

第3章 護岸

3-1 護岸設計の基本

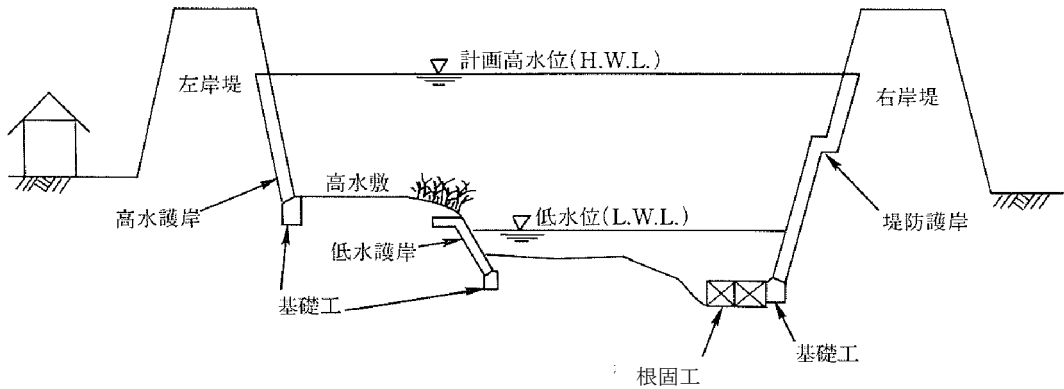
3-1-1 護岸設計の基本 [河川砂防(設I)第1章4.1]

護岸は、水制等の構造物や高水敷と一体となって、計画高水位以下の水位の流水の通常的作用に対して堤防を保護する、あるいは掘込河道にあっては堤内地を安全に防護できる構造とするものとする。また水際部に設置する護岸は、水際部が生物の多様な生息環境であることから、十分に自然環境を考慮した構造とすることを基本として、施工性、経済性等を考慮して設計するものとする。

【解説】

護岸は、堤防および低水河岸を、洪水時の侵食作用に対して保護することを主たる目的として設置されるものである。護岸には高水護岸と低水護岸、およびそれらが一体となった堤防護岸があり、図3-1-1に示すように構成されている。〔力学設計法1.3〕

- ① 堤防護岸： 単断面河道である場合、あるいは複断面河道であるが高水敷幅が狭く、堤防と低水河岸を一体として保護するよう設置されている護岸。
- 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、流水から堤防を保護することを目的として設置されている護岸。
- ③ 高水敷： 高水敷とは形状的に低水路との区別が可能であるとともに、その高さが平均年最大流量流下時の水位より高い箇所。
- ④ 低水護岸： 複断面河道において低水路河道の侵食を防止するために設置される護岸。



〔力学設計1.3〕

図3-1-1 高水護岸・低水護岸及び堤防護岸

護岸を設置する場合には、設置箇所の生態系や景観を保全・創出するような構造が求められる。多自然川づくりを実践する上で、護岸を生態系や景観の保全・創出に配慮したものとするには多くの手法があり、また、使用される素材も石、木材、植生等さまざまである。これらの構造を含む護岸を設計する場合にも、堤防や河岸の侵食防止機能を有することと、流水に対し安定な構造とすることが必要とされる。

【コラム】多自然川づくりの目標設定

〇一貫性をもった川づくりとするためには、調査・設計・施工・管理の各段階において、その方向性、道筋となる川づくりの目標を設定するとともに、その方向性を明確にし、目標達成のために引き継ぎが確実に行われることが望ましい。

【引き継ぎ事項】

- ・ 川の変化、良好な瀬・淵、ワンド等、生物および生息場所などに関する事項
- ・ 生物の生活史への配慮として施工時期に関する事項
- ・ 生物の生息・生育環境への配慮として施工方法に関する事項
- ・ 川の歴史・文化や景観に関する事項

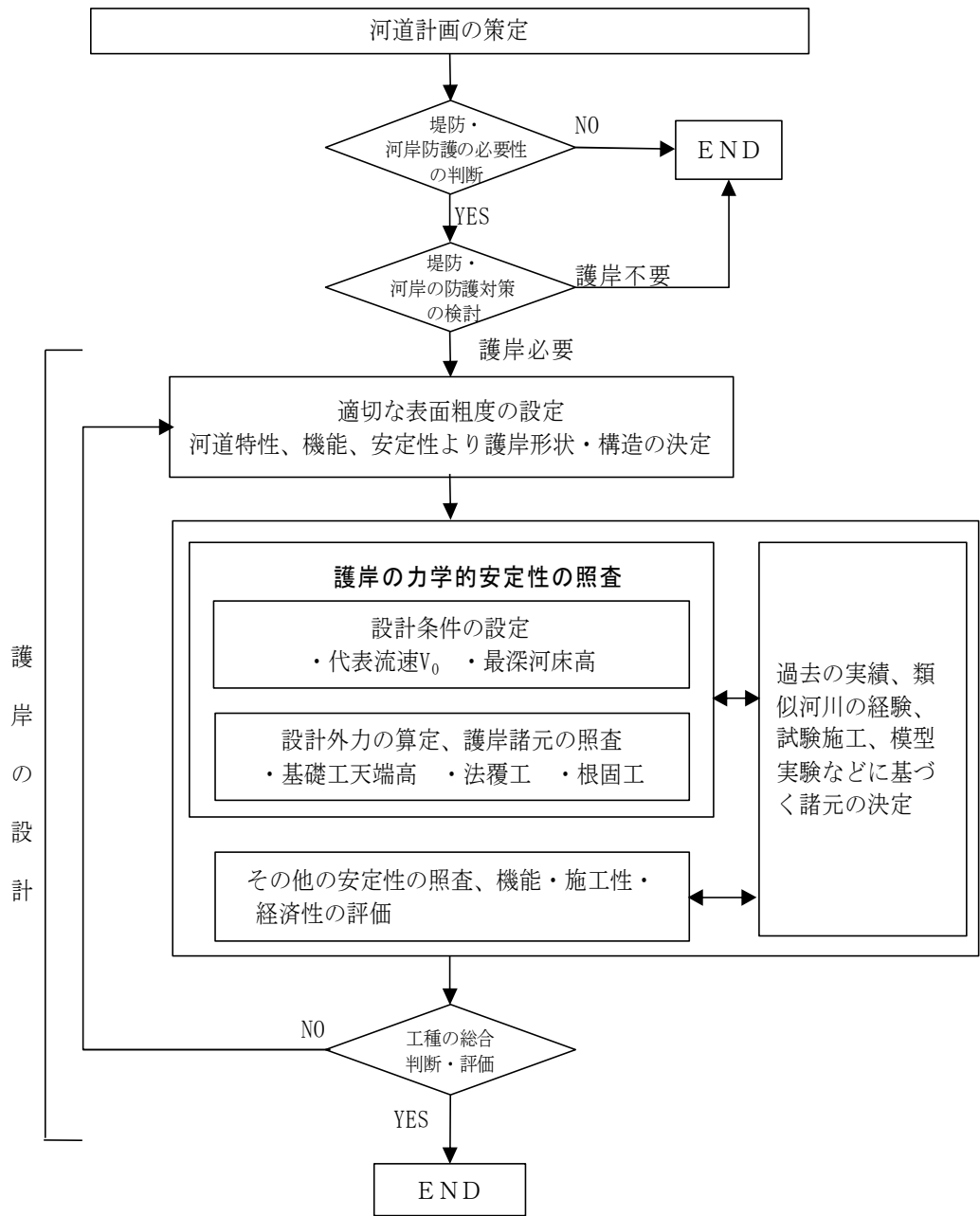
なお、貴重種等の生息あるいは地域の生態系保全上、または景観上配慮すべき場所等については、最新の「河川環境情報図」、「レッドリスト」、「レッドデータブック」等を活用して確認を行う。

1) 護岸の法線

- (1) 護岸の法線は、管理基図、河川整備基本方針、河川整備計画で定められているものであるが、実際に施工する際には、一連区間の現地踏査・測量等を行い十分に検討するものとする。
- (2) 流水は、低水位のみの検討ではなく高水時には流水が直進する傾向があるので、低水護岸の法線は、高水時の流向も考慮に入れるものとする。
- (3) 湾曲部は、曲線半径を小さくすると、局部洗掘する恐れがあるので、できるだけ半径を大きくするものとする。
- (4) 他の構造物付近での護岸法線は、偏流を起こさぬよう取付けをできるだけ滑らかにするものとする。
- (5) 堤防付近の護岸は、堤防断面内に入らないよう法線を定めることを原則とする。
- (6) 護岸は人工構造物であるため、設置範囲や構造によっては環境への影響が大きい。したがって河道計画、特に平面計画の段階で河岸侵食の発生位置、護岸工の設置の必要性について十分に検討しておくことが必要である。

2) 護岸設計の手順

護岸設計の一般的な手順は、以下のとおりである。



[力学設計 第3章]

図 3-1-2 護岸設計フロー

3-1-2 護岸各部の名称 [力学設計 1-3]

1) 護岸の構成

護岸は、のり覆工、基礎工、根固工等からなる構造物である。

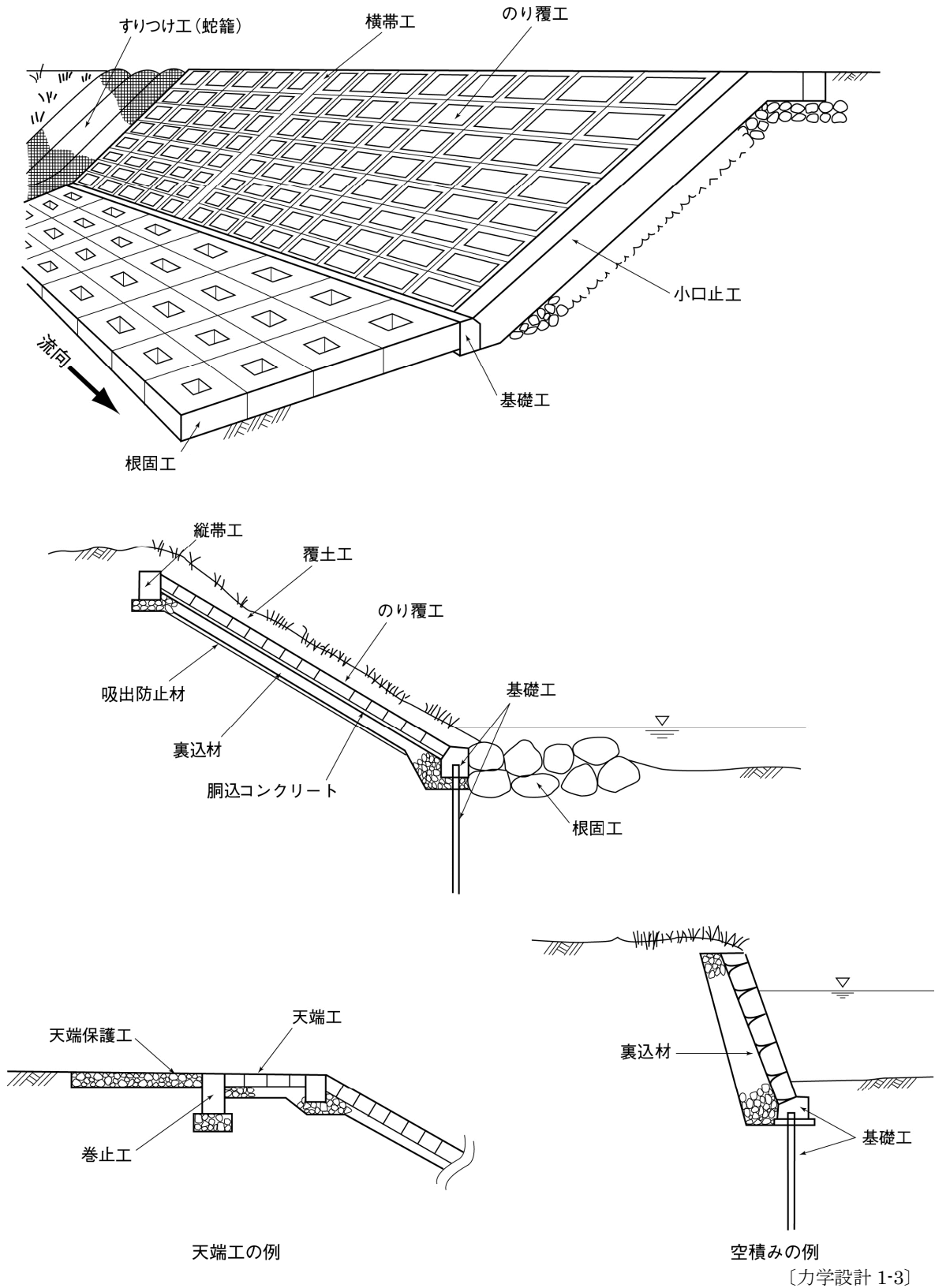


図 3-1-3 護岸の構成

2) 用語の説明

(1) のり覆工

流水、流木などに対して安全となるよう堤防および河岸のり面を保護するための構造物。

(2) 基礎工（のり留工）

のり覆工ののり尻部に設置し、のり覆工を支持するための構造物。

(3) 根固工

流水による急激な河床洗掘を緩和し、基礎工の沈下やのり面からの土砂の吸出しなどを防止するため、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。

(4) 天端工

のり覆工の法肩部の天端を、のり覆工と同様のもので保護する構造物。

(5) 天端保護工

低水護岸の上端部と背後地とのすりつけを良くし、かつ低水護岸が流水により裏側から破壊しないよう保護する構造物。

(6) 巻止工

低水護岸の天端工の外側に施工して、低水護岸が流水により裏側から侵食されて破壊しないよう保護する構造物。

(7) 縦帯工

護岸の法肩部に設置し、法肩部の施工を容易にするとともに護岸の法肩部の損壊を防ぐ構造物。

(8) 横帯工（隔壁工）

法覆工の延長方向の一定区間ごとに設け、護岸の変位・損壊が他に波及しないように絶縁する構造物。法勾配が 1:1 より急な場合は隔壁工と呼ぶ。

(9) 小口止工

のり覆工の上下流端に施工して、護岸を保護する構造物。

(10) すりつけ工

護岸の上下流に施工して、河岸または他の施設とのすりつけをよくするための護岸。

(11) 裏込材

護岸に残留水圧が作用しないようにのり覆工の裏側に設置される材料。原則として、積み護岸や擁壁護岸には設置する。

(12) 吸出防止材

流水の作用や、残留水圧などによって、堤体材料が吸出されることを防止するために、裏込材の背面に設置するシート等の材料。

(13) 覆土工

河川環境保全機能を期待し、護岸を発生土砂などの覆土材で覆う工法。施工時に植生するか、植生が石面に自然に繁茂することを期待するのが一般的。

3-1-3 護岸の工種 〔力学設計 2-5〕

護岸の設計に際しては、表 3-1-1 各工種の特徴を理解したうえで、表 3-1-2 の河道の各セグメントに設置される護岸の工種を参考として、設置箇所の河道特性に応じた工種を選択するとよい。

表 3-1-1 護岸の工種

	工 種		標 準 構 造	勾 配	特 徴
張 り 護 岸	練 張 り 工	練 石 張 り	割石又は玉石、控石 25～45 cm胴込めコンクリート施工	1:1.5～3.0 標準 1:2.0	・耐流速性は大きい。 ・緩勾配ののり面に適当である。 ・直高 5m程度までの事例が多い。 ・控長は積み護岸に比べ小さくできる。 ・枠を 10 cm程度突き出させる。
		練ブロック 張り	控長 30～40 cm、標準 35 cm 胴込コンクリート施工		
	工 コ ン ク リ ー ト 張 り	平 張 り コ ン ク リ ー ト	コンクリート厚 10～25 cm 目地 10～20m、植石、鉄鋼入りの場合もある。		
		法 枠 コ ン ク リ ー ト 張 り	枠寸法 20～30×30～40 cm 枠間隔 1～2.5m、中張りコンクリート厚 10～20 cm		
		空 石 張 り	控長 25～45 cm	1:1.5～2.5 標準 1:2.0	・耐流速性は練張工に比較して小さい。 ・直高 3m程度までの事例が多い。 ・排水性は良好。
積 み 護 岸	練 積 み 工	練 石 積 み	割石又は玉石、控長 35～45 cm 胴込コンクリート、総控長 35～65 cm	1:0.4～0.6 標準 1:0.5	・転石、流速に対する耐力が大きい。 ・胴込と一体化させることにより安定させ、急な法勾配の施工が可能である。 ・直高 5m程度までの事例が多い。 ・地震荷重を考慮しない。 ・控長が大きい。
		練ブロック 積み	控長 30～40 cm、標準 35 cm 胴込コンクリート、総控長 35～65 cm		
擁 壁 護 岸	擁 壁 護 岸		逆 T 型、L 型、重力式等の自立構造のコンクリート擁壁。	直立～1:0.2	・耐流速は大きい。 ・直立に近い形状でも可能な構造である。 ・躯体の変形が大きい。 ・地震荷重を考慮する。
矢 板 護 岸	矢 板 護 岸		鋼矢板及び鋼管矢板 自立又は、控え式。	直立	・耐流速性は比較的大きい。 ・地震荷重を考慮する。 ・機械施工が可能である。 ・しゃ水性が良好である。 ・腐食に注意を要する。
連 節 ブ ロ ッ ク 護 岸	大型連節ブロック張り		大型ブロックを鉄筋等で連結したもので普通連節ブロックよりも平面積、重量を大きくしたもの。	1:1.5～3.0 標準 1:2.0	・耐流速性は練張に比較して小さい。 （ただし、大型連節ブロックは耐流速性を増したものであり機械施工が可能である。） ・屈とう性が大きく、不陸断面等へすりつけに適する。 ・吸出防止材等の併用が必要である。 ・植生を併用する事も可能である。
	連節ブロック張り		厚 20～30 cm のブロックを鉄筋等で連結。		
籠 護 岸	蛇籠張り		鉄線蛇籠に石をつめたもの。	1:2.0～	・屈とう性がある。 ・鉄線の腐食や摩擦に注意を要する。 ・代表流速に対して移動しない中詰め石を用いる。 ・強い酸性または、高塩分濃度の河川、転石の多い河川以外で適用。 ・代表流速に対して移動しない中詰め石を用いる。 ・覆土等によって植生への配慮が可能である。 ・すべりやひっかかりなど親水面では注意が必要。
	布団籠張り		直法体の鉄線籠に石をつめたもの。		
	鉄線籠型護岸		籠の厚さは、30 cm、50 cm の 2 種類を標準とする。 マット状に敷設された鉄線籠に中詰め材を詰めたもの。		
そ の 他 護 岸	捨 石 工		混合粒径の石または砕石等を河岸法面に施工	1:2.0～	・耐流速性は石の大きさで決まる。 ・機械化施工が可能で、補修が容易。 ・排水性が良好である。 ・多自然工法の一つである。
	柳 枝 工		河岸法面を木柵で保護し、表面に柳枝を植えた工法	1:2.0～	・河岸流速の低減が可能である。 ・多自然工法の一つである。
	ブ ロ ッ ク マ ッ ト 工		河岸法面をブロックマットで覆う工法	1:2.0～	・適度な粗度をつけることができる。 ・プレキャスト化が可能である。 ・適当なめくれ防止工が必要である。
	ヨ シ		他の護岸工・根固工と合わせてヨシを生育させる工法		・多自然工法の一つである。
	ポ ー ラ ス コ ン ク リ ー ト 河 川 護 岸		多孔質コンクリートと充填材及び覆土材・吹付材・張芝から成るコンクリート護岸である。	1:1.5～	・護岸に植生が達成される ・現場打ちとプレキャスト 2 次整品がある。 ・要求性能に応じて、強度、空隙率を設計する。
	環 境 保 全 型 フ ロ ッ ク			1:0.3～	・従来のコンクリートブロック護岸と同等の耐侵食強度が期待できる。 ・治水機能、環境機能とも様々な性能を持つものがある。 ・景観機能に特化したもの、環境保全機能が小さいものもあるので、個別に判断する。

※個々の護岸についても多自然とする工夫がなされている。

〔力学設計 2-5〕

表 3-1-2 (1) 護岸工の河道 (セグメント) 分類別の設置工種 (高水護岸)

河 道 分 類 (d_R は代表粒径)	法覆工
セグメント 1 扇状地河川① $20\text{cm} < d_R$ (河床勾配: 1/60~1/50)	練石張り, 練ブロック張り, 大型連節型ブロック張り
セグメント 1 扇状地河川② $2\text{cm} < d_R < 20\text{cm}$ (1/100~1/400)	練石張り, 練ブロック張り大型, 連節型ブロック張り, 布団籠工
セグメント 2-1 自然堤防帯河川① $1\text{cm} < d_R < 3\text{cm}$ (1/400~1/2,000)	練石張り, 練ブロック張り 法枠コンクリート張り, 空石張り, 連節型ブロック張り, 覆土護岸, 布団籠工
セグメント 2-2 自然堤防帯河川② $0.3\text{cm} < d_R < 1\text{cm}$ (1/700~1/5,000)	練石張り, 練ブロック張り 法枠コンクリート張り, 空石張り, 連節型ブロック張り, 覆土護岸, 布団籠工
セグメント 3 デルタ河川 $d_R < 0.3\text{cm}$ (1/5,000~水平)	練石張り, 練ブロック張り 法枠コンクリート張り, 空石張り, 連節型ブロック張り, 空ブロック張り, 覆土護岸, 蛇籠工, 布団籠工, マット工

〔力学設計 2-5〕

表 3-1-2 (2) 護岸工の河道 (セグメント) 分類別の設置工種 (低水護岸および堤防護岸)

河 道 分 類 (d_R は代表粒径)	タイプ	法 覆 工	根固め工
セグメント 1 扇状地河川① $20\text{cm} < d_R$ (河床勾配: 1/60~1/50)	A	練石積み, 練ブロック積み 練石積み, 練ブロック張り	異形コンクリートブロック 改良木工沈床
	B	巨石, 蛇籠, 大型連節型ブロック 張り, 大型ブロック張り	巨石 (寄石工) 木工沈床
セグメント 1 扇状地河川② $2\text{cm} < d_R < 20\text{cm}$ (1/100~1/400)	A	練石積み, 練ブロック積み 練石張り, 練ブロック張り	異形コンクリートブロック 改良木工沈床 籠工
	B	巨石, 連節型ブロック張り 玉石張り, 蛇籠, 布団籠工, 柳枝 工	布団籠工 巨石 (寄石工) 木工沈床
セグメント 2-1 自然堤防帯河川① $1\text{cm} < d_R < 3\text{cm}$ (1/400~1/2,000)	A	練石張り, 練ブロック張り 法枠コンクリート張り	異形コンクリートブロック 改良木工沈床 捨石工
	B	空石張り, 連節型ブロック張り, 捨石工, 柳枝工, 蛇籠工, 布団籠 工	木工沈床 そだ沈床 蛇籠工 布団籠工
セグメント 2-2 自然堤防帯河川② $0.3\text{cm} < d_R < 1\text{cm}$ (1/700~1/5,000)	A	練石張り, 練ブロック張り 法枠コンクリート張り 矢板護岸, 柳枝工	異形コンクリートブロック 大型連節型ブロック 捨石工
	B	マット工, 蛇籠, 布団籠工 柳枝工, 捨石工, 連節型ブロック張り	そだ沈床 蛇籠工 布団籠工
セグメント 3 デルタ河川 $d_R < 0.3\text{cm}$ (1/5,000~水平)	A	練石張り, 練ブロック張り, 空石張り, 空ブロック張り, 蛇籠工, 布団籠工, 矢板護岸	異形コンクリートブロック 捨石工 そだ沈床
	B	捨石工, ブロックマット, 連節型ブロック張り	

注) タイプAは構造からみて安定性が高いと考えられる工種であり、タイプBはAに比べると相対的に安定性が低いと考えられる工種である。

〔力学設計 2-5〕

【コラム】セグメント、設計流速による護岸工法の目安（積みタイプ）

○のり覆工は、当該箇所の設計流速等の外力、河川の規模、河道状況等を総合的に勘案して選定する。「美しい山河を守る災害復旧基本方針」において、代表流速、及びセグメントに応じた工種の選定方法が記載されており、のり覆工の工種を選定する上での参考とするとよい。

護岸工法設計流速関係表（C表）

護岸の法勾配が1：1.5より急な場合に適用する工法例
（他工法等の施工実績を踏まえ、今後見直していくものとする。）

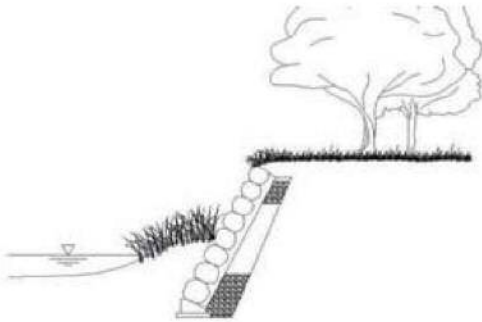
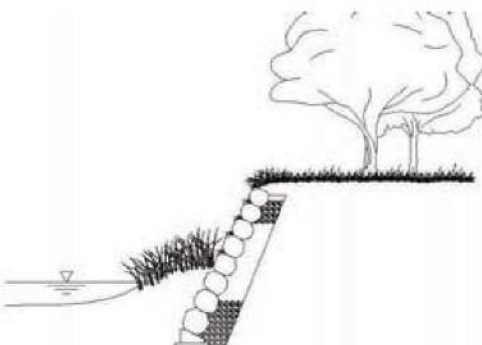
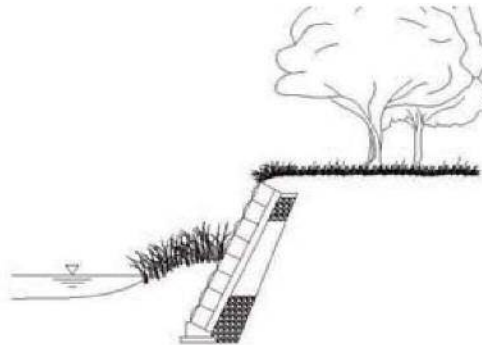
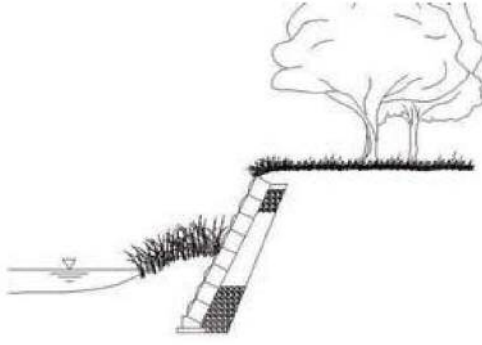
セグメント			復旧工法例			設計流速									
山間地河道	谷底平野 扇状地河道	自然増防帯 三角洲	素材	構造	工法	(m/s)									
						2	3	4	5	6	7	8	～		
			石系	自然石(練)	1 巨石積(練)	4～8									
					2 野面石積(練)	4～8									
					3 間知石積(練)	4～8									
				自然石(空)	4 巨石積(空)	5									
					5 野面石積(空)	5									
					6 間知石積(空)	5									
					7 連結自然石(空積)	8									
					8 アンカー式空石積	8									
			コンクリート系	コンクリート ブロック(練積)	9 コンクリート ブロック練積	4～8									
					10 ポーラスコンクリート ブロック練積	4～8									
				コンクリート ブロック(空積)	11 コンクリート ブロック空積	5									
					12 ポーラスコンクリート ブロック空積	5									
			かご系	かご(多段)	13 鉄製籠型多段積工	6.5									
					14 パネル枠工 (ダクトイルパネル)	4.5									
			木系	丸太格子	15 丸太格子 (片法枠工含)	4									
					16 木製ブロック	4									
				杭柵	17 杭柵	4									
					18 板柵	4									

※上表の適用範囲は目安であるため、設計流速に適用できる合理的な工法は積極的に採用して良い。
※復旧工法の留意事項を十分考慮し、工法を選定する。

注) 植生の復元を図るため、可能な範囲で残土を使うようにし、法肩や水際に覆土を行うこと

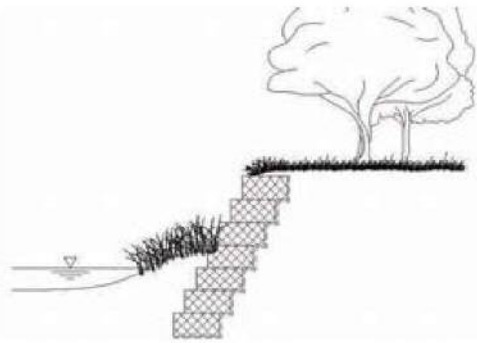
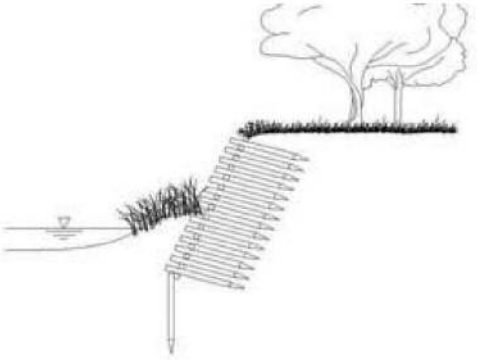
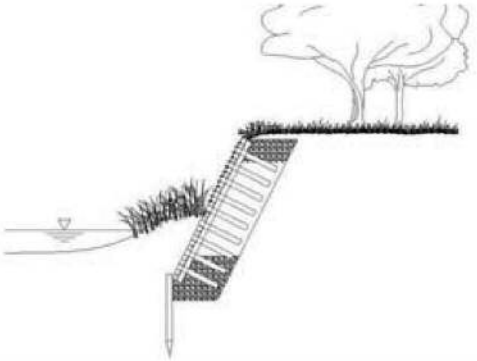
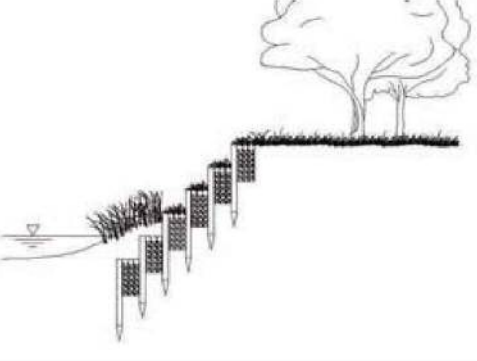
[美しい山河基本方針]

【コラム】石系・コンクリート系（積みタイプ）の工法概要

復旧工法例		工法の概要図	工法の特徴
石系	自然石（練積）		・野面石、間知石、雑割石、割石などを積み重ね、石のかみ合せによるせん断抵抗を増し、さらに胴込コンクリート等により石材相互の一体化を図った構造である。 ・自重により急勾配ののり面を保持する工法である。 ・現地石材の使用により、周辺景観に馴染みやすくなる。 ・深い地構造にすることで、空隙を持たせることができる。 ・石材を選べば、生物の移動経路に適したのり面の粗度も持たせることができる。
	自然石（空積）		・野面石、間知石、雑割石、割石などを積み重ね、石のかみ合せ等により石材間のせん断抵抗を増した構造である。 ・自重により急勾配ののり面を保持する工法である。 ・現地石材の使用により、周辺景観に馴染みやすくなる。 ・適度な空隙を持たせることができる。 ・適切な中込材を用いれば、透水性を持たせることができる。 ・石材を選べば、生物の移動経路に適したのり面の粗度も持たせることができる。
コンクリート系	コンクリートブロック（練積）		・コンクリートブロックを積み重ね、胴込コンクリート等によりブロック相互の一体化を図った構造である。 ・自重により急勾配ののり面を保持する工法である。 ・多種多様なものがあるので、景観性能や自然環境性能をきちんと評価する必要がある。 ・構造によっては景観や自然環境に配慮できる。
	コンクリートブロック（空積）		・コンクリートブロックを積み重ね、ブロックの突起や中込材、連結金具等によりブロック間のせん断抵抗を増した構造である。 ・自重により急勾配ののり面を保持する工法である。 ・多種多様なものがあるので、景観性能や自然環境性能をきちんと評価する必要がある。 ・構造によっては景観や自然環境に配慮できる。 ・透水性を持たせることができる。

〔美しい山河基本方針〕

【コラム】かご系・木系（積みタイプ）の工法概要

復旧工法例		工法の概要図	工法の特徴
かご系 木系	かご（多段積）		・鉄線で編んだ籠をのり面に設置し、籠の中に石を詰め、その上から蓋籠を被せた構造である。 ・自重により急勾配ののり面を保持する工法である。 ・空隙を持たせることができる。 ・透水性を持たせることができる。 ・転石が少ない河川や堤内地盤より低い河岸保護に用いる。 ・輪荷重がかかる箇所や有堤部での適用は控える。
	丸太格子		・丸太をのり面に打ち込み、格子状に組み上げた構造である。 ・丸太と土塊を一体化して河岸浸食の防止を図る工法である。 ・木材の使用により、周辺景観に馴染みやすくなる。 ・空隙を持たせることができる。 ・透水性・保水性を持たせることができる。 ・転石が少ない河川や堤内地盤より低い河岸保護に用いる。 ・輪荷重がかかる箇所での適用は控える。 ・木材の腐朽対策を行う必要がある。
	木製ブロック		・ブロック化した丸太格子を積み重ねて中詰め材を充填した構造である。 ・丸太と土塊を一体化して河岸浸食の防止を図る工法である。 ・木材の使用により、周辺景観に馴染みやすくなる。 ・空隙を持たせることができる。 ・透水性を持たせることができる。 ・転石が少ない河川や堤内地盤より低い河岸保護に用いる。 ・輪荷重がかかる箇所での適用は控える。 ・木材の腐朽対策を行う必要がある。
	杭柵		・木杭をのり面に打ち込んで柵をつくり、詰石した構造である。 ・木杭と詰石を組合わせて河岸を保護する工法である。 ・木材の使用により、周辺景観に馴染みやすくなる。 ・空隙を持たせることができる。 ・透水性を持たせることができる。 ・転石が少ない河川や堤内地盤より低い河岸保護に用いる。 ・輪荷重がかかる箇所での適用は控える。 ・木材の腐朽対策を行う必要がある。

〔美しい山河基本方針〕

【コラム】セグメント、設計流速による護岸工法の目安（張りタイプ）

護岸工法設計流速関係表（C表）

護岸の法勾配が1：1.5より緩い場合に適用する工法例
（他工法等の施工実績を踏まえ、今後見直していくものとする。）

セグメント			復旧工法例			設計流速									
山間地河道	谷底平野 扇状地河道	自然堤防帯 三角洲	素材	構造	工法	(m/s)									
						2	3	4	5	6	7	8	～		
			石系	自然石(練)	1 巨石張(練)	4～8									
					2 野面石張(練)	4～8									
					3 間知石張(練)	4～8									
				自然石(空)	4 巨石張(空)	5									
					5 野面石張(空)	5									
					6 間知石張(空)	5									
					7 連結自然石(空張)	4～8									
			コンクリート系	コンクリート ブロック張	8 コンクリートブロック張	4～8									
					9 ポーラス コンクリートブロック張	4～8									
					10 汰砕工	4～8									
				連節ブロック	11 連節ブロック	5									
					12 大型連節ブロック	5									
					13 ポーラス連節ブロック	5									
			かご系	蛇籠	14 植生蛇籠	5									
				かご(平張)	15 鉄線籠型平張り工	5									
				袋体	16 連結袋体張(礫)	5									
			木系	粗朶法枠	17 丸太格子 (片法枠工含)	4									
					18 粗朶法枠	4									
					19 粗朶柵工	4									
					20 木製格子工	4									
				杭柵	21 杭柵	4									
					22 板柵	4									
			シート系	ジオテキスタイル	23 ジオテキスタイル	3									
					24 植生マット	3									
				ブロックマット	25 ブロックマット	4									
					26 植石ネット	4									
			植生系	張芝	27 張芝	2									

※上表の適用範囲は目安であるため、設計流速に適用できる合理的な工法は積極的に採用して良い。

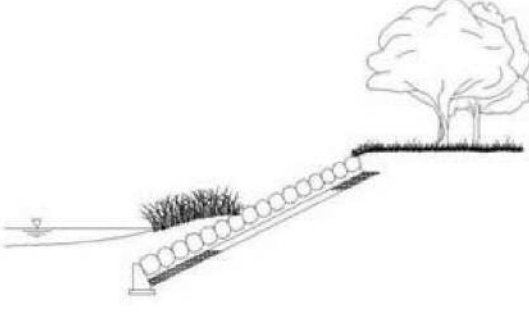
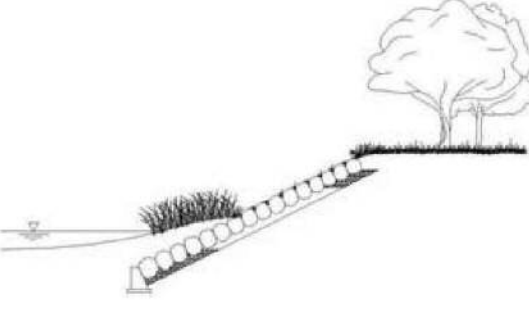
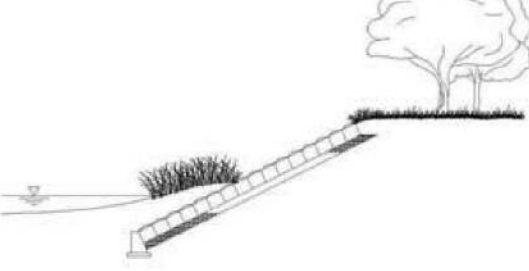
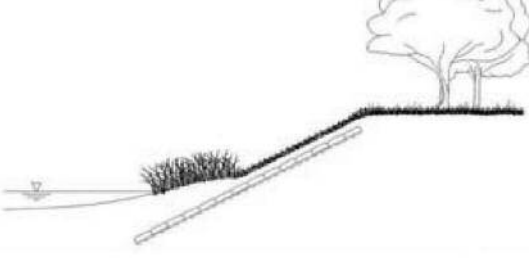
※復旧工法の留意事項を十分考慮し、工法を選定する。

