

第3章 河道計画

第1節 河道計画の策定

1.1 河道計画策定の基本的考え方

河道計画の策定にあたっては、当該河川及び流域の特性等を十分に把握し、的確に計画に反映させる。

[解説]

中小河川は、地域と密接に関連している場合が多いため、どのような経緯を経て計画の絞り込みを行ったのかを明確にしておくことが重要となる。その際、河川管理者は以下の事項に留意し、計画の立案を行うことが肝要である。

1.1.1 治水安全度の確保

流下能力の確保

河道計画では、第一義的に計画高水流量を計画高水位以下の水位で安全に流下させる河積を確保することが重要であり、沿川及び現河道の有する自然現象や土地利用状況等を勘案しつつ、河道断面の設定を行う必要がある。

超過洪水時の安全性確保

中小河川の計画規模は、概ね 1/10～1/50 程度のもが多く、超過洪水の生起する確率が大河川に比べて高いため、超過洪水が発生した場合に流域や氾濫原において生じる現象を想定し、必要に応じて氾濫原を考慮に入れた対策や、氾濫流の戻り水を処理する施設計画等、総合的な治水対策に関して検討することが重要である。

1.1.2 自然環境、沿川環境との調和

自然環境との調和

これまでの河道計画は、治水に重点をおき、できるだけ早く、かつ経済的に洪水を流下させる機能を重視して河川を捉えてきた観がある。そのため、画一的な河道形状で河道の改修を行い、沿川住民の意見や河川環境に配慮したものとは言い難いものもあった。

河川は、流域住民にとって親しみやすい身近な自然空間であり、河川環境への関心の高まりから、自然豊かな水際や河岸を保全・再生することが望まれている。

今後の河道計画においては、沿川住民が安心して暮らしていくために治水安全度の確保を図ると同時に、次世代に引き継ぐための河川環境を保全・整備し、川と沿川の風景とが調和した美しい景観、川らしさなどを保っていくことが必要である。

沿川地域との調和

河川は生活、歴史、文化など地域社会と密接な繋がりをもった存在であり、川と沿川に住む人々のより良い関係を今後も維持・増進させ、改修等により河川と沿川地域との結びつきを分断することのないようにしなければならない。そのためには、地域に密着した「川らしさ」の保全・創造を念頭

において、住民との対話により地域に愛される川づくりを行う必要がある。

沿川地域の計画との整合

河川の計画は、周辺のまちづくりなどと密接に関係しているものが多い。このため、沿川の他事業の進捗を考慮した効率的な計画を策定し、事業の推進を図ることが重要である。特に、河川沿いに存在する道路事業との関係は、潤いある水辺空間の保全・創造、管理用通路等の問題から重要になることが多く、十分に留意する必要がある。また、沿川に公園や土地区画整理事業等の面的整備が計画されている場合は、特に計画の整合を図ることが重要である。

なお、民間の宅地開発等が予定されている場合には、その影響について把握し、流出抑制施設の設置を指導するなど、必要な措置がとられるように十分に調整する必要がある。

1.1.3 維持・管理に配慮した計画

河道特性の尊重

維持管理が容易な河道計画を策定するためには、河道の水理特性を十分に把握し、安定的な河道となるように河道断面の設定を行う必要がある。安定的な河道とは、今後計画する河道が大きな変動を伴わず、流下能力を確保するための維持管理が容易となる河道を意味している。このような安定性に配慮することが、経済的にも効率的な河道を形成することに結びつくことになる。

また、川にはそれぞれの個性があるため、その川の特徴を考慮した河道計画を策定することが、自然に配慮した川づくりにもつながることとなる。

流域全体で見た土砂管理

近年、上流の砂防ダム等による流出土砂抑制や砂利採取により、河床低下が問題となっている河川が見受けられる。これは、上流からの土砂供給が少なくなったことや人為的な掘削のため、かつての河床の安定バランスが崩れたことを示している。河床低下により、河積が増加し流下能力は大きくなるが、現在設置されている河川構造物の安全性が維持できなくなったり、河口部では海岸線が後退するなど自然環境上の問題も発生している。

したがって、河道を流水が流下する水路としてのみ見るのではなく、土砂等の物質が循環する経路としても捉え、適正な物質循環が図れるように留意することが必要である。なお、こうした捉え方をした場合には、水系一貫した総合的な土砂への対応について検討を行うことが不可欠となる。

住民との役割分担

河川に対する沿川住民のニーズは多様化し、河川管理の内容も必然的に多岐に渡ることになる。このためには、河川管理者としての限界を認識し、沿川住民との役割分担を示し、地域住民と協同して川づくりを推進していく必要がある。

1.1.4 わかりやすい計画

モニタリング

自然現象を反映した計画を策定するための知見や技術は過去と比べて格段に向上してはいるものの、自然現象には不確定要素が多々あり、その適用技術には限界があることも事実である。

このような認識のもと、河道計画においては維持管理とモニタリングを行い、これを計画にフィードバックするシステムが重要となる。

合意形成

河川管理者と住民の協同により良好な河川環境の維持・増進を図っていくためには、計画内容に対する住民の十分な理解が前提となる。このためには、客観的評価が可能な河道計画を策定し、わかりやすく住民に計画を説明し、また住民の意志を計画に反映させる等行政側の努力が必要である。

1.1.5 総合的計画

河川は、自然を享受できる空間であるとともに、自然の脅威を感じさせる空間でもある。平常時には清流が流れる自然豊かな河川であり、出水時には洪水を安全に流下させることのできる河川が望まれている。この二つは一見矛盾した存在のようにも思われるが、視点を広げ流域の水循環という観点で捉えれば、必ずしも現実不可能なものではない。河道計画の策定にあたっては、総合的・広域的な観点から河川及び流域の問題点・課題を整理し、必要な対策が実施できるよう心掛ける必要がある。

第2節 現況河道の特性と課題の整理

2.1 流下能力の把握

現況河道の治水安全度確保上の課題・問題点を明らかにするため、現況河道の流下能力を把握する。

[解説]

新たに河道計画を策定する場合、先ず現状の河川が有する課題・問題点を整理し、明確にする必要がある。そのため、現況の河道が有する流下能力を算定し、全川的な治水安全度を把握することにより、河道のネック箇所（流下能力の不足区間）を抽出する。

現況河道の流下能力の算定は、原則として不等流計算を用いる。なお、不等流計算手法による流下能力算定がより有効となるのは比較的長い区間を対象とした場合であり、局所的に疎通能力をチェックする場合にはこの限りではない。

流下能力の評価水位は、現況の堤防高から余裕高を引いたものを基本とする。また、有堤区間においては、超過洪水の際の危険箇所を把握するため、参考として堤内地の地盤高相当の水位についても流下能力を算定することとする。

なお、等流計算により流下能力の計算を行えば、以下の図に示すような流下能力図を作成することができる。この図は、精度が十分とは言い難い等流計算にもとづいて作成しているため、疎通能力の大小に関する概略の傾向を示すに留まるものであるが、河道のネック箇所や全川的な治水安全度バランスを把握するのに役立つ。

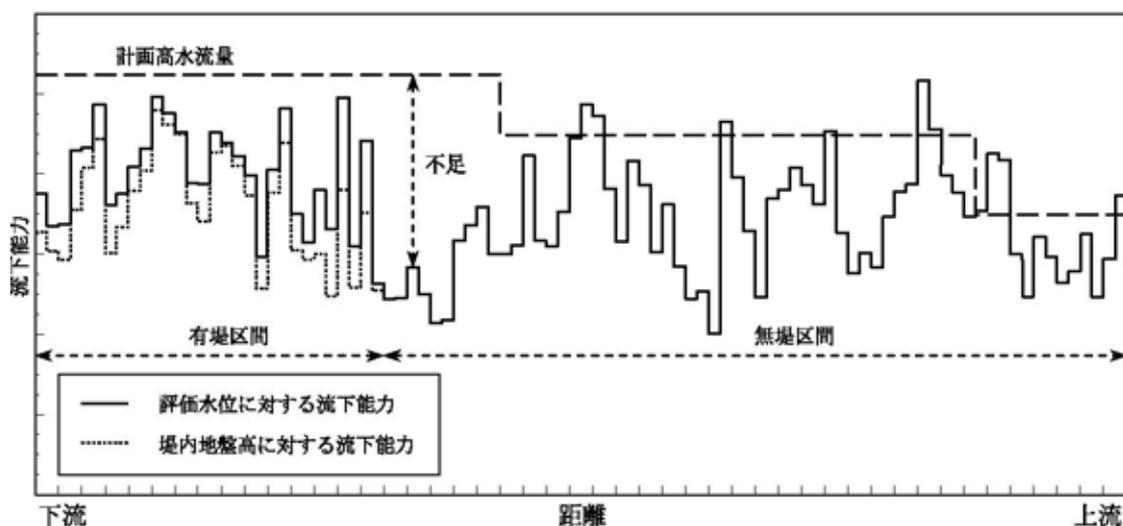


図 3.2.1 疎通能力図の例

ここでは対象河道の疎通能力を超過確率で評価する方法について紹介します。ただし、合理式で流出計算を実施している河川であることが前提となります。合理式以外の流出計算手法を用いた場合でも疎通能力の超過確率評価は可能ですが、要する手間は非常に煩雑になります。

ここで紹介するのは疎通能力を簡便に確率評価する方法です。その名のとおり簡便な方法ですので高い精度での評価ができるわけではありません。超過確率の目安が得られる程度と考えた方がよいでしょう。

この方法は、過去の降雨データの入手が困難な場合に用いることのできる手法です。その論理構成には一貫性を欠く部分がありますので、条件によっては精度が低くなることもあり、利用に際しては注意が必要です。その手順は以下のとおりです。

<手順>

対象河道の流域の地形から洪水到達時間 T を求める。その手順は「第3章 合理式による流出計算」を参照のこと。

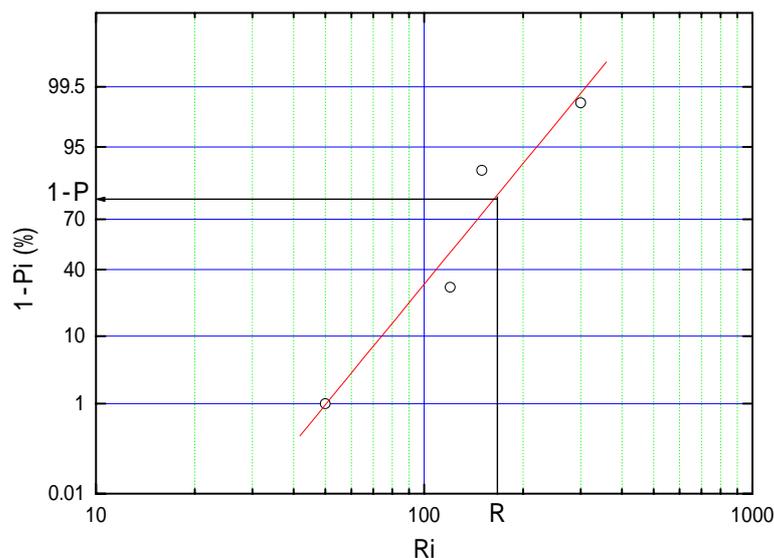
対応する地域の降雨強度式に T を代入し、様々な超過確率 P_i のもとでの降雨強度 R_i を求める。山梨県では $1/10$ 、 $1/20$ 、 $1/30$ 、 $1/50$ に対応した式が提案されているので最低 $i=4$ とすることができるが、点数は多いほどよいので他の超過確率に対応する式があればそれも用いる。

P_i を $1-P_i$ (%) の形に直し、対数確率紙に $1-P_i$ (%) と R_i をプロットする。これに直線をフィッティングさせる。

を計算したときと同じ流域面積、洪水到達時間 T を用いつつ、合理式に対象河道の最大流下可能流量 Q を代入して R を逆算する。

で作成した対数確率紙に R をプロットし、直線をたどって $1-P$ (%) を求める。

超過確率 P を求める。これを分数で表示すれば超過確率として一般的な形となる。



2.2 現況河道の課題の整理

河道改修により解決すべき現況河道の課題を整理し、河道改修上の制約条件、考慮事項等を明確にする。

[解説]

以下に示す側面から、現況河道の持つ課題を見出し、また河道改修を行う際の制約となるであろう条件、考慮事項等を整理する。

治水安全度確保

環境の保全

維持管理の容易さ

その他、その河川特有の条件

第3節 基本方針の設定

当該河川の有する課題や要請を受けて、治水・利水・環境のバランスを考慮しつつ、将来の維持・管理にも十分配慮した河道計画を策定するための基本方針を設定する。

[解説]

河道計画を立案する際には、総合的・広域的な観点からまず対象河川のイメージを明確にすることが重要であり、基本方針はこれを具現化したものである。

基本方針は、治水安全度の確保、利水機能の維持・確保、自然環境・沿川環境との調和について考慮するのはもちろんのことであるが、将来的な維持・管理コストがかからないよう配慮することも重要である。

この基本方針をもとに河道計画が策定される。この際、河道計画の内容が住民に対してわかりやすいものである必要がある。行政と住民の共同作業による良好な河川環境の維持・増進を期待するからである。このためには、河川管理者が行いうる維持管理行為の限界を提示するとともに、沿川市町村、沿川住民との役割分担を明確にする必要がある。

なお、計画段階で把握できる河川の特徴・現況には限界があることを認識し、事業実施後においても定期的なモニタリング調査を行い、河川計画へのフィードバックがなされるようにする。

第4節 法線形の設定

4.1 基本的な考え方

河道の法線形は、現法線を重視することを基本とするが、改変の必要がある場合には河道の水利特性や沿川の土地利用等を総合的に勘案するものとする。

[解説]

河道法線形（河道平面形）の設定に際しては、現河道の法線を重視することが基本であるが、防災上、あるいは環境保全当の観点から法線形を修正せざるを得ない場合には以下の点に留意するものとする。

(1) 現況法線形の重視

基本的に、現況河道法線形は変更しないようにする。河道法線形の変更なしに疎通能力を増大するには河積を増大させる必要があるが、この場合には基本的に川幅の増大で対応するものとし、河床掘削に極力頼らないように心がけるものとする。

(2) 河床の安定性への配慮

例えば蛇行河川をショートカットする場合、河道長が変化するので河床勾配も変化する。しかもそれがショートカット範囲に留まるので、河道を縦断的にみた場合、勾配が局所で変わる状態となる。こうした場合には洪水時の河床変動が大きくなる可能性があるため、河床変動計算等により将来の河床変動傾向を把握し、必要があれば河床安定化のための施設配置計画について検討することが望ましい。

(3) 水衝部となっている山付位置、岩床部位置などの固定

法線形の改変により水衝部となっている山付位置や岩床の位置を変えると、これがきっかけとなりその上下流の河床変動傾向、流況に影響を与えることがある。よって、このような区間は固定点と考えるのがよい。

(4) 沿川に計画されている事業との整合性の確保

拡幅やショートカットを行う場合には、沿川市町村などが計画している事業との関連を把握し、計画区域が重複しないよう、あるいは重複する場合には複合利用を考えるよう整合を図る。

その他、河川の法線形を検討する上での注意事項を以下に示す。

蛇行区間の取扱い

一時代前の河道計画では、蛇行区間はショートカットにより直線化されることが多かった。しかし、蛇行区間は平常時の流れ場が多様であり、景観も含めて良好な環境を保っている箇所が少なくない。こうした区間は、治水安全度が保全される範囲でできるだけ現状の河道法線形を活かすものとする。

旧川の処理

ショートカットが必要な場合も、旧川をできるだけ活用して環境の保全に努める。例えば、旧川をワンド状に残してその沿川を水辺公園としたり、出水時に洪水流の一部を旧川に流すようにする。

支川の合流点処理

支川の合流角度が大きいと、下流側に死水域が生じ、そこに土砂が堆積する。これは支川、本川ともに実質の河積を減じてそれより上流の水位上昇を引き起こす。また、支川の規模が本川に比べ無視できない場合は支川の流れが本川対岸の河岸を損傷させる恐れがある。よって、支川は本川に対してなるべく緩い角度で流入させる必要がある。用地の制約があるものの、背割堤を用いて本川と支川が平行に流れる区間を設け、流速が等しくなってから合流するようにするのが理想的である。

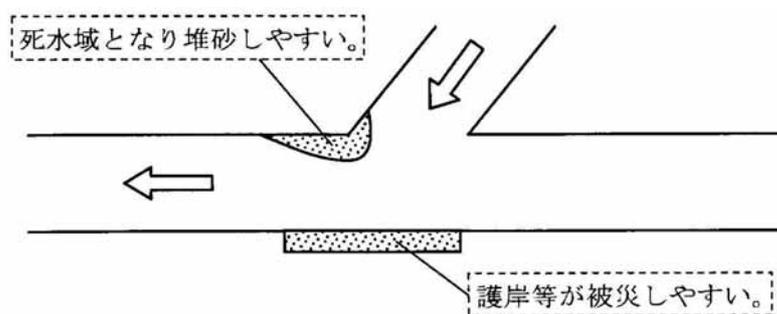


図 3.4.1 支川合流部での留意事項

4.2 計画規模が異なる区間の接続方法

計画規模が異なる区間を接続する場合には、将来の改修を見据えつつ、洪水流の疎通に支障がなく、かつ河床が安定であるように配慮する。

[解説]

