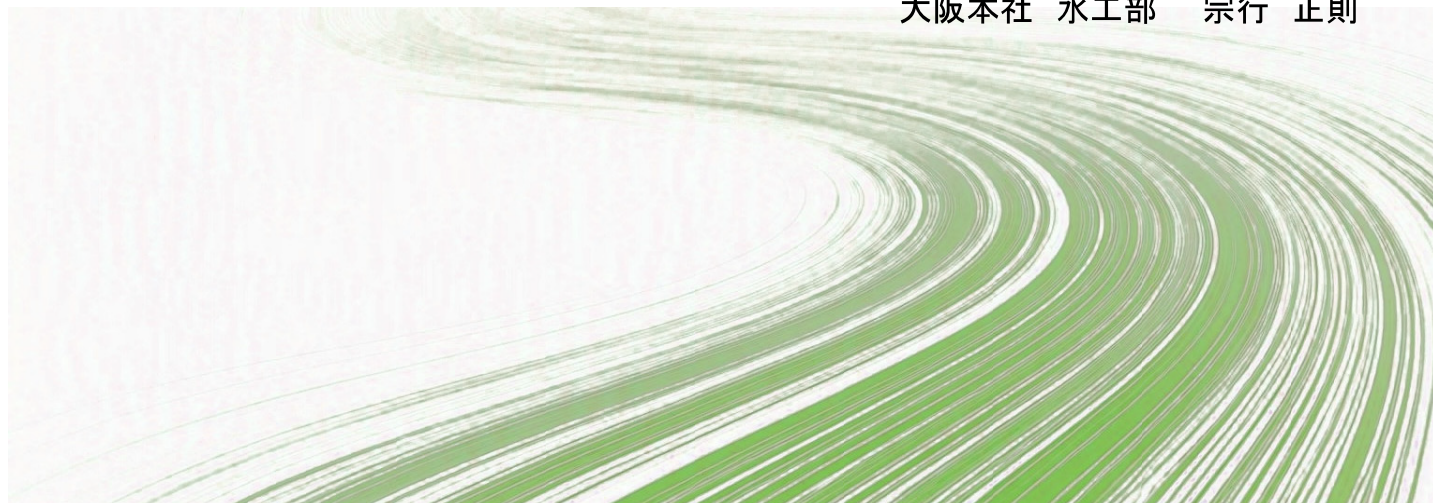


「河川計画の基礎」

株式会社 建設技術研究所
大阪本社 水工部 宗行 正則



研 修 内 容

1. 河道計画の基本

- 1.1 河道とは
- 1.2 河道の横断形
- 1.3 河道計画検討フロー

2. 河道の縦横断計画

- 2.1 縦横断計画の考え方
- 2.2 横断計画
- 2.3 縦断計画

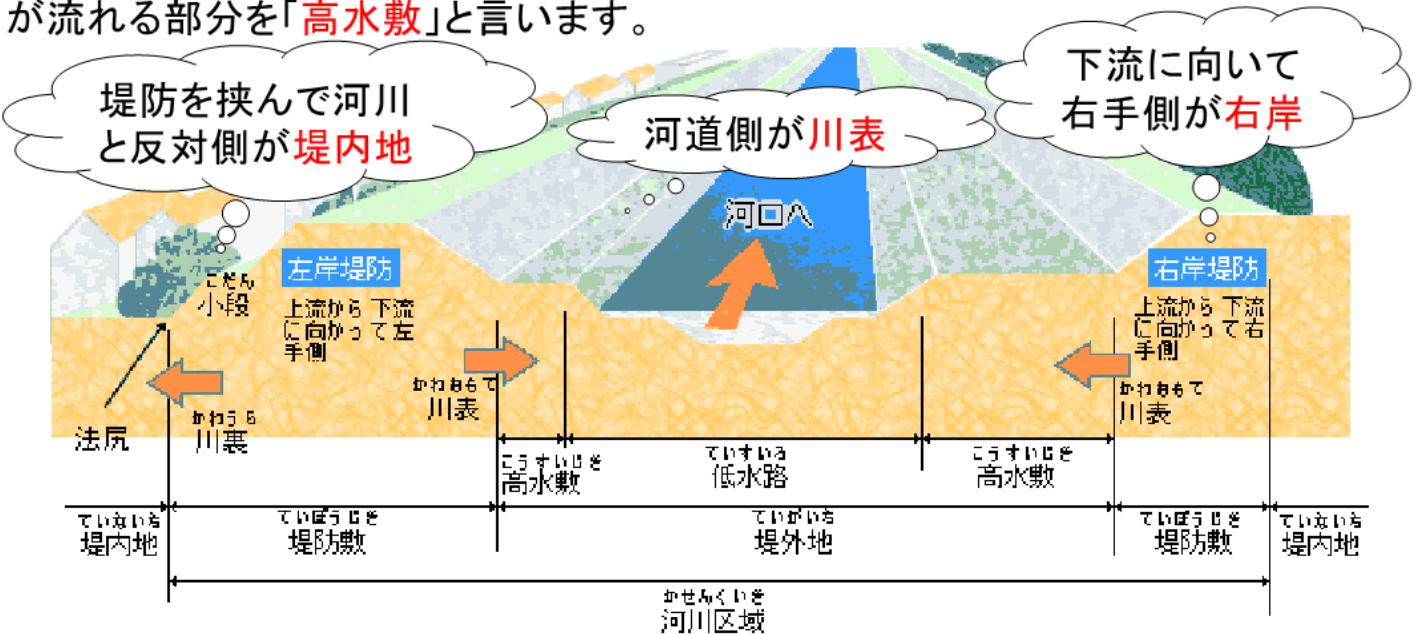
3. 護岸設計

- 3.1 護岸の種類
- 3.2 護岸の構成
- 3.3 護岸の設計フロー
- 3.4 設計条件
- 3.5 法覆工
- 3.6 基礎工
- 3.7 根固め工

1 河道計画の基本

1.1 河道とは

●河川の流水が流れ下る部分で、通常は堤防又は河岸と河床で囲まれた部分と言います。河道のうち常に水が流れる部分を「低水路」、高水時(洪水時)のみ水が流れる部分を「高水敷」と言います。



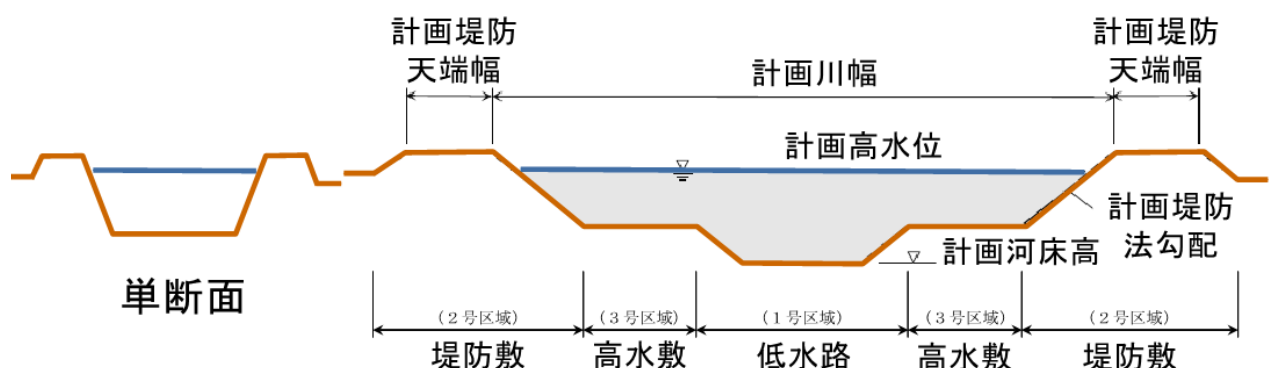
出典)最上川電子大辞典, 山形河川国道事務所 <http://www.thr.mlit.go.jp/yamagata/river/enc/index.html>

2

1 河道計画の基本

1.2 河道の横断形

- 単断面: 高水敷がなく、水位による水面幅の大きな変化がない断面形状
 - 複断面: 高水敷があり、水位により水面幅が大きく変化する断面形状
(平常時は低水路を水が流下、洪水時のみ高水敷に冠水)
- ⇒ 平常時と洪水時の流量の差が大きい河川では、複断面の河道が安定
⇒ 単断面が採用されることが多い河川…急流河川で高水敷を造成しても維持できない河川、流量規模の小さい河川、等