※法枠工：中張材によって、設計流速が変わる工法である。

（例 中張材がコンクリートの場合は8m/s、自然石(空)の場合は5m/s等。）

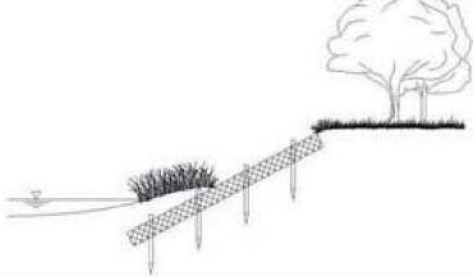
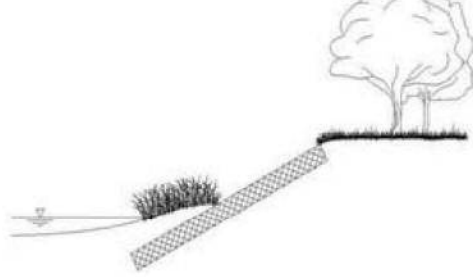
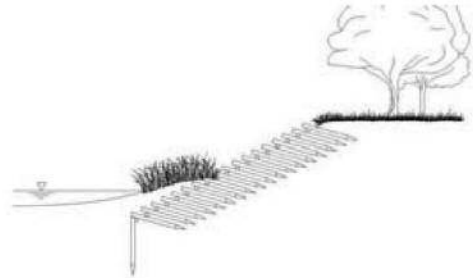
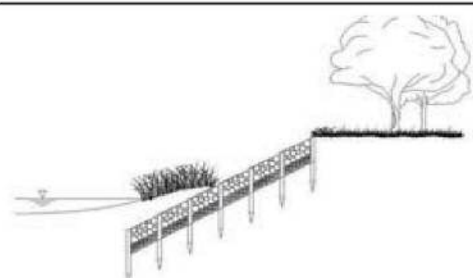
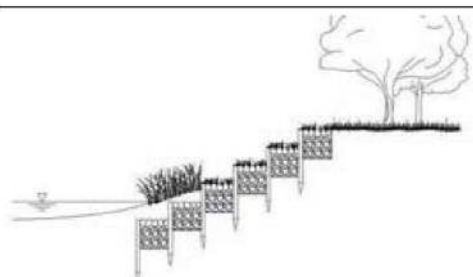
〔美しい山河基本方針〕

【コラム】石系・コンクリート系（張りタイプ）の工法概要

復旧工法例	工法の概要図	工法の特徴
石系	自然石（練張） 	・野面石、間知石、雑割石、割石などをのり面に張り、石のかみ合せによりせん断抵抗を増し、さらに胴込コンクリート等により石材相互の一体化を図った構造である。 ・流体力による掃流力に対して自重で抵抗し、緩勾配ののり面を侵食から保護する工法である。 ・現地石材の使用により、周辺景観に馴染みやすくなる。 ・深目地構造にすることで、空隙を持たせることができる。 ・石材を選べば、生物の移動経路に適したのり面の粗度も持たせることができる。
	自然石（空張） 	・野面石、間知石、雑割石、割石などをのり面に張り、石のかみ合せ等により石材間のせん断抵抗を増した構造である。 ・流体力による掃流力に対して自重で抵抗し、緩勾配ののり面を侵食から保護する工法である。 ・現地石材の使用により、周辺景観に馴染みやすくなる。 ・適度な空隙を持たせることができる。 ・適切な中込め材を用いれば、透水性を持たせることができる。 ・石材を選べば、生物の移動経路に適したのり面の粗度も持たせることができる。
コンクリート系	コンクリートブロック張 	・コンクリートブロックをのり面に張り、連結金具や胴込コンクリート等によりブロック相互の一体化を図った構造である。 ・流体力による滑動やめくれに対して自重で抵抗し、緩勾配ののり面を侵食から保護する工法である。 ・多種多様なものがあるので、景観性能や自然環境性能をきちんと評価する必要がある。 ・構造によっては景観や自然環境に配慮できる。
	連節ブロック 	・コンクリートブロックをのり面に張り、連結線等によりブロック相互の一体化を図った構造である。 ・流体力による滑動やめくれに対して自重で抵抗し、緩勾配ののり面を侵食から保護する工法である。 ・多種多様なものがあるので、景観性能や自然環境性能をきちんと評価する必要がある。 ・構造によっては景観や自然環境に配慮できる。 ・透水性を持たせることができる。

〔美しい山河基本方針〕

【コラム】かご系・木系（張りタイプ）の工法概要

復旧工法例		工法の概要図	工法の特徴
かご系	蛇籠		・鉄線で編んだ円筒形の籠の中に石を詰め、杭を打ち込んでのり面に固定した構造である。 ・掃流力に対して中詰め材（石材等）の自重で抵抗し、緩勾配ののり面を侵食から保護する工法である。 ・空隙を持たせることができる。 ・透水性を持たせることができる。 ・転石が少ない河川や堤内地盤より低い河岸保護に用いる。
	かご（平張）		・鉄線で編んだ籠をのり面に設置し、籠の中に石を詰め、その上から蓋籠を被せた構造である。 ・掃流力に対して中詰め材（石材等）の自重で抵抗し、緩勾配ののり面を侵食から保護する工法である。 ・空隙を持たせることができる。 ・透水性を持たせることができる。 ・転石が少ない河川や堤内地盤より低い河岸保護に用いる。
木系	丸太格子		・丸太をのり面に打ち込み、格子状に組み上げた構造である。 ・丸太と土塊を一体化して河岸浸食の防止を図る工法である。 ・木材の使用により、周辺景観に馴染みやすくなる。 ・空隙を持たせることができる。 ・透水性・保水性を持たせることができる。 ・転石が少ない河川や堤内地盤より低い河岸保護に用いる。 ・木材の腐朽対策を行う必要がある。
	粗朶法枠		・のり面に打ち込んだ杭に粗朶を絡めて法枠を形成し、果石等を充填した構造である。 ・掃流力に対して中詰め材（石材等）の自重で抵抗し、緩勾配ののり面を侵食から保護する工法である。 ・木材の使用により、周辺景観に馴染みやすくなる。 ・空隙を持たせることができる。 ・透水性を持たせることができる。 ・転石が少ない河川や堤内地盤より低い河岸保護に用いる。 ・木材の腐朽対策を行う必要がある。
	杭柵		・木杭をのり面に打ち込んで柵をつくり、詰石した構造である。 ・木杭と詰石を組合わせて河岸を保護する工法である。 ・木材の使用により、周辺景観に馴染みやすくなる。 ・空隙を持たせることができる。 ・透水性を持たせることができる。 ・転石が少ない河川や堤内地盤より低い河岸保護に用いる。 ・木材の腐朽対策を行う必要がある。

〔美しい山河基本方針〕

3-1-4 護岸の安全性の照査に用いる設計条件の設定 [河川砂防（設Ⅰ）第1章 4.3]

護岸の安全性の照査は、のり覆工、基礎工、根固工等について流水の作用、土圧、河床変動等を考慮して行うものとする。

【解 説】

1) 代表流速の求め方

設計に用いる代表流速 V_o は、護岸を設置する各断面ごとに算定する。

代表流速 V_o の算定方法は、マンニングの平均流速公式で求めた平均流速 V_m で、考慮されていない要因を水理的に評価し、補正する補正係数 α を乗じ、 $V_o = \alpha \cdot V_m$ として求める。

平均流速 V_m に対する補正を行う要因には、砂州の発生、河幅の変化、低水路の流れと高水敷の流れの干渉、湾曲による自由渦、強制渦などの河道特性による要因、および根固め工、橋脚、堰、床止め上流部などの構造周辺の局所的な流れの変化などがあげられる。

ただし、低水路平面形状が変化に富む場合や、高水敷上の樹木群と堤防の間に速い流水が生じる場合には、二次元平面流計算あるいは水理模型実験によって V_o を算定することが望ましい。〔力学設計 4-2〕

(1) 平均流速 V_m

平均流速 V_m は、設計対象護岸の設置位置に応じて高水敷法尻部あるいは低水路断面の平均流速としてマンニングの平均流速公式より算定する。

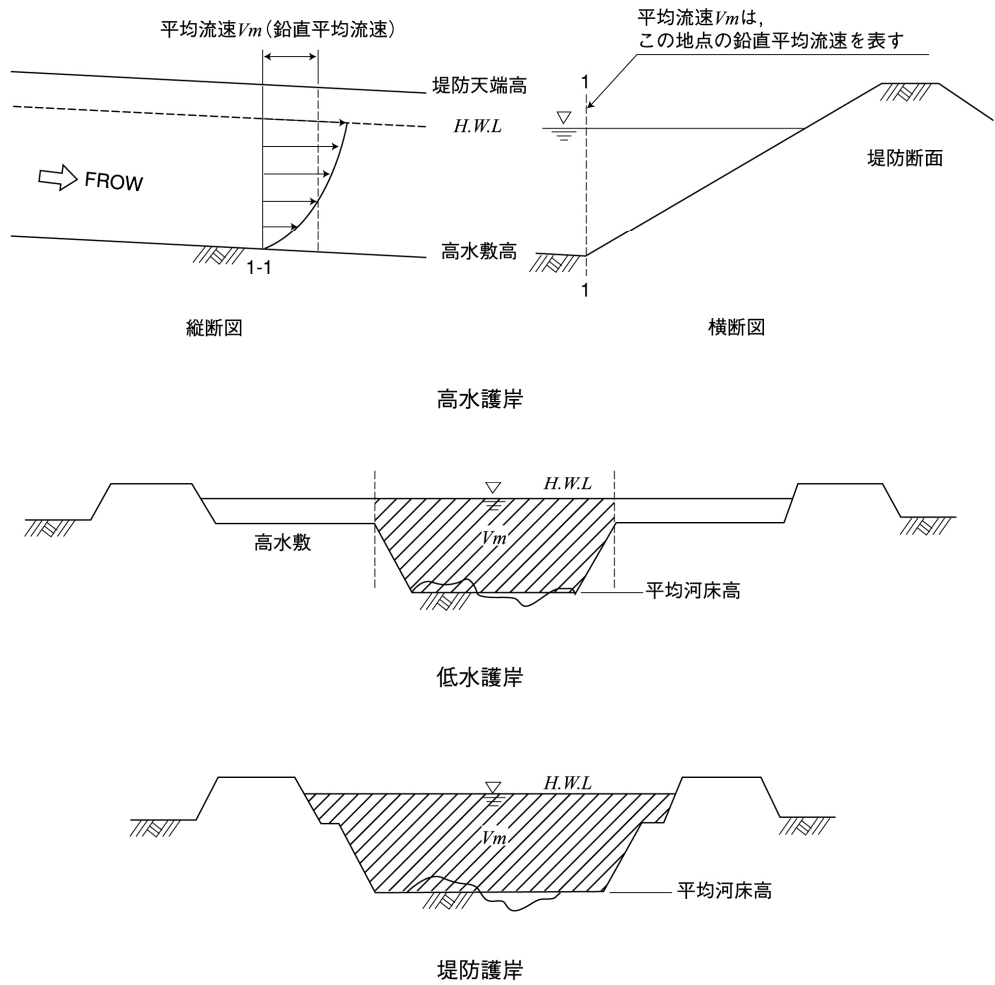
$$V_m = \frac{1}{n} \cdot H_d^{2/3} \cdot I_e^{1/2} \quad (\text{m/sec})$$

ここに、 n : マンニングの粗度係数 ($s/m^{1/3}$)

I_e : エネルギー勾配

H_d : 設計水深 (m)

なお、床止め付近、急縮部等の特殊箇所については、設計水深 H_d を用いた流速の算定は行わず、不等流計算結果等によって算定された流速を平均流速 V_m として用いる。



[力学設計 4・2]

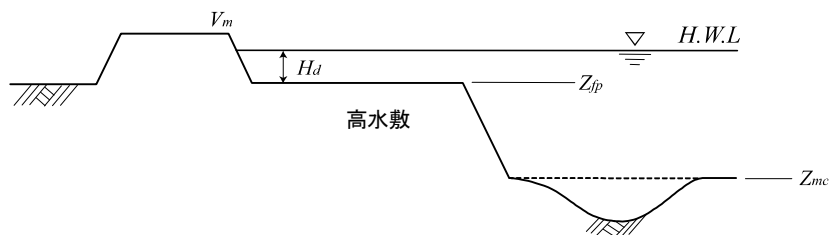
図 3-1-4 平均流速 V_m の説明

(2) 設計水深 H_d

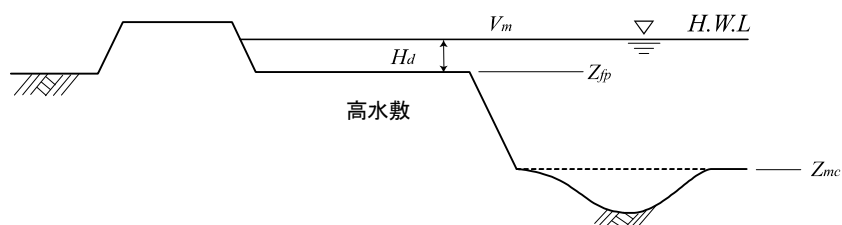
設計水深 H_d は、低水護岸および堤防護岸の場合は低水路内断面平均流速を算定するための水深を指す。
高水護岸の場合は堤防近傍流速を算定するための水深を指す。
設計水深 H_d は次式により求めるものとする。

$$H_d = H.W.L - Z \quad \dots\dots\dots \text{式 (3-1)}$$

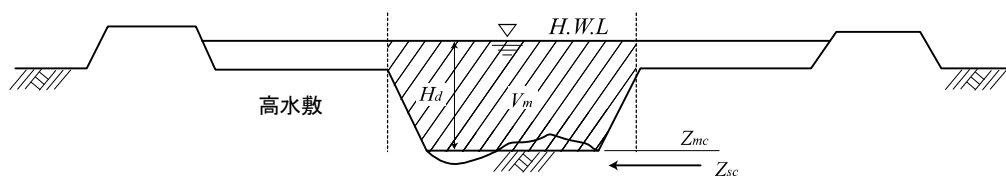
ここに、 $H.W.L$: 計画高水位
 Z : ①～④に示すように、適用対象護岸の区分に応じて定まる高さ。

① 高水護岸および高水護岸のすりつけ工の設計水深 H_d 

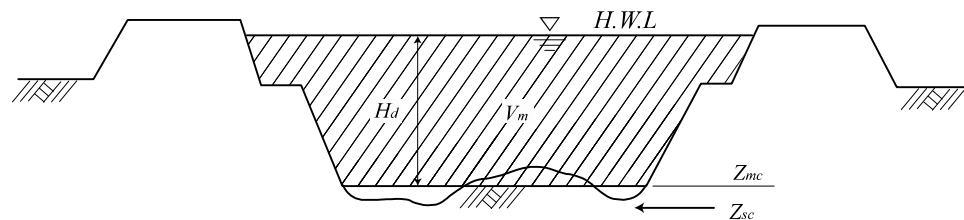
Z : 堤防法尻付近の高水敷高 (Z_{fp}) とする。

② 天端保護工の設計水深 H_d 

Z : 低水路法肩部の高水敷高 (Z_{fp}) とする。

③ 低水護岸および低水護岸のすりつけ工の設計水深 H_d 

Z : 低水路の現況平均河床高あるいは計画で
想定される平均河床高のうち低い方 (Z_{mc}) とする。

④ 堤防護岸および堤防護岸のすりつけ工の設計水深 H_d 

Z : 低水路の現況平均河床高あるいは計画で
想定される平均河床高のうち低い方 (Z_{mc}) とする。

[力学設計 4-2]

図 3-1-5 横断形状別に見た平均流速 V_m と設計水深の説明図

(3) 粗度係数の算定

流速算定に用いる粗度係数 n は、設計対象とする護岸の種類によって表 3-1-3 に示す設定方法を用いて粗度係数を求める。

表 3-1-3 設計対象護岸と用いる粗度係数

設計対象護岸	用いる粗度係数	設計方法
低水護岸および堤防護岸	低水路の粗度係数とする。	①に示す推定法 ③に示す逆算法
高水護岸	堤防近傍の高水敷の粗度係数とする。	②に示す推定法 ③に示す逆算法
単断面	合成粗度係数とする	④に示す推定法

〔力学設計 4-2〕

① 低水路の粗度係数推定法

低水路の粗度係数 n の推定は、以下の手順で行うものとする。

手順 1：摩擦速度 u_* の算出 $u_* = \sqrt{g \cdot H_d \cdot I_e}$

手順 2：無次元掃流力 τ_* の算出

$$\tau_* = u_*^2 / (s \cdot g \cdot d_R) = H_d \cdot I_e / (s \cdot d_R)$$

ここに、 $s = (\rho_s / \rho_w - 1)$ (河床材料の水中比重で通常は 1.65 用いる)

d_R ：河床部の代表粒径 (m)

ρ_s ：石の密度 (kN/m³)

ρ_w ：水の密度 (kN/m³)

手順 3：河床材料の代表粒径 d_R 、無次元掃流力 τ_* より流速係数 ϕ を算定

「護岸の力学設計法、参考 2. セグメント別の低水路粗度係数 n の推定法」を参照し算定する。

手順 4：粗度係数 n の算定

流速係数 ϕ は、流れの抵抗と流速との関係 ($\phi = V / u_*$) を表す無次元の係数であり、 n と

は次の関係にある。 $n = H_d^{1/6} / \sqrt{g} \cdot \phi$ [水理公式集 平成 11 年版 第 2 編 2.2]

なお、低水路幅の半分程度以上の幅に根固工が敷設されている場合には、「護岸の力学設計法、参考.5 根固工の粗度係数評価法」を参照し算定する。

※ 計算例 (セグメント 2-1 の低水路)

① 条件

$$H_d = 7.04\text{m}, I_e = 1/980, d_R = 2.0\text{cm}$$

② 計算

$$u_* = \sqrt{9.8 \times 7.04 \times 1/980} = 0.265$$

$$\tau_* = 0.265^2 / (1.65 \times 9.8 \times 0.02) = 0.22$$

$$\text{水深粒径比 } H_d / d_R = 7.04 / 0.02 = 352$$

力学設計参考 2、図参-3 より $\phi_1 = 11.5$ 、 $0.2 < \tau_{*R}$ であるから、 ϕ_1 に 2 を加えたものを ϕ_2 とする。

$$\phi_2 = 11.5 + 2 = 13.5$$

故に粗度係数は、

$$n = H_d^{1/6} / \sqrt{g} \cdot \phi = 7.04^{1/6} / (\sqrt{9.8} \times 13.5) = 0.033$$

② 高水敷粗度係数の推定法

高水敷粗度係数 n は、高水敷上の設計水深 H_d と護岸全面の地被状態に応じて設定する。護岸全面の地被状態としては、土地利用の状況、植生の種別や高さが影響する。主に現地調査によって得られた高水敷の地被状態と粗度係数の関係を図 3-1-7 に示す。この図は、横軸に高水敷設計水深 H_d と植生の高さ h_v の比をとり、植生が密な状態として整理されている。

また、樹木の高さが高く、 H_d/h_v が 1.1 を下回るようであれば、その箇所は死水域として取り扱う。

特に高水敷上の草地の倒伏現象で評価する場合は、「鉄線籠型護岸の設計・施工技術基準（案）3.2 粗度係数（ n ）の算定」を参照されたい。

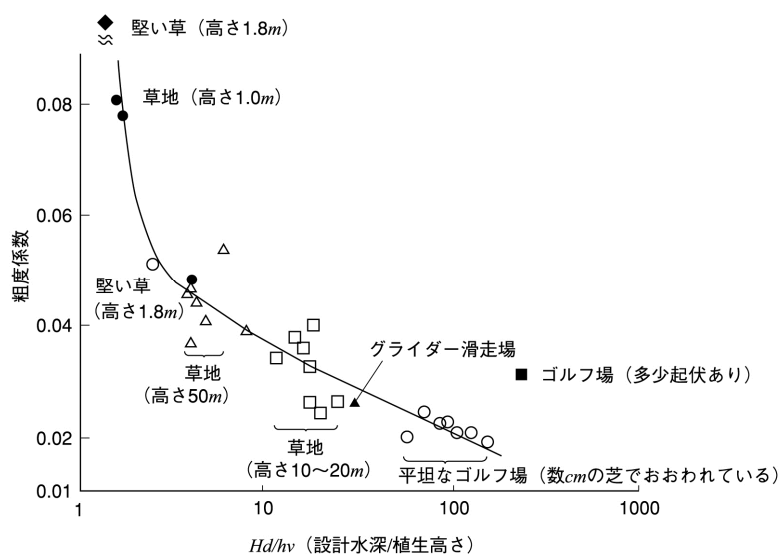


図 3-1-6 マニングの粗度係数 n と水深 H_d / 植生高 h_v との関係（高水敷について）

〔鉄線籠型護岸基準 3.2〕

※ 計算例（セグメント 2-1 の高水敷）

① 条件

$$H_d = 4.0 \text{ m}$$

$$\text{植生の高さ } h_v = 0.20 \text{ m}$$

② 計算

$$H_d/h_v = 4.0/0.20 = 20$$

$$\text{図 3-1-5 より } n = 0.032$$

③ 低水路・高水敷の粗度係数 n の逆算法

逆算法は、既往の計画高水位相当の出水時の痕跡水位、流量データに基づき、不等流計算などの方法により粗度係数 n を逆算する方法である。

複断面の河道や横断方向の一部に樹木群の存在する河道では、断面を分割して各断面での流速を適切に評価できる不等流計算手法を用いることを標準とする。この際、各断面間の境界では流速差に伴い生じる境界面でのせん断力を考慮する。不等流計算の手法については、「河道内の樹木の伐採・植樹のためのガイドライン（案）」等を参照されたい。

④ 単断面の粗度係数推定法 [鉄線籠型護岸 3.2]

単断面の中小河川では、河床材料の他に河岸のり面粗度の影響も無視できないので、河床部と護岸部（のり面部）に分けて粗度係数を設定し、これらを合成して求める合成粗度係数は次式を用いて求める。

$$n = \left(\frac{\sum_i (n_i^{3/2} \cdot S_i)}{S} \right)^{2/3}$$

ここに、 S_i 、 n_i : 同一粗度をもつ i 番目の潤辺部分の長さとその粗度係数
 S : 潤辺 ($=S_1 + S_2 \cdots \cdots S_n$)

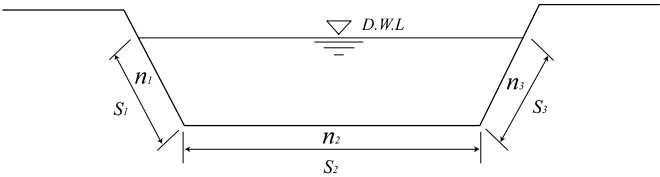


図 3-1-7 粗度係数及び潤辺の取り方

- a. 河床部の粗度係数は、「①低水路の粗度係数推定法」と同様に設定する。
- b. 護岸（のり面）部の粗度係数は、以下により算出することを基本とする。

$$n = \frac{K_s^{1/6}}{7.66\sqrt{g}} \quad (\text{Manning-Strickler}) \text{ マニング・ストリクラーの公式}$$

ここに、 K_s : 相当粗度 (m) (法面の凸凹の大きさを表す係数)
 g : 重力加速度 ($=9.8 \text{ m/s}^2$)

ただし、半分埋れた玉石護岸等の粗度係数は、次式により求める。

$$n = \frac{H_d^{1/6}}{\sqrt{g \cdot \phi}} \quad \phi = 6.0 + 5.75 \log \left(\frac{H_d}{0.25d} \right)$$

ここに、 H_d : 設計水深 (m)
 d : 玉石の粒径 (m)

相当粗度は通常模型実験で算出するものであるが、相当粗度が把握できない場合は、表 3-1-4 を参考に設定してもよい。

表 3-1-4 粗度係数 (参考)

護岸構造	粗度係数
間知、張ブロック (ks=0.04)	0.024
連節ブロック (ks=0.08)	0.027
鉄線籠型護岸 (詰石径=20cm 程度)	0.032
草丈 20cm 程度の雑草	0.032
木柵護岸 (詰石 15~20cm)	0.030
玉石 (径 30cm 程度)、水深 (2~4m)	0.025
玉石 (径 40cm 程度)、水深 (2m)	0.027
玉石 (径 40cm 程度)、水深 (3~4m)	0.026
玉石 (径 50cm 程度)、水深 (2~3m)	0.028
玉石 (径 50cm 程度)、水深 (4m)	0.027

(4) エネルギー勾配 I_e の算定

- ① エネルギー勾配 I_e は、設計水深発生時の不等流計算より設定することを基本とする。 I_e を求める際には、隣接する断面間のエネルギー勾配を求めるのではなく、 I_e がほぼ同様の値とみなせる一連区間を設定し、その区間内では同一の I_e 値を用いる。一連区間の設定では、河道のセグメント区分点や、支川合流点及び流量変化点等の特性変化点が区分点の目安となる。
- ② 断面急変部などのいわゆる急変流の生じる箇所以外では、水面勾配 I_s を用いてもよい。
- ③ 等流区間とみなせる区間では、河床勾配 I_b を用いることができる。

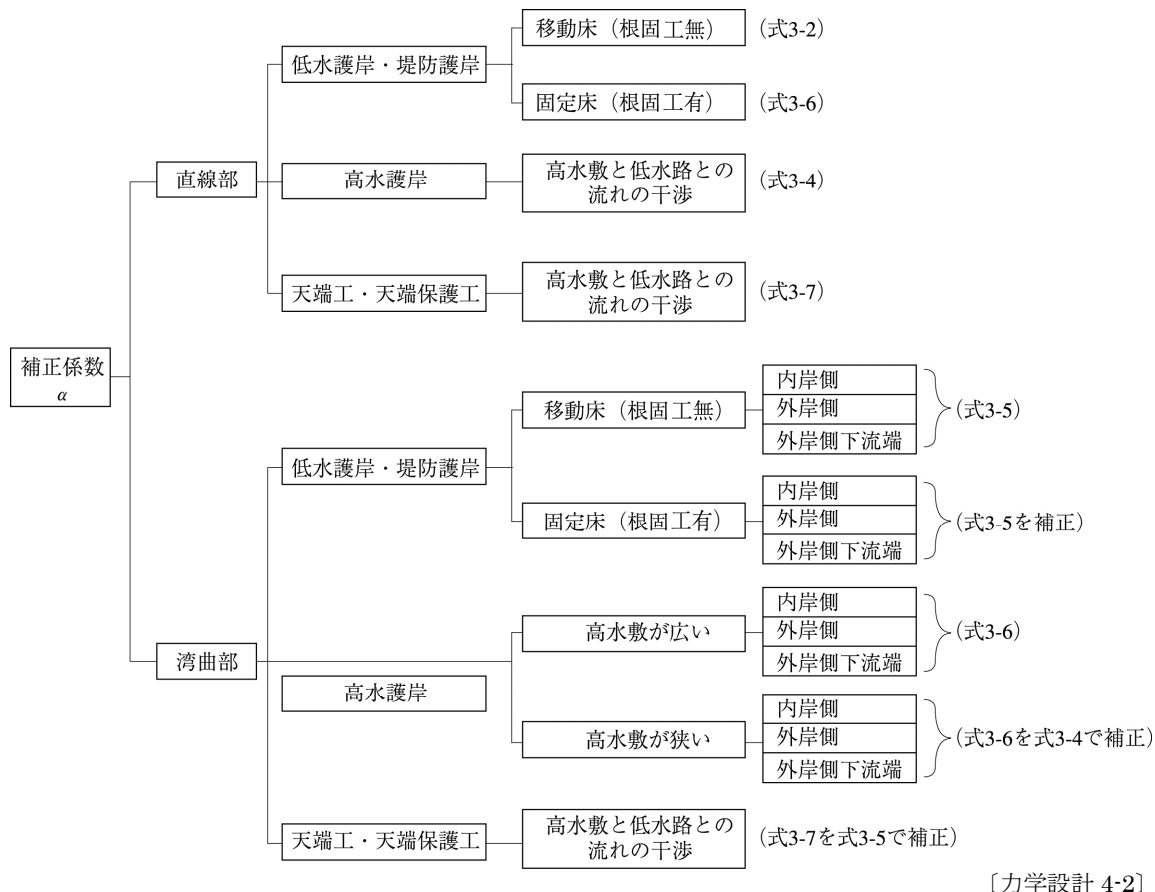
(5) 補正係数 α の評価法

図 3-1-8 補正係数算定フロー

① 直線河道部の補正

a. 低水護岸および堤防護岸の場合

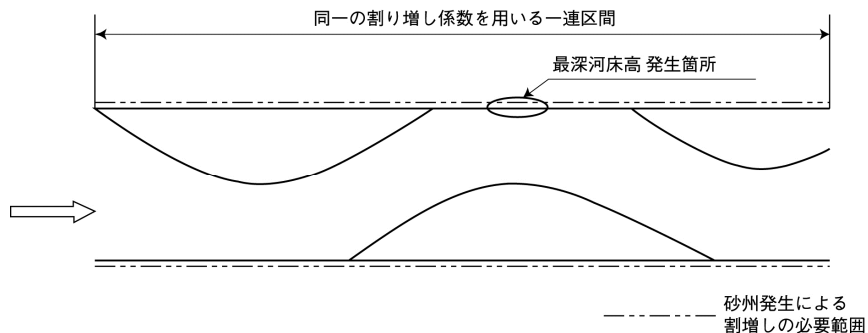
i. 河床洗掘の影響による平均流速の補正係数 α

直線部で砂州のある河道区間で、根固工が設置されていない箇所では、砂州の波高を考慮した水深増加を見込み流速の補正を行う。ただし、補正係数は 2 以上としない。

$$\alpha = 1 + \frac{\Delta Z}{2H_d} \quad (\alpha \leq 2) \quad \text{式 (3-2)}$$

ここに

ΔZ : 洗掘深（砂州移動に伴う洗掘位置の移動可能性を考慮し、設計対象地点を含む一連区間を定め、その区間ごとに最深河床高を求め、平均河床高と最深河床高の差を洗掘深 ΔZ とする）



〔力学設計 4-2〕

図 3-1-9 直線河道低水路の補正

ロ. 根固工の設置を考慮した平均流速の補正係数 α

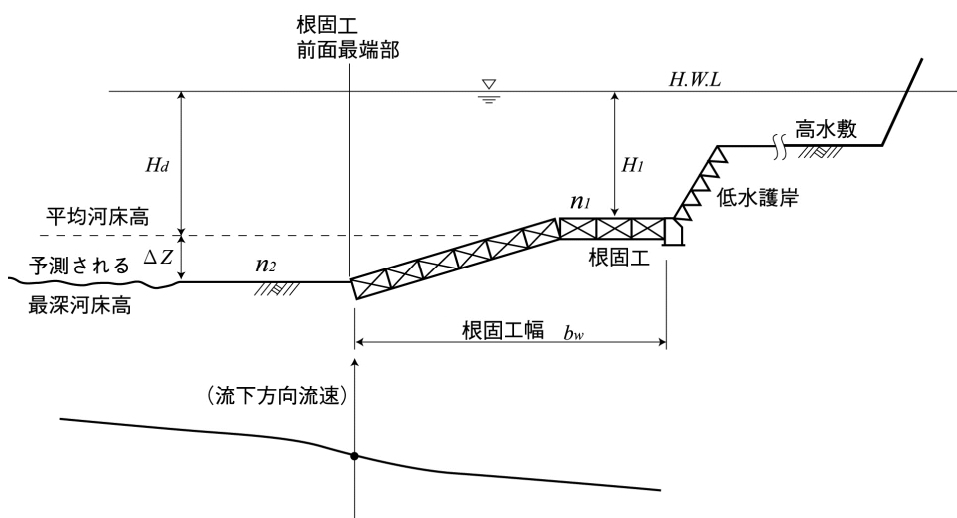
護岸基礎工前面に2 m以上あるいはブロック1列以上の平坦幅を確保できる根固工が敷設され、かつ不陸等がない場合には、式(3-2)で求まる α に比べて洗掘による影響を緩和することができる。

式 (3-2) で求まる α を α_1 とし、洗掘による影響緩和の補正係数を α_2 とすると、

$$V_o = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot V_m \quad \cdots \cdots \cdots \text{式 (3-3)}$$

bw/H_1 が 1 より大きい場合は $\alpha_2=0.9$ 程度、 bw/H_1 が 1 以下の場合には $\alpha_2=1.0$ とするのが適当である。

ここに、 bw : 根固工幅、 H_1 : 根固工上面での水深



〔力学設計 4-2〕

図 3-1-10 鉛直平均流速の横断分布のイメージ図

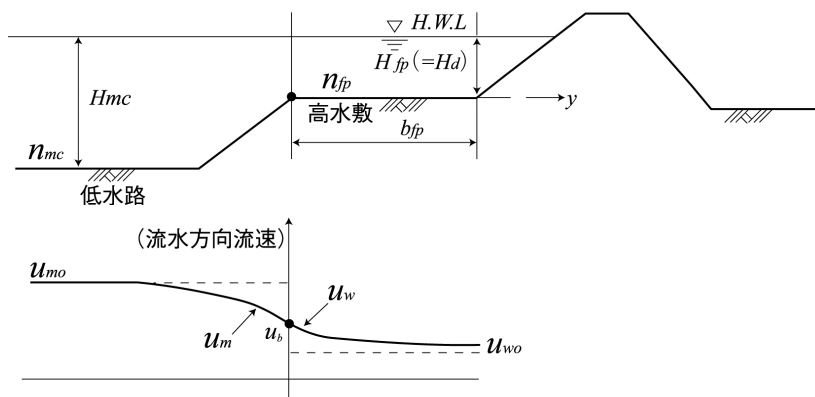
b. 高水護岸の場合

高水敷幅 b_{fp} と高水敷水深 $H_{fp} = H_d$ 比 (b_{fp}/H_{fp}) が小さい場合、すなわち相対的に高水敷幅が狭い場合には、高水敷流れは低水路流れの干渉を強く受けるので、補正係数 α を導入する。

堤防護岸として設計を行う必要性の判断は、 $b_p / H_p < 3$ の場合を目安とする。

十分な幅を持つ高水敷と低水路部の境界付近の鉛直平均流速の横断分布は、一般に図 3-1-9 のように表現できる。

低水路のり肩から任意の位置での流速の補正係数 α は次式で評価する。



〔力学設計 4-2〕

図 3-1-11 鉛直平均流速の横断分布

$$\alpha = 1 + \frac{(u_b - u_{wo})}{u_{wo}} \exp \left[- \sqrt{\frac{F_w \cdot u_{wo}}{H_{fp} \cdot \varepsilon}} y \right] \quad \dots\dots \text{式 (3-4)}$$

$$u_b = \frac{u_{wo} \sqrt{F_w \cdot u_{wo}} + u_{mo} \sqrt{F_m \cdot u_{mo}}}{\sqrt{F_w \cdot u_{wo}} + \sqrt{F_m \cdot u_{mo}}} \quad \dots\dots \text{高水敷と低水路の境界部の流速 (m/s)}$$

$$\varepsilon = (f')^2 (u_{mo} - u_{wo})^2 \left[\frac{1}{\sqrt{F_w \cdot u_{wo}}} + \frac{1}{\sqrt{F_m \cdot u_{mo}}} \right]^2 H_{fp} \quad \dots\dots \text{横断方向の干渉効化の大きさを表す水平渦動粘性係数}$$

ここに、

$y = b_{fp}$ (高水敷幅) としたときの α が代表流速を求めるための補正係数である。

u_{wo} 、 u_{mo} : 高水敷部と低水路部での流速 (m/s) (水深・粗度・エネルギー勾配を用いてマンニングの式で求める。)

$$u_{wo} = \frac{1}{n_{fp}} \cdot H_{fp}^{2/3} \cdot I_e^{1/2} \quad u_{mo} = \frac{1}{n_{mc}} \cdot H_{mc}^{2/3} \cdot I_e^{1/2}$$

H_{fp} 、 H_{mc} : 高水敷部水深、低水路部水深 (m)

n_{fp} 、 n_{mc} : 高水敷と低水路部のマンニングの粗度係数

F_w 、 F_m : 高水敷部と低水路部での摩擦損失係数

$$F_w = 2 \cdot g \cdot \frac{n_{fp}^2}{H_{fp}^{1/3}} \quad F_m = 2 \cdot g \cdot \frac{n_{mc}^2}{H_{mc}^{4/3}}$$

f' : 混合係数 (0.04 程度とする。)

※ 計算例 (セグメント 2-2 の河道高水護岸の補正係数)

① 水深

高水敷部水深 $H_{fp} = 4.5\text{m}$

低水路部水深 $H_{mc} = 7.58\text{m}$

② 粗度係数

高水敷 $n_{fp} = 0.030$

低水路部 $n_{mc} = 0.020$

③ エネルギー勾配

$$I_e = 1/2000$$

④ 流速

$$u_{w0} = \frac{1}{0.030} \times 4.5^{2/3} \times (1/2000)^{1/2} = 2.03 \text{ m/s} \quad \dots\dots \text{高水敷部}$$

$$u_{m0} = \frac{1}{0.020} \times 7.58^{2/3} \times (1/2000)^{1/2} = 4.31 \text{ m/s} \quad \dots\dots \text{低水敷部}$$

⑤ 摩擦係数

$$F_w = 2g \times \frac{0.030^2}{4.5^{1/3}} = 0.0107 \quad \dots\dots \text{高水路部}$$

$$F_m = 2g \times 0.020^2 \times \frac{4.5}{7.58^{4/3}} = 2.369 \times 10^{-3} \quad \dots\dots \text{低水路部}$$

⑥ 境界部の流速

$$u_b = \frac{2.03\sqrt{0.0107 \times 2.03} + 4.31\sqrt{2.369 \times 10^{-3} \times 4.31}}{\sqrt{0.0107 \times 2.03} + \sqrt{2.369 \times 10^{-3} \times 4.31}} = 2.96 \text{ m/s}$$

⑦ 水平渦動粘性係数

$$\varepsilon = (0.04)^2 (4.31 - 2.03)^2 \left[\frac{1}{\sqrt{0.0107 \times 2.03}} + \frac{1}{\sqrt{2.369 \times 10^{-3} \times 4.31}} \right]^2 \times 4.5 = 10.415$$

⑧ 補正係数

$$\alpha = 1 + \frac{(2.96 - 2.03)}{2.03} \exp \left[-\sqrt{\frac{0.0107 \times 2.03}{4.5 \times 10.415}} y \right] = 1 + 0.458 \exp(-0.02153y)$$

$$y = b_{fp} \text{ (高水敷幅)} = 12 \text{ m とすると}$$

$$\alpha = 1 + 0.458 \exp[-0.02153 \times 12] = 1.35$$

② 湾曲部河道の補正

a. 低水護岸および堤防護岸の場合

河道湾曲部では、湾曲内岸に生じる自由渦および、外岸側下流端に生じる強制渦によって流速が速くなる。また、外岸の深掘れによっても流速が速くなる。そこで、湾曲部ではこれらの影響を考慮して流速の補正を行う。

