

第 1 章 河 川 堤 防

第 1 章 河川堤防

第 1 節 堤防設計の基本

1 完成堤防の定義

完成堤防とは、計画高水位に対して必要な高さとし、さらに必要に応じ護岸（のり覆工、根固工等）等を施したものをいう。

〔解説〕

河川管理施設等構造令における堤防に関する基準は、堤内地盤より 0.6m 以上のものについて定められており、この基準でも 0.6m 未満の盛土はこの節を適用しないものとする。

堤防の高さおよび断面については計画高水位を対象に築造されるが、一般に堤防は土砂でできているもので越流や浸透に対して十分な配慮が必要である。

したがって、余裕高が必要であり、また浸透等に耐える安定した断面形状と構造が必要である。さらに流勢に対して侵食による破壊を防ぐためには必要に応じ護岸（のり覆工に根固め等を備えたもの）等を設け、堤防の土羽部分は芝等で被覆する。

完成堤防は、計画高水位の流水に対して構造上通常考えられている安全性を確保するものでなければならない。したがって、必要な余裕高、断面を有し、さらに必要に応じ、護岸等を備えた構造とする必要がある。ただし、改修工事を進める場合に、段階的に洪水に対する安全度を向上させるため、対岸又は上下流の堤防の高さその他工事費などの関係から、堤防の暫定断面施工や護岸等を未施工とする、あるいは護岸ののり覆工のみ施工して根固工を後年度に回すなど段階施工が行われる場合がある。この場合の堤防の強度は計画高水位の流水に対しては完全な構造物としての機能を期待し難いが、改修の進め方としては妥当な方法であると考えられる。この場合の堤防を暫定堤防と称し完成堤防とは区別される。この暫定堤防の構造物としての安定の限界は完成堤防とはおのずから異なるものであるが、暫定堤防なりの安全性を有していなければならないものであり、暫定堤防としての必要な断面を有するとともに水衝部等においては護岸等の施工が必要である。

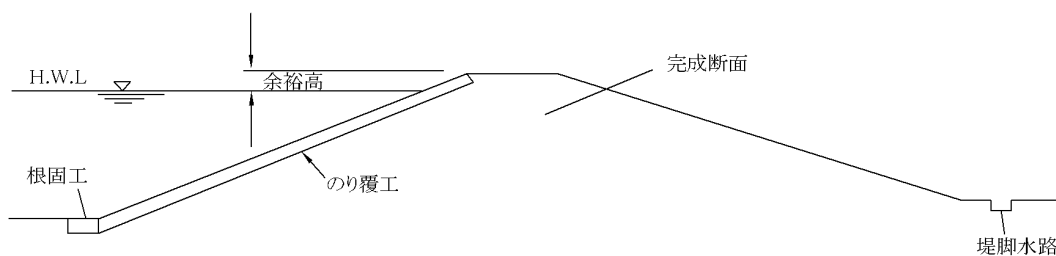


図 1-1 完成堤防の例

2 堤防断面各部の名称



図 1-2 各部の名称

3 堤防設計

流水が河川外に流出することを防止するために設ける堤防は、計画高水位（高潮区間にあつては、計画高潮位、暫定堤防にあつては、河川管理施設等構造令第32条に定める水位）以下の水位の流水の通常的作用に対して安全な構造となるよう設計するものとする。

また、平水時における地震の作用に対して、地震により壊れても浸水による二次災害を起こさないことを原則として耐震性を評価し、必要に応じて対策を行うものとする。

〔解説〕

広義の堤防としては、流水が河川外に流出することを防止する一般的な堤防および霞堤のほか、越流堤、圍繞堤、導流堤等があるが、本節では、流水が河川外へ流出することを防止する堤防（霞堤を含む）を対象とする。

堤防は盛土により築造することを原則としている。土堤防は、一般に工費が比較的低廉であること、構造物としての劣化現象が起きにくいこと、嵩上げ、拡幅、補修といった工事が容易であること、基礎地盤と一体となってなじみやすいこと等の優れた点をもっている反面、長時間の浸透水により強度が低下すること、流水により洗掘されやすいこと、越流に対して弱いこと等の欠点も有している。

河川管理施設等構造令による「流水」には、河川の流水の浸透水が含まれるので、流水の通常的作用とは、洗掘作用のほか、浸透作用も考える必要があり、土堤を原則とする堤防は、これらの作用に対して安全な構造とする必要がある。

洗掘作用は、一般的に局所的現象として発生するが多いため、河川の蛇行特性、河床変動特性等について検討のうえ、洗掘作用に対する堤防保護の必要性を判断しなければならない。堤防保護の必要な箇所では、護岸、水制等の施設を施工するが、護岸、水制等については、本章第3節、第4節および、国土交通省河川砂防技術基準 同解説・計画編第2-1章第7節を参照されたい。

堤防が破堤する場合は、一般に堤体または基礎地盤からの漏水、流水等による洗掘、および計画高水位を上回った場合の越水などが原因であり、これらに対して堤防は必要とされる安全性を有する必要がある。高規格堤防を除く一般の堤防は、計画高水位以下の水位の流水の通常的作用に対して安全な構造となるよう耐浸透性および耐侵食性について設計する必要がある。

また、堤防背後地の状況等により必要に応じて耐震性についても検討する必

要がある。一方、長大な延長にわたり設置される堤防については、その構造や基礎地盤に不確実な要素が伴い、また、自然現象を対象外力とするために、堤防の安全性を厳密に評価することは難しい。また、現在の堤防は、そのほとんどが長い歴史の中で、過去の被災の状況に応じて嵩上げ、腹付け等の修繕・補強工事を重ねてきた結果の姿であるので、通常経験しうる洪水の浸透作用に対しては、経験上安全であると考えられており、これまでは過去の被災履歴、地盤条件、背後地の状況等を勘案して過去の経験等に基づき設計を行ってきた。

現在においても、堤防の安全性を厳密に評価することは難しいが、技術の進歩などにより土質構造に関する解析計算が容易に実施できるようになってきており、理論的な設計手法によって堤防の安全性を照査することが可能となっている。ただし、前述のような不確実な要素は依然として存在することから、本基準においては、流水の作用に対して定める堤防の断面形状、構造については従来どおり、過去の被災履歴、地盤条件、背後地の状況等を勘案して過去の経験等に基づいて設計することを基本とし、必要に応じて、理論的な設計手法により安全性を照査するものとする。

なお、軟弱地盤においては、特に地すべりに対する検討を行う必要がある。その場合は、河川砂防技術基準調査編第 15 章第 2 節に基づく土質地質調査等を実施し、必要に応じてパイピングあるいは沈下、すべりに関する安定性の検討を行う。また、堤体の圧縮沈下、基礎地盤の圧密沈下等を加味した堤防余盛高さを決定し、沈下後においても所定の計画断面形が確保されるようにしなければならない。

地震については、これまで土堤には一般に地震に対する安全性は考慮されていない。これは、地震と洪水が同時に発生する可能性が少なく、地震による被害を受けても、土堤であるため復旧が比較的容易であり、洪水や高潮の来襲の前に復旧すれば、堤防の機能は最低限度確保することができることから、頻繁に発生する洪水に対しての防御が優先であるという考え方によるものである。過去の地震による堤防被害事例の調査によれば、被害の有無やその程度はおもに基礎地盤の良否に強く支配され、特に基礎地盤が液状化した場合に被害程度が著しくなる傾向にあるが、最も著しい場合でも堤防すべてが沈下してしまう事例はなく、ある程度の高さ（堤防高の 25% 程度以上）は残留している。

しかし、堤内地が低いゼロメートル地帯等では、地震時の河川水位や堤防沈下の程度によっては、被害を受けた河川堤防を河川水が越流し、二次的に甚大な浸水被害へと波及する恐れがあるため、浸水による二次災害の可能性のある河川堤防では、土堤についても地震力を考慮することが必要である。そこで、土堤の確保すべき耐震性として、地震により壊れない堤防とするのではなく、壊れても浸水による二次災害を起こさないことを原則として耐震性を評価し、必要に応じて対策を行うものとする。

堤防の設計にあたり、考慮すべき事項は表 1-1 のとおりである。

表 1-1 堤防の安全性に係る外力

作 用	確保すべき機能	安全性に係る外力
降雨および流水	耐 浸 透	降雨および流水の浸透
流 水	耐 侵 食	流水による流体力
地 震	必要に応じて耐震	地震動による液状化、 必要に応じて慣性力

4 堤防の形態

- 1 新堤防を築造する場合は軟弱地盤等基礎地盤の不安定な箇所は極力避けるものとする。
- 2 旧堤拡築の場合はできるだけ裏腹付けとするものとするが、堤防法線の関連および高水敷が広く川幅に余裕がある場合などは表腹付けとなってもやむをえない。

〔解 説〕

堤防の形態としては新堤と旧堤拡築（嵩上げを含む）に大別される。

新堤の築造は無堤部における新堤（放水路、捷水路も含む）と狭窄部の引堤があるが、堤防法線計画上やむをえない場合を除き軟弱な地盤の箇所は極力避けたほうがよい。

また、旧堤拡築の場合も計画法線の位置によって裏腹付けにするか表腹付けにするか決まってくるが、一般には安定している表のり面を生かして裏腹付けとしたほうが望ましい。用地の取得が非常に困難および高水敷が広く河積に十分余裕がある場合などやむをえず表腹付けをする場合が生ずる。しかし、低水路に堤防のり先が接近している場合には川幅に仮に余裕があっても表腹付けは避けることが望ましい。

河川砂防[設計 I]
H9.10
2.1 (P.5)

5 堤防の計画断面

堤防計画断面の形状は、河川管理施設等構造令、建設省河川砂防技術基準(案)によるものとする。

5-1 余裕高

イ 堤防の余裕高は、計画高水流量に応じて表 1-2 に掲げる値以上とする。ただし、当該堤防に隣接する堤内の土地の地盤高が計画高水位より高く、かつ地形の状況により治水上の支障がないと認められる区間にあつては、計画高水流量が 200m³/s 以上である場合でも余裕高を 0.6m 以上とすることができる。

表 1-2 計画高水流量と余裕高

計画高水流量 (単位 m ³ /s)	余裕高 (m)
200未満	0.6
200以上 500未満	0.8
500以上 2,000未満	1.0
2,000以上 5,000未満	1.2
5,000以上 10,000未満	1.5
10,000以上	2.0

ロ 支川の背水区間においては、堤防の高さが合流点における本川の堤防の高さより低くならないよう堤防の高さを定めるものとする。

ただし、逆流防止施設を設ける場合においてはこの限りではない。

5-2 天端幅

1 堤防の天端幅は、堤防の高さと堤内地盤高との差が0.6m未満である区間を除き、計画高水流量に応じ表1-3に掲げる値以上とするものとする。

ただし、堤内地盤高が計画高水位より高く、かつ地形の状況等により治水上の支障がないと認められる場合にあつては、計画高水流量にかかわらず3m以上とすることができる。

表 1-3 計画高水流量と天端幅

計画高水流量 (単位 m ³ /s)	天端幅 (m)
500未満	3
500以上 2,000未満	4
2,000以上 5,000未満	5
5,000以上 10,000未満	6
10,000以上	7

河川構造令
第 20 条
(P. 115)

河川砂防[設計 I]
H9.10
2.1 (P. 6)

2 支川の背水区間においては、堤防の天端幅が合流点における本川の堤防の天端幅より狭くならないよう定めるものとする。

ただし、逆流防止施設を設ける場合、または堤内地盤高が計画高水位より高く、かつ、地形の状況等により治水上支障がないと認められる区間にあつてはこの限りでない。

〔解説〕

本文の規定は構造令に定めるところによる。

天端幅についても余裕高と同様に、本来的には個々の河川、区間について重要度、堤体材料、洪水の継続時間等の特性に応じて定めるべきであるが、天端幅が区間によって異なることは、堤防の断面の大きさが異なることと同じであり、地域住民に与える心理的影響も大きいので、常時の巡視用の通路あるいは洪水時の水防活動等河川管理用通路としての必要幅も含めて、余裕高と同様に計画高水流量に応じて段階的に定めたものである。しかし、天端幅は、余裕高と同様に計画高水流量の変わる箇所で急変することは問題があるので、山付等区切りのつく所で変えるのが一般的であるとともに、地形上適当な区切りのない場合であっても、相当の延長にわたり穏やかにすりつけるものとする。なお、堤防天端は、散策路や高水敷へのアクセス路として、河川空間のうちで最も利用されている空間であり、これらの機能を増進し、高齢者等の河川利用を容易にするとともに、消防車両等の緊急車両が堤防天端を経由して高水敷に円滑に通行できるようにするため、堤防天端幅をゆとりのある広い幅とすることが望ましい。

また、堤防天端は雨水の堤体への浸透抑制や河川巡視の効率化、河川利用の促進等の観点から、河川環境上の支障を生じる場合等を除いて、舗装されていることが望ましい。ただし、雨水の堤体への浸透を助長しないように適切に維持管理するとともに、適切な構造によるのり肩の保護等を講ずるものとする。また、堤防天端利用上の危険の発生を防止するために、必要に応じて車止めを設置する等の措置を講ずるものとする。

本文1. のただし書きの例外規定は、堤防高が堤内地盤高から0.6m以上の堤防の場合であっても、堤内地盤高が計画高水位より高く、かつ、地形等の状況によっては計画高水流量に応じた天端幅は設ける必要性がないとしたものである。しかし地形の状況等を考慮して必要がない場合においても、上下流の天端幅と連続する場合等においては、管理用通路としても上下流を通じて一連の幅とすることが望ましい。

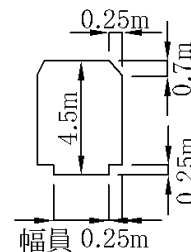
本文2のただし書きの例外規定のうち水門等の逆流防止施設を設ける場合（いわゆる半背水堤または自己流堤の場合）は、本川と水門等によって流水が絶縁されるので本川と同一の天端幅を設ける必要は生じない。一般には支川の計画高水流量に応じて定める。

小河川の特例については、構造令施行規則第36条によるものとする。

5-3 管理用通路

堤防には、河川の巡視、洪水前の水防活動などのために、次に定める構造の管理用通路を設けるものとする。

ただし、これに代わるべき適当な通路がある場合、堤防の全部もしくは主要な部分がコンクリート、鋼矢板もしくはこれらに準ずるものによる構造のものである場合、または、堤防の高さと堤内地盤高との差が0.6m未満の区間である場合にはこの限りでない。



- 1 幅員は3m以上で堤防の天端幅以下の適切な値とすること。
- 2 建築限界は次の図に示すところによること。

※ 河川管理施設等構造令及び河川・砂防技術基準(案)解説参照。

〔解説〕

管理用通路は、散策路や高水敷へのアクセス路として、日常的に住民の利用に供している河川空間であるが、これらの機能の増進、高齢者等の利用の円滑化、貴重な緑の空間としての利用、河川に正面を向けた建築の促進、出水時の排水ポンプ車の円滑な活動の確保を図ること等から、管理用通路を4m以上とすることが望ましい。

5-4 のり勾配

堤防ののり勾配は2割以上の緩やかな勾配とするものとする。ただし、コンクリートその他これに類するものでのり面を被覆する場合においては、この限りでない。のり勾配の設定にあたっては、堤防敷幅が最低でも小段を有する断面とした場合の敷幅より狭くならないようにするものとする。

〔解説〕

のり勾配については堤体土質等から定まるものであるが、一河川堤防ののり面の安定条件から一般に2割より急にすることは好ましくない。従来小規模な堤防等において1.5割ののり勾配をもったものがあつたが、洪水時の浸透のみならず降雨の浸透によってすべりやのり崩れ等の現象が多く見られており、2割が最小限值と見るべきであろう。

一連区間の引堤等を行う場合ののり勾配については「河川堤防設計指針」により原則としてのり勾配が3割より緩い勾配とし、一枚のりの台形断面として設定するとされている。指針に基づき堤防に求められる機能に応じて、安全性の照査手法の適用、照査外力の設定、照査基準の設定をそれぞれ適切に行うこととする。

安全性照査の手法については次の手法を標準とし、これらの手法の適用に必要とされる照査外力、照査基準を設定する。

- ・耐浸透機能：非定常浸透流計算及び円弧すべり安定計算
- ・耐侵食機能：設計外力とする洪水による堤防のり面及び高水敷の侵食限界の判別

(既設護岸のある場合には設計外力とする洪水による護岸の破壊限界の判別)

堤防の小段は降雨の堤体への浸透をむしろ助長する場合もあり、浸透面では緩勾配の一枚のりとした方が有利であること、除草等の維持管理面や堤防のり面の利用面、環境面からも緩勾配ののり面が望まれる場合があることなどから、小段の設置が特に必要とされる場合を除いては、可能な限り緩やかな一枚のり（図 1-3 参照）とすることが望ましい。

なお、一枚のりとする場合ののり勾配については、すべり破壊に対する安全性等を照査した上で設定するものとするが、堤防のすべり安全性を現状より下回らないという観点からは、堤防敷幅が最低でも小段を有する断面とした場合の敷幅より狭くならないものとする。

なお、一枚のりの緩やかな勾配とした場合、のり面への車両の侵入や不法駐車等を防止するため、必要に応じて裏のり尻に 30～50 cm 程度の高さの石積み等を設置するものとする。

小段を設ける場合には、川表にあつては堤防の直高が 6 m 以上の場合に天端から 3 m ないし 5 m 下るごとに、川裏にあつては堤防の直高が 4 m 以上の場合に天端から 2 m ないし 3 m 下りるごとに小段を設けることが標準的であり、その幅は 3 m 以上とすることが多い。

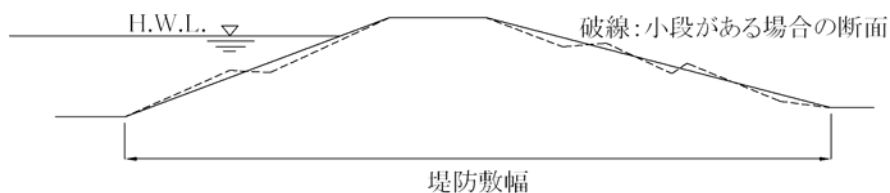


図 1-3 小段のあるのり面を緩勾配の一枚のりにする例

5-5 高潮の影響を受ける区間の堤防

高潮の影響を受ける区間の堤防ののり面、小段、天端は、必要に応じてコンクリートその他これに類するもので被覆するものとする。

〔解説〕

高潮の影響を受ける区間の堤防は、越波を考慮して一般にコンクリートまたはこれに類するもので三面張りにする。なお、堤防に越波した水を集水する排水路を設けることが必要である、高潮の影響を受ける区間の堤防の設計は、水圧、土圧、波圧に対しても安全な構造となるよう設計する。また、断面形状等が上流の河川堤防となめらかに接続するよう配慮する。

高潮区間に設置される堤防において背後地への越波を防ぐためには、必要に応じて波返工を設けるものとする。高潮区間に設置される堤防および潮岸堤においては、波の入射角が概ね 30 度以上で、波高が 1 m 程度以上の場合、もしくは概ね 30 度未満で 1.5 m 程度以上の場合は、波返工を設けることが一般的である。

また、越波量が延長 1 m あたり $0.02 \text{ m}^3 / \text{s}$ 程度以上の場合は、堤防天端お

よび裏のり面をコンクリート等で覆うものとし、その場合でも、越波量は $0.05 \text{ m}^3/\text{s}$ 程度以下にする。

5-6 湖岸堤

湖岸堤の天端幅は、堤防の高さ、背後地の状況を考慮して 3 m 以上の適切な値とし、のり面、天端は、必要に応じてコンクリートその他これに類するもので被覆するものとする。

〔解説〕

湖岸堤の天端幅は、河川区間と異なり、計画高水流量と対応させて規定することはできないので、水理条件、土質条件、堤防の基礎地盤等を考慮して堤防の安定について検討を行い堤防構造を定める。しかし、天端は管理用通路にもなるので 3 m 以上の幅は必要である。また、必要に応じて波返工を設けるものとする。

湖沼の風による吹寄せ高、波の打上げ高に関する検討にあたっては、過去の風速、風向および水位の実績をもとにして検討を行うものとする。

5-7 特殊堤

地形の状況その他特別の理由により第 1 章 1 節 5 (堤防の断面形状) の規程を適用することが著しく困難な場合は、それらの規程にかかわらず次の特殊な構造とすることができる。

計画高水位 (高潮の影響を受ける区間の堤防については、計画高潮位) 以上の高さで、盛土部分の上部に胸壁を設ける構造とする。

ただし、さらにこれより難しい場合は、コンクリートおよび矢板等これに類するもので自立構造とする。

特殊堤は、河川の特性、地形、地質等を考慮してその形式を選定するとともに、堤防としての機能と安全性が確保される構造となるよう設計するものとする。

〔解説〕

堤防は土堤とすることが原則である。すなわち、土堤の場合には、材料の入手が容易である、構造物としての劣化現象が起きない、地震によって被災しても復旧が容易である等の利点がある。

しかし、市街地または重要な施設に近接する堤防で用地取得が極めて困難の場合等においては、やむをえず胸壁を設けることがある。また、この場合の胸壁の高さは原則として余裕高の範囲内とするが、大河川や波高の大きい区間では人間の身長以上となって川面をのぞくことができなくなり、また、美観等も損なうので 80 cm 以下とすることが望ましい。この程度の高さまでが構造上も安定感がある。ただし書は、特殊堤の中のさらに特例であり、東京や大阪等の都市河川の高潮区間などにおいて限定的に築造されている。

代表的な特殊堤について次に示す。

河川砂防[設計 I]
H9.10
2.1 (P.9)

河川砂防[設計 I]
H9.10
2.1 (P.9)

1 胸壁（パラペット）構造の特殊堤

胸壁構造の特殊堤は、土地利用の状況その他の特別な実情によりやむをえないと認められる場合に、計画高水位（高潮区間においては計画高潮位）以上の高さの土堤に胸壁を設けるものであり、堤防の設計は原則として本章1に準ずる。なお、胸壁の高さは、極力低くするものとするが、高くする場合でも1 m程度、できれば80 cm程度以下にとどめることが望ましい。

胸壁の高さがあまり高くなると、視界をさえぎり、河川管理に支障を与えるとともに、景観、河川環境が損なわれることにもなりかねない。また、胸壁の高さが低いほど波圧等によるパラペットの倒壊等に対して構造的に安全度を増すことができる。

2 コンクリート擁壁構造の堤防

コンクリート擁壁構造の堤防は、胸壁構造の特殊堤により難い特別な事情がある場合に用いられる。コンクリート擁壁構造の堤防を用いる場合、洪水時、低水時の荷重条件下において自立し、沈下、滑動、転倒等に対して安全な構造とするとともに、全面の洗掘に対しても安全なものとなるようにする。また、矢板を用いる場合も同様とする。なお、地震時においては、「河川構造物の耐震性能照査指針・解説 平成24年2月」に準拠して設計するものとする。

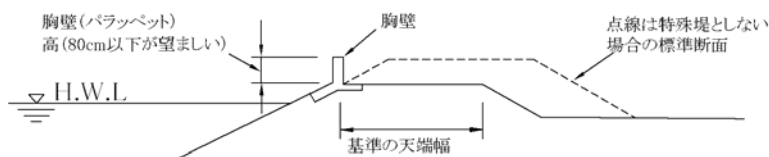


図1-4 特殊堤

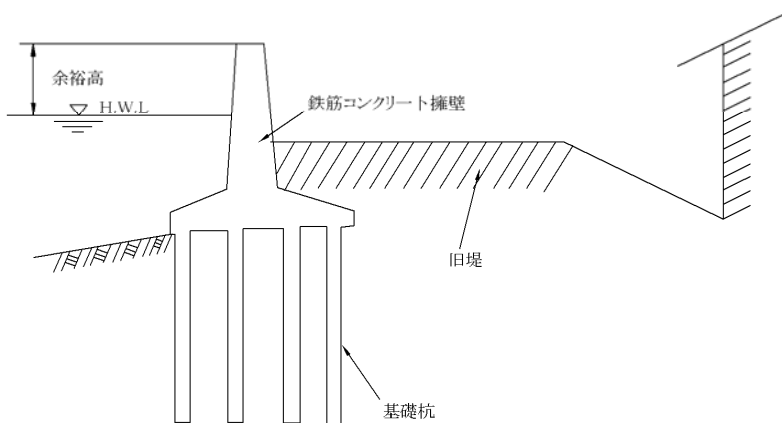


図1-5 自立式擁壁の例

参考：越流堤等

1 越流堤

越流堤の型式としては、コンクリート重力式、コンクリートウォール式、土堤の表面にのり覆工を施したものなどがある。これらの型式には、それぞれ得失があり、諸条件によってその特性を活かす型式を選定する必要がある。

土堤の表面にのみ覆工を施した越流堤に関しては、断面形状、内部の構造などの設計について十分な検討が必要である。このため、必要に応じて現場の土質調査、試験施工等を行う。コンクリートのフェーシングは、施工は容易であるが、目地が弱点となりやすく、不同沈下にも順応しにくい。アスファルトフェーシングは、水密性、屈とう性、破壊の局部性、維持管理の容易さなどの点において多くの利点を有している。また、屈とう性に優れ、揚圧力の低減の面からも有利な蛇籠やふとん籠を活用したフェーシングも最近適用されている。越流堤の形式については、越流堤を設置する基礎地盤をよく調査し、工法を選定する必要がある。フェーシングの被覆厚は揚圧力のほか流水による負圧、流水等による衝撃力等の外力に対しても十分安全なものとする。また、排水管、排気管の構造および位置については、堤体材料、透水性、最大揚圧力の発生点等を十分検討して決定しなければならない。なお、越流堤を越流した水はかなりの流速をもつもので、被覆のり面の流水による負圧、遊水地内の洗掘等の問題が生じる恐れがあり、水理実験からの勾配、減勢工等の検討を行い、断面形を決めることが望ましい。

2 導流堤

導流堤は、河川、湖沼、海において流れを導き、土砂の堆積やそれに伴う閉塞、または河川の深掘れを防ぐために設けられるものである。

法線や延長などの諸元については、その設置場所や目的に応じて個々のケースごとに、水理条件や地形条件等をもとに過去の実施例や水理模型実験の結果などを参考にして検討する必要がある。河口閉塞の防止のために設けられる導流堤については、流れによる土砂のフラッシュ効果とともに波による砂州の形成も防止する効果をもたせるよう考慮して設計する。

また、導流堤の構造については、河口に設けられる場合にあっては流れと波の作用に対しても安全なものとなるよう、急流河川に設けられる場合にあっては流れによる侵食作用に対しても安全なものとなるよう設計する。必要に応じて護岸や根固工を設ける。

3 背割堤

背割堤は、分流や合流に際して流れを分離するために設けられるものである。

背割堤の法線や高さなどの諸元は、河道計画や両河川の計画高水位をもとに検討する。必要に応じて水理模型実験などを行う。

背割堤の構造の設計にあたっては、通常の堤防に関する検討のほかに堤防両側の流水の作用にも配慮する必要がある。

6 構造細目

6-1 堤防の構造

堤防の構造は、本章堤防設計の基本に基づき、過去の被災履歴、地盤条件、背後地の状況等を勘案して過去の経験等に基づいて設計するものとし、必要に応じて安全性の照査などを行い定めるものとする。また、地震対策が必要な場合には液状化等に対して所要の安全性を確保できる構造とするものとする。

〔解説〕

河川堤防は、計画高水位または計画高潮位以下の水位の流水の通常的作用（侵食、浸透等）に対して安全な構造とする必要があるため、浸透については河川水、降雨の条件に対して堤防の断面形状および構造が安全性を確保するようにするものであり、必要に応じて対策工を施す。すなわち、堤体の構造は、基本的に降雨や河川水の浸透をできるだけ防止し、また、浸透した水は速やかに排除し、パイピング等を生じさせない構造、侵食されない構造とし、必要に応じて地震に対しても安全な構造とする必要がある。このとき、侵食や浸透に対する安全性については、理論的な手法による安全性の照査を必要に応じて行うものとする。地震対策が必要な区間では、液状化などに伴う堤防の沈下等の検討を行い、所要の安全性が確保できる構造とするものとする。

なお、軟弱地盤や透水性地盤上の特に条件の悪い箇所に築造される堤防においては、浸透流解析等により、裏のりのすべりや表のりの残留水位によるすべりに対する安定性等について検討を行う必要がある。

各機能に対する堤防構造の考え方や工法例を以下に示すが、具体的な構造検討は「河川堤防の構造検討の手引き 平成24年2月」に準拠するものとする。

1 耐侵食機能を確保する構造について

河川堤防は土構造を主とする構造物であることから、水による侵食作用に対して高水敷や護岸等と一体となって十分な安全性を有する構造とする必要がある。したがって、国土交通省河川砂防技術基準 同解説・計画編第2-1章第7節の高水敷等の河道の状況との関係を踏まえ、堤防に作用する流水の状況や洪水時の河岸侵食の状況を勘案しながら適切に護岸、水制等を計画し、その下で堤防本体の耐侵食性を検討する必要がある。特に急流河川や高水敷のない河川区間、構造物周辺では侵食に対する十分な安全性を確保する必要がある。この際、護岸構造を強化する手法に加え、水制等により堤防に作用する流速を低減させる手法等についても考慮する。護岸、水制の設計についてはそれぞれ本章第3節、第4節を参照されたい。

堤防本体は、芝等による被覆、護岸、水制などにより保護することが一般的である。それぞれの形式や材料については洪水時の流速を考慮し、適切に選定する必要がある。最近では環境面に配慮して護岸等を覆工する手法も採用されている。

2 耐浸透機能を確保する構造について

(1) 降雨と河川水の浸透を抑制する構造

降雨および河川水の浸透を抑制する堤防の堤体構造としては、主として降雨の浸透を防止するために、十分に締め固めた粘性土等で堤体の表面を被覆する方法や、堤防天端を舗装して雨水の浸透を防ぐ方法がある。

また、主として河川水の浸透を防止・抑制するために表のり面をしゃ水シート等によりしゃ水する方法もある。

一方、基礎地盤の浸透を抑制し、浸透侵食を防止するためには、従来から、①矢板等によるしゃ水構造や、②土質材料または人工材料によるブランケット構造が適用されている。①については日本では鋼矢板が多用されているが、海外の事例を見ると、スラリートレンチカットオフ工法や止水グラウト工法も利用されている。しゃ水性を高めると堤内地の地下水等に影響を及ぼすことがあるので十分に注意しなければならない。

②のブランケット構造についてはその機能を発揮させるために必要な幅を確保し、材料として土質材料を利用する場合には粘性土を十分に締め固めるとともに十分な厚みを確保する必要がある。また、アスファルト等の人工材料を用いる場合には環境面に十分に配慮しなければならない。

(2) 浸透水を速やかに排除する構造

直接あるいは基礎地盤を通じて堤体内に浸透した河川水や降雨は、裏のり尻を容易に不安定化させる。したがって、浸透水を速やかに排除する必要があるが、その代表的な構造が裏のり尻に設置するドレーン工である。我が国でも堤防強化の一環として普及しつつあり、ドレーン材料には碎石等が用いられている。碎石等の利用は裏のり尻の強度を増加させるという意味でも好都合である。