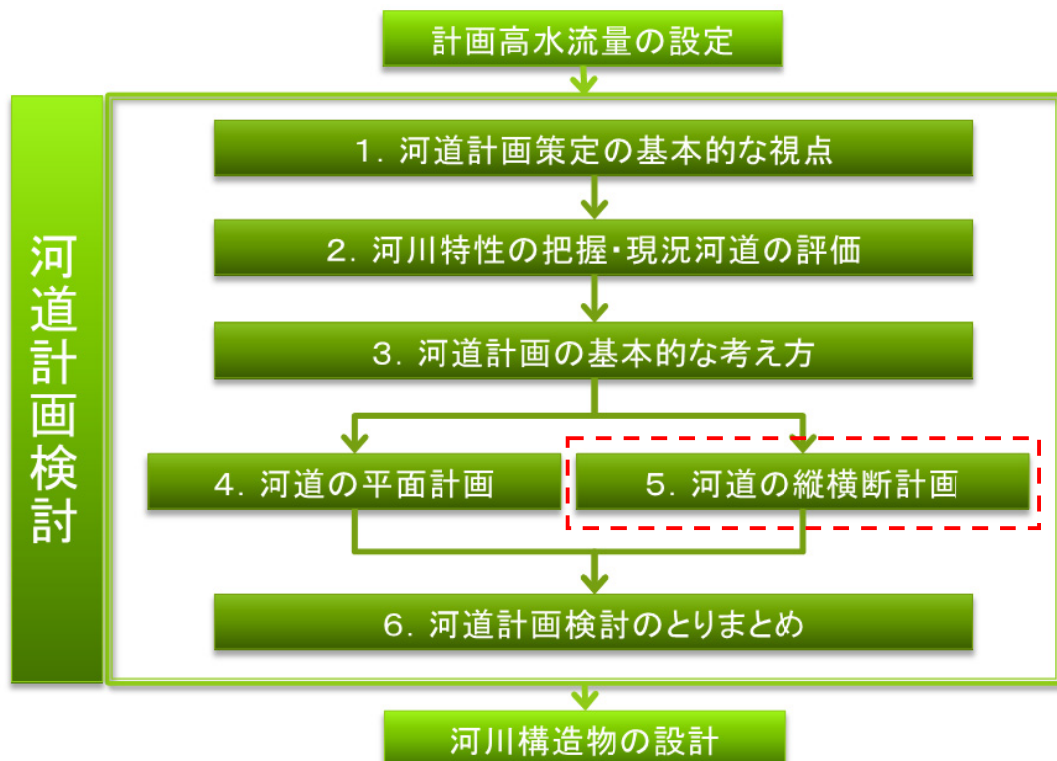


複断面と各部の名称

3

1 河道計画の基本

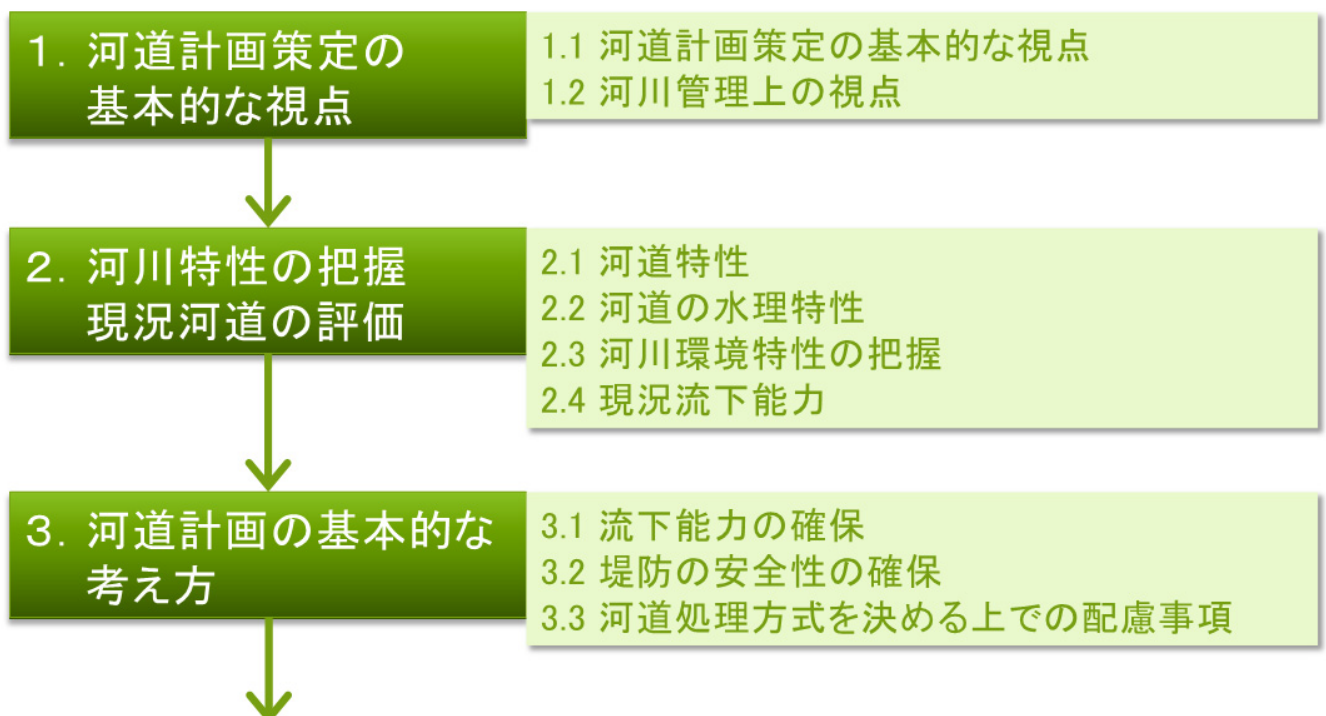
1.3 河道計画検討フロー



4

1 河道計画の基本

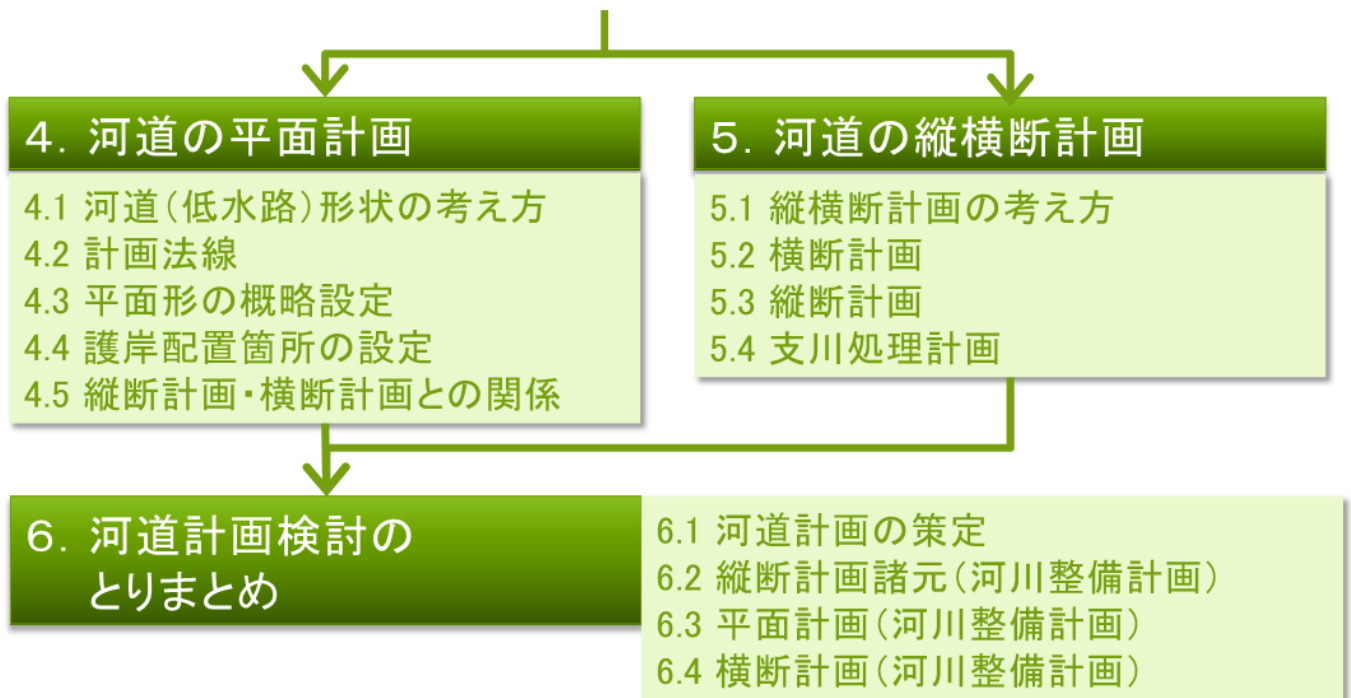
1.3 河道計画検討フロー



5

1 河道計画の基本

1.3 河道計画検討フロー



6

2 河道の縦横断計画

2.1 縦横断計画の考え方

① 縦横断計画の課題

- ・ 中小河川では、現況流下能力の数倍の流量を計画流量とすることがあり、**河積の大幅な拡大**が求められる。
- ・ 周辺の土地利用等で多くの制約を受けるため、限られた川幅のなかで**深く掘り下げる河道計画**となってしまう例が多い。



② 縦横断計画の基本的な考え方

- ・ 現在の河岸やみお筋が良好な環境を形成している場合には、**現況の横断形になり、それをできるだけ保全したうえで、改修後の流速をあまり増加させないこと。**

7

2 河道の縦横断計画

2.2 横断計画

① 横断形状を設定する際の留意点

流下能力の確保

周辺環境との一体性

河川環境への配慮

河道特性に応じた横断設定

② 河床幅

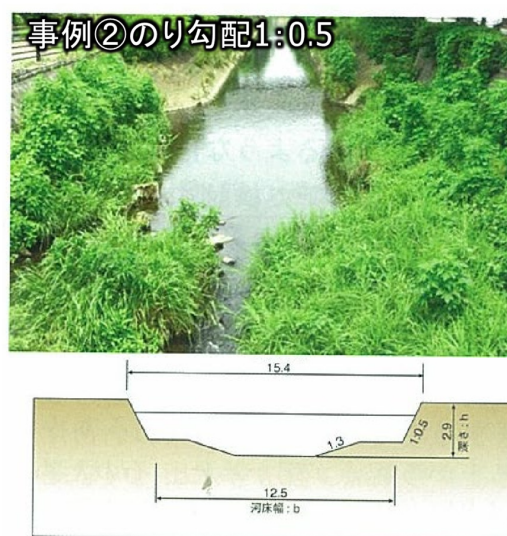
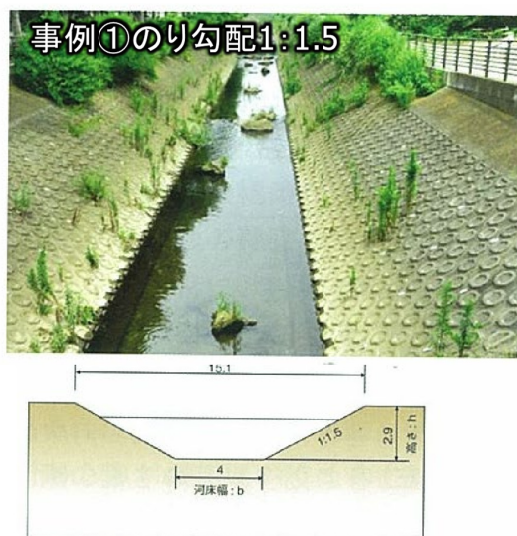
- 川らしい良好な自然環境を形成することや、河床に作用する流速を増大させて洗掘や河岸崩壊の進行を招かないようにするため、**河床幅を十分に確保**する。