イ. 十分な敷設幅を持つ根固工のない場合

護岸前面に洗掘を生じ、洗掘による水深増によって流速が速くなることによる補正を行なう。

$$\left. \begin{array}{l} \text{内岸側 (図 [A]、[B] の間) : } \alpha = 1 + \frac{B}{2r} \\ \text{外岸側 (図 [A]、[B] の間) 及び下流端より } L = 2B \text{ の区間 : } \alpha = 1 + \frac{B}{2r} + \frac{\Delta Z}{2H_d} \end{array} \right\} \text{式(3-5)}$$

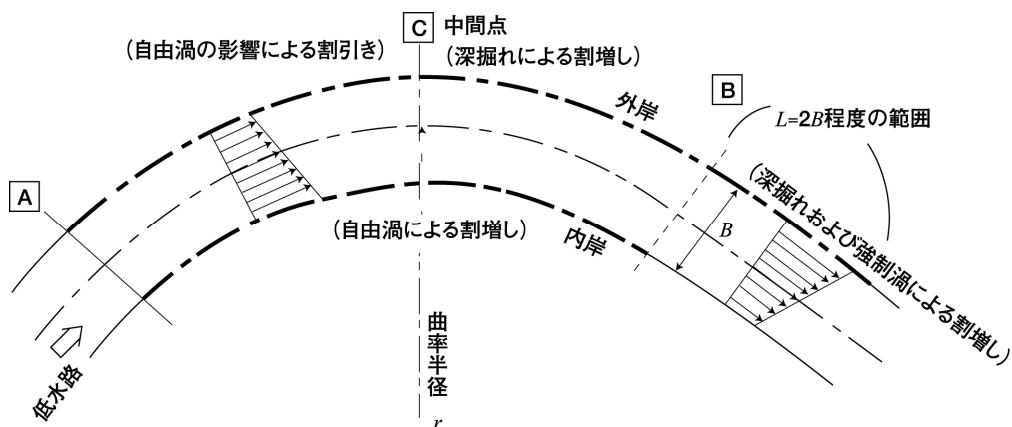
ここに、 ΔZ : 湾曲部外岸での最大洗掘深

r : 湾曲の曲率半径

B : 低水路幅

ただし、河床が移動床で湾曲および砂州によって洗掘が生じる場合の上限値は以下のとおりとする。

セグメント 1 の河道 : $\alpha \leq 2.0$ 、セグメント 2、3 の河道 : $\alpha \leq 1.6$



〔力学設計 4-2〕

図 3-1-12 移動床低水路の補正

㊦. 十分な敷設幅を持つ根固工が設置されている場合

直線河道の場合と同様に洗掘による流速増加の影響が緩和される。「㊦. 十分な敷設幅を持つ根固工がない場合」の式(3-5)に示す補正係数 α に α_2 を乗じて求める。なお、 α_2 は、直線河道部の「㊦. 根固工の設置を考慮した平均流速の補正」を参照して求める。 α_2 の評価が困難な場合には、 $\alpha_2 = 1$ とする。

b. 高水護岸の場合

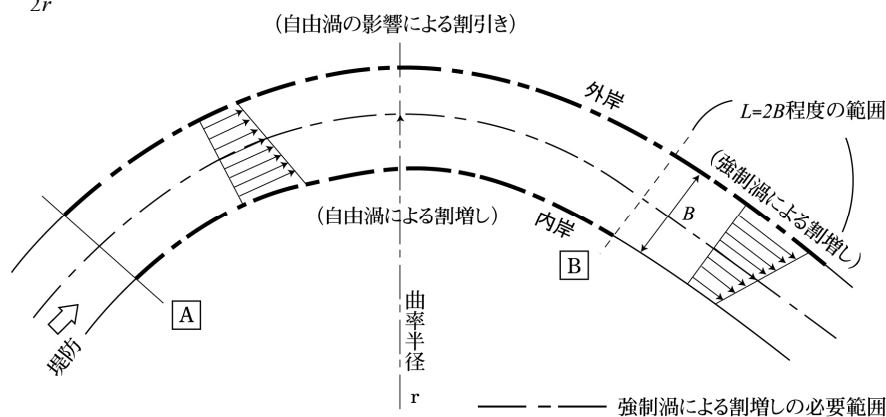
㊦. 高水敷幅が広い場合

高水敷幅が広い場合には、低水路の速い流れの影響は無視して、湾曲による自由渦・強制渦の発生に関する流速の補正を考慮する。

評価方法は、低水護岸の「㊦. 十分な敷設幅を持つ根固工のない場合」の補正方法に準じて α を定める。ただし、高水敷の洗掘はないものとする。

内岸側、外岸側、(図の [A]、[B] の間) および、外岸側下流部 (図の [B] から $L = 2B$ の区間) :

$$\alpha = 1 + \frac{B}{2r} \quad \cdots \cdots \text{式 (3-6)}$$



〔力学設計 4-2〕

図 3-1-13 堤防湾曲部の補正

㊦. 高水敷幅が狭い場合

高水敷幅が狭い場合（「直線河道部」の高水護岸の場合を参照）には、低水路部分の流れの干渉作用を考慮する。すなわち、式 (3-6) に求まる α に、式 (3-4) による求まる α を乗じて、照査に用いる α とする。

③ 低水護岸の天端工・天端保護工の補正

イ. 低水路との流れの干渉による補正係数

高水敷と低水路部分の流れの干渉の影響を考慮し、高水敷上のマニング式による流速 V_m に補正係数 α を乗ずる。式 (3-4) のなかで $y = 0$ として求められる。

$$\alpha = 1 + \frac{(u_b - u_{w0})}{u_{w0}} \quad \dots\dots\dots \text{式 (3-7)}$$

u_b および u_{w0} の計算数値は式 (3-4) と同様である。

α の値の目安は、表 3-1-5 のとおりである。

表 3-1-5 補正係数

セグメント 1	1.3～1.4
セグメント 2	1.5～1.6
セグメント 3	1.6～1.7

[力学設計 4-2]

ロ. 湾曲部に設置される天端工・天端保護工の補正係数

低水路法線が湾曲している場合は、強制渦の発生による流速の補正を考慮する。式 (3-7) より求まる α に、式 (3-5) の内洗掘の影響を除いた項より求まる α の値を乗じて設計に用いる α とする。

2) 最深河床高の評価 [力学設計 4-3]

護岸の力学的安定性の照査にあたっては、設計対象箇所の最深河床高を評価する。

(1) 評価方法

最深河床高の評価方法としては、これまでの研究成果などを基にした次の方法により推定するのが一般的である。

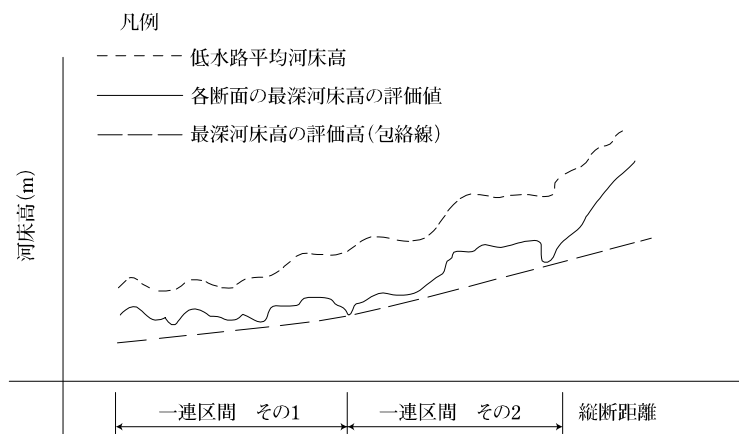
- 方法 1：経年的な河床変動のデータからの評価
- 方法 2：既往研究成果からの評価
- 方法 3：数値計算による評価（二次元河床変動計算等）
- 方法 4：移動床水理模型実験による評価

これら 4 つの方法のうち「方法 1」と「方法 2」による評価と合せて最深河床高を評価することが望ましい。

(2) 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

この場合には、移動する砂州の外縁が最深河床高の位置と対応する。そこで、砂州の発生特性を考慮し、設計対象区間を含む一連区間を定め、その区間毎に各断面の最深河床高の包絡線を求めてその包絡線を最深河床高の評価高とする（図 3-1-14）。

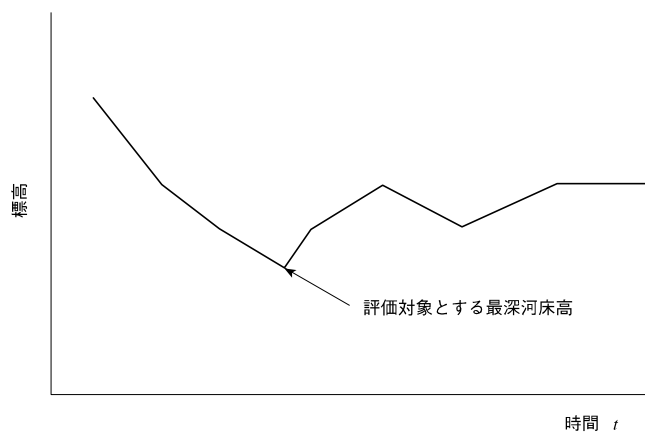


〔力学設計 4-3〕

図 3-1-14 洗掘部が縦断的に移動する河道の最深河床高

② 湾曲部や水衝部の発生位置が固定されており、洗掘位置が縦断方向に移動しない場合

この場合には、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（図 3-1-15）。ただし、大洪水を含む期間のデータがない場合は、経年的な最深値よりも深く洗掘される可能性が高いため、「方法 2」と併用する等追加の検討を行う。



〔力学設計 4-3〕

図 3-1-15 洗掘部が縦断的に移動しない河道地点の最深河床高の評価

(3) 方法 2：既往研究成果からの評価

表 3-1-6 に代表的な研究事例を示す。

表 3-1-6 最深河床高の評価方法（セグメント分類・河道平面形状別）

河道平面形状	セグメント 1	セグメント 2	セグメント 3
直 線 河 道	砂州波高による評価。式(3-9)を用いる。 砂州発生せず		
単 湾 曲 河 道	河道湾曲半径・川幅比（ r/B ）を用いた評価。図 3-1-17 を用いる。		
蛇 曲 河 道	河道湾曲半径・川幅比（ r/B ）を用いた評価。図 3-1-17 を用いる。		

〔力学設計 4-3〕

① 直線河道の場合

a. セグメント1、2-1の河道

最深河床高は、砂州波高 H_s に支配される。また、砂州波高は、低水路幅 B と水路の水深 H_n 、河床材料粒径 d に支配される。砂州波高は、図 3-1-17 によって評価する。

図 3-1-16 は、水理模型実験によって得られた砂州波高・水深比 (H_s/H_n) と低水路幅・水深比 (B/H_n) との関係を表わしたものである。

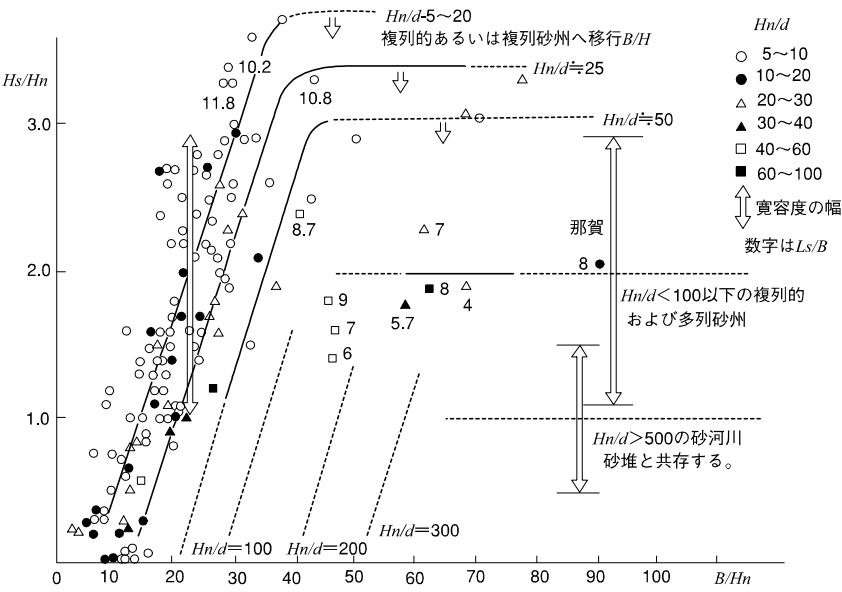
最大洗掘部の水深 ($H_{\max-s}$: 図 3-1-18 参照) はこれまでの実験データ等から次のように評価される。

$$H_{\max-s} = \{1 + 0.8 H_s / H_n\} H_n \cdots \cdots \text{式 (3-8)}$$

計画高水流量時の砂州波高は、 H_n を H_m とみなして評価してよい。

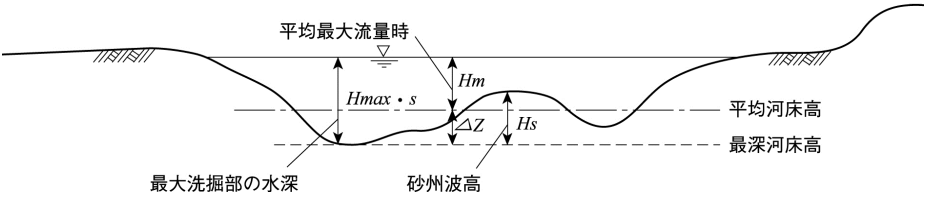
従って、最大洗掘部の洗掘深 ΔZ (平均河床高と最深河床高の差) は次式で求める。

$$\Delta Z = H_{\max-s} - H_m \cdots \cdots \text{式 (3-9)}$$



[力学設計 4-3]

図 3-1-16 H_s/H_n と B/H_n の関係 (ただし τ_* は 0.03~0.4 の範囲)



ここに、 ΔZ : 最大洗掘部の洗掘深 (m)
 $H_{\max-s}$: 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)

[力学設計 4-3]

図 3-1-17 実河川の最大洗掘部の水深 ($H_{\max-s}$) の説明図

b. セグメント2-2の河道

i. 単列砂州の場合

セグメント1、2-1に分類される区間と同様にして評価する。

ii. 多列砂州の場合

平均年最大流量時（中小出水時に相当）の ΔZ を、式（3-9）より求め、その1.3倍を計画高水流量時の最大洗掘量とする。

c. セグメント3（細砂の河川）

「方法3、4」により評価する。

② 単湾曲河道の場合（セグメント1、2、3）

単湾曲河道の最深河床高は、計画高水流量時の水深に支配される。洪水時の観測データが不十分な現状では、当面、平均年最大流量時の観測データを基に評価図を用いて、平均年最大流量時の最大洗掘部の水深（ $H_{\max}$ ）を推定し、この水深の30%増を計画高水流量時の最深河床高として評価する。

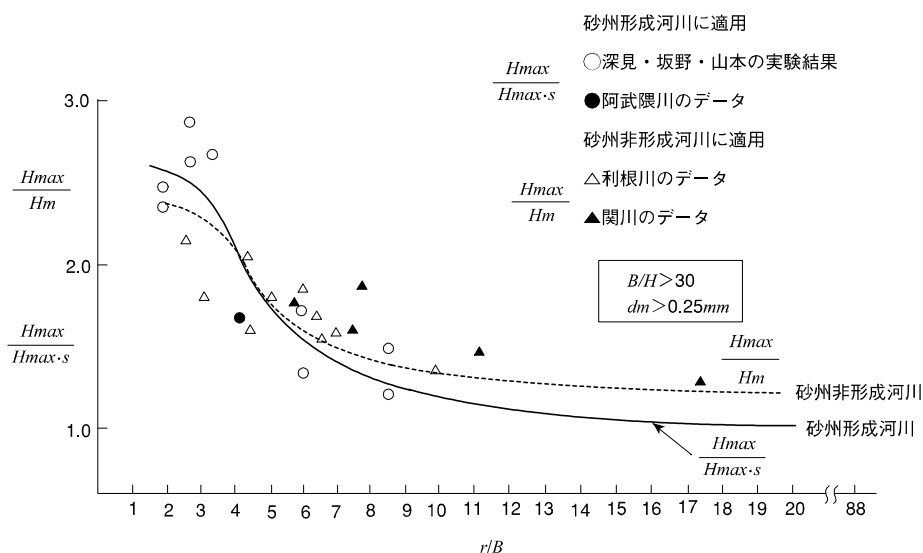
a. 砂州が形成されないと判断される区間

単湾曲部の最大掘深部の水深 $H_{\max}$ と H_m との比（ $H_{\max}/H_m$ ）を（ r/B ）で評価し、点線で示した図3-1-18を用いる。

b. 単列砂州が形成されると判断される区間

$H_{\max}$ と直線河道の場合の最大洗掘部の水深 $H_{\max-s}$ の比（ $H_{\max}/H_{\max-s}$ ）を（ r/B ）で評価し、実線で示した図3-1-18を用いる。

この際、直線河道の場合の最大洗掘部の水深 $H_{\max-s}$ は式（3-8）を用いる。



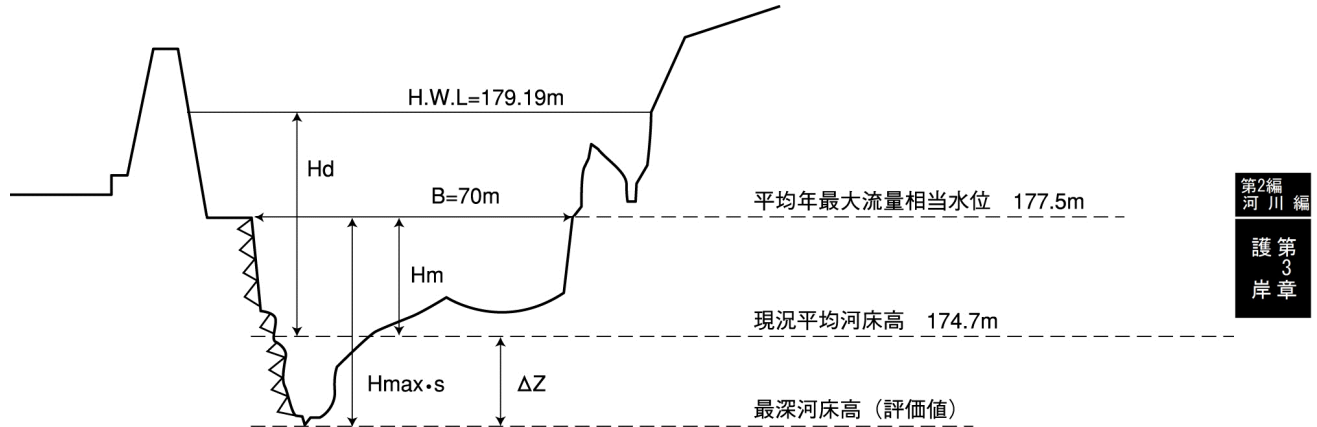
〔力学設計 4-3〕

図 3-1-18 湾曲部における $H_{\max}/H_{\max-s}$ (H_m) と r/B との関係

③ 蛇曲河道の場合

蛇曲河道の最深河床高については、セグメント1を除いて単湾曲河道の場合と同様に考える。

※ 計算例（セグメント1の低水護岸のうち直線部で砂州のある河道）



第2編
河川編
第3章
護岸

① 水深

設計水深 $H_d = 4.49\text{m}$

平均年最大流量時の平均水深 $H_m = 2.8\text{m}$

② 粗度係数（セグメント別の低水路粗度係数推定法より求める。）

代表粒径 $d_R = 50\text{mm}$ 単列砂州とすると、

無次元掃流力 $\tau_* = H_d \cdot I_e / s \cdot d_R = 4.49 \times 1/350 / (1.65 \times 0.05) = 0.16$

$\phi = 0.9\{5 + 5.75 \log(H_d / 2.5d_R)\} = 0.9\{5 + 5.75 \log(4.49 / 2.5 \times 0.05)\} = 12.5$

$n = H_d^{1/6} / (\sqrt{g} \cdot \phi) \times 0.95 = 4.49^{1/6} / (\sqrt{g} \times 12.5) \times 0.95 = 0.031$

③ エネルギー勾配

$$I_e = 1/350$$

④ 平均流速

$$V_m = \frac{1}{n} \cdot H_d^{2/3} \cdot I_e^{1/2} = \frac{1}{0.031} \times 4.49^{2/3} \times \left(\frac{1}{350}\right)^{1/2} = 4.69 \text{ m/s}$$

⑤ 最大洗掘部の洗掘深

$B/H_m = 25$ 、 $H_m/d_R = 56$ 、から 図 3-1-14 より、 $H_s/H_m = 0.65$

式 (3-8) より 最大洗掘部の水深は、

$$H_{\max-s} = \{1 + 0.8 H_s/H_m\} H_m = \{1 + 0.8 \times 0.65\} \times 2.8 = 4.3\text{m}$$

式 (3-9) より 洗掘深は、 $\Delta Z = H_{\max-s} - H_m = 4.3 - 2.8 = 1.5\text{m}$

⑥ 補正係数

$$\text{直線河道部の補正 } \alpha = 1 + \frac{\Delta Z}{2H_d} = 1 + \frac{1.5}{2 \times 4.49} = 1.2$$

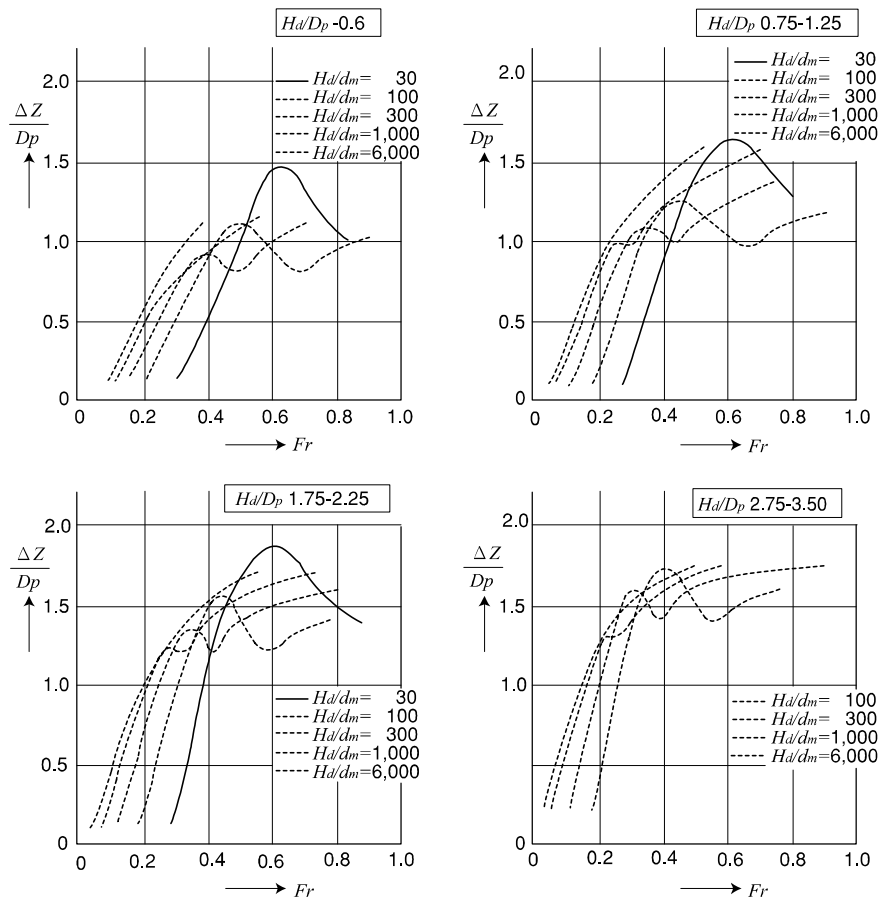
⑦ 代表流速

$$V_o = \alpha \cdot V_m = 1.2 \times 4.69 = 5.63 \text{ m/s}$$

④ 構造物周りの場合（円柱型橋脚の実験例）

橋脚周辺の平均河床から最大洗掘深 ΔZ は流れ方向からみた設影橋脚幅を D_p としたとき、 $\Delta Z/D_p$ と H_d/D_p 、フルード数 Fr の関係から予測することが可能である（図3-1-19）。なお実験によると、橋脚周辺の洗掘の影響範囲は、洗掘深の2倍程度である。

ここに、
 ΔZ : 平均河床からの最大洗掘深 (m)
 D_p : 流れの方向からみた設影橋脚幅 (m)
 d_m : 河床材料平均粒径 (m)
 H_d : 設計水深 (m)



〔力学設計 4-3〕

図 3-1-19 Fr 数と $\Delta Z/D_p$ と H_d/d_m の関係

$$\text{フルード数} \cdots Fr = \frac{V_o}{\sqrt{g \cdot H_d}}$$

ここに、 V_o : 代表流速 (m/s)

g : 重力加速度 (m/s²)

3-2 のり覆工

3-2-1 のり覆工設計の基本 [河川砂防（設Ⅰ）第1章4.2]

護岸ののり覆工は、河道特性・河川環境等を考慮して、流水・流木の作用・土圧等に対して安全な構造となるように設計するものとする。

【解 説】

(1) のり覆工の設計

のり覆工は、堤防および河岸を保護する構造物であり、護岸の構造の主たる部分を占めるので、流水、流木の作用、土圧等に対して安全な構造となるように設計するとともに、その形状・構造は多くの場合に河川環境の保全・整備と密接に関係することから、設計に際しては生態系や景観について十分考慮する必要がある。また、のり覆工の工種選定は、本編3-1-3によるものとする。

(2) のり覆工の高さ

のり覆工の高さは、堤防護岸（高水護岸）では、原則として堤防天端までとする。ただし、余裕高の部分については護岸または張芝とし、植生被覆等の効果等も勘案して過大な範囲とならないように留意する。

低水護岸については、流水の作用状況や植生等による自然河岸の耐侵食性等を勘案して、必要とされる範囲に設置するものとする。

(3) のり覆工の粗度

のり覆工ののり面は、適当な粗度が得られるものでなければならない。

(4) 吸出防止材

護岸背後の残留水が抜ける際、あるいは高速流の流水がのり覆工に作用する際にのり覆工の空隙等から背面土砂が吸い出されるのを防ぐために吸出防止材を設置する。

また、吸出防止材は、練積み護岸においては裏込材への細粒分の侵入を防止したり、施工性を考慮して設置される場合もある。

(5) 裏込材

護岸には、残留水圧が作用しないよう必要に応じて裏込材を設置する必要がある。ただし、裏込土砂が砂礫質で透水性が高い場合には必ずしも必要はない。なお、張り護岸では施工性を考慮して設置される場合もある。

(6) 水抜き

護岸には、一般に水抜きは設けないが、掘込河道等で残留水圧が大きくなる場合には必要に応じて水抜きを設ける。なお、堤体材料等の微粒子が吸い込まないよう考慮するものとする。

(7) 目地間隔

目地間隔は、コンクリート張り、練ブロック積、練石積（張り）等は、10mに1ヶ所設けることを標準とする。なお、沈下等が予想される箇所は別途定めるものとする。

(8) 多自然ブロックの根入れ

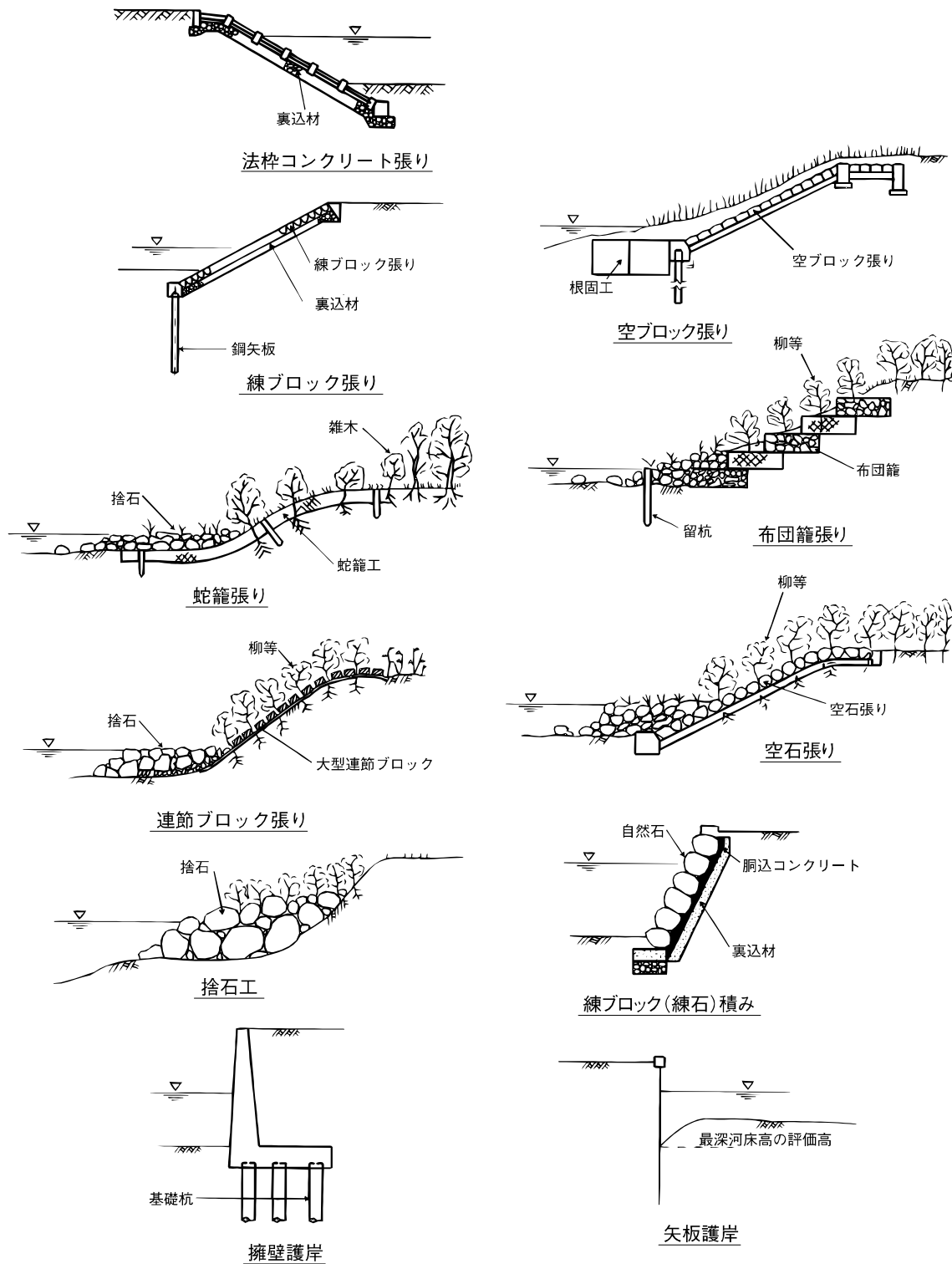
所定の根入れ深より洗掘が起こらないと推定される範囲は、多自然ブロックとしなくともよい。

(9) その他

力学設計法の計算に用いる護岸ブロックの抗力係数 C_0 、揚力係数 C_L 、ブロックの回転半径 l 、相当粗度 K_s は、「護岸ブロックの水理特性試験法マニュアル」（財）土木研究センターを参考にして実験で定めるものとする。

3-2-2 のり覆工の工種 [河川砂防(設I)第1章4.2]

のり覆工の工種の代表的な例を図3-2-1に示す。のり覆工は河道特性や作用する流速、あるいは高水敷の幅等を考慮して、河川環境に適した工種を選定し、設計する必要がある。なお、河川環境については、河川特性や環境特性を十分に把握した上で、配慮すべき事項を整理する。



[河川砂防(設I)第1章4.2] 一部加筆

図3-2-1 のり覆工の工種の例

3-2-3 張り護岸

一般的には、のり勾配が1:1.5程度より緩やかな場合に設置される。張り護岸の工種は、次のようなものがある。

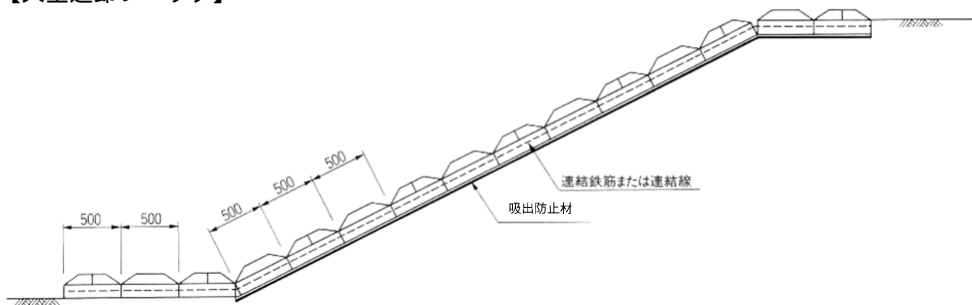
- | | |
|------------------|---------------|
| 1) 連節ブロック張り護岸 | 5) 空ブロック張り護岸 |
| 2) 覆土護岸 | 6) 空石張り護岸 |
| 3) 法枠コンクリート張り護岸 | 7) 蛇籠・布団籠張り護岸 |
| 4) 練ブロック（練石）張り護岸 | 8) 鉄線籠型護岸 |

1) 連節ブロック張り護岸

(1) 連節ブロック張り護岸

- ① 河床が洗掘する恐れがある場合又は流水によるめくれ等を考慮して、止め杭、根固等を施すものとする。
- ② 連結鉄筋は大型ブロックφ13mm、その他φ9mmとする。
- ③ 感潮区間等には、耐食性に優れたアルミメッキ鋼線等の使用も検討すること。

【大型連節ブロック】



【連節ブロック】

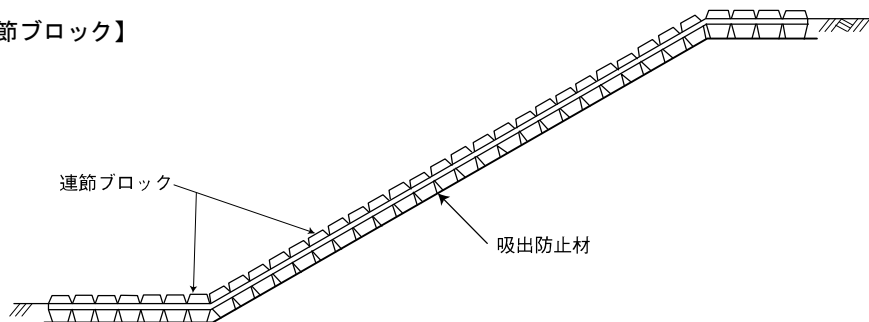


図 3-2-2 連節ブロック張り護岸

【コラム】大型連節ブロックの特徴

○近年では、護岸整備に大型連節ブロックを採用するケースが増加している。大型連節ブロックは以下の特徴があり、周辺の景観や河川環境に配慮し、擬石模様や覆土護岸のブロックの採用を検討するのが望ましい。

- ① 施工性が良いため、工期短縮となり、経済的である。
- ② 質量が大きいため、掃流力に対する安定性が高い。
- ③ 接地底面が大きいため、のり面に安定して設置できる。



大型連節ブロックの施工事例

(2) 連節ブロック張り護岸の設計

連結が確実な鉄筋などによってのり覆工に一体性が保たれており、群体としてとり扱うことのできる工種であり、単体と同様に流体力に対する安定性の検討は滑動について行なえばよい。ただし、揚力、抗力を評価する際の投影面積のとり方が異なる。

$$\mu(W_w \cos \theta - L) \geq \{(W_w \cdot \sin \theta)^2 + D^2\}^{1/2}$$

$$L = \frac{1}{2} \rho_w \cdot C_L \cdot A_g \cdot V_d^2 \quad \cdots \cdots \text{揚力} \quad (N)\{kg\}$$

$$D = \frac{1}{2} \rho_w \cdot C_D \cdot A_D \cdot V_d^2 \quad \cdots \cdots \text{抗力} \quad (N)\{kg\}$$

ここに、 A_g : 部材の突出部の上方投影面積 (㎡)

A_D : 部材の突出部の流下方向投影面積 (㎡)

- ① 上式に用いる抗力・揚力は、のり覆工表面の相当粗度 K_s 高さでの近傍流速 V_d を用いて評価する。
このとき、単体の場合とは異なり乱れの影響は考慮しない次式を用いる。

$$V_d = \frac{8.5}{6.0 + 5.75 \log(H_d / K_s)} V_o$$

- ② 抗力係数 C_D 、揚力係数 C_L は、単体と同様に実験により定めるものとする。図 3-2-3 には、風洞実験により得られたブロック内部の抗力係数 C_D および、揚力係数 C_L の一例を示す。
- ③ 基本式の適用に当たって、求まる部材の重量は、整然と平面的に施工された一体性をもつのり覆工に適用されるものであり、現実には部分的に段差等を生ずることが想定されることから、照査にあたっては計算されるのり覆工の控え厚に対して 30～50%程度割り増した値を採用することが望ましい。
- ④ 上流端の小口が保護されていない場合は、最上流部ののり覆工は「めくれ」に対する安定を検討するものとする。(本編 3-2-8 5) 参照)

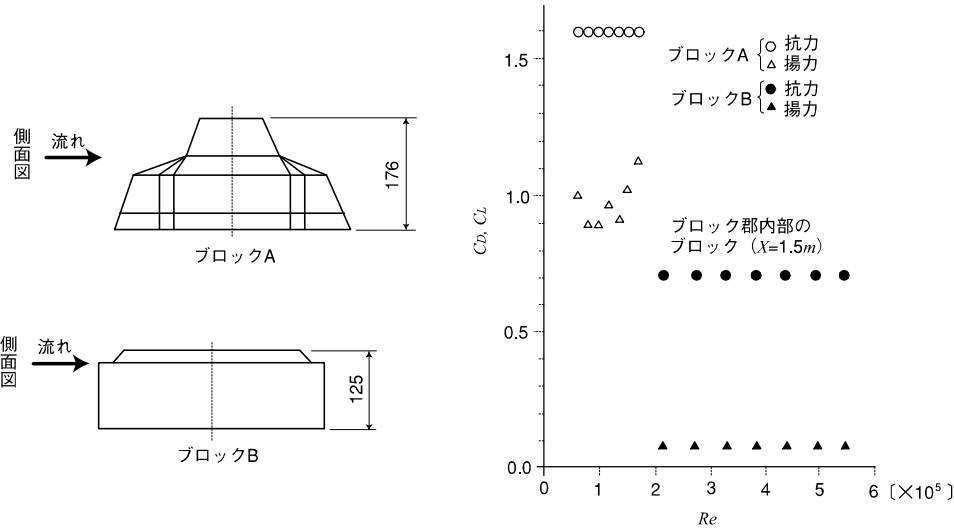


図 3-2-3 ブロック群内部の C_D 、 C_L の例

※ 計算例（連節ブロック張り護岸）

① 計算条件

のり面勾配 1:2 ($\theta=26.6^\circ$) 設計水深 $H_d=2.0\text{m}$ 代表流速 $V_0=6.8\text{m/s}$

ブロックの密度 $\rho_b=2350\text{ kg/m}^3$ $\{240\text{kg} \cdot \text{s}^2/\text{m}^4\}$

