路粗度係数の変化（多列砂州のほうが単列砂州よりも粗度係数が大きい）、砂州等による水位上昇量（ Δh_{01} ）の変化（小規模河床波の領域になると砂州等による水位上昇が小さい）だけでなく、生物の生息環境にも影響を与えるおそれがあるため、図7-10に示す砂州発生領域区分から、河積確保後の河道がどの領域に位置するかを確認したうえで、当初設定した河床形態と異なる場合には、7-5-1項にフィードバックし河道形状の仮設定を再度行う必要がある。

河道内の大規模な掘削や河道拡幅、無堤区間等における新たな堤防の整備等により河道内を大きく改変した場合には、平均年最大流量時の流況が大幅に変化し、河床の形態や河床を構成している河床材料の代表粒径が変わるおそれがある。そのため、7-5-4項で述べた一次元河床

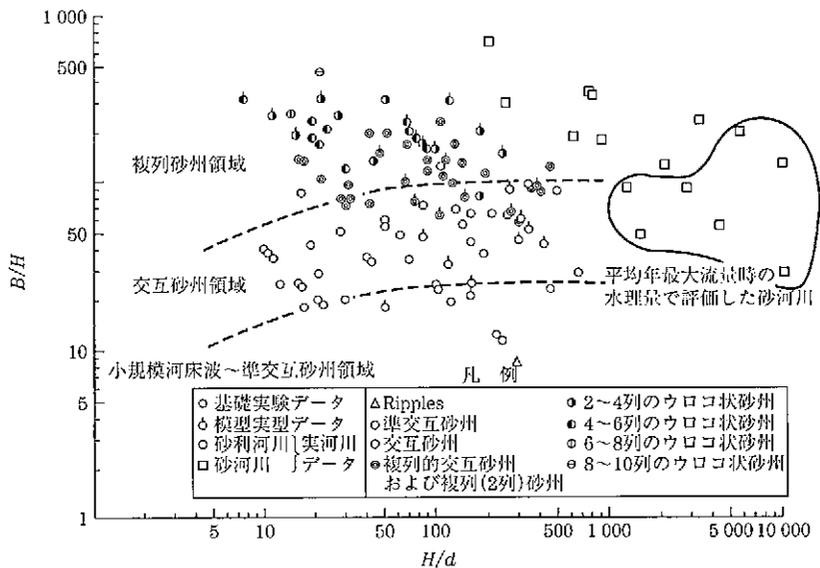


図7-10 砂州の発生領域区分³⁾

変動計算によって、粒径分布の変化や代表粒径と摩擦速度との関係の変化を把握する必要がある。

また、河道には、河道拡幅を行っても掃流力の減少等により堆積が生じ、もとの幅に戻ろうとする特性もある。したがって、このような河道整備を行った場合には、河川整備後のモニタリング項目として取りあげておくか、場合によっては7-2節の河積確保検討条件の見直しを行い、7-5-1項にフィードバックして河道形状の仮設定を行う必要がある。

7-5-6 河川環境のチェック

河床掘削等の河川整備を行うと、洪水時の水理量が現況河道に比べて変化する。このため、河道形状の変化に伴う冠水頻度の変化や地下水位の変化により、植生分布が変化したり、水理量の変化に伴う土砂移動状況の変化によって、瀬と淵の形状が変化したりすることなどが予想される。

河川整備による自然環境の変化を適切に推定することは容易ではないが、河川整備による自然環境の応答事例が蓄積されつつあるので、これらを参考にしながら定性的な自然環境の変化のチェック、現況河道での洪水時の水理量（高水敷の冠水頻度、摩擦速度、流速等）と河川整備後の水理量との比較、地下水位の変化の評価などを行い、著しい変化により問題があると判断される場合には7-5-1項にフィードバックして河道形状の仮設定を再度行う必要がある。

また、上流や支川等からの供給土砂量が増減すれば、生物の生息環境等が変わることがあるため、必要に応じて流砂系の健全性確保の視点からも、河川環境に関する検討を行う。

7-5-7 必要河積の設定

以上の検討結果を踏まえ、量的安全度、コストおよび河川環境の視点から検討した河道の必要河積を設定する。

7-6 施設設計のための河床高の設定

河道計画においては、上述したような観点から、計画高水流量を計画高水位以下で流下させることが可能な河積（河道容量と粗度）について検討を行うことになるが、施設設計等の河川管理上の観点からは、最深河床高がどのように変化するかを予測し、場合によっては、河道計画の中に河床管理施設として床止めを位置づけたり、河岸防護施設を設計する際の根入れ深さを検討しておくことが重要になる。なお、低水路平均河床高が低下傾向である区間や、河川整備等によって将来的に河床が低下することが予想される区間においては、低水路平均河床高の将来的な変化を予測したうえで、最深河床高を推定する必要がある。

以下では、施設設計のために必要な最深河床高の評価方法に関する考え方について概説する。

7-6-1 河道特性と最深河床の関係

河道の平面形状と河床変動形態は、砂州の発生形態や移動と密接に関係している。わが国の河川における典型的な砂州のスケールを図7-11に示す。砂州の発生形態は洗掘現象と強く関係するので、河道の平面形状と砂州の発生形態の関係について、十分に検討しておく必要がある。

(1) 直線河道の場合

河道幅がほぼ一定の直線河道では、最深河床高とその位置は、主に砂州の規模を表わす波高、波長で限定される。砂州の変動は、河道のセグメント区分ごとに特徴がある。

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、単列砂州あるいは多列砂州が発生する。これらの砂州は洪水時には移動する。最深河床高は砂州波高に限定され、また、砂州波高および波長は平均年最大流量時の水深、川幅に支配される。

② セグメント2-2の河道

河床勾配が1/800~1/3000程度で、河床材料が粗砂あるいは中砂によって形成されている河道では、洪水時と平水時に砂州のスケールが異なる。また、小出水で砂が動く特徴を持つために、洗掘部の埋め戻し現象が発生し、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することはできない。また、河床勾配が1/3000程度より緩い場合には、埋戻し現象が顕著でないため、大出水時の洗掘データの収集により推定精度の向上に努めることが重要である。

③ セグメント3の河道

セグメント3の河道で河床材料の代表粒径が0.15mm以下の場合では一般に砂州は発生せず、直線河道の場合の最深部は河道中央寄りとなる。また、最深部に粘土層が露出し、河床洗掘がそれ以上進まないことがある。

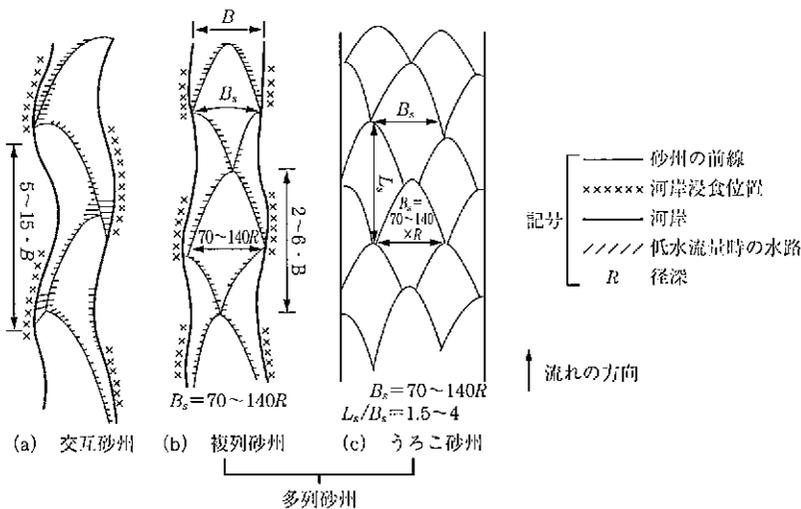


図7-11 典型的な砂州のスケール⁶⁾

（2）単わん曲河道の場合

① セグメント1の河道

セグメント1では一般に顕著なわん曲は形成されないが、山地部等で強制的にわん曲している箇所では、現地の特性に応じた検討が必要である。

② セグメント2および3の河道

セグメント2および3のわん曲部ではわん曲部の二次流、および砂州によって洗掘が生じる。洪水ピーク後には埋戻しが生じる。現段階では埋戻しの評価は困難な状況であるので、洪水中の最深河床高のデータ収集に努めることが重要である。なお、セグメント3の河道での埋め戻し現象は、セグメント2—2の河道ほどは顕著ではない。また、セグメント2—2、3では洗掘部で、粘土層、岩が露出することがあり最深河床高が規定されることがある。

（3）蛇曲河道における最深河床高

蛇曲河道の最深河床高については、一般には単わん曲河道と同様に考えることができる。

7-6-2 施設設計のための最深河床高の評価方法

施設設計のための最深河床高の評価方法として、本書では4つの方法を概説する。

- 方法1；経年的な河床変動データからの評価
- 方法2；既往研究成果からの評価
- 方法3；数値計算による評価
- 方法4；移動床水理模型実験による評価

これらの方法の中から河床変動データの存在状況、河道特性、設計対象区間の重要性等を勘案して適切な方法を用いる。

これら4つの方法のうち、「方法1」は、過去の被災状況や河床材料および岩の露出状況といった河床変動要因を把握するのに有効である。ただし、計画高水位相当の洪水を経験していない場合や、洪水後の埋め戻し現象によって、必ずしも洪水中の最深河床高を把握できていないこともあるため、「方法2」による評価と合わせて最深河床高を評価することが望ましい。

経年的な河床変動データがある場合には、最深河床高を評価する際に次の事項を確認する必要がある。

① みお筋の確認

現地踏査、および河道縦横断図や河道平面図を用いてみお筋を調査し、砂州の形態や変動特性等を確認する。経年的にみお筋の大きな変化がある場合には、平均河床高の経年変化との関係も調査する。

② 平均河床高の変化状況の把握

平均河床高の経年変化は最深河床高評価の前提として重要であり、経年的な河道縦横断図により平均河床高の変化状況を把握する。平均河床高が経年的に変化（河床上昇あるいは低下）している場合には、上流でのダム建設、砂利採取等の平均河床高変化の原因を調べ、河床変動計算等の方法により将来の傾向を最深河床高の評価に反映させる。また、現在平均河床高が安

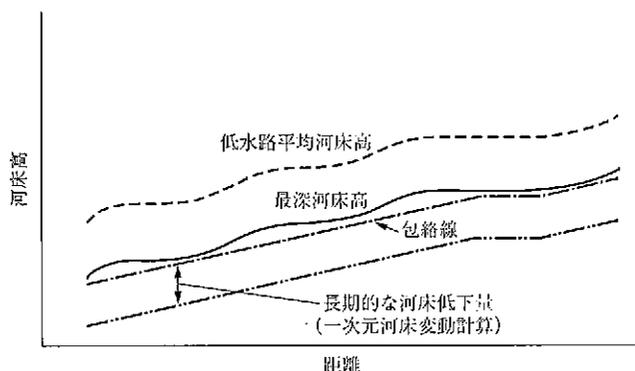


図 7-12 長期的な河床低下のイメージ

定している場合でも、今後の河川整備により、将来的に河床が低下するおそれがある場合には、河床変動計算によって将来の河床高の変化を予測することが必要である（図 7-12 参照）。

一方、対象河川の河床変動に関する経年データが不十分な場合、あるいは河道形状を大きく変更する場合には、「方法 2～4」による評価を行うことになる。なお、河道改修等により河床掘削を行うことが明らかである場合には、掘削後の状況で生じる平均河床高の検討を行ったうえで、最深河床高を評価しておく必要がある。また、沖積地河川の河床に多く見られる現象として、洗掘時に沖積粘土層、洪積層、基岩が露出し河床低下を抑制することがある。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行うことが望ましい。

最深河床高の評価方法の流れを図 7-13 に示し、「洗掘位置が縦断方向に移動する場合」と、「洗掘位置が移動しない場合」の最深河床高の評価方法を整理した結果を表 7-2 に示す。なお、方法 1～4 についての詳細は、文献⁷⁾を参照されたい。