一方、基礎地盤の浸透水を排除する構造としては、リリーフウェル、透水性トレンチ等があるが、我が国ではほとんど適用されていない。

3 耐震機能を確保する構造について

既往の地震による大規模な被害事例を見ると、堤防の被害事例のほとんどが基礎地盤の液状化に起因するものであった。しかし、平成23年3月に発生した東北地方太平洋沖地震では堤体の液状化に起因する堤防の大規模な被害が多数発生した。したがって、耐震性を確保するためには、基礎地盤に対しては液状化を防止する構造を、堤体に対しては液状化による変形を抑制する構造を採用する必要がある。

液状化防止対策としては、締固め工法、固結工法やドレーン工法等がある。また、液状化あるいは液状化による変形を抑制する対策としては押さえ盛土、高水敷の造成や矢板等がある。

6-2 堤防の材料の選定

盛土による堤防の材料は、原則として近隣において得られる土の中から堤体材料として適当なものを選定する。

〔解説〕

築堤工事の土工量は一般に膨大なため、遠方から土を運んでくると工費が大幅に増大するので、堤体材料に用いる土は通常の場合、高水敷や低水路の掘削土砂あるいは手近な土取場の土を使用する等、施工現場付近のものを利用することが望ましい。また、堤体に用いる材料として粒径の小さな材料を用いる場合は、浸透はしにくいですが、浸透した場合には強度の低下等が生じやすく、粒径の大きい材料を用いる場合は、浸透はしやすいが、浸透により強度の低下等は生じにくいという基本的性質をもっているため、このようなことを踏まえたうえで下記事項についても検討し、適切な堤体材料を選定する。

- 1 湿潤、乾燥等の環境変化に対して安定していること。
- 2 腐食土等の高有機質分を含まないこと。
- 3 施工時に締固めが容易であること。

適切な堤体材料を得ることが難しい場合には、土質改良をしたり、2種類以上の土の適当な組み合わせ等によっている場合がある。

近隣に類似の土を用いた堤防がある場合は、その堤防の洪水時の過去の挙動を検討して選定する。また、既設堤防を拡幅する場合には、既設堤防の堤体材料を検討のうえ、選定する必要がある。

堤防の材料の選定の際、あるいは締固め等の検討にあたっては、「河川土工マニュアル」等を参考にするとよい。

6-3 のり覆工

盛土による堤防ののり面（高規格堤防の裏のり面を除く）が降雨や流水等によるのり崩れや洗掘に対して安全となるよう、芝等によって覆うものとする。

〔解説〕

のり覆工として用いられている芝付工には芝張り、種子吹付け等があり、芝付けの箇所等を考慮して選定する。急流部、堤脚に低水路が接近している箇所、水衝部等、流水や流木等によりのり面が侵食されやすい箇所等については、表のり面に適当な護岸を設ける必要がある。

のり覆工は景観や河川の利用などの河川環境にも配慮して設計するものとする。

6-4 漏水防止工

堤防は、堤体材料、基礎地盤材料、水位、高水の継続時間等を考慮して、浸透水のしゃ断およびクイックサンド、パイピング現象を防止するため、必要に応じて漏水防止工を設けるものとする。

〔解説〕

漏水には堤体からの漏水と基礎地盤からの漏水があり、浸透水による堤体の土砂流出や、クイックサンドおよびパイピング現象は破堤の原因となる。したがって、堤体の漏水に対しては次のような対策を考える必要がある。

- 1 堤体材料の選定にあたっては浸透性の小さいものを選ぶ必要がある。砂質土を材料として用いるときは、表面を良質な被覆土で十分に覆い、締固めを十分に行う。
- 2 堤防断面の大きさを十分にとる。
- 3 盛土の施工にあたっては、締固めを確実にかつ均一に行う。
- 4 のり面を不透水性の材料で覆う。
- 5 裏のり尻に透水性の材料を用い空石張等を行い、排水をよくして、裏のり尻を補強する。また、基礎地盤の漏水に対しては、次の対策を考える必要がある。
 - 1 川表のり尻付近にシートウォール、鋼矢板等の設置または粘土による置換えを行って浸透水をしゃ断する。
 - 2 堤外の透水地盤の表面を透水性の小さい材料で被覆する（ブランケット）。
 - 3 堤内側に排水用井戸を設けて、浸潤線の低下を図る。

6-5 ドレーン工

堤防の浸透水を安全に排水する場合には、必要に応じてドレーン工を設けるものとする。

〔解説〕

浸透対策の基本は、①降雨あるいは河川水を堤防に浸透させないこと、②浸透水は速やかに排水すること、③堤防、特に裏のり尻部の強度を増加させること、④堤防断面を拡幅し、浸透経路長を長くすることであるが、ドレーン工は②および③を主眼とした強化工法である。

ドレーン工の浸透対策工としての効果については実物大の模型実験等によっても確認されており、以下にドレーン工の計画、設計に関する基本的な考え方を示す。

1 ドレーン工の計画

ドレーン工は、降雨あるいは河川水の浸透によって形成される堤体内浸潤面が裏のり面に浸出することを抑制し、堤体内浸潤面を低下させるとともに、堤体の一部をドレーン材料に置き換えることによるせん断強度の向上とも相まって、浸透に対する堤防の安全性を確保しようとするものであ

り、堤防の縦横断形状、堤体ならびに基礎地盤の土質、堤内地盤高等の諸条件を検討したうえで、設置区間および基本構造を計画する。

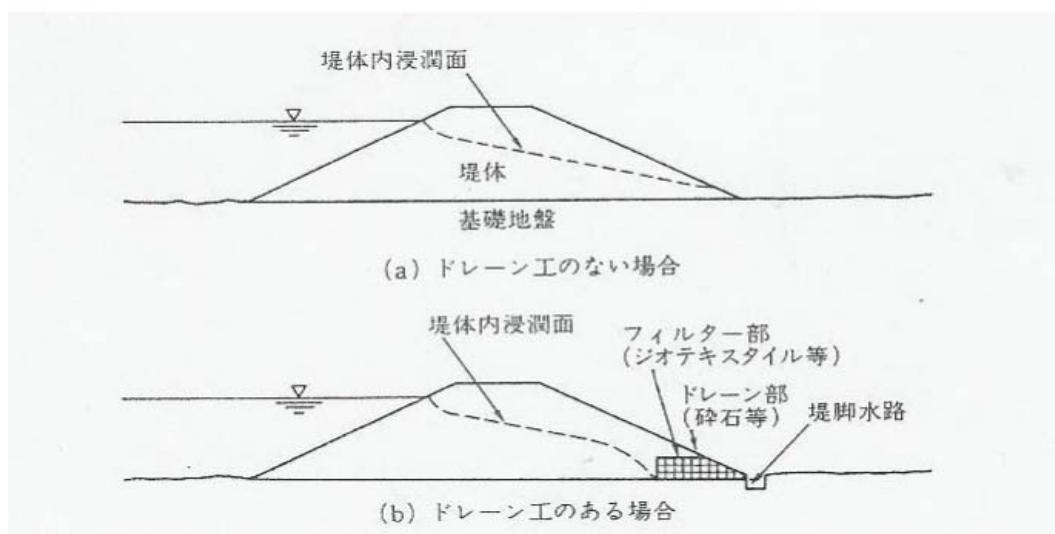


図 1-6 ドレーン工の構造とその効果

(1) 設置区間

ドレーン工の設置区間は、浸透対策を必要とする区間を対象に、効果の確実性、施工性等を考慮して適切に選定する必要がある。ドレーン工の効果の確実に期待できる堤体土質は、大部分が砂質土で構成される場合である。礫質土のように、堤体の透水性が大きいと、ドレーン工自体の透水性との差が少なくなり、集水効果や排水効果が減退することになる。逆に堤体の透水係数が十分に小さい場合には、降雨や河川水の堤体への浸透は抑制されるので、このような区間では堤体浸透を対象とした対策は不要と評価されるのが一般的である。

なお、ドレーン工は、排水を堤脚水路を通じて適当な流末まで自然流下させる必要があるため、堤脚水路が確実に確保でき、かつ排水先が確保できるよう計画する必要がある。

(2) 構造の基本

ドレーン工は、ドレーン部、フィルター部および堤脚水路で構成するものとし、その機能が長期的に確保され、かつ堤防の安全性を阻害することのない構造として計画する。

2 ドレーン工の設計

ドレーン工は、長期間にわたりその機能を発揮し、浸透や地震に対する堤防の安全性が確保できるように設計するものとし、浸透に対しては当該河川の堤防に求められている所定の安全水準以上、地震に対しては所定の堤体内水位以下となるように設計する。

ドレーン工の設計にあたって特に注意すべき点は、当初の機能を長期間にわたり維持する必要があることである。ドレーン工の内部では、降雨や出水のたびに浸透水が通過するわけであるから、堤体を構成する土粒子も移動しやすい条件にある。仮に土粒子の移動が長期間にわたり繰り返され

れば、ドレーン部に目詰まりが発生して機能が低下し、堤防の不安定化につながる可能性も否定できない。このようなことを考えると、ドレーン工の設計にあたっては長期の安定性を確保することに十分に留意することが重要である。

ドレーン工の設計に際しての検討手法は、原則としてドレーン工設計マニュアル（H25.6）によるものとするが、長期の安定性を確保するためのドレーン部の幅は、図1-7のようにドレーン工幅を考慮した平均動水勾配（ H/D ）が0.3以上とならないよう設定するものとし、また、ドレーン部の厚さは堤体内で0.5m以上を確保する。

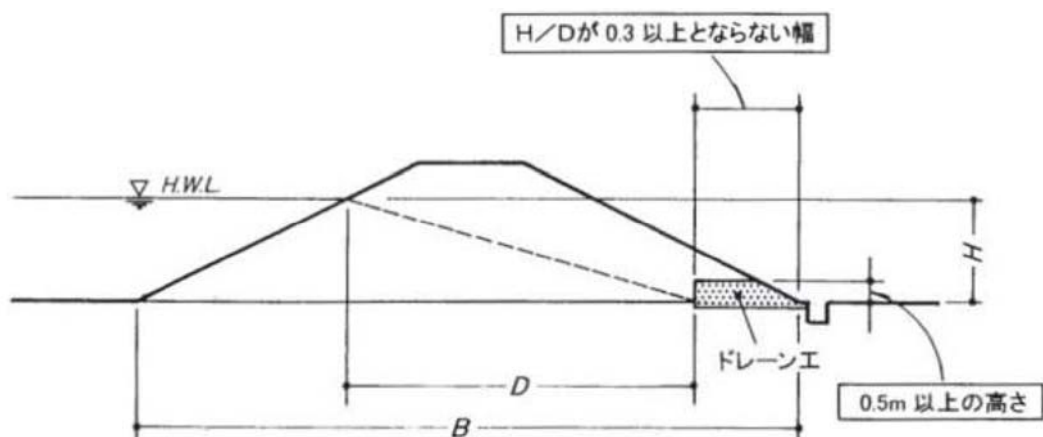


図1-7 ドレーン工の断面と平均動水勾配

7 設計細目

7-1 侵食に対する安全性の照査

侵食に対する安全性を照査する場合には、堤防前面の河岸（高水敷）の状況、堤防付近の洪水流の水理条件・護岸、水制等の計画等を考慮して実施するものとする。

〔解説〕

堤防は、計画高水位または計画高潮位以下の水位の流水の通常的作用に対して安全な構造とするものであり、流水による堤防の侵食作用に対しては、堤防前面の河岸（高水敷）の洪水による侵食の特性、堤防付近の水位や流速等の水理条件、河岸あるいは堤防本体を保護する護岸・水制等の計画、堤防土質条件等を総合的に勘案して安全性を照査する必要がある。

したがって、河道計画の段階で低水路法線や高水敷の幅・高さ、河道の横断形等を、堤防の侵食に対する安全性の面を踏まえて検討することが重要である。侵食に対する安全性の照査では、こうようにして設定された堤防前面の河岸（高水敷）が、洪水時にどの程度侵食されるかを河川砂防技術基準調査編第4章等を参考にして検討する。照査の結果、河岸（高水敷）が著しく侵食されるような区間では、護岸や水制等による対策、あるいは河道計画の修正の検討を行う。

堤防本体の直設的な侵食に対する安全性については、堤防に作用する流水の水理条件を基にして、堤防のり面の侵食に関する安全性の検討を行い、必要に応じて堤防護岸等の対策を検討するものとする。この際、堤防のり面の侵食に対して考慮すべき外力は、流水の作用によるせん断力、抗力、揚力などの流体力、土砂や流木などによる直接的な衝撃などがある、また、堤防のり面基部の洗掘や根固工の流出も侵食に対する安全性を支配する大きな要因となる。このような、堤防のり面の侵食や基部の洗掘については、おもに本章第3節護岸に準じて照査するものとする。

7-2 浸透に対する安全性の照査

浸透に対する安全性を照査する場合には、水位、降雨、堤体の土質、基礎地盤等を考慮して実施するものとする。

〔解説〕

土堤を原則としている河川堤防は、土粒子間の空隙に水が満たされると空隙水圧が増加し、土のせん断強度が低下するため、堤防の安定性が低下する。また、浸透水の動水勾配が大きくなると浸透力により土粒子が移動してパイピングを発生させ、堤防の安定性を低下させる場合がある。

河川堤防の浸透に対する安全性の照査は、「河川堤防の構造検討の手引き 平成 24 年 2 月」に準拠するものとし、一般的に次の手順による。

1 検討断面の設定

堤防の断面形状・構造が同一となる区間ごとに水位条件、堤体の土質条件、基礎地盤条件が最も厳しい状況にある断面を検討断面とする。

2 初期条件の設定

浸透に対する堤防の安全性の照査にあたっては、当該区間の降雨特性や地下水水位に基づき、適切な前期降雨量、地下水水位を初期条件として設定する。このとき、前期降雨の総雨量は梅雨時期の月雨量程度を目安として設定する。

3 堤体および地盤条件の設定

浸透に対する堤防の安全性の照査に用いる堤体材料および基礎地盤の土質定数は、河川砂防技術基準調査編第 15 章第 2 節、河川堤防の構造検討の手引き（4.3.4 照査にあたっての留意点）に基づいて適切に設定する。

4 外力の設定

堤体の安全性の評価にあたっては、外力として外水位および降雨量を考慮する。外水位は、既往の洪水波形および計画高水位波形等を総合的に勘案して設定する。このとき、洪水防御計画において、計画洪水流量算出時に複数の洪水を検討対象としている場合には、各洪水の基準地点における水位波形をもとに、堤内地盤高あるいは平水位以上の水位の継続時間を求め、これを計画高水位まで引き伸ばした台形波形に置き換えて外水を設定する方法もある。

一方、降雨は安全性の照査の対象区間近傍の地点における計画降雨および既往の降雨を総合的に勘案して設定する。

5 安全性の評価

浸透に対する堤防の安全性の照査は、のり面のすべり破壊と基礎地盤パイピングについて行うものとする。この際、浸透流計算と円弧すべり法による安定解析を用いて安全性を評価する。

照査基準には、以下に示すようにすべりに関しては目標とする安全率を、基礎地盤のパイピングに関しては力学的な限界状態を設定する。

浸透に対する安全性の照査基準

項目	部位	照査基準
すべり破壊（浸透破壊）に対する安全性	裏のり	$F_s \geq 1.2 \times \alpha_1 \times \alpha_2$ F_s ; すべり破壊に対する安全率 α_1 ; 築堤履歴の複雑さに対する割増係数 築堤履歴が複雑な場合 $\alpha_1 = 1.2$ 築堤履歴が単純な場合 $\alpha_1 = 1.1$ 新設堤防の場合 $\alpha_1 = 1.0$ α_2 ; 基礎地盤の複雑さに対する割増係数 被災履歴あるいは要注意地形がある場合 $\alpha_2 = 1.1$ 被災履歴あるいは要注意地形がない場合 $\alpha_2 = 1.0$
	表のり	$F_s \geq 1.0$ F_s ; すべり破壊に対する安全率
パイピング破壊（浸透破壊）に対する安全性	被覆土なし	$i < 0.5$ i ; 裏のり尻近傍の基礎地盤の局所動水勾配の最大値
	被覆土あり	$G/W > 1.0$ G ; 被服土層の重量 W ; 被服土層基底面に作用する揚圧力

7-3 地震に対する安全性

耐震対策が必要とされる堤防においては、堤体の土質、基礎地盤の条件等を考慮して、地震に対する安全性を確保するものとする。

〔解説〕

1 堤防に求められる耐震性とその照査手法

堤防の地震に対する安全性については、「河川構造物の耐震性能照査指針・解説 平成24年2月」に準拠するものとする。

2 対策工の考え方

堤防の地震被害により著しい二次災害が想定される区間では、地震時の沈下により著しい二次災害が生じないような対策を施すことが必要とされるが、現実には沈下を厳密に制御することは極めて難しいので、堤防天端高が照査外水位を上回るようにすることで、仮に地震により堤防が部分的に被災しても著しく沈下を生じないようにするものとする。

耐震性能照査指針
H24.2
I

この際、複数ある対策工の中からどのような考え方で対策を選定するかが重要となる。河川堤防の地震による被害は基礎地盤の液状化が主要な要因となることから、液体化の発生メカニズムを踏まえ、液状化を抑制する対策選定が基本になる。ただし、河川堤防の地震対策は二次災害の防止が目的であることから、液状化の抑制には直接的には関与しないものの、堤防の安定性の強化に寄与する工法、例えば、緩傾斜堤防や高水敷、矢板等の従来の河川改修で実施してきた事業も対策選定の1つとして取り扱うことが適当と考えられる。

また、対策工法は、現場条件を踏まえた施工性、周辺環境への影響、工法の経済性等の比較検討を行って適切な工法を選定することが重要となる。さらに、耐震性を向上させる対策工法を施工することにより、堤防本来の洪水防御機能を低下させないように、耐震性だけでなく、耐浸透性などについても十分評価し、堤防全体として（縦断方向を含む）整合性のある対策とする必要がある。

8 堤防の施工

8-1 段切り

築堤で在来堤防の拡築（表腹付け、裏腹付け）を行う場合は、旧法面となじませるため段切りを行うものとする。

〔解説〕

1:4 より急な勾配を有する 地盤上に盛土を行う場合は、あらかじめ段切りを行うものとする。なお、段切りを行った土量の変化率（C）は1とする。

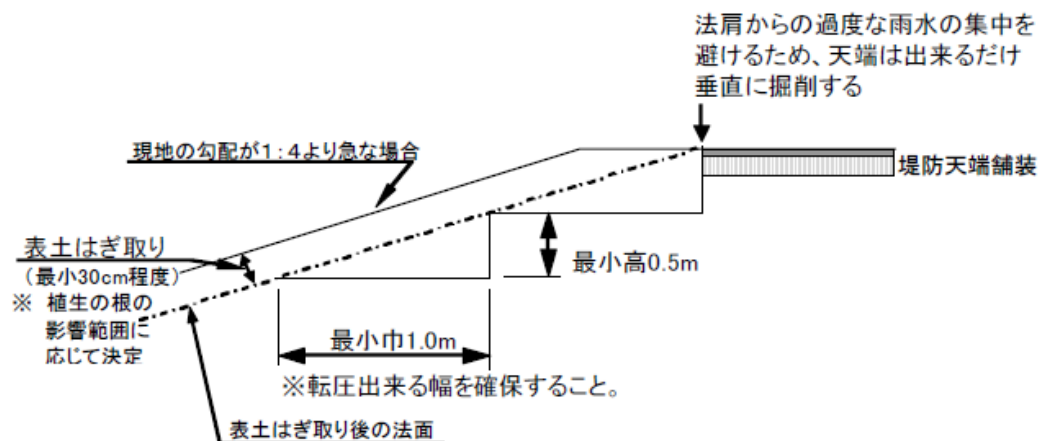


図 1 - 7

8-2 締固め

締固めは、土砂の密度を増し堤防に必要な強度特性を持たせ、透水性を低下させ、堤体土砂を安定した状態にするため、十分締固めを行うものとする。

〔解説〕

- (1) 堤体は、土の空隙を小さくし、透水性を低下させ、また軟弱化を防止するため、十分な締固めを行うものとする。堤防の土の締固め度（ D_c ）は、道路土工マニュアルを参考として設定するものとし、平均締固め度 90%以上、締固め度品質下限値 80%を目標とする。
- (2) 兼用道路等で路床部（路盤以下厚 1m の部分）の締固め密度は 90%以上とする。

8-3 堤防断面拡大

堤体の補強等により断面拡大する場合は、旧堤防部との一体性を確保し、且つ腹付部分の締固密度を十分確保し雨水による浸食や流水による洗掘、法崩れに対して安全に機能する構造とするものとする。

〔解説〕

- (1) 堤防断面を拡大する場合は、降雨時の法面滑りを考慮し、法面勾配は2割以上とし原則一枚法（緩傾斜堤）とする。
- (2) 堤外側に堤防拡大する場合は、必ず計画高水流量に対する河道容量の検証を行うものとする。
- (3) 用地その他の制約条件により2割以上の法勾配を確保出来ない場合は、図1-9に示すように堤脚保護工を行い法勾配を確保することができる。この場合、堤脚保護工により堤脚が湿潤することがない様に適正な排水工を設けなければならない。
- (4) 軟弱地盤地域においては、盛土の施工時に新たな荷重が基礎地盤に作用するため、堤体の安定解析を行い安定性を検討するものとする。
- (5) 堤防断面拡大をおこなう場合は、既設堤防表面の地質状況を確認の上、必要に応じて表土はぎ取り（20cm～30cm程度）を行った上で、既設堤体となじみを良くするため、段切りを行うものとする。
- (6) 法面部等の締固め幅及び密度を確保するため、図1-8に示すように仕上面^{※1}より1m程度^{※2}の範囲（締固め機械による最小施工幅を確保）で締固めを行い、仕上がり面において、密度管理^{※3}を行うものとする。
- (7) 締固めについては、「8-2 締固め」によるものとし、余盛締め部は、施工のロット割により切返し・盛立てる際に順次流用し不経済とならないよう努めるものとする。
- (8) 法面仕上げは、盛土法面整形（機械による削り取り整形）とする。
- (9) 仕上面の施工においては、所定の割合で現場密度を測定し、最後に盛土法面整形（機械による削り取り整形）を行うこと。
- (10) シラス堤については、シラス地帯の河川・道路土工指針（案）河川編による。

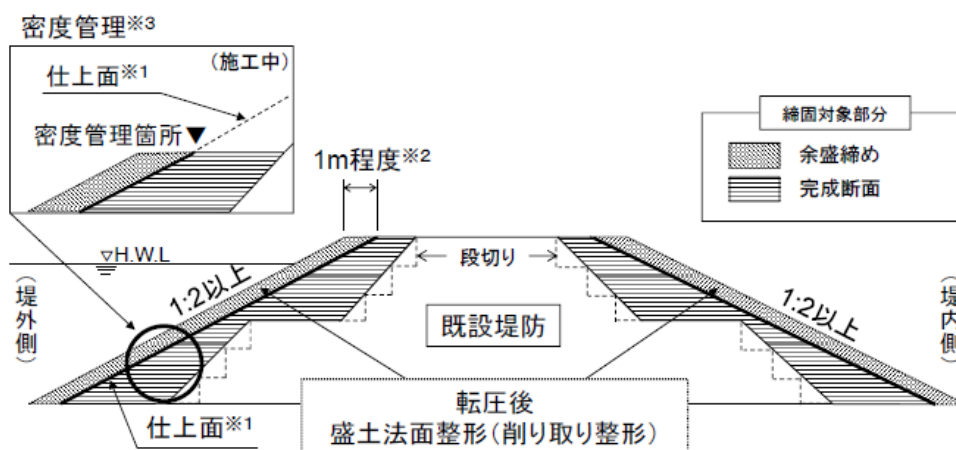


図 1 - 8

(堤脚保護工の例)

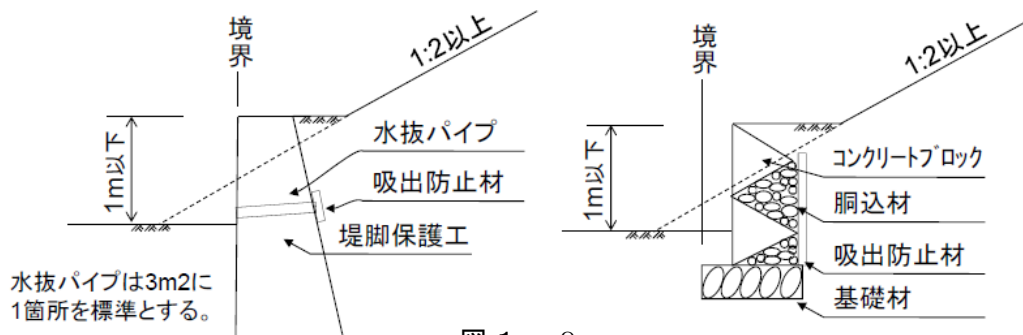


図 1 - 9

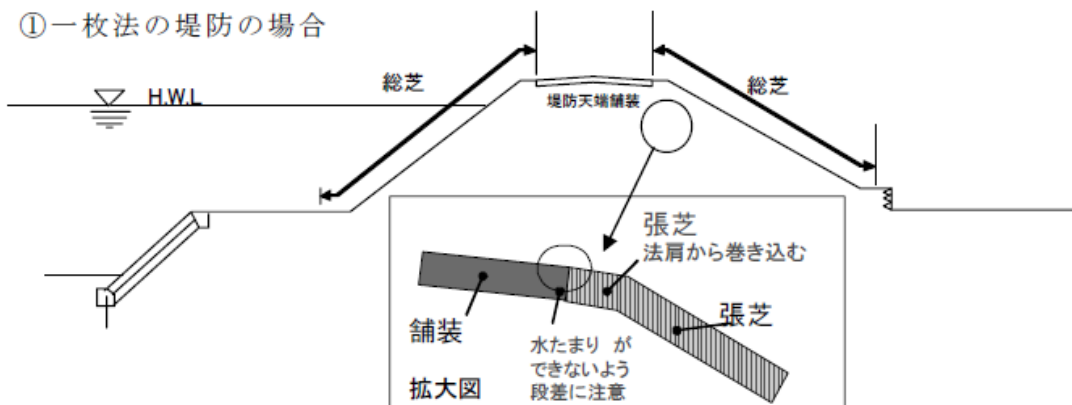
8-4 張 芝

盛土による堤防のり面（高規格堤防の裏のり面を除く）が降雨や流水によるのり崩れや洗掘に対して安全となるよう、芝等によって覆うものとする。

〔解 説〕

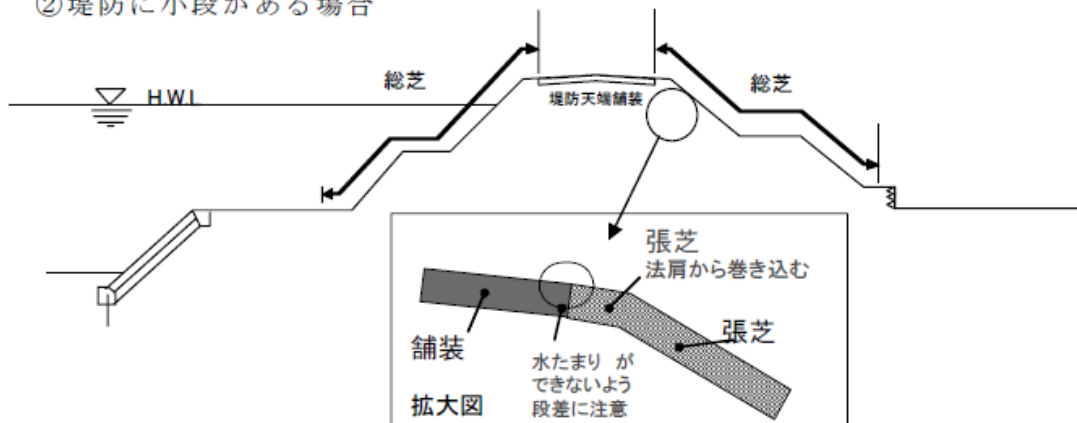
- (1) のり覆工として用いられる芝付け工には芝張り、種子吹付け等があるが、施工箇所に関わらず、総芝を標準とする。
- (2) なお、施工時期及び施工後の芝養生工により出水期までに、植生の活着及び安定が見込める場合は、種子吹き付けなど他の工法と堤防法面の長期的な維持管理も含め比較検討を行い、最適な工法を選定する。

①一枚法の堤防の場合



※たて排水について「8-6 堤防天端や小段及び高水敷の排水」を参照すること。

②堤防に小段がある場合



※たて排水について「8-6 堤防天端や小段及び高水敷の排水」を参照すること。

8-5 余 盛 り

築堤完了後の基礎地盤の圧密沈下、堤体土砂の圧縮沈下及び堤防天端の通行、風雨による損傷等を勘案して、計画堤防断面に対し余盛りを行うものとする。

〔解 説〕

築堤の余盛り高は、土質および盛土高の高低によって考慮されるべきものであるが、従来の自然圧密による緩速施工方法から急速圧密施工方法に移行した現在では、余盛り高の決定については十分検討を行うものとし、原則として次の堤防余盛基準によるものとする。

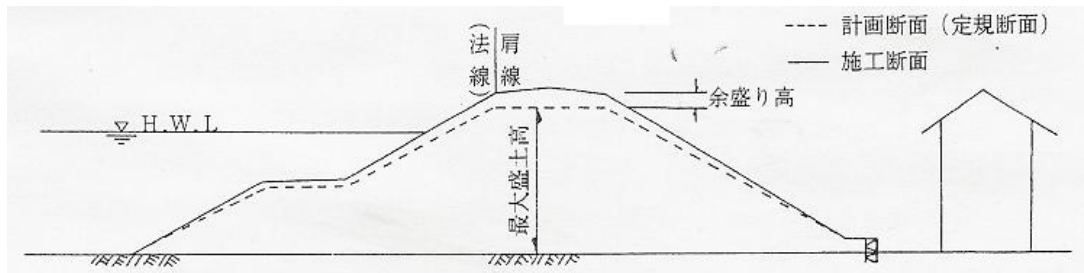


図 1-11

- 1 余盛りは、堤体の圧縮沈、基礎地盤の圧密沈下、天端の風雨等による損傷を勘案して、通常の場合は表 1-5 に掲げる高さを標準とする。ただし、一般的に地盤沈下のはなはだしい地域、低湿地等の地盤不良地域における余盛り高は、さらに余裕を見込んで決定するものとする。
- 2 余盛り高は、堤高の変動を考慮して支川合流点、堤防山付、橋梁等によって区分される一連区間（改修計画における箇所番号区間を標準とする。）毎に定めるものとする。
- 3 余盛り高を基準となる堤高は、対象とする一連区間内で、延長 500m 以上の区域についての堤高の平均値が最大となるものを選ぶものとする。
- 4 余盛りのほかに堤防天端には、排水のために 10% 程度の横断勾配をつけるものとする。
- 5 残土処理等で堤防断面をさらに拡大する場合には、この基準によらないことができる。

表 1-5 余盛り高の標準

(単位 : cm)

堤体の土質		普通土		砂・砂利	
地盤の地質		普通土	砂・砂利	普通土	砂・砂利
堤高	3m以下	20	15	15	10
	3m～5mまで	30	25	25	20
	5m～7mまで	40	35	35	30
	7m以上	50	45	45	40

- (注)1 余盛りの高さは、堤防のり肩における高さをいう。
 2 かさ上げ、拡幅の場合の堤高は、垂直盛土厚の最大値をとるものとする。
 3 小段についての余盛りは小段の盛土高に応じて余盛り高を決定すること。