計画規模が異なる区間の接続部分は、洪水流が加速したり局所洗掘が発生するなどして治水上の弱点となりやすい。これを防止する方策について以下に述べる。

(1) すりつけ区間の設置

下図のように計画規模の変化点で川幅が変わる場合、河道の狭いほうの(計画規模の小さいほうの)区間にすりつけ区間を設ける。

すりつけ部は下図(上)のように曲線で結ぶ。下図(下)のように直線で結ぶのは好ましくなく、ごく近い将来に計画規模の改変があり不連続が解消される予定がある、あるいは根固工などにより河床低下対策、護岸近傍の局所洗掘対策が十分になされる等の特別な理由がないかぎり避けたい。すりつけ部の法線形を曲線にするか直線にするかは下図では微小な差に見えるが、水理的な効果は大きい。

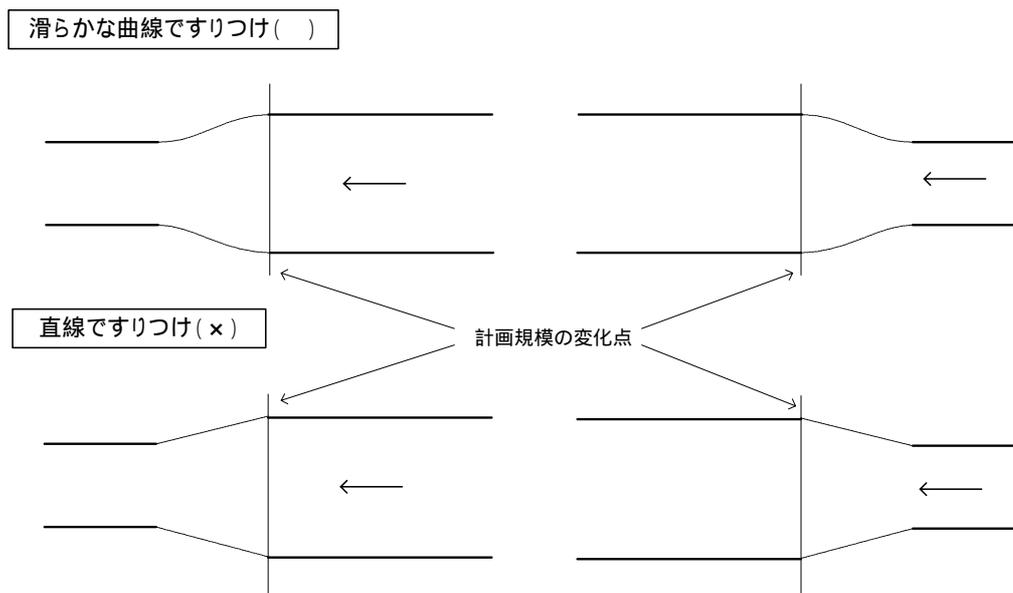


図 3.4.2 すりつけ区間の法線形の決め方

(2) すり付け角の取り方

急縮・急拡の度合いについては、流線が側壁から剥がれないようにするのが最低条件である。このための条件は、図 3.4.3 において死水域ができないようにすること、すなわち急拡部では 5 度、急縮部では 26 度とすることが最低条件となる。ここで注意したいのは、これらの値は最低条件を示したものであり、現実には地形条件等が許す限りできるだけ滑らかな法線形を形作ることが望まれる。

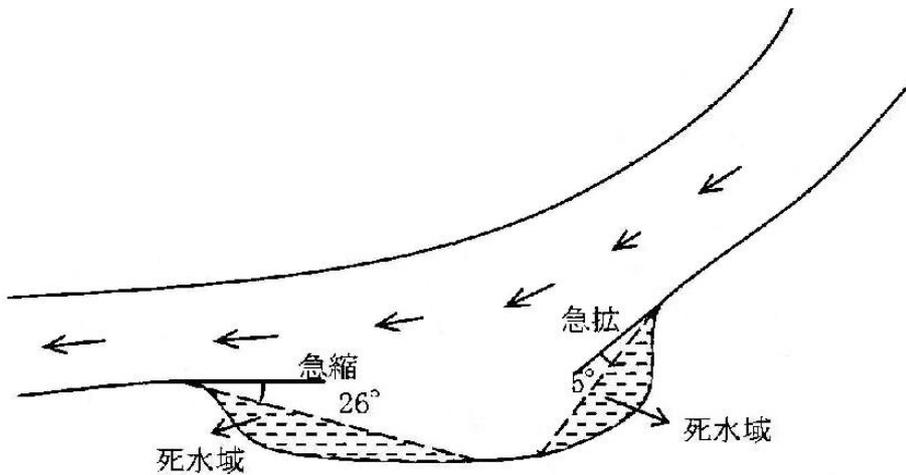


図 3.4.3 急縮・急拡の限界値

(3)河床高の設定

河床高は、計画規模の変更箇所段差が生じないようにする。やむを得ず段差が生じてしまう場合には、護床工、捨石工等で河床の安定化を図る。落差が大きい場合には落差工の導入を検討する。

(4)局所洗掘対策

上記(1)(2)に示す適切な法線形をとり得たとしても、接続部は依然として局所洗掘の発生の可能性が残されている。河川の重要度が高い場合、洪水時流速が大きく局所洗掘が治水上問題となる場合には、必要に応じ根固工や捨石工を配置するなどの対策を講じるものとする。局所洗掘が発生しやすいポイントは一般的に以下のとおりである。

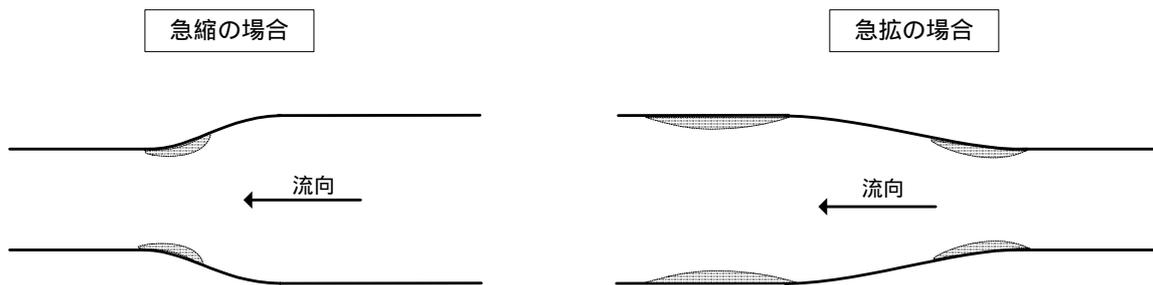
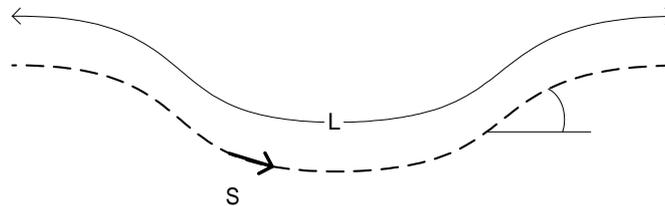


図 3.4.4 局所洗掘の発生しやすいところ

sine-generated-curve は、偏角が sine 変化するような曲線のことをいいます。曲線そのものの詳細な説明は幾何学の本にゆだねることとしますが、実はこの曲線、河川管理と大いに関係があります。1966 年、Luna Leopold と W.B. Langbein は数多くの蛇行河川の曲がり具合を調べた研究成果をアメリカの科学雑誌に発表しました。この中で、彼らは多くの蛇行河川の平面形が sine-generated-curve で近似できることを述べているのです。この研究成果は、いまや蛇行河川の幾何形状を表す手法の決定版としての地位を得ています。

$$\theta = \theta_{\max} \sin\left(\frac{2\pi s}{L}\right)$$



ここに、 θ : 偏角、 s : 中心線に沿った座標軸、 L : 蛇行長、である。

ここで言いたいのは、sine-generated-curve はいわば河川の自然な曲がり方に最も近いといってよい曲線なので、道路の線形計画を行う場合に clothoid 曲線をはめ込むのを検討するのと同様、河道改修などにおいて河川の法線形を検討する際にはこの曲線を意識してほしいのです。この曲線は、幾何的に見たときたまたま河川の蛇行とよく一致していたという性質のものであり、clothoid の場合のようにそうしなければならない物理的な必然性はありません。よって、これを技術基準として位置付けることは与えることはできませんが、安定な川作りのための参考には十分なり得ます。

誰ですか、単湾曲などを入れている人は！

霞堤は、河川の堤防を連続とせず、ところどころ開けた状態にしておくものです。開口部は、写真に見られるように上流側に向かってラップ状にします。

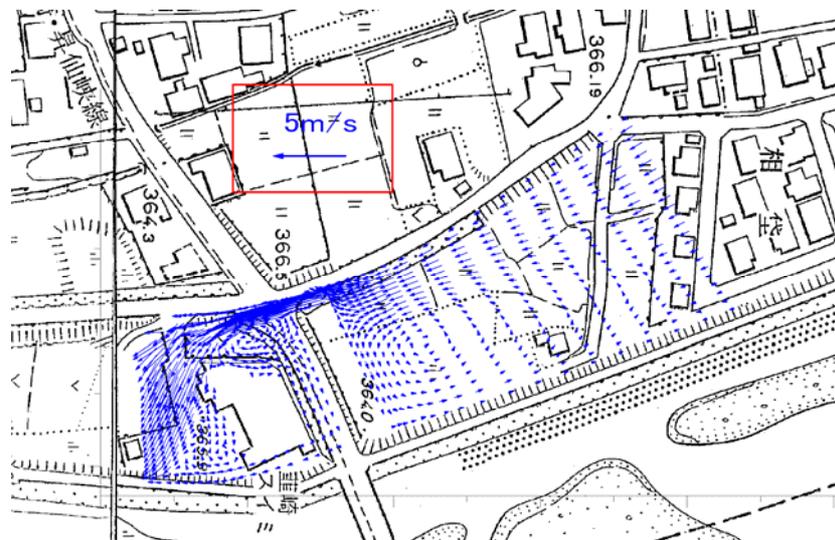


金川の霞堤

霞堤の機能については色々な研究がなされてきましたが、主要なものとしては破堤防止効果と氾濫戻し効果が挙げられるようです。堤防は越流に対して極めて脆弱ですので、堤防が決壊するよりは開口部からの水の漏れによる小規模な冠水のほうがマシというのが前者であり、仮に氾濫してしまったとしてもその水が洪水の減水とともに霞堤の開口部を通過してすみやかに川に戻ればよしとするのが後者です。いずれも多少の氾濫には目をつぶり、甚大な災害だけは防止したいという考え方がその根底に流れています。稲などは1日程度水没していても枯れないので、堤内地が田圃などの場合には霞堤は理にかなった洪水防御法といえるでしょう。

現在、流域での生活形態は霞堤の築堤当時とは様変わりしました。流域における資産の増大、地下を利用した施設（地下鉄、共同溝、地下道等）の増大、経済活動の高度化（道路が一日寸断されただけで経済に与える影響は甚大）等により、わずかな冠水も許されない生活様式が築かれました。霞堤を活かした洪水防御もできるところとできないところがある点に注意が必要です。

洪水流シミュレーションは、洪水時における水衝部の位置、流向、死水域の形成状況などを把握するために、河道内の流速ベクトルの分布を数値計算によって求める作業のことをいいます。洪水流況計算とも言います。以下に、洪水流シミュレーションの一例を示します。



数値シミュレーションの一例

これらの情報は、昔は模型実験でしか求められなかったのですが、コンピュータの発達により洪水流シミュレーションはその精度・計算速度が飛躍的にアップし、今や模型実験に勝るとも劣らない存在となりました。洪水流シミュレーションに限らず、模型実験と同等の情報を得ることのできるコンピューターシミュレーションは「数値実験」と呼ばれることもあります。

洪水流シミュレーションには現在のところ二次元計算、準三次元計算、三次元計算の3種類の方法があります。二次元計算は鉛直方向の流れ、つまり水面から河床に向かって沈み込む流れあるいは湧き上がる流れを無視することでモデルを簡略化した手法です。三次元計算はこうした流れも無視することなく運動方程式で解く手法です。準三次元計算は静水圧分布という仮定を導入し鉛直方向の流れを運動方程式ではなく連続式で解く手法です。当然、原理的には三次元計算、準三次元計算、二次元計算の順で精度が高いのですが、水衝部の位置を見出したり、大まかな流向を調べるなど、平面的な流速の偏りを調べるようなレベルでの見方では3つの手法に有意な差は生じません。ではなぜ準三次元計算とか三次元計算とかめんどろな手法が存在するのかと疑問を持たれる方も多いかと思いますが、実はこれらの手法は「河床変動計算」でこそその真価を発揮するのです。河床変動計算は、洪水時に発生するであろう局所洗掘や堆積の範囲、程度を予測する手法で、洪水流シミュレーションと河床変動解析を組み合わせた体系を有しているのですが、局所洗掘が発生しやすい護岸のり尻近傍や水制など河道内に置かれた物体の周りでは鉛直方向の流れが大きな役割を果たしていますので、これらをきちんと求めることができる準三次元計算や三次元計算が使われた河

床変動計算には高精度が期待できるのです。

やや話が横道に逸れましたが、いずれにしても洪水流シミュレーションを実施すれば、以下に示すような河川管理の実務上のメリットがあります。

水衝部の位置を特定できるので、護岸の設置範囲の根拠を明確にすることができる

橋脚の向きを正確に規定することができる

河道の拡幅や縮小、構造物の設置などによる水衝の程度変化、新たな水衝部、死水域の形成などを予測することができる

その他、構造令で規定されている護岸の範囲などの要件が地形上の都合等で満たせないとき、洪水流シミュレーションで必要範囲を求めた結果、それが構造令上の規定を下回って地形上の制約を免れることができたなんてこともあるかも知れません。洪水流シミュレーションの活用の可能性は無限に存在します。是非トライしてみてください。

第5節 縦断計画

5.1 計画高水位の設定の考え方

計画高水位（H.W.L）は、沿川の地盤高および既往洪水最高水位以下になるよう設定することが望ましい。

[解説]

中小河川は、計画規模を超える出水の生起頻度が高いことから、超過洪水が発生しても被害を最小限に抑えることのできる構造であることが求められる。具体的には、築堤を避けてなるべく掘込河道とすることが望ましい。やむを得ず築堤とし、計画高水位を地盤高よりも高くする場合でも極力既往最高水位以下とし、過去の被災体験に裏打ちされた対応が可能となる範囲とすべきである。逆に、過度の掘込により計画高水位を著しく低く設定した場合、河道の実質的な流下能力は計画高水流量以上となって下流の築堤区間での破堤の危険性が增大するため避ける必要がある。

5.2 計画高水位の設定方法

5.2.1 基本的な考え方

計画高水位（H.W.L.）は、不等流計算に局所的な水位上昇量を加え算定された各地点の水位を包絡するように、縦断図上において直線近似で設定する。

[解説]

計画高水位（H.W.L.）は、計画高水流量、河道の計画縦横断形状のもとで計算された不等流計算水位縦断図において、不等流計算水位を包絡するように連続的かつなるべく折れ線状に設定する。この際、直線近似する区間をあまり短く設定しないように注意する。

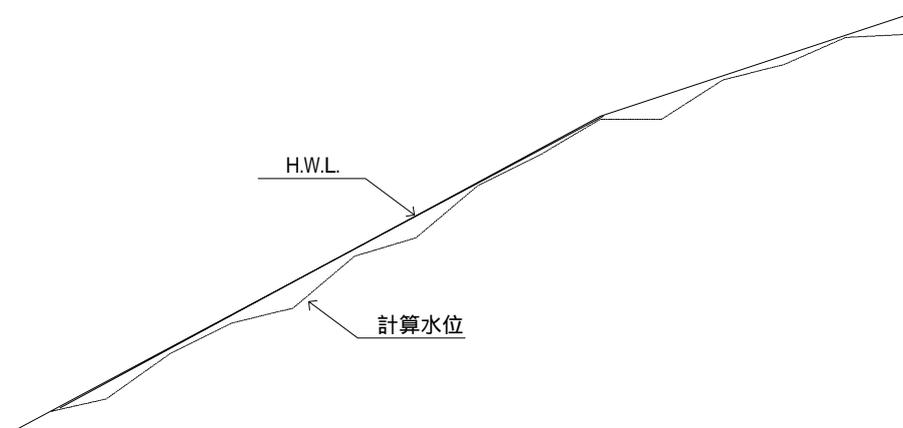


図 3.5.1 計算水位と計画高水位（H.W.L.）の関係

Check Point	計画高水位（H.W.L.）は直線で！
	<p>一部では計画高水流量を流したときの水位縦断を H.W.L. と混同している向きもあるが、それは誤りである。H.W.L. は計画高水流量を流したときの水位縦断を縦断的に包絡するように引いた直線の集合であり、管理上の目安である。例えば、新しい川作りの考えのもとでは、河川断面は極力変えないよう心がけるので、不等流計算による水位は縦断的には凸凹となるのが普通であるが、H.W.L. はあくまで直線にこだわり計算水位を下回らないようにしつつ縦断図上で直線状に設定する。</p> <p>H.W.L. を設定する際に直線にこだわるのはそれだけの理由が存在するからである。H.W.L. を直線的に引けば、当然堤防の天端高も直線的になる。河川管理者は、堤防の亀裂や沈下の有無を日々点検するが、堤防の天端高が縦断的に一定の勾配を保っているよう施工しておけば、測量等厳密な測定を要さずに不等沈下などを目視のみで発見することができるからである。天端を（管理用）道路と兼用する場合などは、車の走行上一定勾配が望ましいのは言うまでもない。</p>