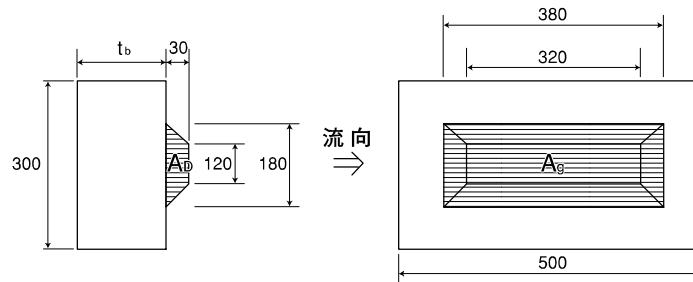
水の密度 $\rho_w=1000\text{ kg/m}^3$ $\{102\text{kg} \cdot \text{s}^2/\text{m}^4\}$

摩擦係数 $\mu=0.65$

ブロックはB型形状 揚力係数 $C_L=0.10$ 抗力係数 $C_D=0.70$

(正面図)

(平面図)



② 計算

相当粗度は、力学設計 参考 4、護岸の粗度係数評価表より求めた。

$$F=0.03 \times 0.18=0.0054$$

$$A_b'=0.30 \times 0.50-0.18 \times 0.38=0.0816$$

$A_b'/F=0.0816/0.0054=15$ 図参-11 より多少侵食を受けたと考えて $K_s=0.04\text{m}$ を用いる。

A_g : 部材の突出部上方の投影面積 $=0.38 \times 0.18=0.0684\text{m}^2$

A_D : 部材の突出部の流下方向投影面積 $=0.03 \times 0.15$ (平均) $=0.0045\text{m}^2$

控え厚を $t_b=0.115\text{m}$ と仮定して以下の計算を行なう。

部材の体積 $M=0.30 \times 0.50 \times 0.115+0.15$ (平均) $\times 0.35$ (平均) $\times 0.03=0.0188\text{m}^3$

部材の水中重量 $W_w=(2350-1000) \times 9.8 \times 0.0188=248.7\text{N}$

$$\text{近傍流速 } V_d = \frac{8.5}{6.0+5.75 \log(2.0/0.04)} \times 6.8 = 3.67\text{m/s}$$

$$\text{揚力 } L=1/2 \times 1000 \times 0.10 \times 0.0684 \times 3.67^2=46.1\text{N}$$

$$\text{抗力 } D=1/2 \times 1000 \times 0.70 \times 0.0045 \times 3.67^2=21.2\text{N}$$

$$0.65(248.7 \times 0.894 - 46.1) \geq \{(248.7 \times 0.448)^2 + 21.2^2\}^{1/2}$$

$$114.5 > 113.4 \quad \text{OK}$$

したがって、控え厚は、 $t_b=0.115 \times 1.3=0.15\text{m}$ とする。

2) 覆土護岸

覆土護岸は、コンクリートブロック護岸を現地表土などで覆うことで、植生の生育基盤である土壌を確保したものである。覆土部分は、定規断面外とするので一般的である。

(1) ブロックの種類

① 覆土ブロック

被覆土のすべりを防ぐために、ブロック表面に凹凸を設けたもので、被覆土により植生の早期回復を図る。

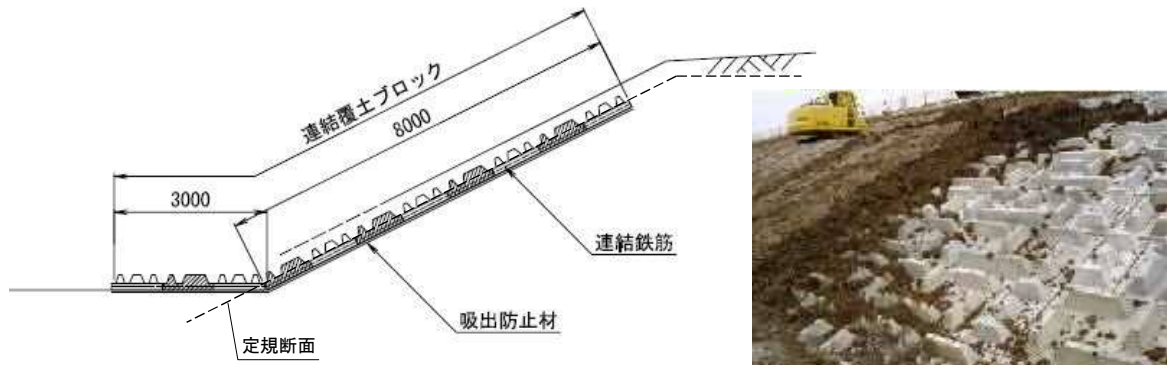


図 3-2-4 覆土ブロック（例）

② 客土ブロック

ブロックの表面に突起を設け、突起間の客土により植生の育成を図る。

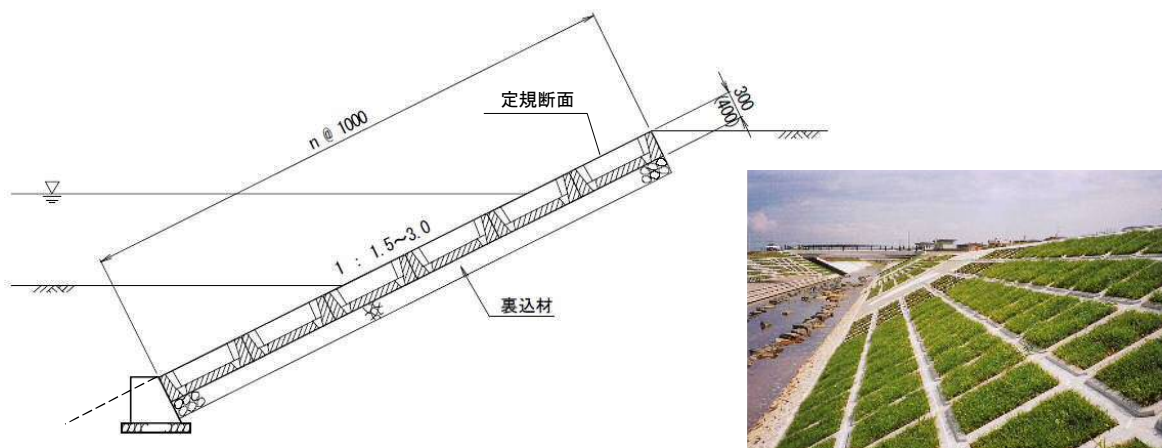


図 3-2-5 客土ブロック（例）

(2) 覆土の考え方

- ① 覆土に景観・自然回復など何を期待するか明確にする。
- ② 冠水頻度により施工後の状況を予測し、効果が見込めないようであれば覆土は行わないものとする。
- ③ 覆土材料（現地発生表土）の確保およびある程度の締固めに留意が必要。

(3) ブロックの安定性

連結が確実な鉄筋などによってのり覆工の一体性が保たれており、流体力に対する安定性の検討は「連節ブロック張り護岸」の設計と同様に扱い設計するものとする。

(4) 設計上の留意点

覆土護岸を設計する上での留意点を以下に示す。

- ① 覆土護岸工の設計にあたっては、検討対象区間の情報（治水地形分類図、基礎地盤の土質、地盤沈下）や変状等の発生実態（過去の点検資料、被災履歴（変状））を整理、把握したうえで、護岸天端の沈下等が想定される場合には覆土護岸の採用について十分に検討を行う。
- ② 覆土に使用する材料は、現地で発生した残土（表土部分）を用いて、従来生殖していた植生の早期復元を図ることが望ましい。
- ③ 覆土の厚さは、植生が繁茂するような厚さとする。
- ④ 覆土護岸は、高水護岸、堤防護岸（低水路部以外）で使用可能とする。低水護岸については、基本的に使用しない。
- ⑤ 低水護岸や水際部で覆土護岸を採用する場合は、水あたりや洪水流により、植生が回復する前に覆土が流出する可能性があるため、覆土が流出しないような対策を十分に検討する。

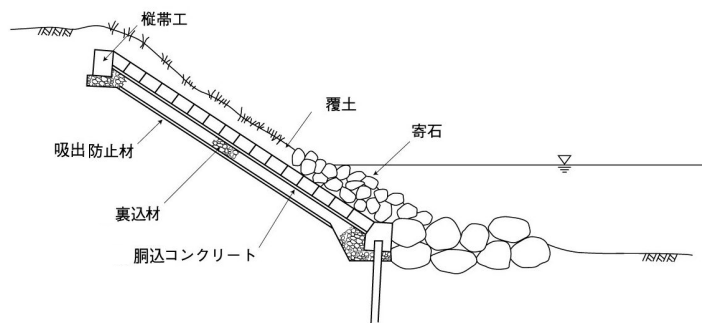


図 3-2-6 低水護岸における覆土流出対策（捨石）の例

- ⑥ 覆土護岸を採用する際は、工事台帳の更新・整理も合わせて行うことが望ましい。

3) 法枠コンクリート張り護岸

法覆工に栈型粗度形状の粗度をつけた場合の流速減勢効果の指標としては、「護岸の力学設計法、参考4. 護岸の粗度係数評価法」を参考とする。また、流体力に対する安定の検討は、本編 3-2-3 5)に準じて行うものとする。

(1) 法枠コンクリート張り（1：2）の使用基準は下記を標準とする。

① のり面について

型	法長(m)	すべり止め	中央部横枠
A	$L \leq 8$	あり	—
	$L \leq 3.9$	なし	—
A'	$L \leq 8$	なし	—
B	$8 < L \leq 10$	あり	あり
B'	$8 < L \leq 10$	なし	あり
D	$L \leq 8$	あり	—
	$L \leq 3.9$	なし	—
D'	$L \leq 8$	なし	—

注) すべり止めについては、地域住民等の河川の利用状況により考慮する。

② 平場について

C型 $1\text{m} \leq L \leq 3\text{m}$

但し、高水敷の状況に応じて平場範囲や洗掘対策の検討を行う。

③ 目地工について

- a. 構造の区切りには、必要に応じて目地を設けるのがよい。
- b. 目地工は10m毎を標準とし、樹脂発泡体 $t = 10\text{mm}$ を使用する。
- c. 法覆工のり面と平場の肩には、縦方向に目地材を入れる。
- d. 法覆工のり面の 施工目地は2m程度を標準とする。

④ 縦帯工について

- a. 縦帯工の天端高はH.W.Lとする。

(2) 標準断面図

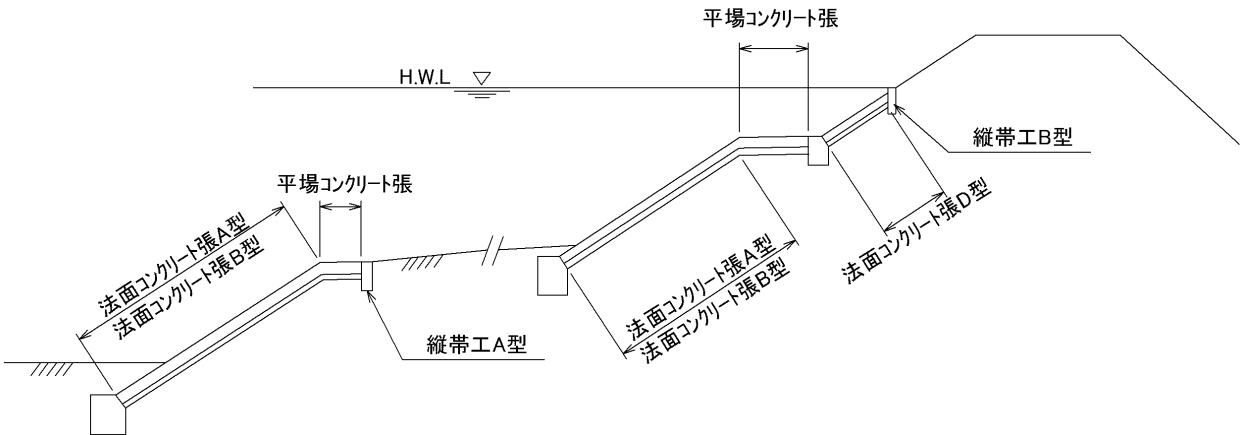


図 3-2-7 標準断面図

(3) 断面図および平面図

コンクリート張A型（中央部横枠無し すべり止め有り）

コンクリート張B型（中央部横枠有り すべり止め有り）

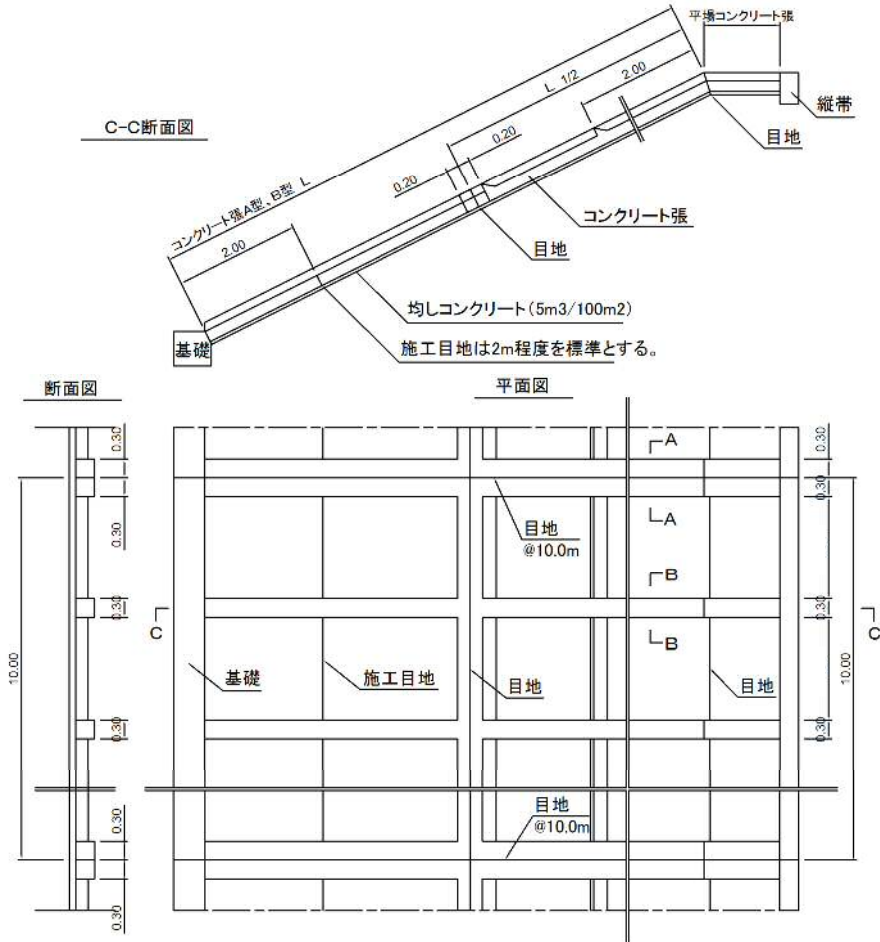
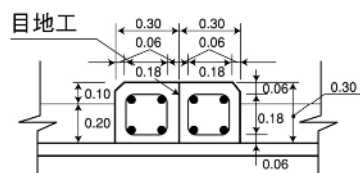


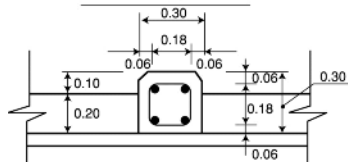
図 3-2-8 標準断面図・平面図 (A・B 型)

(4) 詳細図

A-A 詳細図



B-B 詳細図



すべり止め工 詳細図

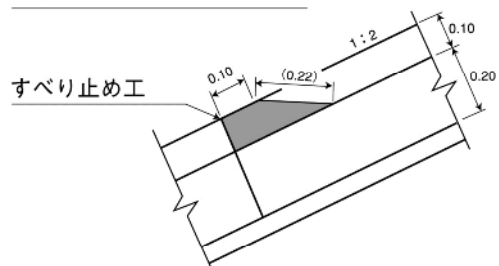


図 3-2-9 法枠詳細図

(5) 断面図及び平面図

コンクリート張D型（すべり止め有り）

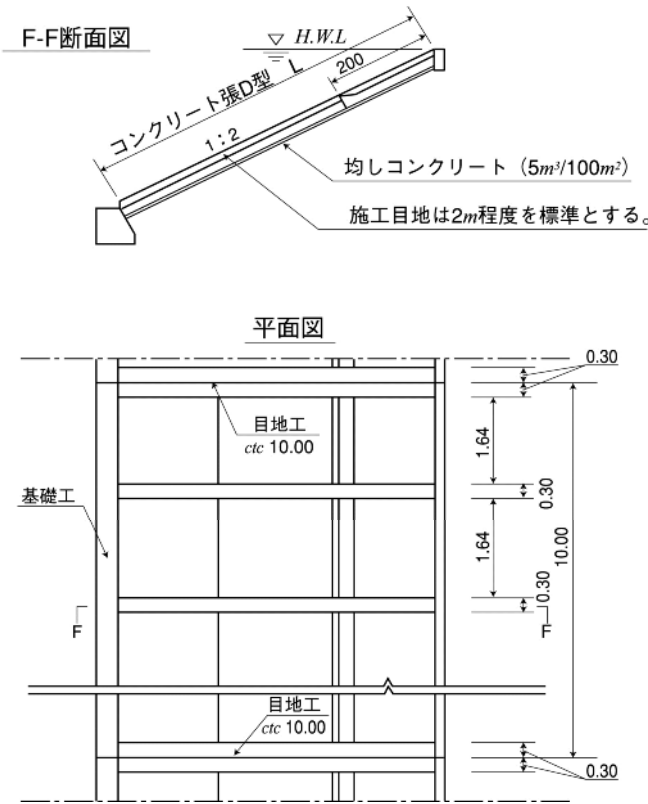


図 3-2-10 標準断面図・平面図 (D 型)

(6) 景観・環境への配慮

法枠コンクリート張り護岸は、現場打設することが多く滑面部材で構成された護岸となるため、水辺の景観や河川環境に配慮して水際部への寄石等の配置検討を行う場合がある。

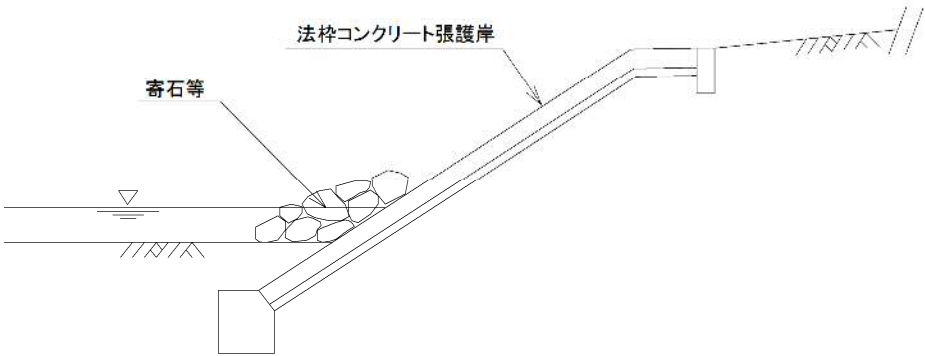


図 3-2-11 寄石等の例

(7) 維持管理

護岸天端付近の河川点検に配慮し、護岸天端に平場を設けている事例を示す。

護岸形式

場所	形式	摘要法長 L (m)
法面	低水護岸	A型 $6.5 < L \leq 11.0$
		B型 $3.5 < L \leq 6.5$
	高水護岸	I型 $6.5 < L \leq 11.0$
		E型 $3.5 < L \leq 6.5$
		A型※ $6.5 < L \leq 11.0$
		B型※ $3.5 < L \leq 6.5$
平場	-	F型 $L = 2.00, 2.85, 3.85$
		G型 $L = 0.80$

※小段を有する場合の下段法面に摘要

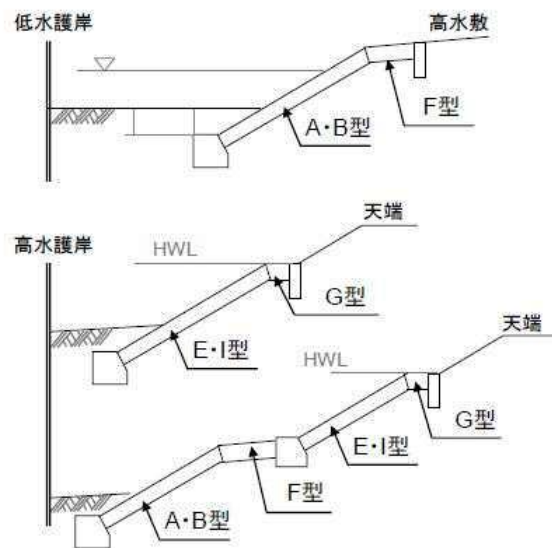
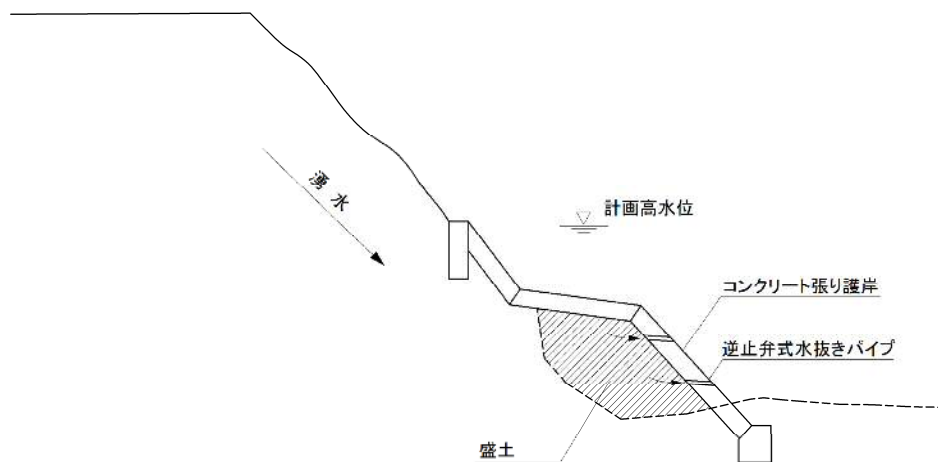


図 3-2-12 平場を設ける例

【コラム】堤内背後地が高い場合の湧水対策

○堤内背後地の地盤が高く、湧水が多量に見られる箇所において、護岸を設置する場合、残留水圧の影響で護岸の浮き上がりや吸い出しにより陥没する場合がある。

○護岸には一般に水抜きは設けないが、掘込河道等で残留水圧が大きくなる場合には、必要に応じて水抜きや逆止弁（外水対策）を設置する。また、水抜きは、堤体材料等の微粒子が吸い出されないよう吸出防止材等を設置し、盛土材についても吸い出されにくい材料を選定するのが望ましい。



湧水対策の例



吸い出しによる護岸の被災例

4) 練ブロック（練石）張り護岸〔河川砂防（設Ⅰ） 1章 4.3〕

練ブロック（練石）張り護岸は、胴込コンクリートによってのり覆工の一体性が保たれており、流体力に対する安定性の検討は、「連節ブロック張り護岸」の設計と同様に扱い設計するものとする。

- ① 練ブロック張り工は、谷積み原則とするが、曲線部等で谷積みで施工することが困難な箇所については、安全性を確保し布積みとすることができる。
- ② 裏込材厚は裏込工が粘土および粘質土、砂および砂質土は 20cm、礫および礫質土は 15cm を標準とする。

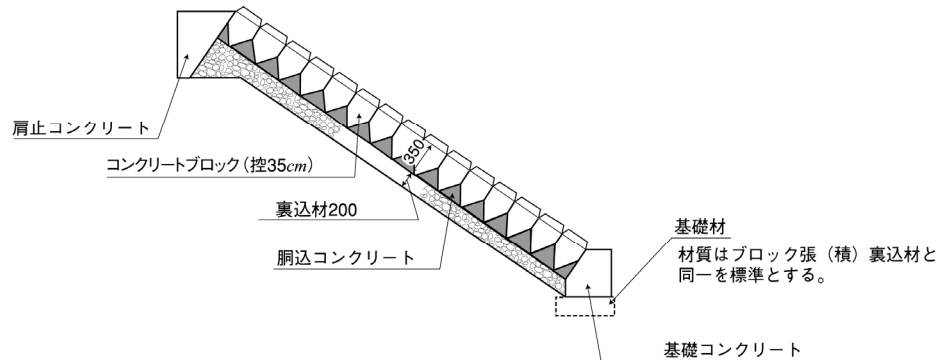


図 3-2-13 ブロック張り護岸（例）

- ③ 景観設計では、河川の風景全体、周辺地域の歴史・文化および利活用状況等を考慮して設計を行う。

a. 視点場の設定

景観設計では対象物（護岸）と眺める場所（視点場）との位置関係が重要であるため、現地の河道特性を踏まえて流軸（橋の上下流等）、対岸、水上および鳥瞰などから視点場の設定を行う。

b. 護岸の形状

護岸の平面形はできるだけ直線を用いず、ゆったりとした曲線形を基本とする。また、横断形状は左右対称にこだわらず、湾曲部に見られるような自然河川の横断特性を取り入れる。

c. 護岸の高さ・勾配

護岸の高さは、水辺に近づきやすく見えるように水面と護岸との比高が大きくなるようにする。また、コンクリート護岸の場合の勾配は、風景の中で存在感を抑えるように必要以上緩くしないようにする。

d. 護岸の素材（大きさ・テクスチャー）

自然の風景の中において、護岸が平滑的にみえないようにコンクリートブロックの大きさや素材を検討し、捨石等により水際のアクセントを検討する。

【コラム】護岸の景観の留意点（１）

○護岸は、周辺の景観に大きな影響を与える。護岸が露出する場合は、護岸の明度・彩度、色彩、テクスチャー（質感）、素材の大きさなどに留意する。

【護岸の素材選定に関する留意事項】

- ① 明度（色の明るさ）
護岸が周辺の景観に対して明るすぎず、周辺から目立つ存在になっていないこと。

② 彩度（色の鮮やかさ）
護岸が周辺の景観になじむ色であり、また、古くからその地域に使われている石積み
の色合いなど周辺から目立つ存在になっていないこと。

③ テクスチャー（素材の持つ質感、きめ）
護岸の表面に、凸凹や陰影、ざらざらした質感があり、人工的でのっぺりとした印象
を与えないこと。

④ 護岸材の形、サイズ、積み方
護岸に使われる石やブロックの形やサイズ、積み方、目地などが、周辺の景観やその
場の特性と調和していること。

【護岸の素材選定に関する留意事項】

○コンクリートブロックの色は白色に近く、明度は9～10と高い。また、コンクリートの表面は平坦になっている（ざらつきや陰影がない）ため、余計に明るい印象になる。そのため、川の周辺の自然素材（森林の色、草木の色、水面の色、石材）などと比較して明度が高くなり、非常に目立つ存在となってしまう。

○古くから護岸材として用いられてきた自然石の明度は比較的低く、土木研究所の研究によると、自然石の明度は3～6の範囲にある。

○護岸材としての自然石の明度は、3～6の範囲にあることから、コンクリートブロックについても、明度は6以下が望ましい。

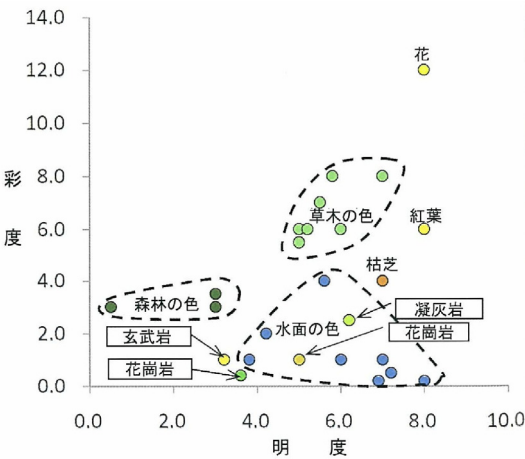


図 4-30 自然素材の明度と彩度

出展：土木研究所資料 多自然川づくりにおける河岸・水際部の捉え方 平成 22 年 2 月
独立行政法人土木研究所 水環境研究グループ 自然共生研究センター

〔ポイントブックⅢ〕

【コラム】護岸の景観の留意点（2）

○色は一般に色相（赤、青、黄などの色合い）、明度、彩度の3つの属性で表される。明度とは、明るさの度合いを表すものであり、理想的に完全な黒を明度0、理想的に完全な白を明度10としている。彩度は、色の鮮やかさを表すもので、黒・白・灰などのように無彩色のものを彩度0とし、それぞれの色相で色みが強くなるにしたがって、彩度が高くなっている。

○マンセル色票による護岸の明度・彩度の計測結果の一例を下図に示す。コンクリート護岸は、明度が高くなるが、自然石を用いた間知の場合、明度が下がっている。それぞれの時間の経過とともに、さらに明度は下がると予想されるが、自然素材によって形成される周辺景観に、比較的馴染みやすいことがわかる。

河岸タイプ	タイプ-2				タイプ-31			
	材料	模様	色	施工年数	材料	模様	色	施工年数
材料特性	コンクリート	幾何学	白	3ヶ月	石材	間知石		不明
	計測距離	天気	日照条件	備考	計測距離	天気	日照条件	備考
	10m	晴	なし		10m	晴	なし	
全景写真								
近景写真								
明度	8.5				6.0			
彩度	1.0 未満				1.0			

※マンセル色票による計測

〔ポイントブックⅢ〕

【コラム】小口止の表面処理・護岸の根入れ部の材料の工夫

○小口止については、表面処理を行い、小口止の存在が分からないよう工夫することが望ましい。
以下に表面処理の事例を示す。

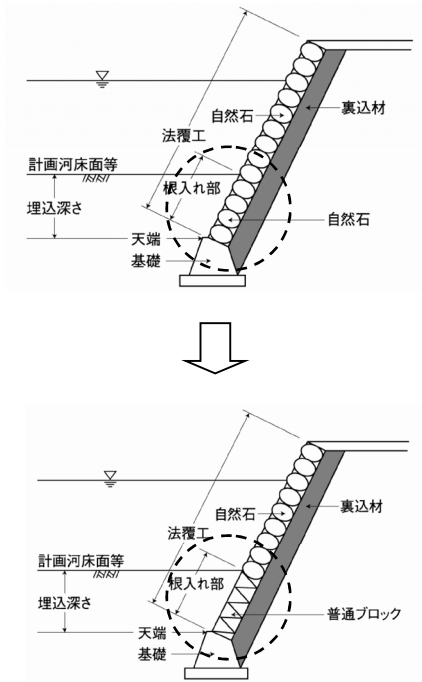


はつりによる表面処理の例

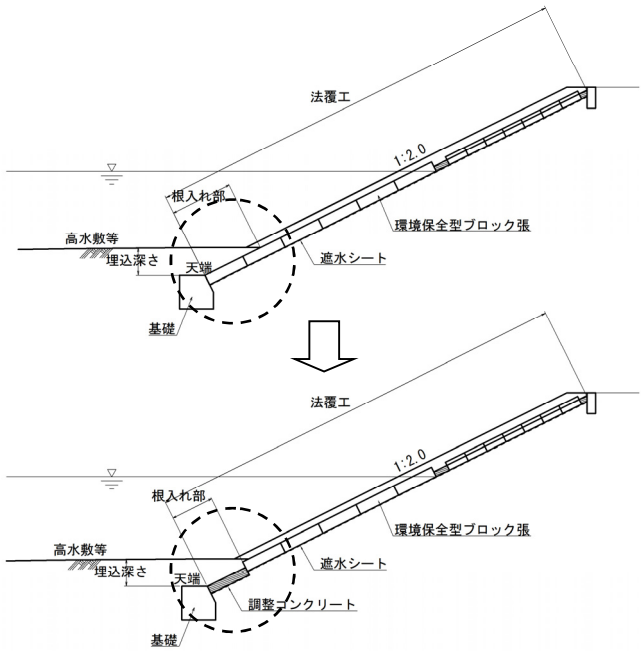


植石工による表面処理の例

○護岸のり覆工の化粧は、根入れ部は普通ブロックを採用して経済性に配慮することが望ましい。



積み護岸（根入れ部）の例



張り護岸（根入れ部）の例

5) 空ブロック張り護岸

のり覆工に一体性がなく、単体として扱うことができる工種であり、流体力に対する安全検討は、滑動に比べて転動に対する安全性がかなり高いことがわかっている。

一般には、次式に示すように抗力D、揚力Lに対する部材単体の滑動を想定した照査を行なう。

$$\mu(W_w \cos \theta - L) \geq \{(W_w \sin \theta)^2 + D^2\}^{1/2}$$

$$L = \frac{1}{2} \rho_w \cdot C_L \cdot A_b \cdot V_d^2 \quad \cdots \cdots \text{揚力 (N)}$$

$$D = \frac{1}{2} \rho_w \cdot C_D \cdot A_D \cdot V_d^2 \quad \cdots \cdots \text{抗力 (N)}$$

- ここに、
 V_d : 近傍流速 (m/s)
 μ : 摩擦係数 $\mu=0.65$ (土と吸出し防止材の間の摩擦係数)
 W_w : 部材の水中重量 $= (\rho_b - \rho_w) \cdot g \cdot M$ (N)
 ρ_b : ブロックの密度 (kg/m^3) $\{ \text{kg} \cdot \text{s}^2 / \text{m}^4 \}$
 M : 部材の体積 (m^3)
 θ : のり面勾配 ($^\circ$)
 g : 重力加速度 9.8 (m/s^2)
 ρ_w : 水の密度 1000 kg/m^3 $\{ 102 \text{ kg} \cdot \text{s}^2 / \text{m}^4 \}$
 C_L : 部材の揚力係数 (この係数は A_b に対して評価される。)
 C_D : 部材の抗力係数 (この係数は A_D に対して評価される。)
 A_b : 部材の上方投影面積 (m^2)
 A_D : 部材の流下方投影面積 (m^2)

- ① 上式に用いる抗力・揚力は、のり覆工の控え厚高さ t_b での流速である近傍流速 V_d を用いて評価する。このとき、単体として扱うのり覆工では、部材が単独で置かれた状況を想定しているので部材のサイズが相対的に小さいことから流速の評価にあたっては、乱れの成分の影響を考慮した次式を用いる。

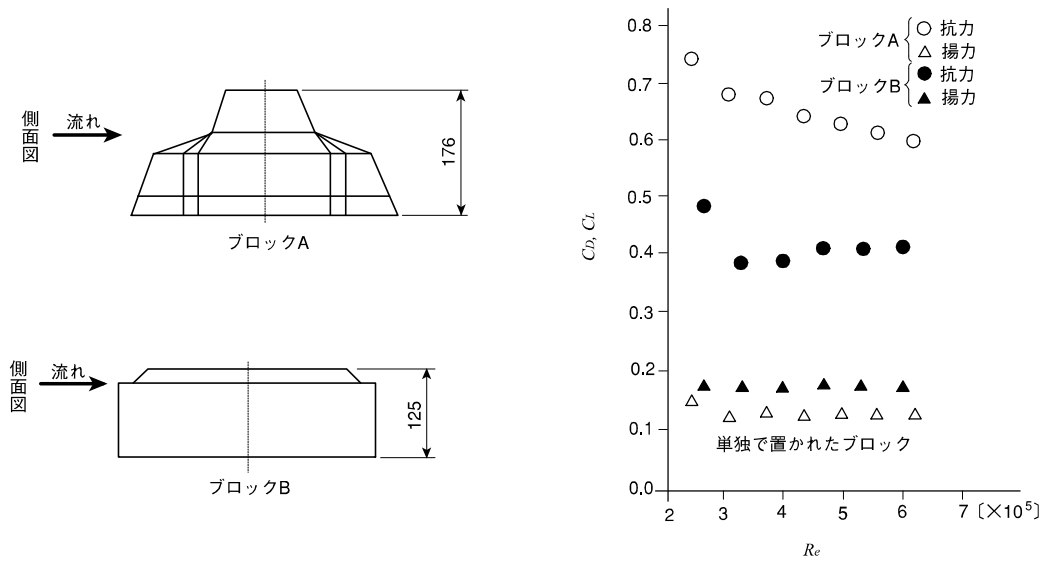
$$V_d = \frac{8.5 + 5.75 \log(t_b / K_s) + 2}{6.0 + 5.75 \log(H_d / K_s)} V_o$$

- ここに、
 t_b : ブロックの控え厚高さ (m)
 H_d : 設計水深 (m)
 K_s : 相当粗度 (使用するブロックの形状によって異なるので実験により定めるものとする。)

- ② 基本式の適用にあたっては、周囲の部材拘束効果等を考慮していないので部材の重量は安全側の値であると考えられる。既往の設置事例からすると算定される重量の 1/3 程度で安定性に問題の生じていない事例が多く、1/3 程度の値を照査の目標値としてもよい。

同じ部材でも連節ブロック張り護岸から、照査して求まる重量が、拘束効果を考慮した値であり、下限値の参考値になるのでそれとも比較のうえ検討することが望ましい。

- ③ 抗力係数 C_D 、揚力係数 C_L は個々の形状について実験により定めるものとする。単体ブロックの一例を図 3-2-13 に示す。

図 3-2-14 単体ブロックの C_D 、 C_L の例

6) 空石張り護岸

一体性が強い護岸で、ほぼ等しい大きさの部材(切出し石など)が噛み合わせ効果を期待できるよう、隙間に碎石などの胴込材を施工して、整然と設置されているのり覆工である。

① 平坦床上の場合

$$D_m = V_o^2 / \left[\{6.0 + 5.75 \log(H_d / K_s)\}^2 \cdot \tau_{sd} \cdot S \cdot g \right]$$

ここに、 D_m : 石の平均粒径 (m)

H_d : 設計水深 (m)

K_s : 相当粗度 (D_m とする)

τ_d : 部材に作用する無次元掃流力 = 0.05 [水理公式集 第3編 5.2]

S : 材料の水中比重 (= $(\rho_s / \rho_w - 1)$) は通常は 1.65 程度である。

g : 重力加速度 9.8 (m/s^2)

V_o : 代表流速 (m/s)

② 斜面上の場合

角度 θ の斜面に設置する場合は (Lane) レーンの式 [水理公式集 第3編 5.2] の補正を行なうことより部材の必要径を照査する。

$$\tau_{sd} = \tau_d \times \cos \theta \sqrt{1 - \frac{\tan^2 \theta}{\tan^2 \phi}}$$