8-6 堤防天端や小段及び高水敷の排水

堤防天端や小段および高水敷は、雨水の排水を良好にするため、所要の勾配をつけるものとする。

〔解説〕

- (イ) 小段には土の場合 1 / 10 程度、コンクリート張の場合 1 / 50 程度の勾配をつける。
 (ロ) 勾配は余盛り部分でつける。
 (ハ) 高水敷には、1 / 100 ~ 1 / 200 程度の勾配をつける。
 (ニ) 堤防天端に勾配を付ける場合、過度な雨水の集中を防ぐため、原則として拌み勾配にすると共に、法肩の段差により、水たまりが生じないように工夫する。
 (ホ) 兼用道路等でやむを得ず、集水しやすい形状（片勾配や湾曲部、縦断勾配の変化点等）となる場合は、たて排水を設ける等により、堤防法面へ過度に雨水が集中しないような工夫を行う。

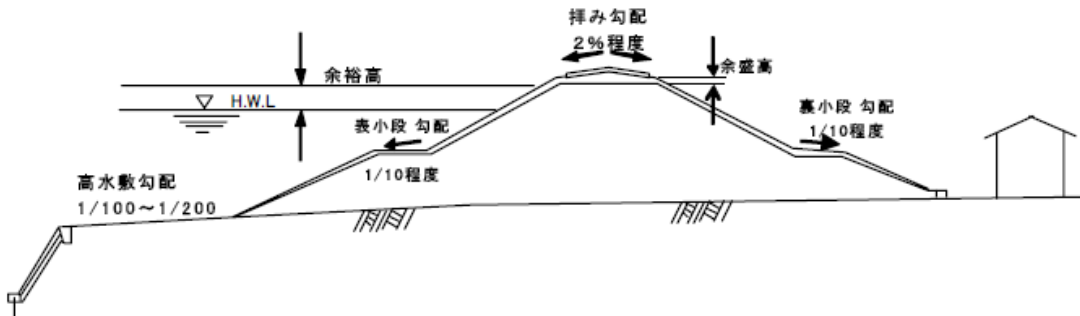
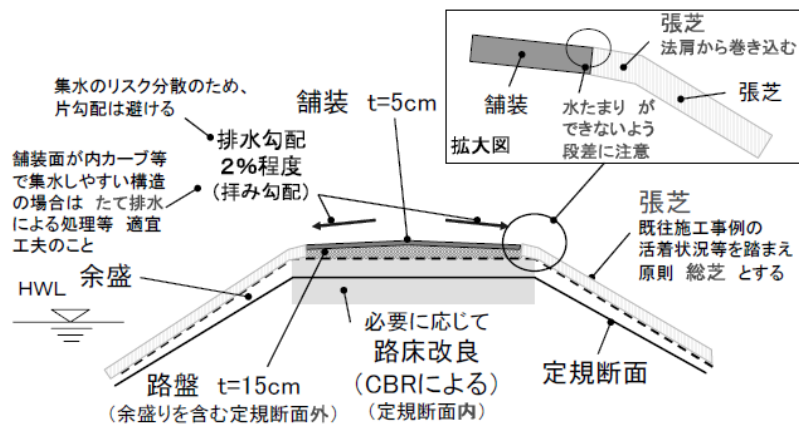


図 1 - 12



堤防天端部 詳細図

8-7 堤脚保護工

堤内背後地の利用状況を考慮して、堤防保護のため、川裏の堤脚部にのり覆工等を実施する。又、堤防の雨水を排水するため水路を設けることもある。

〔解説〕

- (1) 堤脚保護工は、原則としてのり先ブロック又は水路等により境界工と兼ねること。
- (2) 堤脚部に設けるのり覆工は、堤体材料の微粒子が吸い出されることのないよう特に配慮した構造のものとする。

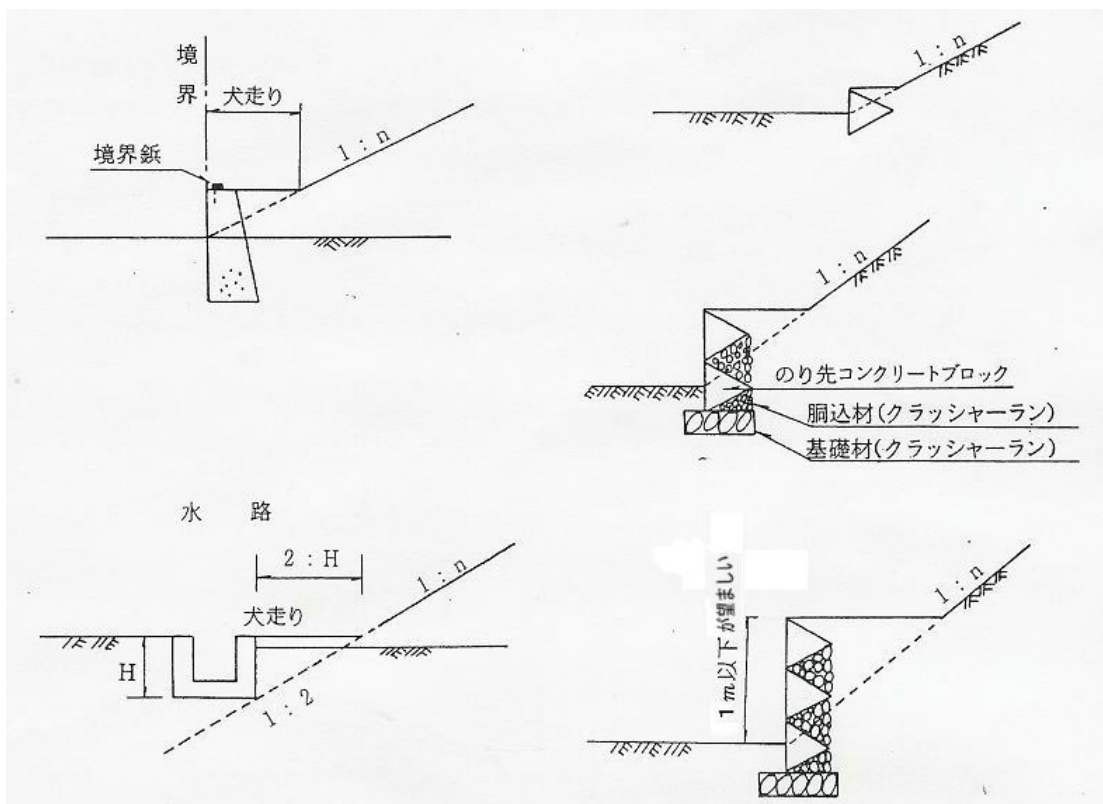


図 1-13

※水路設置位置については「堤内地の堤脚付近に設置する工作物の位置等について」(建設省河治第 40 号平成 6 年 5 月 31 日治水課長通達)によること。
境界には境界杭又は境界鉾を設置すること。

8-8 境界杭

官・民境界を明確にするために、必要に応じて境界杭を設置するものとする。

〔解説〕

(1) 境界杭の設置箇所

隣接する土地の各筆界毎に設置することを原則とするものとする。ただし、水路等公共物が境界となっていて境界が一目瞭然となっている場合又は直線箇所は、最長間隔 50m を標準とすることができる。

(2) 材 質

境界杭の材質は、鉄筋コンクリートとする。

(3) 用地境界杭の構造

用地境界杭は、鉄筋コンクリート杭とし、下図に示す構造のものとし、場所に応じて根架で補強するものとする。

又、岩等の場合は、適当な長さに切断し、根入れを浅くしてコンクリートによる根固めを行うことができる。

鉄道関係については、別途協議して定めることができる。

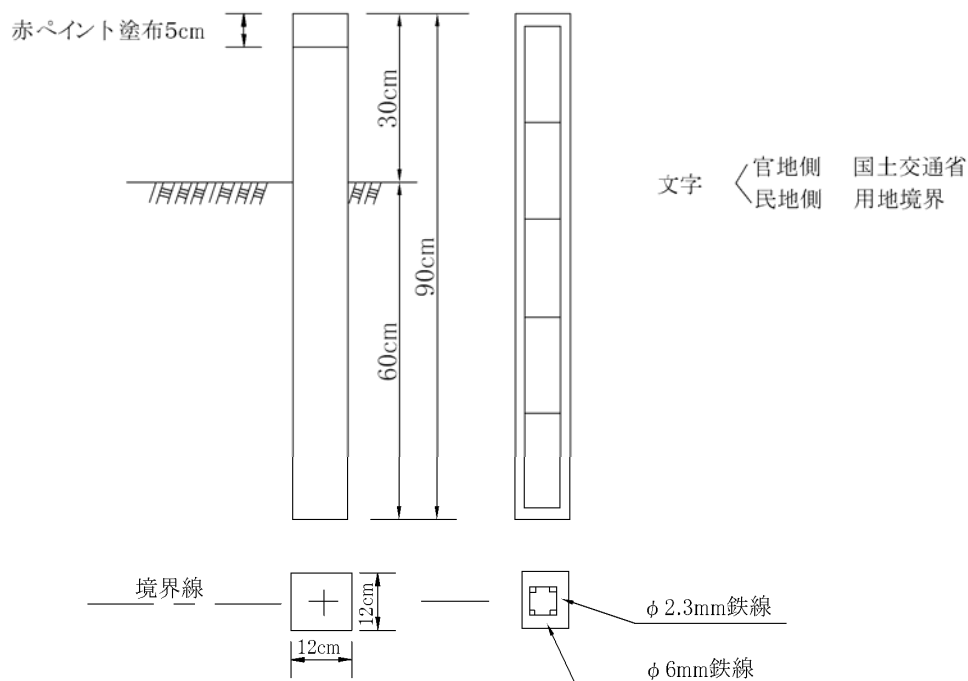


図 1-14 用地境界杭の構造

8-9 階段工

河川構造物には、必要に応じて堤防のり面および低水護岸等に管理用の階段を設けるものとする。

〔解説〕

護岸のコンクリートブロック積等に接して設ける階段のコンクリート最小厚はブロック等の控長以上（高水部及び川裏の最小厚は0.1m）、また裏込の材厚は土質により護岸裏込に準じて決定する。

上げの端数調整は最下段とする。なお路面はのり面勾配に合せ整合させるものとする。但し、踏面の最小幅は21cmとする。

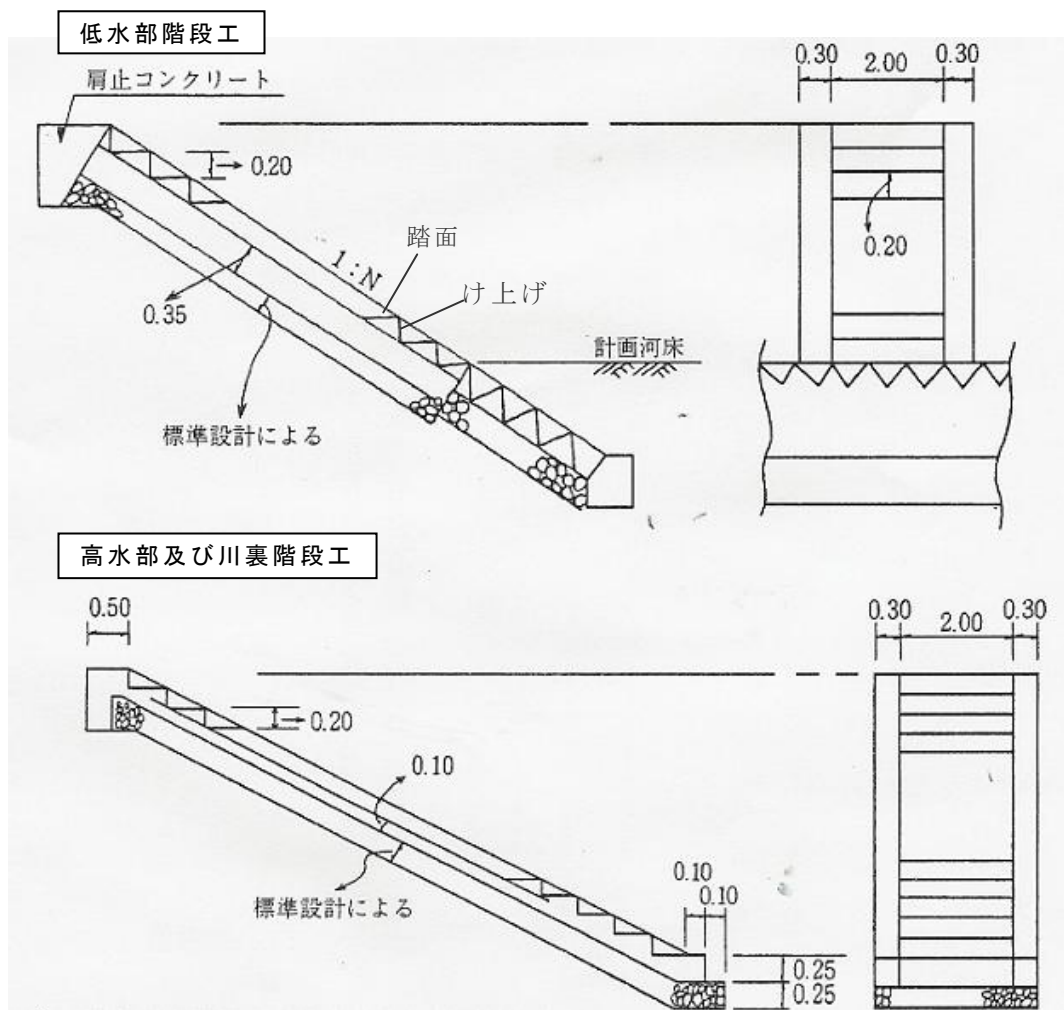


図 1 - 15

川裏に階段工を設置する場合は定規断面外とする。

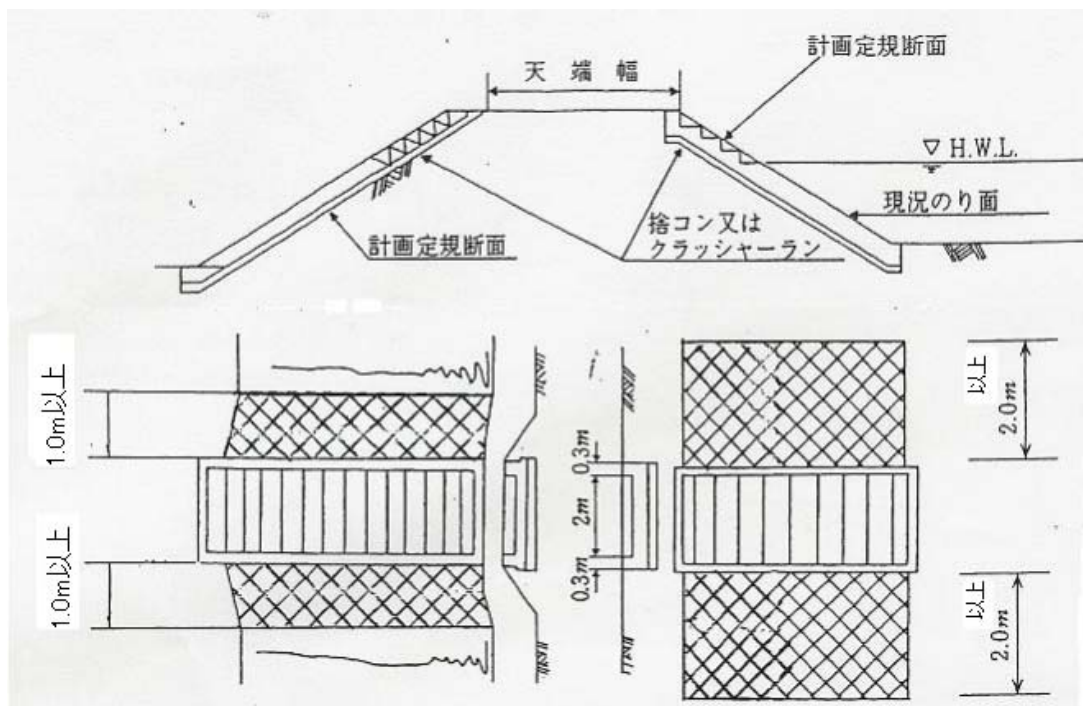


図 1-16 階段実施例

8-10 兼用工作物（道路）

兼用工作物の設置は原則として、堤防と効用を兼ねる道路で道路法上の道路認定が行われたものについて行うものとし、下記事項で選定するものとする。

- 1 道路は、計画堤防断面外の裏小段に設けるものとし、堤防天端は極力さけるものとする。
- 2 完成堤防以外は、原則として兼用させないものとする。
- 3 堤外地及び堤防の川表側に道路を設けてはならない。ただし、工事期間中の仮橋、堤外農地等のための農道及び河川公園のための道路については、この限りではない。

〔解説〕

附帯工事等で兼用工作物（堤防と道路）を設ける場合は、原則として次によるものとする。

なお、地形の状況又は、土地の利用状況等特別の事情によりこれによりがたい場合は、関係各課と十分打合せのうえ決定するものとする。

(1) 共通事項

- ① 道路施設（排水工、凍上抑制層、下層路盤等）は、盛土が同時施工の場合、余盛を含む施工断面の外へ出すものとする。既設堤防の場合、計画堤防断面外へ出すものとする。
- ② のり覆工は堤防に準ずるものとする。

(2) 天端を兼用する場合は

- ① 堤防の断面は、改修計画の完成断面でなければならない。
- ② 道路施工天端工（路肩）から、堤内地盤までの高さの差が 4m 以上あ

る場合は、堤防に準じ小段を設けるものとする。

(3) 小段を兼用する場合

- ① 小段の断面は、改修計画の完成断面でなければならない。

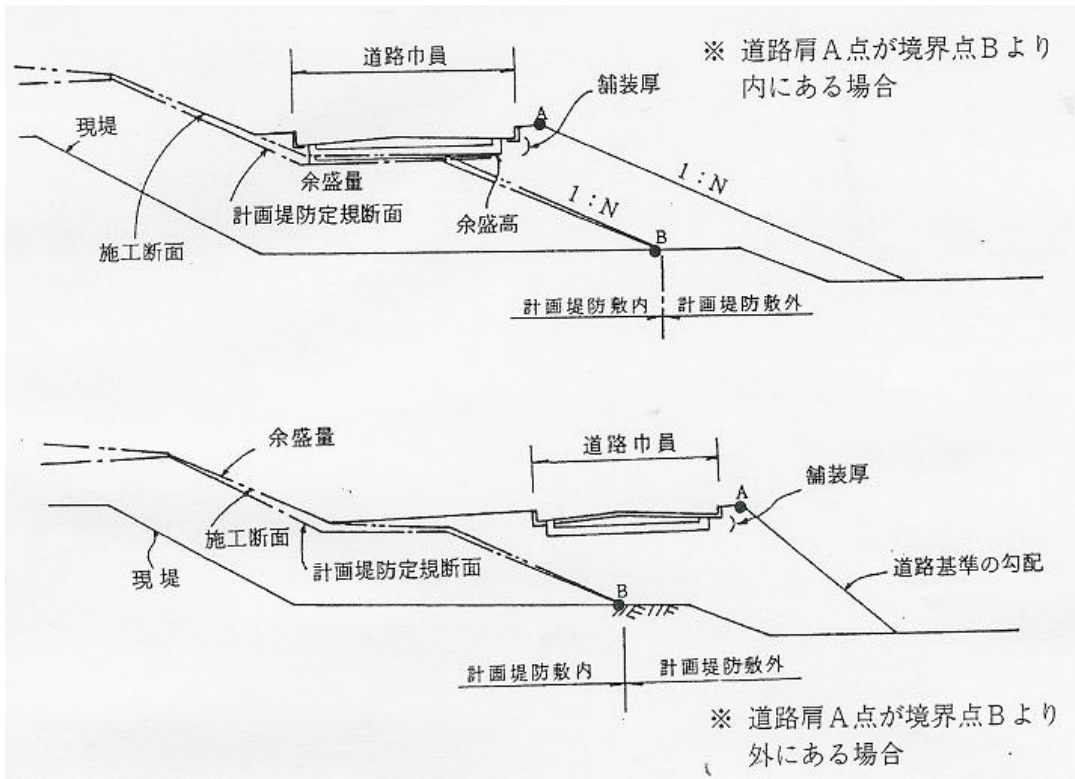


図 1 - 17

(4) 天端を兼用する場合

イ) 天端を兼用する場合 (交通量 6,000 台/日未満)

- ① 道路幅員は、2 車線以上とするものとする。
- ② 道路の天端幅は、計画堤防天端幅以上とするものとする。
- ③ 河川管理用車両が駐・停車禁止からはずされることが可能な場合のみ兼用するものとする。

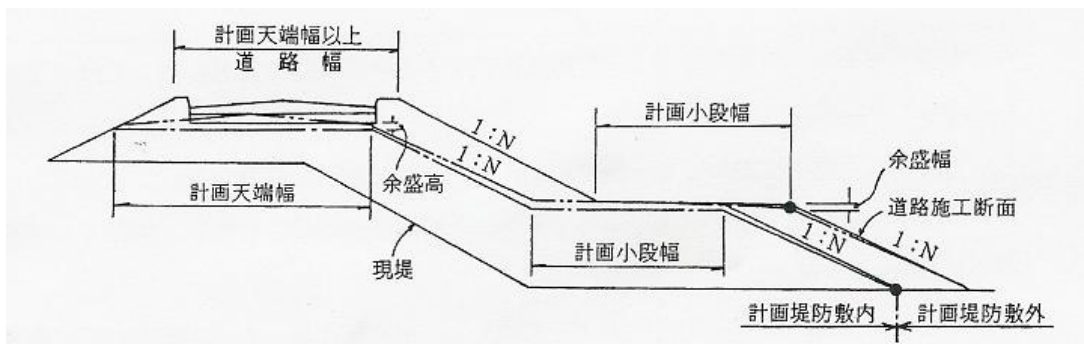


図 1 - 18

ロ) 天端を兼用する場合 (国道及び交通量 6,000 台/日以上)

- ① 管理用通路は、道路の車両より若干高くし、車道と分離した構造とする。

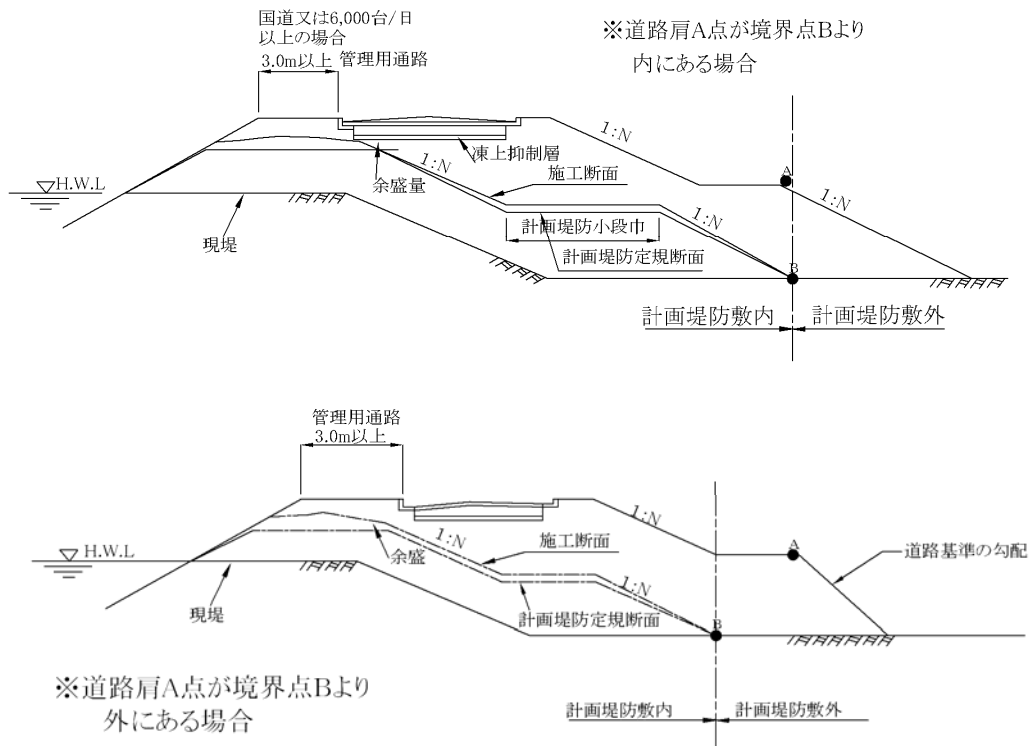


図 1 - 19

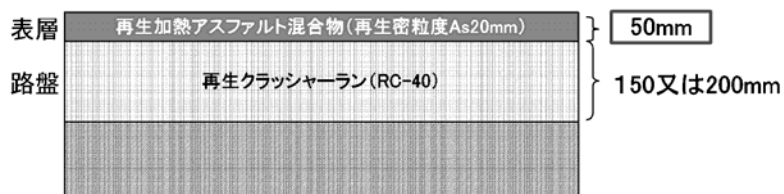
「計画堤防敷内 (河川区域) に係る堤防法勾配は、河川堤防の法勾配に準じることを原則としている。よって、図 1 - 19 に示すように道路肩 A 点の位置により、堤防法勾配を決定するものとする。」

8-11 堤防天端の雨水浸透防止工

工事用道路及び緊急時の大型車両の通行等を考慮し、管理用通路として表層厚5cmとし、路盤厚は15cm、または20cmを標準とするが、設計CBRにより比較し、決定する。

〔解説〕

1 舗装構成は、下記を標準とする。



- ① 舗装構成は、交通量及び CBR 試験の結果を以て、必要等値換算厚 T_A を計算し、信頼度 90% を確保することとする。
- ② 表層厚は 50mm に統一し、路盤厚については、CBR 試験の結果、下記表にて確認することとする。なお、必要等値換算厚が不足する場合には、必要に応じて路床改良（または、構築路床）を行うものとする。

表-5.2.14 アスファルト舗装の必要等値換算厚（設計期間10年の例）

(a) 信頼度90% 式(5.2.6)

舗装計画交通量(台/日・方向) 交通量区分		設計CBR					
		3	4	6	8	12	20
N7	3,000以上	45	41	37	34	30	26
N6	1,000以上3,000未満	35	32	28	26	23	20
N5	250以上1,000未満	26	24	21	19	17	15
N4	100以上250未満	19	18	16	14	13	11
N3	40以上100未満	15	14	12	11	10*	9*
N2	15以上40未満	12	11	10*	9*	8*	7*
N1	15未満	9*	9*	8*	7*	7*	7*

H18.2 舗装設計便覧 抜粋

○ 舗装構成の計算例（舗装計画交通量 15 台/日・方向未満）

※ 舗装構成を見直した（表層 5cm + 路盤 15cm）場合

・ クラッシャーランの場合

	設計厚さ	等値換算係数	等値換算値
表層	5cm（最小 4cm）	1.00	5.00
クラッシャーラン	15cm（最小 7cm）	0.25	3.75
計			8.75

※ 補足

設計 CBR 3 及び 4 の場合、路盤厚を 20cm にすることで必要等値換算厚を満足すると想定されるが、路床改良等と比較検討のうえ、決定することとする。

- ③ 表層と路盤の間には、プライムコートを実施するものとする。

2 舗装幅員

幅員については、3mを標準とし、路肩については、路肩より張り芝を敷き込み、舗装面と張芝面との間に水たまりが生じないように、段差をなくすこととする。

8-12 坂路工

堤防天端又は小段から堤内又は堤外に接続するための坂路の設置にあたっては、下記事項によるものとする。

- 1 狭窄部等治水上支障となる箇所には、原則として設けてはならない。
- 2 川裏の坂路は、堤防が兼用道路であり、公道間を結ぶ場合を除き、原則として設けてはならない。
- 3 坂路は、堤防定規断面外に設けるものとし、川表側にあつては、原則として逆坂路を設けてはならない。
ただし、治水上の支障が生じない措置を講ずるときは、この限りではない。
- 4 消防坂路については、治水上支障がないよう箇所を限定して設けること。

〔解説〕

築堤護岸に設ける坂路は、高水時に阻害とならないよう下記を標準とする。

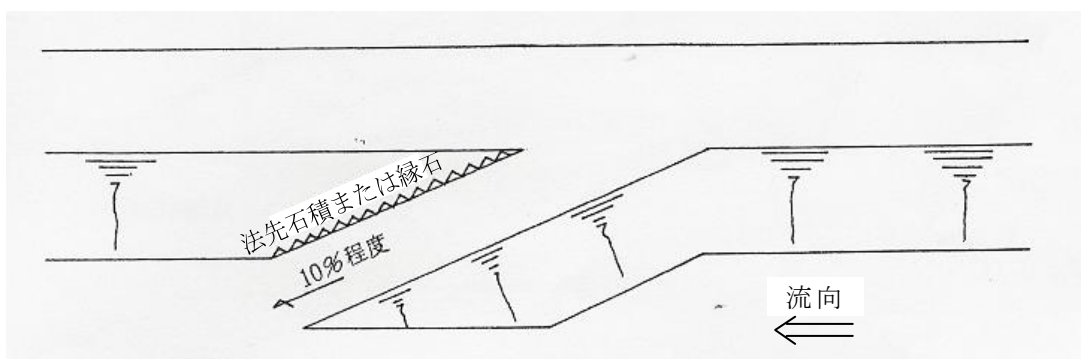
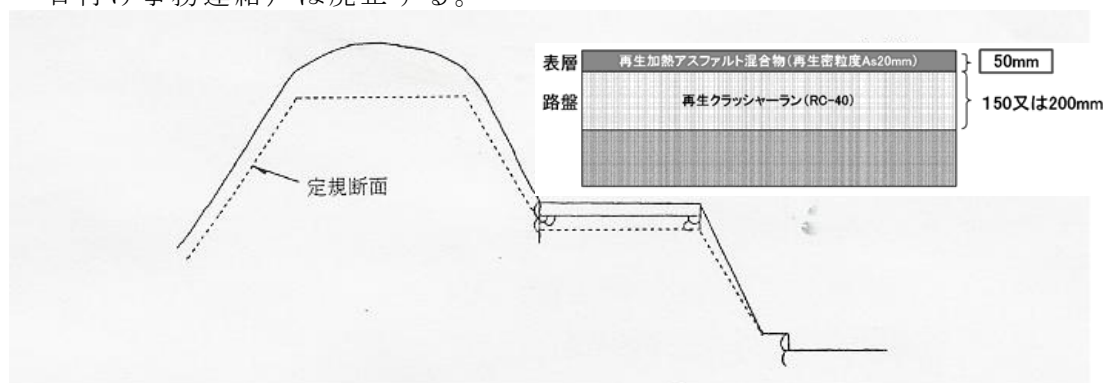


図 1-20

- 1 勾配は10%程度を標準とするが、利用形態等も考慮の上、決定する。
- 2 幅員は3m程度を標準とする。
- 3 路面はアスファルト舗装を施し、降雨等による洗掘から保護するのを原則とする。
- 4 「管理用通路における河川堤防天端の舗装について」（平成11年11月8日付け事務連絡）は廃止する。



河 1-34

工作物設置
許可基準
第30,31条準用
(P.85~86)

河川構造令
規則第15条
(P.150~153)