8

2 河道の縦横断計画

2.2 横断計画

- 川が自らの作用で環境を形成できるような**十分な河床幅を確保**することが重要。



川幅は①②ともに15m程度であるが、①の河床幅は4mしかなく、水際植生など自然は回復していない。

出典：多自然川づくりポイントブックⅢ
中小河川に関する河道計画の技術基準：解説
平成23年10月 （財）リバーフロント整備センター

9

2 河道の縦横断計画

2.2 横断計画

③ 河岸ののり勾配

- 川らしい景観を踏まえた横断形のあり方から検討すると、**河床幅が横断形高さの3倍以上確保できる場合は、2割以上ののり勾配を採用することが望ましい。**
- 2割ののり勾配とした横断形で河積を確保できない場合は、**河岸ののり勾配を5分程度に立てて河床幅を十分に確保する**(河床幅を十分に確保し、良好なみお筋が形成されるようにする)。

10

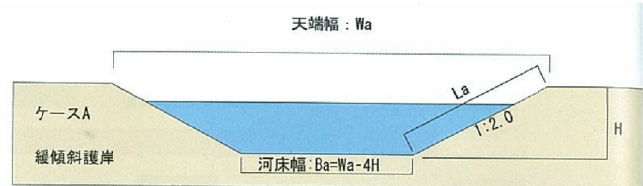
2 河道の縦横断計画

2.2 横断計画

【河床幅の確保と 河岸ののり勾配の設定手順】

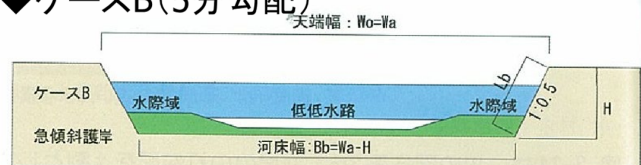
- 2割ののり勾配で流下能力を満足する横断を設定する(**河積の確保**)。
- そのうえで、2割ののり勾配の断面で十分な河床幅を確保できない場合には、法肩から河岸ののり勾配を5分程度に立てて、**河床幅を確保する**。

◆ケースA(2割勾配)



- 天端幅に比べて河床幅が狭い。
- 流水部が固定され、流れが均一となり水際植生が回復しにくい。

◆ケースB(5分勾配)



- ケースAと比較すると、河床幅を広く確保できる。
- 必要な河積を前提とすると、ケースAよりも川の深さを浅くでき、低低水路を設けて水際域を確保できるなどのメリットがある。

11

2 河道の縦横断計画

2.2 横断計画

④ 河床の掘削深

- 河床掘削を行う場合、**掘削深さは概ね60cm※を上限**とする。
※平均的な掘削深を示すものであり、地形や河床材料等の状況により増減する。
- 流下能力を確保するために60cm以上の掘削が必要な場合、河床掘削による河川環境の悪化や**掃流力の増大による河床低下などが懸念**される。このため、河床変動計算等により中長期的な河道変化の検討を行い、必要に応じて対策を講じる。

12

2 河道の縦横断計画

<掃流力とは？>

- 流れる水が川底の砂や石を動かそうとする力のこと

$$\tau = \rho g R I$$

- τ ：掃流力
- ρ ：水の密度
- g ：重力加速度
- R ：径深 → **川幅が水深より十分に大きい場合** $\equiv H$ (水深)
- I ：エネルギー勾配（等流では河床勾配にほぼ等しい）

→掃流力は、
・水深が大きいほど大きくなる。
・河床勾配が急なほど大きくなる。

13

2 河道の縦横断計画

< 掃流力とは？ >

- 流速との違いは下表のとおり。

項目	流速	掃流力
定義	水が流れる速さ	川底を押す力
単位	m / s	N / m ²
着目する現象	水の動き	河床への作用力
利用目的	洪水流況の把握	洗掘・河床変動の把握

- 流速が同じでも掃流力は違う。
ケースA : 水深1m、流速2m/s
ケースB : 水深5m、流速2m/s



ケースBの方が水深が深く、水の重量が大きいため、掃流力は大きくなる。

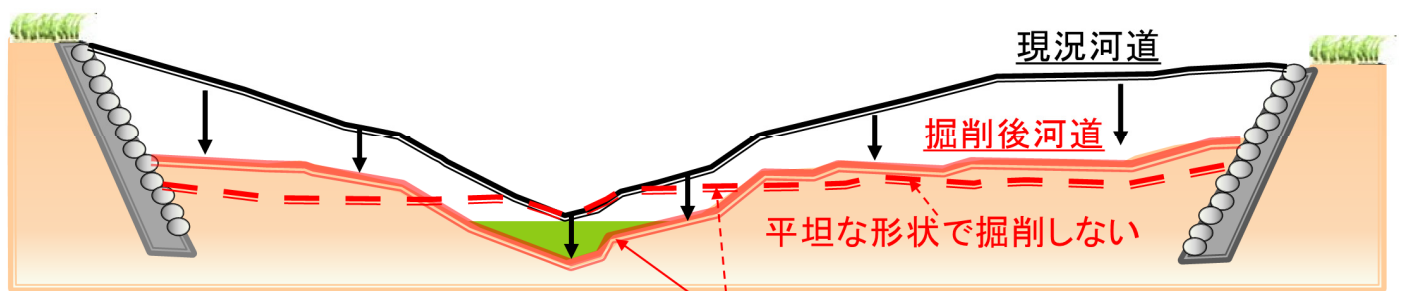
14

2 河道の縦横断計画

2.2 横断計画

【河床の掘削方法】

- 河床を掘削する場合は、平坦な河床とはせず、**河床に形成されたみお筋や縦横断方向の地形(瀬淵の凹凸)を平行移動**させ、元の形状に近い形で整備する。



平滑な形状で掘削すると、河床が平滑化してしまうため、現況のみお筋の形状に近い形で整備する。

15

2 河道の縦横断計画

2.2 横断計画

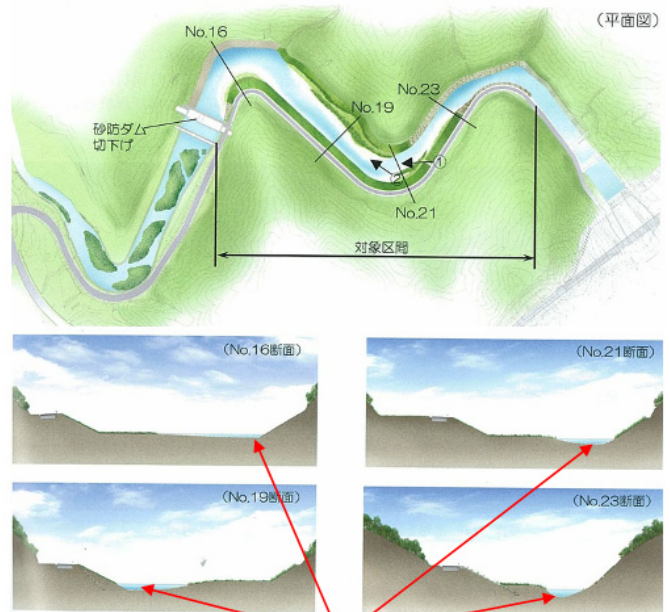
⑤ 河道掘削による影響

川幅を広くすると掃流力が小さくなり、以下に示すような懸念が生じる。

- **堆積が進行**して、流下能力が低下
- **河床が固定化**して、多様な生物環境の形成が見込めない
- **植物が再繁茂**して、維持管理負担が増大



河床材料と平均年最大流量時の掃流力との関係より、河床が移動するかチェックを行う。



河床が動かなくなる可能性がある場合は、より慎重にみお筋を含む横断形状を設定する。

2 河道の縦横断計画

2.3 縦断計画

① 計画高水流量の安全流下

- 計画高水位以下の水位で計画高水流量を安全に流下させる。

② 上下流間の連続性の確保

- 洪水時の流速や掃流力を現況より増大させない。

③ 安定河床勾配の設定

- 河道特性に十分配慮し、安定的な河道となる河床勾配の設定を行う。
- 現況の河床勾配を尊重し設定する。



原則として床止め等の横断工作物を採用しない。

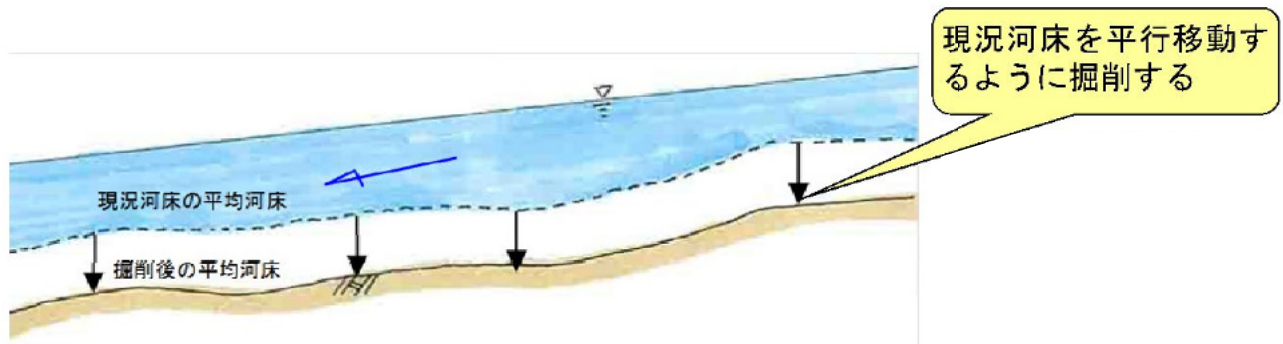


床止め設置の事例

2 河道の縦横断計画

2.3 縦断計画

- 掘削を行う場合には、現況の河床形態等を変更しないよう、平均河床高による縦断形はほぼ**平行移動するように検討**する。



河床の掘り下げ方(縦断形)