ここに、 θ : 斜面角度

ϕ : 材料の水中安息角 (ϕ の標準値は碎石の場合 41° 、自然石の場合 38°)

- ③ 必要径 D_m は初期値を D_{m1} とし、 $K_s = D_{m1}$ と仮定し、式により繰り返し計算を行なうことによって求められる。求められた値は、何らかの原因でかみ合わせ効果が、不十分になると急激に流出しやすくなるので目標値としては、30～50%程度割り増した値とすることが望ましい。

※ 計算例(空石張り護岸)

① 条件

法面勾配 $1:3$ ($\theta = 18.43^\circ$)

代表流速 $V_o = 5.0 \text{ m/s}$

設計水深 $H_d = 4.0 \text{ m}$

材料の水中比重 $S = 1.65$

石材料の水中安息角 $\phi = 38^\circ$ (自然石)

部材に作用する無次元掃流力 $\tau_d = 0.05$

② 計算

$$\tau_{sd} = \tau_d \times \cos \theta \sqrt{1 - \frac{\tan^2 \theta}{\tan^2 \phi}} = 0.05 \times 0.949 \sqrt{1 - \frac{0.333^2}{0.781^2}} = 0.043$$

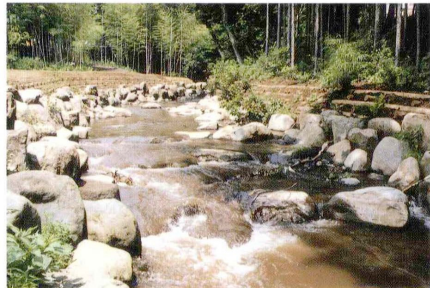
$D_{m1} = 0.20$ と仮定すると、 $K_s = 0.20$

$$\begin{aligned} D_m &\geq V_o^2 / \left[\{6.0 + 5.751 \log(H_d/K_s)\}^2 \tau_{sd} \cdot S \cdot g \right] \\ &= 5.0^2 / \left[\{6.0 + 5.751 \log(4.0/0.20)\}^2 \times 0.043 \times 1.65 \times g \right] = 0.20 \quad \text{OK} \end{aligned}$$

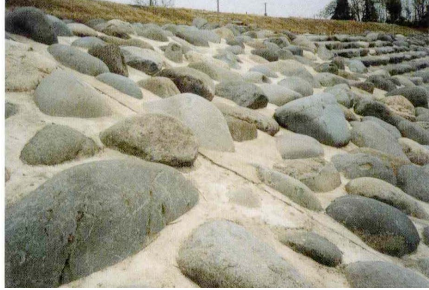
部材のかみ合わせ効果を考慮すると、石の平均粒径は $D_m = 1.3 \times 0.20 = 0.26 \text{ m}$ となる。

【コラム】多孔質空間の確保と材料手配のポイント

○空石張り（積み）は、胴込めコンクリートを打設しないため石組の目地に隙間ができる。また、基礎部に捨て石や木杭等を配置すれば、水際の変化や多孔空間を創出でき、植生や生物の育成環境に良い。



石を不規則に積んで多孔質な空間を確保した例※



空隙までコンクリートで詰められて多孔質な環境が失われてしまった例※

※〔多自然川づくり 施工と現場の工夫〕

○材料の手配は現地材料の利用を第一に考え、他所から自然材料を手配する際は、施工現場の自然環境、使用条件に相応しい材料を手配するとともに、採取地の環境保全や材料の再利用（リサイクル）についても配慮する。

【材料手配時の留意点】

- ・自然材料の手配にあたっては、その材料が計画・設計で意図した材料か確認する。

〔材料手配時のチェック事項の例〕

- 現場近傍もしくは同一河川、同一水系内の材料か
- 植栽種が在来種か
- 材料の形状、寸法、色合い等が設計条件に適しているか
- 材料採取地の自然環境に与える影響が大きいのか

- ・石材は現場周辺の自然環境や周辺環境を考慮して用いる。
- ・木材は強度や耐久性を十分に考慮し、木材を使用する位置や水位の条件に配慮する。
- ・地域材の活用を図る。
- ・現場の表土を活用し、安易に他所から土を持ち込まない。
- ・植生は外来種を使用しない。

【材料を代替する際の留意点】

- ・当初想定していた材料が手配できない場合には代替材料を検討し、場合によっては、設計の見直しも考慮する。

手配材料		材料代替（例）
表土		・同一河川や同一水系内の自然環境が類似した環境下にある場所から転用する。
植物材料	地被 草木類	・陸上部の地被・草木類はとりあえずノシバで代替し、遷移と管理によって在来植生の回復を待つ。 ・土羽のままで放置し在来植生の回復を期待する。
	低木 中木 高木類	・近傍の地被・草木類を刈り取って土壌の上に蒔き、回復を待つ。 ・植栽位置の環境条件を考慮し、同様の条件に生育可能な植物を選択する。 ・種類によっては、種子を採種して苗木繁殖を行い、挿し木や株分けを検討する。
	石材	・周辺の自生地からの移植を図る。 ・同様な形状、寸法、色合いを持つ類似の石材で代替する。 ・コンクリート塊等で代替する。
木材		・類似の品種のものをを用いる。 ・間伐材の流用を図る。 ・外材の流用を図る。

【材料採取地の環境保全】

- ・採取方法や採取量、採取後の復旧・管理等について注意し、採取地における自然環境の保全に配慮する。
- ・自然材料（石材・木材等）を手配する場合には、その採取地や採取方法について配慮する。

7) 蛇籠・布団籠張り護岸

(1) 蛇籠張り

- ① 蛇籠の網目は 15 cm を標準とするが、中詰石の入手が困難な場合は 13 cm 以下とすることができる。
- ② 蛇籠全体を一体化するために、必要に応じて胴締めを設けるものとし、鉄線の太さは蛇籠線径と同様なものとする。
- ③ 蛇籠の折返し天端は 2m 程度を標準とし、タレ部は根固工の布設幅程度とする。ただし、河床の洗掘等の恐れがある場合は別途考慮する。
- ④ 河床洗掘の恐れがある場合には止杭を設けるものとする。
- ⑤ 鉄線は、本格護岸とする場合は、鉄線の仕様を J I S G 3532「鉄線」に適合し、亜鉛＋アルミ合金メッキ（アルミ含有率 10%、付着量 300 g/m² 以上）の耐久性を有するものを使用する。
なお、仮設護岸の場合には亜鉛引き鉄線でもよい。

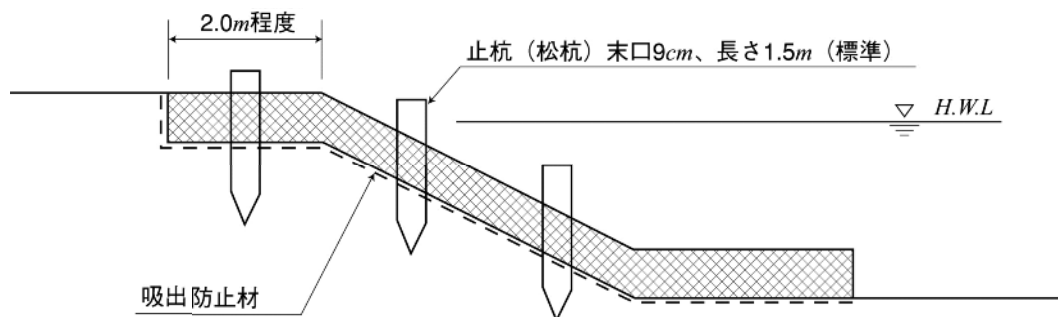


図 3-2-15 蛇籠張り護岸

- ⑥ 河道分類ごとに適用可能な形状・寸法の目安は表 3-2-1 のとおりである。

〔力学設計 5-3-3(6)参照〕

表 3-2-1 蛇籠工の胴径、線径の目安

河道分類	胴径	線径
セグメント 1	60～90 cm	5 mm(# 6)
セグメント 2	45 cm	4 mm(# 8)
セグメント 3	45 cm	4 mm(# 8)

(2) 布団籠張り

布団籠は、「蛇籠張り」に準じた線材を用いるものとする。

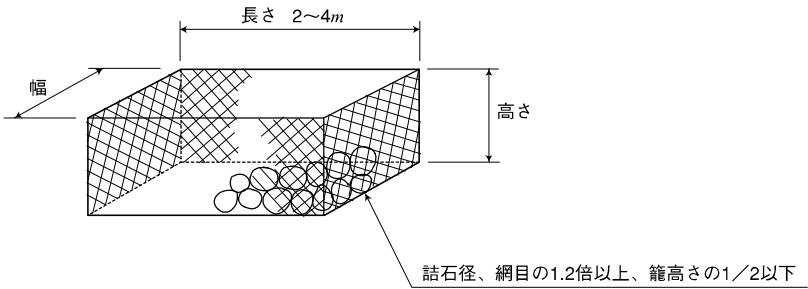


図 3-2-16 布団籠張り護岸

表 3-2-2 布団籠の規格

高さ (cm)	幅 (cm)	高さ (cm)	幅 (cm)
40	120	60	120
48	120	64	120
50	120	100	120
50	200	100	200

(3) 蛇籠・布団籠張り護岸の設計

ほぼ同一粒径の材料(石など)が籠状の枠の中に詰められている状態である。流体力による掃流を対象とし、籠詰めされた部材が単独で設置された状態について、流体力により滑動が生じる条件を照査する。

① 平坦床上の場合

$$D_m \geq V_o^2 / \left[\{6.0 + 5.75 \log(H_d / K_s)\}^2 \tau_{sd} \cdot S \cdot g \right]$$

ここに、 D_m : 中詰め石の平均粒径 (m)

H_d : 設計水深 (m)

K_s : 相当粗度 ($2.5 D_m$ 程度)

τ_{sd} : 部材に作用する無次元掃流力 $\tau_{sd} = \tau_d$ とする

籠の変形を許さない場合 $\tau_d = 0.10$

籠の変形を多少許す場合 $\tau_d = 0.12$

S : 材料の水中比重 ($\rho_s / \rho_w - 1$) は通常は 1.65 程度である。

g : 重力加速度 $9.8 (m/s^2)$

V_o : 代表流速 (m/s)

② 斜面上の場合

角度 θ の斜面に設置する場合は次式により補正を行なう。

$$\tau_{sd} = \tau_d \times \cos \theta \sqrt{1 - \frac{\tan^2 \theta}{\tan^2 \phi}}$$

ここに、 θ : 斜面角度 (°)

ϕ : 材料の水中安息角 (ϕ の標準値は碎石の場合 41° 、自然石の場合 38°)

- ③ 計算方法は、必要平均粒径 D_m は初期値を D_{m1} と仮定し、 $K_s = 2.5 D_{m1}$ と仮定し、式により繰返し計算により求めることができる。
- ④ フトン籠を図 3-2-16 のように階段状に設置する場合は平坦に設置した条件で計算してよい。

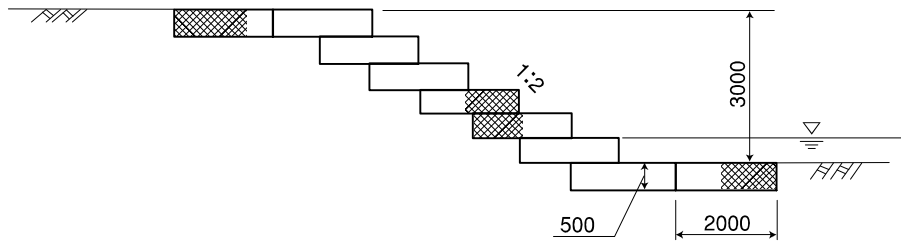


図 3-2-17 布団籠工を階段状に設置した場合の例

※ 計算例（蛇籠、布団籠護岸）

① 条件

のり面勾配 1 : 2 ($\theta = 26.57^\circ$)代表流速 $V_0 = 5.0 \text{ m/s}$ 設計水深 $H_d = 4.0 \text{ m}$ 材料の水中比重 $S = 1.65$ 部材に作用する無次元掃流力 $\tau_a = 0.10$ (籠の変形を許さない場合)中詰石材の水中安息角 $\phi = 38^\circ$ (自然石)

② 計算

(平坦床上の場合)

 $D_{m1} = 0.09 \text{ m}$ と仮定すると、 $K_s = 2.5 \times 0.09 = 0.225$

$$D_m \geq 5.0^2 / \left[\{6.0 + 5.75 \log(4.0/0.225)\}^2 \times 0.10 \times 1.65 \times g \right] = 0.09 \text{ m}$$

中詰石の平均粒径は、 $D_m = 0.09 \text{ m}$ となる。

(斜面上の補正)

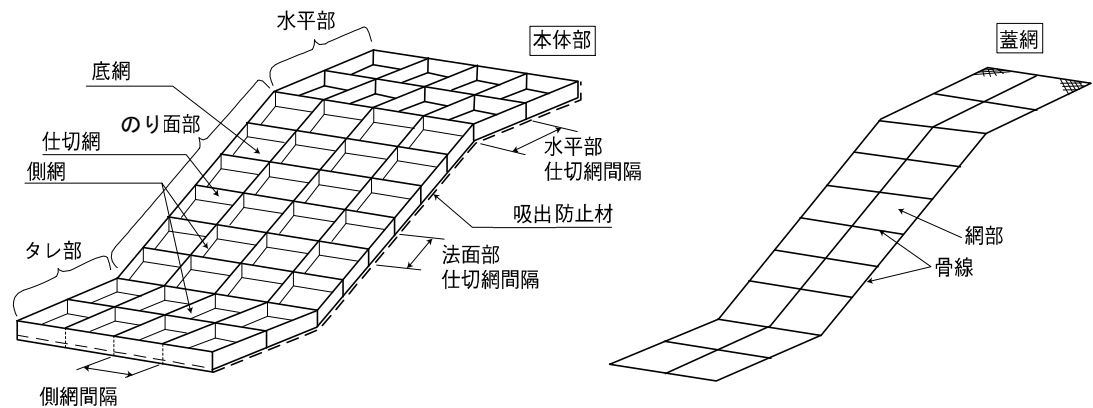
$$\tau_{sd} = \tau_d \cdot \cos \theta \sqrt{1 - \frac{\tan^2 \theta}{\tan^2 \phi}} = 0.10 \times 0.894 \times \sqrt{1 - \frac{0.50^2}{0.781^2}} = 0.069$$

 $D_{m1} = 0.16 \text{ m}$ と仮定すると、 $K_s = 2.5 \times 0.16 = 0.40$

$$D_m \geq 5.0^2 / \left[\{6.0 + 5.75 \log(4.0/0.40)\}^2 \times 0.069 \times 1.65 \times g \right] = 0.16 \text{ m}$$

中詰石の平均粒径は、 $D_m = 0.16 \text{ m}$ となる。

8) 鉄線籠型護岸 [鉄線籠型護岸の設計・施工技术基準（案）]



[鉄線籠型護岸基準]

図 3-2-18 鉄線籠型護岸の構造図（例）（低水護岸：根固工がない場合）

(1) 適用の箇所

- ① 低水護岸・堤防護岸（堤内地盤より低い箇所）については、使用可能とする。
- ② 高水護岸については、原則として使用しないものとする。
- ③ 厚さ 50cm を超える籠を必要とする区間には原則として使用しないものとする。

(2) 適用できる河川区域

護岸を施工する区間は、以下のような条件下にある区間を除くものとして取扱うものとする。

- ① 「メッキ鉄線」を使用する場合は、強い酸性水のある河川は避けるものとし、当面、pH5 以下の河川水が流れている区間を適用除外とする。

なお、「被覆鉄線」を使用する場合はこの限りでない。

- ② 「メッキ鉄線」を使用する場合は、塩分濃度の高い区間は避けるものとし、当面、塩素イオン濃度が年平均 450 mg/ℓ 以上の河川水が流れている区間を適用除外とする。

なお、「被覆鉄線」を使用する場合はこの限りでない。

- ③ 「メッキ鉄線」を使用する場合は、河岸や河床が腐食土で構成されている区間は避けるものとし、当面、黒色有機物混り土、泥炭層などの土壌で電気抵抗率が $2,300 \Omega \cdot \text{cm}$ 以下の区間を適用除外とする。

なお、「被覆鉄線」を使用する場合はこの限りでない。

- ④ 河床が人頭大程度以上の玉石又は転石で構成されている区間では、洪水時にこれらの玉石や転石が鉄線に衝突し、鉄線が摩耗したり鉄線が破断する恐れがある。そのため、このような区間は適用除外とする。

- ⑤ 護岸施工箇所ののり勾配が急になると、法面に沿う摩擦力が不足して、滑りに対する安定が不足することになり、さらには、籠内の石が下方に片寄る傾向が強くなって、護岸としての機能を損なう恐れがある。このことを考慮し、護岸施工箇所ののり勾配が $1:2$ 未満の急な区間は適用外とする。

ただし、中詰石の水中安息角は $38^\circ \sim 41^\circ$ ($1:3.0 \sim 1:1.5$) であることが知られており、また、 $1:2$ より急勾配における施工実績も数多くあるので、次の2点を考慮してのり覆工の滑りに対して十分な安全性が確保できる場合にあっては、 $1:1.5$ までののり勾配の箇所に適用してよいものとする。

- 護岸上部において、摩擦力を含めた支持機能の補強を施した構造（折り返し構造等）
- 護岸ののり尻部において、摩擦力を含めた支持機能の補強を施した構造（水平の護床工を施した構造及び突っ込み構造等）

(3) 設計にあたっての留意点

- 護岸構造は「タレ構造」を標準構造とする。
- 覆土等を行う場合、原則として現地発生土（表土）を利用するものとする。
- 中詰材料としてコンクリート塊等の現地内利用に努めるものとする。
- 蓋網部の鉄線は、滑りにくい鉄線である粗面メッキ鉄線の使用を基本とする。
- 護岸の下面には、吸出防止材を設けることを標準とする。
- 護岸の端部には、流水によるめくれを防止するため、対策工を施工するものとする。

(4) 護岸の構造検討

護岸の構造検討は、まず護岸施工区間の堤防や河岸に働く代表流速 (V_0) を算定し、この代表流速に対応した中詰材料の平均粒径 (D_m) と護岸構造を選定した後、総合的な検討により、護岸構造と適用区間の決定を行うものとする。

$$D_m \geq V_0^2 / \left[\{6.0 + 5.75 \log(H_d / K_s)\}^2 \tau_{sd} \cdot s \cdot g \right]$$

$$\text{ここに、} \tau_{sd} : \text{のり面における無次元限界掃流力} = \tau_d \cos \theta \sqrt{1 - \frac{\tan^2 \theta}{\tan^2 \phi}}$$

$$\tau_d : \text{平垣部における無次元限界掃流力} (=0.10)$$

$$s : \text{中詰め材料の水中比重 (石材 1.65、コンクリート塊 1.30)}$$

$$\theta : \text{のり面角度} (^\circ)$$

$$\phi : \text{材料の水中安息角 (碎石の場合 } 41^\circ \text{ 自然石の場合 } 38^\circ)$$

$$K_s : \text{相当粗度} (=2.5 D_m)$$

(5) 鉄線籠型護岸の構造仕様

表 3-2-3 代表流速に対応した中詰材料の粒径と護岸構造

代表流速	護岸法勾配（水平） ～護岸法勾配（1：5）		5.0m/s 以下	5.0m/s を超え 6.0cm/s 以下	
	護岸法勾配（1：3）		4.8m/s 以下	4.8m/s を超え 5.7m/s 以下	
	護岸法勾配（1：2）		4.5m/s 以下	4.5m/s を超え 5.2m/s 以下	
※上表の代表流速は水深 4m 以上に適用					
中詰材料の粒径 （平均粒径）			5～15cm （10.0cm）	15～20cm （17.5cm）	
籠の構造	籠の厚さ		30cm	50cm	
	網目	蓋部	6.5cm		
		本体部	7.5cm	10.0cm	
	線径	網部	蓋部	φ 4.0mm	φ 5.0mm
			本体部	φ 3.2mm	φ 4.0mm
		枠骨	蓋部	φ 5.0mm	φ 6.0mm
			本体部	φ 4.0mm	φ 6.0mm
	仕切間隔	水平部		2.0m 以下	
		のり面部		1.5m 以下	
		タレ部		1.5m 以下	
		側壁間隔		2.0m 以下	
	仕切の取付け角度		のり面に直角	のり面に直角 但し、のり勾配が 1:2 未満の急勾配の場合は鉛直	

注 1) 籠の厚さは中詰材料の平均粒径の 3 倍程度を確保することとした。

2) 網目の大きさは、中詰材料が抜け出さないことと剛性の確保のため籠厚 30cm では 7.5cm 籠厚 50cm では 10cm とした。

〔鉄線籠型護岸基準〕

(6) 構造別の適用区間の決定

各河川において、本要領により前章までの検討を実施した後、当該河川の上下流・左右岸の状況、砂州の移動性、類似河川の既設護岸の状況等を総合的に検討して護岸構造と適用区間を決定するものとする。

(7) 線材の品質及び品質管理

- ① 籠に使用される線材は、表 3-2-4 に示す品質のもの、又はこれらと同等品以上のものを使用する。なお、線材の引っ張り強度は 290N/mm^2 以上とする。
- ② 線材の品質は、生産過程での管理試験成績及び、公的試験機関等による品質試験結果を用いて、適切に確保するものとする。

表 3-2-4 線材の品質

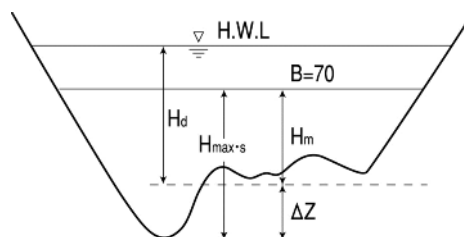
鉄線の種類	メッキ鉄線			被覆鉄線
	滑面メッキ鉄線 (蓋網以外)	粗面メッキ鉄線（蓋網専用）		
		Aタイプ	Bタイプ	
メッキ成分	アルミ 10% 亜鉛 90%	アルミ 10% 亜鉛 90%	アルミ 11% マグネシウム 2% 亜鉛 87%	アルミ 10% 亜鉛 90%
メッキ付着量	300g/m ² 以上	660g/m ² 以上	220g/m ² 以上	300g/m ² 以上
被覆材の品質等	—	—	—	ポリエチレン 押出成形法

〔鉄線籠型護岸基準〕

※ 計算例

① 条件 セグメント1. の低水護岸、直線部で砂州のある河道、根固工なし

- ・設計水深 $H_d = 4.49\text{m}$
- ・代表粒径 $d_R = 50\text{mm}$
- ・斜面角度 $1:2$ ($\theta = 26.6^\circ$)
- ・エネルギー勾配 $I_e = 1/350$
- ・低水路幅 $B = 70\text{m}$
- ・平均最大流量時の平均水深 $H_m = 2.80\text{m}$



② 計算

a. 粗度係数

$$\text{無次元掃流力 } \tau_* = H_d \cdot I_e / s \cdot d_R = 4.49 \times 1/350 / (1.65 \times 0.05) = 0.16$$

$$\phi = 0.9(5 + 5.751 \log H_d / 2.5 d_R) = 0.9(5 + 5.751 \log 4.49 / 2.5 \times 0.05) = 12.5$$

$$n = H_d^{1/6} / (\sqrt{g} \cdot \phi) \times 0.95 = 4.49^{1/6} / (\sqrt{g} \times 12.5) \times 0.95 = 0.031$$

b. 平均流速

$$V_m = \frac{1}{n} \cdot H_d^{2/3} \cdot I_e^{1/2} = \frac{1}{0.031} \times 4.49^{2/3} \times (1/350)^{1/2} = 4.69\text{m/sec}$$

c. 河床洗堀の影響による直線河道平均流速の補正

$$B/H_m = 70/2.8 = 25 \quad H_m/d_R = 2.80/0.05 = 56 \quad \text{図 3-1-15 より} \quad H_s/H_m = 0.65$$

$$\text{式 (3-8) より最大洗堀部の水深は、} H_{\max \cdot s} = \{1 + 0.8 H_s/H_m\} H_m = \{1 + 0.8 \times 0.65\} \times 2.8 = 4.3\text{m}$$

$$\text{式 (3-9) より洗堀深は、} \Delta Z = H_{\max \cdot s} - H_m = 4.3 - 2.8 = 1.5\text{m}$$

$$\alpha = 1 + \frac{\Delta Z}{2H_d} = 1 + \frac{1.5}{2 \times 4.49} = 1.2$$

d. 代表流速

$$V_o = \alpha \cdot V_m = 1.2 \times 4.69 = 5.63\text{m/sec}$$

e. 中詰材料の平均粒径 (D_m) の算出

$$\tau_d = 0.10$$

$$S = 1.65 \quad (\text{石材})$$

$$\theta = 26.6^\circ$$

$$\phi = 41^\circ \quad (\text{碎石})$$

$$\tau_{sd} = \tau_d \cdot \cos \theta \sqrt{1 - \frac{\tan^2 \theta}{\tan^2 \phi}} = 0.10 \times 0.894 \sqrt{1 - \frac{0.50^2}{0.869^2}} = 0.073$$

$$D_m = 0.20 \text{ とすると} \quad K_s = 2.5 D_m = 2.5 \times 0.20 = 0.50$$

$$D_m \geq \frac{V_o^2}{\left(6.0 + 5.751 \log \frac{H_d}{K_s}\right)^2 \cdot \tau_{sd} \cdot S \cdot g} = \frac{5.63^2}{\left(6.0 + 5.751 \log \frac{4.49}{0.50}\right)^2 \cdot 0.073 \times 1.65 \times 9.8} = 0.20\text{m}$$

表 3-2-3 より、中詰材料の平均粒径 0.20cm、籠の厚さ 50cm を用いる。

3-2-4 積み護岸 [力学設計 5-3]

一般的には、のり勾配が1:1.5程度より急な場合に設置される。胴込コンクリートの有無によって、練積みと空積みに分類される。

1) 練ブロック（練石）積み護岸

- (1) 練積み護岸を群体として検討すると流体力に対しては、代表流速 10m/sec 程度まで安定であるとの結果が得られていることより背面からの土圧・水圧が破壊の主要因となり、「道路土工・擁壁工指針」などに基づいて安定性を照査する。

(2) 河川工事のコンクリートブロック積の裏込コンクリートについて [災害復旧要領]

河川工事のコンクリートブロック積の裏込コンクリートは原則としていれないものとする。

ただし、次のような場合については、この限りではない。

- ① 護岸の直高 2.00m 以上、のり勾配 1:0.5 より急勾配(0.5 含む)のもので、護岸肩部が兼用道路で、輪荷重が護岸の安定に著しく影響する場合。

注) (直高 2.00～3.49m 下端より等厚 0.10m、直高 3.50m～5.00m 下端より等厚 0.15m)

- ② 護岸の直高 3.00m 以上、法勾配 1:0.5 より急勾配(0.5 含む)のもので、護岸の背面土質材料が砂質等、吸い出され易いもの及び、軟弱地盤で護岸の安定上特に必要とする場合。

注) (直高 3.00～3.49m 下端より等厚 0.10m、直高 3.50m～5.00m 下端より等厚 0.15m)

(3) 水抜き

- ① 護岸に水抜きを設ける場合は、原則として平水位以下には設けないものとする。
- ② 地下水位が高い場所では、 $\phi 50\text{mm}$ 程度の水抜き孔を 3.0 m²程度に1ヶ所設けるのが望ましい。

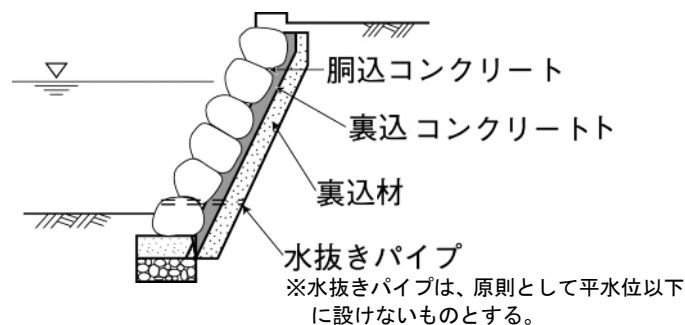


図 3-2-19 練積み護岸

2) 空ブロック（空石）積み護岸

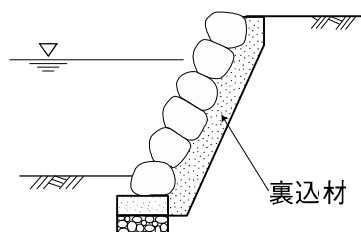


図 3-2-20 空積み護岸

3) 積み護岸の安定性の照査

積み護岸の場合は、転倒に関しては、示力線の手法を利用した安定計算を行なうことができる。

示力線方程式は、

$$x_o = \left(\frac{F_s \cdot K_{AH} \cdot \gamma}{6 \cdot \gamma_s \cdot b \cdot \sec \theta} \right) y^2 + \left(\frac{F_s \cdot K_{AH} \cdot q}{2 \cdot \gamma_s \cdot b \cdot \sec \theta} + \frac{1}{2} \tan \theta \right) y$$

限界高

$$H = \frac{3 \cdot \gamma_s \cdot b \cdot \sec \theta \cdot \tan \theta}{F_s \cdot K_{AH} \cdot \gamma} - \frac{3 \cdot q}{\gamma}$$

ここに、 x_o : 深さ y における示力線の位置 (m)

H : 限界高 (m)

y : 壁天端からの長さ (m)

b : 控え厚 (m)

θ : 壁背面と鉛直面とのなす角 (°)

K_{AH} : 水平主動土圧係数 「第1編第4章 4-5 4) (1)」による。

γ : 背面土の単位体積重量 (KN/m³) {tf/m³}

γ_s : ブロックの単位体積重量 (KN/m³) {tf/m³}

q : 上載荷重 (KN/m²) {tf/m²}

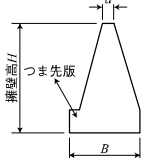
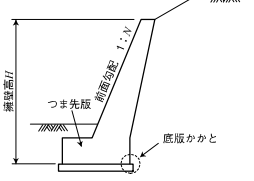
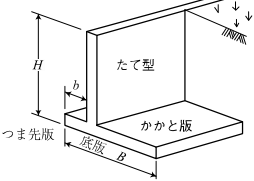
F_s : 安全率 1.5

3-2-5 擁壁護岸 [擁壁工指針 1-3、2-1]

逆T型、L型、または重力式など水圧、土圧による滑動、転倒を安定の対象とするのり覆工であり、「道路土工 擁壁工指針」等を参考にして、擁壁の安定に関する照査を行う。

1) 構造形式の選定

構造形式を選定するうえでの適用高さの目安を図 3-2-21 に示す。

重力式擁壁	 つま先版 ・ 5m程度以下	もたれ式擁壁	 つま先版 底版かかと ・ 10m以下程度が多い ・ 15m程度で用いられた例はある
		片持ばり式擁壁 (逆T型 L型)	 つま先版 底版 かかと版 ・ 3m～10m程度

[擁壁工指針 1-3、2-1]

図 3-2-21 一般的な適用高さの目安

2) コンクリート擁壁の設計

一般にコンクリート擁壁の設計は図 3-2-22 に示すフローに従って行なわれる。

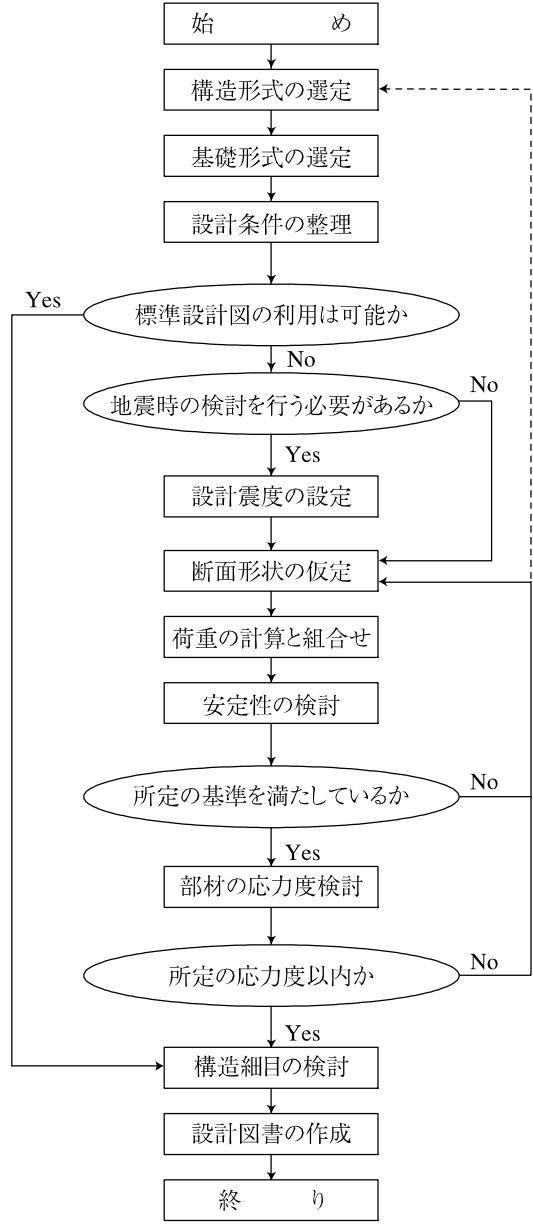


図 3-2-22 コンクリート擁壁の設計フローチャート

3) 残留水位

残留水位等の設定は、本編 3-2-6 によるものとする。

3-2-6 矢板護岸

1) 鋼矢板護岸の形式

(1) 自立式

この形式は構造が簡単であり、護岸背面に用地がない場合や、構造物が近接している場合にも採用できる。しかし、構造的に変位量が大きくなるため、壁高が高い場合、基礎地盤が軟弱地盤の場合、背面構造物への影響が大きい場合等の採用にあたっては、十分な検討が必要である。〔第4編 1-2 参照〕また、高水敷が河川敷公園や堤外民地等で利用されている場合、利用者への安全に配慮するものとする。

(2) 控式

この形式は前面矢板の背後に鋼矢板壁、コンクリート壁、杭等の控工を設置し、前面矢板と控工との各頭部をタイ材等で結合し全体で安全を確保するものである。この形式は自立式に比べ変位を小さくすることができるため、壁高が高い場合、基礎地盤がある程度軟弱な場合にも対応可能である。〔第4編 1-3 参照〕

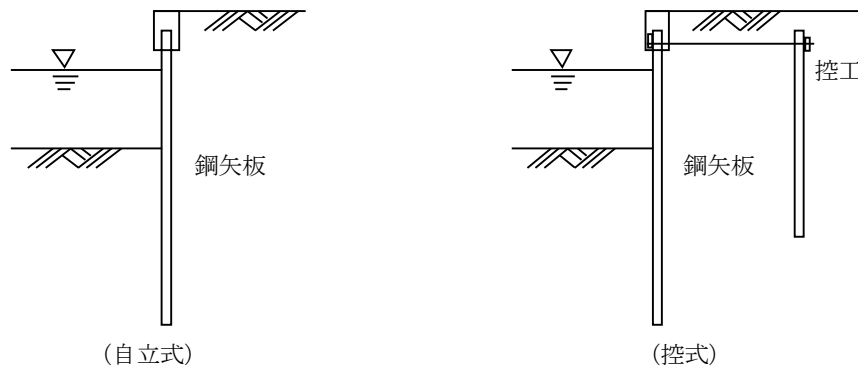


図 3-2-23 鋼矢板護岸の形式

2) 設計に用いる壁高 〔災害復旧要領〕

(1) 自立矢板護岸

- ① 根固工のない場合は、洗掘を考えた設計地盤から護岸基礎天端までを壁高とする。（図-イ）
- ② しっかりした層積の根固工がある場合は、根固工の天端から護岸基礎天端までを壁高とする。（図-ロ）
- ③ 鋼矢板の前面に根固工を併用する場合は、根固工の高さの $1/2$ 程度を受動土圧として有効と考え設計河床と仮定する。（図-ハ）

(2) 控式矢板護岸

- ① 根固工（乱積）の断面が大きい場合は、根固工の高さ $1/2$ を設計地盤高と考える。（主に堤防護岸）（図-ニ）
- ② 根固工（乱積）の断面が小さい場合の壁高は、河床からとし根固ブロックを過載荷重（空隙率や水中重量を考慮する）とし、河床の受働土圧に考慮して矢板を設計する。（主に堤防護岸）（図-ホ）
- ③ 層積の根固工がある場合は、根固工の天端から壁高をとる。（図-ヘ）