7-6-3 河川管理に与える影響の分析

上述したような方法から、最深河床高の変化について検討を行い、最深河床高の変化が対象河川の粗度係数の増大や、河川管理施設の根入れ深さなどにどのような影響を及ぼすのかを整理する必要がある（新規の工作物の根入れ深さについては、河積確保のために想定した深さ（低水路平均河床高）に上述した方法によって得られた最深河床を考慮して設定する）。

その整理にあたっては、河床高の変化に要する時間を整理し、どの区間で、どの時期に、どの程度の影響が出てくるのかを把握することが必要であるが、その時期が明確に予測できない場合には、おそれのある事項を、モニタリング項目として整理しておくことが肝要である。

なお、最深河床高の変化が河川管理に対して大きな影響を与えると予想される場合には、床止めなどの河道を制御する施設の設置、河岸防御工の根入れ深さの設定などに十分配慮しておく必要がある。ただし対処療法的な対策について検討を行うのではなく、河道計画そのものに立ち戻って検討を行うことが望ましい。

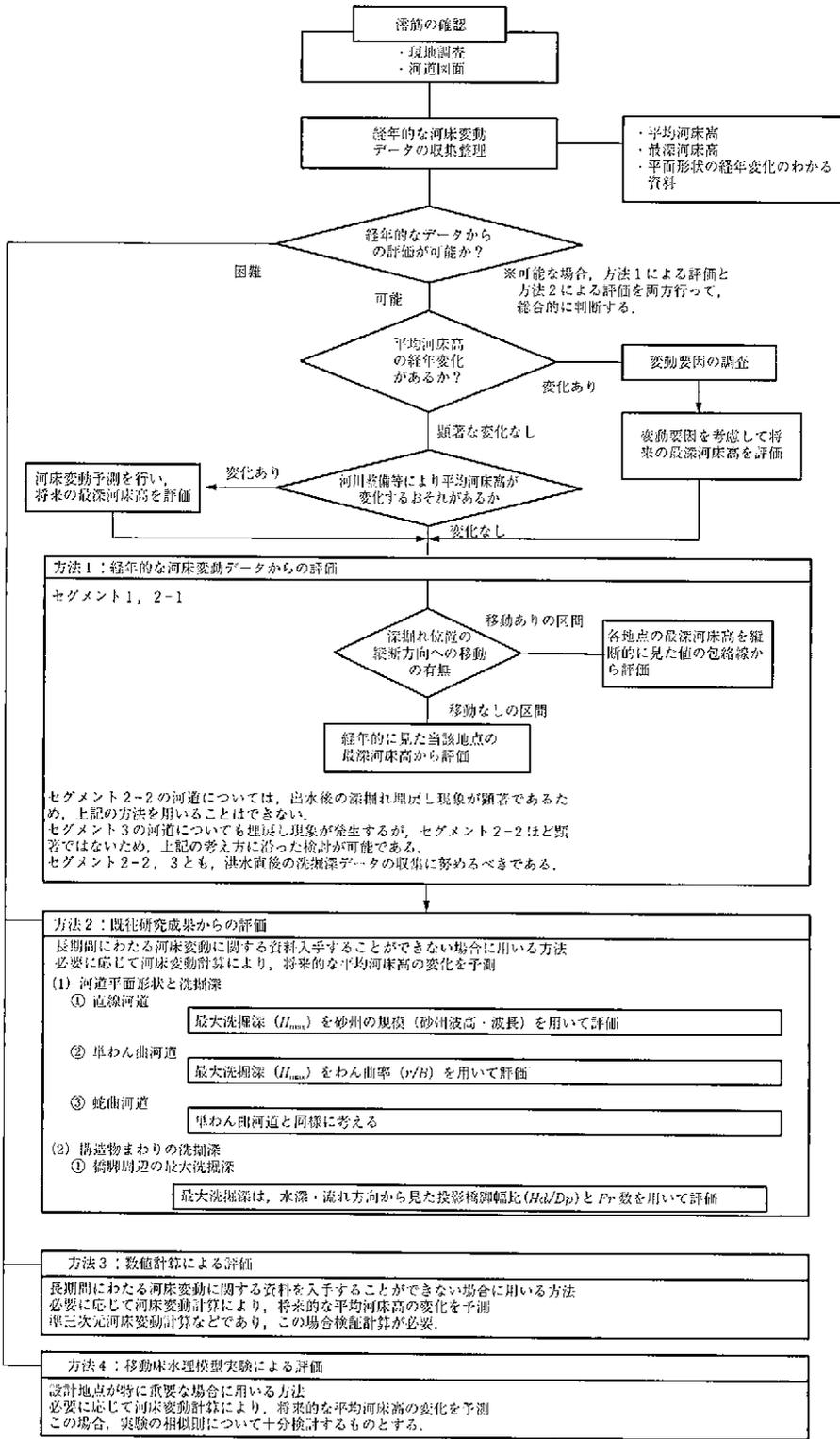


図 7-13 最深河床高の評価方法の流れ

表 7-2 洗掘要因別の最深河床高の評価方法

	直線河道で洗掘位置が縦断方向に移動する場合	洗掘位置が縦断方向に移動しない場合（わん曲部、構造物周辺等）
方法 1： 経年的な河床変動データからの評価	<ul style="list-style-type: none"> 設計対象区間を含む一連区間を定め、その区間ごとに各断面の最深河床高の包絡線を求め、その包絡線を最深河床高の評価高とする。 	<ul style="list-style-type: none"> 当該地点の経年的な最深値を最深河床高として設定する。
方法 2： 既往研究成果からの評価	<ul style="list-style-type: none"> 河道幅がほぼ一定の直線河道における砂州波高と、平均水深との関係から求めた推定式を用いる。 $\Delta Z/H_L = 0.8 H_s/H_L$ここに、$H_s$は砂州高、$H_L$は平均年最大流量時の平均水深、$\Delta Z$は洗掘深を示す。 セグメント 3 は考慮しない。 	<ul style="list-style-type: none"> わん曲部は、平均年最大流量時の最大洗掘部の水深と河道曲率半径・川幅比との関係から作成した図を用いて最深河床高を評価する。 橋脚周辺の局所洗掘については、円柱型橋脚の実験結果から求めたフルード数と水深・橋脚幅比、洗掘深・橋脚幅比の関係図から最深河床高を評価する。
方法 3： 数値計算による評価	<ul style="list-style-type: none"> 評価不可 	<ul style="list-style-type: none"> 平面二次元流れと流砂の運動モデルを結合した平面二次元河床変動計算モデルを用いることにより、わん曲部の最大洗掘深を評価することができる。ただし、現地の河床変動を利用した適合性の検証が不可欠である。 構造物周辺については評価が困難である。
方法 4： 移動床模型実験による評価	<ul style="list-style-type: none"> 局所洗掘の発生要因に関係なく、特に重要な区間の場合は、移動床模型実験によって最深河床高を評価する機会が多い。 実験に用いる河床材料の選定が正しければ実験の相似性が高く、実験結果の信頼性は高い。 模型縮尺や実験に用いる河床材料を十分に検討する必要がある。 	

7-6-4 樋門・樋管設計のための河床高

支川や排水路の合流部に樋門・樋管を設置する場合には、極力現状の河床高を変更するような整備は行わないものとし、支川の河床低下や魚類などの生息環境に十分配慮する必要がある。

引用・参考文献

- 1) 河川における樹木管理の手引き—河川区域内における樹木の伐採・植樹基準の解説—, 財団法人リバーフロント整備センター編集, 山海堂, 1999.
- 2) リバーフロント研究所報告第 10 号, 財団法人リバーフロント研究センター, 1999.
- 3) 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 46 回建設省技術研究会報告, 1992.
- 4) 山本晃一, 藤田光一, 平林桂ほか: 一次元河床変動計算法の改良, 土木研究所資料, 第 3099 号, 1992 年 3 月.
- 5) 昭和 60 年版水理公式集例題集, 土木学会.
- 6) 山本晃一: 河道特性論, 土木研究所資料, 第 2662 号, 1988.

7) 護岸の力学設計法, 財団法人国土開発技術研究センター, 山海堂, 1997.

第8章 河道の平面計画

8-1 検討手順

河道の平面計画の検討手順は、図2-2に示したとおりである。現況河道は、長年にわたる治水事業や洪水による変動を受けながら形成されたものであるが、すべての区間において河岸侵食が発生し、堤防の安全性がおびやかされるものではなく、現況の高水敷幅、河道の法線形や砂州の発生状況によって異なるため、河道の平面計画は、現況の河道特性を十分に踏まえたうえで策定する必要がある。ここでいう現況河道特性とは、河道法線や砂州発生の有無等から見て、洪水時に河岸侵食を受けやすい区間と受けにくい区間のことである。これを把握することによって河岸侵食に対する防護が必要な区間を明らかにし、生物の生息環境の保全・回復と治水・利水施設の整備を行うにあたってのトータルコストの縮減を行うことを目指すことになる。

河岸侵食防止の必要箇所は、堤防防護の観点から設定するライン（堤防防護ライン）と高水敷利用等の観点から、設定した低水路を安定化させる必要があるライン（低水路河岸管理ライン）の2種類のラインから設定するものである。

堤防防護ラインとは、洪水時の河岸侵食によって生ずる堤防の破壊を防止するために必要なラインであり、主に治水を目的に設定するラインである。したがってこのラインは、全川設定する必要がある。

低水路河岸管理ラインとは、河道内において治水、利水、環境等の面から期待される機能を確保するために措置（河岸侵食防止工）を講ずる必要がある区間を示すものであり、高水敷利用や河岸侵食に対する堤防防護の観点から、低水路河岸を安定化させることを目的に設定するものである。

河岸侵食防止の必要箇所と河道形状の設定にあたっては、現況河道の質的安全度、低水路平面形状の制約条件と基本方針および必要河積を踏まえ、質的安全度の視点からの堤防防護とともに必要に応じて低水路河岸の安定化を勘案し、コストと河川環境の視点も加えて検討を行うこととなる。従来の計画低水路法線と河岸侵食防止の必要箇所との比較を表8-1に示す。

表 8-1 河岸侵食防止の必要箇所と計画低水路法線の相違

比較の観点	従来の計画低水路法線	河岸侵食防止の必要箇所
目的	計画としての形状目標となるものであり、積極的にその形状になるように河道改修を行う。	堤防の安全性や低水路河岸の安定性を確保するための管理の日安として設定するものであり、形状的な目標ではない。
設定箇所	一般に計画流量を流下させるための河道形状の計画低水路の肩	高水敷の幅や高水敷の利用状況等の要素によって、設定の有無が異なる。 設定は、河積確保後の河道形状の低水路の肩とするが、高水敷幅が広く、河岸侵食が進行している場合には、将来の河岸侵食量を考慮して設定する場合もある。
護岸施設の設置	施設配置する場合の設置箇所を示す。	河道形状の管理のためのものであるため、護岸設置の箇所とは必ずしもリンクしない。 護岸等の河岸防護のための措置が必要な場合においては、その重要度を示す。
堤防の侵食・洗掘対策	必要高水敷幅を満たすことにより、堤防の安全性を確保する。	護岸等の河岸防護の重要度を考慮して、堤防の安全性を確保する。
許認可	高水敷の占用、橋梁等の工作物設置にあたっての基準	管理の日安とはなるが、必要に応じて別途検討する。

8-2 河道（低水路）形状の一次設定にあたっての検討

「第7章」で設定した河道の必要河積は、主に縦横断的な観点から設定されたものであり、これに平面的な観点（質的安全性、制約条件、基本方針）を加え、具体的な低水路の縦横断平面形状を設定する（低水路形状の一次設定を行う）必要がある。そこで、低水路形状の一次設定にあたり必要となる以下の検討を行う。