出典:[参考資料]中小河川に関する河道計画の技術基準について
平成20年3月国土交通省河川局

18

3 護岸設計

3.1 護岸の種類

① 堤防護岸

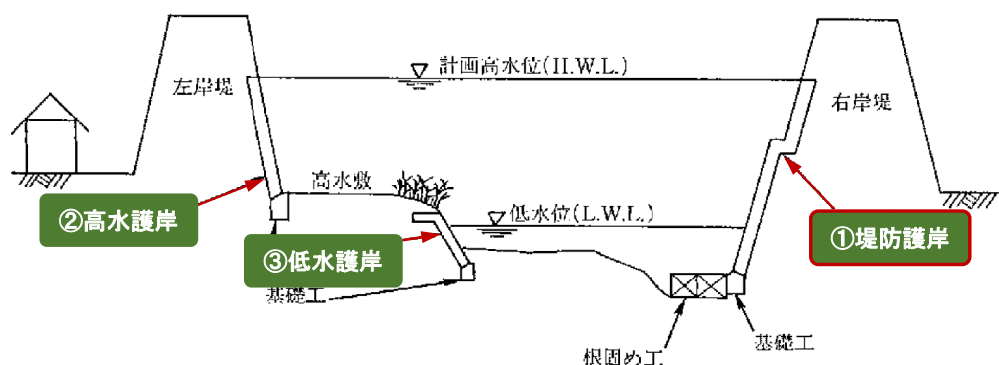
単断面河道や高水敷幅が狭い複断面河道で、堤防と低水路河岸を一体として保護する護岸

② 高水護岸

複断面河道で高水敷幅が十分あるような箇所の堤防を流水その他から保護することを目的として設置する護岸

③ 低水護岸

低水路河岸の侵食を防止するために設置される護岸



19

3 護岸設計

3.2 護岸の構成

護岸は以下の主要構造を基本に構成されている。

① 法覆工

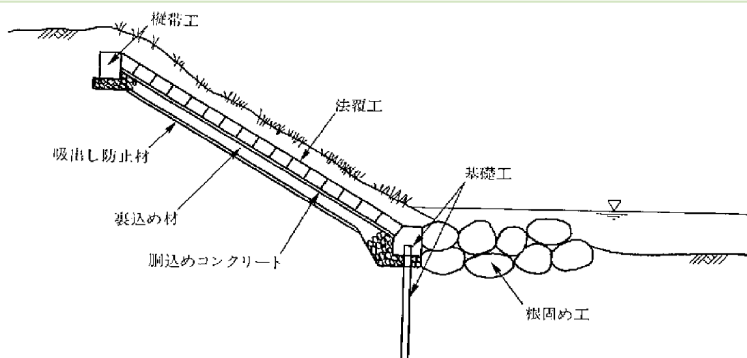
流水、流木などに対して安全となるよう堤防および河岸法面を保護する構造物

② 基礎工

法覆工の法尻部に設置し、法覆工を支持する構造物

③ 根固め工

流水による急激な河床洗掘を緩和し、基礎工の沈下や法面からの土砂の吸出しなどを防止するために、低水護岸および堤防護岸の基礎工前面に設置される構造物

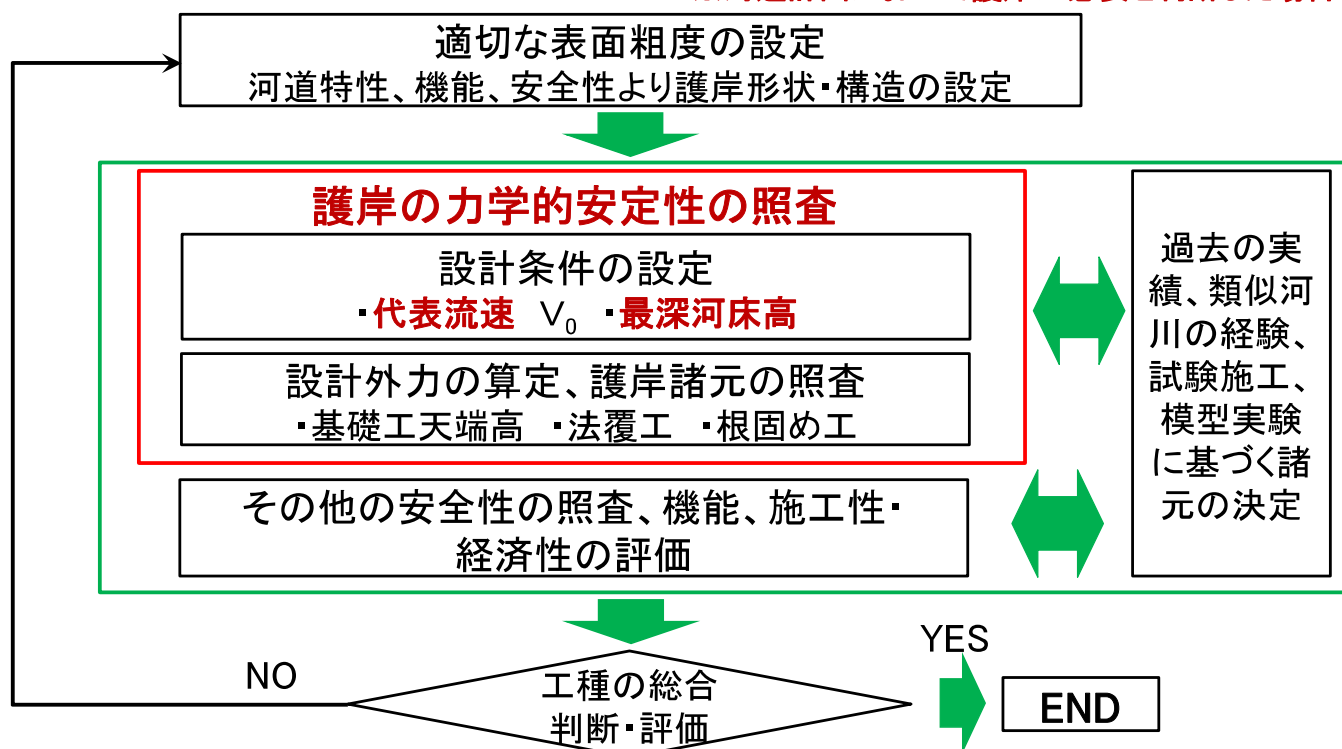


20

3 護岸設計

3.3 護岸の設計フロー

※河道計画において護岸が必要と判断した場合



21

3 護岸設計

3.4 設計条件

① 代表流速

- 対象とする護岸の近傍に作用する**流速(代表流速 V_0)**を算定する。

【代表流速 V_0 の算定】

代表流速 V_0 は、マンシングの平均流速公式で求めた平均流速 V_m に補正係数 α を乗じて算定する。

(代表流速) $V_0 = \alpha \cdot V_m$

ここに、 V_0 : 代表流速 (m/s)
 V_m : 平均流速 (m/s)
 α : 補正係数

22

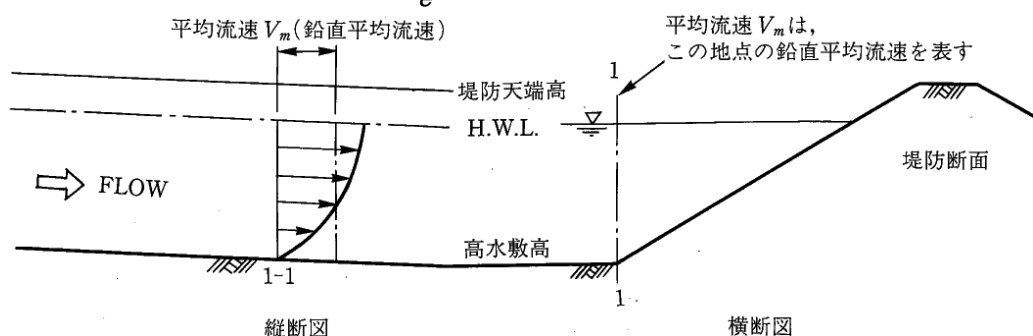
3 護岸設計

【平均流速 V_m の算定】

平均流速 V_m は、設計水深 H_d を用いて粗度係数、エネルギー勾配を評価して算定する。

(平均流速) $V_m = \frac{1}{n} \cdot H_d^{2/3} \cdot I_e^{1/2} (m/sec)$

ここに、 n : マニングの粗度係数
 H_d : 設計水深 (m)
 I_e : エネルギー勾配



23

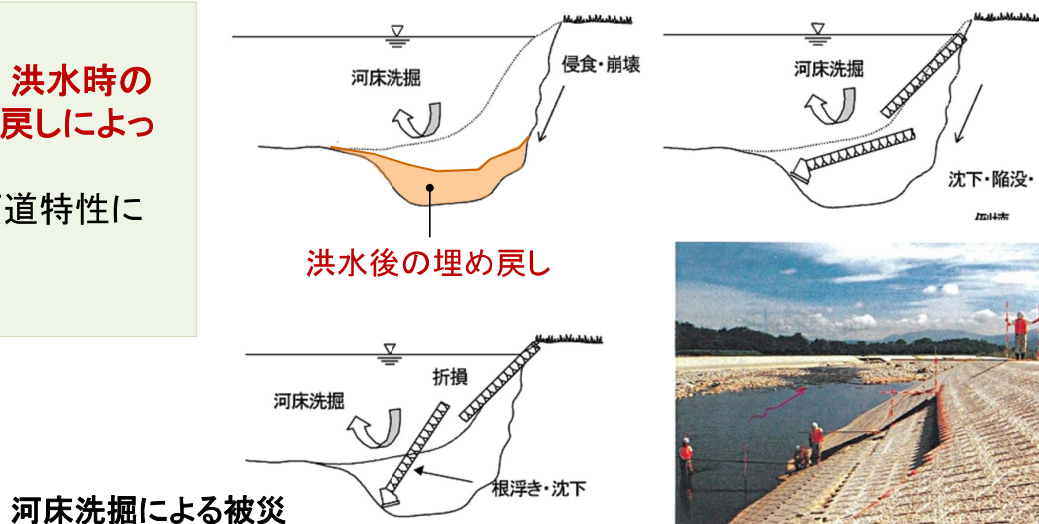
3 護岸設計

3.4 設計条件

② 最深河床高

護岸破壊の原因の多くは護岸基礎前面の河床低下によるものであり、最深河床高は護岸基礎高を決定するうえで重要な設計条件となる値である。

最深河床高は、洪水時の洗掘現象や埋め戻しによって変化する。
この形態は、河道特性によって異なる。



26

3 護岸設計

【最深河床高の評価方法】

以下の方法の中から、河床変動データの所在状況、河道特性、設計対象区間の重要性を勘案して評価する。

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(二次元河床変動計算等)