【図 解】

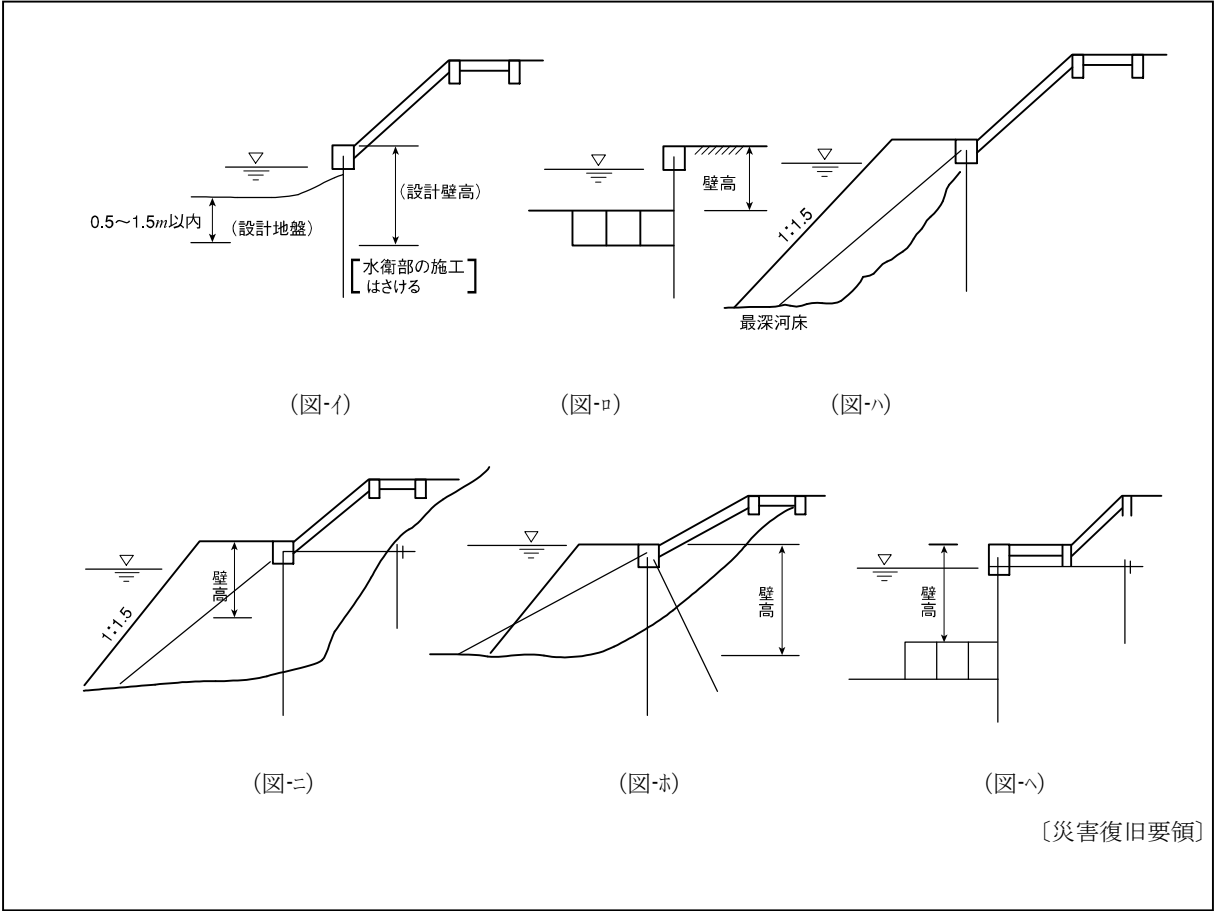


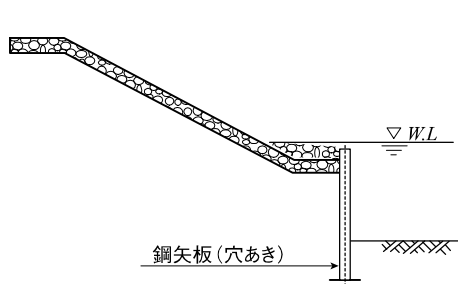
図 3-2-24 設計壁高の考え方

(3) その他矢板護岸（エコロジカル・シートパイル）

鋼矢板を用いて生態系に配慮した多自然護岸を検討するに際しては、以下の点に考慮し、現場の環境条件を十分吟味して護岸設計を行うことが望ましい。

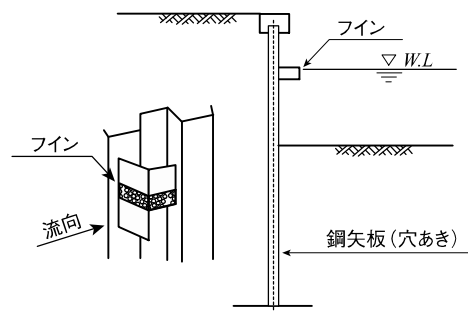
- ① 水際部の連続性……水域と陸域を遮断しないように横断方向に連続性を保つことが重要である。例えば、鋼矢板の天端は水中に没するものとし、鋼矢板の壁面は水面上に現れない断面とする（図 3-2-25）。
- ② 透水性の確保……地下水の流れを遮断することによって生態系に影響を与え、かつ地下水を遮断する必要のない場所では、鋼矢板に開孔を行い透水性を確保することが望ましい（図 3-2-25）。
- ③ 水中部の多様化……直立護岸を採用する際にはフィン（植生用ポット）等を取り付けて水中部の多様化を図ることが望ましい（図 3-2-26）。

また、設計壁高の決定に関しては、(1)、(2)の考え方に準拠する。



〔災害復旧要領〕

図 3-2-25 水際部の連続性及び透水性を確保した矢板護岸（例）



〔災害復旧要領〕

図 3-2-26 水中部の多様化を図った矢板護岸（例）

【コラム】水の連続性に配慮した矢板

○応力上矢板の上部は余裕があるため、矢板上部に小さな穴を開け、ワンド側と高水敷側の水の連続性に配慮した例※



※ [多自然川づくり 施工と現場の工夫]

3) 護岸用鋼矢板の選定について [例規集 第4編 2.5(昭和54年4月10日 事務連絡)]

[例規集 第4編 2.7(平成10年4月6日 事務連絡)]

(1) 応力計算をしないで使用する鋼矢板

経済性、安全性の観点から鋼矢板の腐食代の実態調査及び広幅鋼矢板の普及状況や近年ではハット型鋼矢板の採用実績が多いことを踏まえ、応力計算を要しない遮水用に使用する鋼矢板については、施工性等の現場の条件を勘案してⅡ型の標準型、改良型、広幅型、ハット型の中から適切な型を選定し使用するものとする。

- ① 感潮区間についてはⅡ型の広幅型以上とする。
- ② 感潮区間を除く区間
 - a. 直接表流水に接する矢板はⅡ型の広幅型以上とする。
 - b. 直接表流水に接しない矢板は原則としてⅡ型の改良型以上とする。

(2) 応力計算をして使用する鋼矢板

計算値により使用する型を決めるものとするが、この場合でも(1)の区分について十分考慮のうえ、その使用型を選定すること。但し控式矢板の控え杭に鋼矢板を使用する場合はⅠ型改良型の厚さ以上とする。

尚、応力計算にあたっては、必要に応じて施工時の計算も行い安全性を確認する。

(3) 腐食代

- ① 感潮区間及び感潮区間を除く区間でも水質が悪い場合は原則として、前面2mm背面1mm両面3mm。
- ② 感潮区間を除く区間及び控え杭については前面1mm背面1mm両面2mm。
- ③ その他特に配慮が必要な場合は別途考慮する。

(4) その他

- ① 樋門等はⅡ型標準以上の厚さのものとする。なお、施工法等も加味し広幅型、ハット型との経済比較の上決定する。
- ② 仮設工使用のリース鋼矢板は市場性よりⅡ型以上の標準型とする。

4) 設計荷重

鋼矢板護岸の設計には設計荷重として、自重、土圧、残留水圧、地震時慣性力、護岸背面の上載荷重を考慮するものとする。

(1) 自重

通常、頭部コンクリートおよび鋼矢板の自重は、軟弱地盤での矢板の鉛直支持力や鋼矢板圧縮応力度の検討に必要となるが一般にこれらが問題となることはないため、設計上は無視されることが多い。

しかし、頭部コンクリート上にブロック護岸が載荷される場合や、コンクリート擁壁と一体構造とする場合等のケースにおいては、上記の検討に自重を考慮するものとする。

(2) 土圧

- ① 砂質土の土圧は原則としてクーロンの公式第1編第4章設計一般4-5 土質定数 4)によって計算する。
- ② 矢板護岸に働く壁面摩擦角は砂質地盤の場合、常時の主働土圧に対して $+15^{\circ}$ 、受働土圧に対して -15° 、地震時の主働土圧に対して $+15^{\circ}$ 、受働土圧に対しては 0° とする。〔災害復旧要領〕

(3) 残留水圧

護岸矢板背面の水位と前面の水位との間に水位差を生ずる場合には、残留水圧を考慮するものとする。

なお、前・背面水位の取り方は、次のように設定されることが多い。

- ① 常時の水位条件は、②、③のいずれか危険な方とする。
- ② 常時として、前面水位は最低水位又は河床高と同高、背面水位は堤内地下水位。
- ③ 常時として、前面水位は低水位、背面水位は低水位より洪水位（又は護岸天端高）と低水位の水位差の $2/3$ あがった水位。
- ④ 地震時の水位条件は、前面水位は低水位、背面水位は堤内地下水位。
- ⑤ 堤内地下水位が不明の場合には、前面水位より護岸天端と前面水位との差の $2/3 \sim 1/3$ あがった水位、又は $0.5 \sim 1.0\text{m}$ 程度あがった水位等で設定するが周辺の状況から判断して設定するものとする。
- ⑥ 感潮区間の場合の前面水位は朔望平均干潮位、背面水位は潮位差の $2/3$ あがった水位。

【図 解】

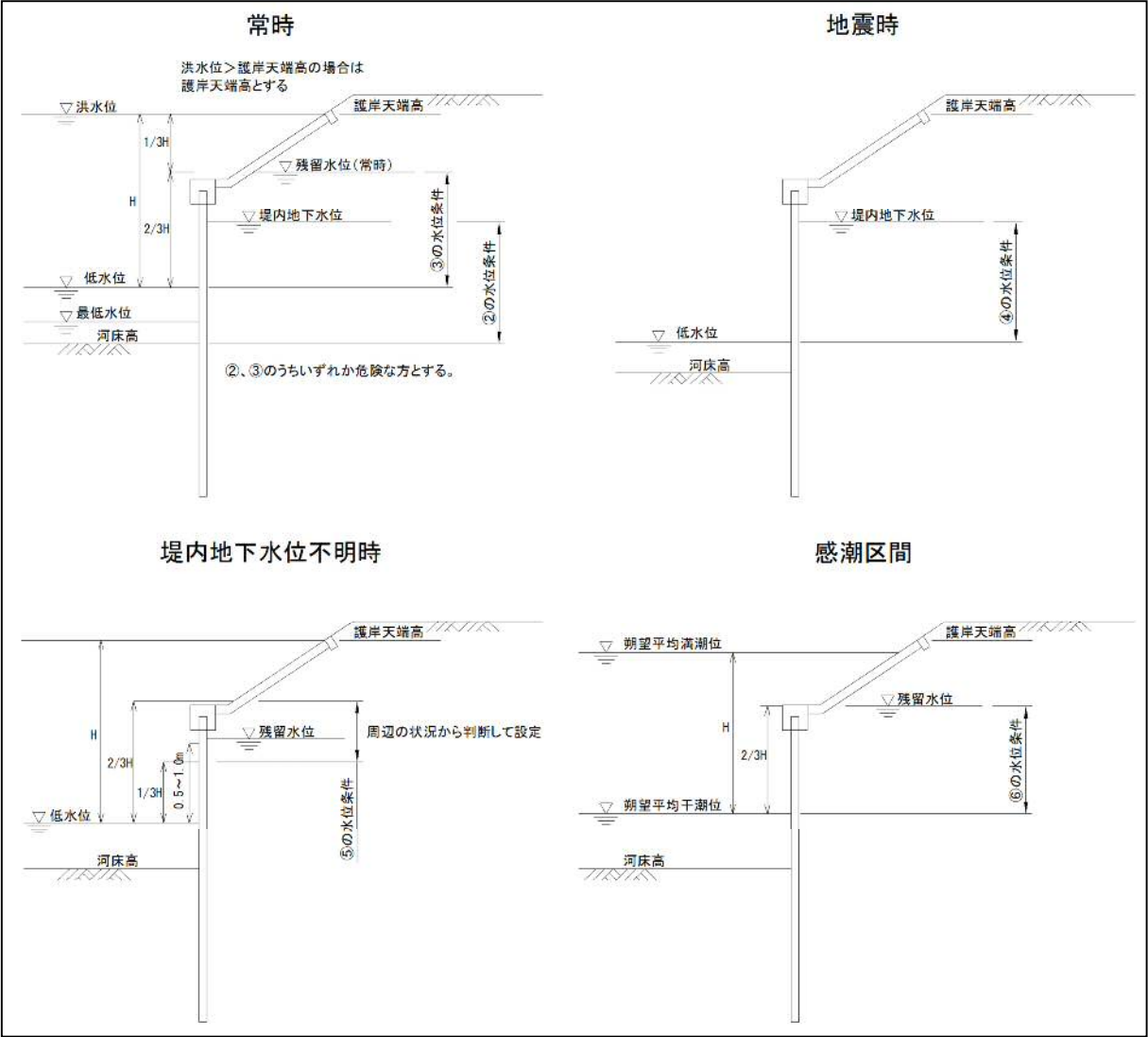


図 3-2-27 残留水位

(4) 設計水平震度

- ① 空気中における設計震度は、本編 2-3-3 4) (4) 表 2-3-16 によるものとする。
- ② 水中における見かけの水平震度は、第 1 編 4-2 2) によるものとする。

(5) 上載荷重

護岸背面の上載荷重は余盛、トラック等の運行、地盤沈下後の嵩上盛土、背面舗装、積雪地域での、雪荷重等を考慮し、次の値を標準とする。

- ① 常 時 $q=10 \text{ KN/m}^2$ {1.0 tf/m²}
- ② 地震時 $q= 5 \text{ KN/m}^2$ {0.5 tf/m²}

5) 設計条件

(1) 護岸鋼矢板の継手効率について [例規集 第4編 2.8(昭和57年5月31日事務連絡)]

① 応力を計算する場合の鋼矢板護岸（標準型、改良型を用いたもの）の鋼矢板壁単位幅当りの継手効率は、笠コンクリートや鋼矢板の根入れ等が十分確保できる場合には、当分の間断面二次モーメント（ I ）に関する継手効率を $\alpha_I=0.8$ （ハット型鋼矢板は $\alpha_I=1.0$ ）、断面係数（ Z ）に関する継手効率を $\alpha_Z=1.0$ とする。

② Chang の公式により最終根入れ長さを決定する場合には断面二次モーメントは $\alpha_I=1.0$ とする。

表 3-2-5 鋼矢板の継手効率一覧表

分類	構 造		継手効率				腐食代 (表裏計算)		矢板の許容応力度	
			モーメント 計 算 Changの式 使用の場合	断面計算	根入れの 決 定 Changの式 使用の場合	たわみ計算			常 時 (N/mm^2)	地震時 レベル1 (N/mm^2)
本設	鋼矢板壁 (自立式矢板護岸等)		$I=0.80 \times F$	$Z=1.00 \times F$	$I=1.00$ 腐食は 考えない	$I=0.80 \times F$	一般 区間 感潮 区間	2mm 3mm	180	270
仮設	※ 二重締切方式 鋼矢板壁	堤防開削 有	-	$Z=0.60$	-	$I=0.45$	-	-	180	270
		堤防開削 無	-	$Z=0.60$	-	$I=0.45$	-	-	270	-
	※切梁・腹起し材 のある鋼矢板壁		-	$Z=0.60$	-	$I=0.45$	-	-	270	-
	自立式鋼矢板壁		$I=0.45$	$Z=0.60$	$I=1.00$	$I=0.45$	-	-	270	-

注 (1) 鋼矢板の断面二次モーメント I と断面係数 Z は、継手の剛性を考えて、幅1m当りの値に表中の効率を乗じた値を用いる。

(2) F : 腐食効率（腐食時の鋼矢板断面係数 Z / 腐食のない場合の断面係数 Z_0 ）

(3) 矢板天端をコンクリートまたは溶接によりコーピングする場合は、断面二次モーメント I 及び断面係数 Z を0.80まで上げることができる。

(4) 鋼矢板の設計長は本設、仮設とも0.5m単位で切り上げる。

(2) 杭頭変位量

杭頭の水平変位量は、常時 50 mm、地震時 75 mm程度とする。

(3) 許容応力度

① 鋼矢板の許容応力度は、第1編 4-3 2) (3) 表 4-3-12 を参照する。

② タイ材の許容引張荷重は、第1編 4-3 2) (6) 表 4-3-19 を参照する。

(4) タイ材の継手

① タイロッドを使用する場合は変位に対応できる構造とし、タイロッド腐食代は2mm（水質等によりこれより難しい場合は別途考慮する）とし、タイロッドはネジを切ると断面積が減少するので、その部分を太くし、ネジの谷の部分がタイロッドの直径より小さくならないようにすること。

② タイロッドは継目にターン・バックルを取り付けて、長さの調節ができるようにする。また、裏埋土の沈下などで曲げ応力が生じるおそれがあるので、リング・ジョイントを設ける必要がある。

③ タイワイヤーは両端の圧縮部を直接ネジ切りし、ターン・バックルの機能を持たせている。このためその定着長を考慮して設計する。また、この部分については、タイロッドで用いるターン・バックルと同様最小断面に対して安全となるように設計する。

3-2-7 その他の護岸

1) 捨石護岸

隣接部材との一体性が弱く、個々の部材が敷き並べられている構造ののり覆工であり単独の部材の安定に関する照査を行なう。

のり覆工の部材に作用する掃流力が部材(自然石)の移動限界を超えないものとして代表流速 V_o と部材の大きさの関係を次式により求める。

① 平坦床上の場合

$$D_m = \frac{1}{E_1^2 \cdot 2g \left(\frac{\rho_s}{\rho_w} - 1 \right)} V_o^2 \quad \dots\dots\dots \text{米国工兵隊の評価式}$$

ここに、 D_m : 石の平均粒径 (m)

V_o : 代表流速 (m/s)

ρ_s : 石の密度 (kg/m^3) $\{\text{kg} \cdot \text{s}^2 / \text{m}^4\}$

ρ_w : 水の密度 (kg/m^3) $\{\text{kg} \cdot \text{s}^2 / \text{m}^4\}$

ρ_s / ρ_w は通常 2.65 程度である。

E_1 : 流れの乱れ強さを表わす実験係数 (通常は、 $E_1 = 1.2$ が用いられる場合が多い。この値は、比較的乱れが小さい流れの場合の係数である。乱れが大きい流れの場合の係数としては、 $E_1 = 0.86$ という値が示されている。)

② 斜面上の場合

捨石を斜面角度 θ ののり面に設置する場合には、粒径 D_m に対して斜面の補正係数 K を乗じた値 $K \cdot D_m$ を捨石径とする。

$$K = \frac{1}{\cos \theta \sqrt{1 - \frac{\tan^2 \theta}{\tan^2 \phi}}}$$

ここに、 ϕ は石材料の水中安息角 (ϕ の標準値は碎石の場合 41%、自然石の場合 38%)

※ 計算例 (捨石護岸)

① 条件 のり面勾配 1 : 2 ($\theta = 26.57^\circ$)

代表流速 $V_o = 4.0 \text{ m/s}$

材料の水中比重 $(\rho_s / \rho_w - 1) = 1.65$

石材料の水中安息角 $\phi = 38^\circ$ (自然石)

$E_1 = 1.2$ (比較的乱れが小さい流れの場合)

② 計算 $D_m = \frac{1}{E_1^2 \cdot 2g (\rho_s / \rho_w - 1)} V_o^2 = \frac{1}{1.2^2 \times 2g \times 1.65} \times 4.0^2 = 0.34 \text{ m}$

(斜面上の補正)

$$K = \frac{1}{\cos \theta \sqrt{1 - \frac{\tan^2 \theta}{\tan^2 \phi}}} = \frac{1}{0.894 \sqrt{1 - \frac{0.50^2}{0.781^2}}} = 1.46$$

部材の大きさは、 $D = 1.46 \times 0.34 = 0.50 \text{ m}$ となる。

2) ポーラスコンクリート河川護岸 [ポーラス護岸の手引き]

ポーラスコンクリート河川護岸工法は、従来のコンクリート護岸の構造の構造体に植生機能を付加できる多孔質な（ポーラス）河川護岸工法である。

(1) 適用の範囲

ポーラスコンクリート河川護岸は法勾配が1:1.5より緩い張り護岸を標準とする。適用範囲は、低水護岸、高水護岸、堤防護岸とする。なお、詳細については「ポーラスコンクリート河川護岸工法の手引き（財）先端建設技術センター編」を参考に行うものとする。

(2) 基本構成

① ポーラスコンクリート

粗骨材とセメントペーストあるいはモルタル、樹脂等からなり、河岸の侵食防止機能と植生基盤としての役割をはたす。最小厚さは、事例および施工性等から10cm程度以上が望ましい。

② 充填材

ポーラスコンクリートに植物の根の進入・活着を促進する目的で、護岸上に土壌が自然に堆積しないような条件の場合や覆土が施工できない場合など、ポーラスコンクリートの植生基盤としての機能が確保できないときに使用する。

これまでの事例では、土壌、肥料、土壌改良材、土壌安定材、保水材等が用いられている。

③ 覆土材・吹付材・張芝

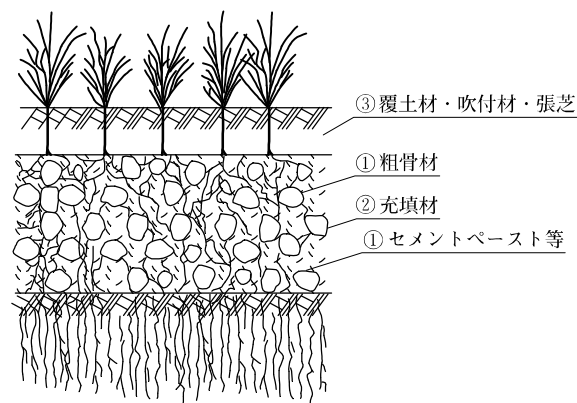
ポーラスコンクリート河川護岸上を覆う植生基盤の材料である。この植生基盤は、養分と水分を有し、発芽の促進、植生の発現および維持のために必要に応じて使われる。

a. 覆土材の厚さは、現地発生土を用いるときは10cm程度が望ましい。

b. 吹付材は、特定の種子を早期に発現させる場合や覆土材の侵食防止に用いられ、厚さは6cm程度が望ましい。

c. 張芝は、事前に栽培しておいたマット状の芝をのり面に張付けるものである。

④ 基本的な構成は、図3-2-28に示すように、①を基盤とし、その単独使用もしくは、これに加えて充填剤②、覆土材・吹付材・張芝からなるものであり、①、①+②、①+③、①+②+③、の組み合わせが考えられる。



[ポーラス護岸の手引き]

図3-2-28 ポーラスコンクリート河川護岸の基本構成例

(3) 護岸構成の決定

ポーラスコンクリート河川護岸の護岸構成は、護岸の種類、植生の目標および植生の成立する時期を考慮して決定する。

表 3-2-6 ポーラスコンクリート河川護岸の基本構成

目的 用途	護岸の タイプ	植生の目標	河川護岸の構成				
			ポーラスコ ンクリート	充填材	覆土材 (現地発生土)	客土 客土吹付け	植生工 (播種・植栽)
と周 同 化 す る こ と を 目 的 と す る。	自然河岸 タイプⅠ	自然な植生が（1年未満） 早期に発現を期待する。	○	○	○		○
	自然河岸 タイプⅡ	自然な植生が（1～3年未満） 中期に発現を期待する。	○	△	○		
	自然河岸 タイプⅢ	自然な植生が長期に発現 を期待する。	○				
れ る 区 域 、 特 定 の 植 種 な ど 用 途 が 限 定 さ れ る 区 域。	特定河岸 タイプ	張芝の場合	○	○		○	○
			○	○		○ (種子込み)	
		ワイルドフラワーの場合	○	○		○	○
			○	○		○ (種子込み)	

○： 必須、 △： 必要に応じて使用

〔ポーラス護岸の手引き〕

(4) 構造仕様

護岸タイプに応じた強度および空隙率の適用範囲を表 3-2-7 に示す。

表 3-2-7 ポーラスコンクリート河川護岸の構造仕様

護岸タイプ	適用範囲	
	強 度	空隙率
①自然河岸タイプ・特定用途 タイプ（一般的な箇所）	10N/mm ² 以上	21～30%
	空隙率によっては、18N/mm ² ま では可能	植生を重視する箇所や植生に 対する気象条件等が厳しい箇 所は 25%以上とする。
③自然河岸タイプ（流水の作 用が厳しい箇所等強度が必要 な場合）	18～21N/mm ²	18～21%

〔ポーラス護岸の手引き〕

(5) 護岸の安定性の検討

- ① 個々のブロックが流れのなかに単体として置かれている状態では、本編 3-2-3 5) に準じて行う。
- ② 現場打ちポーラスコンクリート、または胴込コンクリートや鉄筋等により連結された一体性の高いブ
レキャストポーラスコンクリートのような場合は、本編 3-2-3 1) に準じて行う。

3) 環境保全型ブロック

生態系、親水性および景観等の保全・創出に配慮したブロックである。これらの使用にあたっては一般ののり覆工と同様の強度、耐久性、安全性を有する構造とするものとする。

○魚巣ブロック

魚巣ブロックは、平水位以下に使用することを標準とする。

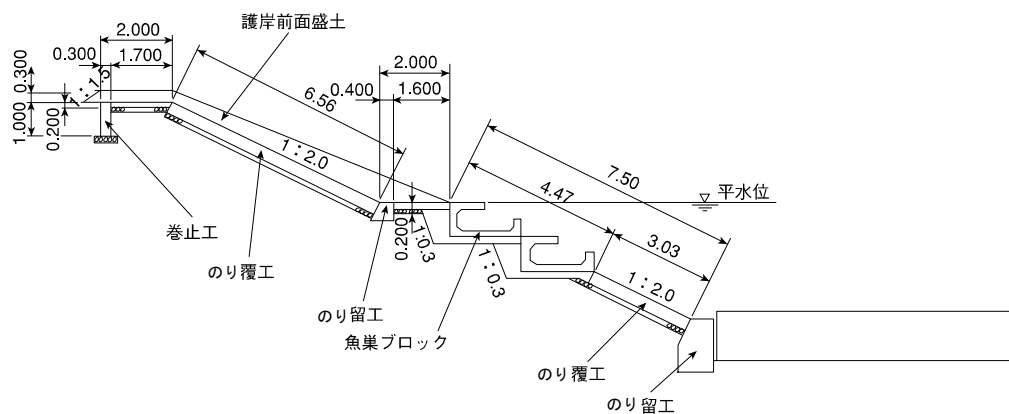


図 3-2-29 魚巣ブロック施工例

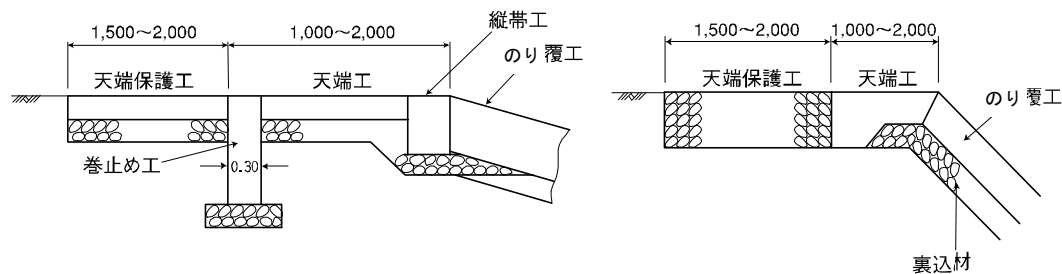
3-2-8 関連構造の設計

1) 天端工および天端保護工 [河川砂防(設I)第1章 4.2.4]

低水護岸が流水により裏側から侵食されることを防止するため、必要に応じて天端工・天端保護工を設けるものとする。

【解説】

- ① 天端部分に作用する流速が1~2m/s程度を超える場合には、洗掘が生じる可能性が高いので、天端工、天端保護工を設置することが望ましい。天端工の端には巻止め工を設置する場合もある。
なお、天端工および天端保護工の幅は、被災履歴や高水敷の状況等に応じて検討するものとする。
- ② 流体力の作用に対して安全な厚さとする必要がある。
- ③ 天端保護工には、蛇籠、連節ブロック、鉄線籠、石張り等を施工している事例が多い。



[力学設計 5-3-4]

図 3-2-30 天端工および天端保護工の設置例

2) 縦帯工

縦帯工については、下記の分類による。

- A型 0.7m×0.3m (低水護岸)
- B型 0.5m×0.2m (高水護岸)

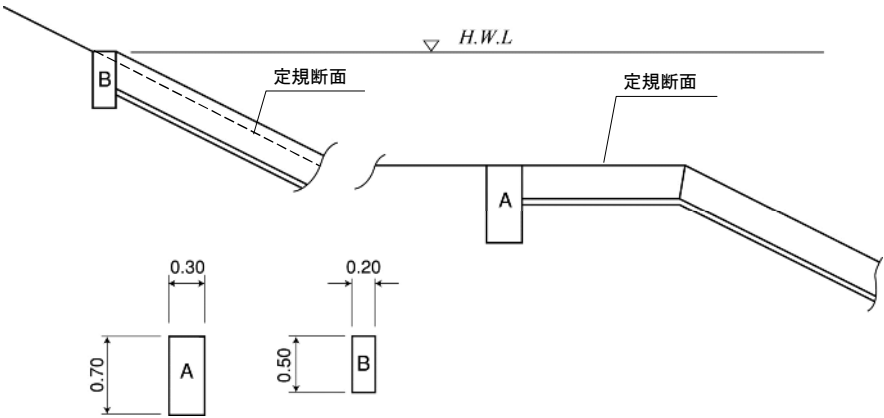


図 3-2-31 縦帯工

3) 小段 〔河川砂防（設Ⅰ）第1章4.2〕

堤防護岸（高水護岸）の、のり長が10mを超えるような場合には、必要に応じて1m以上の幅の小段を設けるものとする。ただし、のり勾配が1:2の場合とする。この場合の小段は、護岸の設置に伴い必要となるものであり、河川管理施設等構造令第23条に規定する堤防の安定のための必要となる小段とは目的を異とする。

4) 小口止工 〔力学設計5-3〕

小口止工は、のり覆工の上下流端部を保護する必要がある場合に設置するもので、護岸の上下流で河岸侵食が生じても護岸本体に影響が及ばない構造とする。

- ① 小口止工の設置範囲はのり覆工および天端工が設置されている区間とする。
- ② 低高水護岸の端部（既設護岸と接する場合は除く）には、小口止工を設けることを原則とする。
- ③ 蛇籠張り、連節ブロック等簡易護岸についてはこれを省くことができる。
- ④ 急流河川で洗掘深が大きい場合は、根入りを別途考慮すること。

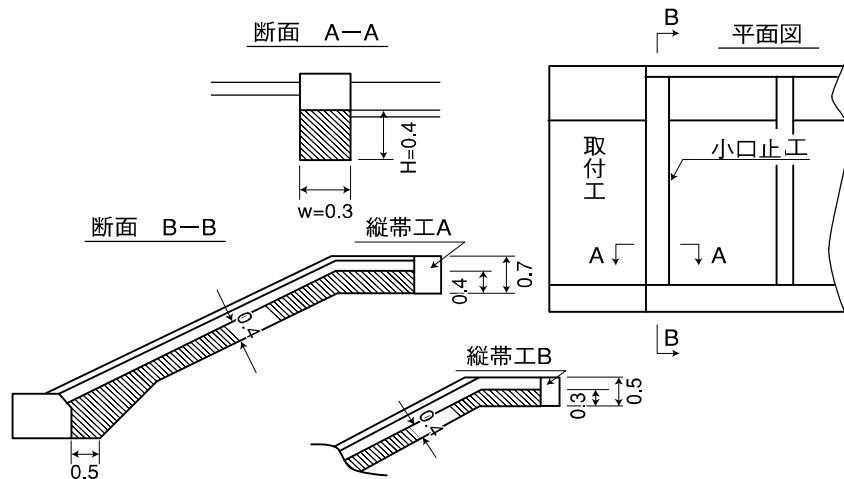


図 3-2-32 小口止工の例

5) すりつけ工 [河川砂防（設Ⅰ）第1章 4.2]

護岸上下流端部に設けるすりつけ工は、上下流端で河岸侵食が発生しても本体に影響が及ばず、地盤になじむような構造とする。

【解説】

- (1) 基本
- ① すりつけ工としては、連節ブロック張り又は蛇籠張り等を用いるものとする。
 - ② 取付角度は、上流側 30° 以下、下流側 45° 以下程度を標準とするが、現況河岸の状況により変えることができる。
 - ③ 上下流方向の延長については、事例的には 5m 以上のものが多い。

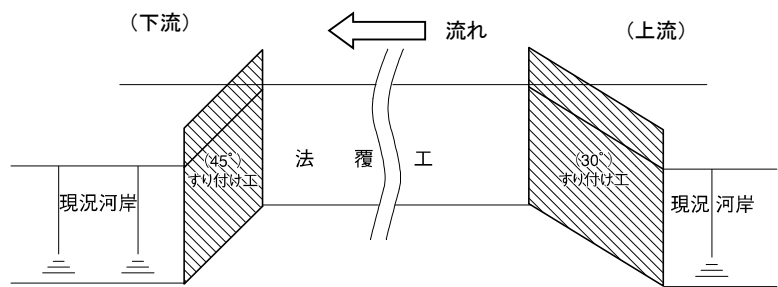


図 3-2-33 すりつけ工

(2) すりつけ工に連節ブロックを使用する場合の設計 [力学設計 5-3]

すり付工の小口が保護されていない状態で設置されていると想定する。この場合、流体力による「めくれ」を考慮し、上流端に置かれた部材が流体力によって回転しないよう安全な厚さとなるように設計する。

$$W_w \cdot \cos \theta \cdot l_b / 2 \geq L \cdot l_L + D \cdot l_D$$

ここに、 W_w : のり覆工の水中重量 (N)

l_b : 上流端の部材の流下方向の長さ (m)

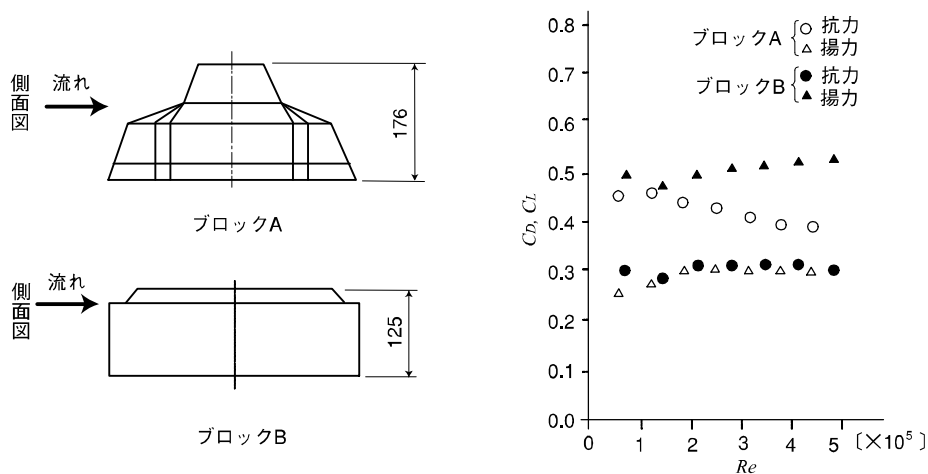
l_L : 上流端の部材の揚力に対する回転半径 (m) [ブロックの水力特性試験法 5-5 参照]

l_D : 上流端の部材の抗力に対する回転半径 (m) [ブロックの水力特性試験法 5-5 参照]

θ : 法面の傾き

L, D : 揚力、抗力 (N)

- ① 揚力、抗力のとり方および、流速の評価については、「3-2-3 5) 空ブロック張り護岸」の設計と同じであるが、式中の抗力係数 C_D 、揚力係数 C_L は、最上流部に設置された部材を対象に実験より測定した係数を用いる。参考にブロックの一例を図 3-2-34 に示す。
- ② この基本式には安全側となる範囲を含んでいない。したがって求められる重量は安定条件の限界に近いものであり、上流端部の部材が重くなりすぎる場合がある。このため、端部をもぐらせる、あるいは、小口止めを設けるなどの方法により工夫することが望ましい。



[力学設計 5-3]

図 3-2-34 ブロック群最上流端ブロックの C_D 、 C_L の例

6) 裏込工 [擁壁工指針 2-2]

- ① 盛土部におけるブロック積(石積)護岸の裏込材は、護岸の背面勾配を $1:N$ とした場合に、地山と接する面の傾斜が $1:(N-0.1)$ となるよう設置する。また上端における裏込材の厚みは 30 cmを基本とし、背面の土砂が良好な場合は 20 cm程度としてもよい。
- ② 切土部におけるブロック積(石積)護岸の裏込材は等厚に設置してよい。
- また裏込材は基礎周辺部に背面土から水の浸透による悪影響を及ぼさないよう、擁壁全面の地盤線程度まで設置することを原則とする。
- また前面に水位を考慮する場合には裏込材は支持地盤程度まで設置することとする。

7) 設計面の処理

(1) 置換工

護岸施工箇所裏側が土質不良等の場合は、土砂の置換えを行うものとする。

置換土は原則として山土とする。但し、急流河川で掘込河道の場合はクラッシャーランとすることができる。

- ① 土質は悪いが、比較的締固まっている場合
② 砂等で表面仕上げ等、施工上より必要とする場合
③ 土質が悪く地盤改良を必要とする場合 …… 1.0m
- } 置換土厚 0.3m