8-2-1 現況河道の質的安全性の検討（堤防等河川管理施設の安全上の課題把握）

洪水の安全な流下を図るための基礎的な知見として、質的安全性の視点から、以下に示すような現況河道の水理特性（洪水時の流れと河岸侵食との関係）、既往災害の特性など侵食・洗掘に対する堤防の安全性を確保するうえでの課題や、落差工等の横断工作物周辺における安全上の課題を把握する。この際、図 8-1 に示す河川管理カルテを参考にすることが大切である。

現況河道の質的安全性は、横断測量成果の重ね合せ図や河道平面形状の経年変化図（空中写真の比較による）等をもとに、低水路横断・平面形状や必要に応じて粗度（樹木群）の変動状況を把握し、低水路形状の変動または安定の要因について、外力の発生頻度および発生規模も勘案して検討を行う。また、既往の護岸や落差工等の被災箇所を把握するとともに、外力の発生頻度および発生規模を勘案して被災特性の検討を行う。これらの検討を踏まえ、現況河道の質的安全性上の課題を明確にする。

〔洪水時の流れと河岸侵食との関係〕

洪水時の流れと河岸侵食の発生位置との関係は、既往の測量結果や洪水後の航空写真等をも

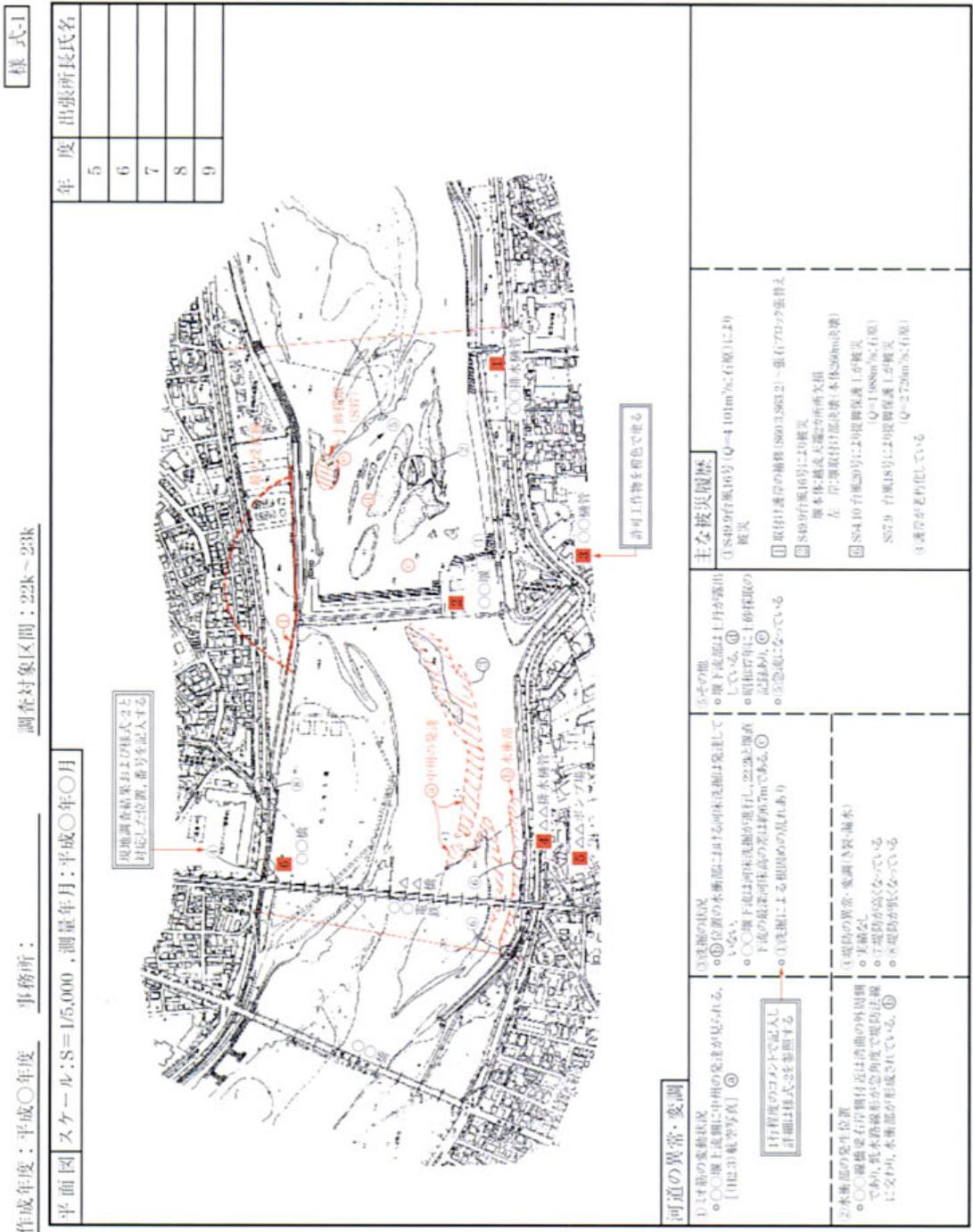


図 8-1 河川管理カルテ記入例

<p>河道の異常・変調</p> <p>りま節の異常状況</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 上流側に中川の急流が見られる。【(1)(2)(3)異常写真】 ① 日行渡のコンクリートで記入し、計測は様式25を参照する。 <p>② 水衝部の発生位置</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 二級側壁石が側付石は滑曲の外周側であり、乳水路線形が急角度で現況位置に交わり、水衝部が形成されている。① 	<p>③ 流路の状況</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 位置の水衝部における河床沈下は発達している。 ○ 下流は河床沈下が進行し、22.2kと測直した下流の最深河床高の差は約0.7mである。② ○ 自然流路による根回りの基れあり。 <p>④ 堤防の異常・変調(浸水・漏水)</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 水衝なし ○ 堤防が高くなっている ○ 堤防が低くなっている 	<p>⑤ その他</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 下流部は土丹が露出し、① ○ 昭和47年に土丹採取の記録あり。② ○ 急急流になっている。 	<p>主な被災履歴</p> <ul style="list-style-type: none"> ① US49の台風16号(Q=4,101m³/s;右原)により被災 ② 取付け渡りの橋樑(S803,S852)一張右プロダク集積え ③ S49の台風16号により被災 <ul style="list-style-type: none"> ○ 橋本体・橋脚・橋脚間所大損 ○ 左岸・取付け部・橋脚(本体250m)は壊 ④ S54,10の台風20号により堤脚保護工が被災(Q=1,050m³/s;右原) ⑤ S57.9の台風18号により堤脚保護工が被災(Q=2,720m³/s;右原) ⑥ 護岸が老朽化している。 	
--	--	--	---	--

とに、低水路または堤防の法線形、砂州形状と最深河床高の平面位置を見れば概ね判定可能であり、以下に示すとおり分類することができる。

① セグメント1の場合

セグメント1では、多列砂州の発生する河川が多く、このような河川では直線的な河道形状となる。河床に形成された砂州上を流れが蛇行するため、河岸侵食が発生しやすい。また、洪水時に砂州が移動するため、全川河岸侵食が発生する可能性がある。

② セグメント2—1およびセグメント2—2の場合

セグメント2—1および2—2の区間は、単列砂州が発生する条件となっていることが多く、河道の側方移動により河道法線が蛇行する。このため洪水時に河岸侵食が発生しやすい区間は、河道の平面形状をわん曲河道の区間と直線河道の区間に分けて判断することが望ましい。

(a) わん曲河道の場合

わん曲河道における河岸侵食部は、主流線が外岸側へ寄り、外岸側の河床が洗掘され流速が大きくなる。わん曲河道において侵食が発生しやすい区間は、砂州の前縁線の位置、最深河床線（最深河床高の発生位置をつらねた線）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、あるいは滯が河岸に寄った範囲となる。一方、砂州の発達が顕著でない場合は、河岸沿いの河床高が平均河床高よりも低い低水路河岸の範囲となる。なお、セグメント2—2で堤防間幅に比べ低水路幅が小さい場合、大洪水時に流水が高水敷を走り、河岸侵食位置が中出水時と異なることがあるので注意が必要である。

(b) 直線河道の場合

直線部では、セグメント1と同様に河道内を水流が蛇行するため、直線河道区間の両岸とも侵食範囲となる。

③ セグメント3の場合

セグメント3の区間は、洪水時の掃流力が小さいこと、潮位の影響によって水面上に現れる河岸高が低いこと、河床が洗掘されると粘性土が露出することがあること等から河岸侵食は生じにくい。しかし、わん曲部の外岸側では流速が速く河床が洗掘されるため、河岸侵食が発生する可能性が高い。

8-2-2 低水路平面形状についての制約条件の設定

低水路の制約条件は、堰などの利水施設、高水敷利用を含めた自然環境保全や橋脚等の高水敷を占用している河川構造物の位置等を考慮して設定する必要がある。特に、重要度の高い橋梁の橋脚（高水敷の特例が適用された橋脚）、構造令上問題のない堰などにおいては、河川工作物の位置を把握して、低水路平面形状を検討するうえでの制約条件として検討する。

また、低水路の平面形状は、高水敷の自然環境や利用状況にも影響を与えるため、河川環境管理基本計画において高水敷を利用することが示されている区間においては、低水路平面形状を検討するうえでの条件とする。

8-2-3 低水路平面形状についての基本方針の設定

低水路平面形状の設定は、実際には、河積確保の方策と密接に関係しているため、必要河積の設定（7-5節参照）と同時に行うべきものである。縦横断平面的に河道形状を設定する際に課題となるのは以下に示す事項であり、河積確保の方策を考慮しながら、これらについての基本方針を設定する。

- ① 水衝部や洗掘部における堤防防護（洪水による侵食・洗掘に対する堤防防護の基本的の方策を箇所ごとに定める。たとえば堤防小段の造成、根固め水制の設置、低水路法線の修正等が考えられる）
- ② 横断形状の選択（現況の横断形状や河床変動状況、および将来的な河床安定を考慮し、河積確保を図る場合の横断形状について、単断面、複断面、複々断面のうちどの形状とするのかを、低水路平面形状の安定化および河岸防護方法も視野に入れて検討する）
- ③ 拡幅の方式（河道断面には単断面、複断面、複々断面等さまざまある。低水路拡幅によって単断面化を行うと、河川環境の悪化や洪水時の土砂堆積を引き起こすことから、河積確保のためにやむを得ず低水路を拡幅する場合には、現況河道の河川環境の保全・回復や河床の安定を踏まえたうえで拡幅する幅を設定するとともに、河床高の維持管理計画についても策定しておく必要がある）

なお、これらの方針の設定にあたっては、低水路の特性および諸条件を十分に把握し、“河道計画策定の基本的な視点（量的安全度、質的安全度、コスト、河川環境）”の最適化を考慮する必要がある。

8-3 堤防防護と低水路河岸安定化の検討

前述のように河岸侵食防止の必要箇所は、堤防防護ラインと低水路河岸管理ラインの2種類のラインから設定する。

堤防防護ラインと低水路河岸管理ラインを設定する際の留意点は、次のとおりである。

① 堤防防護ライン（原則として堤防区間全川に設定）

洪水による侵食・洗掘に対する堤防の安全性確保のため、必要な高水敷幅を確保する。この幅の確保が流下能力確保の観点や河川環境等の問題から不可能な場合には、堤防防護のレベルを向上させることなどによって対応する。

② 低水路河岸管理ライン（必要に応じて設定）

低水路平面形状の安定化（河岸決壊等による低水路形状や、洪水流向の変化に対して）のため、水衝部の固定や高水敷の利用等の観点も含め、低水路平面形状の安定化の必要性に応じて考慮する。