方法 4

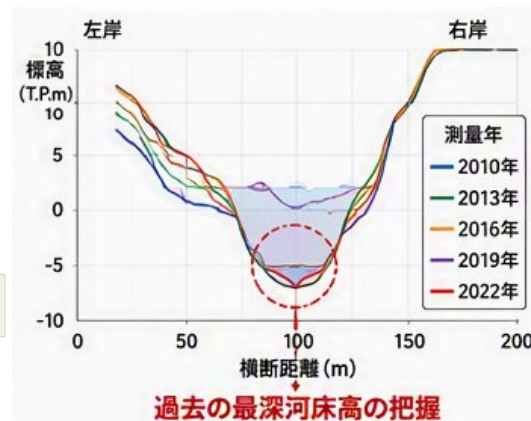
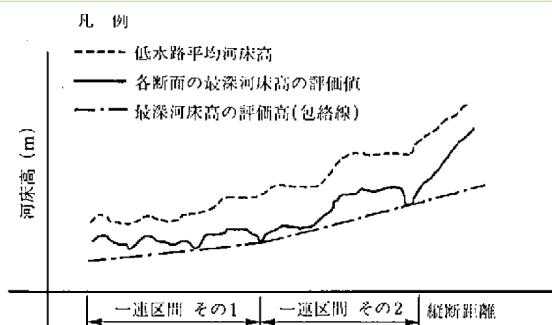
移動床模型実験による評価

27

3 護岸設計

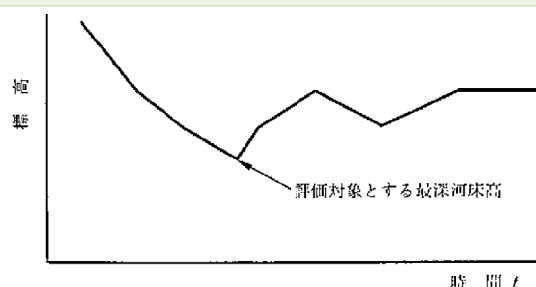
方法1 経年的な河床変動データからの評価

①直線河道で洗掘位置が縦断方向に移動する場合



定期横断図の重ね合わせで
経年的な河床の状況を把握

②湾曲部や水衝部で洗掘位置が移動しない場合



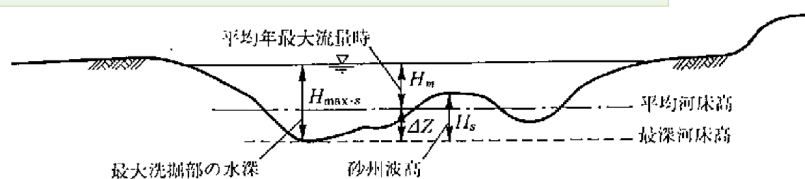
出典: 「改訂・護岸の力学設計法」, (財)国土技術研究センター H19.11」

28

3 護岸設計

方法2 既往研究成果からの評価

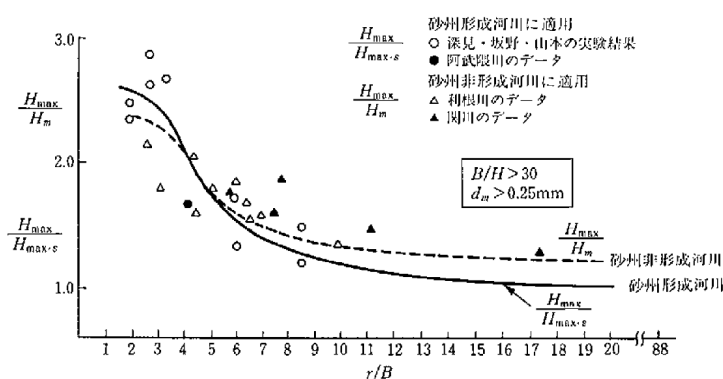
①直線河道: 砂州波高から評価



$$H_{\max \cdot s} / H_m = 1 + 0.8 H_s / H_m$$

$H_{\max \cdot s}$: 最大洗掘部の水深(m)
 H_m : 平均年最大流量時の平均水深(m)
 H_s : 砂州波高(m)

②湾曲河道: 湾曲半径・川幅比(r/B)から評価



出典: 「改訂・護岸の力学設計法」, (財)国土技術研究センター H19.11」

29

3 護岸設計

方法3 数値計算による評価

流れの予測モデルと流砂の運動モデルを結合して数値計算により河床変動を評価する。

解析方法の適用性やパラメータの設定に関して十分な考慮が必要で**計算モデルの適合性の検証が必要**である。

方法4 移動床水路模型実験による評価

河道計画 upstream 特に重要な区間の場合には、模型実験を用いることが多い。

実河川の**河床材料が砂である河川の模型実験は相似性に課題**がある。



移動床模型実験

出典：「改訂・護岸の力学設計法」(財)国土技術研究センター H19.11」

30

3 護岸設計

<最深河床高を評価するうえでの留意点>

- 最深河床高を評価するにあたっては、**直線区間であっても交互砂州が見られる場合、砂州の移動も考慮することが必要**である。

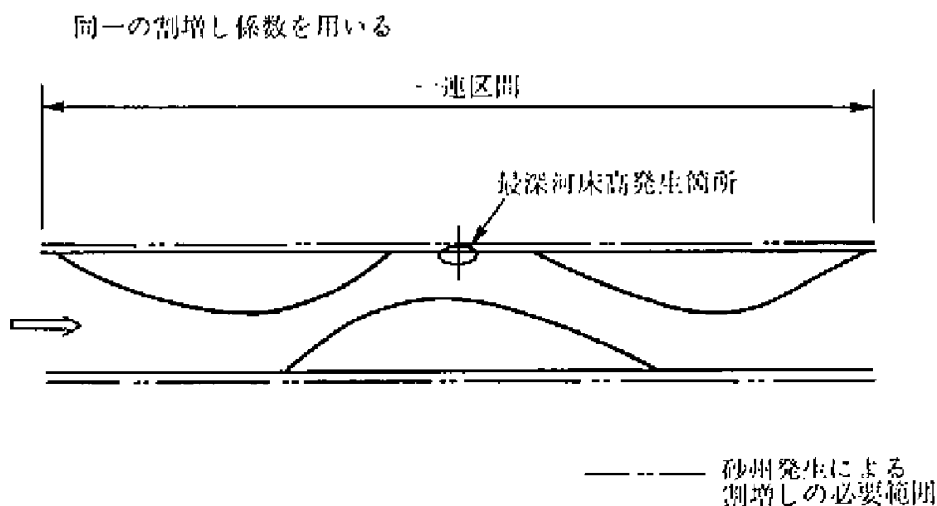
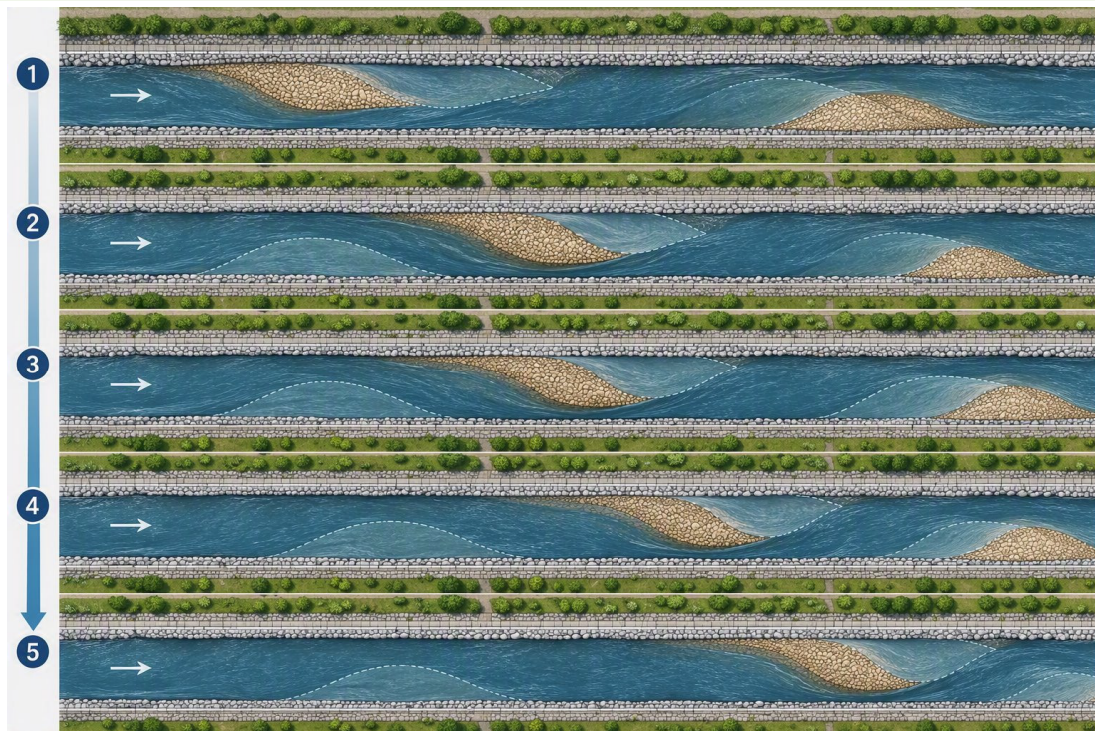