5.2.2 本川・支川合流点における計画高水位の設定法

本川・支川合流方式には、バック堤方式、セミバック方式、および自己流方式の3通りがある。計画高水位を設定するに際しては、ベースとなる水位計算の方法に留意しつつ、それぞれの合流方式に見合った方法で計画高水位を設定するものとする。

[解説]

1) バック堤・セミバック堤方式の場合

「第7節 河道計画に用いる水位計算」の項で詳述するが、バック堤・セミバック堤方式の場合、河道計画の根拠となった流出計算の内容により水位計算の条件設定の仕方が異なるので、計画高水位もそれに応じて設定方法を変えなければならない。そのフローを以下に示す。

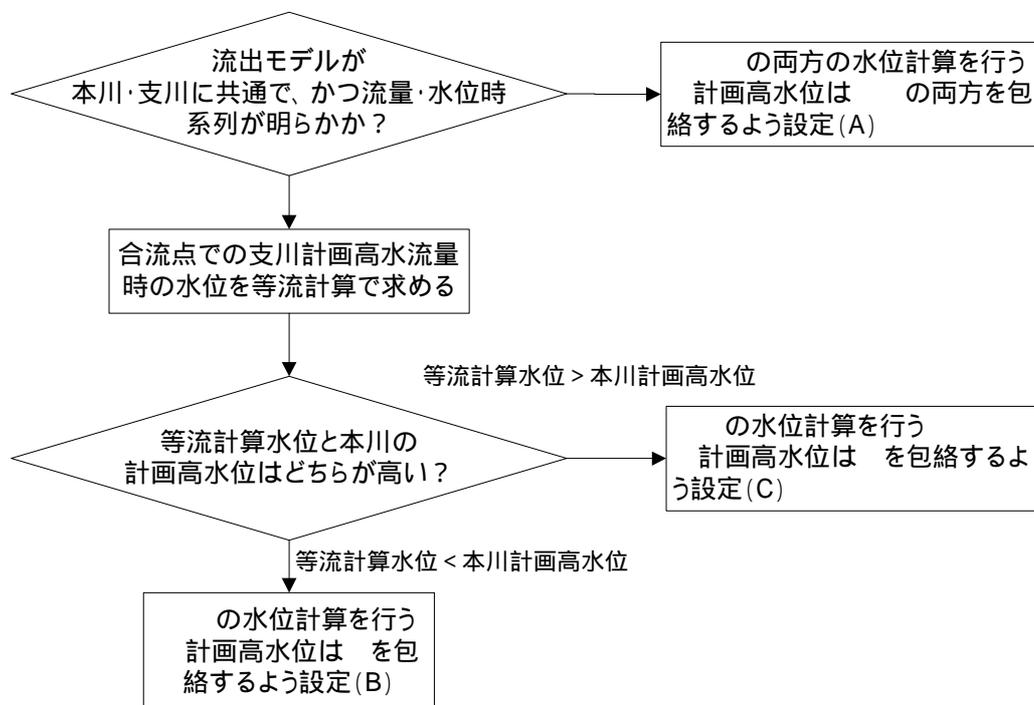
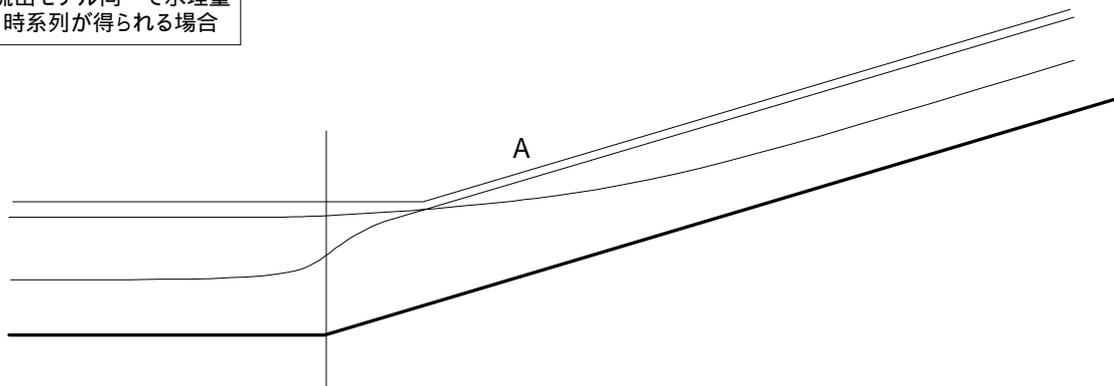


図 3.5.2 検討のフロー

2) 自己流堤の場合

支川の計算水位に合わせて設定する。

流出モデル同一で水理量
時系列が得られる場合



流出モデル同一でない場合

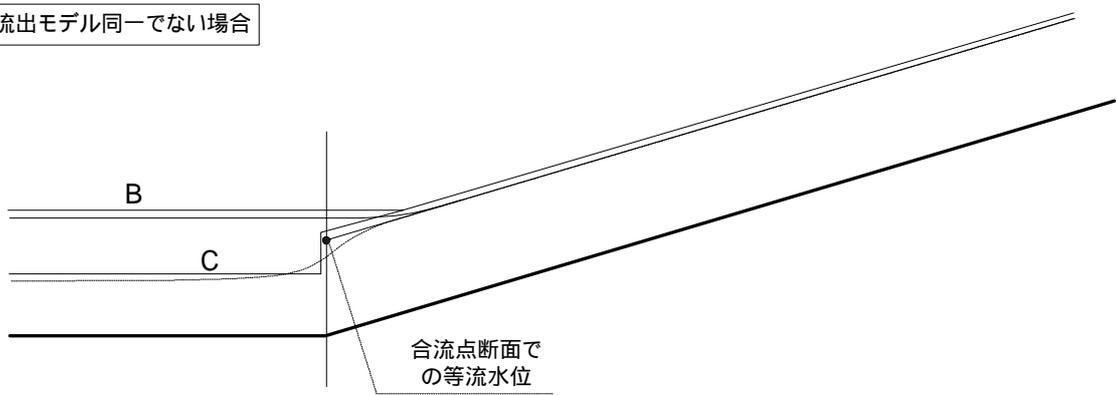


図 3.5.3 H.W.L.の設定法 (バック堤・セミバック堤)

5.3 堤防高の設定

5.3.1 掘込河道における余裕高の設定

掘込河道では、超過洪水時に想定される被害等の上下流のバランスに配慮し、適切な余裕高を設定する。

[解説]

堤防は土堤原則に基づき土で築造されるが、越水に対して極めて脆弱である。したがって、堤防は計画高水流量以下の流水を越流させないように設けるべきものであり、洪水時の波浪、うねり、跳水等による一時的な水位上昇に対ししかるべき余裕が取られる。

掘込河道において超過洪水が発生した場合、余裕高分の流量が流下して下流の築堤区間に計画以上の負担を課すことがあり得る。このような場合には、掘込河道部分の余裕高は、下流の築堤区間を含めた治水安全度のバランスに考慮して決定するものとする。

一方、余裕高を確保するために築堤を行った場合、内水排除が困難となりかえって当該区間の被害を増大させることにもなりかねない。この場合には、無理な余裕高築堤を行わず、河床掘削により対応する、あるいは目標とする治水安全度を下げるなど、上下流の堤内地における治水安全度のバランスを考慮して適切な方法を選択する必要がある。

既に計画高水位が周辺地盤高よりも低く定められている掘込河川において、大幅な拡幅や掘削を必要とする河川改修に新たに着手する場合には、上記の趣旨に鑑みて計画高水位に見直しを検討することが望ましい。その際、計画高水位を上げるとそれに伴って橋梁の桁下高も上げなければならなくなる。その場合にあっても、上流部に流木の発生源のない河川や洪水時の流速の小さな河川では、既存橋梁の状況や周辺の土地利用との関係について十分に留意し、積極的に河川管理施設等構造令(以下、構造令という)第73条第4項の大臣特認制度を活用し、一連区間について桁下高の見直し検討を行うことが望ましい。

5.3.2 左右岸バランスの検討

下図のように道路計画(兼用道路)等により片岸の実質的な堤防高が高くなり、超過洪水時に対岸の家屋連担地に悪影響を及ぼすことがあるので注意する。

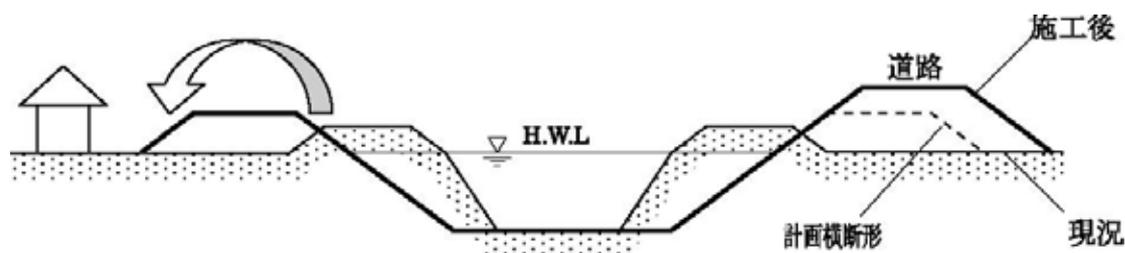


図 3.5.4 左右岸堤防のバランス

5.3.3 支川・本川合流部の処理

支川・本川合流部の処理方法としては、バック堤方式、セミバック堤方式、および自己流堤方式の3つがある。それぞれの方式ごとに、堤防の構造、計画堤防高の設定の考え方を述べる。

(1)バック堤方式の場合

堤防の構造

バック堤方式は、本川水位の高さや継続時間に関係なく支川の洪水流が自然流下できるが、逆流防止施設を合流点に設けないことから、本川の背水位によっては本川の洪水流が支川に逆流することになる。つまり、バック堤は本川の堤防と一連で、同一区域の氾濫を防止する機能を有し、洪水の継続時間が本川の逆流によって本川と同程度もしくはそれ以上になるので、本川の背水影響区間における支川堤防は本川堤防並みに堅固な構造とする必要がある（余裕高、天端幅）。

堤防高

余裕高は、本川の背水の影響がない区間においては支川の規模に応じた高さを、合流点では本川の規模に応じた高さを、その中間の区間では線形補間した高さをそれぞれ与えるようにする。ただし、支川の堤防高が本川のそれを下回らないようにする。

(2)セミバック堤方式

堤防の構造

堤防の構造は自己流量をもとに設定する。

堤防高

支川の計画高水位に基づき、支川の河川規模に応じた余裕高を設定する。

(3)自己流堤方式の場合

堤防の構造

支川自己流しか流れないので、堤防の構造としては支川の特성에応じたものでよい。

堤防の高さ

計画高水位に支川としての堤防余裕高を加えた高さとするればよい。

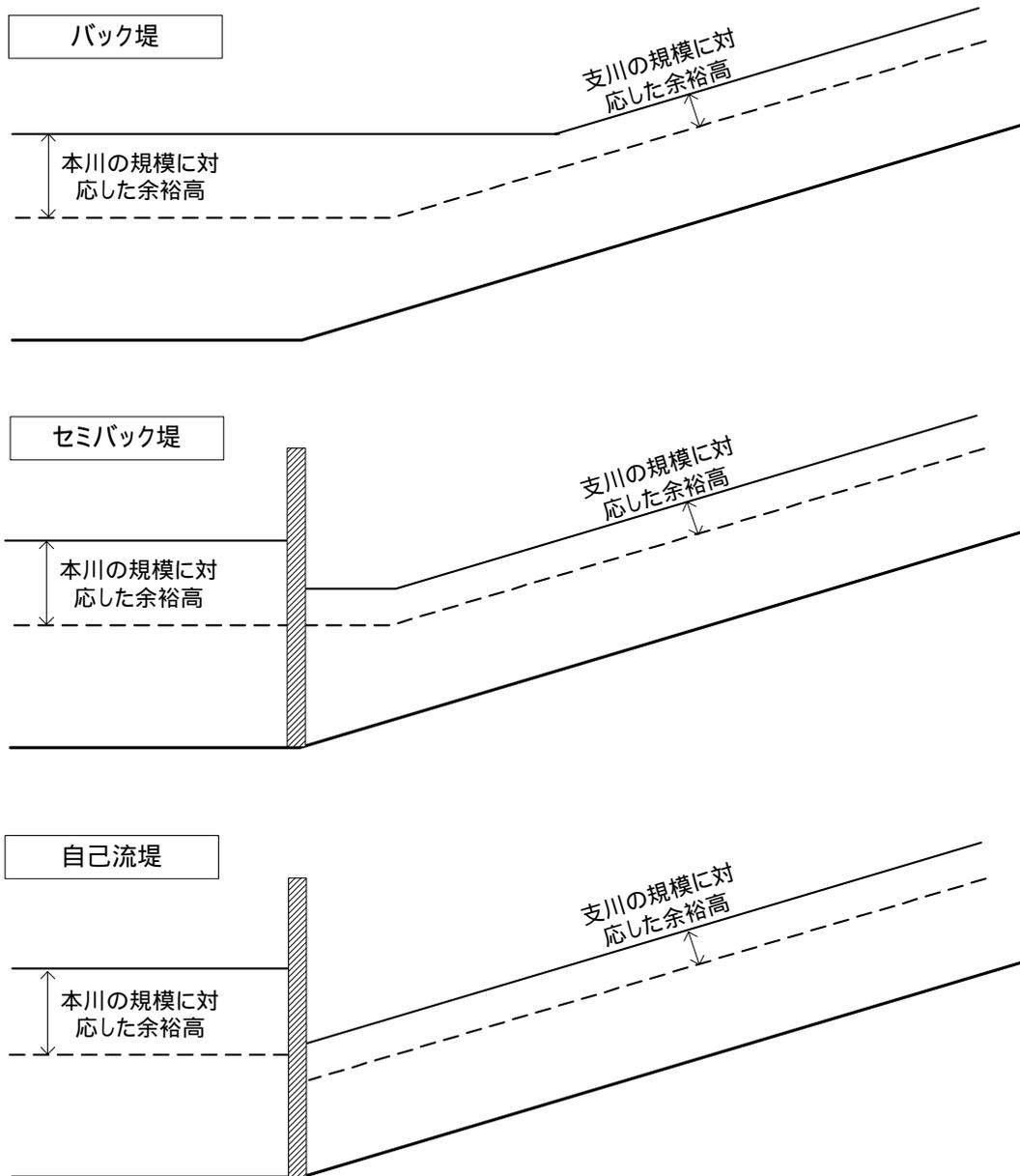


図 3.5.5 合流部における堤防高の設定

5.4 計画河床の設定

長期にわたって安定が得られるよう留意しつつ計画河床を設定する。

[解説]

河道の水理特性を十分に把握し、長期にわたって安定が得られる計画河床の設定を行う。河床は、長い年月を経て設定されるものであるから、大きな河床変動が考えられない限り、現況の平均河床を重視することが長期の安定性を得ることにつながると考えられる。以下に、縦断計画上の留意点について述べる。

5.4.1 長期にわたって安定な計画河床の設定

治水・利水上の問題がない限り、現況河道の縦断形を尊重して計画河床を設定する。このとき、河床の安定に効果を発揮していると考えられる岩床や床止工等は、固定点として扱う。後述する水位計算の結果、必要な疎通能力の確保が難しいと評価された箇所のみ計画河床や断面形の再設定を行う。このような計画手順は、河川環境の保全や建設コスト縮減にも役立つ。

ショートカットを用いた場合、河床勾配が局所的に変わる場合がある。勾配の急変点は河床変動が生じ易いので、なるべく河床勾配が前後の区間とすりつくよう計画河床を設定するか、落差工を設けて安定が得られるようにする。

なお、古くは計画河床の設定に際して計画河床勾配の概念を導入し、これが縦断的にある一定区間連続するよう設定されるのが通例であったが、現況河道最優先の河道計画がなされるようになった現在、計画河床勾配の概念は本質的な意味を失い、河床勾配の目安を示すものとなっている。

長期的な河床変動状況を予測する方法としては、一次元河床変動計算が最も実用的かつ高精度が期待できるものであるが（高精度とはいっても他の手法に比べの意味であり、河床変動の正確な予測はいまなお技術的な課題である）大まかに予測する方法としては以下に示す掃流力の縦断図を描くというものもある。