8-3-1 堤防防護に必要な高水敷幅の設定

一般に破堤の要因として、以下の要因がある。

- i. 越水
- ii. 漏水（堤体、基礎）
- iii. 侵食・洗掘

堤防防護に必要な高水敷幅の目安とは、上記iiiの侵食・洗掘に対して高水敷の侵食しろ（余裕）だけで対処するとした場合、堤防保護の観点から必要と考えられる高水敷幅である。この設定にあたっては、過去の河岸被災事例をもとに、1洪水に生じ得る河岸侵食幅（堤防防護に必要な高水敷幅の目安）を河道区間ごとに設定する。ただし、当該河川の河岸侵食実態あるいは水衝部、水裏部等の経験的判断を踏まえることを基本とする。さらに、いままで経験した洪水規模と計画高水流量との違いにも留意し、流速や摩擦速度等の水理量が増大する可能性を考慮する必要がある。以下に河岸侵食幅の算定方法をまとめる。

（1）河岸侵食量の算定

① 河岸侵食実績の整理

過去の河岸被災事例および1洪水に生じた河岸侵食幅を、既往洪水前後の定期横断測量、航空写真、河道平面図、河川管理カルテ等を用いて整理する。必ずしも大出水時に大きな侵食が生じているとは限らないことから、可能な限り多くの出水を対象としてデータを収集・整理することが望ましい。

使用できるデータは河岸の位置が判読でき、かつ洪水前後で同じ位置の変化が把握できるという条件を満たすものであり、一般的には以下のとおりである。

- 定期横断測量
- 空中写真（縮尺 1/12 500 以上のもの）
- その他（河道平面図、河川管理カルテなど）

定期横断測量では、通常 200 m ピッチ程度で行われているため、河岸侵食幅が最大となる地点（砂州やわん曲河道の水衝部）が必ずしも横断測線上にあるとは限らない。その場合、河岸侵食幅を小さく（危険側に）評価する傾向になる。それに対し、空中写真から判読する場合は、流下方向にほぼ連続的に河岸侵食幅を把握することが可能であり、最大侵食箇所をとらえることが可能である。データの所在状況に応じて、これらを組み合わせて使用することが望ましい。侵食実績を整理するうえで参考となる情報を表 8-2 にまとめる。

② 河岸侵食幅の算定

同一の河床構成材料、水理特性（ U_{bc} 等）を持つ区間にセグメント区分を細区分し、細区分ごとの河岸侵食幅を縦断的に整理して、河岸侵食幅の包絡値（安全側）を算定する（図 8-2 参照）。このとき、図 8-1 に示した河川カルテ等を参考に河岸侵食の要因を整理し、わん曲部と直線部とに分けた整理を行うとともに、構造物周辺等で生じる特異値を排除する必要がある。本算定結果を用いて、堤防防護のために必要な高水敷幅を設定する。

表 8-2 定期横断測量と空中写真を用いた侵食幅データの収集

項目	定期横断測量	空中写真
測量間隔	通常 200 m	十分小さくほぼ連続的（写真測量精度が最小間隔）
精 度	1~10 cm 程度	1 m 程度（縮尺 1/12 500 程度の場合、空中写真の縮尺による）
特 徴	<ul style="list-style-type: none"> ある一定間隔でしか侵食幅が把握できない（必ずしも最大侵食箇所が含まれない）。 比較的高い精度で侵食幅が把握できる。 横断形状の変化が把握できるので、それが侵食幅に及ぼす影響についてある程度分析できる。 経年的に豊富なデータがある場合は、こちらを優先して行うのがよい。 	<ul style="list-style-type: none"> 最大侵食幅およびその位置の変遷など、河岸侵食幅の平面分布が把握できる。 測量精度が低く、顕著な侵食箇所には適用できない。 定期横断測量が少ない場合にはこちらを優先して行うのがよい。 1 回の大出水による侵食を把握する際、定期横断測量と併せて行うことを推奨する。

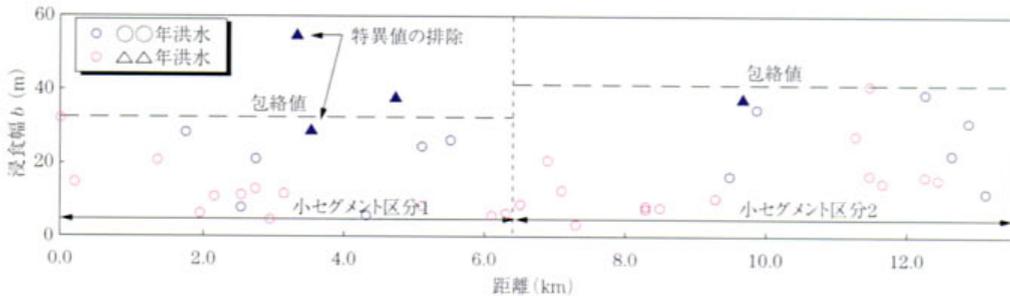


図 8-2 侵食幅の縦断的整理のイメージ

③ 被災幅と侵食外力（摩擦速度）の関係の整理

②の整理と合せて、被災幅と侵食外力（摩擦速度）の関係についても整理する。侵食外力は、痕跡水位または既往洪水のピーク流量時における不等流計算結果を用いる。本結果は、計画高水流量流下時に実績以上の侵食が生じるおそれのある場合や、河川整備により低水路内流速が変化する場合などの侵食幅推定に用いる。

整理方法の考え方の一例を以下に示す。

【セグメント1の場合】

通常、ほぼ直線的な河道内に砂州が至る場所に形成されているので、同様な砂州形態が生じている範囲ごとにデータを区分する。

【セグメント2, 3の場合】

わん曲部区間においては、「護岸の力学設計法」²⁾をもとに侵食外力の補正を行う。外力補正をすれば、直線河道部のデータと併せて用いてよい。ただし補正がうまくできない場合には、その区間のみでデータ整理を個別に行う。以上の区分ごとに、河岸侵食量と侵食外力の関係をプロットする。図 8-3 は既往の調査結果をもとに、わん曲部外岸と直線部に分けて、洪水時の摩擦速度と侵食幅との関係から整理したものである。

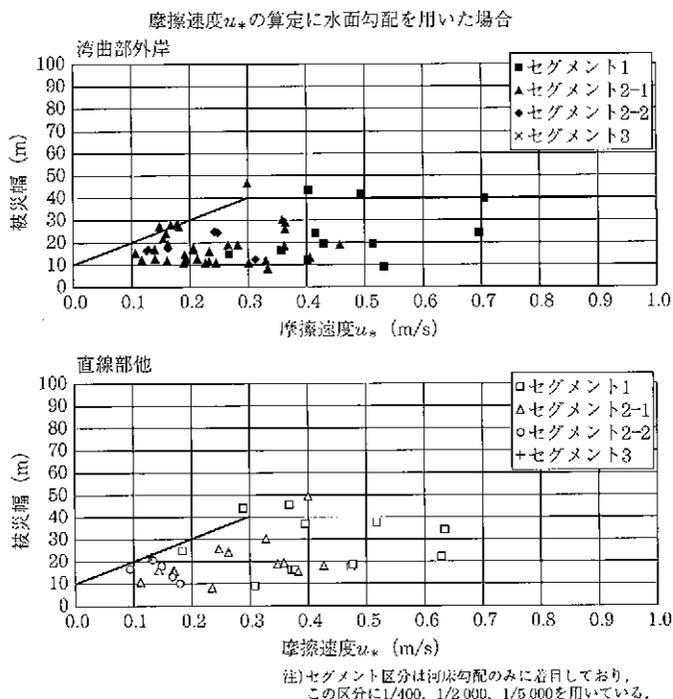


図 8-3 被災幅と摩擦速度の関係整理のイメージ

(2) 河岸侵食量の目安

既往の侵食実績データ等が十分に整理されていない河川では、以下の必要高水敷幅の目安を参考に、適切な値を設定する。

【既往調査による侵食幅と u_* の関係】

直轄河川を対象とした被災事例をもとに、天然河岸の被災幅と洪水ピーク流量時の摩擦速度 u_* の関係をセグメント別に見ると、以下のように整理できる。

- わん曲部外岸では u_* が小さいときに直線部ほかと比較して被災幅がやや大きくなるが、 u_* が大きくなると両者の差はなくなる。
- セグメント1, 2—1の被災事例が多い。また、セグメント2—2, 3の被災幅は相対的に小さい。
- わん曲部外岸で $u_* \geq 0.2$ m/sでは、セグメント2—2, 3の被災幅は2—1のものより小さい。
- 概ね $u_* \geq 0.3$ m/sでセグメント1, 2—1の被災幅が40 mに達するようになる。

以上より大まかではあるが、 u_* の増大につれて河岸侵食幅は増大し40 m程度に達する傾向が認められたので、 u_* を用いて河岸侵食幅を整理することは有効であるといえる。ただし、 u_* だけで局所的な水理的状况を表わすことには無理があり、本来的には河道平面形状、高水敷の冠水深や洪水波形などの考慮が必要である。

さらに u_* の値の大きさ、河岸侵食の事例数および河岸侵食幅に着目すると、セグメント1, 2—1とセグメント2—2, 3とに分けて河岸侵食をとらえることの有効性がうかがえる。この

表 8-3 河岸侵食の発生に関する要因の比較

	セグメント 1, 2-1	セグメント 2-2, 3
河岸の土質・構造	沖積砂礫層 Ag であることが多い (非粘着性のため侵食抵抗力小)	主に沖積砂質土 As, 沖積粘性土 Ac (粘着性のため侵食抵抗力大)
河床形態	砂州が発達・移動しやすい (砂州による水衝部が多く発生)	砂州はあまり発達しない (水衝部は少ない; 河口砂州除く)
洪水時流速	大	小
総合評価	侵食されやすい状況にある。	侵食されにくい状況にある。

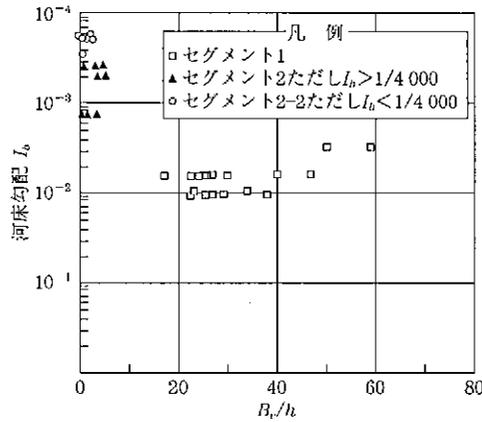


図 8-4 侵食幅と河床勾配の関係¹⁾

理由として表 8-3 に示すことが考えられる。

また、図 8-4 は、実河川における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。なお、図中の h は高水敷の河岸高を示す。この図から、セグメント 2-2 では河岸高の 2~3 倍程度、セグメント 2-1 では河岸高の 5 倍以下の侵食幅であることがわかる。

【被災事例がない場合の必要高水敷幅の目安】

参考として、表 8-4 に 1 洪水に生じると考えられる河岸侵食幅の目安を示す。この目安は高水敷幅が相当ある大河川における被災事例をもとにしているため、中小河川にそのまま適用することは難しい。

表 8-4 河道セグメントごとの河岸侵食幅の目安
(高水敷幅が相当ある大河川の被災事例にもとづく)

セグメント	河岸侵食の規模	河岸侵食の頻度	河岸侵食幅の目安
1	砂州幅の半分に達することあり	多い。	40 m 程度
2-1	セグメント 1 と同程度	セグメント 1 と同程度	河岸高の 5 倍程度、30 m 以下が多い。
2-2	セグメント 1, 2-1 より小さい。	セグメント 1, 2-1 より少ない。	河岸高の 2~3 倍、20 m 以下が多い。
3	セグメント 1, 2-1 より小さい。	セグメント 1, 2-1 より少ない。	河岸高の 2~3 倍、20 m 以下が多い。