9 シラス地帯の河川堤防設計・施工

シラス地帯における河川堤防の設計・施工については、共通編参考資料Ⅰシラス地帯の河川道路土工指針（案）を参照のこと。

10 地盤処理工法の分類

表 1-6 地盤処理工法分類

区 分		工 法 の 概 要	代表的な工法	
表層処理工法	ジオテキスタイル工法	ジオテキスタイルを地盤の表面に直接広げて、その上に良質土をまき出すもので、原地盤の破壊を防ぐ。	シート工法 ネット工法	
	混 合 処 理	地盤中をセメント系あるいは石炭系の添加剤を混合し、攪拌機により土を科学的に固結する。	クローラ式 フロータ式	
置 換 工 法		置換範囲を除去し、良質土と置換する。	床掘置換工法	
密 度 増 加 工 法	脱 水 を 主 と す る も の	先行載荷圧密	予め構造物と同程度の載荷を与えて、地盤の強度増加する。	プレローディング工法
		加圧脱水	地盤中にドレーンを造成し、載荷重により地盤の強度増加を図る。	バーチカルドレーン工法 真空圧密工法
		科学的脱水	生石灰の水和反応による吸水膨張を利用して脱水強化する	生石灰杭工法
		地下水低下	地下水位を下げて有効応力を増大させて、圧密を促進する。	ディープウェル工法 ウェルポイント工法
	脱 水 + 締 固	締固め砂杭	地盤中に締まった砂杭を造成して、地盤の締固め及び地盤の砂杭応力集中並びに、ドレーン効果によって地盤の強化を図る。	サンドコンパクション パイル工法
		排水促進	碎石等を地盤中に設置することにより、地盤の透水性を高め、地震時の液状化を防止する。	グラベルドレーン 工法
	締 固 を 主 と す る も の	振動締固め	地盤に振動機を作用させて締固める。	ロッドコンパクション 工法
		振動水締め	棒状振動機の貫入と注水及び土砂の投入により地盤の振動水締めを図る。	パイブフロテーション 工法
		衝撃締固め	地盤に落下、爆破などの衝撃エネルギーを作用させて締め固める	動圧密工法

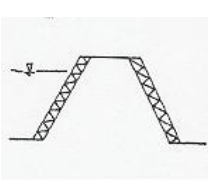
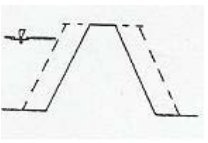
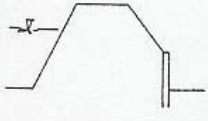

区 分		工 法 の 概 要	代表的な工法
固 結 工 法	深 層 混 合 処 理	スラリー系 機械攪拌	セメントスラリーを圧送ポンプで圧送し、地盤と攪拌翼で均一に混合することにより、所定強度の改良土を造成する。 CDM工法, SMW工法
		粉体系 機械攪拌	粉粒体の改良材を圧縮空気によって搬送し、地盤と攪拌翼で均一に混合することにより、所定強度の改良土を造成する。 DJM工法
		高圧噴射攪拌	グラウト系噴射方式（一重管）
	エア・グラウト噴射方式（二重管）		JSG工法
	水・エア・グラウト噴射方式（三重管）		CJG工法
	薬 液 注 入	地盤の間隙に薬液を注入充?し、土を固結する。 ダブルパッカー工法 二重管ロット工法	
冷 却	土中の間隙水を凍結させて、一時的に固結する。 凍結工法		

※ 地盤改良工法は近年多様な工法が開発されており、目的及び経済性を考慮して選定すること。

11 一般的な漏水防止工法

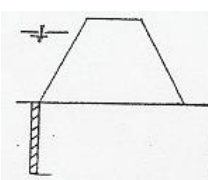

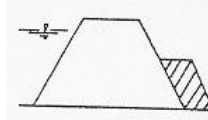

11-1 堤体漏水

表 1-7

工 法	長 所	短 所	適 用 性	
 <p>のり覆工</p>	<p>降雨および河川水による浸透水を遮断または遅らせたりする</p> <ul style="list-style-type: none"> ・練石積 ・練石張 ・張 共 ・その他 	<ul style="list-style-type: none"> ・法線が固定され美観もよく、施工後の維持も容易 ・のり崩れ等の心配が減少 	<ul style="list-style-type: none"> ・工事費が高い ・一旦堤体内に水が侵入した場合、水位低下時に残留水圧がおおきくなる 	<ul style="list-style-type: none"> ・堤防断面は十分に透水係数の大きい土で築堤を行った場合
 <p>断面拡幅 締 固 め 良質土置換</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・浸透路長を長くする ・堤体の強化 ・透水係数を小さくする 	<ul style="list-style-type: none"> ・堤防安定上望ましい 	<ul style="list-style-type: none"> ・工事が大規模になり工事費も大きい ・拡幅の場合、用地が必要 	<ul style="list-style-type: none"> ・堤防断面が小さいとき ・のり勾配が急な場合 ・堤体土質が非常に悪い場合
 <p>裏のり尻土留</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・のり尻で漏水によるのりすべりを土留壁で防止する 	<ul style="list-style-type: none"> ・工事費が安い ・用地幅が小さくてすむ 	<ul style="list-style-type: none"> ・のり尻が局部的なすべり破壊は防止できるが、大きなすべり破壊は防止ではない 	<ul style="list-style-type: none"> ・堤体断面の大きさも十分に、大きなのり面崩壊の心配がなく、小規模なのりくずれしか想定されない場合
 <p>裏 石 積</p>	<p>堤体のり尻での漏水をすみやかに排出しのり尻での崩壊を防止する</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・工事費が安い ・用地幅が小さくてすむ 	<ul style="list-style-type: none"> ・小規模な漏水は防ぐことができるが大規模になると漏水を助長ことになる 	<ul style="list-style-type: none"> ・過去小規模な漏水しか記録されず、のり面崩壊も小規模であった場合

11-2 基盤漏水

表 1-8

工 法	長 所	短 所	適 用 性	
 <p>止 水 壁</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・基礎地盤の透水層を止水壁で遮断する ・矢 板 ・グラウト 	<ul style="list-style-type: none"> ・透水層が比較的浅い場合は効果が発揮される ・矢板の場合、低水護岸と兼用できる 	<ul style="list-style-type: none"> ・工費が高い ・透水層が深い場合には効果が期待できない 	<ul style="list-style-type: none"> ・透水層が浅い
 <p>リリーフ ウェル 堤脚水路</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・川裏に水路または井戸を掘り、漏水をすみやかに排出し、透水層内の水圧を減少させる 	<ul style="list-style-type: none"> ・施工性がよい 	<ul style="list-style-type: none"> ・排水等の維持管理費が必要 ・漏水量が大きい場合、効果が上がらない 	<ul style="list-style-type: none"> ・小規模な漏水に対しては効果的
 <p>押え盛土</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・川裏に施工し透水層の水圧に対し表土がパイピングを起こさないよう重量を増加させる。また浸透路長を長くする 	<ul style="list-style-type: none"> ・施工が簡単で水防時などの応急処置としては適 	<ul style="list-style-type: none"> ・用地幅が必要 ・施工範囲の決定が困難 	<ul style="list-style-type: none"> ・堤体幅が小さく漏水の原因が堤体幅にある場合に適する
 <p>ブラン ケット</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・透水層が露出している場合、必要な厚さを半透水層で覆い浸透路長を長くする 	<ul style="list-style-type: none"> ・確実に浸透路長を長くすることができる 	<ul style="list-style-type: none"> ・洪水時に洗掘される心配がある 	<ul style="list-style-type: none"> ・高水敷の幅が大きいときに適する

第2節 河道掘削

1 掘削工事

河道掘削は、河道改修計画に基づき十分施行計画を検討して設計する。

河道掘削及び浚渫は、河川工事のうちでも重要であり、また効果も大きい反面掘削土の処理を含めると工事費も極めて大きくなる。従って、設計にあたっては、治水上の基本事項を守ることは勿論であるが、施行計画を検討して、安全かつ経済的に行うことが必要である。

〔解説〕

- (1) 掘削は次に述べる目的により行われる。
 - (イ) 新川の開削：捷水路、放水路の開削や、支派川の合、分流点の付替えなど。
 - (ロ) 河積の拡大：計画高水流量を安全に流下させるために、必要な河積を有し、安定した河床を保つ河道を作る。
 - (ハ) 河状の整正：土砂の流出が多く、乱流が激しい場合、凸岸の洲を削り堤内に搬出したり、深掘れ箇所などに捨土する。
 - (ニ) 築堤土の採取：築堤土は普通山土を採取し使用するが、上記の目的で掘削した土砂を利用する場合もある。ただし、上記の目的を持たないで、堤外の寄洲から築堤用土砂を採取することはあるが、普通これは「掘削」とは呼称しない。
- (2) 改修計画に基づく断面であるか、また掘削により流下能力はどの程度期待されるか、掘削による流向の変動はどうなるかを十分検討すること。
 - (3) 計画掘削断面が確定しており、低水護岸と掘削とが同時に施工される場合、計画掘削断面通り掘削する。
 - (4) 当分護岸施工の予定のない場合は、掘削のり勾配は1：3程度より緩とし、掘削のり肩は堤防防護ラインより保全距離をとるものとする。（下図参照）

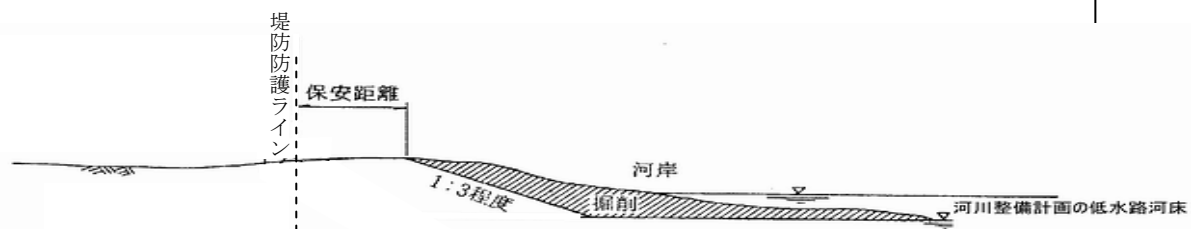


図2-1

また、高水敷は排水を考慮して流心に向かって100～200分の1程度の勾配を附すること。

- (5) 掘削は、流下能力を増すため治水上不可欠なものであるが、反面、動植物へ与える影響も大きいため、法勾配をゆるくし、表土を元にもどす、できるだけ河床レキをのこす等の配慮を行う必要がある。
- (6) 下流の流下能力と著しく不均衡となる河道掘削はさけること。
- (7) 左岸側又は右岸側のみの掘削を行う場合は、対岸等への影響を十分検討すること。

2 浚渫工事

浚渫とは、水面以下にある土砂等を掘削することをいい、浚渫船による施工が一般的である。機種選定にあたっては、浚渫土量、面積、水深、土質、土捨場、動力源等の条件を十分調査して決定する。

〔解説〕

(1) 土質調査

浚渫工事の能率、使用電力、部品の損耗等は、土質によって相当の差があり、工事単価、工法、工期に直接影響するから、あらかじめ工事着手前に浚渫計画区域内の土質を調査する必要がある。特に盛土に必要な土砂を採取するための浚渫では、盛土に必要な粘土や地耐力を得るための適切な配管、排泥順序を、土質の分布状態によって定める必要がある。土質の調査方法は、コアボーリングおよび標準貫入試験等によることが望ましいが、簡易的には表層の土砂を採取して簡単なふるい分けによって大体の分類を行う方法、鉄棒を突きさしてその抵抗によって感覚的に土質の変化を想定する方法、ジェットボーリングによって推定する方法等がある。

(2) 水理・気象関係の調査

浚渫工事の着手前には、気象関係ならびに浚渫箇所附近の平水位、既往最高水位と既往最濁水位と流速、予想される最大風速と風向波浪、潮汐および湖による順逆流の有無と流速変化などについて調査を行い、工程計画や、非常時の退避位置および方法を検討しておく必要がある

(3) 障害物の調査

浚渫区域内における水制、電信、電話、電力のケーブル、沈船、機雷、その他の障害物の有無、および橋梁、送電鉄塔のピアーの根入れ等について事前に充分調査するとともに関係機関に連してそれらの処理および浚渫方式等について協議して了解を得ておく必要がある。すなわちこれらの障害物で特に水面下にあるものについては直接の知認が困難であり、損傷を与えた場合には重大な事故になるとともに、浚渫船自信に重大な破壊損傷が起こることがあるからである。

(4) 土捨て場の調査

一般には工事の仕様として土捨て場が与えられるが、ポンプ船による捨て場では、捨て場内の排水系統を調査し、排水される水の処理とともに泥水による公害等の問題を起こさないよう対策を講じておく必要がある。

(5) 機種選定

浚渫機械は、土量、工期、捨て場までの距離、土質、面積、水深、動力源等の条件から決められるが、浚渫船は現地までの輸送費が高むので、以後の計画土量等を勘案して機種を選定する必要がある。また能力についても公称能力と実際の能力とは土質や施工条件によって相当の差が生ずるものなので、選定にあたっては注意する必要がある。

3 旧堤掘削工事

旧堤は、新堤工事竣工後3年間は原則として除去できない。

〔解説〕

- (1) 堤防のり面の植生の生育状況、堤防本体の締固めの状況（自然転圧）等を考慮して、新堤工事竣工後3年間は、旧堤除去を行ってはならない。
- (2) 特別な事情で、3年以内に旧堤除去を行う場合は、新堤防の表のりを H.W.L までコンクリートブロック張等で覆う必要がある。
- (3) 旧堤掘削計画にあたっては、新規築堤箇所への利用等を考慮した施工計画により実施するものとする。

第3節 護 岸

1 護岸設計の基本

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。また水際部に位置する護岸は、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〕

1 基本方針

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る。

護岸の設計には設置箇所の自然条件、外力条件、過去の被災履歴等のさまざまな要因が関係する。護岸はそれらの要因を考慮して、類似河川や近隣区間での実績を参考にしながら、計画高水位（高潮区間にあっては計画高潮位）以下の通常の流れの作用に対して、水制等の構造物や高水敷と一体となって堤防を保護する、あるいは掘込河道にあっては堤内地を安全に防護する構造とるように設計される。例えば高水敷の広い区間の低水護岸と堤防護岸とでは護岸の安全性に関する考え方は異なるものとなる。

護岸の設計条件として、流体力、土圧等の外力、洪水時の河床変動による周辺地形変化、流砂や礫の衝突による磨耗・破損、流水や降雨の浸透、自然環境、河川利用、施工性、経済性等を考慮する必要がある。

護岸は河川環境にとって特に重要である水際部に設置されることが多く、設置箇所の生態系や景観を保全するような構造が求められる。したがって、各河川における多自然型川づくりの目標が十分に達せられるよう、護岸の構造は自然環境や景観に適したものとする必要がある。ただし、生態系や景観の保全に配慮した護岸には多くの種類があり、また使用される素材も石、木材、植生などさまざまである。このような新しい機能を含む護岸を設計する場合には、その耐久性について十分吟味し、堤防や河岸の侵食防止機能を有することと、流水に対し安全な構造とするよう十分な検討が必要である。その際、むやみに耐久性や安全性に過大な余裕をもたせるのではなく、河道の長期的な変化になじんだ構造であること、高水敷や水制などと一体として堤防を保護することが護岸の目的であることを勘案して設計する。

2 護岸の被災形態

護岸の設計を行う場合は、既往の被災事例を調査し、被災部位別のおもな被災原因や護岸構造ごとの被災形態の特徴について十分に把握する必要がある。

(1) 河床洗掘による被災

護岸の被災事例で最も顕著なのは、基礎工前面の河床洗掘を契機として、基礎工およびのり覆工が被災を受ける事例である。

護岸基礎工前面の河床洗掘が基礎工天端高以下の深さまで達すると、基礎工が河床より浮き上がり、その結果、支えを失ったのり覆工は破壊してしまう。このとき、流水によって裏込材が吸い出されると、のり覆工は著しく破壊され、さらに上下流側にも破壊現象が伝播して広範囲にわたる被災となる。基礎工前面に根固工が設置されている場合でも根固工の重量や敷設幅が不足している場合は、根固工の流失を契機として基礎工の流失が発生し、洗掘による被災が発生することがある。

(2) すり付け部からの被災

護岸と、その上下流の護岸未施工区間とのすり付け部に設置されるすり付け護岸の被災事例も多い。すり付け護岸は、本護岸の小口部を保護するために設置される。すり付け護岸は、一般に、未施工区間との法線形や粗度のなじみを良くするため、屈とう性があり、かつ表面形状に凹凸のある、連節ブロックや籠工が用いられることが多い。それらのすり付け護岸は安定性上の十分な重量を有していないことや、上流端の小口が保護されないことが多いから、上流端からめくれてしまうことがある。また、連節ブロックは、鉄線などで連結されているため、めくれは下流側にも伝播することになる。籠工の場合は、籠の強度が不十分であったり、中詰め石の径が小さかったりすると、籠が変形したり、あるいは籠全体が流失してしまうことがある。

(3) のり覆工の被災

のり覆工のみが被災を受ける事例もある。のり覆工には、おもに表面の凹凸部に流水からの抗力や揚力が作用し、自重によってこれらの流体力に抵抗する。しかし、流体力が卓越すると被災にいたることがある。例えば、小口部分が保護され、めくれは発生しないのり覆工であっても、ブロックの自重による摩擦抵抗よりも、抗力・揚力等の作用が卓越すると、ブロックは、作用外力の方向に滑動をはじめ、のり覆工は被災にいたる。

また、捨石のように、球に近い素材を用いた構造ののり覆工では、素材の径や比重が不足すると、流水からの掃流力によって、のり覆工が掃流されてしまうことがある。

のり覆工には、ブロックや石などの使用素材による形状の違いのほか、胴込コンクリートによって一体化を図った「練り」タイプのもものと、一体化を図らない「空」タイプのもとのがある。この違いは、流水の作用力に耐える強さの差となって現れる。

(4) 天端工および天端保護工の流失

低水護岸の天端部分の被災事例も多い。洪水時の流量、河道の断面形状あるいは平面形状によっては、洪水が高水敷から低水路部分に落ち込んだり、逆に低水路部分から高水敷に乗り上げたりする現象が発生する。

このような現象が発生すると、天端部分では大きな流速を生じるので、天端工および天端保護工にブロックを用いる場合には重量や敷設幅の不足する場合には、めくれや滑動を生じる。天端工および天端保護工の流失は、護岸のり覆工の背面の裏込材の流失を招き、最悪の場合はのり覆工の破壊にいたる。

(5) 背面土砂の吸出し

護岸の裏面の堤体土が吸出しを受けて、護岸全体が破壊にいたる場合もある。この原因は、吸出防止材の機能不足にあることが多い。吸出防止材の開孔径、透水係数等の材質が堤体土に対して適切でなかったり、吸出防止材を敷設する際の重ね合わせ部等に隙間が生じた場合などには、吸出現象が発生することがある。吸出現象はいったん発生すると周辺部にも伝播する危険がある。これによって、のり覆工の裏面に凹凸が生じるため、のり覆工の安定条件そのものも崩れてしまう。このため、護岸の被災が広範囲に及ぶ危険がある。

2 護岸の構造

2-1 のり履工

護岸ののり履工、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〕

のり履工は堤防および河岸を保護する建造物であり、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・整備と密接に関連することから、設計に際しては生態系や景観について十分に考慮する必要がある。

護岸の工種は多種多様であり、種々の文献にまとめられている。のり履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。

のり履工の高さは、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、植生被覆等の効果も勘案して過大な範囲とならないように留意する。また、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。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を勘案して、必要とされる範囲に設置するものとする。

小段の上に護岸を設ける場合には、小段位置において、コンクリートブロック張り等の場合は基礎工を、また蛇籠張り等の場合には止め杭を設けるものとする。石積みまたはコンクリートブロック積みの練積みのり履工においては、組石材を胴込コンクリートで一体

構造とする。

一方、河岸は粘性土や砂礫質土等の種々の土質材料とそこに生育する植生により構成される。河岸そのものもある程度の耐侵食性を有し、外力の条件によっては自然河岸のまま、あるいは多少の補強により洪水時の安全を確保できる場合もある。特に、植生は地上部の葉や茎による流体力の低減、河岸表面の被覆による河岸の流水作用からの保護、根による河岸表面の直接保護（強化）などにより、相当程度の河岸防護効果が期待される。また、河岸近傍の樹木についても流速の低減などにより河岸防護機能が期待できる場合がある。これらの効果については調査研究が進められており、確実な効果の発現や長期的な効果の維持、土壌や植生、補助工が複合した状態等について留意しながら設計する必要がある。ただし、植生を活用した河岸防護は今後の河川改修にとっては重要な手法となるものであり、種々の調査成果を活用して積極的に採用することが望まれる。

なお、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裏込材を設置する必要はない。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ものとする。水抜きは、堤体材料等の微粒子が吸い込まれないよう考慮するものとする。

吸出防止材は、護岸背後の残留水が抜ける際、あるいは高流速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設置する。また、吸出防止材は練積み護岸において裏込材への細粒分の流入を防止したり、施工性を考慮して設置される場合もある。

のり覆工には必要に応じて次の付属工を設けるものとする。

- (1) 小口止工：のり覆工の上下流に施工して、護岸を保護する。
- (2) 横帯工：のり覆工の延長方向の一定区間ごとに設け、護岸の変位・破損が他に波及しないように絶縁する。
- (3) 縦帯工：護岸ののり肩部の施工を容易にし、また護岸ののり肩部の破損を防ぐ。

力学的な設計では護岸構造と外力条件によって決まる破壊時の物理現象を反映させることが重要である。のり覆工の安定性は、工種や設置状態等により異なるものであり、過去の経験・類似河川の実績を基にして、試験施工・模型実験、調査研究の成果等を利用して力学的安定や耐久性について必要に応じて照査し、適切に設計する。また、新しい素材を利用した工種等では、特に土砂の移動の激しい箇所での磨耗等の耐久性についても検討しておく必要がある。

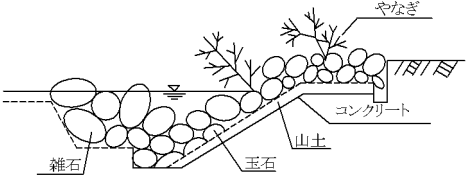
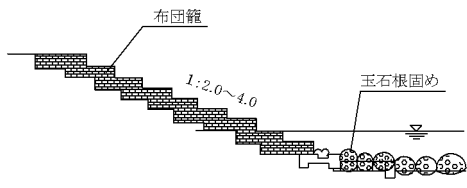
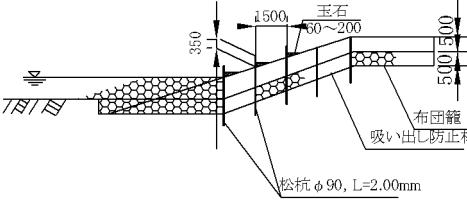
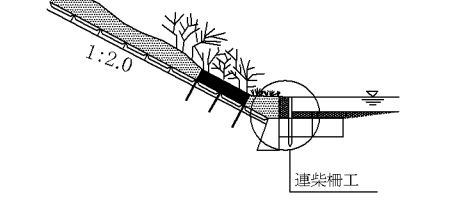
2-2 のり覆工の種類

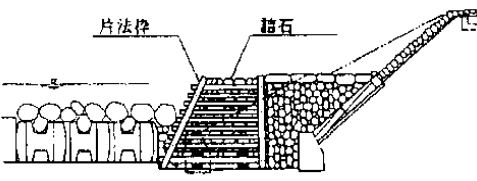
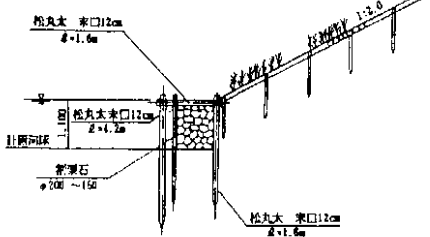
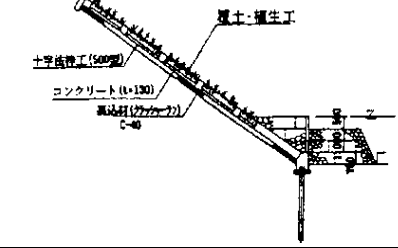
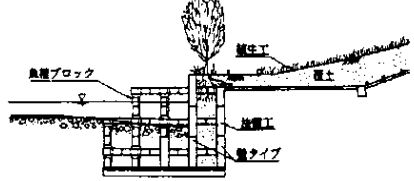
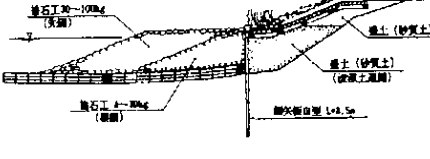
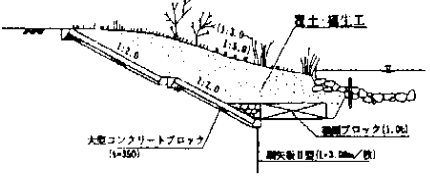
法覆工の種類を選定にあたっては、周辺環境や生態系及び河川の特性を充分考慮し、現地状況に適した多様性のある工法を選定するものとする。

〔解説〕

法覆工の種類の代表的なものは次のとおりであるが、この他にも多種多様な工法があり、選定にあたっては当該地区の河川特性や周辺の自然景観、環境及び河川の生態系に配慮し、「川づくり参考資料（案）」（九州地方建設局河川部監修）等を参考に選定するとよい。

のり履工の種類例

分類	工 法	断 面 形 状
A	コンクリートブロック（二次製品） コンクリートによる工場製品のブロックを用いた護岸工で、景観・親水性、生態系保全等、様々な機能を担うブロックが利用されている。	間知ブロック，植生ブロック，魚巣ブロック，階段ブロック等
B	玉石張り（玉石・巨石） 主に河岸植生の再生と自然景観の創生を目的として、自然石を用いて護岸を形成したものである。使用されている石の大きさは栗石程度のものから直径1m近い巨石までである。これらを組合せたものも見られる。	
C	籠 工 蛇籠、布団籠等の鉄線籠に詰石を施して河岸を保護するとともに、空隙からの植生の再生、水生動物の生息場の確保を期待したものである。多自然型の代表的工法のひとつとして事例が多い。	
D	連続柵工 木杭または鋼杭による連続柵高の間に玉石、布団籠等を施して河岸を保護したものである。生態系保全については籠工と同等の機能があると思われる。	
E	柵 工 河川縦断方向に木杭を一定間隔に打って、間を柴で連結したものである。護岸の法止め機能を担っている。	

分類	工 法	断 面 形 状
F	<p>法枠護岸</p> <p>木製またはコンクリート性の法枠工に、自然石、ヒューム管等の多孔質材料を詰めて護岸（法止め工）を形成したものである。魚類・水生動物の生息場所を確保することができる。形式として法枠タイプと沈床タイプがある。</p>	
G	<p>詰杭護岸</p> <p>松杭と横木による格子枠の中に自然石の詰石を行い、法止め機能を持たせたものである。魚類・水生動物の生息場所の確保とともに水際植物の再生も目的としている。</p>	
H	<p>コンクリート法枠工</p> <p>コンクリートの既製法枠ブロックまたは現場打ち法枠工の中に玉石・土砂等を詰めたものである。植物が再生可能な状態が作り出されることから、主に高水護岸の法面緑化・修景に用いられている。</p>	
I	<p>コンクリート擁壁タイプ</p> <p>低水路河岸の土留め機能を有するもので、構造としてはコンクリート擁壁に分類される。格子状で内部に空ゲキを有し魚類の生息、水生植物、低木の植栽に配慮したものもある。特殊な形式であり事例は少ない。</p>	
J	<p>矢板護岸</p> <p>鋼矢板またはコンクリート矢板によるものである。従来から多用されている。河岸の局所洗掘箇所、感潮区間等における事例が多い。多自然型への対応として矢板全面に捨石を施して、水生植物、魚類等の生息に配慮したものも多い。</p>	
K	<p>覆土タイプ</p> <p>コンクリートブロック護岸または籠工による護岸の表面を土で覆って植生の再生を可能とし、護岸施工前の河岸の生態系を保全しようとするものである。覆土の表面を玉石または租染類等で保護した工法もある。</p>	
L	<p>その他のタイプ</p>	<p>河川特性や現地材料等を考慮した多種多様な工法がある。</p>

※ 断面形状に示す寸法は設計例であり実施にあたっては、河道特性を考慮して決定する必要がある。

2-3 外力の評価

法覆工の設計にあたっては、河岸に作用する洪水時の外力を算定し、外力に応じた強度の護岸を実施することにより、河岸に多様性をもたせるものとする。

〔解説〕

治水上の安全度を有し、かつ、生態系や自然景観に配慮した護岸を実施するためには、全川の一律な種類と強度ではなく、当該地区の河川特性に合った多様な工法で実施することが必要である。

そのためには、当該地区の河岸に作用する洪水時の外力を算定し、外力に応じた強度の護岸を実施するものとする。

外力に応じた護岸の設計法については、「低水護岸の外力評価と水理設計（九州地方建設局河川部）」及び「河川砂防技術基準（案）設計編」「護岸の力学設計法（財）国土開発技術開発センター」等を参考にするものとする。

2-4 法覆工の構造規格

コンクリートブロック、籠工類については、本項に示す構造規格により設計を行うものとする。本項に示す工法以外のものについては、外力に対して必要な強度を確保するように設計を行うものとする。

〔解説〕

- 1) コンクリートブロック等の二次製品や鉄線籠工類を法覆工に使用する場合は、以下に示す構造、品質規格により設計を行うものとする。
- 2) 河川護岸には、本項に示す工法以外に多種多様な法覆工があるが、それらの工法については、当面、構造規格を定めないので、使用する工法に応じて外力に対する必要強度を確保するような設計を行うものとする。

2-4-1 コンクリートブロック積（1割未満）

- 1 実施設計にあたっては、土木構造物標準設計第2巻（擁壁）の解説による。
- 2 盛土部におけるブロック積（石積）用編基の裏込め材は、擁壁の法面勾配を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め材の厚みは30cmを基本とし、背面の土砂が良好な場合は20cmとしてもよい。

切土部におけるブロック積（石積）擁壁の裏込め材は等厚に設置してもよい。

また裏込め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、擁壁前面の地盤線程度まで設置することを原則とする。また裏込め材の直下、基礎底版高さまでの間には不透水層などを設け、背面を伝わった雨水などが基礎部に悪影響を及ぼすことのないようにするのが望ましい。

また前面に水位を考慮する場合には裏込め材は支持地盤程度まで設置することとする。

引用—道路土工—擁壁工指針（H11.3）

- 3 裏込コンクリートは等厚とする。
- 4 直高は連続した石積の平均高とする。
- 5 空積は1.5～3.0mまでの重要度の低い箇所に使用する。
- 6 直高5m以上は、別途安定計算を行う。
 - a) 裏込めコンクリートのある場合（RM-1）
 - イ) 擁壁面に水位を考慮する場合、又は擁壁を河川護岸として用いる場合であって、かつ背面の土が砂質土等吸い出され易いもの場合に使用する。
 - ロ) 擁壁前面に水位を考慮しない場合で、かつ擁壁を河川以外として用いる場合であって背面の土の種類がU2又はU3の場合に使用する。