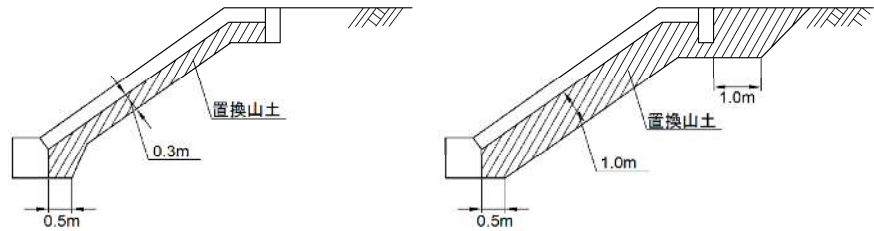


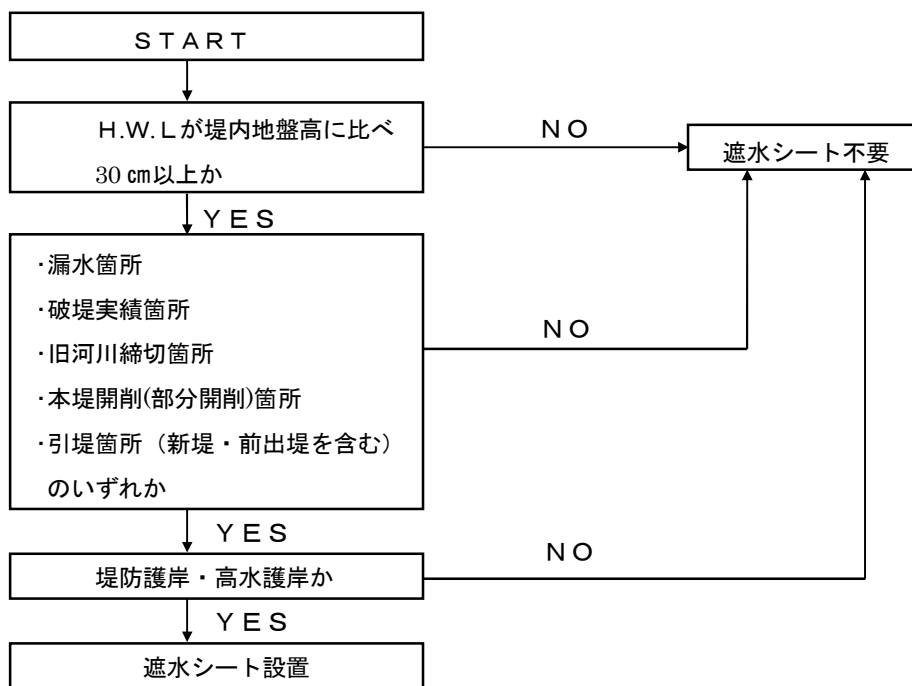
図 3-2-35 置換工

(2) シャ土工

① 基本

シャ水シートは、堤防内に河川水の浸水を防ぎ、堤防の安全度を増すため、護岸の上端が堤内地盤より30 cm以上高い次の護岸に施工するものとする。

- a. 漏水箇所 b. 破堤実績箇所 c. 旧河川締切箇所 d. 本堤開削（部分開削）箇所
e. 引堤箇所（新堤・前出堤を含む）



注) シャ水シートの施工が必要と認められた場合は、上記の限りでない。

図 3-2-36 護岸工事シャ水シート設置フロー

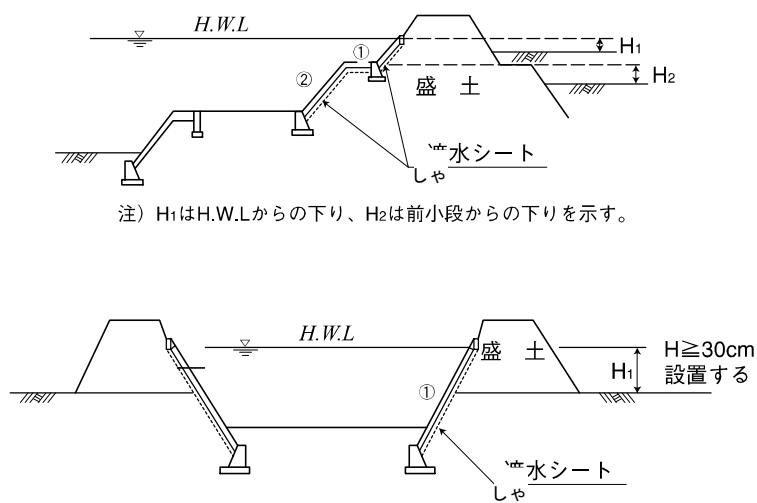


図 3-2-37 シャ水シートの設置例

表 3-2-8 シャ水シートの設置判断

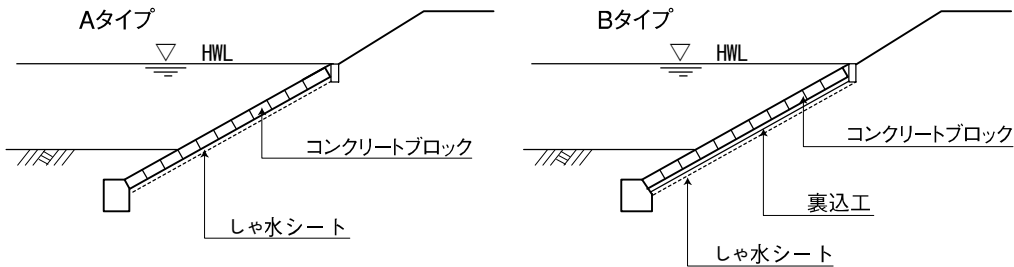
シャ水シート設置条件	のり覆工①	のり覆工②
$H1 < 30\text{ cm}$	なし	なし
$H1 \geq 30\text{ cm}$ 、 $H2 < 30\text{ cm}$	有り	なし
$H2 \geq 30\text{ cm}$	有り	有り

注) 本堤開削(部分開削)箇所も同じとする。

② 護岸の構造

遮水シート施工に伴う護岸の構造は次を標準とする。

a. コンクリートブロック張り



注) 現地状況により、これによりがたい場合は別途考慮することができる。

図 3-2-38(1) シャ水シート施工例

表 3-2-9 施工箇所の土質条件と設置タイプ

Case	施工箇所の堤防条件	土質等の条件	タイプ
1	・ 新たな盛土箇所に設置する場合 (新堤、前腹付盛土)	・ 購入土等の良質土で盛土する場合	A
		・ 利用土、流用土等で盛土する場合でのり面の安定が困難な場合(護岸施工時の安定) ・ ※例 砂等の土質の場合	B
2	・ 既設堤防に設置する場合	・ 堤防の土質が良好でのり面の安定が得られる場合	A
		・ のり面安定が困難な場合 ・ ※例 砂、砂礫等の土質の場合	B
3	・ 計画法勾配(余盛分は含まない)が2割未満の場合		B

b. コンクリート法枠工

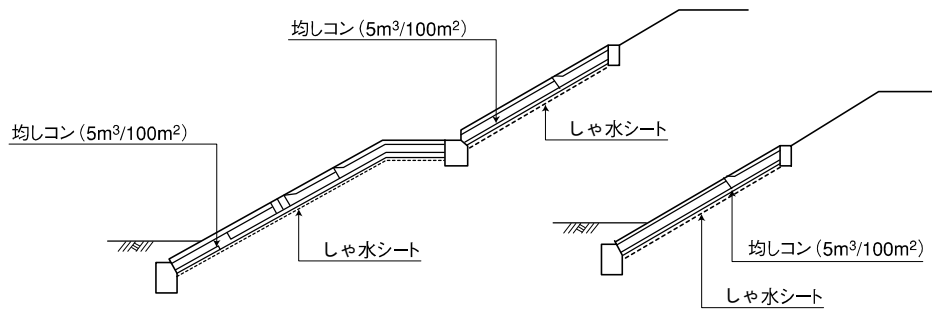


図 3-2-38 (2) しゃ水シート施工例

③ しゃ水シートの仕様

しゃ水シートは止水材と被覆材からなる。

- 止水材の材質は、酢酸ビニール等のシボ（標準菱形）付きとし厚さ 1mm とする。
- 被覆材は、補強布付き繊維性フェルトとし厚さ 10mm とする。

④ 設置の方法

- 設置位置は、均しコンクリート又は裏込砕石等の下面とし、止水シート面を下にして施工する。
- すりつけ工で暫定護岸には、遮水シートの設置をしないものとする。
- しゃ水シートの構造は以下に示す。

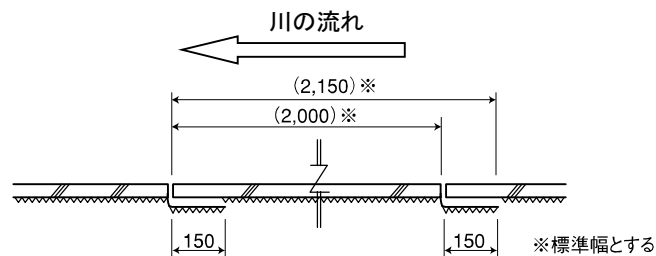


図 3-2-39 しゃ水シートの重ね継手図

d. 端部処理構造は以下に示す。

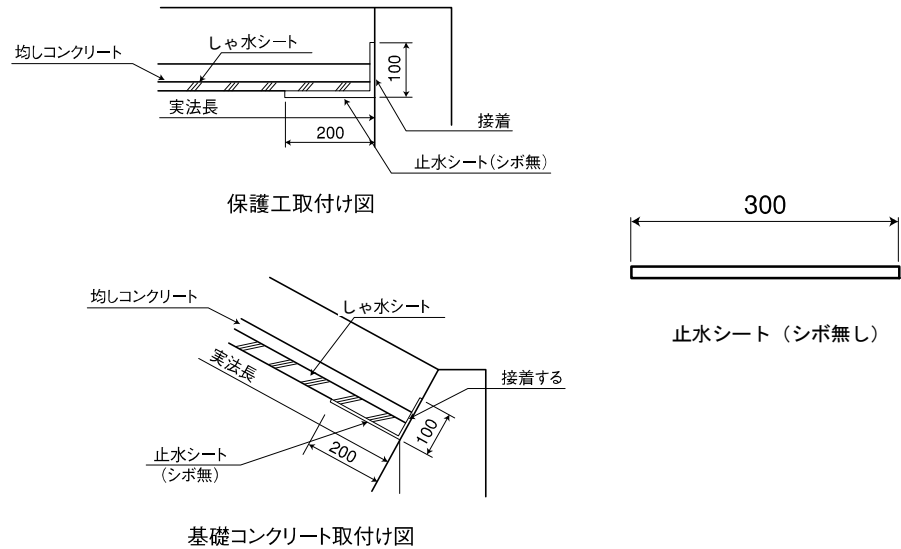


図 3-2-40 端部処理構造

(3) 河川護岸用吸出防止材

原則として、透過性護岸の背面には吸出防止材を設置する。

① 施工範囲

連節ブロック張、蛇籠張、鉄線籠型護岸の吸出防止材の施工範囲は図 3-2-41 を標準とする。また、吸出防止材の重ね合せ幅は、10 cm 以上とする。裏地盤の土質により特に必要でないと認められたものについてはこの限りではない。

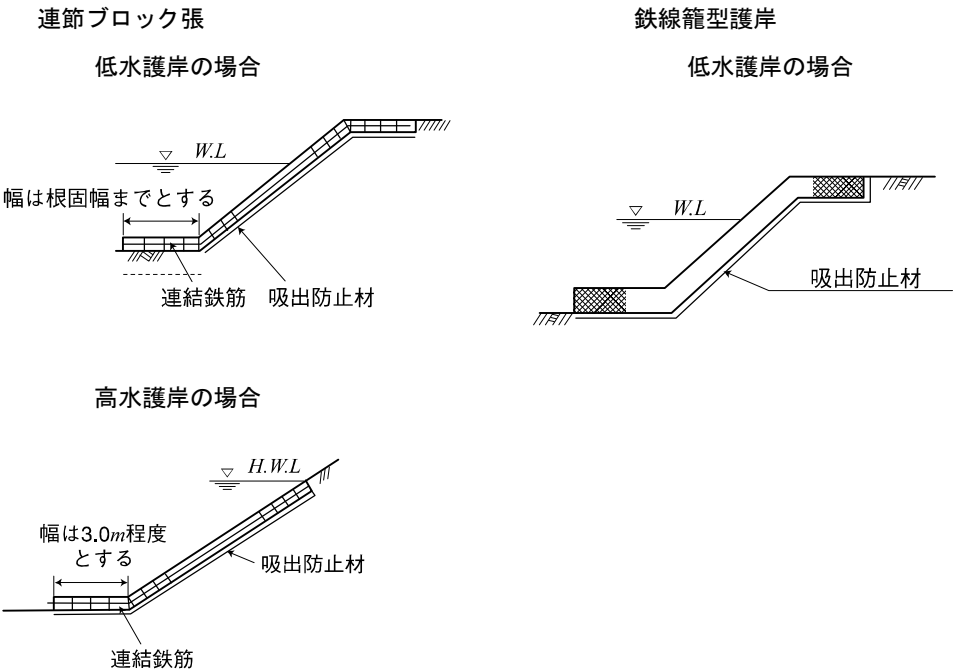


図 3-2-41 吸出防止材の敷設位置

2-3-82

3-3 基礎工（のり留工）

3-3-1 基礎工設計の基本 [河川砂防（設Ⅰ）第1章 4.2.2]

護岸の基礎工（のり留工）は、洪水による洗掘等を考慮して、のり覆工を支持できる構造とするものとする。

【解 説】

基礎天端高は、洪水時に洗掘が生じても護岸基礎工の浮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ものとする。

基礎工は、土質、施工条件、河道特性に応じて選択する。地盤が良好な場合には、直接基礎とし、軟弱地盤の場合には、杭または矢板にコンクリートをコーピングした基礎を用いることが多い。また、平水時において護岸前面の水深が深く、瀬替えが容易でない場合や、船着きとして利用される護岸では、矢板護岸とすること多い。

【図 解】

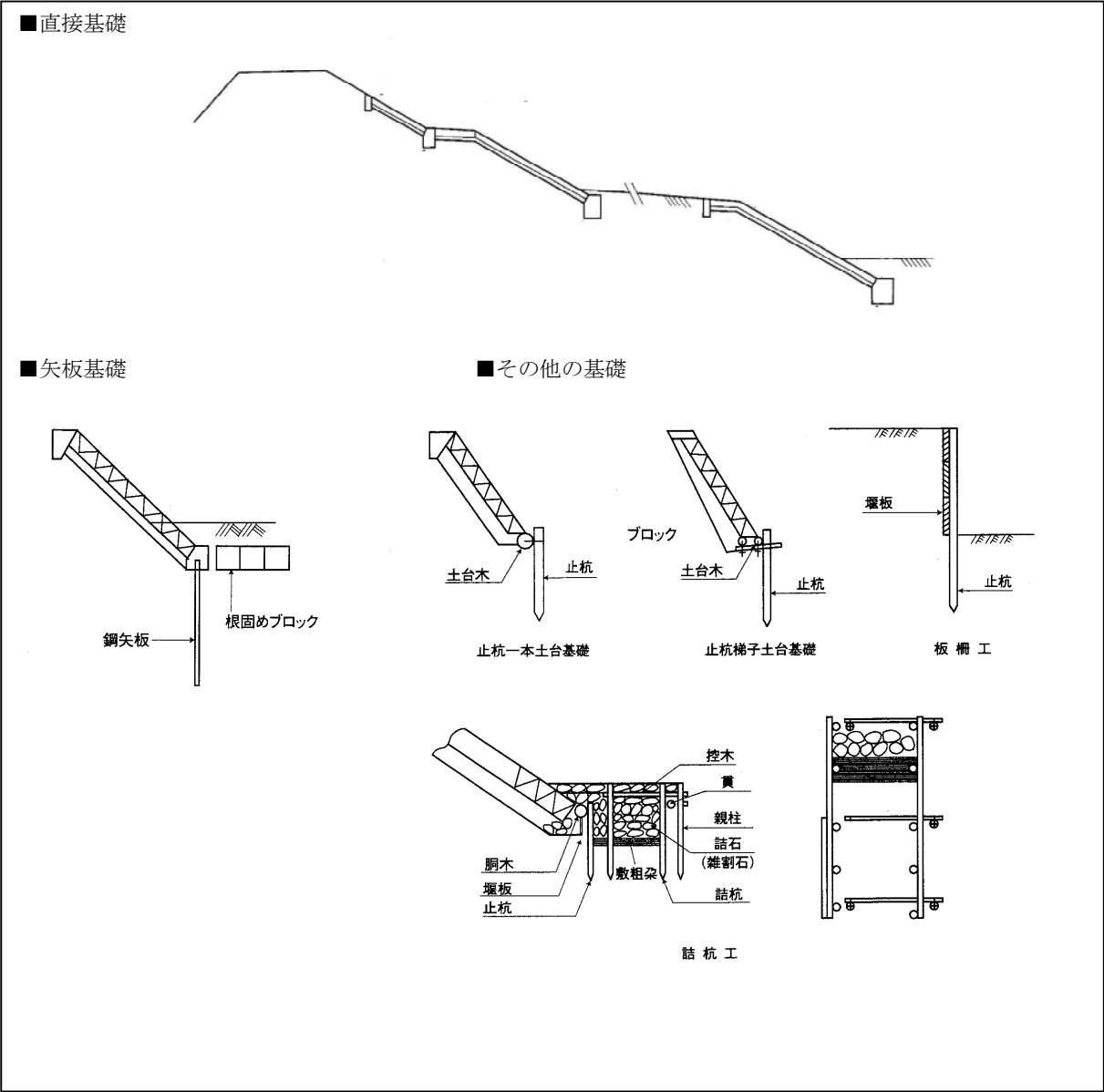
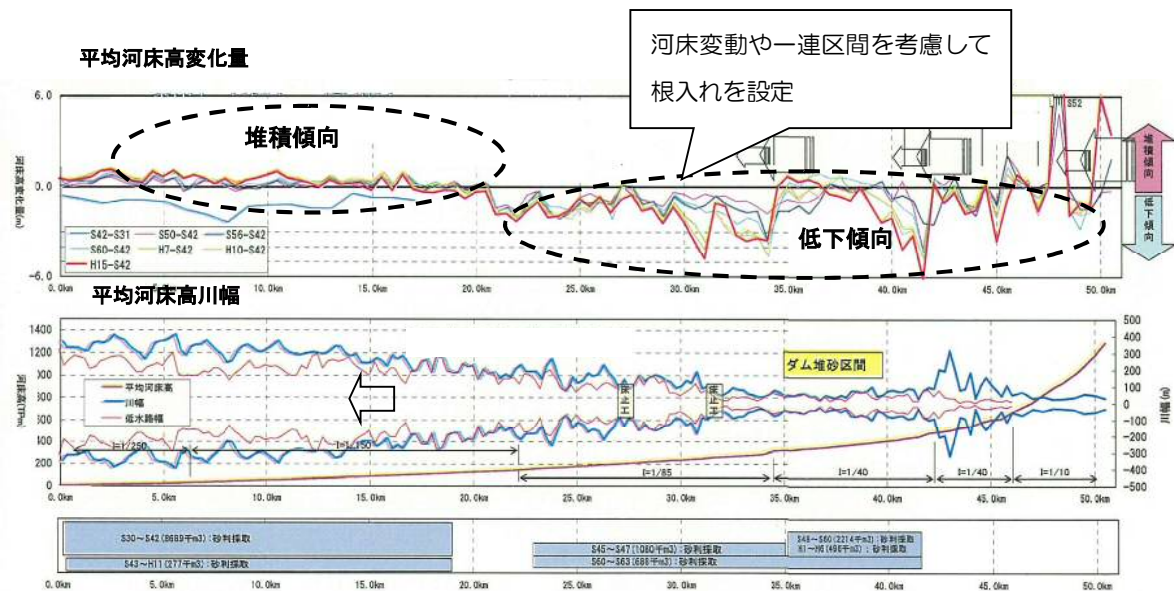


図 3-3-1 基礎工の種類

【コラム】基礎工の天端高の設定のポイント

○基礎工の天端高（根入れ深さ）の設定は、上下流の河床変動（堆積傾向・低下傾向）を調査し、一連区間の中で洪水時の洗掘に対して安全な深さとする必要がある。特に、堰や床止め等の下流部や河床低下の著しい河川では、将来の予測を含め十分な根入れ深さを設定する。



堆積状況

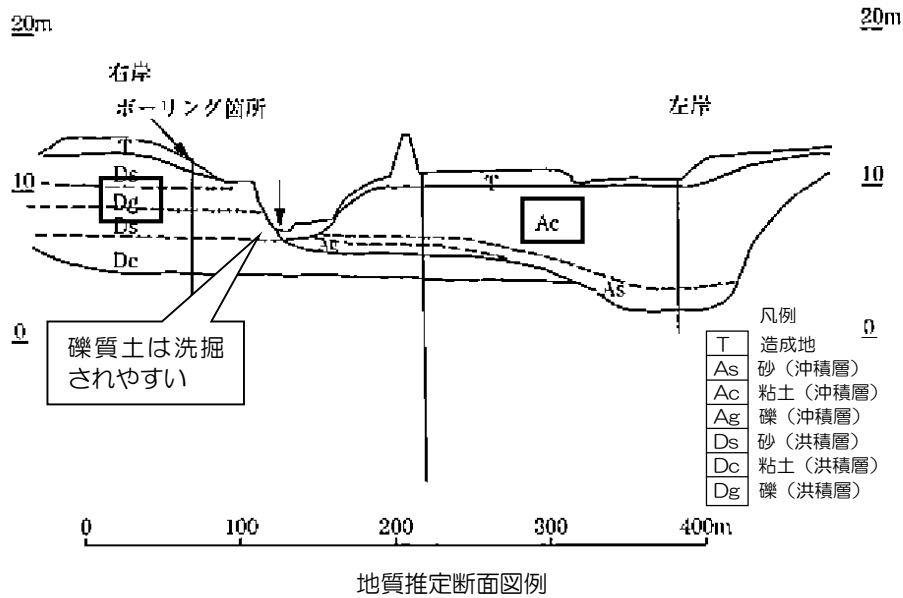


洗掘状況

【コラム】河床洗掘における河道状況の着目点

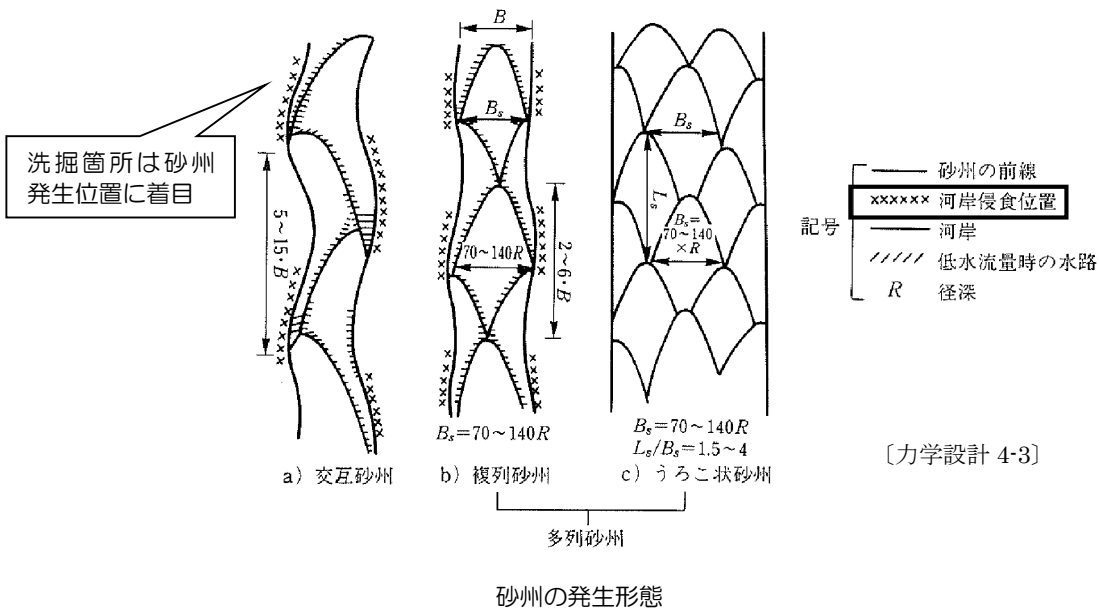
【河床の土質と洗掘傾向】

- 河道の状況は、河道の平面、縦横断形状から判断して、洗掘傾向であると想定される地点で洗掘が進行していない場合がある。また、逆に堆積傾向であると想定される地点で、洗掘が発生している場合がある。
- この要因としては、河床の河床材料（土質構成）の違いが挙げられる。河床に礫質土が露出している場合は、洗掘され易く、粘土質土が露出すると洗掘されにくい傾向となる。



【砂州の発生形態と洗掘箇所】

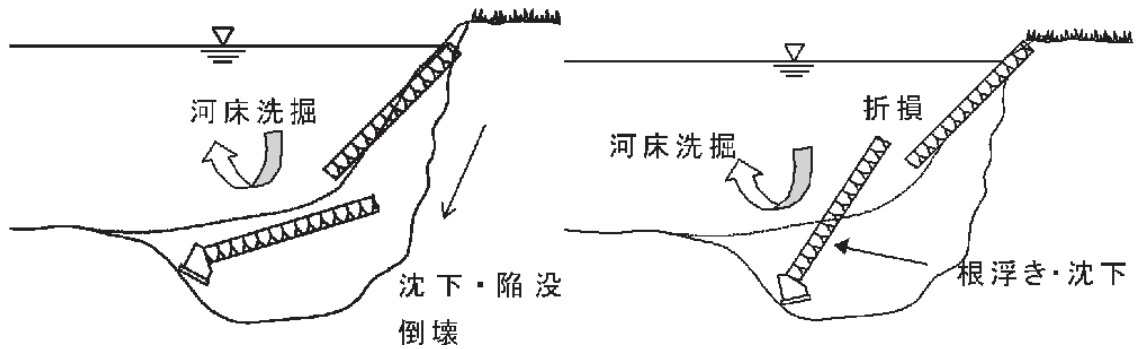
- 河床の洗掘は、砂州の発生形態と密接に関係しているため、基礎工を計画する上で、砂州の発生形態を十分に検討しておく必要がある。
- 典型的な砂州の発生形態と、洗掘（河岸侵食）が懸念されやすい位置を下図に示す。



【コラム】護岸の被災形態

【被災形態・メカニズム】

○護岸設計にあたり、過去の被災形態やメカニズムを把握し、被災要因を分析して護岸構造を検討する必要がある。洪水時の洗掘により護岸基礎工の浮上がりが生じた場合、基礎工が支持力を失うことにより、のり覆工が変形して倒壊に至る。



基礎工の浮上がりによる護岸損傷イメージ

【被災事例】

○水衝部における護岸基礎周辺の河床洗掘により基礎部に空洞が発生し、護岸裏の土砂が吸い出しを受けて被災するケースが多い。



洗掘、吸い出しによる護岸の被災事例

3-3-2 構造・設計の細目

1) 基礎工の天端高（根入れ）〔河川砂防（設Ⅰ）第1章 4.2〕

基礎工の天端高は、洪水時に洗掘が生じても護岸基礎の浮上がりが生じないよう、本章 3-1-4、2)を参考にして、最深河床高を評価することにより設定するものとする。

【解 説】

基礎工天端高の基礎的な考え方としては次の四つがある。これらの考え方の中から当該箇所に最も適切な考え方で基礎工天端を決定するものとする。

- ① 最深河床高を天端高とし、必要に応じて前面に最小限の根固工を設置する方法
- ② 最深河床高よりも上を天端高とし、洗掘に対しては前面の根固工で対処する方法
- ③ 最深河床高よりも上を天端高とし、洗掘に対しては基礎矢板等の根入れと前面の根固工で対処する方法
- ④ 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

事例によると②および③の方法では、基礎工天端高を計画断面の平均河床高と現況河床高のうち低い方より、0.5～1.5m程度深くしているものが多い。

高水護岸部の基礎高は法尻から-0.5mを基準とする。ただし、新設する護岸の上下流に既設の護岸がある場合には、既設護岸の根入れを調査し、すりつけや隔壁等を考慮する。

【図 解】

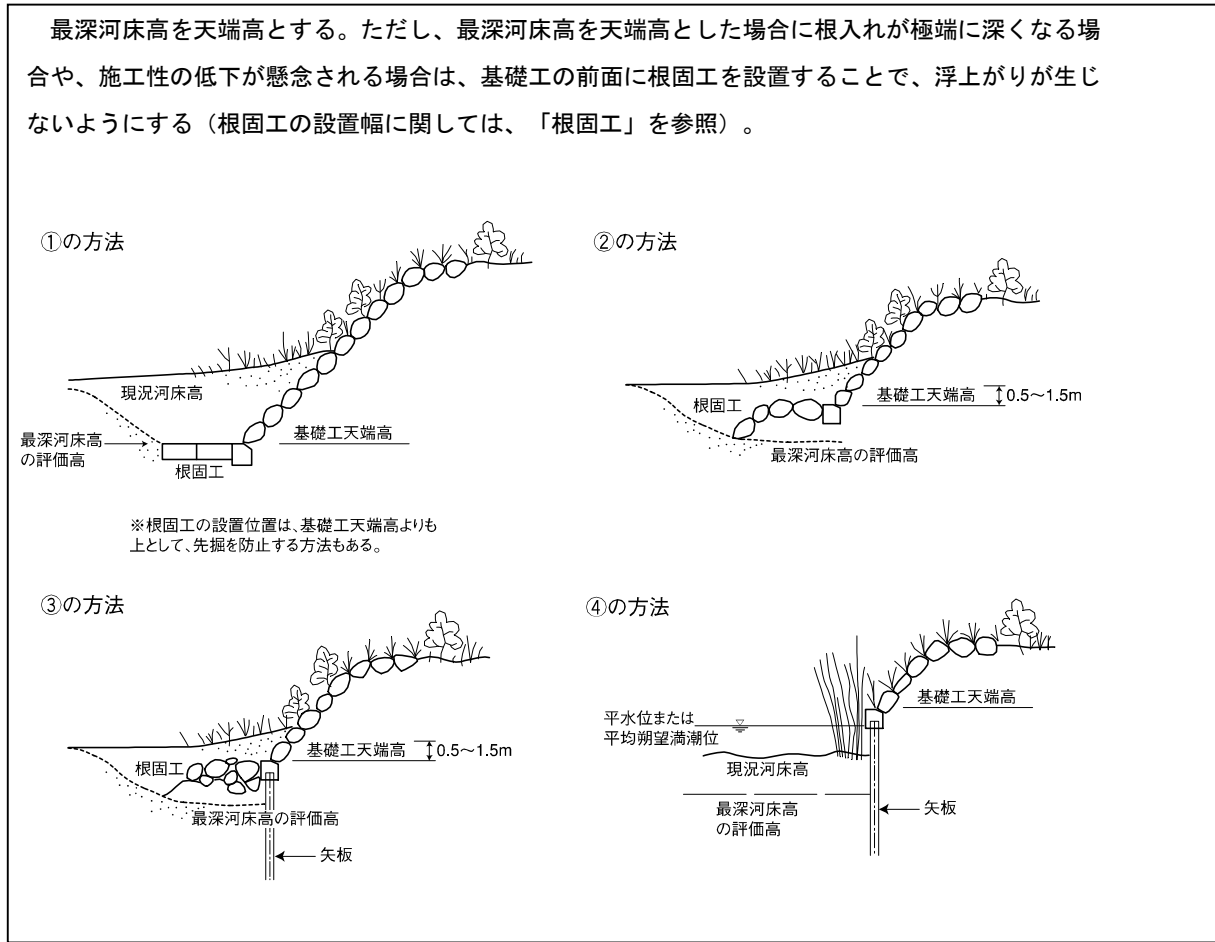


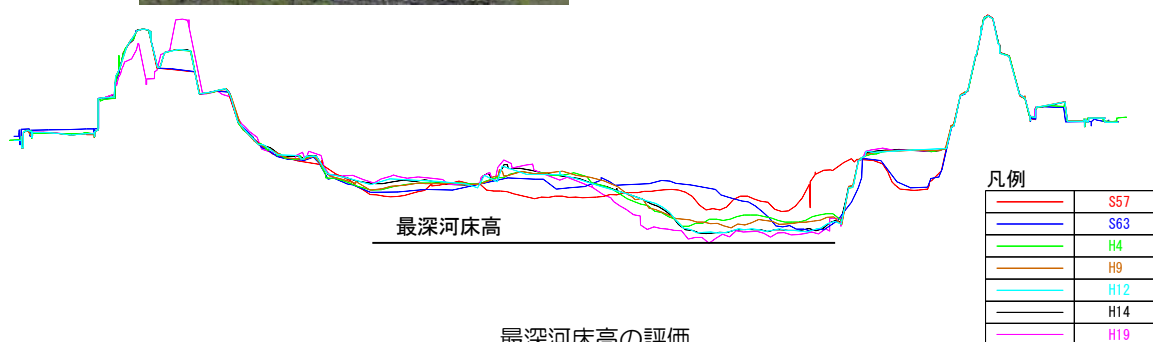
図 3-3-2 基礎工天端高と根固工の組合わせ

【コラム】最深河床高の評価

○最深河床高は、定期測量横断の重ね図等を作成し、経年的に評価することが望ましい。また、定期横断の河床高は平水時の河床高であり、洪水時は河床が変動しているため、セグメントや州の形成状態にも考慮して最深河床高を評価することが望ましい。



急流河川で見られる洪水時の三角波

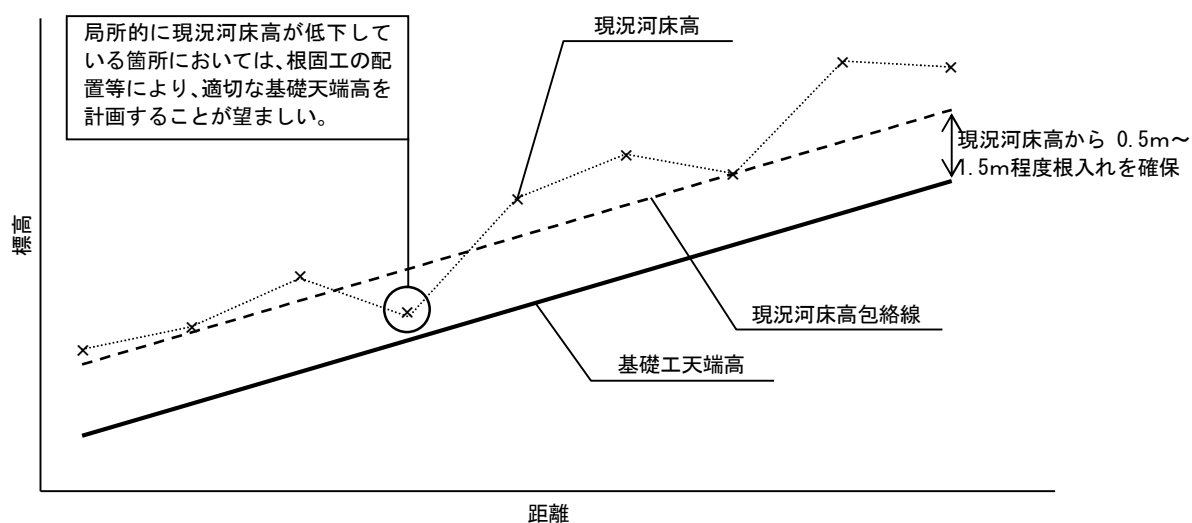


最深河床高の評価

○基礎工天端の設定では、距離標（測点）毎で現況河床高を評価した後、縦断的な現況河床高の評価を行う。

基礎天端高が一連区間で連続するように計画することで、施工性の向上に寄与することが期待される。

○局所的に現況河床高が低下している箇所に応じて、基礎天端高を計画することで、掘削深が極端に深くなり、工事費が著しく増加する場合には、基礎工全面に根固工を配置する等の対策により、適切な基礎工天端高を計画することが望ましい。



基礎工天端高の設定

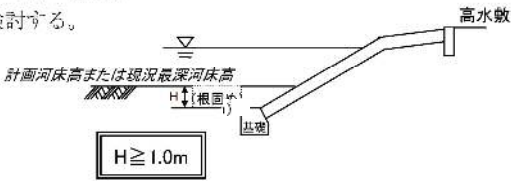
【コラム】基礎工の天端高さの設定事例

○基礎工の天端高は、低水護岸の場合、最深河床高より 1.0mとし、高水護岸の場合、高水敷高より 0.5mと設定している事例がある。

2) 基礎工の根入れ

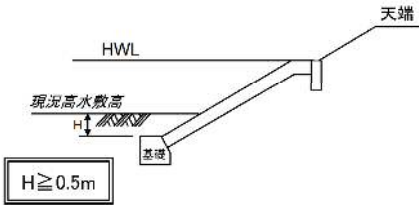
a. 低水護岸の場合

計画河床高および最深河床高のいずれか深い方より 1.0 mとする。
ただし、現況河床が著しく低い場合は
矢板護岸による施工を検討する。



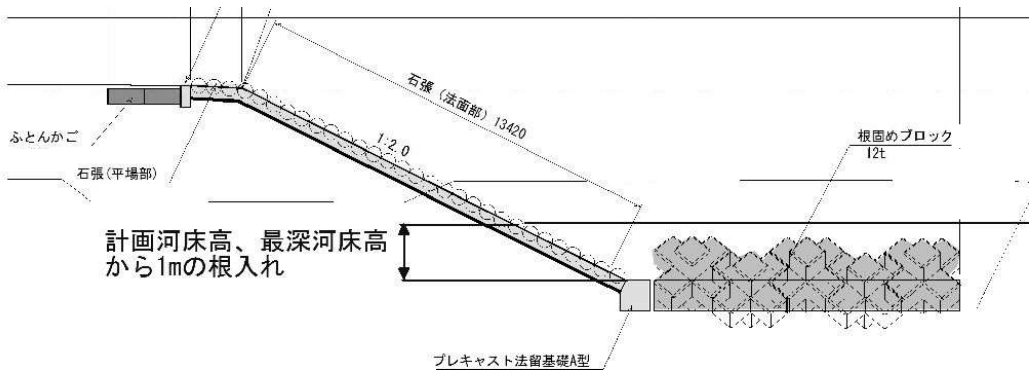
b. 高水護岸の場合

現況高水敷高より
0.5 mとする。
※ ただし、部分的（局所的）な
地盤高変化については、上下流の
状況に合わせることをとする。



天端高の設定例 1

○急流河川では、洪水毎に礫筋が変化するという特徴を有しているため、根入れを 1.0m以上確保した上で根固工を設置する等の洗掘対策を実施している事例がある。



天端高の設定例 2

2) 基礎工の構造 [力学設計 5-4]

基礎工は、土質、施工条件、河道特性に応じて選択する。地盤が良好な場合には、直接基礎とし、軟弱な地盤の場合には杭または矢板にコンクリートをコーピングした基礎を用いることが多い。また、平水時において護岸前面の水深が深く瀬替えが容易でない場合や、船着場として利用される護岸では矢板基礎とすることが多い。

(1) 直接基礎工

直接基礎工は、地盤が砂礫等の良好な場合に用いられ、概ね台形断面のコンクリート構造、大型の自然石等を利用することがある。

- ① コンクリート基礎構造として、管内では 図 3-3-3 (1) の A～D の型が用いられる。
ただし、のり勾配が 2 割～3 割の場合とする。
- ② 法留基礎工のコンクリート基礎は、プレキャスト製品を標準とする。
- ③ 現場内でコンクリート殻が発生する場合は、中詰等に使用することに努める。
- ④ 岩着基礎については、現場条件により異なるので個々に検討する。