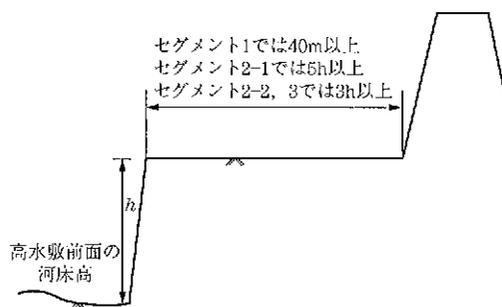


図 8-5 セグメントごとの必要な高水敷幅の目安

以上により、被災事例がない場合の堤防防護のために必要な高水敷幅の目安は、図 8-5 に示すとおりである。

8-3-2 低水路河岸安定化の方針の選定

低水路河岸安定化の方針の設定にあたっては、現況河道の低水路平面形状の変動要因または安定要因をもとに、河川整備によってこれらの要因がどのように変化するかを予測・推定し、これを考慮して検討する必要がある。たとえば、大規模な河道掘削後に砂州の形成と移動が予想される場合には、低水路法線の蛇曲化や河岸侵食に対して低水路平面形状の安定化を図る必要がある。特に、護岸が整備されていない天然河岸の低水路においては、経年的に河岸侵食を生じさせながら低水路が河道内を蛇行し、蛇行の振幅が徐々に大きくなることがある。このような区間においては、既往の定期横断測量や空中写真から、低水路法線の経年変化を把握し、低水路の将来形を推定したうえで、その必要性を判断し、低水路平面形状の安定化を図る。

このように河道の維持管理上、低水路平面形状の変化を抑制する必要があるかどうかを判断し必要な場合には、流下能力上の必要河積を踏まえ、コスト、河川環境の視点を勘案して低水路河岸管理ラインの設定方針を定める。

低水路河岸管理ラインとは、低水路平面形状や水衝部の固定等を図るために、低水路形状を制限するラインである。低水路形状を制限する必要がないと判断される箇所・区間では、低水路河岸管理ラインは不要であるため、箇所・区間ごとにその必要に応じてラインを設定することになる。基本的に、占用等により高水敷（複断面形状）を維持する必要のある箇所・区間では、低水路河岸管理ラインが必要となる。

(1) 低水路河岸管理ラインが必要

- 高水敷が整備されている複断面河道で、現況低水路内を掘削することで流下能力が確保できる区間では、現況低水路の平面形状に問題がなく、かつ高水敷の利用などから低水路河岸の維持が必要とされる場合には、現況河道を維持する目的で、現況の低水路形状を低水路河岸管理ラインで維持する。
- 複断面河道で床止めや堰の改築（敷高の切下げ）に伴い、低水路平面形を修正する区間では、適切な低水路幅を有する低水路平面形状を低水路河岸管理ラインで維持する。

- 経年的に河岸侵食を生じさせながら低水路が河道内を蛇行している箇所においては、水衝部対策等の観点から、現状の低水路平面形状を維持する必要がある場合がある。このような場合には低水路河岸管理ラインを設定し、水衝部の固定化を図る。また、長期的な河岸侵食が堤防防護に影響を及ぼす可能性がある場合には、ある程度の河岸侵食の許容幅で河岸を防護する必要がある。その場合は、必要に応じて8-5-1項に示す「長期間での侵食量の算定方法」を用いて、数年後の河岸侵食量を推定する必要がある。
- 山付き区間であっても、高水敷の利用上、低水路平面形状を維持する必要がある場合には低水路河岸管理ラインを設定する。

(2) 低水路河岸管理ラインが不要

- 流下能力上問題がなく、高水敷利用がなされていない箇所では、低水路平面形状を制限する理由が乏しい。
- このほか、不測の事態（河岸決壊等による低水路平面形状や洪水流向の変化）や河川環境等を考慮しても、低水路平面形状を制限する必要がないと判断される箇所では、低水路河岸管理ラインは不要（すなわち堤防の防護だけで十分）である。
- 河川の自然環境を保全するという観点から低水路河岸の変化を許容する場合には、低水路河岸管理ラインは設定しない。

また、セグメント別の河道特性を考慮すると、たとえば以下に示すような低水路河岸安定化の方針が考えられる。

- 河床低下傾向にあるセグメント1の単断面河道では、かつての砂州が高水敷化して植生が繁茂する状態（中水敷）となっており、流下能力も概ね十分であることから、特に低水路平面形状の安定化を図る必要はない。
- 高水敷利用のあるセグメント2—1の複断面河道では、砂州の発達・移動が顕著であり、低水路平面形状の蛇曲をある程度抑制すること（低水路の安定化）が必要であることから、低水路肩に低水路河岸管理ラインを設ける。
- セグメント2—2、3の複断面河道では一般的に河岸侵食量は軽微であり、河岸法尻の捨石工等により河岸侵食の抑止が可能である。そこで、高水敷利用の保全も考慮しながら、自然河岸をできるだけ保全できるように、極力現況河岸からひかえた箇所に低水路河岸管理ラインを設ける。

8-4 河道（低水路）形状の一次設定

低水路平面形状設定の制約条件（8-2-2項）と、基本方針（8-2-3項）および堤防防護と低水路河岸安定化（8-3節）を考慮し、河道（低水路）形状を一次設定するとともに、低水路河岸の安定化を必要とする箇所では低水路河岸管理ラインを定める。

このとき、たとえばセグメント1の河川で堤防の安全性確保を優先的に行う必要がある河川では、必要河積を勘案してあらかじめ堤防保護のための高水敷設置を一次設定しておく（河積

上の制約で高水敷幅を必要幅以下とすることもあり得る)。

他のタイプの河川でも、必要に応じて堤防保護のための高水敷設置を一次設定しておく。なお、低水路河岸管理ラインを設定している箇所では、この高水敷設置を前提として低水路河岸管理ラインを再度設定する必要がある。そして一次設定河道を対象として流下能力をチェックする。流下能力が不足する場合には、再度、河道（低水路）形状の設定を行う。

8-5 一次設定河道の質的安全度の評価

8-5-1 低水路河岸の質的安全度の評価

一次設定河道の侵食外力（摩擦速度等）や河床構成材料が大きく変化しない場合には、8-3-1項で算出した河岸侵食実績から低水路河岸の質的安全度評価を行う。

一方、河道掘削等の河川整備を行ったことにより低水路内の流速が大きくなった場合には、図8-3の整理結果等から、同じ河道特性と河岸構成材料を有する区間の水理量と河岸侵食実績の関係を用いて、質的安全度の評価を行う。

8-5-2 堤防の質的安全度の評価

河道の平面計画を策定するためには、まず一次設定した河道が洪水時の河岸侵食や堤防表水面・高水敷の侵食に対する安全性（質的安全度）の評価を行う必要がある。土木研究所の実験結果³⁾によれば、張芝の侵食限界流速は図8-6に示すように2 m/s（根の層厚10 cmの場合）であることから、堤防侵食に対する安全度評価は、「護岸の力学設計法」²⁾による方法で補正した一次設定河道での計画流量流下時の堤防前面流速とこの値とを比較し、堤防の質的安全度の評価を行うことを基本とする。さらに河道掘削等の河川整備を行ったことによって、堤防付近の流速が大きくなった場合には、同じ河道特性を有する区間の水理量と河岸侵食実績から質的安全度の評価を行う。なお、上記した質的安全度の評価方法だけでは心配な区間においては、必

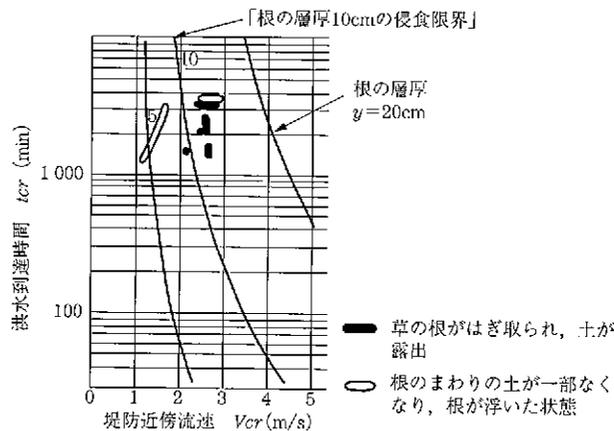


図8-6 堤防近傍流速と張芝の侵食限界との関係³⁾

要に応じて河岸侵食機構を表現できる計算モデルを用いた予測を行うなどして、一次設定河道の質的安全度の評価を行う。

また、高水敷の侵食に対する安全性については、堤防侵食と同じ張芝の侵食限界流速(2m/s)と堤防近傍の高水敷流速から、高水敷侵食に対する安全性を判断し、洪水時に高水敷の侵食が発生する場合には、高水敷防護または高水敷侵食を考慮した堤防防護を別途検討する必要がある。

8-6 一次設定河道の河川環境の評価

河川および河川周辺に生育する植物や動物は、河川地形、堆積物質、冠水頻度、洪水時の流況に密接な関係があり、その環境条件に適した生態系を形成している。特に水際は、生物の生息環境にとって非常に重要な部分であり、生息する生物も多種多様である。生息環境の保持のためには、川本来の多様な姿に注目し、現況が自然状態に近ければそれを保全し、また、河道整備による改變量が大きく生息環境の悪化が見られる場合は、生息環境の回復を図ることが肝要である。

現在ある瀬や淵など、多様な河川形状を保全するためには、河床をできるだけ改変せず、やむを得ず手をつける場合には、現況を再現・再生させるような工夫(ミティゲーションを含む)を施すことや、河床を平坦にしないことが望ましい。したがって一次設定した河道においては、以下に示す点に留意して、その河道の妥当性を評価する必要がある。

- 周辺の崖地・樹林地と川が近隣しており、わん曲に伴う瀬、淵が維持できるような平面計画になっているか
- 支川や用水路との連絡、縦断方向の急な落差などに十分配慮された縦断計画になっているか
- 高水敷の高さや冠水頻度から見て河道の一部が将来樹林化しないか
- 専門家の意見を聞きながら、河川環境情報図を用いて、計画策定後の河川環境が現在の河川環境を大きく悪化させる計画となっていないか検討しているか

また、低水路の河床が低下したために現時点において高水敷の冠水頻度が低く、すでに樹林化が進んでいる場合には、高水敷の掘削や低水路の河床高を上昇させるような工夫によって、高水敷の冠水頻度を高めることも考える必要がある。

8-7 河岸侵食防止の必要箇所の設定

以上の検討結果をもとに、「洪水時の水理特性と堤防・高水敷の耐侵食性との関係」、「洪水時に河岸侵食が発生しやすい位置」、「堤防防護のために必要な高水敷幅」の3点を中心に、以下に示す手順に従って河岸侵食防止の必要箇所を設定する(図8-7参照)。河岸侵食防止の必要箇所の設定例をセグメント別に図8-8に示す。なお、河岸侵食防止の必要箇所は、河道内の

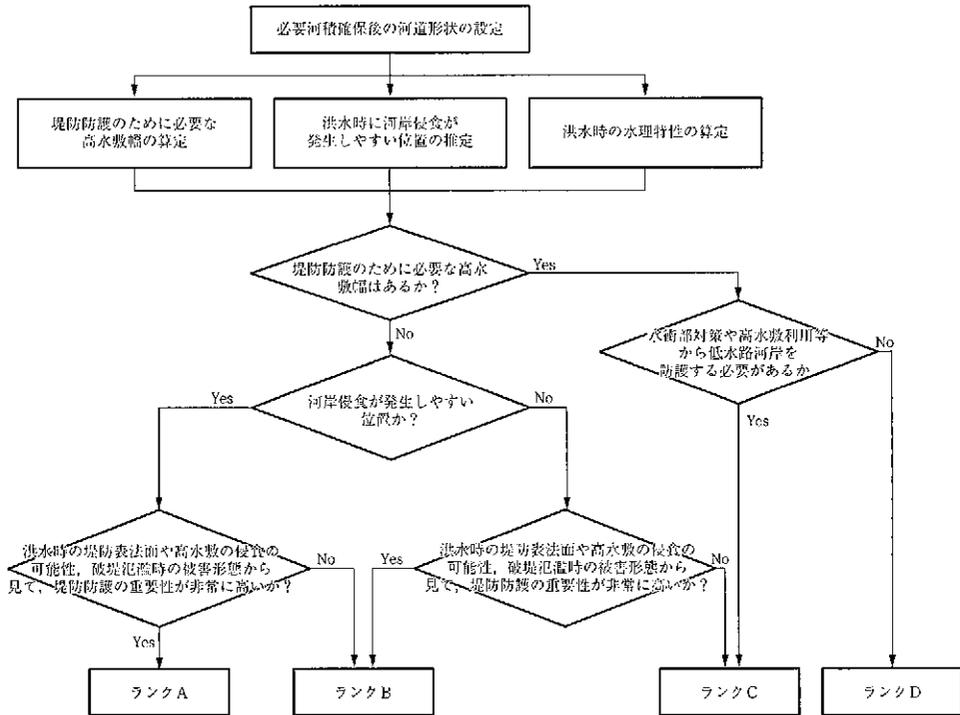


図 8-7 河岸侵食防止の重要度の設定フロー

自然環境の保全や高水敷利用のための河岸の防護，洪水時の河岸侵食による堤防防護など，守るべき対象によって決まるものであり，それは各河川によって異なることから，各河川の特徴を踏まえ，河川をどのように管理するかという観点から総合的に考えて設定する必要がある。