図 4-5 直線河道低水路の補正

31

3 護岸設計

- 砂州の発達・移動に伴い、みお筋の位置および局所洗掘位置が変動する。



32

3 護岸設計

3.5 法覆工

- 法覆工は、**設計流速等の外力**、被災原因、河川の規模、河川環境・景観等に加え、素材や経済性、施工性等を**総合的に勘案**して決定する。

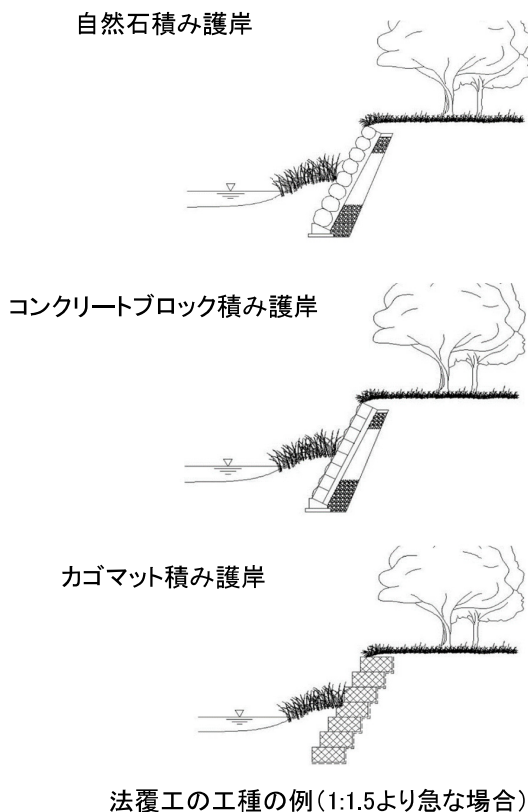
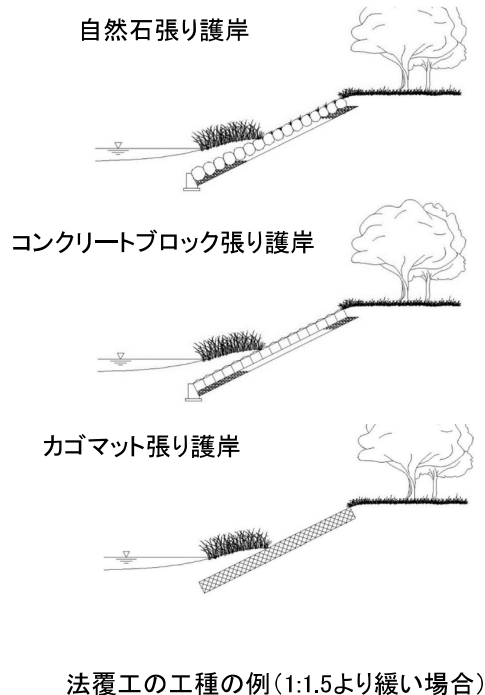
- 法覆工は、破壊要因（流体力、土圧・水圧）に応じて安定性を照査する。破壊要因と法勾配の関係は以下のとおりである。

法勾配	破壊要因
1 : 1.5より緩い場合	流体力
1 : 1.5より急な場合	土圧・水圧

33

3 護岸設計

3.5 法覆工



34

3 護岸設計

<護岸を必要とする流速>

堤防が植生に覆われた状態に対応した流速値として、堤防法尻部の**鉛直平均流速**が**2.0m/s程度(張芝の耐流速)**よりも大きくなる箇所を目安とする。

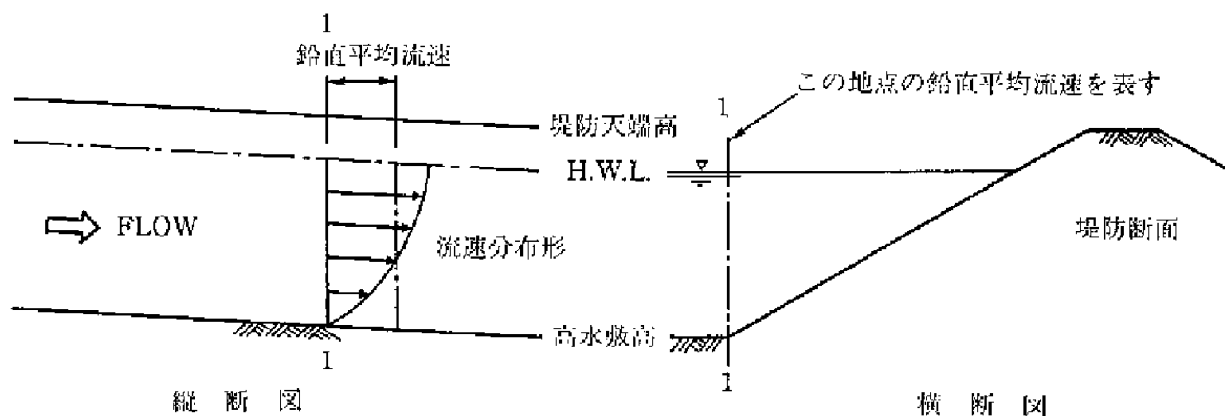


図 2-6 堤防法尻位置の鉛直平均流速

35

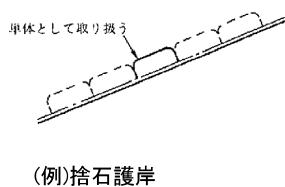
3 護岸設計

法覆工は、流体力、土圧・水圧の外力条件に対して安定性を確保できるようモデルを設定して照査する。

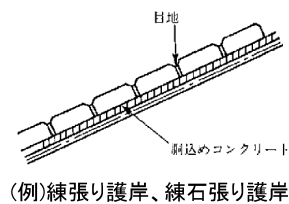
法覆工の構造モデル①

NO	破壊要因	破壊形態	設置状態	構造モデル
①	流体力	滑動	単体	「滑動—単体」モデル
②	流体力	滑動	群体	「滑動—群体」モデル
③	流体力	めくれ	単体	「めくれ」モデル
④	流体力	掃流	一体性弱い	「掃流—一体性弱い」モデル
⑤	流体力	掃流	一体性強い	「掃流—一体性強い」モデル

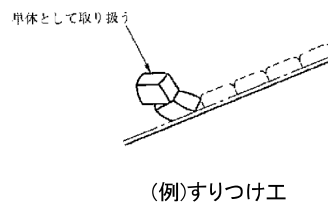
①滑動—単体モデル



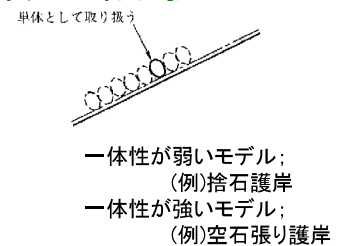
②滑動—群体モデル



③めくれモデル



④掃流—一体性弱いモデル ⑤掃流—一体性強いモデル



出典：「改訂・護岸の力学設計法」,(財)国土技術研究センター H19.11」

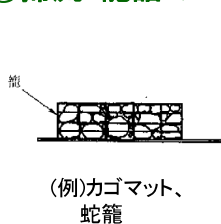
36

3 護岸設計

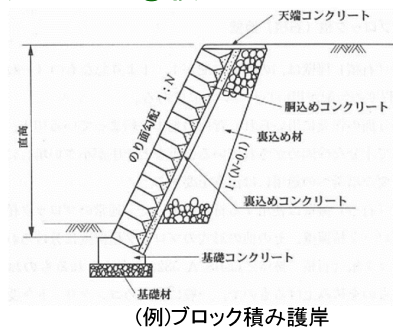
法覆工の構造モデル②

NO	破壊要因	破壊形態	設置状態	構造モデル
⑥	流体力	掃流	籠詰め	「掃流—籠詰め」モデル
⑦	土圧・水圧	滑動、転倒	—	「積み」モデル
⑧	土圧・水圧	滑動、転倒	—	「擁壁」モデル
⑨	土圧・水圧	水平変位	—	「矢板」モデル

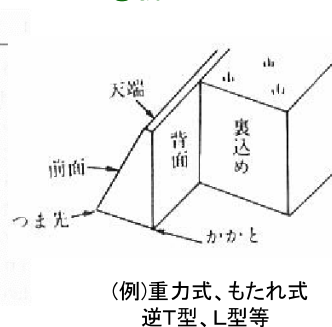
⑥掃流—籠詰めモデル



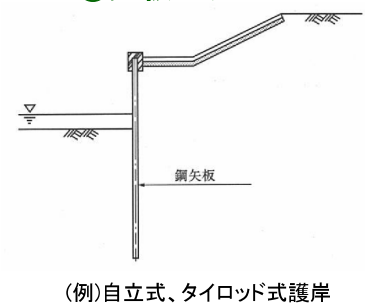
⑦積みモデル



⑧擁壁モデル



⑨矢板モデル



出典：「改訂・護岸の力学設計法」,(財)国土技術研究センター H19.11」

「積みモデル」と「擁壁モデル」は『道路土工—擁壁工指針』、「矢板モデル」では、『災害復旧工事の設計要領』に準じて照査する。

37

3 護岸設計

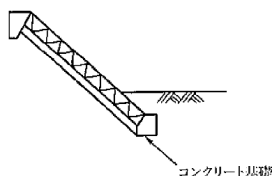
3.6 基礎工

- ・基礎工は、最深河床高、地盤条件を考慮して法覆工を支持できる構造とする。
- ・基礎工の設計では、**基礎工天端高の決定が重要**である。

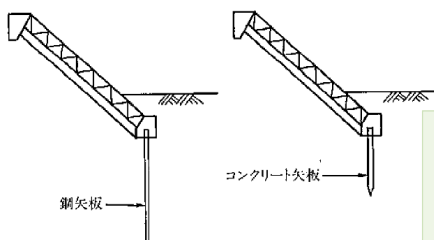
【基礎工の構造】

- ・基礎工の構造は、河道特性、地盤条件、施工条件、耐久性等を考慮して選定する。
- ・安定性の照査は適切な手法により、沈下、すべり、水平変位等について実施する。

①直接基礎工



②矢板基礎工



矢板基礎工は、水深が大きい場合、または仮締切に多大な費用がかかり不経済な場合に用いられる。

38

3 護岸設計

【基礎工の天端高】 ※護岸の根入れ

基礎工天端高は、**洪水時に洗掘が生じても護岸基礎の浮き上がりが生じないよう**、過去の実績や調査研究成果等を利用して**最深河床高を評価することにより設定**する。