掃流力は次式で表される。

$$\tau = \rho ghI = \rho u_*^2$$

ここに、 ρ ：水の密度、 g ：重力加速度、 h ：水深、 I ：エネルギー勾配、 u_* ：摩擦速度、である。

土砂の動態は、対象となる土砂の粒径にも関与するから、土砂の動き易さの指標としては掃流力よりもむしろ無次元掃流力 τ_* のほうがよく用いられる。

$$\tau_* = \frac{ghI}{sgd} = \frac{u_*^2}{sgd}$$

ここに、 s ：河床材料の水中比重、 d ：河床材料の粒径、である。

無次元掃流力を求めるには、河床材料の粒径を現地調査等であらかじめ調べておく必要がある。

不等流計算結果等を元に(等流計算では意義が薄れる)この値の縦断図を描く。この図において、上流より値が小さければ堆積傾向に、大きければ河床低下傾向になる。ここで注意しなければならないのは、河床変動の予測を行う場合、 Δ 、 Δ^* ともにその値そのものの大小に注目するのではなく、あくまでも上流の値との相対的大小に注目しなければならないということである。

5.4.2 既存構造物の安定性のチェック

既設構造物の根入れをチェックし、必要があれば改築・補強を行う検討に進む。このチェックは、計画河床を現況河床より低く設定する際にはもちろんであるが、既設護岸等の根入れがそもそも不足している場合も含む。

5.4.3 落差工の計画

落差工は、河床勾配の不連続地点をつないだり、局所的な河床低下を防止するための工法であるが、土砂の流下、ひいては上下流の河床変動傾向に影響を与える性質があるため、原則的には設置しない。よって、落差工の設置が必要と判断された場合でも直ちに計画化するのではなく、落差工が不要となる代替案を十分に検討してみることが大切である。しかし、やむを得ず落差工を計画せざるを得ない場合は、落差を極力小さくするとともに、魚類等の遡上・降下の妨げにならない構造とする。また、やむをえず設置しなければならない場合には、河床の縦断形が平行移動して落差工の設置前後で河床勾配が変化しないように留意する。

5.4.4 将来の安定性予測

上記1)のような配慮で長期にわたって安定な河床を得るよう目指すことになるが、河川の重要度等によってはさらに詳細かつ高精度な検討が必要になる場合もある。その際には一次元の河床変動計算等を利用する。一次元河床変動計算手法については、第8節を参照のこと。

技術コラム	落差工の機能
<p>落差工の主要な機能としては、洪水流の減勢、落差工上下流の河床勾配の緩和、の2つが挙げられます。この2つの機能は、計画論上からもずいぶん性格の異なるものでありますが、落差工＝河床安定のための工作物と誤解する向きが少なくありませんので、河床安定化対策と絡めてこの2つの機能について解説してみたいと思います。</p> <p>は、落差工の下流で跳水を発生させ、そこでエネルギーロスを起こそうとするものです。しかし、この現象は局所的に生じるのみですので、ある程度の範囲を対象とするいわゆる河床低下対策としては実は大した意味はありません。跳水の発生直後、流れは再び加速してごくわずかの区間で等流水深になってしまうからです。ましてや、山梨県によくある洪水時に射流となるような急流河川の場合、そもそも跳水が発生しないので、落差工により生じるエネルギーロスもごくわずかです。床止工などでは副ダムを設けて強制的に跳水を起こさせる場合がありますが、これは床止工の護床工上および自然河床との接合部の流速を小さくするというごく局所的な効果を期待してのものであって、広範囲にわたる河床変動の沈静化に寄与しようとするものではありません。</p> <p>いわゆる河床安定化対策としては、の機能がメインとなります。落差工を配置すれば、その上下流の河床勾配を広い区間にわたって緩くできますので、発生する掃流力も小さくなり、それに伴って河床変動も穏やかになります。この機能は、洪水流が常流であろうが射流であろうが発揮されます。</p>	

第6節 横断計画

計画横断面形は、計画高水流量を計画高水位以下で安全に流下させる河積を確保するとともに、長期的な河道の安定性、沿川の土地利用や河道内外の自然環境にも勘案して決定する。

[解説]

横断計画の最大の目的は必要な疎通能力を確保することである。具体的には、計画高水流量を計画高水位以下の水位で安全に流下させるのに必要な河積を確保できるように断面形を改変することになる。検討方法としては、縦断計画と組み合わせ、水位計算を実施して計算水位が計画高水位より低くなるかを確認する。計算水位が計画高水位を超えてしまう場合には引堤、拡幅、河道内掘削等により河積を確保する。

ただし、断面形の改変は、河道の長期的安定性、河道内外の自然環境、沿川・河道内の利用形態にも影響を与えるので、疎通能力の確保という側面以外にも以下の点について配慮しなければならない。

1) 長期的な河道の安定性

一般に、低水路は流域の流出特性、地質・地形特性に従い形成された原始河川そのものであり、河床変動や河岸侵食等の視点からすると長期的に最も安定な形態をなしていると考えられている。現実的に、疎通能力確保のために川幅を約2倍に拡幅したところ、出水の度に河岸近傍で土砂堆積が急速に進行し、10年に満たない間に川幅が元通りになってしまった事例も報告されている。

中小河川の場合、元々が人工水路として拡幅されたものや、河道が現在の位置に固定されてから十分に時間が経過せずに上記のような長期的安定形状を得ていないものもあるので一概にはいえないが、低水路の形状はなるべく変えないように、変えざるを得ない場合も最小限に留めるよう横断計画がなされるべきである。

河積を拡大する方法として最優先に考慮しなければならないのは川幅の増大である。拡幅を原則とすることは、過度な河床掘削により洪水時の流速や掃流力を増大させないという河道の維持管理上の意義も有している。ただし、出水時に河床に作用する流速が下がりすぎると、土砂の移動や河床変動が止まり、川らしい自然環境を維持形成する作用が消失してしまう。したがって、河床材料と拡幅時の掃流力との関係を検討するなどによって、低水路を設けるなどの検討を加え、河川が有している自然の復元力を活用することを可能とする必要がある。

それ以外の河積の増大方法としては以下のようなものがあるが、それぞれ長短があるので対象河道の特性に応じて手法を選択したり、また複数の手法を組み合わせることで短所をなるべく打ち消すようにすることが求められる。

高水敷の掘削

高水敷を全体的に掘削して敷高を下げる方法は、河積の大幅な拡大が必要な河道にとっては有効である。しかし、冠水頻度の上昇、高水敷上の環境破壊等の問題がある。

低水路河岸の掘削

低水路河岸の掘削は、少ない掘削量で実質の疎通能力を効率的に向上させることができる。しかし

その反面、低水路形状を変えることになるので、長期的には土砂堆積を招く恐れがある。また、低水路河岸は河川の水棲生物にとって産卵場所や採餌場所となっていることが多く最も重要な箇所であるといえるので、自然環境に与えるインパクトも大きい。

河床の掘削

河床掘削は最も少ない掘削量で実質の疎通能力を最も効率的に向上させることができる方法である。しかし、水棲生物への影響、既設構造物への影響、河床安定性への影響等が懸念されるので、原則としてその量は60cm未満とする。やむを得ずこれを超えざるを得ない場合には、生態調査、既設構造物の点検や河床変動計算による河床の長期的安定性の予測等を行うとともに、専門家の意見を聞く必要がある。

2) 周辺の環境との一体性

河川は洪水を流下させるためだけの器ではなく、まちづくりの一部であるという基本認識のもと、河川の特性を十分に活かしたうえで、周辺環境を十分に認識して一体となった川づくりを目指す必要がある。こうした川づくりが成されて初めて水辺のある住み良いまちづくり、また真の意味での多自然型川づくりが実現される

特に都市内の河川においては、治水機能を確保する空間であることはもちろん、都市の防災機能を確保する空間、身近な環境空間、都市活動を支える空間としての役割が期待されている。

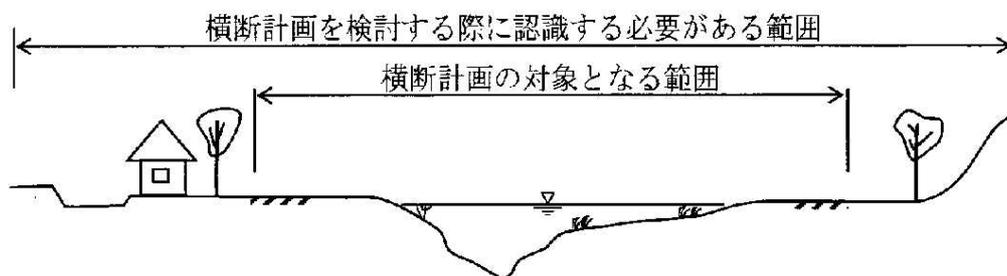


図 3.6.1 横断計画の際に考慮すべき範囲

3) 河川環境への配慮

山梨の河川はその多くが洪水時に射流が発生するほどの急流であり、その中には自らが形成した扇状地の上を流れる「扇状地河川」が含まれる。こうした河川には単列砂州、複列砂州（多列のものは網状流路とも呼ばれる）などの中規模砂州が形成されることがある。中規模砂州については、「技術コラム 中規模砂州」を参照のこと。

中規模砂州が形成されるのは規模の大きな洪水時であるが、環境という視点では中規模砂州が大きな役割を果たすのは平水時である。平水時の流れは砂州の谷部に限定され、交互に形成された砂州に沿って蛇行する。その過程で背と淵、平瀬と早瀬、浮石と沈み石といった流れの多様性をもたらす要

素を構成するのである。

したがって、中規模砂州が形成される河川では、中規模砂州の保全を川づくりの基軸としそれから河川・流域の特性を反映して工法等の選択にアレンジを加えていくというプロセスを踏むのが望ましい。

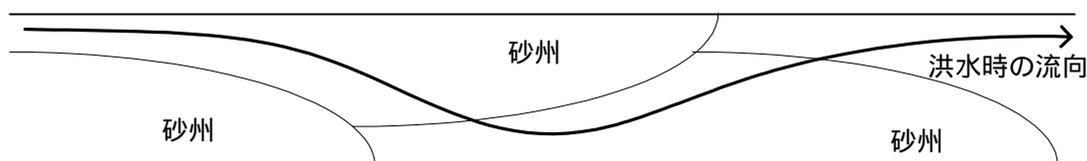


図 3.6.2 単列砂州河道における平水時の流れの模式図

中規模砂州が形成されない河川では、まず堤防（河岸）ののり面勾配とみお筋の自然な蛇行についてを決定し、次いで急流ならではの高速に耐える工法を選択しつつ、河川の多様性を追求したり、対象河川の生態的特性に合わせた工夫を行うといったアプローチを取ることが望まれる。河川環境に配慮した河道の横断計画の詳細については、「第 5 章 河川環境」を参照のこと。

4) 景観面からみたのり勾配の設定法

川らしい景観をふまえた横断形のありかたから検討すると、河床幅が横断形高さの 3 倍以上を確保できる場合に、2 割以上ののり勾配を採用することが望ましい。

5) 小規模河川の横断計画

のり勾配を緩く設定することは堤防・河岸の安定性確保の面、親水面、景観面、環境面等で望ましいことであるが、対象河川が小規模である場合にはのり勾配を緩く設定すると必要以上に河床幅を狭めてしまいかえって景観・環境を悪化させてしまうこともある。具体的には、

景観面：平面積に占めるのり面の割合が大きくなり、河川らしさを失う

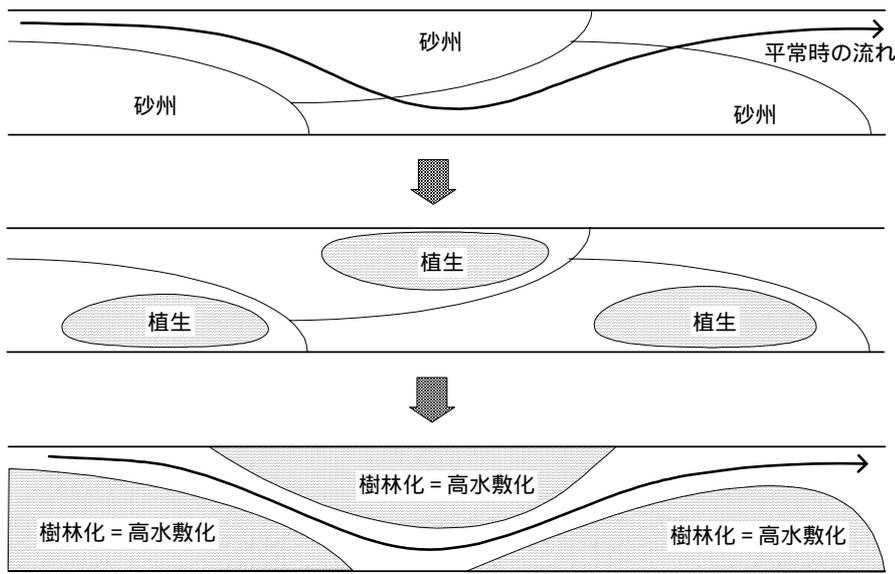
環境面：実質の流れ幅が狭くなることで流れが一様化し環境の多様性を失う

ということになる。それならばむしろ護岸ののり勾配を安定性が得られる範囲で急に設定し、河床幅を広くしたほうが景観・環境の両面で良好な状態を築くことができる。この場合、さらなる工夫として、水際に土砂を置いて自然の蛇行を形成したり、植生を繁茂させたり、流れを局所的に緩める杭出しや水制を配置させたりすることによって流れの多様化をもたらすことが大切である。

なお、技術コラム「河積を増やすときの注意事項」において、水理的な観点からみた横断計画上の注意事項が記されているので参照されたい。

昔に比べ川の中に木がたくさん生えているなあと思われたことはありませんか。河床材料に砂礫を持つ扇状地河川の中規模砂州上に樹木が生え、砂州を固定化し、いっそう樹木の繁茂しやすい環境を作る現象を樹林化現象と呼んでいます。

樹林化現象の発達プロセスの一例を模式的に描くと次のようになります。



単列砂州が形成されている河道では、流水は平常時は図（上）のように砂州の低いところをぬって流れ、砂州は水面から顔を出しています。そのうち図（中）のようにこの部分に植生が繁茂してきます。通常、こうした植生は洪水が発生すると剥ぎ取られてしまうのですが、洪水頻度が低かったりすると植生が砂州にがっちり根付き、今度は植生が砂州を流水の作用から保護する効果を発揮し始めます。すると植生が草本類から木本類へと遷移し、砂州もいつしか完全な陸地へと変わってきます。これが樹林化のプロセスです。

樹林化は、なんらかの作用で上流から土砂供給が少なくなったり、洪水の発生頻度が少なくなるなどして生じると言われていますが、まだまだ知られていない部分も多いようです。

樹木の流水抵抗はかなり大きいので、樹林化の程度が進行して樹木の密度が増したり、範囲が著しく拡大すると洪水時の疎通能力低下が問題となります。樹木の繁茂を制御するのは現実として非常に難しい面がありますが、樹林化の見られる河川では樹木が河道の疎通能力に及ぼす影響を不等流計算で把握しておき、樹林化面積の許容値のようなものを確認しておくことも必要でしょう。

砂州、正式に言うと中規模河床波は、単列・複列砂州、網状流路といった川幅スケールの河床の凹凸を指します。砂利を河床材料に持つ幅の広い急流河川でよく見られます。



単列砂州（笛吹川）



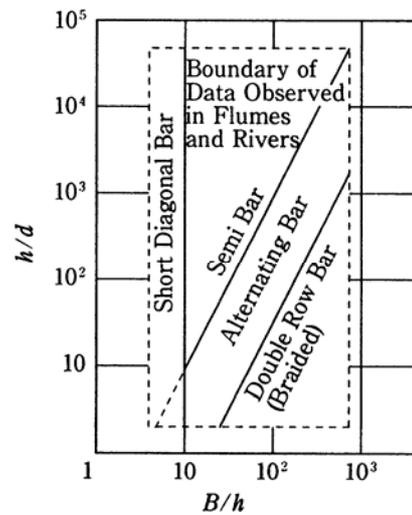
複列砂州（釜無川）



網状流路（斐伊川）

中規模河床波に関し、河川管理上最もやっかいなのは、「中規模河床波を持つ河川は、洪水規模によって水衝部の位置が変わる」ということです。その傾向は、砂州の列数が少ないほど顕著となります。

では、中規模河床形態はどのような水理条件で形成されるのでしょうか。これを知るのに便利なのが領域区分図です。以下の図は村本・藤田が整理した領域区分図で、水深・粒径比 h/d と川幅・水深比 B/h により整理されています。この図に当該河川の h/d 、 B/h をプロットすれば、形成されるであろう中規模砂州の種類がわかります。h、Bは、掘込河道の場合は満水位時を、築堤河道の場合は低水路満杯時を想定して求めます。dは砂州を形成する土砂の平均的な粒径です。領域区分図において、Double Row Bar とは網状流路を、Alternative Bar とは交互砂州(単列砂州ともいう)を、Semi Bar とは準砂州(不明瞭な交互砂州)を、それぞれ表します。Short Diagonal Bar とは準砂州よりさらに不明瞭な砂州の状態を表すと考えてよいでしょう。