(1) 河岸侵食防止の重要度のランク分け

河岸侵食防止の必要箇所の設定における河岸侵食防止の重要度は，図 8-7 および以下に示すとおりである。

【ランク A：強固な防護が必要】

(堤防防護に必要な高水敷幅がなく，洪水時に河岸侵食が発生しやすい区間であり，洪水時の堤防表法面や高水敷の侵食の可能性，破堤氾濫時の想定被害形態から見て，堤防と一体に低水路河岸を防護する重要性が非常に高い区間)

【ランク B：防護が必要】

(堤防防護に必要な高水敷幅がなく，洪水時に河岸侵食が発生しやすい区間，または河岸侵食は発生しにくいと堤防表法面や，高水敷の侵食の可能性等から堤防防護の重要性が高い区間)

【ランク C：防護の必要性が低く，低強度のもので対応可能】

(堤防防護に必要な高水敷幅はあるが，高水敷の利用等のために洪水時の河岸侵食から高水敷を防護する必要がある場合や堤防防護に必要な高水敷幅はないが，河岸侵食が発生する可能性が低い区間)

【ランク D：防護をほとんど必要としない】

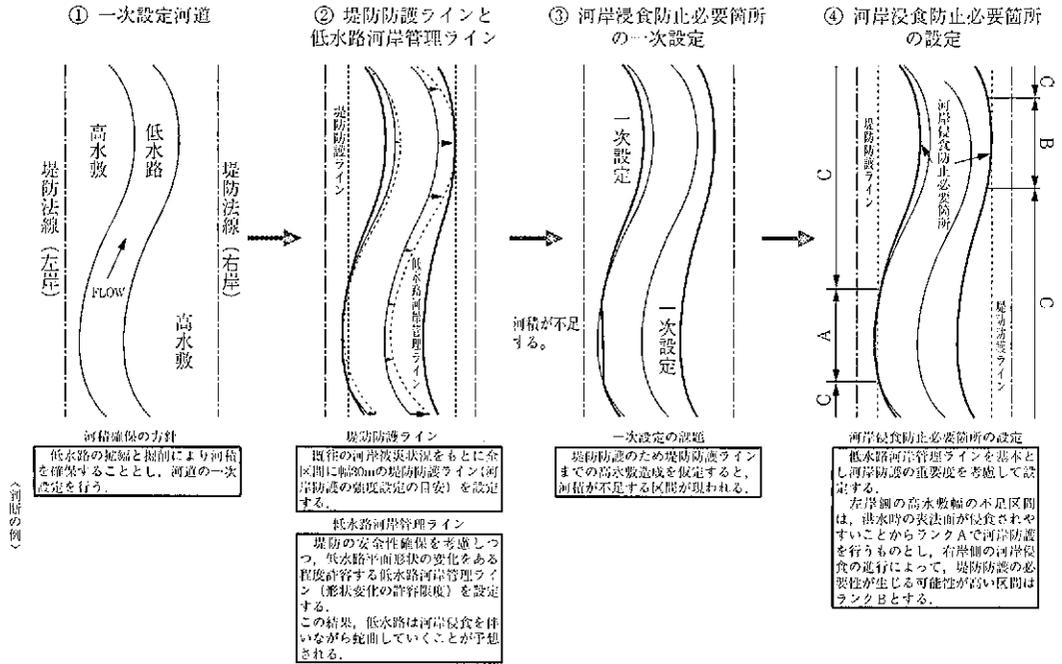


図8-8(c) 河岸侵食防止必要箇所の設定例2の②(セグメント2)

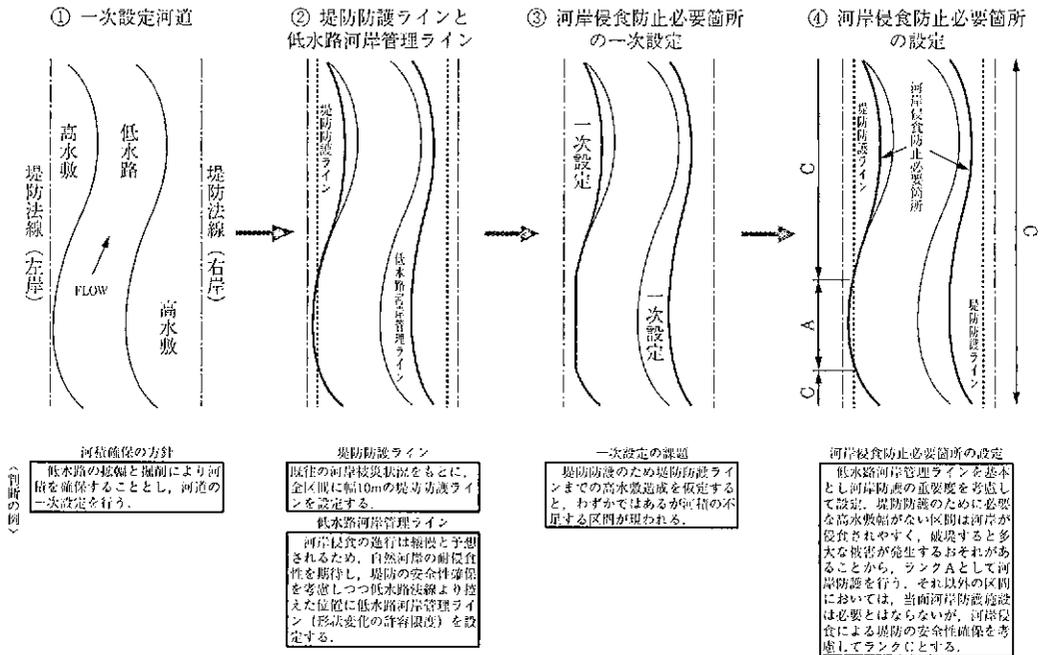


図8-8(d) 河岸侵食防止必要箇所の設定例3(セグメント3)

(堤防防護に必要な高水敷幅が十分あり、洪水時の河岸侵食から高水敷を防護する必要がない場合)

なお、橋脚、落差工、堰等の横断工作物や樋門・樋管の周辺では、工作物に起因する局所流や局所洗掘に対する河岸防護が必要となるため、たとえば、河岸防護の重要度を1ランクアップさせ設計外力を割増しするなどの対応が必要になると考えられる。

(2) 河岸侵食防止の必要箇所の設定手順

- ① 高水計画で定めた計画流量を、安全に流下させるための河道形状を設定する(第7章での検討結果)。
- ② ①で設定した河道形状を用いて、以下に示す3点を検討する。
 - 堤防防護のために必要な高水敷幅(8-3-1項参照)
 - 洪水時の河岸侵食が発生しやすい位置(8-2-1項参照)
 - 洪水時の堤防前面流速や摩擦速度等の水理量
- ③ ②で算定した堤防防護のために必要な高水敷幅と、①で設定した河道形状の高水敷幅を比較し、堤防防護のために必要な高水敷幅が確保できているかを確認する。
- ④ ③において堤防防護のために必要な高水敷幅が確保されている区間においては、水衝部対策や高水敷利用等の点から、低水路河岸を防護する必要があるかを確認し、防護する必要がない場合には、堤防防護ラインを河岸侵食防止の必要箇所として設定する。そのときの重要度はランクDとする。また、低水路河岸を防護する必要がある場合には、低水路河岸管理ラインを河岸侵食防止の必要箇所として設定する。そのときの重要度はランクCとする。
- ⑤ ③において堤防防護のために必要な高水敷幅が確保できない区間においては、河積確保後の河道形状の低水路河岸の法肩を河岸侵食防止の必要箇所として設定し(ただし、堤防の安全性を確保するために高水敷造成を行った場合には、造成後法肩を河岸侵食防止の必要箇所とする)、その区間が、河道法線や砂州の発生の有無から見て、河岸侵食が発生しやすい位置にあるかを確認する。
- ⑥ ⑤において河岸侵食が発生しやすい区間では、8-5節で述べた質的安全性の評価方法による洪水時の堤防表水面や、高水敷の侵食の可能性、破堤氾濫時の被害形態から見て、堤防防護の重要性が高いかを判断し、重要性が高い区間はランクA、重要性があまり高くない区間はランクBを設定する。
- ⑦ また、河岸侵食が発生しやすすくない区間においても、同様の判断を行い、重要性が高い区間はランクB、重要性があまり高くない区間はランクCを設定する。

ここで設定した河岸侵食防止の必要箇所に対して、維持管理費を含めた総事業費のコスト面のチェックを行う。たとえば、洪水時の外力(流速)に応じた河岸防護工を設けることが基本であるので、必要に応じて平面二次元流解析を行い、これをもとに河岸防護の重要度の検討を行う。コスト面に問題がある場合には、河道(低水路)形状の一次設定(8-4節)にフィードバックする。

引用・参考文献

- 1) 山本晃一：沖積河川学，山海堂，1997.
- 2) 護岸の力学設計法，財団法人国土開発技術研究センター，山海堂，1997.
- 3) 福岡捷二，藤田光一：堤防法面張芝の侵食の限界，第34回水工学論文集，1990.

第9章 河道計画のとりまとめ

河道計画策定の考え方に戻って再度チェックするため、河道計画検討にあたっての背景（現況河道の特性と課題，検討条件），基本方針，検討課題を河道全体，セグメントごと，小セグメントごとに整理することが必要である。

9-1 現況河道の特性と課題の整理

河道計画の策定にあたっては，現況河道の特性と課題の的確な把握が不可欠である。そこで，現況河道の河川特性および課題（治水上，利水上，環境上）を整理する。なお，現況の量的安全度や質的安全度の評価をもとに，河川整備により変化する可能性のある河川特性を明確にし，コスト，河川環境および必要に応じて流砂系の健全性確保の視点も加えて整理する。

9-2 河道計画の検討条件の整理

河道計画検討の枠組みおよび自由度を明確にする目的で，検討に用いる下記の水理条件の設定根拠，低水路掘削や低水路形状を設定する際の制約条件（掘削高，拡幅規模等）を整理する。なお，計画流量流下時の水理状況など検討にあたって仮定した条件については，検討条件の設定根拠を明示しておく必要がある。

- 河口部および支川の出発水位
- 低水路粗度係数（遷移河床の判定を含む）
- 高水敷粗度係数（樹木の評価方法）
- 断面分割と境界混合係数
- 死水域の設定方法
- 射流判定とその制御方法
- 水位上昇量を算定するための条件量

9-3 河道計画策定の基本方針の整理

河道計画策定の考え方を明確にすることを目的に，次の点について整理を行う。

- 河道の縦横断計画（河積の確保），平面計画の基本方針

・河積確保の方策として抽出した代替案の評価方法

特に、河道計画の検討・策定にあたっての基本的な視点（量的安全度、質的安全度、コスト、河川環境、流砂系の健全性確保）の最適化を、どのように図ったかを明確にすることが必要である。また、河道計画を策定した場合には、次の項目を河道計画のアウトプットとして示す必要がある。