根入れが深くなる場合には、根固工を設置することで基礎工天端高を高くする方法もある。

(1)改訂・護岸の力学設計法 (財)国土技術研究センター

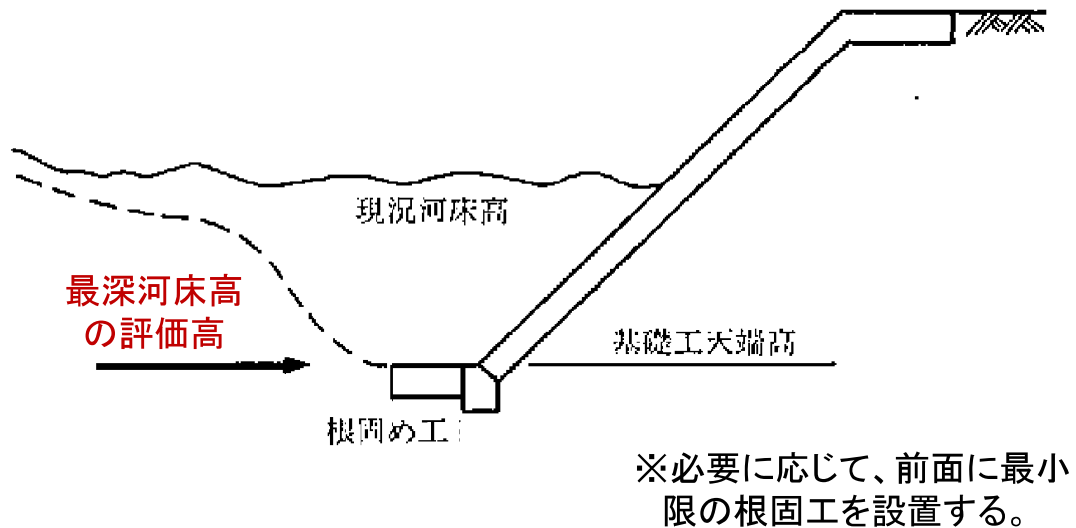
基礎工天端高の基本的な考え方は、次頁以降の4つである。

39

3 護岸設計

① 最深河床高の評価高を基礎工天端高とする方法

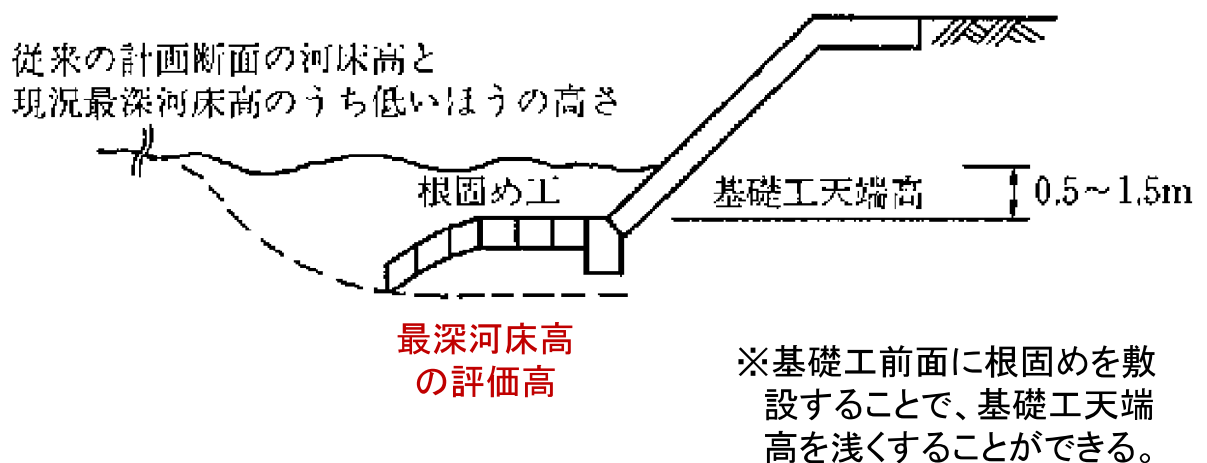
【基本の方法】



40

3 護岸設計

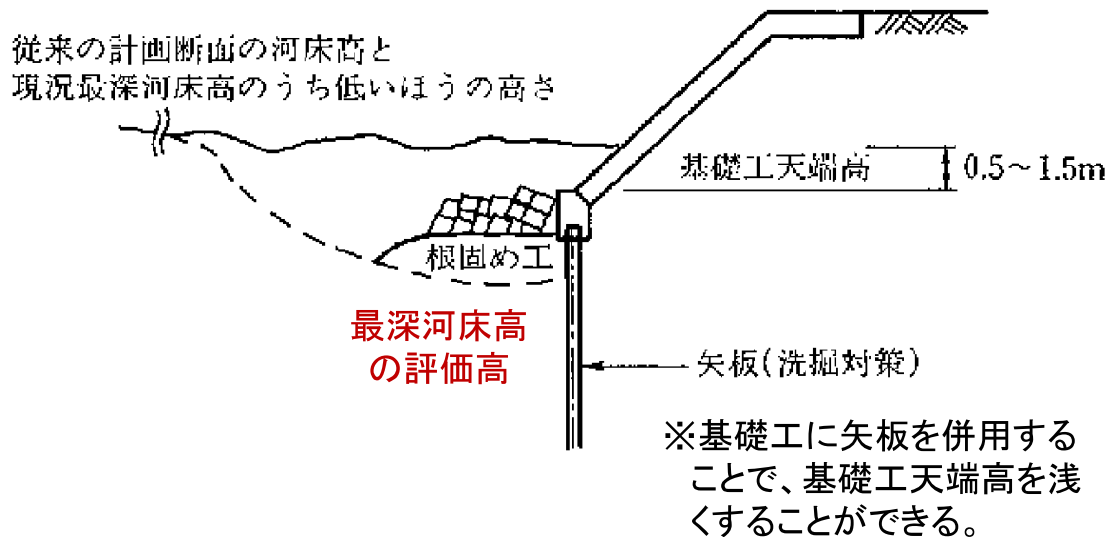
② 最深河床高の評価高よりも基礎工天端高を高くし、洗掘に対しては前面の根固工で対処する方法



41

3 護岸設計

- ③ 最深河床高の評価高より基礎工天端高を高くし、洗掘に対しては基礎矢板と前面の根固工で対処する方法

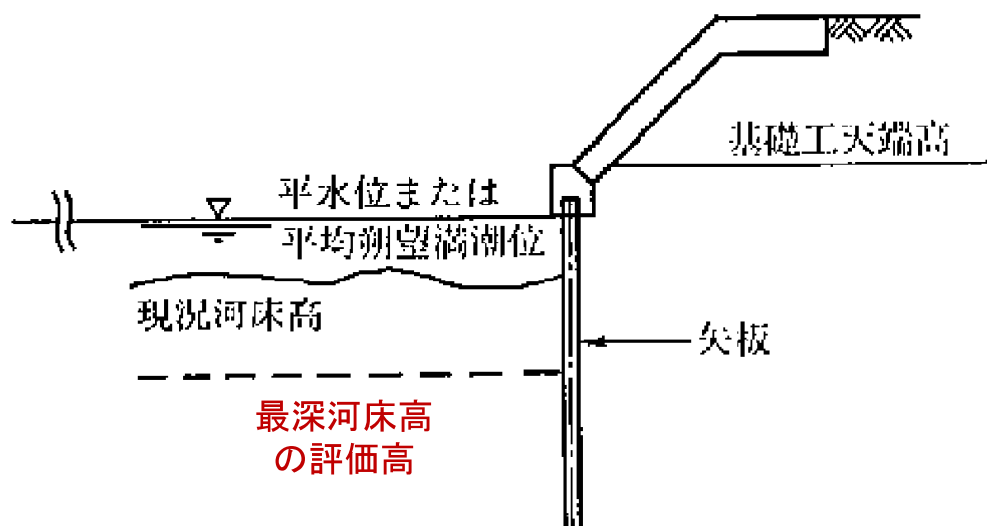


42

3 護岸設計

- ④ 基礎の根入れが困難な場合の設置方法

感潮区間など水深が大きく基礎の根入れが困難な場合に、基礎を自立可能な矢板で支える方法。



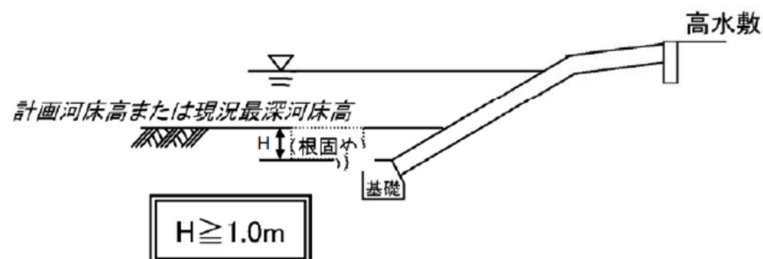
43

3 護岸設計

基礎工の天端高は、低水護岸では最深河床高より1.0m、高水護岸では高水敷より0.5mで設置している事例もある。

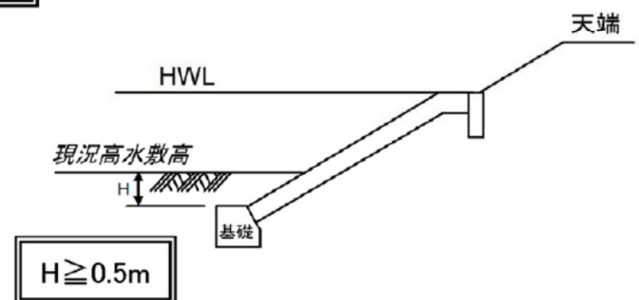
a. 低水護岸の場合

計画河床高および最深河床高のいずれか深い方より-1.0mとする。



b. 高水護岸の場合

現況高水敷高および計画高水敷高のいずれか深い方より-0.5mとする。

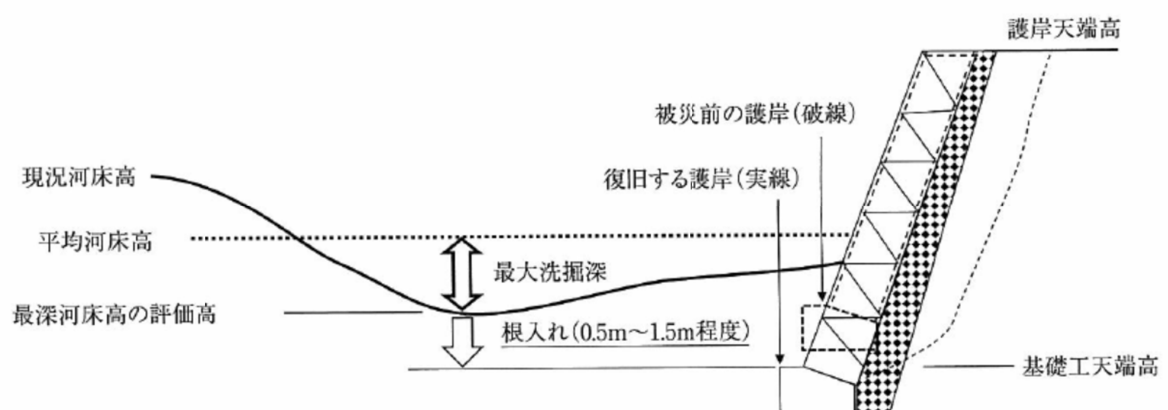


44

3 護岸設計

(2) 災害復旧工事(災害手帳より)