まめ知識	地方病と川作り
<p>日本住血吸虫は、哺乳類の門脈内に寄生する寄生虫の一種です。中間宿主は淡水に生息する小型の巻貝のミヤイリガイ、最終宿主はヒトや家畜などの様々な哺乳類です。日本住血吸虫がヒトに寄生することにより起る疾患を、日本住血吸虫症といいます。この疾患に冒されるとしばしば肝硬変を発症し、死に至らしめることも少なくありませんでした。山梨県ではこれを「地方病」と呼びたいへん恐れられました。</p> <p>日本住血吸虫の中間宿主であるミヤイリガイは、水田の側溝などに生息し、特に水際の泥の上にあります。そこで、素堀で作られていた水田の側溝をU字溝化すること、殺貝剤を使用することにより、ミヤイリガイが生息できない環境をつくることを行なわれました。わが国では、戦後に圃場整備が進んだこともあり、ミヤイリガイも日本住血吸虫病も瞬く間に減少し、1978年以降新患はいなくなりました。わが国最大の感染地帯であったわが県でも、1996年2月、ついに日本住血吸虫病流行の終息を宣言することができました。115年にわたる地方病対策の成果でありました。</p> <p>わが県においては、このような経緯があったために、人里近くの小規模河川では3面張り水路が多く、また地域住民も3面張り水路を求めることが少なくありません。しかし、日本住血吸虫病の撲滅が達成された現在、河道を昔の状態に戻しても「地方病」が復活することはありません。今後は、豊かな環境を有する河川に再び戻すことで地方病対策の偉業を昇華、完結していくことが求められるでしょう。</p>	

ここでは、計画改定などにより、洪水時の河積を増やすために河川の断面形状を変化させる場合の注意事項について記します。

断面形状を変化させるときに、特に留意しなければならないのは以下の点です。

水理的に問題のない形状とすること

断面形状を変えたことで、堤防際・河岸際の流速が著しく大きくなったり、顕著な河床変動を引き起こすのは問題です。洪水時の水深が深くなるような断面形の改変を行うとそうなる可能性があります。水深を増やすことは最小の土工量で効率的に疎通能力を増やすという面ではとても有効なのですが、対象河川の洪水時流速がもともと大きい河川では配慮が必要です。

河川環境に与えるインパクトを最小限に留めること

河積を増大するには、河岸付近の掘削を避けられませんが、水際は水棲生物にとって最も重要な場所の一つですので、断面形の改変は大なり小なり河川環境へ影響を与えます。河道改修によって新しくできる河岸に対し、横断勾配を元河道と同程度にする、植生が繁茂可能な状況を創出する等の工夫を行い、環境の回復に努めることが必要です。

高水敷の表面の整正についても同様であり、改修に際しては表土を剥ぎ取り、仮置きしておいて、整正後に表面に敷き均して、元あった植生の回復を促すような工夫が必要です。

低水路幅（常水路幅）を大きく変えないこと

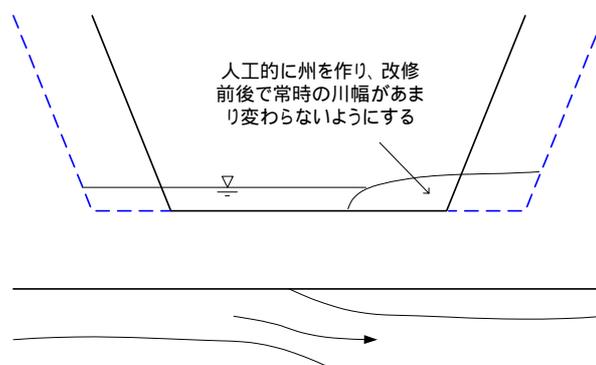
（中規模）砂州が形成されているような河川の場合、低水路幅を大きく改変すると砂州の形成特性までもが変化してしまうことがあります。中規模砂州の形成には川幅水深比が大きく関わっておりますので、このような事態を防ぐためには低水路幅を大きく変えすぎないことが必要です。

以上の基本事項を踏まえ、もう少し具体的に一般的な河川断面形状の決定方法について考えてみましょう。

（１）単断面河道の場合

単断面河道の場合、河積の増大方法としては、川幅を広げる、あるいは河床を掘削するという2つの方法がありますが、河床の掘削は、

- ・改修区間が短い場合は下流の背水位の影響を脱しきれずに実質の疎通能力がアップしない場合がある



・護岸その他の河川構造部、橋脚等の根入れが不足する方向になる

という問題が生じる可能性があり、慎重な対応が必要です。多くの場合、土地の値段が高い市街地等で採用される方法と言えるでしょう。

山梨県の河川の場合、側方に広げるほうがより一般的といえますが、対象河道に中規模砂州が形成されている場合、断面の改変により砂州の形成特性が変わる可能性があります。砂州の形成特性には川幅水深比が大きく影響するからです。砂州の形成特性が変わると洪水時の水衝部位置が変わったり、環境変化を招いたりする可能性がありますので、その際には疎通能力の増大を拡幅だけに頼るのではなく、河床掘削と組み合わせるなどの工夫が必要です。ただし、河床の掘削量については、60cm以内になるように努めます。また、人工的に砂州を作っておき、常時の水面幅が元河川とあまり変わらないようにするのも有効な方法です。

(2) 複断面河道の場合

まず、低水路河岸を掘削して河積を増大する方法について検討します()。ここを掘削するのが最も効率的に疎通能力を増大できるからです。ただし、河床の掘削量については、60cm以内になるように努めます。これで疎通能力の計算を行い、必要な疎通能力をクリアしていればOKです。

もし、 の掘削でも疎通能力が足りない場合、 の掘削量を増やすことを考えますが、その際に砂州の形成特性がどのように変わるか推定します。また、(1)で述べたような低水路内への土砂堆積がありうるか推定します。砂州の形成特性が変わったり、低水路内への土砂の堆積が予測される場合には、低水路の掘削を拡大せず、代わりに高水敷の掘削について検討します。

高水敷の掘削で注意が必要なのは、堤脚付近の流速を増大しないこと、すなわち堤脚付近の高水敷の掘削を避けることです。図に示すように、掘削は低水路際から計画し、疎通能力を見ながら次第に堤防方向にその範囲を広げていくという手順になります。この際、高水敷の環境への影響が最小限になるよう、その場の環境特性をよく把握したうえで適切な対策を取ることが重要です。

技術コラム	経験工学という名の幻想
<p>土木工学はよく経験工学と言われます。現場踏査、机上での技術検討、現場施工、住民との合意形成など、土木事業のプロセスは多岐多様に涉り、どれか1つが滞っても事業として成立しない難しさがあるからでしょう。河川事業も然りです。河川工学、環境工学の知識が必要なのももちろんですが、経済学的な知識、災害の歴史とそれに対する住民の意識、さらにはその地域固有の文化まで考えないと真によい川作りは望めません。河川技術者は何でも知っていなければならず、まさしく経験工学ですね。</p> <p>でも、残念なことに河川事業、特に計画・設計プロセスにおいては経験工学という言葉にしばしば重大な取り違えが見られます。それは、河道計画から構造物の設計にいたるまでおよそ計画・設計論と称されるものが数十分の一という超過確率で計画されていることに由来します。数回～数十回、計画高水流量に迫る洪水を経験し、それでも設計した施設が壊れなかったら初めて「あの川作りが正しかった」という経験的判断をすべきなのですが、残念なことに人性 80 年です。多くの河川技術者は、自らが関わった河川が計画高水流量に迫る洪水にさらされるのを統計値として十分といえるだけの回数を見ずして今生とおさらばしてしまう運命にあるのです。</p> <p>でも、悲観的になる必要はありません。経験を積む道はあるのです。</p> <p>方法1：大きな災害があったら全国どこにでも行ってみることです。直轄河川だけで全国 108 水系あり、直轄河川の多くは超過確率 1/100 内外で設計されているとするのでほぼ毎年計画高水洪水にさらされた河川を見ることができます。</p> <p>方法2：模型実験をよく見ることです。自分の管理する河川の模型実験でなくたって構いません。模型実験ならば計画高水流量を一日に何度も起こせますし、なにより流水や土砂の動きをその目で直接確かめられることが大きな経験となります。</p> <p>方法3：数値シミュレーションの結果をよくみることです。数値シミュレーションは別名数値実験であり、この結果を吟味することは模型実験を良く見ることと同等の価値があります。「数値シミュレーションなんてあてにできるか」という声が聞こえてきそうですが、数値シミュレーションの勉強を積めば、何が信頼できて何に誤差が含まれるのかがある程度わかるようになります。</p> <p>さあみなさん、「経験」を積みましょう。</p>	

第7節 河道計画に用いる水位計算

7.1 水位計算手法の選択

水位計算手法には、等流計算、不等流計算、不定流計算がある。不定流計算が最も精度が高く、逆に等流計算が最も精度が低い。ただし、計算に要する手間・費用は計算精度に反比例するので、検討に求められる精度と対象河道の特徴に応じて各手法を使い分けることが必要である。

[解説]

ある流量のもとでの河道の水位縦断を算出することを水位計算という。この作業を流量計算と呼称する向きもあるが、求めるのは水位であること、河川砂防技術基準（案）でも水位計算と呼称されていることから、ここでは流量を寄与条件として水位縦断を求める計算のことを水位計算と呼ぶことにする。

河道の水位を計算する方法には、厳密にいうと1次元計算から3次元計算までがある。ただし、数km～数10km程度におよぶ河道のある程度長い範囲での水位変動傾向、すなわち一次元の水位情報を推定する作業は河川管理上不可欠であり、二次元以上の情報は局所洗掘など局所的な問題を扱う際にもみ扱われるのが現状であるので、特に断りのない限り水位縦断 一次元水位情報、ひいては水位計算 一次元水位解析と呼称する。

河川環境に配慮した川作りの大原則は、必要以上に現在の河道を改変しないことであることはいうまでもない。自然河川は河床勾配や断面形状が場所ごとに異なるので、当然流れ場は不等流になる（厳密には自然河川の流れは不定流であるが、特別な場合を除いて洪水時における流量などの時間変化は河川工学に要求される精度のもとでは無視でき、流れ場は不等流とみなすことができる）。よって、水位計算には不等流計算が要求されることになる。

流れの不定流性を無視できない場合には不定流計算が必要となる。不定流性を無視できない場の例としては以下のものが挙げられる。

- * ダムや貯水池、遊水地の検討など、流れの一時的な貯留を考慮する必要がある場合
- * 内水河川における排水ポンプの検討、河口付近を対象とした水位検討のように流量や下流端水位の時間変化を考慮する必要がある場合
- * 河道の規模が著しく大きい場合
- * 洪水流量の時間変化が著しく大きく、計算対象区間上下流での流量を一定と見なせない場合
- * 断面積の縦断変化が著しく河道内貯留が無視できない場合

不等流計算、不定流計算を実施するには横断地形情報、すなわち横断測量データが対象区間の上下流にわたって必要である。逆に、等流計算は当該断面と河床勾配のデータさえあれば実施可能であり、不定流計算、不等流計算よりコスト的に有利である。等流計算を用いることにより生じる水理検討の精度の低下が治水安全度、環境面などに悪影響を及ぼさないあるいは無視できる程度と見なせる場合には等流計算を用いることも可能である。

7.2 不等流計算の手順

7.2.1 不等流計算の基本

不等流計算は、上流端で流量、下流端で水位を境界条件として 1 次元漸変流のエネルギー方程式を積分することにより水位縦断を求める手法のことである。流れ場が常流か射流かで解き方が異なるので、射流の発生するような急流河川では注意を要する。

[解説]

一次元流れの基礎方程式は、以下のとおり連続式と一次元漸変流のエネルギー方程式からなる。

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial(Av)}{\partial x} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\beta}{g} \frac{\partial v}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\alpha v^2}{2g} + h + z \right) + I_e = 0 \quad (2)$$

ここに、 A ：河積， v ：流速， t ：時間， x ：流下方向座標， β ：運動量補正係数， α ：エネルギー補正係数， g ：重力加速度， h ：水深， z ：河床高， I_e ：エネルギー損失水頭，である。

不等流計算では流れを定常と仮定し、(1)(2)式を以下のように単純化する。

$$Av = \text{const.} \quad (3)$$

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\alpha v^2}{2g} + h + z \right) + I_e = 0 \quad (4)$$

式(3)を式(4)に代入し離散化すると次式を得る。

$$\left\{ H_2 + \frac{1}{2g} \left(\frac{Q}{A_2} \right)^2 \right\} - \left\{ H_1 + \frac{1}{2g} \left(\frac{Q}{A_1} \right)^2 \right\} = h_e \quad (5)$$

$$h_e = \frac{1}{2} \left(\frac{n_1^2 Q^2}{A_1^2 R_1^{4/3}} + \frac{n_2^2 Q^2}{A_2^2 R_2^{4/3}} \right) \Delta x \quad (6)$$

ここで、添字 1 は下流断面の水理量で、添字 2 は上流断面の水理量を表す。

常流では水位変動は下流から上流に伝達し、射流では上流から下流に伝達するが、不等流計算のスキームを構成する際には特性を考慮しなければならない(考慮しなければ解が発散する)。具体的には、常流の場合は下流断面の水理量を既知、上流断面の水理量を未知(H_2)とし、射流の場合はその逆とする(未知量は H_1)。

まず、常流の場合の不等流計算手順について概説する。式(5)(6)を常流の場合の未知量 H_2 について解くと以下ようになる。

$$\begin{aligned}
H_2 &= H_1 - \frac{1}{2g} \left(\frac{Q}{A_2} \right)^2 + \frac{1}{2g} \left(\frac{Q}{A_1} \right)^2 + \frac{1}{2} \left(\frac{n_1^2 Q^2}{A_1^2 R_1^{4/3}} + \frac{n_2^2 Q^2}{A_2^2 R_2^{4/3}} \right) \Delta x \\
&= H_1 + \frac{1}{2g} \left(\frac{Q}{A_1} \right)^2 + \frac{1}{2} \frac{n_1^2 Q^2}{A_1^2 R_1^{4/3}} \Delta x + f(H_2)
\end{aligned} \tag{7}$$

A、RはHの関数なので（厳密には、nも潤辺ごとに粗度係数が異なればHの関数）、この式の右辺には未知数H₂が入っていることになる。このような方程式の形を陰形式というが、これを解くには次のような収束計算が必要となる。

H₂を仮定する。選択すべき値には特別な制限はないが、真値に近いほど解に至る収束時間は短くなる。もちろん、真値から極端にずれた値を仮定すれば収束解が得られないこともある。通常は等流計算の解や、直下流の断面での水深と等しいとして仮定値を決める。

右辺を計算する。これがより真値に近づいたH₂である。

で得られたH₂を再び仮定値として右辺に代入し、さらに新しいH₂を求める。

仮定値H₂と右辺の値がほとんど同じになるまで～の過程を繰り返す。

この手順は単純反復法といわれるものである。この計算には手間がかかるので、コンピュータが必要となる。使用コンピュータとしては、量販されているパソコンで十分である。

一方、射流場では水位変動の影響が下流側にのみ伝播するので、不等流計算では上流側から下流側に向かって計算を進める必要がある。

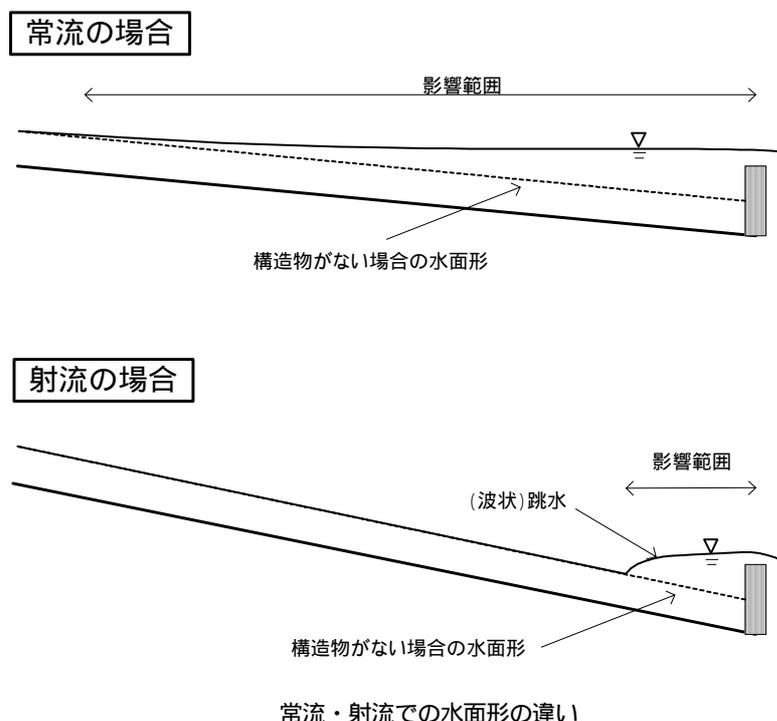
$$\begin{aligned}
H_1 &= H_2 + \frac{1}{2g} \left(\frac{Q}{A_2} \right)^2 - \frac{1}{2g} \left(\frac{Q}{A_1} \right)^2 - \frac{1}{2} \left(\frac{n_1^2 Q^2}{A_1^2 R_1^{4/3}} + \frac{n_2^2 Q^2}{A_2^2 R_2^{4/3}} \right) \Delta x \\
&= H_2 + \frac{1}{2g} \left(\frac{Q}{A_2} \right)^2 + \frac{1}{2} \frac{n_2^2 Q^2}{A_2^2 R_2^{4/3}} \Delta x + f(H_1)
\end{aligned} \tag{8}$$