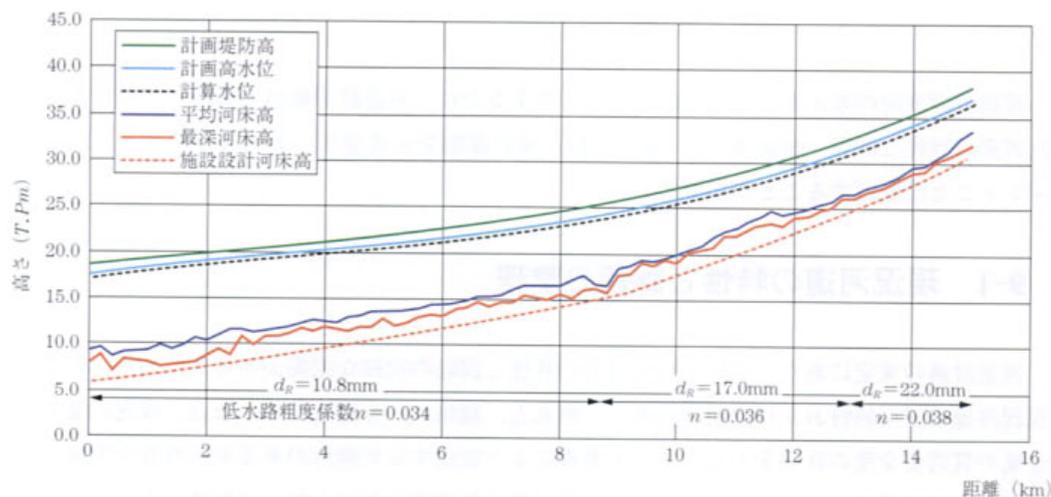


図9-1 堤防高、水位、河床高縦断面図

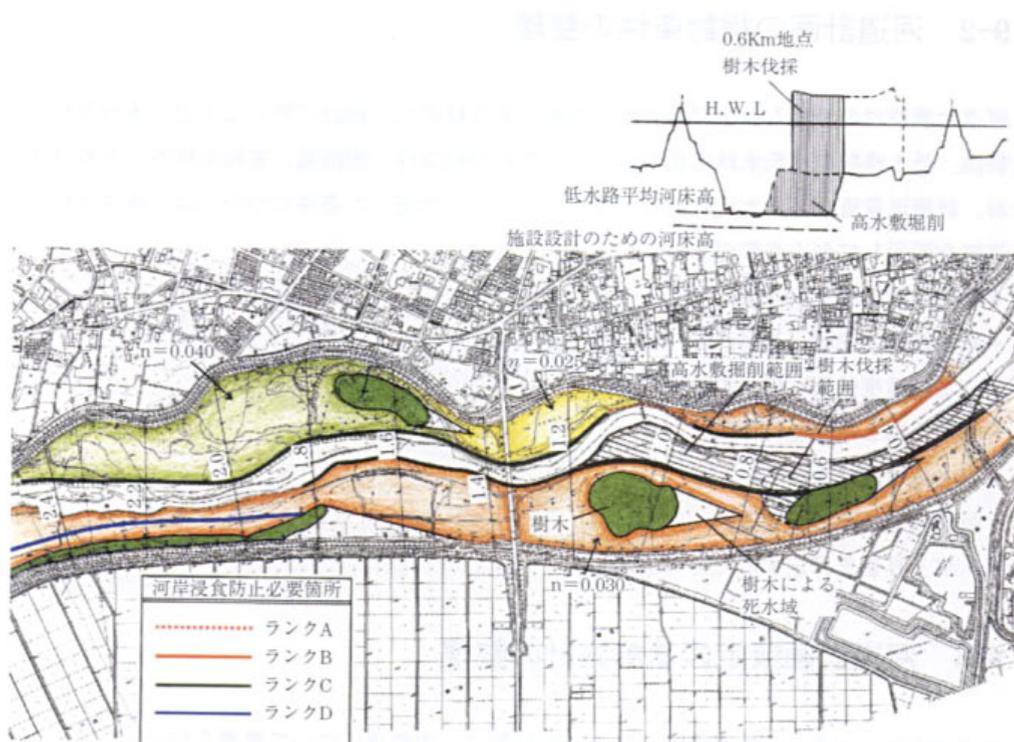


図9-2 河道平面図

- 計画流量時の粗度係数分布
- 河積確保後の横断形状
- 低水路平均河床高, 最深河床高, 堤防高の縦断形状, 施設設計河床高, 代表粒径の縦断分布
- 河岸侵食防止の重要度のランク分け

アウトプットの例を図 9-1 および図 9-2 に示す。

第10章 河道計画モニタリング

10-1 総合土砂管理計画と河道計画

土砂生産域、河道（ダムを含む）、海岸域においては、これまで主に防災面を中心に砂防施設や河川構造物、海岸構造物の建設、河道改修や砂利採取などが行われてきた。これは洪水時の大規模な災害を防止するうえで重要な方策であり、今後も進めていく必要がある一方で、近年これらの土砂に関する対策を個別に行ったことによる問題点が顕在化してきている。海岸域においては河川からの供給土砂の変化、海岸構造物による漂砂の遮断などにより、侵食が増大している。河川においても河床低下や上昇が顕在化している事例もある。また、防災上の問題とともに、自然環境の点からの土砂の問題が取りあげられることも多くなっている。

今後は、流砂系全体の土砂移動のバランスを考慮し、総合的な対応を図ることを目的とした流砂系一貫の総合的な土砂管理が必要となっている。ここで河道は、土砂生産域から流出してきた土砂や、ダムから放流された土砂の通過区間であり、河川整備を行う場合には流砂能のバランスが変化したことによる河床の変化や海岸侵食に留意しなければならない。「第4章 河川特性の把握」で作成する「土砂動態マップ」は、粒径区分別の河道内の通過土砂量と海岸域への流出土砂量を示したものであり、この図から、現状において海岸域へ流出する土砂の粒径と、その量の概略を把握することができる。河道計画を策定するにあたっては、土砂動態マップや一次元河床変動計算によって現況河道の土砂の流砂能、河口からの流出土砂量等を把握するとともに、河川整備による将来的な土砂環境の変化を把握し、流砂系全体に及ぼす影響について検討を行う必要がある。

10-2 現在の河道計画策定の適用範囲とモニタリングの必要性

河道計画では、高水計画で定めた流量（計画高水流量）を安全に流下させるための河積の確保と、洪水時の侵食等から堤防防護を行うための河岸侵食防止箇所の設定を行う。このためには、計画を策定するうえで設定した条件量（低水路・高水敷粗度係数や植生の倒伏状況、河床変動状況、洪水時の河岸侵食幅など）の妥当性をモニタリング等で確認し、必要であれば計画の見直しを行う必要がある。

モニタリングには、計画の妥当性確認を行うためのモニタリングと河道を管理するためのモ

モニタリングの2種類がある。

計画の妥当性を確認するためのモニタリングは、既往洪水の流量規模が計画高水流量よりも小さい場合に行った外挿の妥当性や、既往洪水、既往研究成果をもとに決めた条件量の妥当性を確認するためのものである。なお、現在の河道計画の検討過程には、以下に示すようにデータ取得上の限界や水理計算上の限界（仮定）があり、これらの仮定、限界が存在することを十分に認識したうえで継続的・効率的なモニタリングを行う必要がある。

（データ取得上の制約）

- 既往洪水の流量規模が計画高水流量よりも小さい場合、実測データをもとに計画高水流量規模での粗度係数、樹木の状況などの条件量を外挿することとなる。想定した計画流量規模での条件量の妥当性については、今後のモニタリングにより、チェックしていく必要がある。
- 痕跡水位には、水制等構造物による局所的な影響等が含まれる場合がある。今後のデータ観測においては、得られたデータについての十分な精査および要因分析を行い、河道計画策定で設定した条件量の妥当性を検証していかなければならない。
- 洪水時の流量観測においては、限られた観測点のポイントとしての把握しか行えず、また、必ずしも洪水のピーク流量をとらえていない場合がある。区間断面ごとの水深、流速の妥当性チェックを十分に実施し、流量観測精度の向上を図る必要がある。
- これまでの観測結果を見ると、洪水時の平面的な流況を面的には十分とらえているとはいえない。面的なモニタリングを実施し、河道計画で策定した高水敷と低水路の干渉の影響、樹木群による流下阻害の状況等の妥当性を検証していく必要がある。
- 洪水時の河床変動や、粒径ごとの流砂量等の土砂動態を把握するための観測は非常に難しく、現時点においてはその実態があまり把握されていない。河床材料、高水敷地被状況、流況などは、土砂環境の変化などによって変わる可能性があるため、現状の土砂環境を十分に把握する必要がある。

（数値計算上の制約）

- 第8章までに述べてきた数値解析のための条件量は、既往の洪水のモニタリング結果および模型実験等からの検討結果を踏まえたものであり、ある仮定をもって定めた部分が生じている。今後のモニタリングにより新たなデータが得られた場合や、新たな知見等が出された場合においては、河道計画の策定に用いた条件量の妥当性を確認したうえで、必要であればその条件を変更し、河道計画を見直していく必要がある。
- 現在用いている数値計算手法は、準二次元の不等流計算であり、平面的、3次元的な水位・流速変化、不定流効果等を十分には表わしてはいない。モニタリングにより、河道計画策定時に仮定した条件量の妥当性を検討するとともに、必要に応じて新たな数値解析手法の導入についても検討する。

ここでは、河道計画を策定する過程で想定した条件量の妥当性を確認するために必要とされる河道実態把握のモニタリングについて述べた。モニタリングとしては、さらに河川整備を行

った場合の変化を把握するモニタリングも必要である。特に堰の改築を行ったり、低水路を拡幅するような大規模な河川工事を行った場合には、当初想定していた現象とは異なる地形変化を生じさせる可能性もあるため、その影響を把握するためのモニタリングが必要である。

また、河道管理のためのモニタリングとは、高水敷上の植生や低水路内の河床高の管理、高水敷や堤防法線の洪水による侵食等の管理を行うために必要なモニタリングである。

10-3 河道特性モニタリング項目

モニタリングには、定期的なものと洪水後等を実施する非定期的なものがある。

定期的なモニタリングはその項目によって異なるが、少なくとも5年に一度程度は対象河川において実施すべきものであり、定期縦横断測量等の成果をもとに河床変動の動向や流下能力の評価を行う。非定期的なモニタリングとしては、洪水が発生したときに実施する流量観測や、洪水中の植生の倒伏状況等の調査があり、それらの資料をもとにして低水路粗度係数、境界混合係数の算定、洪水後の横断測量成果を用いた河床変動特性の検討等を行う。

特に、ダムや砂防施設の建設によって上流等から土砂供給が大きく変化した場合、ダム建設や河川整備（背割堤の整備、放水路の建設等）によって流況が大きく変化した場合、横断工作物の改築等の河道改修を行った場合など、現況の土砂環境を大きく変更した場合には、こまめに河床変動の動向等についてモニタリングを行い、予測した以上の変化の兆候がある場合には、対策の検討や河道計画の見直しを行うなどの対応を図る必要がある。

河道特性のモニタリングを行うにあたり把握しておくべき一般的項目の例は、表10-1に示すとおりであり、モニタリングを行った結果、河道特性が計画当初の状態から変化した場合には、その変化状況と変化要因との因果関係を整理し、必要に応じて河道計画や維持管理方針の見直しを行う必要がある。たとえば、河川環境のモニタリングについては、河川水辺の国勢調査において示されている調査を定期的実施し、河川環境の変化を把握したうえで、河川環境情報図を作り直し、他のモニタリング結果と合せて河川環境の変化要因の分析を行う。

また、計画流量時に河床が遷移すると判断した河川においては、既往洪水のデータと新たなモニタリング結果から流量規模と粗度係数との関係を把握し、河床が遷移することの妥当性を確認する必要がある。