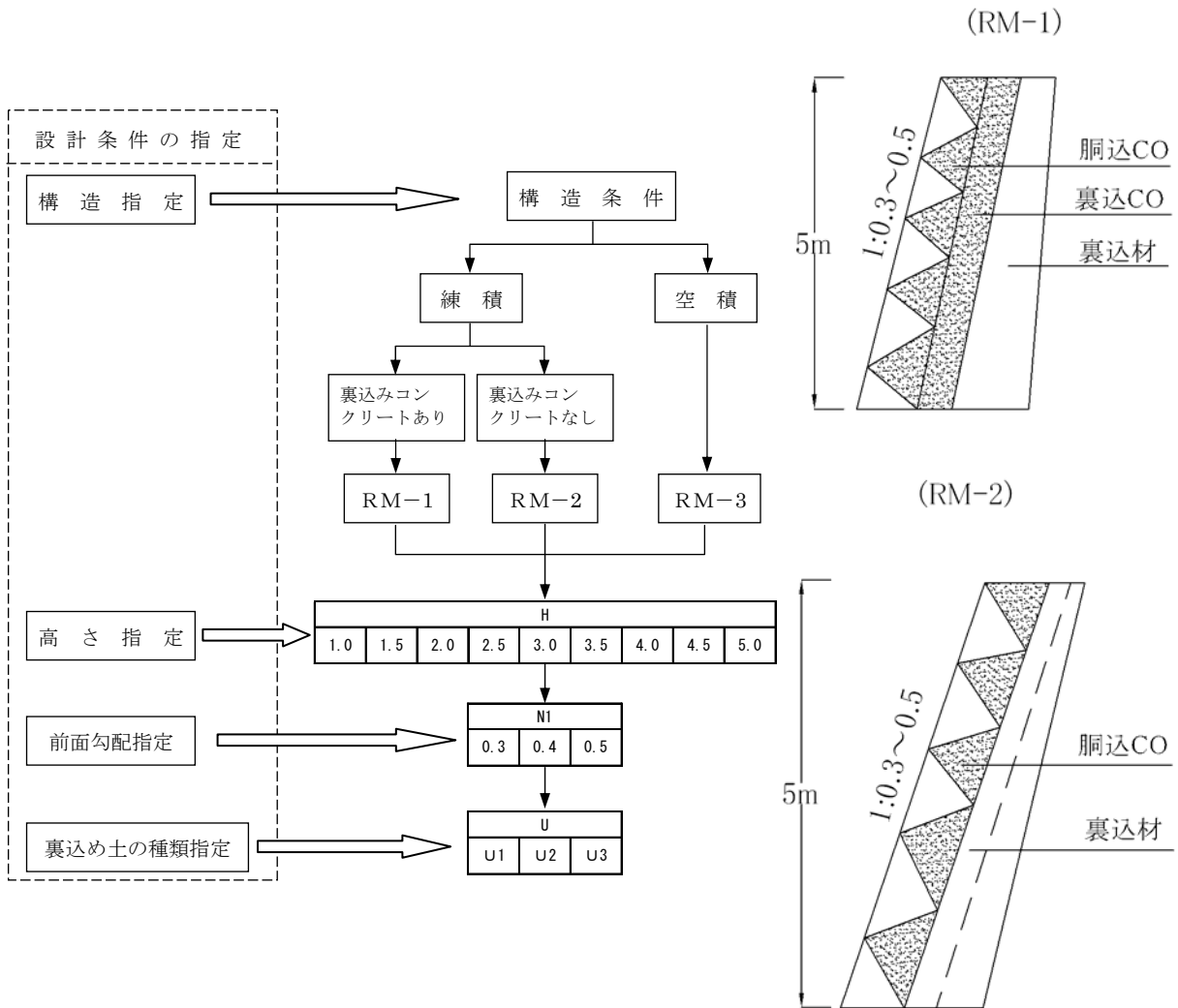
なお、U1～U3に対する土質分類は下記を参照されたい。
 - b) 裏込めコンクリートのない場合（RM-2）
 - a) 以外の場合に使用する。ただし、河川護岸でも重要度を考慮して使用する場合もある。

川表、川裏ブロック積水路等で重要性の低いものについては、裏込コンクリートのない型式（RM-2）を採用する。

c) 裏込め材の厚さは、現場の裏込めの土の地質に応じてU1, U2, U3のなかから適合するものを使用すること。

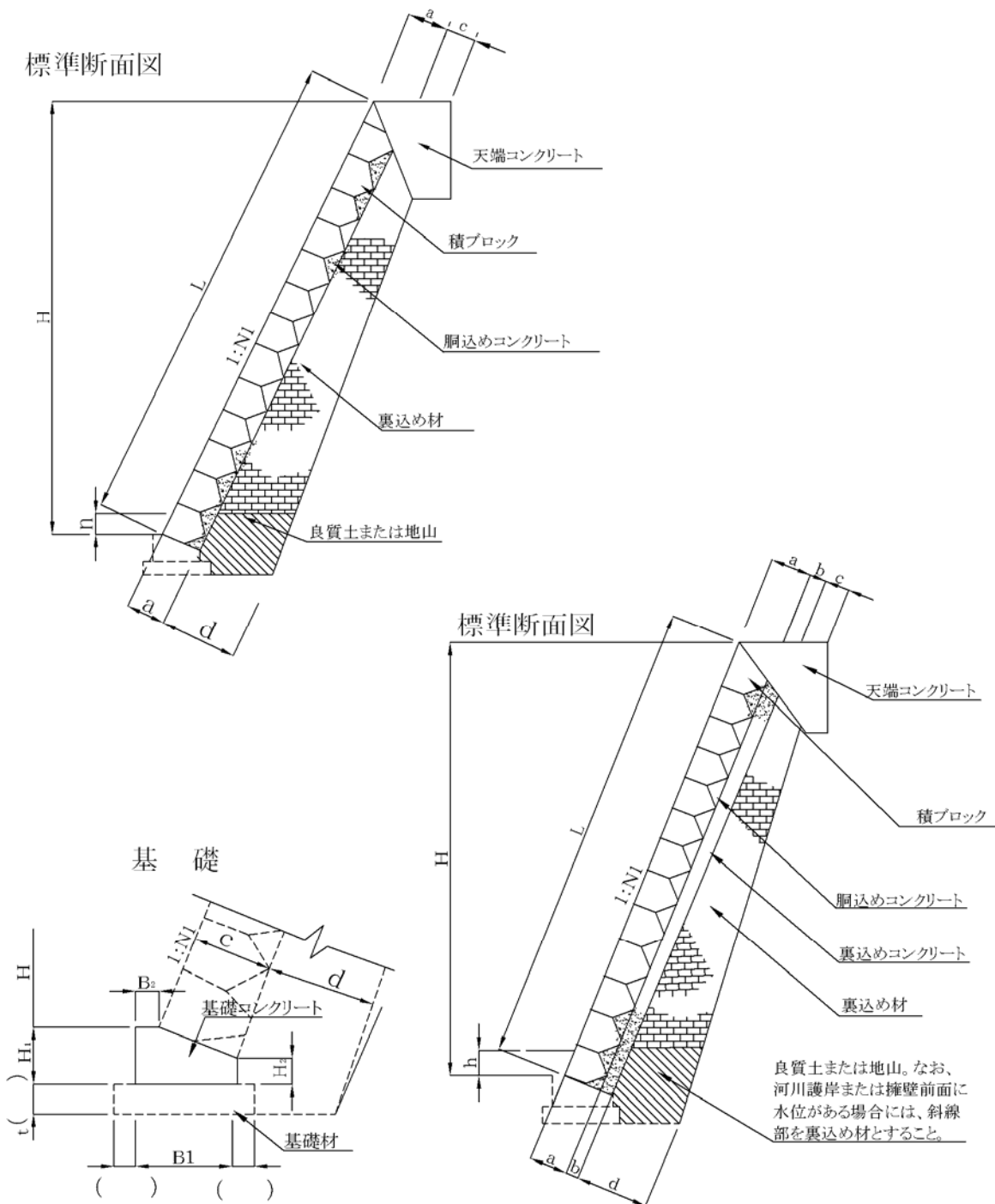
裏込め土の種類 U1: 良い土
 U2: 普通の土
 U3: 良くない土

ただし、これは土の土圧係数で決定されるもので、一般にレキ質土は良い土、砂質土は普通の土、粘性土は良くない土に分類するものとする。



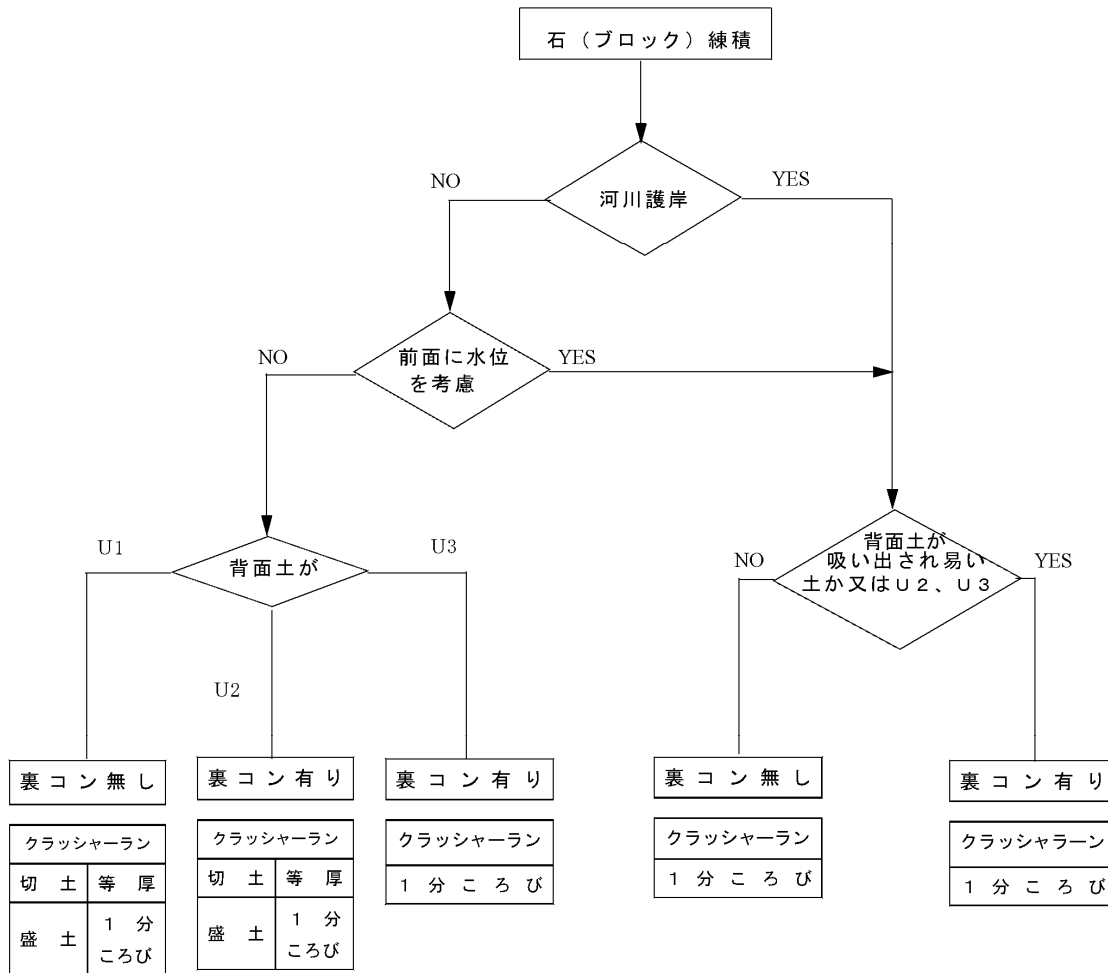
(注) 土木構造物標準設計第2巻(擁壁)の解説による。

図3-1



※ 河川の施設災害としては、河床洗掘及び護岸天端を水が流ることに伴う洗掘で被災することが多く、従来から河川天端コンクリートは2-5に示す肩止めコンクリート④に示す形状を用いている。但し、川裏水路等で流れの影響を考慮する必要がないような場所に用いるブロック積みの天端コンクリートは、標準設計に示されている天端コンクリートを用いてよい。

石積（ブロック積）擁壁の裏込めコンクリート及び裏込材



※ 湧水箇所、粘性土等、又減潮区域内で浪の影響を受けて、クラッシャーランでは不
 適な場合は、栗石にて施工すること。

2-4-2 コンクリートブロック張（低水護岸） 1割以上

〔低水護岸施行方法フロー〕

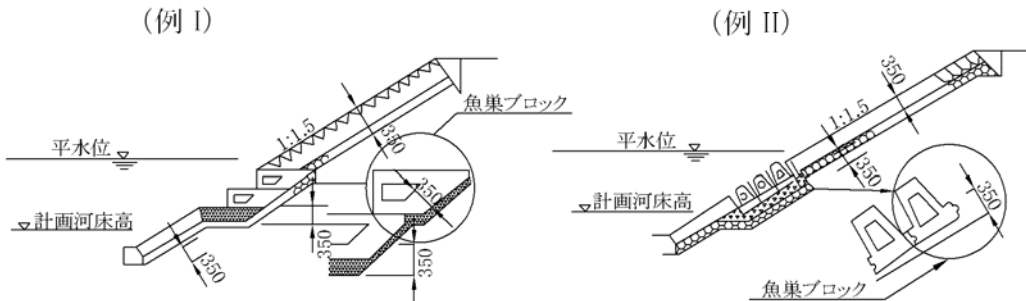
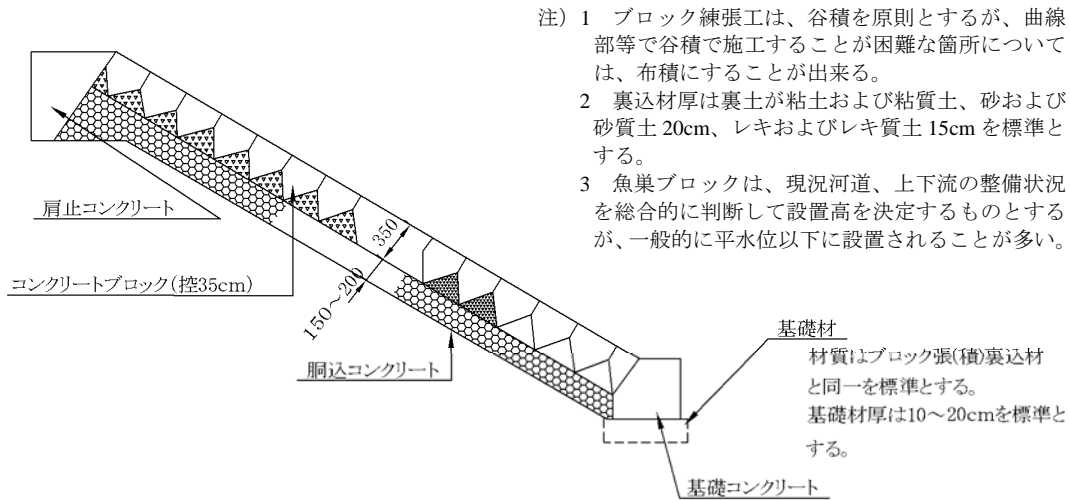
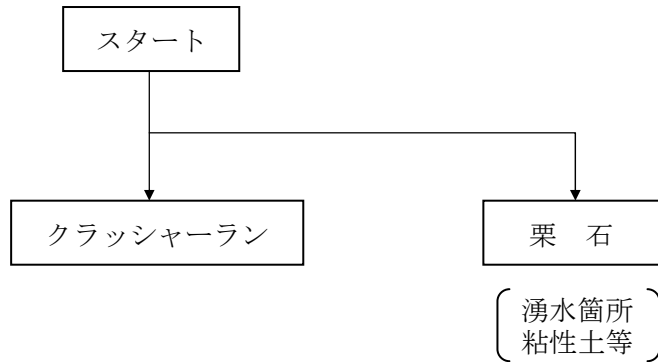
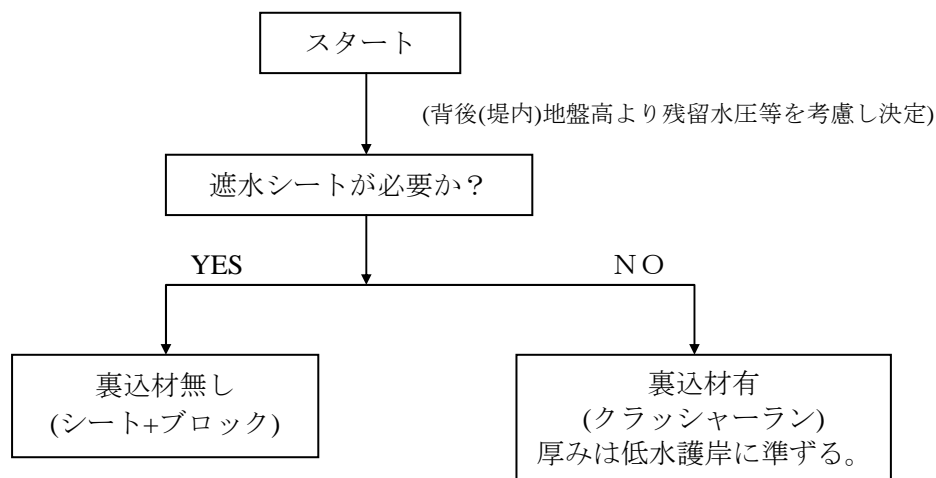


図 3-2

2-4-3 コンクリートブロック張（高水護岸） 1割以上

1) 〔高水護岸施工方法フロー〕



裏込材無しの場合については、調整モルタルは不要とする。尚、施行延長が概ね100m以上連続する場合は、排水弁等も考慮すること。

裏込材有の場合は、調整モルタルを積算するものとするが図面表示はしない。

(調整モルタルの積算は雑品扱いとし、厚みは1.5 cm程度とする。)

2) 遮水シートの設置基準等

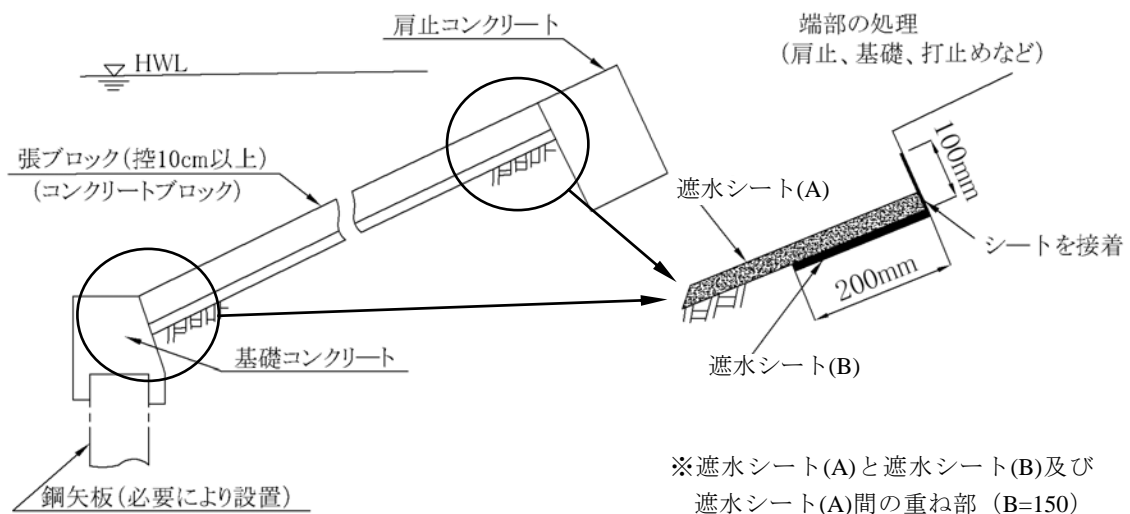
i) 設置基準

- ① 遮水シートは原則としてHWLより堤内地盤が低い場合に設置する。但しHWLと堤内地盤高の差が60 cm以下の場合には設置しない。
- ② 設置する箇所はHWLと堤内地盤高の範囲を原則とするが、1つ法面に設置要・不要箇所がある場合は当該法面全面に設置する。
- ③ 設置の必要な護岸は、中・高水護岸でコンクリートブロック張（控10 cm程度）及び連節ブロック構造のものとする。

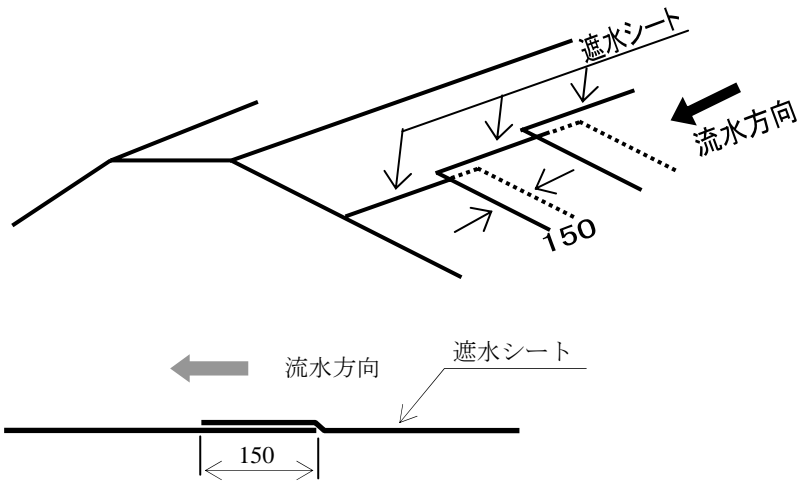
ii) 材料

土木工事共通仕様書に記載された仕様を満足するものとする。

iii) 遮水シートの設置



※遮水シート(A)と遮水シート(B)及び
遮水シート(A)間の重ね部 (B=150)
は接着しないこと。



※遮水シートの重ね部においては上流側のシートを上方に配置する

2-4-4 籠 工

使用基準は次によるものとする。

イ) 蛇籠工

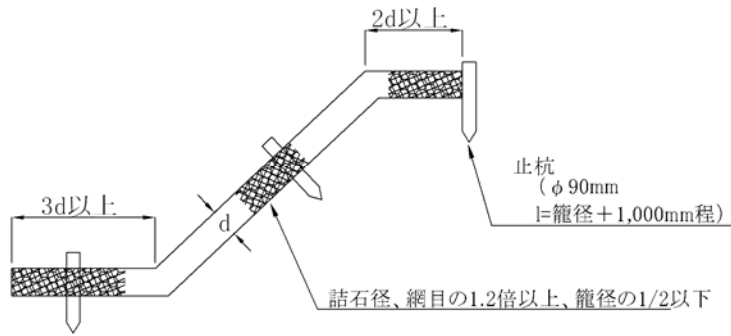


図 3-3

- 注) 1 蛇籠径は、径 60 cm 8# 網目 13 cm を標準とし、仮取付等現地の状況により別途考慮できる場合は、標準以外の規格を使用できるものとする。
- 2 止杭は蛇籠 1 本につき 2~3 本遣いとする。

ロ) 布団籠工

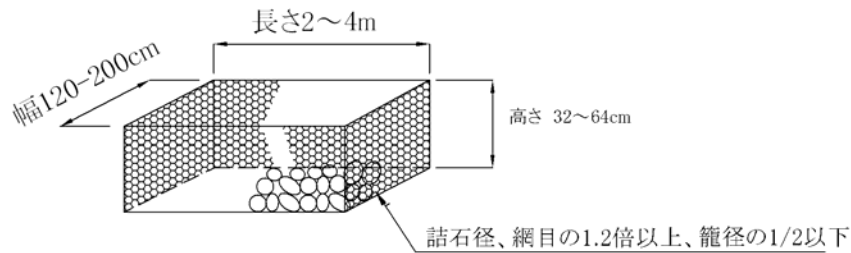


図 3-4 布団籠

※ 蛇籠工※ 布団籠工を本設として使用する場合は「鉄線籠型護岸の設計・施工技術基準(案)」に準じた線材を用いるものとし溶接を行ってはならない。

ハ) 鉄線籠型護岸 (スロープ式)

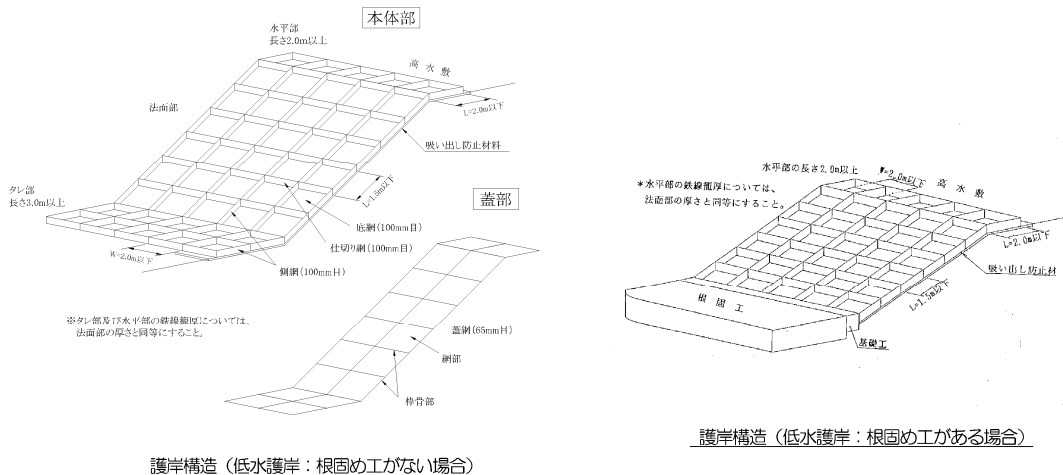


図 3-5 鉄線籠型護岸

「鉄線籠型護岸の設計・施工技術基準(案)」(H21.4)

表 3-5 鉄線籠型護岸の構造仕様

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6.0m/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	
中詰め材料の粒径 (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	φ4.0mm	φ5.0mm
			本体部	φ3.2mm	φ4.0mm
		枠骨	蓋部	φ5.0mm	φ6.0mm
			本体部	φ4.0mm	φ6.0mm
	線材の引張強度			290N/mm ² 以上	
	仕切間隔	水平部		2.0m以下	
		法面部		1.5m以下	
		タレ部		1.5m以下	
側網間隔		2.0m以下			
仕切の取付け角度			法面に直角	法面に直角 但し、法勾配が1:2未満の急勾配の場合は鉛直	

※上表の代表流速は水深4m以上に適用

二) 鉄線籠型護岸(多段積)

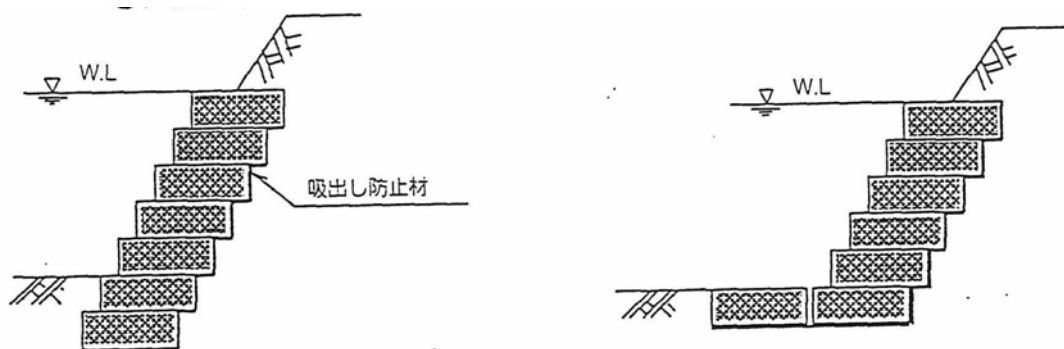


図 3-6 鉄線籠型多段積工の例

「鉄線籠型護岸の設計・施工技術基準(案)」(H21.4)

河川工事課長
事務連絡参照
H14.2.14

「鉄線籠型多段積護岸工法(試行案)」(H10.5)

2-4-5 連節コンクリートブロック張工

使用基準は次によるものとする。

イ) 暫定的なのみ覆工

ロ) 捷水路の開削等河床、流路が安定しない箇所ののみ覆工

連節コンクリートブロック張で施工する場合の肩及びのみ尻の垂れの長さはつぎの値を標準とする。

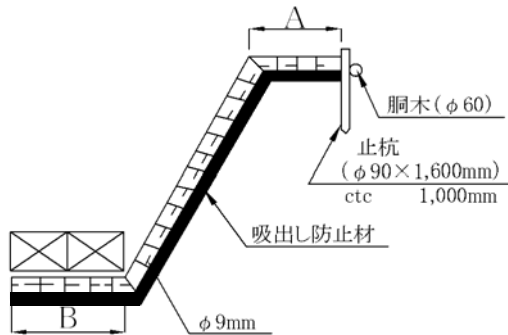


図 3-7

A=1.5m, B=2.0m

ただし軟弱地盤等のため現地の状況により必要と認める場合は

A=2.0m, B=3.0m

とすることができる。なお、のみ長が極端に短い場合は現地の状況を勘案し別途考慮するものとする。根固ブロックは必要な場所に設置すること。

環境整備実施箇所等高水敷が利用されている箇所について、危険防止等の見地から肩止コンクリートを施工した方が良いと判断される場合は、止杭にかわり巾 200m/m 高さ 500m/m 肩止コンクリートを施工してよい。

連節コンクリートブロック張工は、主として仮設護岸として使用されている。吸出し防止材については、肩、のみ面、たれ部全面に配置することを基本とするが、使用期間、使用場所等を勘案し、たれ部については省略することができる。

なお、設置については塩分濃度等周辺環境を考慮したうえで使用するものとする。

2-4-6 ブロック材料の品質

表3-6 コンクリートブロックの品質

	空積（張）工 練積（張）工	張ブロック	連節ブロック
強度	18N/mm ² 以上		
W/C	65%以下		
控長	35cm	10cm以上	20cm以上
1㎡当り数	11個以内		
ブロックの質量	350kg/㎡以上	160kg/㎡以上	250kg/㎡以上

2-4-7 吸出し防止材（吸出し防止シート）

連節ブロック張、または蛇籠張等の土砂吸出し防止用として使用されている。吸出し防止材の使用に当たっては土質流勢等施工性を勘案し決定しなければならない。

一般的な施工例からみて、下記を参考とするものとする。

- (イ) 施工範囲は、肩、のり面を標準とする。
- (ロ) 水中の場合、水面以下の施工性を考慮して入れる事。
- (ハ) 重ね代は10cm以上とする。

注) 1 本体工事のみ適用する。ただし、土質、流勢その他存続期間等を考慮して必要であれば取付部も適用できるものとする。

2 吸出防止材

連節ブロック張根固めコンクリートブロック据付施工等においては、厚さ10mmを標準とする。

3 吸出し防止材は耐久性、耐腐蝕性、耐候性及耐薬性のあるもので、厚さ10mm以上を原則とする。

(ニ) 使用する吸出防止シートの規格・品質管理は下記の如くとなる。

- 1 吸出し防止シートについては、次表の値を満足した「河川護岸用吸出し防止シート評価書」（建設大臣認可）を有するシートを用いることを原則とする。

なお、評価書を有していない製品についても、「公的機関による技術証明書」を有しているシートについては、監督職員と協議の上使用できるものとする。

項 目	基 準	備 考
適用土質	砂質土	
厚さ	10mm以上	
引張強度	9.81kN/m以上	縦・横方向
化学的安定性(強度保持率)	70%以上 130%以下	JIS A 7114準用 (PH5~9)
耐候性(強度保持率)	70%以上 130%以下	JIS A 1410、A1415準用

2 品質管理方法

イ) 納入される製品には、シートに①製品名、②製造年月日、③製造工場名が明記されていなければならない。(整理番号でも可)

ロ) 納入される製品は、下記の品質試験により管理されているものとする。

- ① 「製造工場における品質試験」として、通常の生産過程において3日に1回以上の割合で行われていなければならない。
- ② 「公的試験機関における品質試験」として、製品の生産過程において20,000 m²に1回以上の割合で行われているもの。
- ③ 品質試験の内容は、次表の品質及び規格とする。