基礎工の天端高は、最深河床高の評価高から0.5～1.5m程度埋め込むものとする。通常の場合、小河川では0.5～1.0m、その他の河川、急流河川等では1.0～1.5mの事例が多い。



45

3 護岸設計

3.7 根固め工

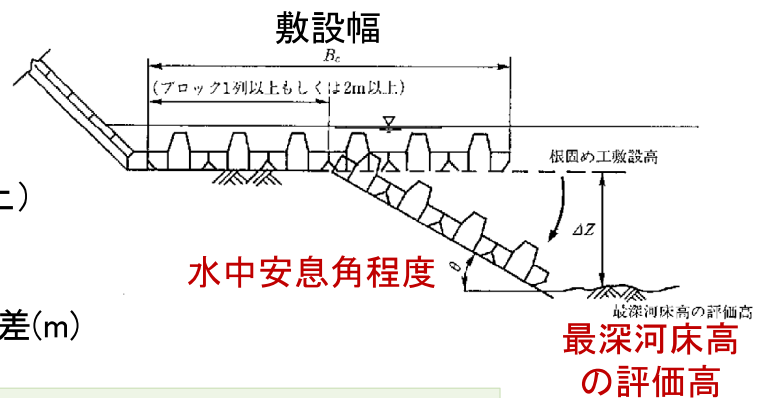
- ① 根固め工の敷設幅は、**護岸前面に河床低下が生じても最低1列もしくは2m程度以上の平坦幅を確保**する。
- ② 敷設幅 B_c は、根固め工敷設高と最深河床高の高低差 ΔZ より、以下より設定する。

$$B_c = L_n + \Delta Z / \sin \theta$$

L_n : 護岸前面の平坦幅(m)
(ブロック1列もしくは2m以上)

θ : 河床洗掘時の斜面勾配

ΔZ : 根固め工敷設高から
最深河床高までの高低差(m)

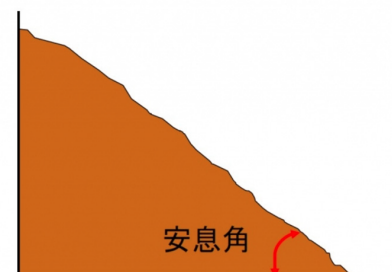


※斜面勾配 θ は、一般に河床材料の水中安息角程度の 30°

3 護岸設計

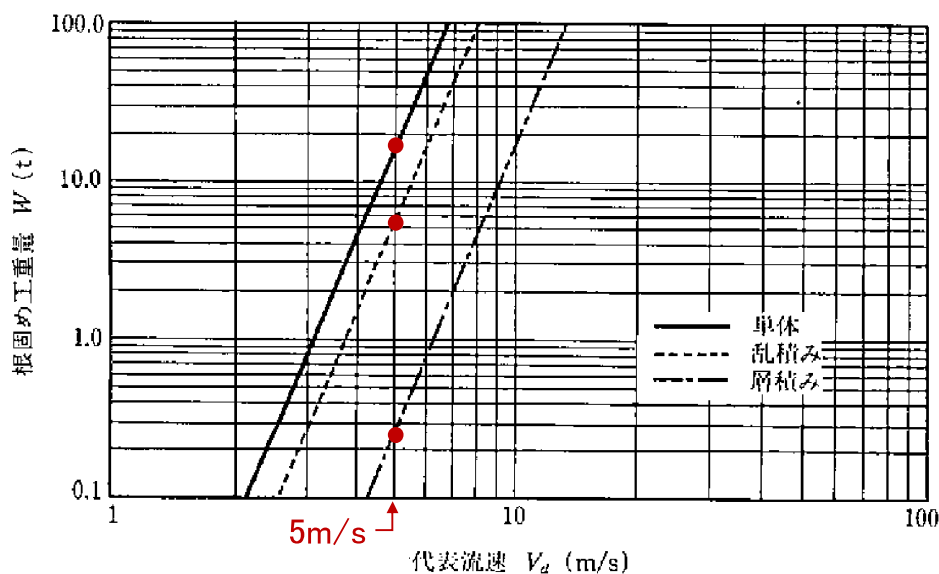
<水中安息角とは>

- 水中で土砂が**自発的に崩れず安定して存在できる最大の斜面角度**のこと。
- 一般的な地上の土砂では約35度前後であるが、水中では地上よりも小さくなる傾向にある。
- 設計を行ううえでの河床材料における水中安息角は、**安全を考えて一般に 30°** とすればよい。



3 護岸設計

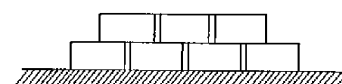
<参考:根固め工の必要重量(平面型ブロック)>



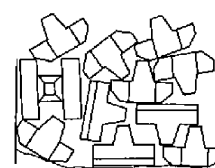
図参-38 平面型根固めブロックの流速と重量の関係の計算例



平面型ブロック例



層積み



乱積み

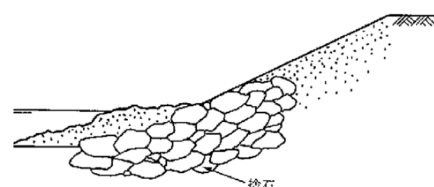
出典:「改訂・護岸の力学設計法」,(財)国土技術研究センター H19.11」

48

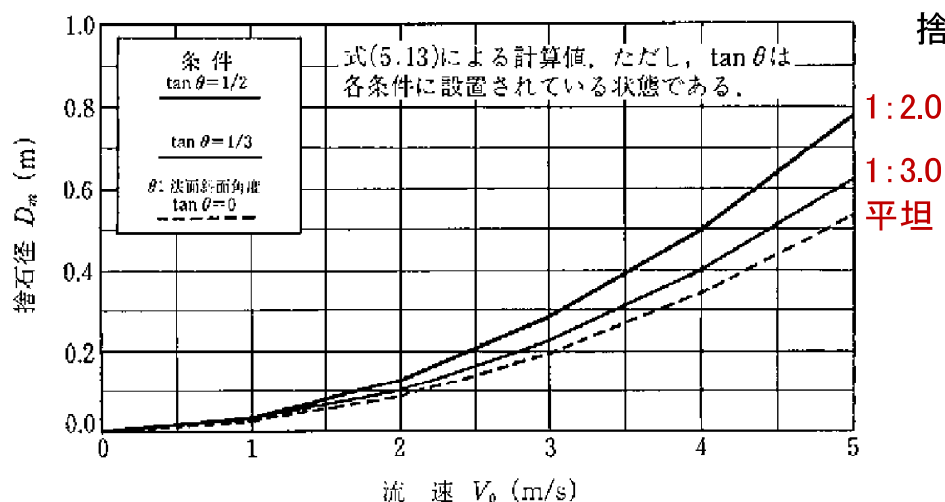
3 護岸設計

<参考:捨石根固め工の必要径>

①捨石が自然石の場合



捨石根固工



図参-27 代表流速 V_0 (m/s) で流失しない捨石径 D_m (m) の算定 (材料の水中安息角自然石、 $\Phi=38^\circ$)

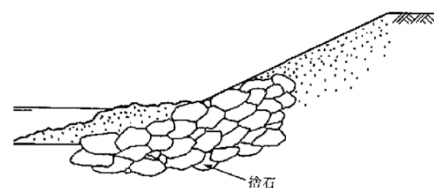
出典:「改訂・護岸の力学設計法」,(財)国土技術研究センター H19.11」

49

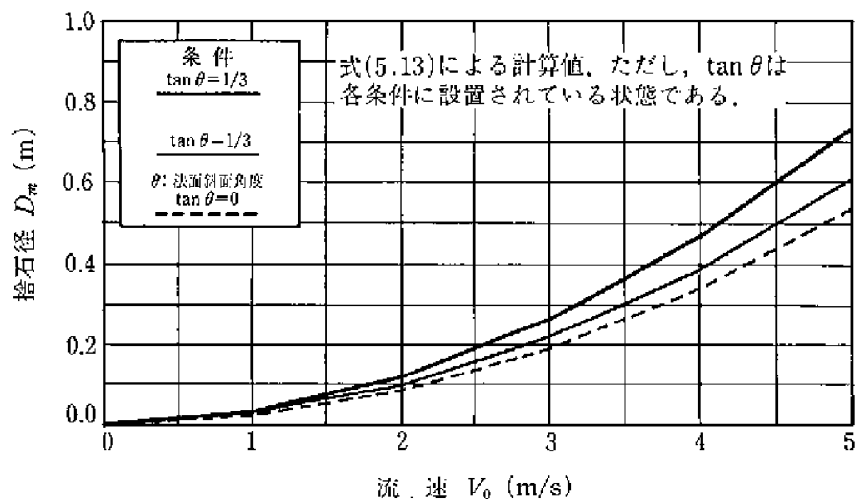
3 護岸設計

<参考:捨石根固め工の必要径>

②捨石が割石の場合



捨石根固工



図参-28 代表流速 V_0 (m/s) で流失しない捨石径 D_m (m) の算定 (材料の水中安息角, 割石 $\Phi=41^\circ$)

出典: 「改訂・護岸の力学設計法」, (財)国土技術研究センター H19.11