上に示す不等流の離散式において、添字1は下流断面の、添字2は上流断面の水理量を示しているが、射流場ではH₁を未知数として計算を実施することになる。上式は陰形式なので、H₁を得るには特別な工夫が必要となる。常流場では単純反復法により解を得ることができるが、射流場の場合、この方法ではなかなか収束解を得るのが難しいのが実態である。現実的には挟み撃ち法やNewton法などもう少し高度な解法の導入が必要となる。

なお、射流場・常射流混在場の計算方法としては、数学的に単調で保存型のスキームを持つ不定流計算を応用する方法（例えばLax-Wendroff法）、人工粘性により発散を押さえ込むことのできるスキームを持つ不定流計算を利用する方法（例えばMacCormack法）などもある。

山梨の河川は急流であるものが多いので、洪水時には局所的に、あるいは全川にわたって射流になることが考えられます。常流と射流では、流れの性質がずいぶん違うので、水位計算とか構造物の配置計画とかを実施するには様々な注意が必要です。ここでは、具体的な注意点の説明をするための準備として、常流と射流の水理的な性質の違いについて説明します。

常流と射流の水理的な違いを特徴づけるのが水位擾乱の伝播方向の違いです。常流の場合上流側に、射流の場合下流側に伝播するのですが、この違いが両者の水面形に決定的な違いを生みます。ここで、下流に横断構造物がある場合を想定します。常流の場合、構造物で堰き上げられた流れは上流側に伝播します。この影響は上流に遠ざかるに従い次第に拡散しますが、一般にかなり上流にまで影響が及びます。いわゆる堰上げ背水といわれる水面形です。一方、射流の場合、構造物の影響は原理的に上流に伝播しません。実際には下図のように構造物の直上流で波状跳水を生じるのみです。



沖積平野を海岸近くにもつ地形を有するわが国の場合、大川の方が中小河川に比べ緩流である傾向が強いので、様々な技術書は大川 常流を前提にしていることが多いようです。山梨県の場合、急流河川が多く、洪水時には射流が生じる河川の方が多くいほどですので、こうした技術書を読み、解釈する際には注意が必要です。具体的な内容については「7.2.3 常射流混在流れにおける水位計算」や技術コラム「射流場での河床安定化対策としての帯工や床止工の機能」の項で詳しく説明したいと思います。

7.2.2 樹木群の影響を考慮した不等流計算（準二次元不等流計算）の適用

樹木群の影響等を無視できない河道では、断面を分割して計算を行う準二次元不等流計算の適用についても検討する。

[解説]

河積内に樹木群を有し、これが洪水流に無視できない影響を与える場合には、水位計算手法に準二次元不等流計算を導入する必要がある。このモデルは樹木群の流水抵抗および樹木群内と群外の流れの干渉によるせん断力を考慮可能である。このモデルの最大のメリットは、現況河道における洪水時の検証計算をやっておけば、河道改修によって樹木群の占有率が変化した場合の水位を精度よく予測できることである。具体的な方法については、河川砂防技術基準（案）調査編を参照されたい。

7.2.3 常射流混在流れにおける水位計算

常射流混在流れとなる場を対象に水位計算を行う場合、この場に対応可能な水位計算手法を選択すること。

[解説]

7.2.1 項でも触れたとおり、常射流混在場を対象に不等流計算を実施する場合、Fr 数を計算することで常射流が入れ替わるポイントを探し、限界水深を与える内挿断面を加え、流れの状態に合わせて不等流計算のスキームを切り替えるというプロセスを設ける必要がある。

別法として、不定流計算スキームを用い、境界条件を時間方向に不変とすることで定流へ帰着させるという手順で解く方法もある。適用可能なスキームは衝撃波の捕捉可能なもの、すなわち数学的には「単調性」、「保存性」を有するものである。また、人工粘性を付加することで発散を抑え込む方法もある。このようなスキームで実用性の高いものの代表としては、MacCormack スキーム、FDS スキームなどが挙げられる。また、CIP スキームは「保存性」を有していないものの、3 次精度の補間を行うため常射流混在場の水位計算が可能であるとされている。

7.2.4 死水域の設定

河道断面形状の急変や河道内樹木の存在により形成される死水域の発生を予測し、水位計算に反映させる。

[解説]

河道の平面線形による死水域は、急拡部の死水域は、急拡点から 5° の角度で広がる漸拡河道を想定し、それ以外を死水域とする。一方、急縮部では急拡部と比して流線の剥離による渦の形成領域が小さいので 26° の角度で漸縮河道を設定し、死水域を除去すればよい。ここで、想定河道を作成する際に基準となる線は、洪水流の主流方向に平行で、かつ河道と接するように設定するものとする。なお、急拡・急縮部において漸拡・漸縮河道を設定する場合、基準線が河道側壁と接する地点で内挿断面が必要となる。

また、樹木群による死水域は、樹木群領域およびその背後の領域に設定する。ただし、樹木群は洪

水時に倒伏することもあるので、洪水時の状態を適切に判断するものとする。計算手法の詳細は、「河川砂防技術基準（案）調査」及び「河川における樹木管理の手引き」（（財）リバーフロント整備センター）を参照のこと。

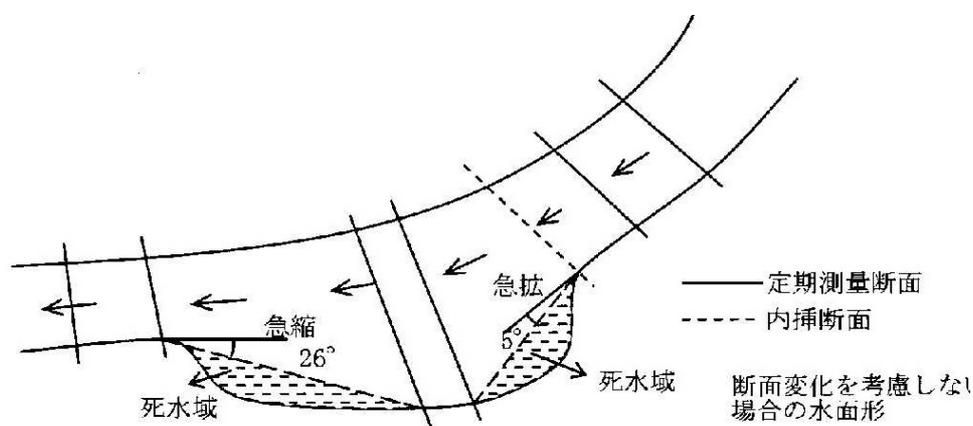


図 3.7.1 死水域と内挿断面の取り方

7.2.5 粗度係数の設定

粗度係数は、河道状況および対象とする洪水規模を踏まえ適切に設定する。

[解説]

粗度係数は、流速に最も影響を与える要因の一つである。その値は河道状況（形状・河床材料・植生分布等）および洪水規模により変化するので、河道計画においては河道状況および想定する洪水規模を踏まえ、適切な粗度係数を設定する必要がある。

粗度係数は大きめの値をとっておけば疎通能力は小さめに計算され、したがって安全側の近似となっている向きがあるが、これは正しくない。例えば護岸等の施設設計には指標の1つとして流速が用いられることがあるが、粗度係数を大きめに設定すると流速は小さめに設定され、護岸等の設計が危険側の近似となってしまう。

計画河道及び計画高水位を検討する場合は、改修直後の計画河道を想定して粗度係数を設定するのではなく、将来の維持管理状況をも考慮し、長期的な視点から粗度係数を設定する必要がある。

粗度係数の設定方法としては、大きく分けて以下の2つの方法がある。

既往洪水データから逆算した粗度係数を設定（逆算粗度係数）

河床や護岸などの粗度状況から粗度係数を設定（合成粗度係数）

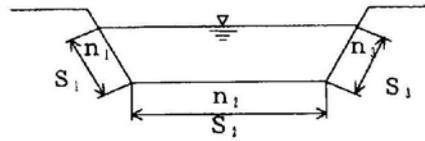
既往洪水データが存在するのであれば、逆算粗度係数を用いるのが望ましいが、そうでない場合は、合成粗度係数を用いる。

[合成粗度係数の設定方法]

単断面の場合

以下に示す Einstein の方法により計算する。

$$N = \left\{ \frac{\sum_{i=1}^m (n_i^{3/2} \cdot S_i)}{\sum_{i=1}^m S_i} \right\}^{2/3}$$

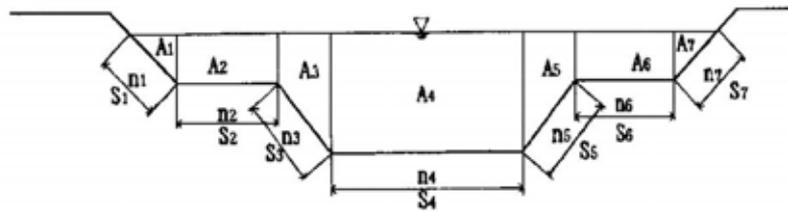


複断面の場合

以下に示す井田の方法により計算する。

$$N = \frac{\sum_{i=1}^m A_i \cdot R^{2/3}}{\sum_{i=1}^m \left(\frac{A_i}{n_i} R_i^{2/3} \right)}$$

$$R = \frac{\sum_{i=1}^m A_i}{\sum_{i=1}^m S_i}$$



粗度係数の標準値

現地観測等で解析対象河川の粗度係数が得られていない場合は、下表を参考としてもよい。

水路または河道の材料および測定の状態	n の範囲
自然河川	
1. 線形、断面ともに規則正しく、水深が大きいもの。ただし砂床	0.025~0.033
2. 線形、断面ともに規則正しく、礫床、草岸のもの	0.030~0.040
3. 蛇行線形、瀬淵があるもの	0.033~0.045
4. 蛇行線形、多少石礫および草があるもの	0.035~0.050
5. 蛇行線形、水深が小さいもの	0.040~0.055
6. 蛇行線形、石礫床、水深が小さいもの	0.040~0.060
7. 水草が多いもの	0.050~0.080
土砂地盤に開さくした水路	
1. 粘土性の地盤、洗掘がない程度の流速	0.016~0.022
2. 砂質ローム、粘土質ローム地盤であって良好状態のもの	0.020(平均値)
3. 土地盤、直線状、断面整正な新水路	0.017~0.025
4. 土地盤、蛇行した鈍流	0.0225~0.030
5. 土地盤、石礫底、兩岸に草が茂っているもの	0.025~0.040
6. 断面一樣な直線水路、底は泥砂	0.012~0.018
7. 断面一樣な直線水路、底は砂利 径1~3cm	0.020(平均値)
8. 断面一樣な直線水路、底は砂利 径1~3cm	0.022(平均値)
9. 断面一樣な直線水路、底は砂利 径2~6cm	0.025(平均値)
10. 断面一樣な直線水路、底は砂利 径5~15cm	0.030(平均値)
岩盤に開さくした水路およびトンネル	
1. 水平層岩盤、兩岸を切均し、または幅に対し水深のいちじるしく大きい場合	n < 0.020
2. 水平層岩盤、兩岸を切均さず、または水深の割合に大きい場合	0.020(平均値)
3. 水平層を成さぬ岩盤、いちじるしく突出を残さぬように掘ったもの	0.025~0.035
4. 水平層を成さぬ岩盤、突出が多い場合	0.035~0.045
5. 岩盤無巻立トンネル	0.030~0.040
6. 岩盤無巻立トンネル、表面を切均したもの	0.025~0.030
7. 岩盤掘放しトンネル、セメントガンで凹凸を切均したもの	0.012~0.025
石工水路	
1. れんがモルタル積	0.012~0.017
2. 切石モルタル積	0.013~0.017
3. 粗石モルタル積	0.017~0.030
4. 粗石空積	0.025~0.035
5. 兩岸石張り、底面平坦な土	0.025(平均値)
6. 兩岸石張り、不規則	0.028~0.035

粗度係数とは、河道と流水との間に作用する摩擦力の大小を表す指標であり、狭義では次に示される Manning の平均流速公式の n を指します。

$$v = \frac{1}{n} R^{2/3} I^{1/2}$$

ここに、 v ：断面平均流速、 R ：径深、 I ：エネルギー勾配（等流の場合は河床勾配と同じ）です。

この式では、 v 、 R の次元が決まっています（ I は元々無次元ですね）。 v [m/s]、 R [m] です。このことからわかるように、 n も実は次元を持っています。[s・m^{-1/3}] というややこしい次元です。でも、いちいち表記しないのが暗黙のルールとなっており、これが n を無次元と誤解する人が少なからずいる理由となっています。

なぜ、こんなめんどろなことになるのでしょうか。数学的に万能な式ならば、定理が予想するように係数は本来無次元になるはずですが。このような不完全な式が現在も主役の座を努め続けているのは、式形が単純な割に実現象とよく合うこともあります。かつてアメリカで実河道や水路で実際に粗度係数が逆算され、それが標準値として世界中に広まったことが大きな理由のようです。

粗度係数が有次元であるがゆえに不便なのは、上記の Manning 式を使う際、 R は m 単位限定、 v は m/s 単位限定となることです。 I は元々無次元ですね。利用の際にはご注意ください。

Manning の式は、単純ながらも粗度係数の標準値が提案されているなど実用上は実に使い勝手がよく、世界中で広く用いられています。しかしながら、例えば Manning 式を抵抗則として流れの運動方程式の中に取り込み、流れの状態を解析的に調べようとする際に扱いにくい面があります。Manning 式には R の 2/3 乗が含まれますから、積分しにくいのですよね。以下に示す Chezy 式は、積分しやすい形をしているため、解析的なアプローチにはよく用いられてきました（有名なところでは Bresse の不等流関数などがあります）。しかし、Chezy 式には係数 C が水深とともに変化するという実用上面倒な問題があり、Manning 式ほどにはポピュラーな存在にはなり得ていません。

$$v = C \sqrt{ghI}$$

技術コラム	小規模河床形態
<p>粗度係数は、疎通能力に直接関係する指標であり、河道計画において支配的な影響をもつ非常に重要な係数です。粗度係数は、川ごとに変わるので、河道計画ではその河川の実態に応じた計画粗度係数を定めることが水理的にも経済的にも望ましいのはいうまでもありません。</p> <p>河川の粗度係数を正確に把握するためには、洪水観測を実施し、この結果をもとに不等流計算などにより逆算するというプロセスが必要となります。このプロセスにはそれなりの費用がかかるので、管理すべき河川を何百と抱える地方公共団体では、重要河川を除き実施が難しいのが実情です。</p> <p>他方、河川の粗度係数を予測するための水理的な研究が過去数多く実施されてきており、この成果は現在、山本により河川管理者の利用に配慮した形に総括・体系化されています。この方法は「中小河川計画の手引き」「護岸の力学設計法」等で紹介されており、現実に直轄河川の河道計画でも用いられています。この手法の最大の特徴は、計画高水流量などの大流量時に形成されるであろう小規模河床波の種類を予測し、それに応じた粗度係数を算出する点にあります。ですから、この手法を上図に使いこなすには、小規模河床波の水理特性を十分に把握しておかなければなりません。</p> <p>我々が洪水時の川底を見る機会はほとんどありませんが、実は小規模河床波が形成されていることがあります。小規模河床波は、lower regime と upper regime、その中間的な transition（遷移河床）の3つに分類され、さらに lower regime は砂漣と砂堆に、upper regime は平坦河床と反砂堆に区分されます。各形態の特徴は以下のとおりです。</p> <p>砂漣(ripples)</p> <p>最も小スケールの河床波です。様々な定義があるようですが、その波高・波長等のスケールが粒径に依存するものをいうことが多いようです。波長は粒径の800倍、波高は70倍程度とされています。粒径 $d > 0.6\text{mm}$、粒子レイノルズ数 $u \cdot d / \nu > 20$ の水理条件下では発生しません。下流に向かって伝搬するという特徴があります。</p> <p>砂堆(dunes)</p> <p>河床波の形状は不規則で、そのスケールは水深に依存し、波長は水深の5~7倍、波高は水深の0.2~0.3倍程度です。下流に向かって移動し、水面波とは逆位相となるという特徴があります。砂漣になり得ない大きな粒径の河床材料がかなりの量が移動するような流れ場でないと発生しないので、砂堆は砂利河床ではめったに見られないと一般に言われておりますが、山梨では急流河川が多いので決して珍しい存在ではありません（釜無川の写真参照）</p> <p>遷移河床(transition bed)</p>	
	