項 目	規 格	試 験 方 法
厚 さ	10mm以上	
密 度	0.12g/cm ³ 以上	JIS L 3204
圧 縮 率	12%以下	〃
引張強度	10kN/m以上	〃
伸 び 率 (最大強度時)	50%以上	〃
耐薬品性 (不溶解分)	90%以上	〃
透水係数	0.01cm/s以上	〃

3 品質証明書の提出

製品の使用においては、監督職員に「河川護岸吸い出し防止シート評価書」(国土交通大臣認可)もしくは「公的試験機関による技術証明書」を提出し使用するものとする。

また、製品納入時には「製造工場における品質試験表」及び「公的試験機関における品質試験表」を監督職員に提出するものとする。

2-5 肩止めコンクリート

護岸には、雨水及び流水等により裏側より侵食されるのを保護するため、必要に応じて肩止コンクリートを設けるものとする。

〔解説〕

肩止めコンクリートの標準は図3-8とする。

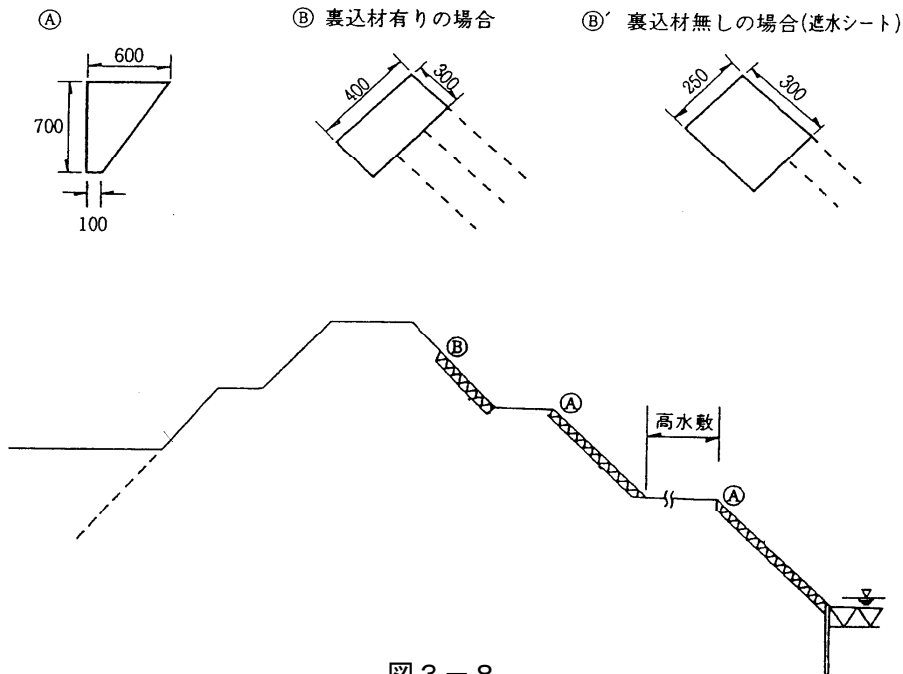


図3-8

2-6 天端工・天端保護工

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〕

天端工、天端保護工は、低水護岸の天端部分を洪水による侵食から保護する必要がある場合に設置するものであり、また天端工の端に巻止工を設置する場合もある。

天端工は、のり覆工と同様、洪水時に流体力が作用するので、これに対して安全な構造とする必要がある。なお、のり覆工と同じ工種を用いるのが望ましい。また、控え厚はのり覆工の設計と同じ手法で流体力の作用に対して安全な厚さとする必要がある。

天端保護工は、天端工と背後地の間から侵食が生じることが予測される場合に設置するものである。天端部分に作用する流速が1~2m/s程度を超える場合は、洗掘が生じる可能性が高いため設置することが望ましい。構造は屈とう性のある構造とし、流体力の作用に対して安全な厚さとする必要がある。

天端工の幅は1~2m程度、天端保護工の幅は1.5~2m程度で設置されている事例が多いが、明らかに低水路部からの流れの乗上げ位置となっている場所など河道の特性に応じて適切な幅を確保することが望ましい。

2-7 横帯工

のり履工には、温度変化、乾燥収縮及び損傷の復旧等を考慮して適当な間隔で横帯工を設けるものとする。

〔解説〕

- 1 横帯工の間隔は伸縮目地 5 箇所につき 1 箇所設置すること。なお、階段等で帯工として代用出来る構造物がある場合は、端壁の厚さを帯工厚以上とすること。
- 2 帯工及び端止め工の幅は 0.30m、厚さは（胴込+裏栗+0.10m）とする。

注) 高水、平張等も適用する。

一般の場合

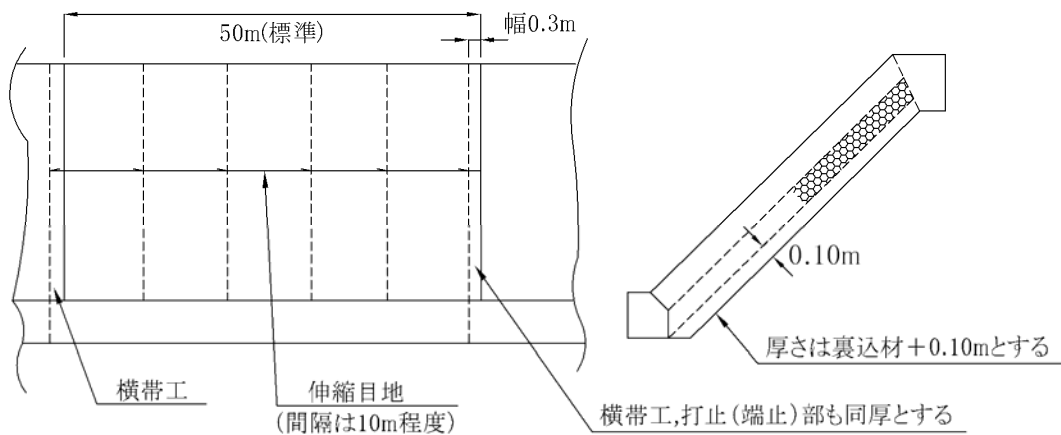


図 3-9

階段工で横帯工として代用できる場合

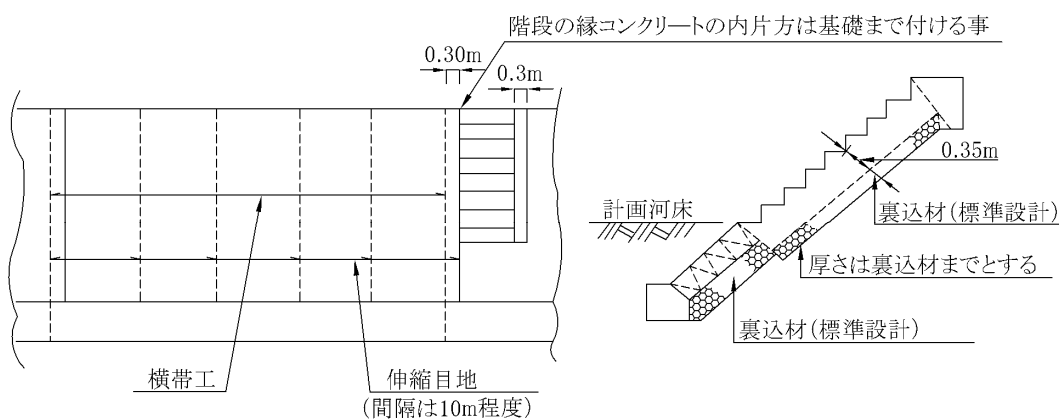


図 3-10

階段工で横帯工として代用できない場合

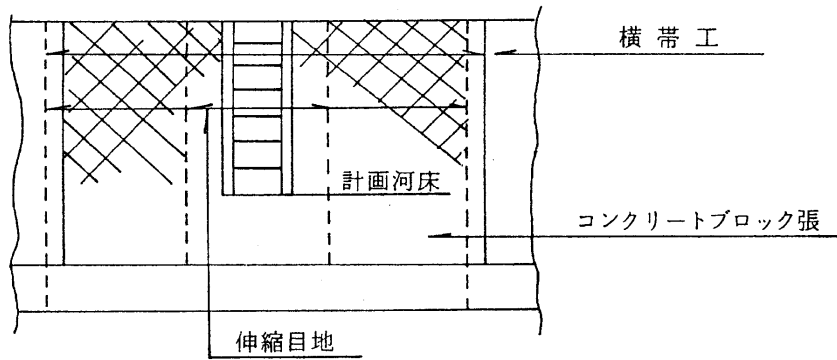


図3-11

2-8 端止め工

地形、地質等の状況により覆工の上・下流端に端止め工を設置し、護岸を保護する。

〔解説〕

土質が悪い（シラス等）場合や、盛土箇所等には、必要に応じて護岸の上、下流端に設置するものとする。

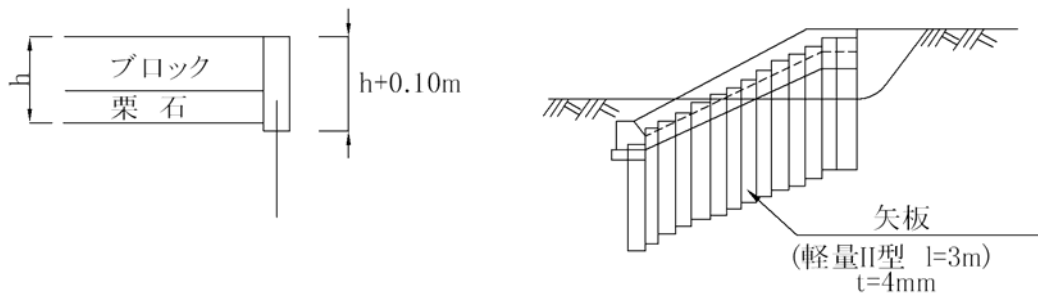


図3-12

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〕

1 天端高（根入れ）

護岸の被災事例で最も顕著なものは、洪水時の河床洗掘を契機として基礎工が浮き上がってしまい、基礎工およびのり覆工が被災を受ける事例である。基礎工が被災を受けると、裏込材の吸出しなどが生じ、広範囲にわたる被災を引き起こすことがある。このため、基礎工の設計では、基礎工天端高の決定が最も重要である。

基礎工天端高は、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に、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。なお、根入れが深くなる場合には、根固工を設置することで基礎工天端高を高くする方法もある。基礎工天端高の基本的な考え方として次の4つがある。

- (1) 最深河床高の評価高を基礎工天端高とし、必要に応じて前面に最小限の根固工を設置する方法。
- (2) 最深河床高の評価高よりも上を基礎工天端高とし、洗掘に対して前面の根固工で対処する方法。
- (3) 最深河床高の評価高よりも上を基礎工天端高とし、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。

これらの考え方の中から、当該箇所にもっとも適切な考え方で基礎工天端高を決定する。なお、今までの事例によると、(2)および(3)の方法では、基礎工天端高を河川整備計画の低水路河床高と現況河床高のうち低いほうより0.5～1.5m程度深くしているものが多い。また、根固工を設置する場合には、その敷設天端高は、基礎工天端高と同じ高さとするのが望ましい。

基礎工天端高の設計にあたっては、一連の護岸（一湾曲部程度）は、その区間の最深河床高に対して求めた基礎工天端高とすることが基本的な考え方であるが、一連の護岸の設置区間が長く、かつ深掘れ位置が移動しないような場合には、河道の特性に応じて各断面ごとの最深河床高の評価高を検討することが望ましい。

2 構 造

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を用いることが多い。また、平水位の高い箇所や洗掘を考慮する必要がある箇所では矢板を用いるケースがある。

基礎工およびのり留工の工種は、その程度、耐久性等を考慮して選定するものとする。酸性河川、感潮河川等において鋼矢板を用いる場合は腐食代を十分見込むか、腐食を考慮しなければならない。

図 3-13 に、基礎工および留工の例を示す。

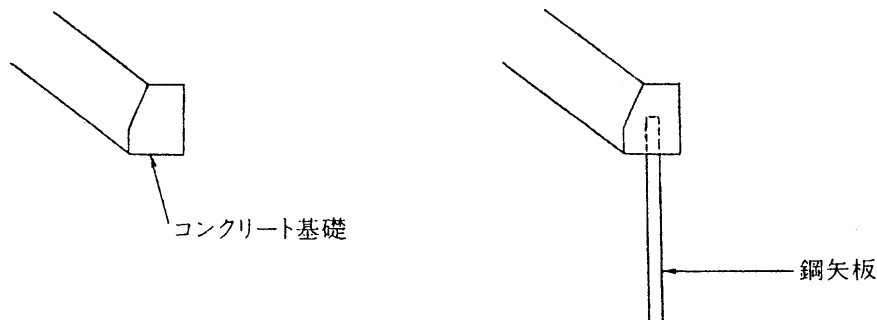


図 3-13 基礎工およびのり留工の例

2-9-1 基礎工の種類

1) コンクリート基礎工

概ね台形断面のコンクリート構造とし杭又は矢板は次により実施すること。

- 矢板：① 洗掘のおそれのある箇所
② 吸出しのおそれのある箇所
③ 基礎漏水箇所
④ その他必要な箇所

(注) 鋼矢板の使用区分については(3)鋼矢板護岸によるものとする。

- 杭：① 平水位以下は木杭を標準とする
② 粘質土地盤で支持力が小さな箇所

2) 土台基礎工

(注) 必要に応じ止杭を実施すること。

- ① 梯子土台
② 一本土台

3) その他の基礎工

① 板柵工

② 詰杭工

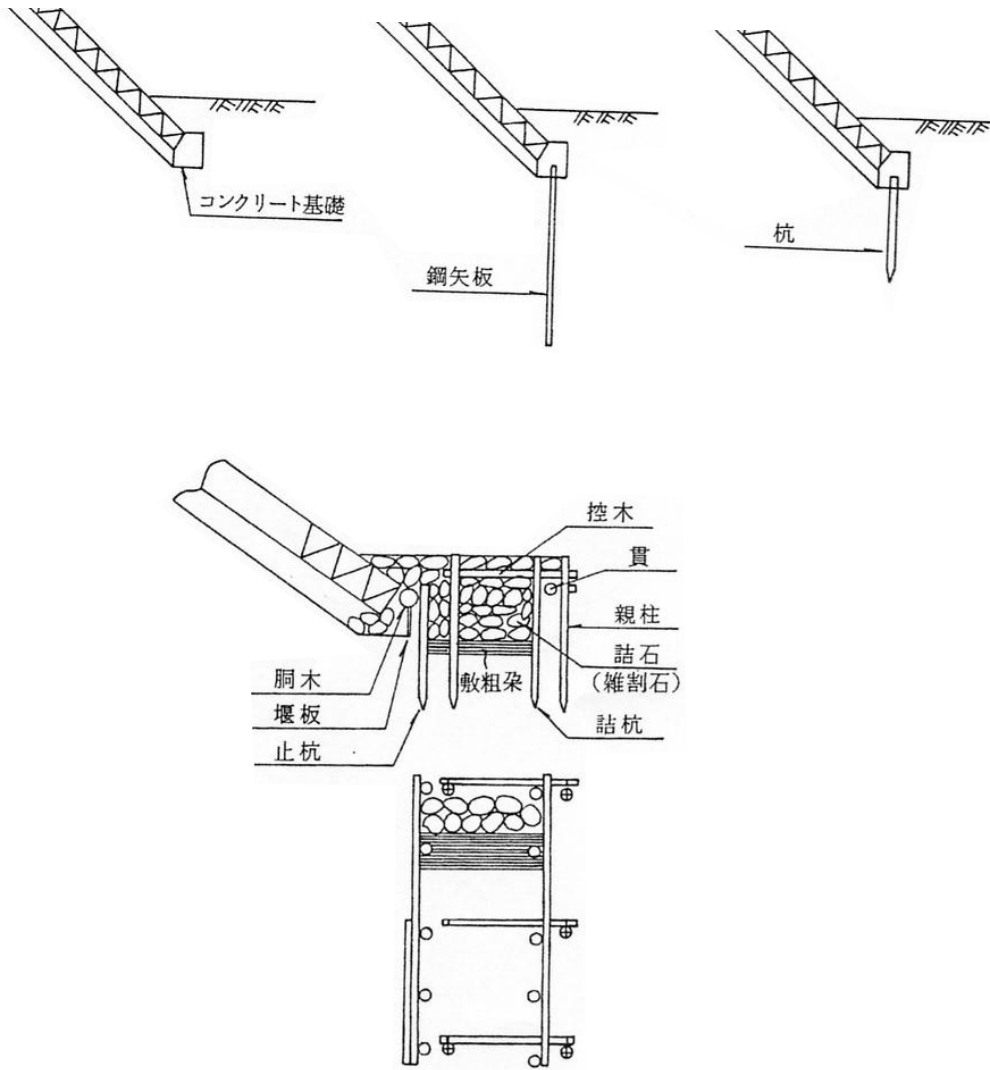
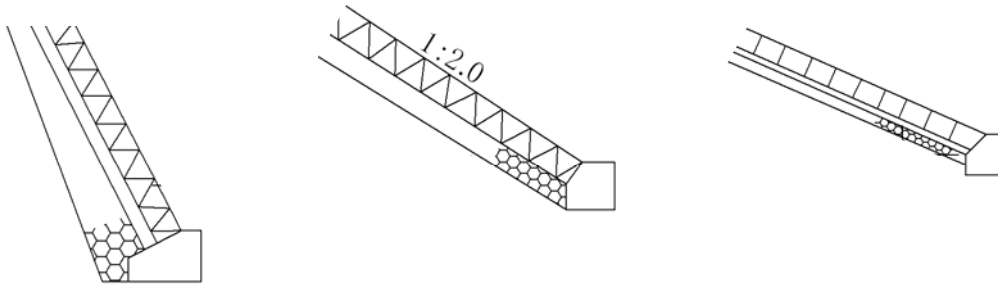


図3-14 基礎工例

(コンクリートブロック積) (コンクリートブロック張り) (コンクリートブロック張り)

(控え 35 cm)

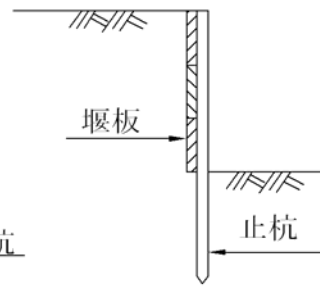
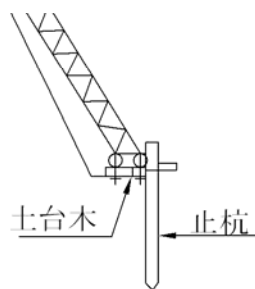
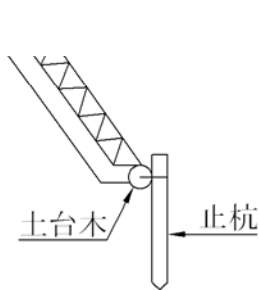
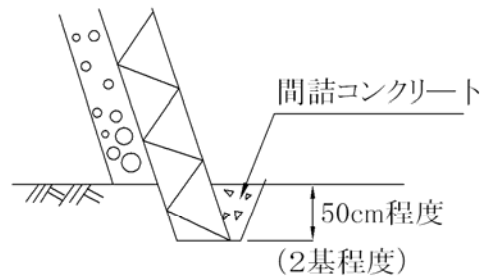
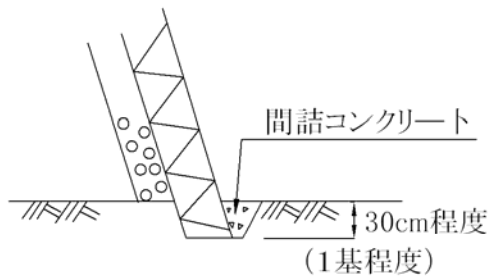
(控え 10cm 以上)



寸法については、標準設計及び土木工事積算資料「共通工」により法勾配等を勘案の上決定する。

(軟岩 (Ⅱ) 以上)

(軟岩 (Ⅰ) の場合)



止杭一本土台基礎

止め杭梯子土台基礎

板 柵 工

[コンクリートブロック張用コンクリート基礎]

「土木工事積算参考資料」

A種 寸法および材料表

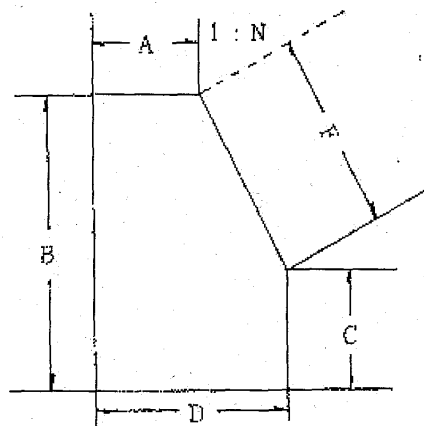
記号			勾配	控長	A	B	C	D	コンクリート量	型枠面積	摘要
種	号	型									
A	1	1	1:1	350 ^{mm}	300 ^{mm}	500 ^{mm}	250 ^{mm}	550 ^{mm}	0.244 ^{m³/m}	1.10 ^{m²/m}	
	1	2	1:1.2	350	300	500	230	540	0.238	1.09	
	1	3	1:1.5	350	300	500	210	490	0.217	1.06	
	1	4	1:1.8	350	300	500	190	470	0.209	1.04	
	1	5	1:2	350	300	500	180	460	0.205	1.04	

摘要区分

A種 胴込みだけの練石張および空石張に使用する。

- (注) (1) 基礎砕石を必要とする場合は厚15cmとする。
 (2) 前後既設部分との取合せやコンクリートブロック等でこの表によりがたい場合はB（高さ）及び斜面の勾配等を調整して使用すること。

A種



B種 寸法および材料表

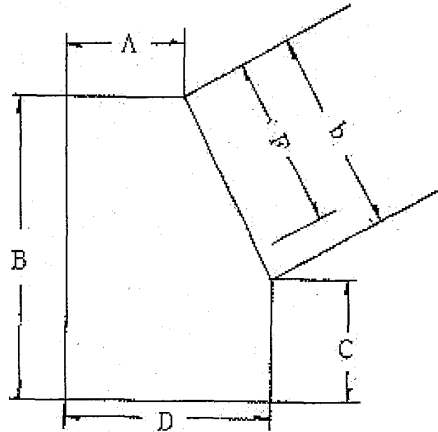
記号	種号型		勾配	控長	A	B	C	D	コンクリート量	型枠面積	摘要
	種	号									
B	1	1	1:1	350 mm	300 mm	700 mm	320 mm	680 mm	0.403 m ³ /m	1.470 m ² /m	
	1	2	1:1.2	350	300	700	290	650	0.383	1.440	
	1	3	1:1.5	350	300	700	250	600	0.352	1.400	
	1	4	1:1.8	350	300	700	230	560	0.330	1.380	
	1	5	1:2	350	300	700	220	540	0.320	1.370	

摘要区分

B種 胴込+裏込コンクリート石張に使用する。

- (注) (1) 基礎砕石を必要とする場合は厚15cmとする。
 (2) 前後既設部分との取合わせやコンクリートブロック等でこの表によりがたい場合はB（高さ）及び斜面の勾配等を調整して使用すること。

B種



2-9-2 護岸の根入れ

護岸の根入れは、流水による河床等の洗掘を考慮して次によることを標準とする。
なお、設計上の河床高等は一連区間で検討するものとする。

(イ) 低水護岸の根入れ

低水護岸の根入れは、河川整備計画の低水路河床又は現況最深河床のいずれかの低いものに対して1.0m程度を標準とする。

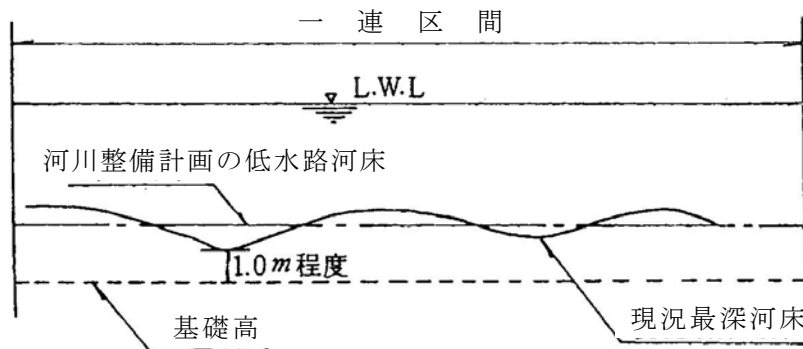


図3-15 護岸の根入れ

(ロ) 高水護岸の根入れ

高水護岸の根入れは、高水敷を保護工で保護される場合は、河川整備計画の高水敷高とする。通常の場合、高水護岸の根入れは、計画高水敷高より0.5m程度、又は、現況高水敷高が河川整備計画の高水敷高より低い場合は、現況高水敷高から0.5m程度を標準とする。

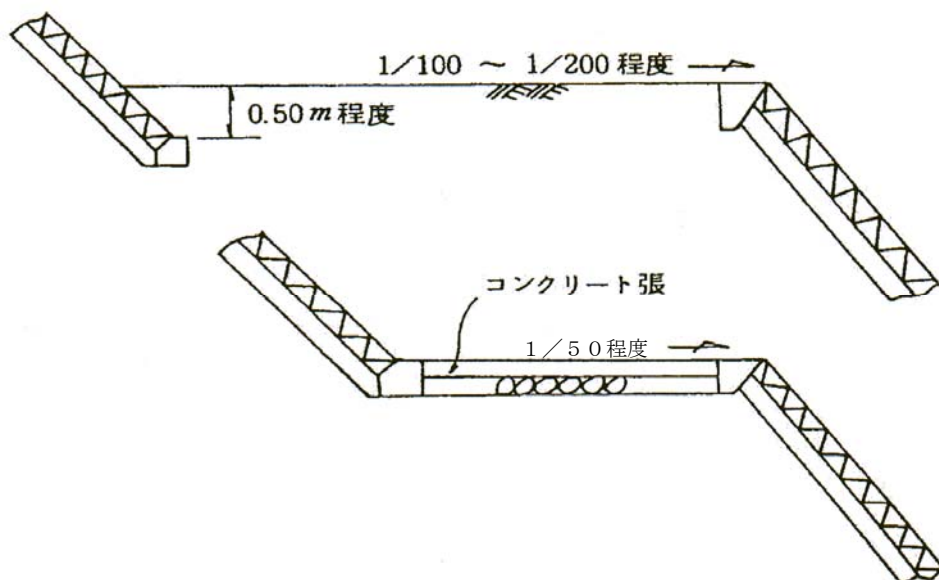


図3-16

2-9-3 護岸用鋼矢板の決定について

護岸基礎工は、河川砂防技術基準(案)及び設計要領等に基づき選択するものとする。
 なお、基礎の鋼矢板を施工する場合は、本省通達(「護岸用鋼矢板選定について」等)及び設計要領の河川編第1章第3節護岸を基に検討しているが、使用区分及び運用方法の補足説明を以下に示す。

補 足 説 明

使用区分	運 用 方 法
漏水防止	1 旧川及び漏水の想定される箇所に施工。 2 ボーリング柱状図等より不透水層を確認し、不透水層に1m程度貫入する。但し不透水層が相当深い場合は、クリープ比等を総合して決定する。 3 応力検討は原則として行わないが、土圧等の水平力作用が考えられる場合は、洗掘防止鋼矢板に準じて応力度検討を行いⅡ型の標準型以上とする。
洗掘防止	1 低水護岸の基礎高が河川整備計画の低水路河床高以下の場合は、河川整備計画の低水路河床高又は最深河床高の深い方より2~4m程度貫入する。使用鋼矢板は、Ⅱ型の標準型以上を使用し応力計算は行わない。(ケース1)
平水位が高く基礎の根入が困難な場合	1 低水護岸の基礎高を河川整備計画の低水路河床高より上部に施工する場合は土留矢板として応力計算を行い矢板形式を決定する。但し、使用鋼矢板はⅡ型の標準型以上とする。 必要根入れ長は、〔仮想支点+3/β〕以上とするが、最低限河川整備計画の低水路河床高又は最深河床高の深い方より2~4m程度貫入する。(ケース2) 2 応力計算手法は、下記事項を原則とする。 1) 使用土圧公式は、ランキン・レザール公式及びクーロン公式とする。 2) 応力計算は、changの式による。 3) 根固めブロック高の1/2は、受働土圧として考慮する。 4) 応力計算上の仮想支点は、主働側荷重強度と受働側荷重強度の釣り合う点とするが、N値が20以上の場合土留高さ(h)を考慮して、仮想支点は0.1h~0.3hとしてよい。但し最大値は1/βとする。 5) 横方向地盤反力係数(KH)は設計要領共通編第2章仮設構造物に準じる。 3 運用上上記項目の適用が不相当と思われる箇所については、別途考慮する。

① 根入れ長(H)は、河川整備計画の低水路河床高又は最深河床高の深い方より2~4m。

② 応力計算不要。

① 根入れ長(H)は、河川整備計画の低水路河床高又は最深河床高の深い方より2~4mか、〔h+仮想支点+3/β〕の長い方より決定。

② 応力計算を行い矢板形式を決定。(Ⅱ型の標準型以上)

③ 根固めブロック高の1/2より受働土圧を考慮する。

2-9-4 鋼矢板使用区分

護岸用鋼矢板の選定については、経済性、安全性について検討を行い選定するものとする。

- ① 応力計算をしないで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。
- ② 応力計算をして使用する矢板については計算値により使用する型を決めるものとする。決定にあたっては施工性等の現場条件を勘案して標準型、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。
- ③ 鋼矢板の腐食代は表裏合わせて2mmを考慮するものとする。
なお、特に腐食が著しいと判断される場合には現地に適合した腐食代を見込むことができるものとする。
- ④ 継続工事等で鋼矢板の変更が出来ない場合は従来とおりとするが、構造物等の区切りの良い箇所から変更するものとする。
- ⑤ タイロット式護岸の控杭に鋼矢板を用いる場合も、①②を準用することを原則とする。
- ⑥ 高水護岸漏水防止矢板についても①②を準用することを原則とする。
- ⑦ 樋門・桶管等河川構造物の遮水矢板については①②を準用する。

2-10 根固工

根固工は、河床の変動等を考慮して、基礎工が安全となる構造とするものとする。

【解説】

護岸の破壊は、基礎部の洗掘を契機として生じることが多い。根固工は、その地点で流勢を減じ、さらに河床を直接覆うことで急激な洗掘を緩和する目的で設置される。

根固工は大きな流速の作用する場所に設置されるため、流体力に耐える重量であること、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となる。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。根固工下端が護岸基礎面より下る場合は基礎工底面とする。また、根固工とのり覆工との間に間隙を生じる場合には、適当な間詰工を施すものとする。