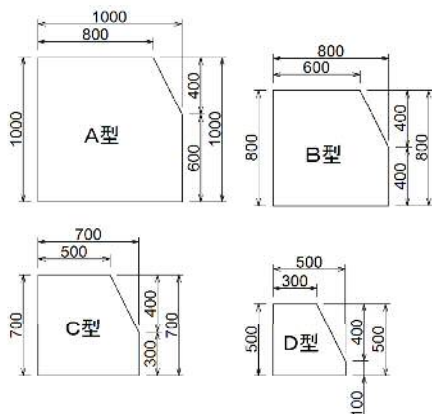


図 3-3-3(1) 直接基礎工の標準図

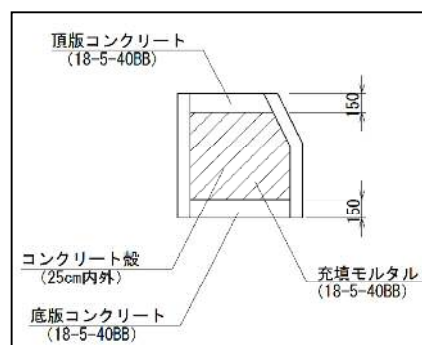


図 3-3-3(2) プレキャスト基礎工（殻投入タイプ）の例

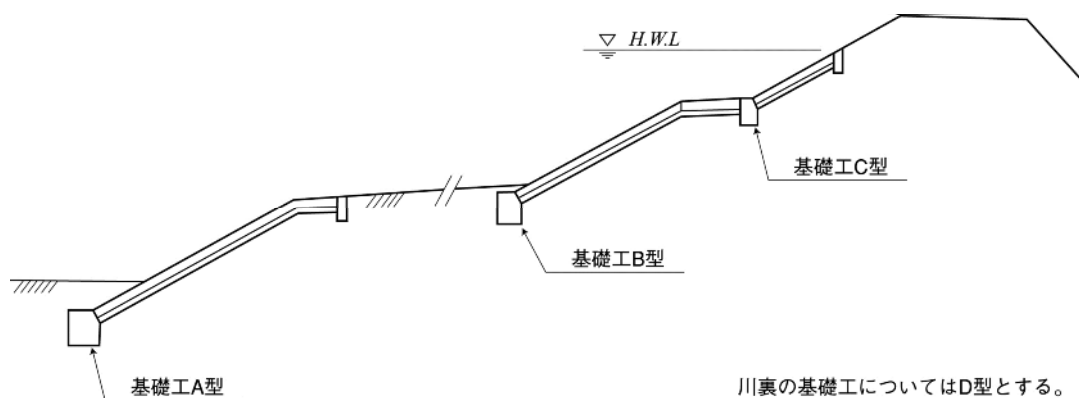
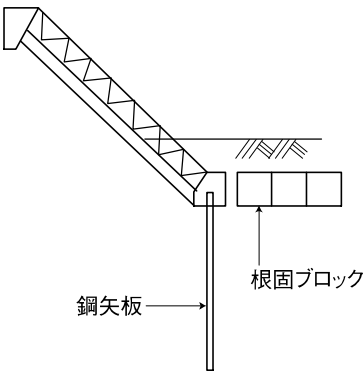


図 3-3-4 直接基礎工の設置例

(2) 鋼矢板基礎工

- ① 洗掘の恐れのある箇所、吸出しの恐れがある箇所、基盤漏水箇所に用いられ、自立式、控え式が一般に使われている。
- ② 水質が酸性の河川、感潮河川等で用いる場合は、腐食代を十分見込むか腐食対策を行わなければならない。
- ③ 矢板基礎の場合には、土圧、水圧、地震時慣性力、上載荷重等の設計条件に対して矢板が自立でき、安全となるように照査する。
- ④ 鋼矢板は、幅広型、ハット型の採用も検討する。
- ⑤ 基礎工は、プレキャスト製品を積極的に使用する。



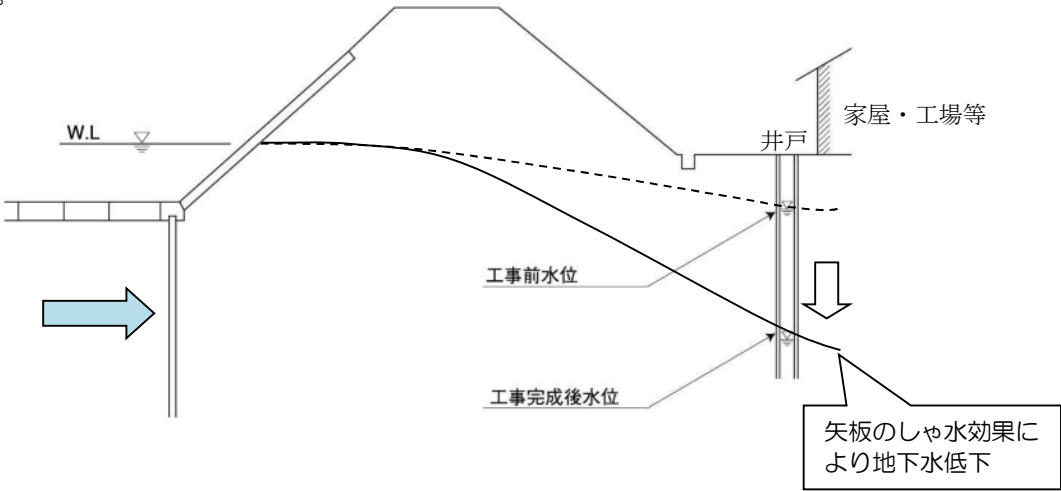
〔力学設計 5・4〕

図 3-3-5 自立式鋼矢板基礎の例

【コラム】地下水位の高い河川の留意点

○堤防の強化及び漏水の解消として、川表側に鋼矢板を打ち込む場合、川からの水を遮断するため、井戸涸れが生じる可能性がある。また、地下水が豊富な地域は、護岸の基礎施工時の床掘に伴う水替ポンプ排水の影響で施工時に同様な現象が起こる場合がある。これらの対策として、事前に井戸水利用状況や井戸調査を実施しておくことが望ましい。

○井戸調査については、堤防周辺の井戸だけではなく、地下水を利用している工場等も調査することが望ましい。



矢板基礎による地下水低下の例

(3) 特殊な基礎（低水護岸、高水護岸共通）

- ① 漏水対策及び洗掘防止の必要な個所については、図 3-3-3（1）に示す A，B，C の各型＋鋼矢板とする。（矢板の自立計算は必要に応じて計算する。）

② 軟弱地盤

コーン指数「4（ $\text{kN}/\text{m}^2 \times 100$ ）」未満の場合は図 3-3-6 によるほか、以下の方法により対処する。

- a. 再生砕石厚 20 cm を標準
- b. R C パイル $\phi 200$ ＋再生砕石厚 20 cm

ただし、a. について砕石厚を 20 cm 以上にする場合は、b. と比較する。

また、b. についてパイル長は 3m を標準とするが地質の悪い場合は、別途考慮する。

R C パイルを使用した場合、基礎底面の土砂の吸出しや護岸背面の空洞化の対策の必要性について、別途考慮する。

③ その他の基礎工

- ①板柵工、②詰杭工、③土台木等がある。

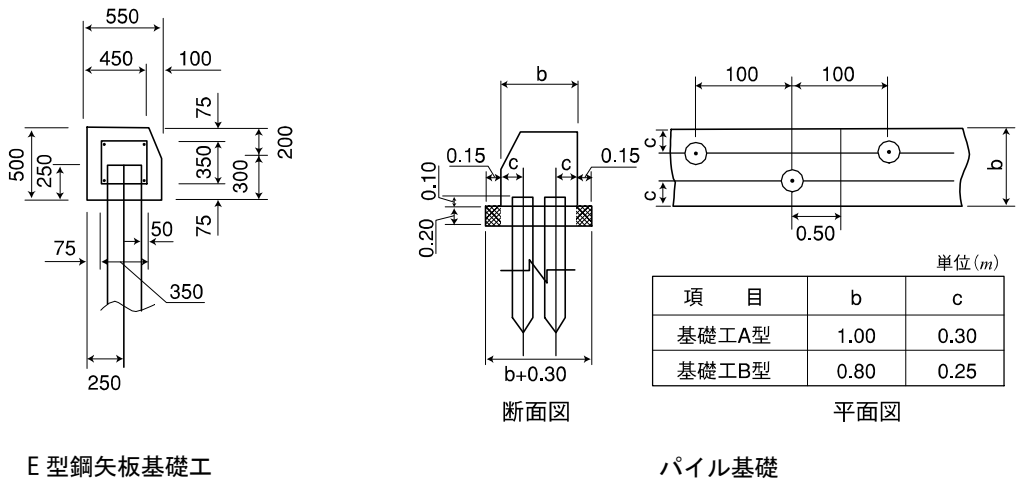


図 3-3-6 特殊な基礎工

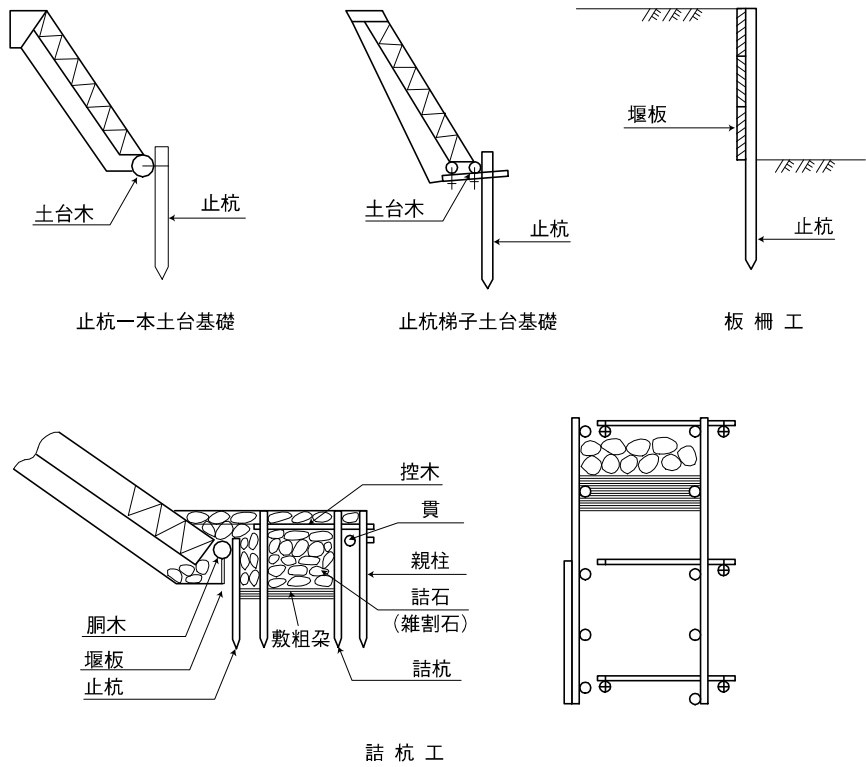


図 3-3-7 その他の基礎工

3-4 根固工

3-4-1 根固工設計の基本 [河川砂防（設Ⅰ）第1章 4.2]

根固工は、河床の変動を考慮して基礎工が安全となる構造とするものとする。

【解 説】

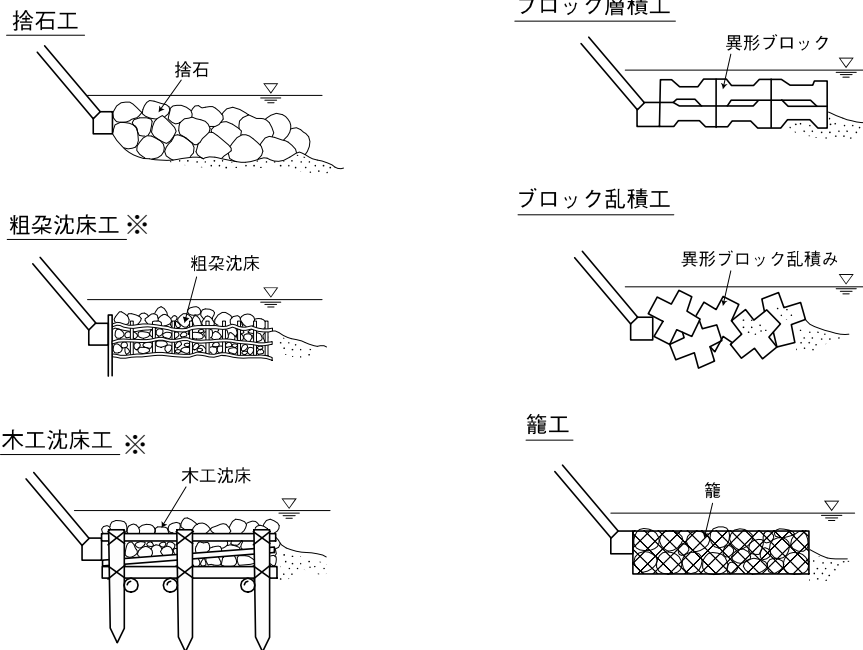
根固工は、大きな流速の作用する場所に設置されるため、流体力に対して安定を保つことのできる重量であること。護岸基礎前面に洗掘を生じさせない敷設量であること。耐久性が大きいこと。河床変化に追従できる屈とう性構造であることが必要である。

3-4-2 構造・設計細目

1) 根固工の工種 [河川砂防（設Ⅰ）第1章 4.2]

根固工は、設置個所の河道特性等に応じて最も適する構造とすべきであり、過去の経験・類似河川の実績、あるいは試験施工、模型実験、調査研究に基づき、必要に応じて力学的安定や敷設量等について照査しながら適切に設計する必要がある。

根固工の代表的な工種としては次のようなものがある。



※木工沈床工、粗朶沈床工は、木が腐らないように常に水面下になるよう留意する。

[河川砂防（設Ⅰ）第1章 4.2 一部加筆]

図 3-4-1 根固工の代表的な工種

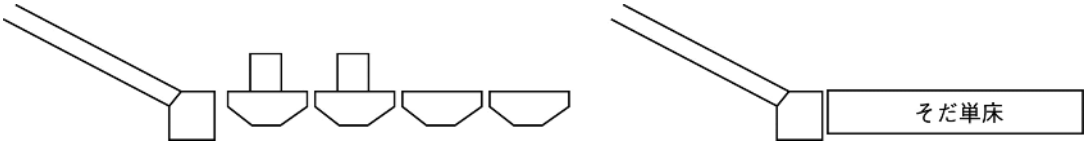
- ① 捨石工は、十分な重量を有する捨石を用いる。
- ② 沈床工には、粗朶沈床、木工沈床、改良沈床等があり、粗朶沈床は緩流河川で、木工沈床は急流河川で用いられることが多い、改良沈床は枠組み材にコンクリート材を用いたものである。
- ③ 籠工は、蛇籠、ふとん籠等を用いる。
- ④ 異型コンクリートブロック積工は、各種の異型コンクリートブロックを用いたもので層積工と乱積工がある。

2) 根固工の天端高

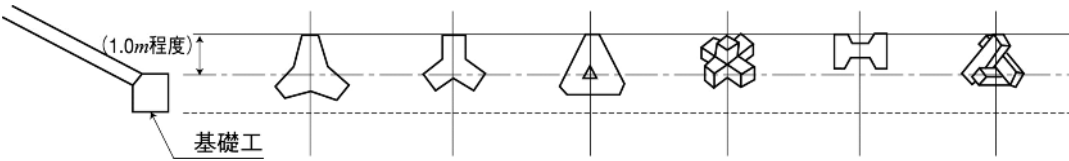
根固工の敷設天端高は基礎工天端高と同じ高さとするを基本とするが、根固工を基礎工よりも上として洗掘を防止する方法もある。

根固工の据付方法（例）

① 根固工を基礎工天端高と同じ高さとした場合



② 根固工を基礎工天端高より上とした場合



注) ブロック下端が基礎面より下る場合は基礎工底面とする。

図 3-4-2 根固工の据付方法（例）

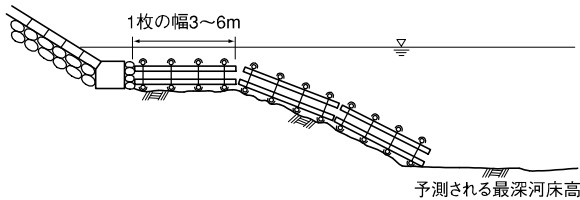
3) 根固工の敷設幅 [力学設計 5-5]

根固工の敷設幅は、護岸の基礎工前面の河床が低下しないよう十分な幅となるよう照査する。

沈床工、籠工の根固工の敷設幅は予測される最深河床高が発生した場合にも護岸基礎前面の河床が低下しないように定める。

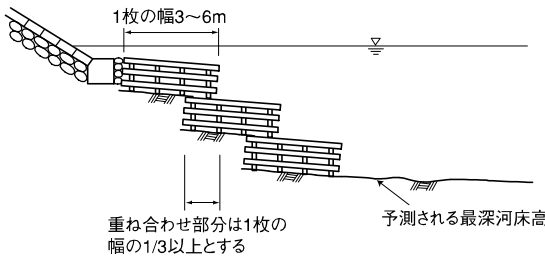
【解 説】

- ① 敷設方法には、洗掘前の河床に根固を重ね合わせずに設置して自然になじませる場合と（図 3-4-3）、既存の深掘れ部に根固を重ねて設置する場合とがある（図 3-4-4）。
- ② 沈床を深掘れ部に重ねて設置する場合には、1枚 3～6 m幅を基本とし、これを階段上に積み重ねることが多い。沈床の場合には、重ねて合せ幅を、下段沈床幅の 1/3 以上とする事例が多い。木工沈床を重ね合わせて設置する工法は、急流河川に多い事例である。



[力学設計 5-5]

図 3-4-3 重ね合わせない場合の敷設幅
(図は、粗朶沈床の場合)



[力学設計 5-5]

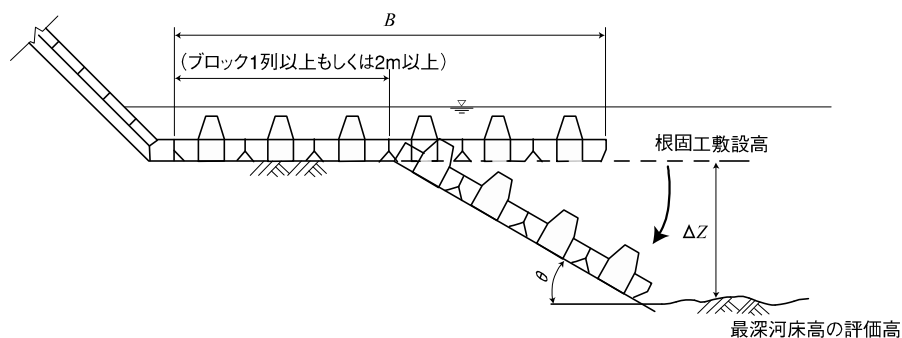
図 3-4-4 重ね合わせる場合の敷設幅
(図は、木工沈床の事例)

- ③ 周辺の河床低下や洗掘が予想される区間では、護岸基礎前面の河床が低下しない敷設幅を確保する必要がある。すなわち、護岸前面に河床低下が生じて最低1列もしくは2m以上の平坦幅が確保されることが必要とされる。

したがって、必要敷設幅 B は、根固工敷設高と最深河床高の評価高の最低差 ΔZ を用いれば幾何学的に、次式のようにになる。

$$B = Ln + \Delta Z / \sin \theta$$

ここに、 Ln : 護岸前面の平坦幅（根固工1列もしくは2m程度以上）（m）
 θ : 河床洗掘時の斜面勾配（一般的には 30° を用いてよい。）
 ΔZ : 根固工敷設高から最深河床の評価高までの高低差（m）



〔力学設計 5・5〕

図 3-4-5 滑動・転倒を安定条件とする根固工の敷設幅

4) 各工種の設計法 〔河川砂防（設Ⅰ）第1章 4.3〕

(1) 捨石工の根固工

隣接部材との一体性が弱く、個々の部材が敷き並べられている構造である。安定性の照査は、根固工の部材に作用する掃流力が部材（自然石）の移動限界を超えないものとして代表流速 V_o と部材の大きさの関係を次式によって照査する。

① 平坦床上の場合

$$D_m = \frac{1}{E_1^2 \cdot 2g[\rho_s / \rho_w - 1]} V_o^2 \quad \dots\dots\dots \text{米国工兵隊の評価式}$$

ここに D_m : 石の平均粒径（m）

E_1 : 流れの乱れの強さを表す実験係数

（比較的乱れが小さい流れでは、 $E_1 = 1.2$ 、乱れが大きい流れの場合は、 $E_1 = 0.86$ 、

通常は $E_1 = 1.2$ が用いられる場合が多い。）

$(\rho_s / \rho_w - 1)$: 河川材料の水中比重（通常 1.65 を用いる）

V_o : 代表流速（m/s）

② 斜面上の場合

捨石を斜面角度 θ のり面に設置する場合は、粒径 D_m に対して斜面の補正係数 K を乗じた値 $K \cdot D_m$ を捨石径とする。

$$K = \frac{1}{\cos \theta \sqrt{1 - \frac{\tan^2 \theta}{\tan^2 \phi}}}$$

ここに

θ : 捨石の斜面角度

ϕ : 石材料の水中安息角 (ϕ の標準値は砕石の場合 41° 、自然石の場合 38°)

③ 敷設厚および平坦幅

捨石工は、主に砂河川に用いられることが多い。このため吸い出しが生じないように平均粒径の3倍程度の敷設厚とすることが望ましい。また、河床低下に対して変形が生じても護岸基礎前面に3m以上の平坦部が確保されていることが望ましい。〔力学設計 5-5〕

※ 計算例（捨石工）

① 条件 のり面勾配 1:2 ($\theta = 26.57^\circ$)

代表流速 $V_0 = 4.0 \text{ m/s}$

材料の水中比重 $(\rho_s / \rho_w - 1) = 1.65$

石材料の水中安息角 $\phi = 38^\circ$ (自然石)

$E_1 = 1.2$ (比較的乱れが小さい流れの場合)

② 計算

(平坦上の平均粒径)

$$D_m = \frac{1}{E_1^2 2g (\rho_s / \rho_w - 1)} V_0^2 = \frac{1}{1.2^2 \times 2g \times 1.65} \times 4.0^2 = 0.34 \text{ m}$$

平坦床上では、 $D_m = 0.34 \text{ m}$ となる。

(斜面上の補正)

$$K = \frac{1}{\cos \theta \sqrt{1 - \frac{\tan^2 \theta}{\tan^2 \phi}}} = \frac{1}{0.894 \sqrt{1 - \frac{0.50^2}{0.781^2}}} = 1.46$$

斜面勾配 1:2 での平均粒径は、 $D = 1.46 D_m = 1.46 \times 0.34 = 0.50 \text{ m}$ となる。

(2) 沈床工の根固工

ほぼ等しい径の部材が（切り出し石など）がかみ合わせ効果を持ちながら、格子状のものに詰められている状態であり、粗朶沈床、木工沈床が該当する。安定性の照査は代表流速 V_0 に対して部材の移動を許さないよう次式によって照査する。

① 平坦床上の場合

$$D_m \geq V_0^2 / \left[\{6.0 + 5.75 \log(H_d/K_s)\}^2 \cdot \tau_{sd} \cdot S \cdot g \right]$$

ここに、

D_m : 中詰石の平均粒径 (m)

V_0 : 代表流速 (m/s)

K_s : 相当粗度 = D_m と等しくとる

τ_{sd} : 部材に作用する無次元掃流力 = $\tau_d = 0.05$

H_d : 設計水深 (m)

S : 材料の水中比重 ($\rho_s/\rho_w - 1$) = 1.65

必要な D_m は初期値を D_{m1} とし、 $K_s = D_{m1}$ と仮定し上式により繰り返し計算を行うことによって求められる。

② 斜面上の場合

角度 θ の斜面に設置する場合は次式により補正を行う

$$\tau_{sd} = \tau_d \cdot \cos \theta \sqrt{1 - \frac{\tan^2 \theta}{\tan^2 \phi}}$$

ここに θ : 斜面角度 (°)

ϕ : 材料の水中安息角 (ϕ の標準値は碎石の場合 41° 、自然石の場合 38°)

③ 施工後のかみ合わせ効果が不十分になると急激に流出しやすくなるので照査の目標値としては 30～50%程度割り増した値とすることが望ましい。

※ 計算例（沈床工）

① 条件 斜面勾配 平坦床上及び $1:3$ ($\theta = 18.43^\circ$)

代表流速 $V_0 = 5.0 \text{ m/s}$

設計水深 $H_d = 4.0 \text{ m}$

材料の水中比重 $S = 1.65$

中詰石材料の水中安息角 $\phi = 38^\circ$ (自然石)

相当粗度 $K_s = D_m$

無次元掃流力 $\tau_{sd} = \tau_d = 0.05$

② 計算

(平坦床上の平均粒径)

$D_{m1} = 0.15$ と仮定すると $K_s = 0.15$

$$D_m \geq V_0^2 / \left[\{6.0 + 5.75 \log(H_d/K_s)\}^2 \cdot \tau_{sd} \cdot S \cdot g \right]$$

$$D_m \geq 5.0^2 / \left[\{6.0 + 5.75 \log(4.0/0.15)\}^2 \times 0.05 \times 1.65 \times g \right] = 0.15 \cdots \text{OK}$$

かみ合わせ効果を考慮して $D = 1.3 D_m = 1.3 \times 0.15 = 0.20 \text{ m}$ となる。

(斜面上の補正)

$$\tau_{sd} = \tau_d \cos \theta \sqrt{1 - \frac{\tan^2 \theta}{\tan^2 \phi}} = 0.05 \times 0.949 \sqrt{1 - \frac{0.333^2}{0.781^2}} = 0.043$$

 $D_{m1} = 0.20$ と仮定すると $K_s = 0.20$

$$D_m \geq 5.0^2 / \left[\{6.0 + 5.75 \log(4.0/0.20)\}^2 \times 0.043 \times 1.65 \times g \right] = 0.20 \quad \text{OK}$$

斜面勾配 1 : 3 での中詰平均粒径は $D = 1.3 D_m = 1.3 \times 0.20 = 0.26\text{m}$ となる。

(3) 籠工の根固工

面的に設置されたほぼ同一粒径の球状の材料（石など）が籠状のものの中に詰められた状態である。安定性の照査は、籠状の枠の中で籠に変形を生じるような詰め材料の移動を原則として許さないものとし、次式によって照査する。

① 平坦床上の場合

$$D_m \geq V_0^2 / \left[\{6.0 + 5.75 \log(H_d / K_s)\}^2 \tau_{sd} \cdot S \cdot g \right]$$

ここに、 D_m : 中詰石の平均粒径 (m) V_0 : 代表流速 (m/s) K_s : 相当粗度 ($2.5 D_m$) τ_{sd} : τ_d 部材に作用する無次元掃流力籠の変形を許さない場合 $\tau_d = 0.10$ S : 材料の水中比重 ($\rho_s / \rho_w - 1$)

平均粒径 D_m は、初期値 D_{m1} として $K_s = 2.5 D_{m1}$ と仮定し上式により繰返し計算により求めることができる。

② 斜面上の場合

角度 θ の斜面に設置する場合は、次式により補正を行う。

$$\tau_{sd} = \tau_d \cdot \cos \theta \sqrt{1 - \frac{\tan^2 \theta}{\tan^2 \phi}}$$

ここに、 θ : 斜面角度 (°) ϕ : 材料の水中安息角 (ϕ の標準値は碎石の場合 41° 自然石の場合 38°)

(4) 異形ブロック積み根固工

急流河川における根固工の敷設方法は、水深が大きい場合を除き原則として層積みとし、連結していることが望ましい。

根固工として、異形コンクリートブロックを敷設する場合、互いに連結する場合と乱積みして連結しない場合がある。またブロックによっては、その形状の特徴として特に連結しなくとも互いにかみ合って単体として離れがたいとされているものがある。しかし洪水時に河床が洗掘により低下することもあり、その時ブロックが低下すると同時にブロックが単体となって流失することがある。

① 層積み根固工

上流端部に位置する根固工であって、設置面はほぼ平らであり、部材が規則的に敷きならべられた状態を想定する。

滑動および転動に対する安定条件より、根固工の所要重量を次式により照査する。

$$W > a \left(\frac{\rho_w}{\rho_b - \rho_w} \right)^3 \frac{\rho_b}{g^2} \left(\frac{V_d}{\beta} \right)^6$$

ここに

W : 根固工の所要重量 (N) {kg}

a : 部材の形状等によってきまる係数 (表 3-4-1 参照)

β : 群としてのブロックの移動限界流速が単体 1.0 の場合に比べて、何倍であるか示す係数である。(表 3-4-1 参照)

ρ_b : ブロックの密度 (kg/m^3) { $kgf \cdot s^2/m^4$ }

ρ_w : 水の密度 (kg/m^3) { $kgf \cdot s^2/m^4$ }

V_d : 一般に代表流速 V_o を用いてよい。 $V_d \doteq V_o = \alpha \cdot V_m$

(ブロックサイズが大きく V_d と V_o がほぼ等しいため)

根固工の所要重量が流速の 6 乗に比例するので流速の評価は慎重に行なう必要がある。

表 3-4-1 異形コンクリートブロックの係数 a 及び β の値

ブロックの種類	a	β
対称突起型	1.2	1.5
平面型	0.54	2.0
三角錐型	0.84	1.4
三角支持型	0.45	2.3
長方形	0.79	2.8

[河川砂防(設I)第1章 4.3]

② 乱積み根固工

上流端部の部材、あるいは凹凸が大きく不規則に積み上げられた状態にあり、単独に扱うべき部材で、流体力による滑動・転動による移動が生じる。安定性の照査式は層積みモデルと同様である。式中に用いられる a は抗力係数、揚力係数などによる係数であり層積みモデルと変わらない。

β は一体性が認められる場合に $\beta > 1$ となるが、一体性の弱い乱積みでは、根固工先端部では、流速は大きくなるため、 β は 1.2 と設定するとよい。先端部より比較的流速の小さい本体部については β を 1.2～2.0（層積みの割り引き係数）とする。

③ 留意点

a. 部材の連結について

部材の連結が確実であれば β を大きくとることができる。連結を確実にするためには、異型コンクリートブロック等を吊り下げることのできる径の鉄筋を用いるとともに、鉄筋を固着しているコンクリート部分が破壊にいたる引張応力が作用しない構造とする。連結鉄筋及び吊り下げ鉄筋の例を表 3-4-2 に示す。

表 3-4-2 連結鉄筋及び吊り下げ鉄筋の例

連 結 鉄 筋		吊 り 下 げ 鉄 筋	
公称荷重(t)	径(mm)	公称荷重(t)	径(mm)
2 以下	16	1 以下	13
2.1 ～ 8	19	1.1 ～ 3	16
8.1 ～ 25	22	3.1 ～ 5	19
		5.1 ～ 8	22
		8.1 ～ 12	25
		12.1 ～ 16	28
		16.1 ～ 25	32

b. 吸出防止材について

砂河川に当該モデルの根固工を設置する場合には、根固工下部の流速が 0 にはならないため、根固工の下に吸出し防止材を敷設するなどして、吸出防止対策を行うことも考えられる。吸出防止材としては、吸出防止マット、籠工、粗朶沈床、碎石敷きならしなどがある。

※ 計算例

異形コンクリートブロックは一般に、平面型、長方形は層積みとして用いられる。対称突起型、および三角支持型は乱積みとして用いられることが多い。なお、三角錐型は各種の組み合わせが可能であるが乱積みが多い。

① 条 件

$$\begin{aligned}
 \text{水の密度 } \rho_w &= 1000 \text{ (kg/m}^3\text{)} \{102\text{kgf}\cdot\text{s}^2/\text{m}^4\} \\
 \text{ブロックの密度 } \rho_b &= 2300 \text{ (kg/m}^3\text{)} \{235\text{kgf}\cdot\text{s}^2/\text{m}^4\} \\
 \text{近傍流速 } V_d &= V_0 \text{ (代表流速)} = 4.0\text{m/s}
 \end{aligned}$$

② 計 算

(層積みの場合) 平面型 $a=0.54$ $\beta=2.0$

$$w > a \left(\frac{\rho_w}{\rho_b - \rho_w} \right)^3 \cdot \frac{\rho_b}{g^2} \left(\frac{V_d}{\beta} \right)^6 = 0.54 \times \left(\frac{1000}{2300-1000} \right)^3 \frac{2300}{g^2} \left(\frac{4.0}{2.0} \right)^6 = 380N$$

(乱積みの場合) 対称突起型 $a=1.2$ $\beta=1.2$

$$w > 1.2 \times \left(\frac{1000}{2300-1000} \right)^3 \frac{2300}{g^2} \left(\frac{4.0}{1.2} \right)^6 = 17900N = 17.9KN$$

(単体の場合) 平面型 $a=0.54$ $\beta=1.0$

$$w > 0.54 \times \left(\frac{1000}{2300-1000} \right)^3 \frac{2300}{g^2} \cdot \left(\frac{4.0}{1.0} \right)^6 = 24100 N = 24.1KN$$

5) 根固工の法面

根固工ののり面は異形コンクリートブロック乱積み、および捨石工においては1 : 1.5程度とする。

コンクリートブロックの静止摩擦係数試験によると、飽和した土について静止摩擦係数 $\mu=0.65$ 程度の値が得られている。

この結果をのり勾配に換算すると約1 : 1.5の勾配となる。

6) 元付および間詰

基礎工と根固工の高さに差があり、のり覆工と根固工の間に間隙が生じる場合には、適当な元付及び間詰工を施すものとする。

根固工天端を平均河床高に合わせたことにより高さの差が生じ、この隙間に流水が走り被害を生じることがあるので、それらを防止するために設けるものとする。元付としては「コンクリート」と「ふとん籠」に大別されるが、一部にブロックをとらえたり、玉石を充填する間詰工とする場合もある。

【図 解】

(1) 元付工

a. コンクリートの場合

①配置…概ね 10mに 1箇所

②形状…図 3-4-6 の通り

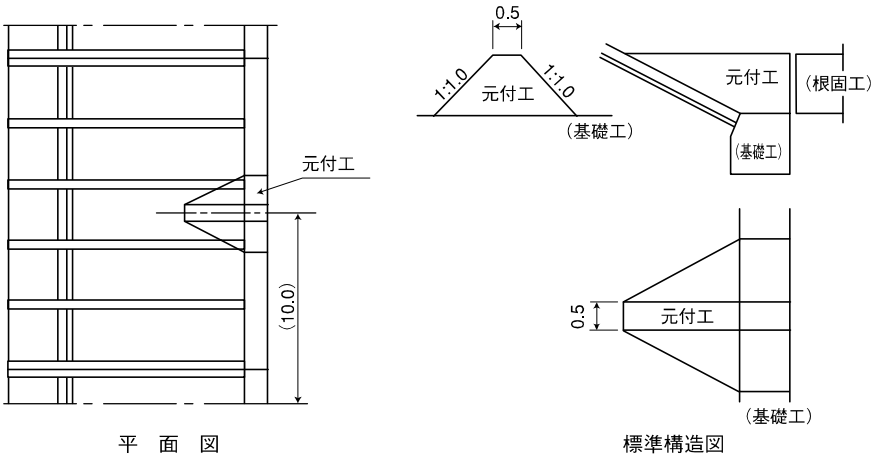


図 3-4-6 コンクリートの場合

b. 布団籠の場合

①配置…概ね 10mに 1箇所

②形状…図 3-4-7 の通り

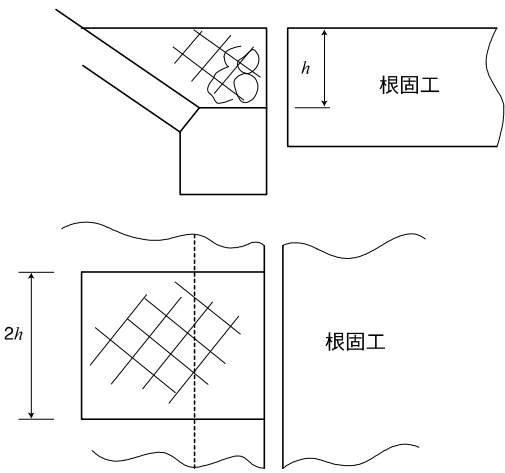


図 3-4-7 布団籠の場合

(2) 間詰工

間詰区間については、前面充填を基本とする(図 3-4-8)。

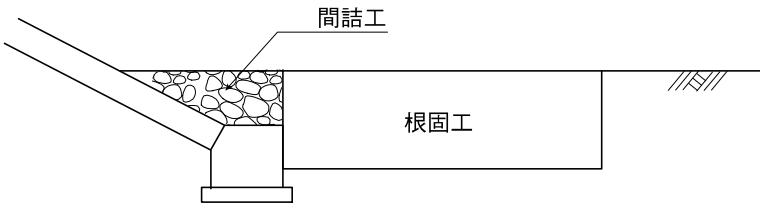
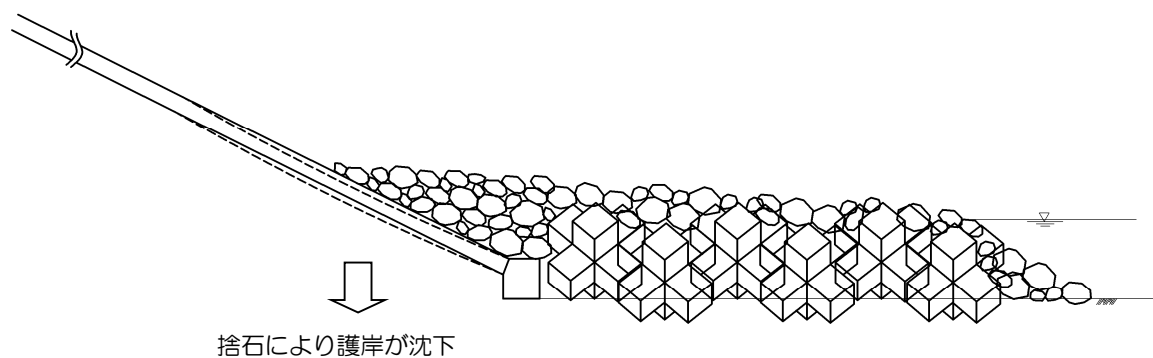


図 3-4-8 間詰工

【コラム】根固工に伴う護岸の沈下

○環境配慮面から、根固めブロック上へ過度に捨石を行うと、低水護岸が沈下する可能性がある。対策としては、根固めとしての必要幅や重さを適切に設定し、低水護岸に過大な荷重がかからないよう配慮することが望ましい。



○参考文献

基準等の略称	参考文献	年月	監修・編集・発行等
美しい山河基本方針	美しい山河を守る災害復旧基本方針	H26.3	国土交通省
河川景観ガイドライン	河川景観の形成と保全の考え方	H18.10	国土交通省
多自然川づくり基本方針	多自然川づくり基本方針	H18.10	国土交通省
鉄線籠型護岸基準	鉄線籠型護岸の設計・施工技術基準（案）	H21.4	国土交通省
構造令	改定 解説・河川管理施設等構造令	H12.1	(社)日本河川協会
河川砂防（設Ⅰ）	改訂建設省河川砂防技術基準(案)設計編(Ⅰ)	H9.10	(社)日本河川協会
力学設計	改訂 護岸の力学設計法	H19.11	(財)国土技術研究センター
例規集	河川事業関係例規集	H27	(社)日本河川協会
災害復旧要領	災害復旧工事の設計要領	H27.7	(社)全国防災協会
水理公式集	水理公式集	H11.11	(社)土木学会
ポイントブックⅢ	多自然川づくりポイントブックⅢ	H23.10	(財)リバーフロント整備センター
擁壁工指針	道路土工 擁壁工指針(平成 24 年度版)	H24.7	(社)日本道路協会
ポーラス護岸の手引き	ポーラスコンクリート河川護岸工法の手引き	H13.4	(財)先端建設技術センター