河道特性のモニタリング結果は、河川管理カルテに反映させ、河道の変化を十分に把握するとともに、高水敷侵食が進行したことによって、徐々に水衝部の発生位置が変化し、堤防防護のために低水路を安定化させる必要がある場合には、河岸侵食防止必要箇所の設定を見直す必要がある。これらの検討結果等は、河道計画にフィードバックを行い、必要に応じて河道計画や維持管理方針を見直すこととなる。なお、現在のモニタリング方法には、十分な精度が得られない方法や多大な費用と時間を要する方法があるため、新しい技術を導入したモニタリングの技術開発を行う必要がある。

表 10-1 主なモニタリング項目とアウトプット

モニタリング項目	方法	頻度の目安	範囲	主なアウトプット	備考	
定期的な項目	河道の形状特性と河道変動形態	定期縦横断面測量	全川	<ul style="list-style-type: none"> 平均、最深河床高の縦断変化 河床変動量の变化 流下能力の变化 	<ul style="list-style-type: none"> 河積確保の見直し 土砂動態マップの見直し 	
			全川	<ul style="list-style-type: none"> 堤防、低水路法線の変化 低水路幅・川幅の縦断分布の変化 	<ul style="list-style-type: none"> 堤防防護と低水路河岸管理ラインの見直し 	
	水衝部とみお筋	空中写真と現地踏査	3~4年1回	全川	<ul style="list-style-type: none"> 水衝部とみお筋の変化 	<ul style="list-style-type: none"> 堤防防護と低水路河岸管理ラインの見直し
	河床材料と河岸土質	河床材料調査	4~5年に1回	全川	<ul style="list-style-type: none"> 代表粒径の縦断分布とその変化 	<ul style="list-style-type: none"> 推定粗度係数の見直し
河川環境特性	河道内の植生分布の概略把握	空中写真と現地踏査	3~4年に1回	全川	<ul style="list-style-type: none"> 植生分布と粗密の変化 	<ul style="list-style-type: none"> 高水敷粗度係数と死水域の見直し
		河川水辺の国勢調査	4~5年に1回	全川	<ul style="list-style-type: none"> 植生と生物の生息・生育環境の変化 	<ul style="list-style-type: none"> 河川環境情報図の見直し
	河川水辺の河床形態の把握	河川水辺の国勢調査	4~5年に1回	全川	<ul style="list-style-type: none"> 瀬・淵等の分布とその変化 	<ul style="list-style-type: none"> 河川環境情報図の見直し
	河床高と横断形状	測量	洪水後必ず実施	全川	<ul style="list-style-type: none"> 河床変動量の把握 局所汚泥深の変化 	<ul style="list-style-type: none"> 河積確保の見直し
非定期的な項目	河道の形状特性と災害特性	断面と空中写真	大規模な河岸侵食が生じた場合に実施	河岸侵食箇所	<ul style="list-style-type: none"> 堤防防護と低水路河岸管理ラインの見直し 	
		河道内の植生状況	洪水後必ず実施	全川	<ul style="list-style-type: none"> 植生の倒伏状況 植生高と粗度係数との関係 	<ul style="list-style-type: none"> 高水敷粗度係数の見直し
	河川環境特性	時刻流量と水位	洪水中に実施	支川台流等の流量変化地点	<ul style="list-style-type: none"> 洪水時の流量 水位/ハイドログラフ 	<ul style="list-style-type: none"> 低水路粗度係数の見直し
		痕跡水位	洪水後必ず実施	全川	<ul style="list-style-type: none"> 逆算粗度係数の算定 	<ul style="list-style-type: none"> 低水路粗度係数の見直し
流況	流向・流速	洪水中に実施	全川	<ul style="list-style-type: none"> 洪水時の流速ベクトル 	<ul style="list-style-type: none"> 境界混合係数の見直し 樹木の粗密の判断の見直し 高水敷粗度係数の見直し 	
	流砂量	流砂量観測	河口および土砂流出の多い地点	<ul style="list-style-type: none"> 掃流能力と流砂量の関係 	<ul style="list-style-type: none"> 土砂動態マップの見直し 	

河道計画検討の手引き作成ワーキンググループ

座長	山本 晃一	(財) 河川環境管理財団河川環境研究所研究総括職
メンバー	中嶋 章雅	国土交通省河川局河川計画課河川計画調整室長
〃	船橋 昇治	〃 〃 〃 〃 課長補佐
〃	松本 直也	〃 〃 河川環境課流域治水調整官
〃	池内 幸司	〃 〃 〃 企画専門官
〃	上総 周平	〃 〃 治水課河川整備調整官
〃	青山 俊行	〃 〃 〃 事業監理室長
〃	小俣 篤	〃 〃 〃 企画専門官
〃	高橋 定雄	〃 〃 〃 課長補佐
〃	田中 卓二	〃 〃 〃 〃
〃	岩田 美幸	〃 〃 〃 〃
〃	末次 忠司	〃 国土技術政策総合研究所河川研究部河川研究室長
〃	藤田 光一	〃 中部地方整備局三重工事事務所長
〃	望月 達也	〃 九州地方整備局河川部長
〃	勢田 昌功	〃 〃 川内川工事事務所長
〃	湧川 勝己	(財) 国土技術研究センター調査第一部 席主任研究員

事務局 (財) 国土技術研究センター調査第一部

担当スタッフ 長野 拓朗、西村 達也、藤原 直樹

(役職は平成13年3月現在)

河道計画検討の手引き

(財)国土技術研究センター 編

平成 14 年 2 月 16 日 第 1 刷発行
平成 15 年 2 月 20 日 第 2 刷発行

(定価はカバーに
表示してあります)

発行 (財)国土技術研究センター
〒105-0001 東京都港区虎ノ門 2-8-10 (第 15 森ビル)
電話 03-3503-0393

発売 株式会社 山海堂
海野 巖
〒113-8430 東京都文京区本郷 5-5-18

検印
省略

電話 03-3816-1617
振替 00140-3-194982
<http://www.sankaido.co.jp/>

乱丁本・落丁本は小社生産部宛にお送り下さい。
送料小社負担にてお取り替えいたします。

Printed in Japan
© 2002

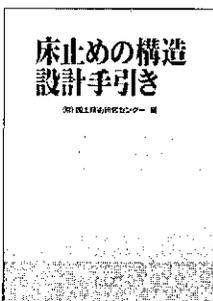
ISBN 4-381-01492-8 C 3051



柔構造樋門設計の手引き

(財)国土開発技術研究センター編
A5判 352頁 本体3990円(本体3800円)
新技術・新工法を解説

樋門の設計施工は周辺堤防の安全性の確保を優先すべきとの観点から、従来の「支持杭による剛支持方式」から「直接基礎を主体とする柔支持方式」に転換されつつある。本書は新技術・新工法等を取り入れると同時に、今後の技術開発の進展に配慮して記述した



床止めの構造設計手引き

(財)国土開発技術研究センター編
A5判 148頁 定価2730円(本体2600円)

河道特性や水理特性を考慮した、これからの床止め構造設計法を詳述

過去の被災事例やこれまでの調査研究成果をもとに建設省河川砂防技術基準(案)同解説を補完する技術書として、床止め工を設置する河道の特性や周辺の水理的な特性を考慮した、床止め工の設計方法をとりまとめた。

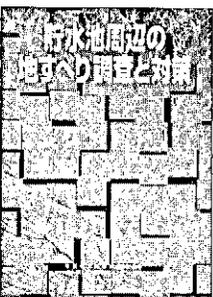


護岸の力学設計法

(財)国土開発技術研究センター編著
B5判 160頁 定価4725円(本体4500円)

設計者自身が各構造モデルの特徴と河道特性を十分理解した上で判断する基準書

これまで体系的な力学的設計論が確立しておらず、過去の経験等に基づいてなされてきた護岸設計に、力学的な安定性を確保する最低限の諸元を照査する手法を示した。



貯水池周辺の地すべり調査と対策

建設省河川局開発課監修
(財)国土開発技術研究センター編集
B5判 194頁 定価6,932円(本体6,602円)

「貯水池周辺地山安定対策に関する検討委員会」において、ダム completion、湛水したときの貯水池周辺斜面の地すべりについて、現在までに得られた知見を整理、検討し、その調査、安定解析、対策工などについてとりまとめた書。



河川ポンプ設備 更新検討マニュアル

(財)国土開発技術研究センター編集
B5判 232頁 定価6,116円(本体5,825円)

設置後の年数が経過した河川ポンプ設備は、劣化が進行し、現状の整備機能の総合診断の実施と更新等の検討が必要となる。本書は、建設省通達の「河川ポンプ設備更新検討要領」に準拠して、具体的に実施の手順を解説している。



内水処理計画策定の手引き

建設省河川局治水課監修
(財)国土開発技術研究センター編集
B5判 244頁 定価3,568円(本体3,398円)

近年、土地利用の高度化に伴い、内水被害が頻発しているが、本手引きは内水処理計画に携わる技術者の参考となるよう、数多くの事例を参考に内水処理計画策定の手順・調査項目を明確にし、調査項目ごとにその内容を詳述した。



都市河川計画の手引き —立体河川施設計画編—

(財)国土開発技術研究センター編集
B5判 136頁 定価4,893円(本体4,660円)

本書は、建設省河川局都市河川室の指導のもとに、(財)国土開発技術研究センターにおいてまとめたもので、都市部における地下河川計画ならびに地下調節池計画とその維持管理について、多くの事例を参考として詳説。カラー4頁



洪水とアメリカ ミシシッピ川の氾濫原管理

(財)国土開発技術研究センター監修
米国河川研究会編著
B5判 320頁 定価5,046円(本体4,806円)

ミシシッピ川の大洪水の状況を整理するとともに、そのさまざまな治水対策の経緯と現況について調査・研究した成果を集大成。日本とアメリカの自然的・社会的条件の相違点を踏まえる上でも、有用な視点を提供するものである。



改定・解説 河川管理施設等構造令

(財)国土開発技術研究センター編
A5判 440頁 定価3,885円(本体3,700円)

平成九年の河川法改正を受けて、平成九年に河川環境の整備と保全に配慮し全面改定された河川管理施設等構造令の解説書。また、参考に河底横過トンネル、付に通達等を掲載。ダム、高規格堤防は性能規定も含めている。



改訂 [解説] 工作物設置許可基準

(財)国土開発技術研究センター発行 河川管理技術研究会編
A5判 264頁 定価2,940円(本体2,800円)
平成10年1月改正の河川法関連の工作物設置許可基準を完全網羅

河川法改正に伴う「工作物設置許可基準」の改正(平成10年1月)に対応した、河川関係者必携の解説書。新たに光ファイバケーブル、地下工作物、船舶保留施設を追加し、河川区域内の工作物の設置基準を解説。総則/堰/水門・樋門/水路・取水塔/伏せ越し/管類等/集水埋渠/橋/潜水橋/道路/自転車歩行者専用道路/坂道/階段/防護柵他



自然になじむ山岳道路

◎ダム付替道路の事例より考える
建設省河川局開発課・建設省土木研究所環境部監修
(財)国土開発技術研究センター編著
B5判 214頁 定価4,180円(本体3,981円)

自然にやさしい道づくりのために、多くの山岳道路について、特にダム付替道路の事例をもととし、計画設計にあたっての配慮事項を解説。山岳道路建設を計画する、道路施工・管理者、ダム建設者、コンサルタントなどの必携書。



堤防に沿った樹林帯の手引き

国土交通省河川局治水課=監修 (財)河川環境管理財団=編著
A4判 252頁 定価4,725円(本体4,500円)

河川管理施設としての樹林帯の設計・整備・維持管理をするにあたり必要となる技術的知見をとりまとめ、創意工夫の手助けとなるよう記述したもの。序章/総説/樹林帯の計画・設計手順 整備/樹林帯の新規整備手法/樹林帯の維持管理/既存樹林の樹林帯としての整備と維持管理/ケーススタディ/参考資料

ISBN4-381-01492-8

C3051 ¥4700E



9784381014924



1923051047000



山海堂