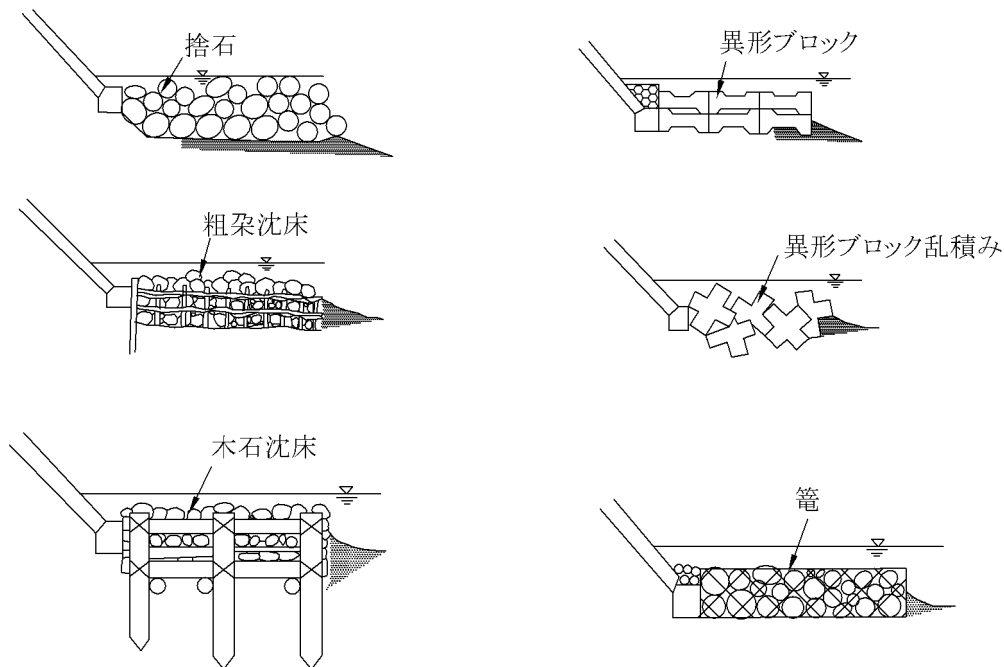


図3-17 根固工の代表的な工種

- 1 捨石工：十分な重量を有する捨石を用いる。
- 2 沈床工：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：蛇籠、ふとん籠等を用いる。
- 4 異形コンクリート、ブロック積工
：各種の異形コンクリートブロックを用いたもので、層積みと乱積みがある。

異形コンクリートブロックは、洪水時の外力評価を行い、過去の経験、類似河川の実績等を考慮して安定した質量のものを決定するものとする。

根固工の天端幅については、建設省河川砂防技術基準(案)、同解説〔平成9年度改訂新版〕P-36により天端幅を算定するが、設置箇所の河道特性、過去の経験、類似河川の実績等も考慮し、総合的に決定するものとする。

2-11 すり付け工

護岸上下流端部に設けるすり付け工は、上下流端で河岸侵食が発生しても本体に影響が及ばないような構造とするものとする。

〔解説〕

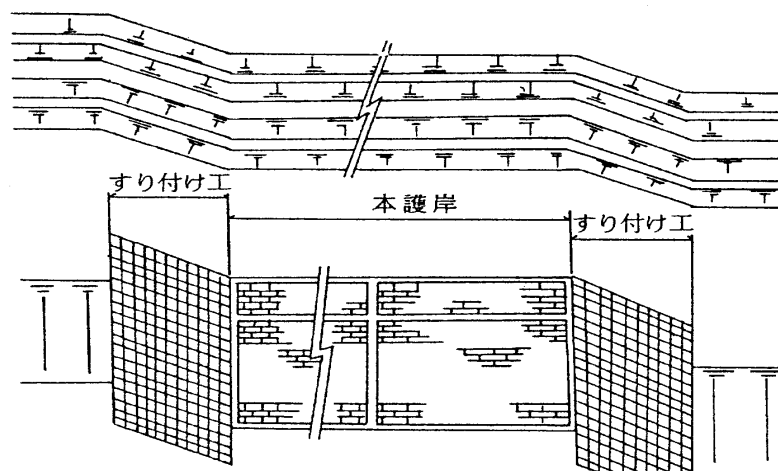
すり付け工には、護岸上下流で侵食が生じた際に、侵食の影響を吸収して護岸が上下流から破壊されることを防ぐ機能がある。また、粗度が小さい本護岸で生じる速い流れが直接下流側河岸にあたらないように、粗度の大きなすり付け工部で流速を緩和し、下流河岸の侵食を発生しにくくする機能もある。このような機能を満足するため、すり付け工は屈とう性があり、ある程度粗度の大きな工種を用いることが望ましい。

すり付け工の施工幅は、その機能から最低限のり覆工および天端工の範囲をカバーする必要がある。また、のり尻の侵食を防止できるよう河床面に適切な幅の垂らし幅を確保する必要がある。

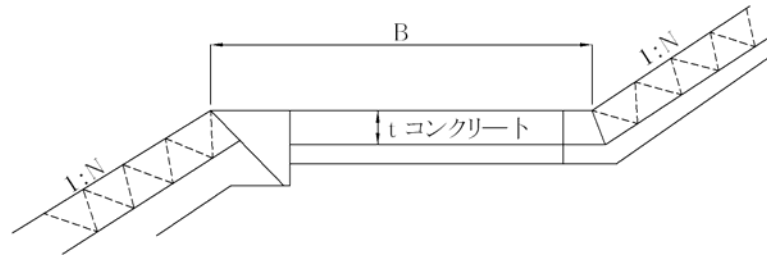
施工延長は既往事例からは概ね5m以上となっているものが多いが、河道の特性等に応じた適切な施工延長を検討することが望ましい。

すり付け工は上流の侵食に伴い、流体力によってめくれ上がり、破壊する事例が多く、特に、急流河川のすり付け工に被災事例が多く見られるため、この点についても考慮する必要がある。

すり付け工の控え厚はすり付け端部において流水の作用により生ずる。めくれを考慮して安全な厚さとなるように設計する必要があるが、控え厚が大きくなり経済的でない場合は、めくれのないような工夫（上流先端部の地中への埋込み等）をすることが望ましい。



2-12 低水護岸において小段を設ける場合の取扱いについて



※ 小段のコンクリート厚については、法部同様外力評価に基づき決定するものとする。

3 護岸の安全性の照査

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 外力

護岸の安全性の照査のうち、力学的な安定性を照査するためのおもな外力は、流水による流体力と土圧および水圧である。このほかにも、土石流、高潮、波浪、アイスジャム、載荷重などを考慮すべき場合もあるので、必要に応じて検討する。堤防、河岸に作用する侵食力の大きさや、護岸ののり覆工に作用する抗力、揚力などの流体力は、流速の大小と密接に関連している。このため、流速の評価は照査において重要となる。また、護岸の設計では、洪水時の最深河床高が重要な設計条件となる。護岸の被災事例の多くが、流水による急激な河床洗掘を契機とした基礎工の流出を原因としているためである。なお、基礎工の沈下やのり尻からの土砂の流出などを防止するために設置される根固工を設計する場合でも最深河床高の評価は重要である。

洪水時に発生する流速は、護岸を設置する個所の最深河床高、低水路および高水敷の粗度、のり勾配などの影響を受ける。したがって、設計に用いる流速や、最深河床高などの設計条件は、水理模型実験、数値計算、最近の研究成果による理論的な算定方法等の中から護岸設置個所の河道特性を反映できる方法で評価する必要がある。ここでは、堤防、河岸に作用する流速を代表流速 V_o と定義して、その求め方の一手法を示すとともに、河道特性に応じた最深河床高の評価方法を示す。

積み護岸、擁壁護岸、矢板護岸などでは、一般に流体力より土圧および水圧が安定性を支配する外力になる。土圧および水圧に対する安定性は、道路構造物の設計などで一般的に用いられている方法により検討する。擁壁、矢板の設計では、地震時の土圧および水圧についても必要に応じて検討する。

2 代表流速の求め方

堤防および低水河岸の護岸設計に用いる流速を代表流速 V_o を定義する。本書に示す代表流速 V_o の算定方法は、マンシングの平均流速公式で求めた平均流速 V_m について、考慮されていない要因を水理的に評価補正することにより補正係数 α を求め、

$$V_o = \alpha V_m \quad (3-6)$$

として求めるものである。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れが生じる場合等には、この手法では V_o の評価が困難である。このような流れが複雑な場合は、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。

平均流速 V_m は、護岸の設置位置に応じてマンニングの平均流速公式より算定する。

$$V_m = \frac{1}{n} H_d^{2/3} I_e^{1/2} \quad (3-7)$$

ここで、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、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さす。

洗掘や湾曲などの影響により、式(3-7)で求まる V_m を補正する必要がある場合には、式(3-6)の補正係数 α を用いて代表流速 V_o を求める。補正を行う要因には、砂州の発生、川幅の変化、低水路の流れと高水敷の流れの干渉、湾曲などの河道特性による要因、および根固工、橋脚、堰・床止め上流部などでの構造物周辺の局所的な流れの変化などがあげられる。具体的な補正係数の値については種々の研究成果等から定めるものとする。

3 最深河床高の評価法

最深河床高の評価法

最深河床高は、洪水時の洗掘現象や埋戻しによって変化する。この変化の状態は河道特性によって異なり、定量的な評価に必要なデータ収集が観測の難しさもあって現段階では不十分なことから、最深河床高の定量的評価は難しい。そのため、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：経年的な河床変動データからの評価
- 方法 2：既往研究成果からの評価
- 方法 3：数値計算による評価
- 方法 4：移動床水理模型実験による評価

これらの方法のなかから、河床変動データの所在状況、河道特性、設計対象区間の重要性等を勘案して適切な方法を用いる。これら 4 つの方法のうち、「方法 1」は、過去の被災状況や河床材料および岩の露出状況といった河床変動要因を把握するのに有効である。ただし、計画高水位相当の洪水を経験していない場合や、洪水後の埋戻し現象によって必ずしも洪水中の最深河床高を把握できていないこともあるため、「方法 2」による評価と併せて最深河床高を評価することが望ましい。

4 のり覆工の流体力に対する安定性の照査法

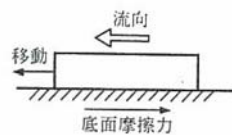
コンクリートブロックのように底面が平坦で、上下流端がすり付け護岸で保護されているのり覆工では、流体力によりコンクリートブロックが滑動する破壊形態となる。自然石のように、丸みを帯びた材料を用いたのり覆工では、流れにより掃流されてのり覆工が破壊される形態をとる。また、小口が保護されていない

のり覆工では、流体力によりのり覆工がめくれて破壊にいたることが多い。胴込コンクリートなどによりのり覆工が一体化されているかどうかは流水への抵抗力に差異を生じる。このことは同じ材料を用いたのり覆工でも設置状態が異なれば安定性が異なることを示している。さらに、のり面が比較的急な場合には、背面の土圧により倒壊する場合もある。これらの観点から、流体力あるいは土圧の破壊要因、滑動・めくれなどの破壊形態、小口や一体性などの設置状態を反映させ、安定性照査のモデルを設定する。

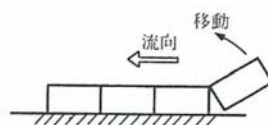
のり覆工の破壊要因は流体力、および土圧・水圧であり、のり勾配によりどちらが主要因となるか分類できる。一般に、のり勾配が 1:1.5 より緩い場合が‘張り’の状態であり流体力が破壊の主要因となり、のり勾配が 1:1.5 より急な場合が‘積み’の状態であり土圧・水圧が破壊の主要因となる。

(1) 張りの構造の破壊機構

- ①滑動：流体力が部材に作用し底面摩擦力を上回った場合にすべりだす現象である。空ブロック張りなどの単独部材を整然と配置したのり覆工や、練張りなど部材が群体とみなせるのり覆工の破壊形態である。



- ②めくれ：流体力の作用によって部材がめくれる現象である。小口のないのり覆工端部等に生ずる。例えば、すり付け護岸の連節ブロック端部の破壊現象にみられる。



- ③掃流：自然石などの部材が流れの作用により、転がり（転倒あるいは小跳躍して）移動する現象である。捨石のように部材間の一体性が弱いものと、空石張りのように部材間の一体性（かみ合わせ）が弱いものとで流体力を分けて検討する必要がある。また、籠工では中詰め材の掃流による籠の変形が破壊の主因となる。



以上によるのり覆工の流体力による破壊形態をまとめて表 3-7 に示す。

表 3-7 のり覆工の流体力による破壊形態

破壊形態	設置状態	安定性照査のモデル
滑動	単体	「滑動-単体」モデル
滑動	群體	「滑動-群體」モデル
めくれ	単体	「めくれ」モデル
掃流	一体性弱い	「掃流-一体性が弱い」モデル
掃流	一体性強い	「掃流-一体性が強い」モデル
掃流	籠詰め	「掃流-籠詰め」モデル

(2) 「滑動-単体」モデル

のり覆工の一体性が無く、個々の部材が流れの中に単独で置かれた状態を想定する。空ブロック張り護岸等が該当する。単体として扱うことのできるのり覆工の流体力に対する安定検討は、滑動、流れ方向の転倒、のり面最大傾斜角方向の転倒が考えられるが、一般に用いられるのり覆工では、滑動に比べて転倒に対する安定性がかなり高いことがわかっているため、一般には式 (3-8) 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おこなえばよい。

$$\mu (W_w \cos \theta - L) \geq ((W_w \sin \theta)^2 + D^2)^{1/2} \quad (1-8)$$

$$L = \frac{1}{2} \rho_w C_L A_b V_d^2$$

$$D = \frac{1}{2} \rho_w C_D A_b V_d^2$$

ここで、 μ : 摩擦係数 (一般に $\mu = 0.65$)、 W_w : のり覆工の部材の水中重量、 θ : のり面勾配、 ρ_w : 水の密度、 g : 重力加速度、 C_L : 部材の揚力係数、 C_D : 部材の抗力係数、 A_b : 部材の上方投影面積、 A_b : 部材の流下方向投影面積である。式 (3-8) 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、 W_w 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。同じ部材を、次に示す「滑動-群體」モデルにより照査して求まる W_w は拘束効果を考慮した値であり、 W_w の下限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。

式 (3-8) に用いる抗力・揚力は、のり覆工表面の相当粗度 k_s 高さでの流速である近傍流速 V_d を用いて評価する。

「滑動-単体」モデルに用いる抗力係数 C_D 、揚力係数 C_L は、単独に設置した状態での係数を用いる必要がある。一般に、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ことが基本であるが、水理公式集や既往の実験成果により形状が類似の部材の値を流用することもできる。また揚力係数 C_L の簡便な設定方法として、とりうる範囲の上限値に近い 1.0 程度の値を与えて安全側の照査を行う方法もある。

(3) 「滑動－群体」モデル

このモデルには、胴込コンクリートや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、隣接部材と接した面への流体力の作用を無視できる工種であり、練張護岸、連節ブロック護岸等が該当する。群体にあつて単体と同様に流体力に対する安定性検討は、滑動について行えばよく、式(3-8)を基本式とした検討を行う。ただし、揚力 L 、抗力 D を評価する際の投影面積のとり方は異なり

$$L = \frac{1}{2} \rho_w C_L A_g V_d^2$$

$$D = \frac{1}{2} \rho_w C_D A_D V_d^2$$

である。ここで、 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である。したがって、 C_L 、 C_D は各々の面積に対して評価された係数を用いる。これにより求まる W_w は、整然と平面的に施工された一体性を持つのに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に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。

群体として扱うのに覆工でも、のり覆工表面の相当粗度 k_s 高さでの近傍流速 V_d を用いるが、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。また、抗力係数 C_D 、揚力係数 C_L は、単体と同様に実験等を基本に定めるものとする。

(4) 「めくれ」モデル

このモデルには、のり覆工の上流側端部の小口が保護されていない状態で設置されている空張り、あるいは連節ブロック護岸等が該当する。「めくれ」モデルでは、のり覆工の部材の重量（あるいは控え厚）は次式に示すように、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に照査を行う。

$$W_w \cos \theta l_b / 2 \geq L l_L + D l_D \quad (3-9)$$

ここで、 l_b ：上流端の部材の流下方向長さ、 l_L ：上流端の部材の揚力に対する回転半径、 l_D ：上流端の部材の抗力に対する回転半径であり、揚力、抗力のとり方は「滑動－単体」モデルと同じである。この場合に求められる重量は安定条件の限界に近いものであり、十分に安全とするために割り増すと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端部における流体力の作用する面積を小さくする工夫をすることが望まれる。

流体力は、「滑動－単体」モデルと同じく乱れを考慮した近傍流速を用いる。また、抗力係数 C_D 、揚力係数 C_L についても、他モデルと同様にして実験等を基本に定めるものとする。

(5) 「掃流—一体性が弱い」モデル

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り覆工であり、捨石護岸が該当する。単独の部材の安定に関する照査を行う。具体的手法としては、アメリカ工兵隊の基準にある、捨石径の算定方法に基づいて照査するとよい。すなわち、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_0 と部材の大きさの関係を次式により定める。

$$D_m = \frac{1}{E_I^2 \cdot 2g \left[\frac{\rho_s}{\rho} - 1 \right]} V_0^2 \quad (\text{m}) \quad (3-10)$$

ここに、 D_m ：石の平均粒径、 ρ_s ：石の密度、 E_I ：流れの乱れの強さを表す実験係数である。通常は $E_I=1.2$ 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、 $E_I=0.86$ という値が示されている。

式 (3-10) は水平面上の捨石について与えられるものであり、捨石を斜面角度 θ 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。ここで、 ϕ は石材料の水中安息角（ ϕ ：自然石で 38° 程度、碎石では 41° 程度）である。

$$K = \frac{1}{\cos \theta \sqrt{1 - \frac{\tan^2 \theta}{\tan^2 \phi}}} \quad (3-11)$$

(6) 「掃流—一体性が強い」モデル

一体性が強いり覆工とは、ほぼ等しい大きさの部材（切出し石など）が、か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状態である。空石張り護岸が該当する。

河床材料の掃流と同じ現象であり、一般に掃流力が限界掃流力を上回った場合に移動が生じる。限界掃流力はシールズなどの水平床上での実験式によって求められた

$$\tau_{*d} = 0.05 \quad \tau_{*d} : \text{部材に作用する無次元せん断力} \quad (3-12)$$

とし、角度 θ の斜面に設置する場合には次式の補正を行うことにより部材の必要径を照査する。

$$\tau_{*sd} = \tau_{*d} \times \cos \theta \sqrt{1 - \frac{\tan^2 \theta}{\tan^2 \phi}} \quad (3-13)$$

τ_{*d} を求める際の相当粗度 k_s は D_m と等しくとればよい。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、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。

(7) 「掃流一籠詰め」モデル

籠詰め状態ののり覆工とは、ほぼ同一粒径の球状の材料（石など）が籠状の枠の中に詰められている状態であり、フトン籠護岸、蛇籠護岸が該当する。籠詰め状態ののり覆工は、代表流速 V_0 に対して、籠に変形を与えるような籠詰め材料の移動を原則として許さないものとして安定性を照査する。したがって、籠詰め材料が無次元掃流力に耐えうるよう照査を行う。ここでは、無次元限界掃流力をコロラド大学の実験結果より

$$\tau_{*d} = 10 \text{ (籠の変形を許さない場合)}$$

$$\tau_{*d} = 12 \text{ (籠の変形を多少許す場合)}$$

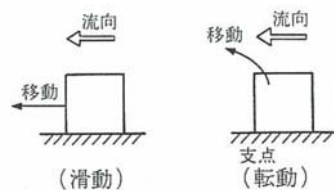
として、部材の必要径を照査する。ただし、これらの値は水平床上での値であり、角度 θ の斜面上に設置する場合は「掃流一一体性の強い」モデルに示した式 (1.13) を用いて補正する。ただし、布団籠を階段状に設置する場合は平坦に設置した条件で計算してよい。中詰め石の平均粒径 D_m は、 τ_{*d} を求める際の相当粗度としては $k_s = 2.5D_m$ 程度として算出する。

また、新しい材料等を用いて強度の高い籠を用いる場合などでは、個々の場合について実験により τ_{*d} を定める必要がある。

5 根固工の流体力に対する力学的安定性の照査法

根固工の破壊は流体力が主要因である。なお、洗掘による変形に対しては、最深河床高の評価高を想定して十分な敷設幅をもたせることにより対応する。根固工のおもな破壊形態を以下に示す。

①滑 動：部材に作用する流体力が底面摩擦力を上回った場合にすべりだす現象である。根固工の上流端や河床変動に伴い変形して突出した部材、凹凸の大きなコンクリートブロックなど、流れの作用を全体的に受ける部材に生ずる。たとえば、根固工上流端部の異形ブロック層積み工、異形ブロック乱積み工などの破壊現象にみられる。



②転倒：流体力の作用によって一点を支点として部材がめくれ、回転する現象をさす。たとえば、根固工上流端部の異形ブロック層積み工、異形ブロック乱積み工などの破壊現象にみられる。

③掃 流：部材が流れ方向の抗力や揚力の作用を受け、河床上を転倒あるいは河床付近で小跳躍を繰り返しながら移動する現象である。部材が平坦に敷き並べられる工種にみられ、自然石や凹凸の少ないコンクリートブロックの部材が整然と設置された場合に生ずる。例えば、捨石根固工、籠根固工などの破壊現象にみられる。

また、ブロック等の設置状態により層積み、乱積み、籠詰めに分けることができ、設置状態によっても安定性の考え方が異なってくる。以上の破壊形態をまとめて表 1-8 に示す。

表 3-8 根固工の破壊形態

破壊形態	設置状態	安定性照査のモデル
滑動、転倒	層積み	「滑動・転倒一層積み」モデル
滑動、転倒	乱積み	「滑動・転倒一乱積み」モデル
掃流	乱積み	「掃流一乱積み」モデル
掃流	籠詰め	「掃流一籠詰め」モデル
掃流	中詰め	「掃流一中詰め」モデル

(1) 「滑動・転倒一層積み」モデル

上流端に位置する根固工であって、流体力による滑動、あるいは転倒により部材の一連部分に移動を生じる。設置面はほぼ平らであり、規則的に敷き並べられた状態を想定する。異形ブロック層積みの根固工が該当する。

流体力が部材のほぼ全体に作用し、上流端部の根固工や、凹凸の大きな根固工では、滑動・転倒の両方を想定した照査を行う。根固工の所要重量は流速の6乗に比例するので、流速の変化に対し重量の変化が非常に大きい点に留意する。

滑動および転倒に対する安定条件より、根固工の所要重量は次式により与えられる

$$W > \alpha \left(\frac{\rho_w}{\rho_b - \rho_w} \right) \frac{\rho_b}{g^2} \left(\frac{V_d}{\beta} \right)^6 \quad (3-14)$$

ここで V_d には一般に代表流速 V_o を用いてよい。また、係数 α 、 β は部材の配置形状によって異なる。これらの値は、根固工の形状、部材の方向、配置形態に応じて、水理模型実験や現地の施工実績により求めることが望ましい。水理模型実験により数種類の異形コンクリートブロックについて求めた α 、 β を表 3-9 に参考として示す。

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、異形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り応力が作用しない構造とする必要がある。

表 3-9 異形コンクリートブロックの係数 α の参考値

ブロック種別	模型ブロックの比重	α (1×10^{-3})	β
対称突起型	$\rho_b / \rho_w = 2.22$	1.20	1.5
平面型	$\rho_b / \rho_w = 2.03$	0.54	2.0
三角錐型	$\rho_b / \rho_w = 2.35$	0.83	1.4
三点支持型	$\rho_b / \rho_w = 2.25$	0.45	2.3
長方形	$\rho_b / \rho_w = 2.09$	0.79	2.8

(2) 「滑動・転倒－乱積み」モデル

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・転倒による移動が生じる。異形ブロック乱積みの根固工が該当する。

このモデルの安定性の照査式は、「滑動・転倒－層積み」モデルと同様である。式中に用いられる α は抗力係数、揚力係数などによる係数であり、「滑動・転倒－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 $\beta = 1.0 \sim 1.3$ の範囲で設定するとよい。敷設個所が現況より深掘れする恐れが強い場合など、安全性を高める場合には、 $\beta = 1.0$ とする。

(3) 「掃流－乱積み」モデル

面的に設置された部材に作用する流体力が限界掃流力を上回って、掃流状態（転倒や跳動）により移動する現象である。面的に密に敷き並べられていても、隣接部材との一体性が弱いため、単独で設置された状態を想定して安定検討を行う。捨石根固工が該当する。

安定性照査の基本式の考え方は、アメリカ工兵隊の基準にある捨石径の算定方法に基づいている。具体的内容は、のり覆工の「掃流－一体性が弱い」モデルと同様である。このとき、流速には設置個所の代表流速 V_0 を用いる。

(4) 「掃流－籠詰め」モデル

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、中詰めの部材が掃流によって移動して破壊する。フトン籠の根固工が該当する。

安定性照査の基本式は、籠状の枠の中で籠の変形を生じるような中詰め材料の移動を原則として許さないものとするもので、具体的な内容はのり覆工の「掃流－籠詰め」モデルと同様である。

(5) 「掃流－中詰め」モデル

中詰め状態の根固工とは、ほぼ等しい径の部材（切り出し石など）がかみ合わせ効果を持ちながら、格子枠状のものに詰められているもので、部材が流体力で掃流され破壊される。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照査を行う。具体的内容については、のり覆工の「掃流－一体性が強い」モデルと同様である。

4 自立式矢板護岸等

4-1 適用範囲

本細目は自立式矢板護岸等の設計に適用する。

〔解 説〕

一般の護岸の設計は安定計算を実施していないが、自立式矢板護岸等の設計においては安定計算を行うものとする。

4-2 設計荷重及び設計条件

自立式矢板護岸等の安定を計算する必要がある場合には、設計荷重として、自重、土圧、地震時慣性力、残留水圧、護岸背面の上載荷重を考慮するものとする。また、仮想地盤面についても考慮するものとする。

〔解 説〕

護岸背面の上載荷重は、余盛り、トラック等の運行、地盤沈下後の嵩上げ盛土、背面舗装、積雪地域では雪荷重等を考慮し次の標準値を参考にしている事例が多い。

常 時 $q = 9.81\text{kN/m}^2$

地震時 $q = 4.90\text{kN/m}^2$

(レベル 1)

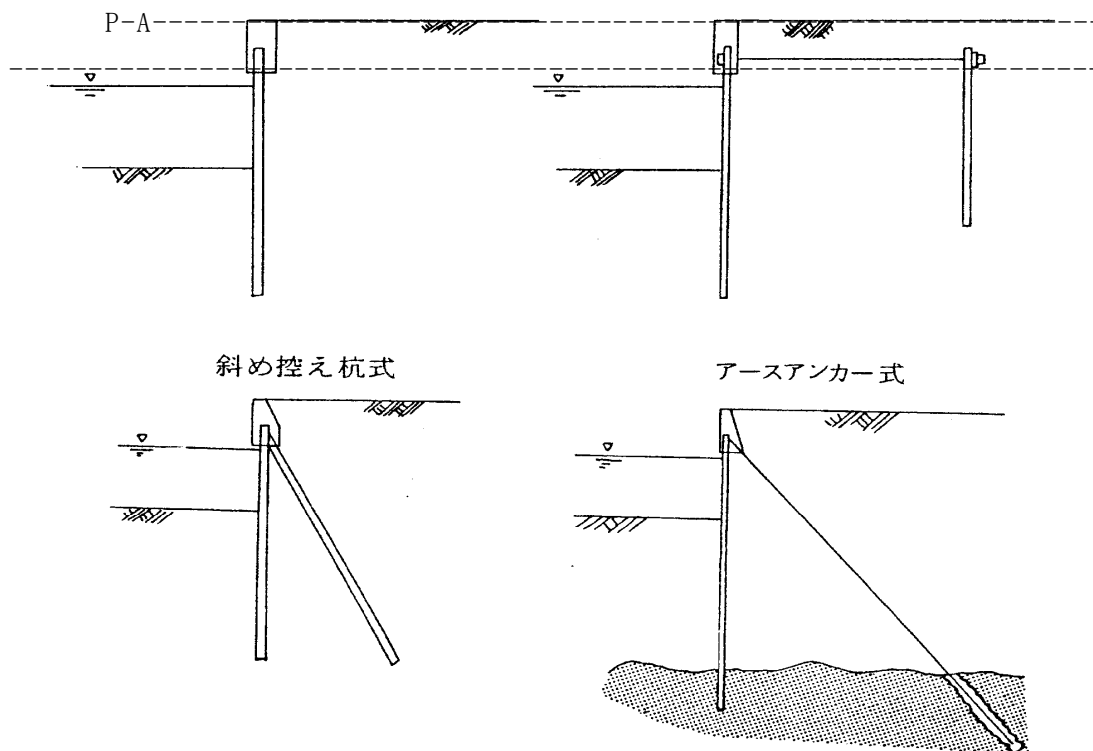


図 3-18 鋼矢板護岸の例

4-2-1 土留高

I) 一連区間の最深部を土留高とする。

(注) 一連区間とは 100m~500m を考えて実施すること。

II) 根固（乱積）箇所では断面の大きな乱積の根固工がある場合は、根固工の高さの $1/2$ 程の高さを設計河床と考えることができる。

III) 河床掘削がある場合は、河川整備計画の低水路河床高とする。

IV) 洗掘のおそれのある箇所は、河床変動及び上下流の洗掘深等を調査し決定すること。

4-2-2 水 圧

I) 残留水圧は水位高の $2/3$ 程度とする。

II) 外水位については、常時の場合には低水位、地震時の場合には平水位とする。

III) 自然地下水位が外水位より高い場合は、自然地下水位からの水位高とする。

IV) 地震時では残留水位はないものとする。

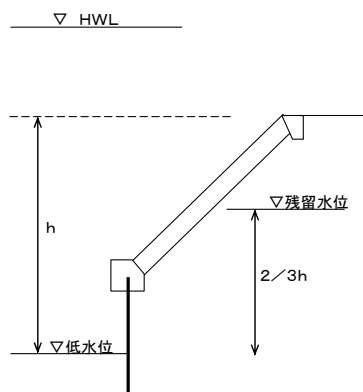


図3-18-1 残留水位の水位高（常時）

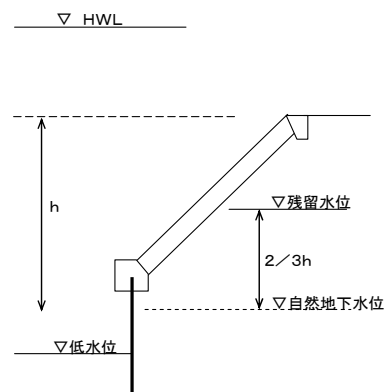


図3-18-2 残留水位の水位高（常時、自然地下水位あり）

4-2-3 鋼矢板選定

本章本節 2-9-3 及び 2-9-4 を参照すること。

4-2-4 鋼矢板の継手効率

鋼矢板の継手効率等一覧表

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	断面算定	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	$I=0.80 \times F$	2mm	180	270
仮設	※ 二重縮切方式 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 1 m 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 (腐食時の剛矢板断面係数 Z / 腐食のない場合の断面係数 Z₀)
- (3) 本設の腐食代は、感潮区間等で特に腐食の著しいところでは別途考慮すること。
- (4) 矢坂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。
- (5) 鋼矢板の設計長は本設、仮設とも 0.5m 単位で切り上げる。

4-2-5 地震の震度（レベル1）

I) 震度は河川砂防技術基準

II) 堤防背後地等に地震時（レベル1）に悪影響を及ぼす箇所については、耐震構造とする。

悪影響を及ぼす箇所とは下記又はそれに準ずると判断する箇所とする。

- ① 矢板護岸は、土留機能を主とした特殊堤の一部となること、水深が深いことなどの箇所に設置する事例が多い為、高水敷幅が50m程度の箇所。
- ② 堤防定規断面内に矢板がある場合。