<p>砂漣（平等川）</p>	

lower regime と upper regime の境界領域で、両者の特徴が混在する不安定な状態です。

平坦河床(flat bed)

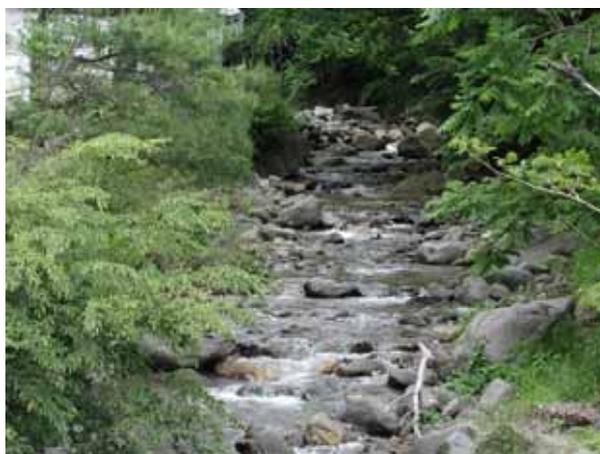
河床波が消失し、平坦な状態です。

反砂堆(antidunes)

フルード数 $Fr > 0.8 \sim 1$ で発生する不安定な河床波です。水面波と同位相となります。上流へ移動するもの、流へ移動するもの、停止しているものなどがあるようです。実際の河道においては全幅でなく、一部分だけで発生することもあります。これは竜の背骨と形容されることもあります。その波の下には反砂堆が形成されていると言われています。反砂堆は、非常に大きな流速の場で形成されますので、その姿を実際の河川でうかがうことは難しいとされていますが、県管理河川ではその名残を比較的容易に見ることができます。溪流で階段状になった河床を見たことがあると思いますが(リブ河床とも言う)あれは反砂堆のなれの果てであると位置づけた研究もあります。

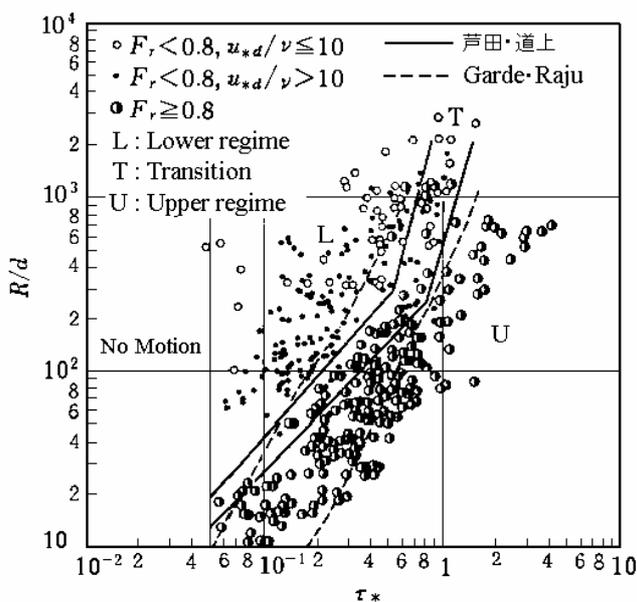


砂堆(釜無川)



反砂堆(リブ河床、亀沢川)

小規模河床波の形成には、 Re_* : 粒子レイノルズ数、 u_* : 無次元掃流力、 R : 径深、 d : 粒径、 γ : 水中比重、などの無次元パラメータが関与していると考えられ、実験結果等から特に $u_* R/d$ が支配的であると推定されています。この2量により作成された代表的な領域区分図を以下に示します。この図を使い、対象河川の水理量 ($u_* R/d$) をプロットすることでその川に発生する河床波の種類を推定することができます。洪水の規模によって河床波がどう変わるのかも、洪水の規模に応じた $u_* R/d$ を与えることで把握可能です。



小規模河床形態の領域区分図

7.2.6 出発水位の設定

出発水位は、河口部や本川との合流部の形状・流況に応じて適切に設定する。

[解説]

1) 河口部における出発水位の設定

山梨県には海がないので、ここで言う河口とは湖に注ぐ河口を意味する。

河口部における出発水位の設定方法としては、湖の計画高水位を用いる方法、仮想河道を想定する方法の2つがあるが、基本的には計画高水位を用いる方法を用いるものとする。

2) 本川との合流部における出発水位の設定

当該河川がある河川の支川である場合、本川との合流部の処理方法により出発水位の設定方法が異なる。つまり、洪水時に支川水位が本川水位の影響を受けるバック堤、セミバック堤と、本川水位の影響を受けない自己流堤に分け、それぞれに異なる出発水位の設定法を与える。

バック堤、セミバック堤の場合

本川と支川とで同一の流出モデルが用いられ、本川と支川との間で合流時差等が判明していれば、支川ピーク時、および本川ピーク時の2条件で不等流計算を実施し、高いほうを取る。

本川と支川とで異なる流出計算を用いている場合、本川と支川の間でのピーク流量・ピーク水位の発生時間のずれ等を明らかにすることができない。この場合は支川の下流端断面を対象にピーク流量時の等流計算を行い求めた水位と、本川の計画高水位を比較し、高いほうの水位を出発水位とする。

自己流堤の場合

自己流堤の場合、洪水時に支川水位が本川水位よりも低いときは水門を閉鎖し、支川の流水を本川にポンプ排水する。したがって、支川の下流端断面を対象にピーク流量時の等流計算を行い求めた水位を出発水位とする。

7.2.7 局所的に水位を変化させる要因の取り扱い

橋脚、湾曲、堰、落差工などによる局所的な水位変化を適切に評価する。

[解説]

1) 橋脚による水位変化量

河川計画に併せて橋梁計画がある場合には、橋脚による局所的な水位上昇を考慮する必要がある。評価方法としては、D'Aubuissonの式を用いるのを標準とする。なお、河川管理施設等構造令の河積阻害率の規定は、橋梁が現河川に計画される場合にやむを得ず許可する場合の規定であり、その数値以下であれば支障が無いということではないので注意する。

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

Δh : 橋脚による堰上げ量
 Q : 流量
 C : 橋脚の平面形状によって決まる定数
 b_1 : 橋脚上流側の水路幅
 b_2 : 全水路幅から橋脚の幅の総計を減じた幅
 t : 橋脚1基の幅
 H_1 : 橋脚の上流側の水深

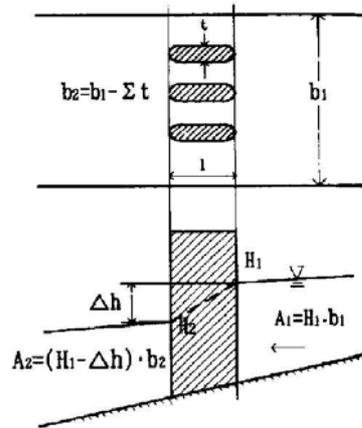


図 3.7.2 記号の定義

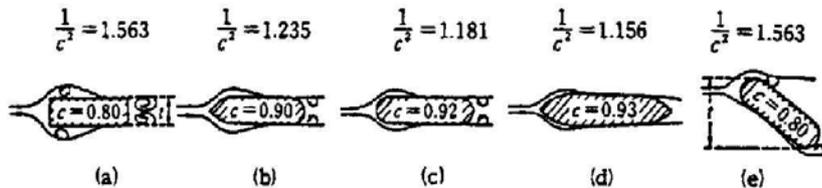


図 3.7.3 橋脚の形状と係数 C の関係

2) 湾曲による水位変化量

不等流計算では、断面平均水位が計算され、湾曲内岸では水位が不等流計算水位よりも $h/2$ だけ低下し、外岸では $h/2$ だけ上昇するものとする。

なお、ここで得られた湾曲部の水位上昇は、遠心力により一時的に生じる水位上昇であるので、上流水位を算定する際の不等流計算の境界条件とはせず、局所的なものとして不等流計算水位に加算するものとする。この時、当該湾曲区間の水位上昇量 h_c は、湾曲区間で一定値とする。よって、等流計算を用いる場合でも湾曲による水位上昇量を算定することができる。

湾曲による水位上昇量の算定は、曲率半径 r_c と堤間幅 B の比が 10 以下である湾曲部を対象とし、それ以上であれば特に考慮する必要はない。

$$\Delta h = \frac{BV^2}{g \cdot r_c}$$

$$\Delta h_c = \frac{\Delta h}{2}$$

Δh_c : 湾曲による堰上げ量
 B : 水路幅
 V : 平均流速
 r_c : 水路中央の曲率半径

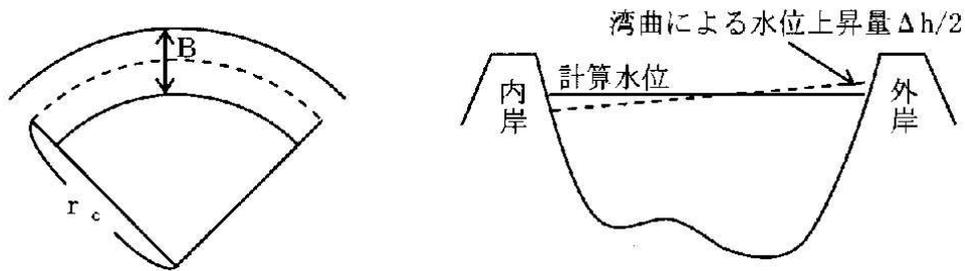


図 3.7.4 記号の定義

3) 堰・落差工等による水位変化量

一様幅の緩勾配水路における段落ち流れの損失水頭 h_e は次式により算定する。

$$\frac{h_e}{h_2} = K + B_* - 1 + \frac{F_2^2}{2} \left(\frac{1}{B_*^2} - 1 \right)$$

$$B_* = \frac{h_1}{h_2} \quad K = \frac{\Delta Z}{h_2} \quad F_2 = \frac{V_2}{\sqrt{gh_2}}$$

h_e : 損失水頭
 h : 水深
 ΔZ : 段落ち高さ
 V : 平均流速

堰・落差工が設置されている区間の水面形は、段落ち部で支配断面が現れない場合には、上式により求めることができる。この際、下流水理量を取る断面 II は、段落ち地点から段落ち高さの約 30 倍程度の距離だけ下流にとる必要がある。

なお、段落ち部で支配断面が現れる場合には、断面 I で限界水深を与え上流に向かって不等流計算を行えばよい。

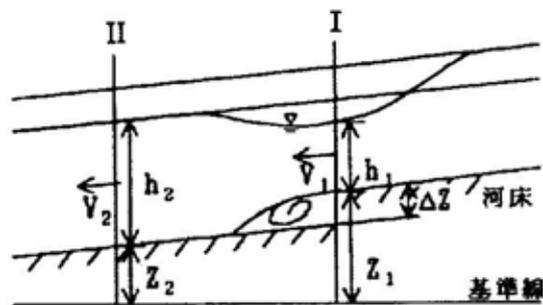


図 3.7.5 記号の定義

第8節 河床の安定性の検討

河道計画を策定するに際しては、長期にわたって安定な河道が得られるように配慮しなくてはならない。

[解説]

長期にわたって安定な河道が得られる河道計画を立案するための要件は、特別な問題がない限りなるべく現況の河床高、川幅を維持すること、河道の特性に応じた適切な対策工を配備すること、精度よく将来の変化予測を行うこと、の3点であるといえる。ここではこの3要件について解説する。

1) 現況の河床高、川幅の維持

河道の縦横断形は、長期にわたる河道の沖積作用によって形成されたものである。時間の経過とともに河道地形が安定した方向に向かうことは、例えば河道縦断形に関する拡散理論等でも裏づけされている。よって、現況の河床高、川幅をなるべく維持して河道計画を進めることは、長期にわたって安定な河道を得るために重要な要素の一つである。

とはいっても、河床変動の著しいところでは落差工を配置して河床勾配を緩めたり、疎通能力の足りないところでは河道を掘削して容量を増やさなければならないところもある。その場合には落差工による勾配の緩和の程度を元勾配の1/2以内に留めたり、河床掘削部位をその河道特性に応じて制限するなどの工夫が必要である。

2) 河道の特性に応じた適切な対策工の配備

河床変動対策工の代表的なものとしては、床止工、帯工が挙げられる。急流河川でこれらを計画する場合、洪水流が常流であるか射流であるかを見定め、それぞれの河床変動特性に応じて適切な対策工を選択しなければならない。

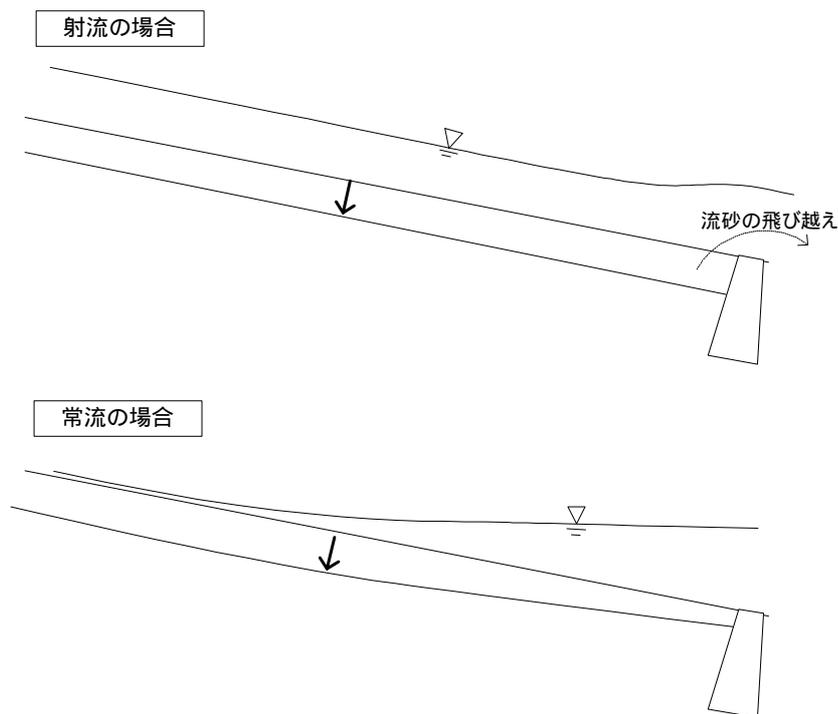
3) 河床変動の将来予測

河床変動を予測する方法としては、経年的な縦横断測量結果から河床変動傾向を読み取る、流域、特に土砂生産地における改変の影響を考慮する、模型実験を行う、数値実験(数値シミュレーション)を行うなどの方法があります。はデータさえあれば技術力の大小に関わらず誰でも割と正確に変動傾向を読み取ることができるという特徴がある。については河床変動傾向程度が把握できる程度であろう。については一洪水における局所洗掘の発達等を予測するのに最適な方法であるが、10年後など長期的な予測には不適切である。は長期的な予測(一次元河床変動計算)も模型実験と同様に一洪水における局所洗掘予測(二次元河床変動計算)も可能であるが、シミュレーションを実行する技術者の技術レベルで予測精度が変わるという問題がある。

帯工と落差工は似たような形状の構造物ですが、その機能はずいぶん異なるものです。砂防流路工は、帯工と落差工（床固工）を組み合わせた構造物ですが、帯工と落差工の機能の違いを補い合うことを意図しています。ここでは、両者の機能の違いについて説明しましょう。

帯工は、河床低下をある段階で食い止める工法です。河床低下が進行している河川に帯工を設置した場合、河床低下が直ちに止まるわけではありません。

では、どのような形で河床低下が安定するかですが、実は帯工を設置する河川における洪水流が常流となるか射流となるかで異なります。

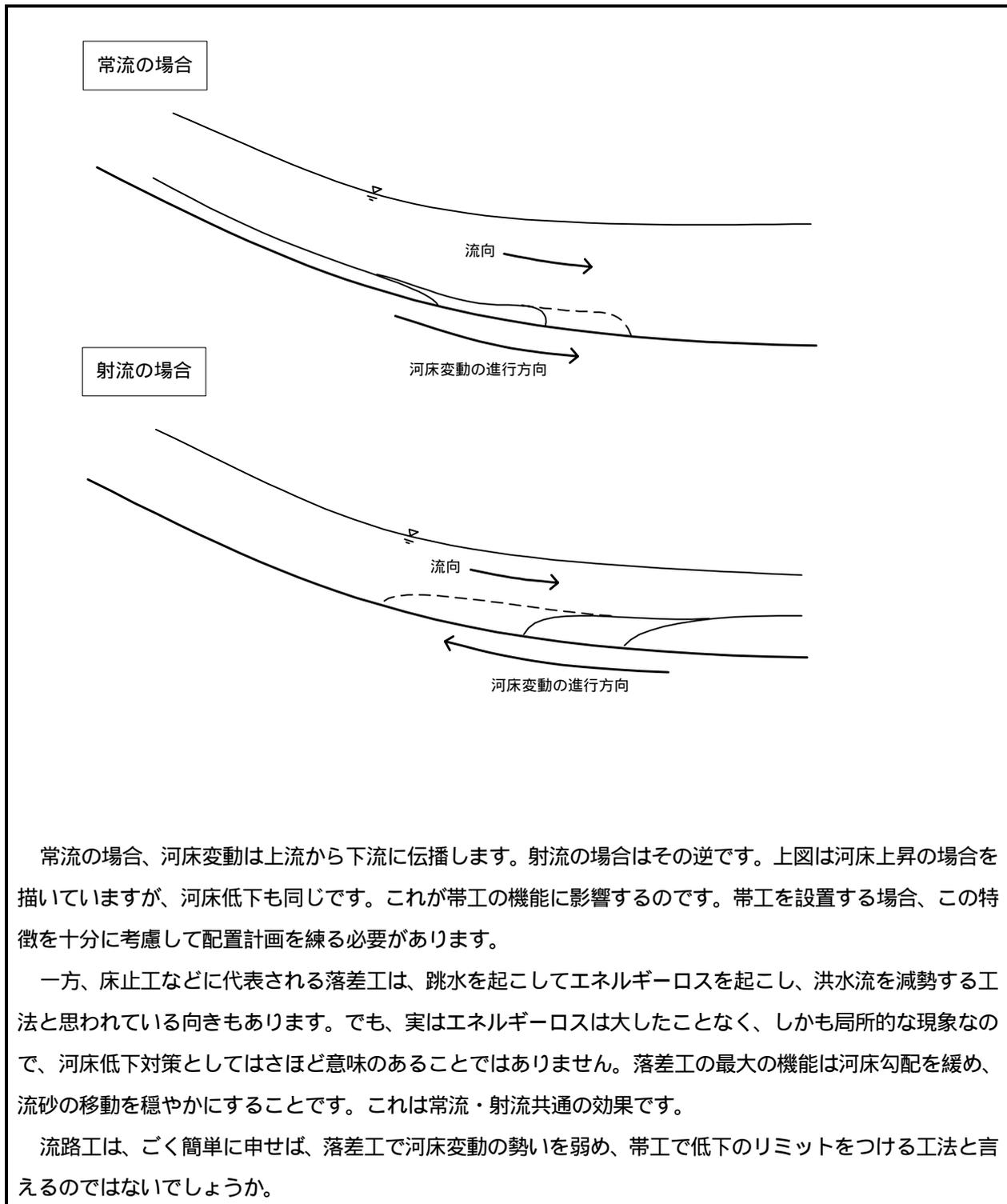


射流の場合、流砂が帯工を飛び越えるうちは河床低下が続くのですが、河床低下が進んで飛び越えられなくなると河床低下が収まります。河床低下量は、帯工の直上流でもある程度はなれたところでもそれほど変わりません。

常流の場合、河床低下が進んで帯工が突出し、洪水時の水面形が堰上げ背水曲線になってくると帯工の直上流から河床変動が落ち着いてきます。でも、堰上げ背水区間よりも上流では河床低下は収まりません。

このような違いはなぜ生じるのでしょうか。

数学上、河床変動も一種の波として捉えることができるのですが、洪水流が常流と射流とではその伝播方向が異なります。



技術コラム	河床変動計算
<p>河床変動計算は、河床変動傾向をコンピュータによる数値計算により求めるもので、河床変動シミュレーションとも呼ばれます。一次元から三次元計算まであり、河床材料の粒度分布の影響を考慮できるものもあります。</p> <p>河床変動計算は、現在はPCでも実行可能となってきましたが、それでも大変な計算であることには変わりがなく、それゆえ例えば10km区間にわたる平均河床高の100年度の変動量を予想するといった目的では一次元河床変動計算が用いられ、一洪水における局所的な洗掘・堆積を予測するような目的では二次元以上の河床変動計算が用いられるのが現状です(2006年現在)。</p> <p>河床変動計算は、まず流れの計算を行い、その流れの分布からせん断力の分布を計算し、そのせん断力に応じた局所の流砂量を計算し、流砂の連続式から河床変動量を計算するという流れを微小時間ごとに積み上げていくという流れで行われます。このうち、局所のせん断力に対応した流砂量を求めるプロセスが他の部分に対して精度が低いと言われ、これが河床変動計算の精度を下げる最大の要因となっています。例えば長期的な予測では実現象に比べ数mも誤差を含む場合もあります。</p> <p>でも、堆積傾向にある区間とか、洗掘傾向にある区間とか、河床変動傾向は十分に読み取ることができしますので、例えば一次元河床変動計算では将来どの区間が河床低下で河川管理上の問題が生じるとか、どのような対策をいつごろしておくべきかとかいう情報が得られますので、長期にわたる河道管理計画を立案するには非常に便利な方法です。二次元河床変動計算のほうも局所洗掘範囲等を明らかにすることができますので、護岸の設置範囲、根固工の敷設幅・延長などを定量的に決めることができます。</p> <p>河床変動計算は河道計画の必須項目にはなっていませんが、使い方によっては様々な活用法があります。是非トライしてみてください。</p>	

Check Point	急流河川における河床変動計算のチェック
<p>洪水時に常射流混在場となるような急流河川の河床変動計算を実行する場合には、クリアしなければならない条件がいくつかありますので以下に示します。</p> <p>混合粒径対応となっているか</p> <p>急流河川の河床材料は幅広い粒度分布を持っていることが普通です。粒度分布は限界掃流力の値や流砂量そのものにも大きな影響がありますので、特別な場合を除き混合粒径対応のモデルが用いられているかどうかチェックポイントの一つになります。</p> <p>与えた粒度分布は適切か</p> <p>粒度分布の与え方は河床変動計算の結果に大きな影響を与えます。河床材料調査により得られた粒度分布を与えるのが普通ですが、急流河川の場合、直径が数10cm～数mに至るものもあるので、篩い分け試験ではこうした大粒径のものをよけて採取した材料を供試体とし、結果として細かめの粒度分布を与えている資料をよく見かけます。現地に出かけて河床材料の粒度分布を見て、篩い分け試験結果が妥当なものであるか</p>	

どうかを判断する必要があります。なお、非常に大きな粒径を含む河床材料の場合、「線格子法」「面格子法」といった粒度分布測定方法を利用すれば測定精度を上げることができます。

交換層厚は適切か

例えば交換層モデル（平野モデルとも呼ばれる）は、最大粒径程度を交換層厚とすべきと一般的に言われていますが、急流河川では洪水時に中規模あるいは小規模河床形態が発達することがよくありますので、交換層厚をこの波高程度にしたほうがよい場合があります。

流れのモデル、河床変動モデルは常射流混在場に対応しているか

常流場と射流場では、流れ・河床変動ともに擾乱の伝播方向が違いますので、河床変動計算スキームはそれに対応している必要があります。一洪水を通じ射流になったり常流になったりする場所があると計算は非常にやっかいになります。チェックポイントとしては、以下のようになります。

* 一次の差分式を用いたモデルの場合

フルード数を計算し、常射流を判定して前進差分・後退差分を切り替えるモデルになっているか

* 特殊モデルを用いた場合

常射流混在場の計算を可能とするモデルの代表的なものを以下に示す。

- ・ MacCormack 法
- ・ CIP 法
- ・ FDS 法

なお、粒度分布の伝達方向は常流・射流とも同一ですので問題ありません。

第9節 超過洪水対策

洪水は、降雨に起因するものである以上、計画の規模を上回る洪水（超過洪水）が発生する可能性は常に存在している。

中小河川は、様々な制約条件により目標とする治水安全度を高く設定できないので、計画規模以上の洪水が生起する可能性が相対的に高いといえる。超過洪水が発生した場合でも、壊滅的被害や特定地域への被害集中が生じないような対策（超過洪水対策）について検討しておく必要がある。

[解説]

超過洪水対策としては、以下に示す1)～4)項等が考えられる。対象箇所の特性に応じて取るべき方策の内容を改変することが重要である。

1) 危機管理体制の整備ならびに避難誘導體制の確立

破堤、氾濫が生じた際の被害を極力最小限にとどめるため、洪水情報収集・伝達体制の整備、洪水時の避難地及び避難路の確保等、洪水氾濫時における警戒避難体制を強化しておく。

2) 情報の開示と共有

超過洪水が生起した際の浸水状況等を降雨または流量確率規模毎に予測検討しておき、その成果である浸水状況を平面図や横断図等にできる限り詳細に明記する。これを沿江市町村、関係住民及び防災機関等に配布し、市民に情報を提供しておく。

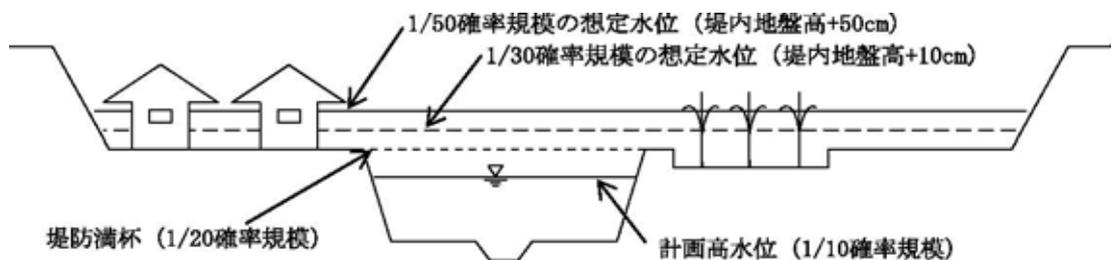


図 3.9.1 浸水状況と超過確率の関係例

3) 災害に強いまちづくり

洪水によって壊滅的な被害を受ける恐れのある地域においては、堤防の整備等と併せて地域全体を水害に強い形態に変えていく必要がある。このため、地盤の高上げ、二線堤、輪中堤等を総合的に整備することも重要である。

4) 日常に根ざした超過洪水対策

超過洪水発生時に住民や行政機関が的確に行動するためには、日常からの備えが必要である。しか

し、災害体験は風化しやすく、特に都市部においては住民の移動もあって災害体験の継承も困難であり、災害への日常の備えが忘れられる傾向にある。このため、学校教育や地域の社会教育活動等において、水災害に関する防災教育や防災訓練等の充実を図り、防災意識の啓発と高揚を図っていく必要がある。また、地域社会による自主防災活動を円滑に実施するためには、活力ある地域コミュニティが形成されていることが重要である。このような日常の地域社会活動に根ざした超過洪水対策を充実させ、展開することが重要である。

第 10 節 河道計画の際のその他の留意事項

10.1 管理用通路の取扱い

管理用通路を設置する場合には、沿川環境との調和に十分留意する必要がある。

[解説]

管理用通路は、日常の河川管理、洪水時の河川巡視及び水防活動の目的のために必要な施設であるが、散策路・遊歩道あるいは自転車歩行者専用道路として利用されていることも多く、川と人とを結ぶ有効な施設となっている。また、都市部では、管理用通路は、都市の防災機能及び環境機能の向上、都市活動を支える空間確保の観点から必要である。その他管理用通路の確保は、官民境界を明確にすることができ、河川敷の財産管理的な意義もある。したがって、基本的には河川改修等の計画の際には所定の管理用通路を確保すべきである。

ただし、以下の(1)及び(2)のような管理用通路の計画は行わないこと。

(1) 山付け区間等で、天然河岸を山切りして管理用通路を設置。

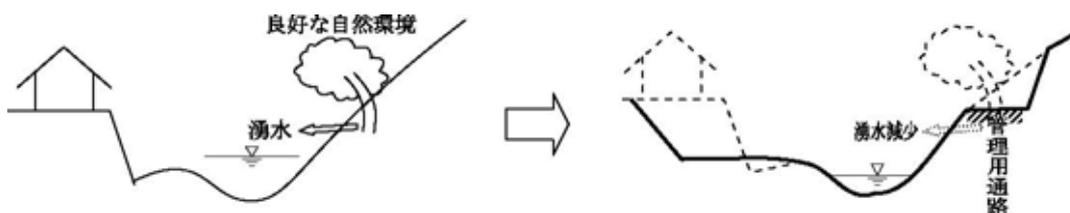


図 3.10.1 管理用通路の位置(1)

(2) 管理用通路に代わるべき適当な通路があるのに(第4章第1節1.4「管理用通路」参照。)表腹付けにより管理用通路を設置。

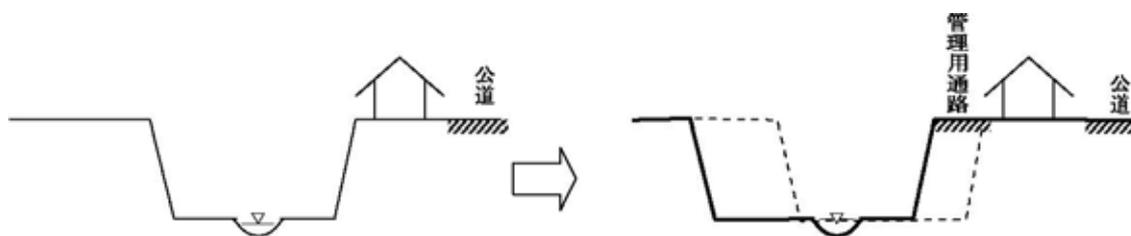


図 3.10.2 管理用通路の位置(2)

第 11 節 暫定計画

11.1 段階施工

河川整備計画で定めた内容の実施においては、より効果的に治水機能が発揮できるよう、効率的な事業実施を図っていく必要がある。

[解説]

河川整備計画で定めた内容の実施においては、施工順序や地元の意向等総合的に勘案し、より効果的に治水機能が発揮しうよう、効率的な事業実施を図っていく必要がある。例示すると以下のとおりである。

ケース 1（早期に治水効果を発揮する施設を先行して事業着手する場合）

洪水調節施設と河道改修が計画されている場合、河道改修の一連区間の完成には用地取得等により時間を要するため、先行的に洪水調節施設を完成させ、まず洪水調節施設下流の治水安全度を高める。

ケース 2（上流を先行して施工したい場合）

下流区間より上流区間を先行して改修すると下流区間に悪影響を及ぼすため、上流区間において一般に時間を要する用地取得ならびに築堤などを先行的に実施し、比較的短時間で施工できる拡幅、河床掘削は下流区間の改修完成後とするなど、下流区間の改修完成後早期に上流区間が完成できる段階まで高めておく。

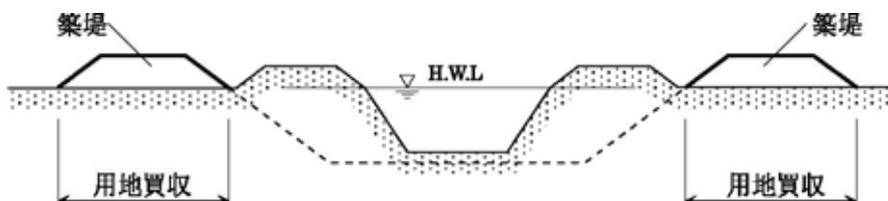


図 3.11.1 用地買収・築堤の先行例

ただし、この場合現況流下能力以上の洪水に対する新設堤防の安全性について確認しておく必要がある。

第12節 モニタリング

河川計画は、自然現象を対象としているため、計画段階で予測できる事象には限界がある。したがって、事業実施後に各種モニタリングを行い、河川計画へのフィードバックを行うことが重要である。

[解説]

河川計画をよりよいものにしていくためには、モニタリングと計画へのフィードバックが必要となる。モニタリングは結果が直接事業に結びつくものではないので、予算措置等が難しい面もあるが、住民の協力等を得るなどして継続的に実行していきたいものである。モニタリングの種類と内容について以下にまとめる。

1) 定期モニタリング

内容	期待される効果
主要雨量観測所の時間雨量、10分間雨量、および基準点の時刻水位データの収集・整理を継続的に行う。	流出解析モデル、水位計算モデルの精度向上と河川計画自体の精度向上
最低年1回河川巡視を行い、写真等を用いて河床の変動を調べる。また、構造物周りの局所洗掘を調べる。	河道の安定性の把握、不安定な場合は計画の見直し
河道内における草本類の繁茂範囲の変化を調べる。	粗度係数の変化の把握 伐採計画の立案に寄与
河川利用状況、生態系調査を行う。	生態系保全のための維持管理計画の策定

2) 出水後のモニタリング

内容	期待される効果
基準地点における洪水観測（流量・水位）を実施する。	流出解析モデル、水位計算モデルの精度向上と河川計画自体の精度向上
河川施設の被災状況、河床変動傾向を調べる。	施設整備計画の精度向上、河床変動傾向の把握

3) フィードバック

フィードバックは、モニタリングの結果明らかとなった土木事業の環境へのインパクトを軌道修正するための作業である。フィードバックを、環境へのインパクトが計画どおりに進まなかったための修正ととらえ敬遠する向きがあるが、これは正しくない。環境へのインパクトは連鎖反応的に起こるものであって、そもそも完全に予測することは不可能なものであるからこそモニタリング～フィードバックというプロセスを導入するのである。このプロセスを継続的に実行すれば、当初計画以上の環境復元・創生ができることもあるので、モニタリング～フィードバックにネガティブなイメージを持つことなく積極的に取り組むことが重要である。