4-2-6 変位置

常時 50mm 地震時（レベル1） 75mm

4-2-7 円弧すべりの安定計算

軟弱地盤上の護岸、岸壁などの構造物は円弧すべりに対する安定性の検討を必要とする場合があります。

円弧すべりは円形に近いすべり面で破壊することが多く、計算上はすべり面を円弧と仮定します。この計算は予想されるすべり円弧の中心の位置と円弧の大きさを仮定し、分割法、摩擦円法などによって安全率を求めます。

安全率は、すべりを生じる力とすべりに抵抗する力の円の中心に関するモーメントの比であらわされます。

多くのすべり面について安全率を求め、最も小さいものをその構造物の安全率とします。分割法は地盤を図3-19のように便宜上等間隔に近いいくつかの部分に分割し、式(3-1)より安全率を求める方法です。

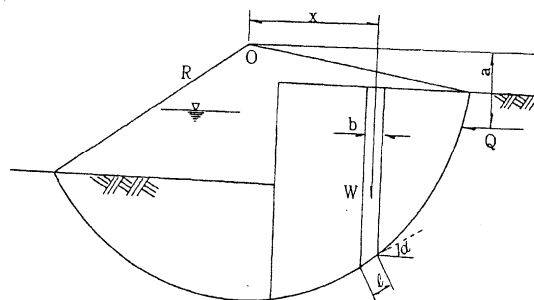


図3-19 円弧すべり

$$F_s = \frac{R \sum (cl + W \cos \alpha \tan \phi)}{\sum Wx + \sum Qa} = \frac{\sum (cb + W \cos^2 \alpha \tan \phi) \sec \alpha}{\sum W \sin \alpha + \frac{I}{R} \sum Qa} \quad (3-1)$$

ここに、 F_s : すべりに対する安全率

R : すべり円の半径 (m)

C : 土の粘着力 (kN/m²)

ϕ : 土の内部摩擦角 (°)

l : 分割片の幅 (m)

W : 分割片の有効重量 (土の重量と上載荷重の和)

水中部分の土については水中単位体積重量を考える (kN/m)

W : 分割片の全重量 (土と水の全重量と上載荷重の和) (kN/m)

α : 分割片の底辺の傾角 (°)

x : 分割片の重心とすべり円中心の間の水平距離 (m)

Q : すべり円内の土塊に働く水平外力 (水圧、地震力など) (kN/m)

a : 外力 Q のすべり円中心に関するアーム長 (m)

円弧すべりに対する設計目標値は原則として常時 1.25 程度とする。

ただし、

- ① 軟弱地盤上で側方流動や液状化の危険性のある地域と不確定要素の想定される場合は、別途考慮する。
- ② ①以外で護岸等の本堤に直接影響ない場合は 1.2 以上とする。

(参 考) 日本道路公団

側方流動の有無は、側方流動指数 (F 値及び F_u 値) にて判定する。

$$\textcircled{1} \quad F = \frac{\bar{C}}{\gamma \cdot H} \times \frac{1}{D}$$

ここに、 F : 側方流動指数 ($\times 10^{-2} \text{m}^{-1}$)

$F \geq 4$: 側方流動のおそれなし

$F < 4$: 側方流動のおそれあり (要対策範囲)

\bar{C} : 軟弱層の平均粘着力 (kN/m²)

γ : 盛土の単位体積重量 (kN/m³)

H : 盛土高 (m)

D : 軟弱層厚 (m)

5 護岸仮締切

河状、水深、施工時期、工事規模等の諸条件を勘案して、その工法、断面、長さを決定する。なお、締切高の決定については、工事期間中の水位、潮位等を検討のうえ定めるものとし、とくに重要な仮締切の場合は断面強度について必ず応力計算を行い、不測の事故を起こさないよう十分考慮すること。

5-1 仮締切高

設計対象水位は工事施工期間内の最大流量による水位とする。

〔解説〕

- (1) データの期間は、過去5ヵ年とする。
- (2) データの種類は、時刻のピーク水位（異常値を除く）。ただし、余裕高は考慮しない。
- (3) 最大流量は、近接水位観測所を参考として比例的に求める。
- (4) 締切り設置後の河積がせばめられ、明らかに水位の上昇が認められる場合等現場条件も考慮すること。
- (5) 海岸、河川高潮区間、感潮区間については、潮間作業等を含め別途考慮するものとする。

5-2 工法及び天端幅

水深 m	工 法	天 端 幅	適 用
1.5m以下	土 堤 方 式	4.0m	河口部は別途考慮
1.5m以上	矢板方式，矢板土堤混合	—	

- (注) (1) 上表を基準とするが、施工性、河状等を考慮して決定すること。
- (2) 土堤方式の場合、土俵積は現場条件により適宜計上する。
 - (3) 1ブロックの標準最大長さは150m程度とするが、現場条件等により考慮して決定すること。
 - (4) 波浪による波圧等は必要に応じて考慮すること。

5-3 仮締切撤去

土堤の撤去高は、現地盤までを原則とするが、河川整備計画の低水路河床が現地盤より高い場合は河川整備計画の低水路河床を目安とする。

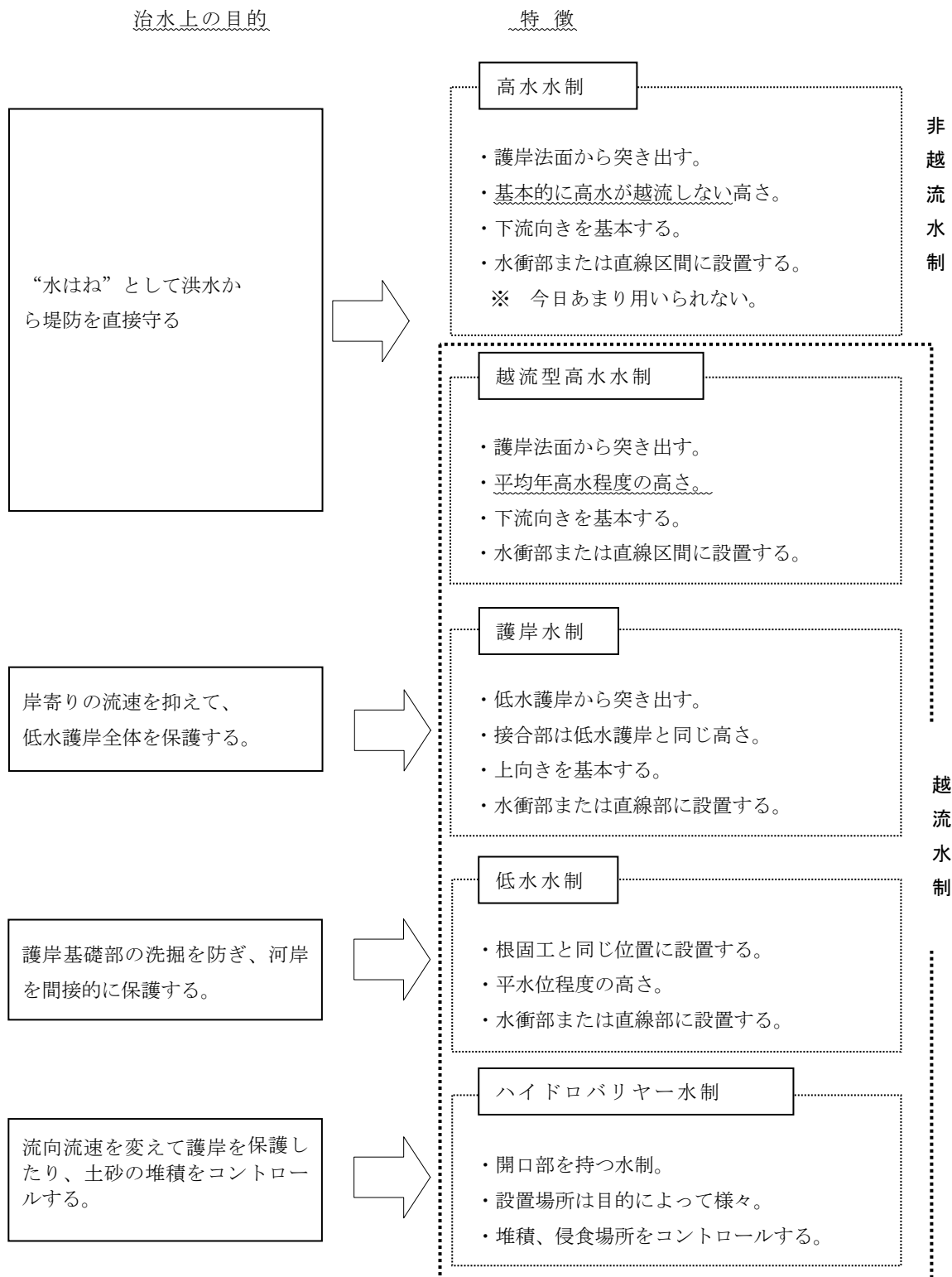
第4節 水 制

1 水制の目的と種類

水制を治水上の目的別に分類すると、高水水制、護岸水制、低水水制、ハイドロバリヤー水制の四種類に分けることができる。設計にあたっては、それぞれの特徴を踏まえて、機能・構造等を検討しなければならない。

〔解説〕

水制の目的と特徴を大別すると次のとおりである。



2 水制

2-1 水制設計の基本

水制は、高水敷等と一体となり、計画高水位（高潮区間にあつては計画高潮位）以下の水位の流水の通常的作用に対して堤防（掘込河道にあつては堤内地）を安全に防護できる構造とするよう、河川環境の保全・整備に十分留意しつつ、過去の経験・類似河川の実績、あるいは試験施工・模型実験の成果等を基にし、施工性、経済性等を考慮して設計し、必要に応じて施工後の経緯を踏まえて改良するものとする。

〔解説〕

水制は、堤防および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が、航路維持や河川環境の保全・整備のために設けられることもある。

水制には透過水制と不透水制がある。透過水制は流水が透過する構造のもので、水制が粗度要素となって流速を減じて洗掘を防いだり、適切に配置すれば土砂を堆積させる効果をもつ。不透水制は流水を透過させないもので、水制上を越流するかしないかで越流水制と非越流水制に分けられる。不透水制は水はね効果が大きいので、水制先端部や水制の下流部が特に洗掘されやすいので、水制周辺に根固工を設置する必要があることが多い。

水制の設計にあたっては、設置目的、設置個所の河道特性、外力条件、洪水特性などさまざまな要因が関係する。水制はそれらの要因を考慮して、類似河川や近隣区間での実績を参考にしながら、設置目的に適し、かつ計画高水位以下の水位の通常の水作用に対して、護岸等の構造物や高水敷と一体となって堤防を保護する、掘込河道にあつては堤内地を安全に防護する構造とするよう設計する。

水制はその周辺に多様な水環境を形成することから、河川の自然環境の保全・創出に効果を有するので、設計にあたってこの効果を十分に活かすよう、河道特性や自然環境を考慮して構造や材質を検討する必要がある。

水制の安全性に関する検討事項は護岸とほぼ同様であるが、水制は護岸以上に理論上の解釈を与えて設計することが難しく、過去の経験、類似河川の実績、あるいは新しい工種に関する試験施工、模型実験、調査研究の成果等を利用して設計するものとする。水制工の力学的な安定を理論的に設計することの難しい大きな理由は、河道は変化が大きく水制設置場の種々の特性（例えば洪水時の河床高、流速）を的確に予測することが難しく、さらに水制設置によってそれらが変化するので予測がより困難であることにある。したがってより合理的な水制工の設計を行うためには、以下の事項に留意して水制設置場の種々の特性と水制の水理について十分に検討し、必要に応じて施工後の経緯を踏まえつつ改良を図るものとする。

(1) 水制回りの局所洗掘

水制は河道内に設置され、流れに対して障害物となって河岸寄りの流速を低下させ、また、水をはねるものである。このことは、水制頭部に流水を集中させることになり、水制回りに洗掘が生じる。この洗掘は水制頭部の水深を確保する機能となる一方で、水製の破損原因となるので、水制回りの洗掘深がどの程度になるのか、洗掘範囲がどの程度であるのかを前もって評価しておくことが必要である。

(2) 水制による流速低減効果

水制による流速低減効果は、水制群を①相当粗度として評価する方法、②水制に働く抗力を算定して評価する方法がある。水制群による河川沿いの流速低減効果は、基本的にはこの考え方に従って評価しうるが、次のような課題がある。

①種々の形状の水制に対して、実験的な検討が行われておらず、水制形状が複雑なものは、理論中に含まれる種々の係数を実験により求める必要がある。

②水制域内と主流部との境界付近の流速の評価方法が不明確である。

③水制の効果は、水制域の平均流速で評価しうるものでなく、水制群内での土砂の働きとの関連性で評価されるべきであるが、この関係が明確となっていない。

(3) 水制域内への土砂の堆積条件

水制の設置に伴い、水制域間の土砂堆積現象が発生する可能性があるため、その効果と影響について把握する必要がある。この場合、水制域内に堆積する材料によって土砂の輸送形式が異なるので、土砂の粒径集団ごと（河川砂防技術基準調査編第4章河道特性参照）にその土砂の堆積・侵食量を評価する必要がある。

(4) 水制材料の移動限界流速

水制材料として使用される玉石、割石、コンクリート異型ブロック等は、水制の機能を保持しうるように、流水の作用によりその位置、形状が大きく変わってはならない。すなわち、水制を構成する材料は、流水に対して移動しないだけの重さ、大きさ、形状である必要がある。

(5) 水制工と河岸線

水制の高さが高く、土砂が水制間に堆積し高水敷化した場合、あるいは水制間の河床を人為的に埋め立てて高水敷化した場合には、水制間の河岸線の変化を検討しておく必要がある。

3 構造・設計細目

3-1 工種の選定

水制工の工種は、河川の平面および縦横断形状、流量、水位、河床材料、河床変動などをよく検討し、目的に応じて選定するものとする。

〔解説〕

2-1 解説に示した水制工の働きに対応して、次のような構造の水制工が選ばれる。
流速減少を目的とするもの

- (1) 水制の高さは低い。
- (2) 透過性あるいは水深に比し低い不透過性水制である。
- (3) 杭工などが主で軽い工作物になっている。
- (4) 数本ないし数十本が並置され、それが全体として作用する。

水はねを目的とするもの

- (1) 水制の高さは高い。
- (2) 半透過性または不透過性である。
- (3) 土石、コンクリートなどが主で容量が大きく、重い構造物になっている。
- (4) 単独あるいは少数並置される。

水制の工種としては

- (1) コンクリートブロック、四基構、三基構、大聖牛
- (2) 三角杵、ポスト、杵出し、籠出し、棚牛、笈牛、菱牛、川倉
- (3) 木工沈床、改良沈床、合掌杵、ケレップ、杭打ち上置工、杖(杭)出

などがあり、一般的にはこの順序で急流河川から緩流河川に使用されている。これらの工種は、杭としての抵抗によるものと水制自体の自重により流水に抵抗するものとに大別されるが、緩流河川では杭出水制が多く用いられ、急流河川では水制の強度の面から、また、河床材料の粒度が大きくなって杭打が不可能になることから、河床上に設置して自重で流水に抵抗するようなブロック水制あるいは聖牛が多く用いられる。

3-2 方 向

水制の方向は、一般に流向に対して直角または上向きとするが、その設置目的、河川の状況等により個々に定めるものとする。

〔解 説〕

水制の方向としては河川より河心に向かって上向き、直角、下向きの方向があるが、戦前において砂河川で用いられた航路用の水制および根固水制は 10～15 度程度上向きに向けられたものが多かった。これは水制もとづけ下流の洗掘軽減、水制間における土砂堆積のためには上向きのほうが好ましいとされたためである。

水制高の低い根固水制あるいは不透過水制については経済性の観点から、また土砂を積極的に堆積させなければならないというものでもないので、水制の方向は直角でよいと判断される。セグメント 1（扇状地河川）で特に急流の河川では、不透過あるいは半透過型の水はね水制を設置し、水衝部を河岸から離す計画がなされることがある。この場合は水制先端部の局所洗掘を軽減するために下向きに水制を設置するのが普通である。

3-3 長さ、高さおよび間隔

水制の長さ、高さおよび間隔は、河状、水制の目的、上下流および対岸への影響、構造物自身の安全を考慮して定めるものとする。

〔解説〕

1 河岸侵食防止のための根固水制

一般に強固な単独水制で流れに抵抗させるのは・水流の乱れを大きくし、水制付近に大きな洗掘を招くことが多く、また水制自身の維持も容易でない。したがって、一定区間にわたる水制群としての総合的な効果により流速を低減させ、かつ各水制が平等に抵抗力を発揮するよう、構造、配列を定める必要がある。上記の観点から水制の長さも上流側を短くし、上流の水制の水勢に対する負担を軽くする例もある。

流速を減少するために設置する水制の長さは河幅の10%以下、高さは計画高水流量が流れるときの水深の0.2~0.3倍程度、間隔は長さの2~4倍、高さの10~30倍程度にすることが多い。湾曲部の凹岸では水制の間隔は長さの2倍以下にすることが多い。砂河川での水制の高さは根付け付近で平水位上0.5~1.0m程度とし、河心に向かって1/20~1/100の下り勾配をつけるのが一般的である。急流部では高い水制を用いる傾向がある。

一般に水制はあまり長く出さないで水制と護岸を併設するのが維持管理上からも工費的にも経済的となる場合が多い。また、水制は河岸付近の流速を減ずることから、流下能力に影響を及ぼすことがあるので、特に長い水制を設置する場合には水制の長さ、高さを考慮して河道計画を検討する必要がある。なお、水制を用いず護岸根固工でも河岸侵食に対処しうるので、経済面・環境面・景観面など総合的に検討して水制設置の判断を行う必要がある。

2 河岸侵食防止のための水はね水制

高さが高く不透過である水制を設置する場合は、これを根固水制と位置付けるのではなく、水制先端線を結んだ線を河岸防御の防護線に位置付けて、侵食防止のための水制として位置付けるべきである。

扇状地河川で単断面河道にこのような水制を設置する場合は、水制工の元付け部分の高さは計画高水位程度とし、水制を越流した流水が堤防護岸をたたかないようにする。なお水制の前面の水位は、水制先端部の流水の流速水頭だけ水位が上昇するので、水制前後の堤防護岸は十分な高さまで練積み等の強固な護岸で保護しておく。この種の水制では、水制の間隔は当該区間に形成される砂州長さの1/2~1/3程度以下とする。

また、あまり長大な不透過水制を出すことは工事費の面で得策でない。この場合の水制の方向は、河岸に直か、多少下向きとする。

3 航路維持のための水制

航路維持のための水制は、中砂以下の河床材料をもつ河川を対象に設置する。砂利河川が対象にならないのは、我が国では長大水制で川幅を制御しようとする建設費が巨大となり、一方、勾配が急であるので、確保水深を砂河川並みに維持することが困難であることから、吃水深の浅い舟しか通行できないからである。

砂利河川の場合、河床は洪水時しか大きく変化しないので、プレジャーボートなどのためには掘削を行うほうが一般に得策である。

航路維持のための水制の長さ、高さ、間隔については文献や過去の事例等を参考に決定する。

4 河川環境の保全・創出のための水制

生態系の保全・創出に役立つ水制の機能としては、①水の流れに変化を与えることにより、水中生物に多様な環境を作る、②洪水時の魚の避難空間を形成する、③河岸を自然河岸と同様な環境としうる、の3点が考えられる。この場合の設計のポイントは次のようである。

- (1) 水制の材料として木材を用いる場合には、水面付近の木材が腐りやすい点に十分に留意して設計する。
- (2) 多孔質な材料（石材、籠工）を用いた水制を工夫する。
- (3) 意図的に水制によってワンドを形成する場合は、ワンドが土砂により埋没しないようにする。
- (4) 既存の護岸、根固め周辺の生態環境の改善を図るために水制を設置する場合には、護岸との取付部周辺で流体力が大きくなるので、護岸およびその周辺河岸の安全性に留意する。
- (5) 工事終了後に水制周辺に生ずる土砂の堆積、侵食、植生状態の変化等を想定して設計する。この想定のためには、ほぼ同じような河道特性をもつセグメントでの事例調査が役立つ。

4 透過・越流水制

4-1 水制の目的

水制は、岸から水の流りに突き出した構造物であり、流速減少と流向固定という2つの機能を有している。その機能により、流水の流向制御・河岸侵食や護岸基礎部の洗掘を防いで河岸を間接的に保護する働きおよび河床侵食作用による淵の形成など期待するものである。同時に、河岸へ土砂の堆積を誘導したり、水流に変化を与えるなど、平水位時の水際付近の水中と陸上の環境を多様化する作用もある。これらをうまく活用すれば、自然に近い河床と河岸の形成を促すことができる。

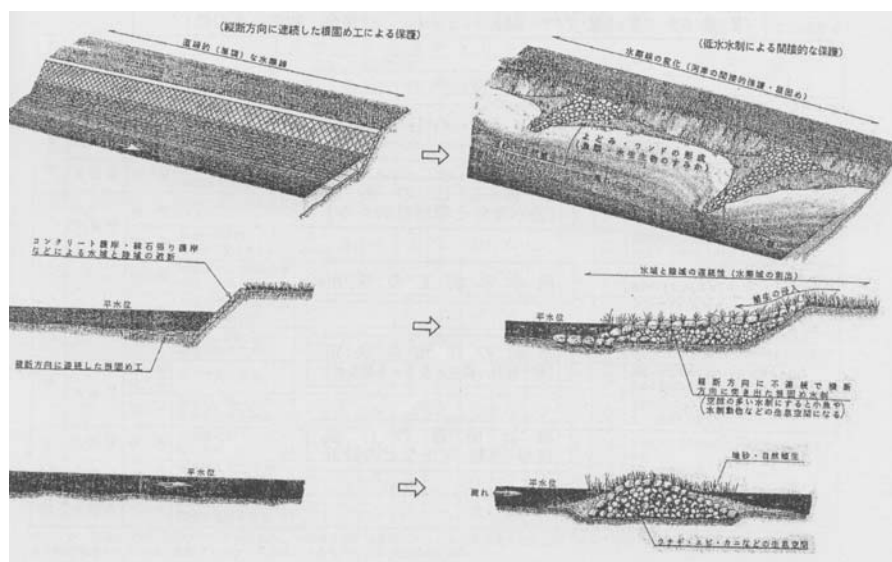
〔解説〕

従来我が国で実施されてきた水制は、河岸(堤防)を侵食破壊から守ることや低水路の水深を確保して航路を維持する等の治水・利水目的を主体とするものがほとんどであり、環境面を目的としたものはあまり見られない。

しかし、水制そのものには治水・利水機能の外に河岸の景観や生態系などを保全する機能があることが知られており、適切な水制タイプの組み合わせと配置により、生態学的な環境復元、護岸や堤防の保護に対しても成果を上げつつある。

なかでも低水水制工は、護岸前面に連続して設置される根固工に代わって、河岸を間接的に保護するとともに、水制の持つ環境保全機能を積極的に取り入れて自然の営力により河岸を形成するものである。治水上は、堤防を年に1度程度の洪水から直接守る越流型高水水制(水はね的水制)に対して、低水水制は根固め水制としての機能を持っているものが多い。

さらに、近年では、河道規模での土砂収支に関する問題の対策として水制工の研究や試験施工が進められ、水制工の役割と可能性が広がりつつある。



低水水制による水際の改善効果の概念図

4-2 水制の計画

近年様々なタイプの水制工の施工実績やそれを基にした研究成果から、各水制タイプの水理特性や環境形成の機能が明らかになりつつあり、河川の勾配や水深、流速および河床材料などの河道特性を十分に検討すれば、多くの河川および多くの区間でその設置が有効であると考えられる。その場合、目的を明確にして設置位置や材料、形状を検討しなければならない。

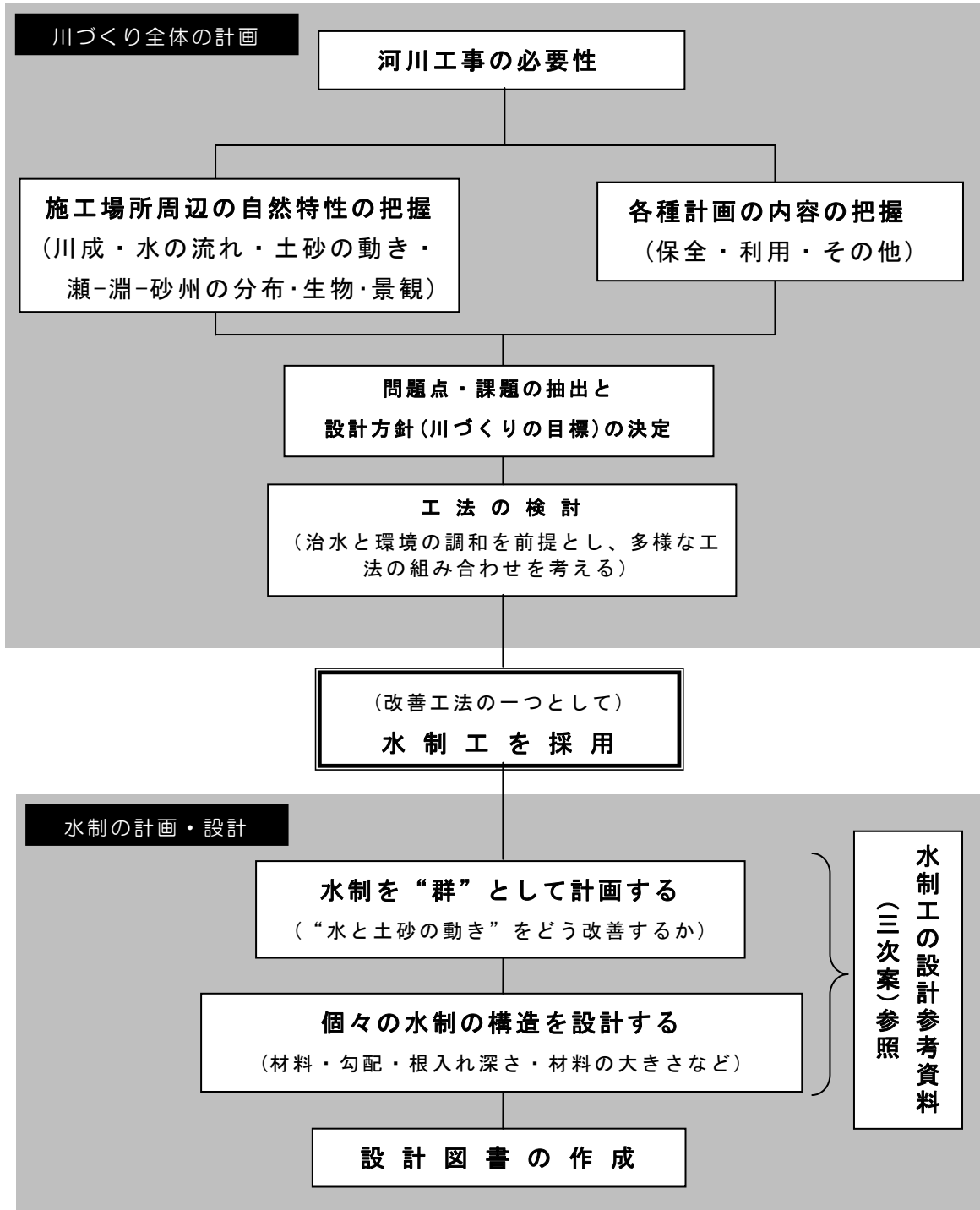
〔解説〕

低水水制については、今後、さらに、施工箇所のモニタリング結果などを踏まえて、水制工の計画・設計・施工の手法や留意点について新たな知見を整理していくが、当面の計画・設計にあたっては、「水制工の設計参考資料（三次案）（国土交通省九州地方整備局河川部）」を参考にするものとする。

川づくりの計画では、はじめに設計箇所の現状だけでなく上下流の河道の「水と土砂の動き」を把握し、これを制御するという視点で問題や課題解決に向けた設計方針を検討することを基本とする。

設計方針に応じた工法を検討する際に、水制工以外の工種を含め、各工法の機能に応じ適切な位置に組み合わせを行い、目指す流水の状況と河川地形の形成を促すことが望ましい。

また、個々の水制工の形状についても、自然界で安定している地形の構造を水制工に取り入れることで、自然環境と景観の保全と構造物の安定性の向上を図ることが望ましい。



4-3 構造・設計細目

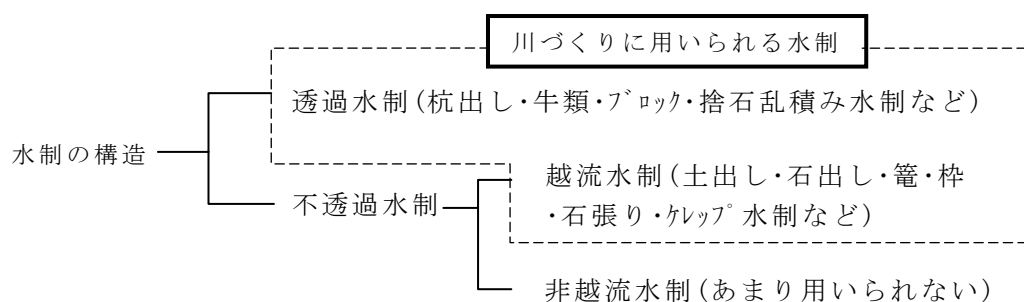
4-3-1 水制の種類と材料

水制を構造から分類すると透過水制と不透過水制に分かれ、不透過水制はさらに越流水制と非越流水制に分けられる。透過水制と不透過水制では、治水や生態系への改善効果が異なるため、目的に応じて使い分けるものとする。

材料の選定では、構造物の安定性の確保を前提とし、現地条件や川の歴史的・文化的な景観に配慮しながら、より効果的に機能させる材料を検討することが望ましい。

【解説】

上記に加えて、実際には透過と不透過の中間の半透過水制もある。コンクリート異形ブロックの乱積みによる水制は透過水制に分類されるが、施工の仕方によっては不透過に近くなる場合もある（間詰め施工など）ので、実際には半透過と見られる。



材料の選定条件

- ・現地調達ができることが、周囲の景観に調和する観点からも、最も好ましい
- ・屈とう性があり地形の変化に順応すること
- ・施工が容易で、災害時の補修などに対応できること
- ・構造が魚類や穴居動物、水生昆虫などの多様な生息空間となり得ること

材料の例

- ・自然石（野石、割り石、玉石など）
- ・植物（木杭、生木、芝など）
- ・異形ブロック
- ・その他、これらの複合型

低水水制のタイプと材料

おおよその適地 ○：適する △：場合によっては適する

セグメント(河川形態)			低水水制の種類と材料											備考
区分	設置場所	水際の 状態	水制の形	透過・半透過型水制				不透過型水制						
				聖牛	杭	ブロック	空石	練り	箆類	枠類	空石	土出し	ブロック	
1 上 流	水衝部	露岩	岩盤・巨石のように 仕上げる	—	—	—	—	○	—	—	△	—	△	岩盤が出ているところでは、通常は必要なし
	直線部	砂礫	短かい標準的なタイプ 水制長を変化させる	○ 高水用	△	△	△	○	○	△	○	—	○	上向き水制として、下流側に砂礫を堆積させる
	水裏部	砂礫	標準的なタイプで、 水制長を変化させる	○	△	△	△	○	○	△	○	—	○	透過水制も土砂の堆積で不透過になる可能性が大
2 中 流	水衝部	露岩	岩盤・巨石のように 仕上げる	—	—	△	△	○	△	△	○	—	○	岩盤が出ているところでは、通常は必要なし
		砂礫	短かい標準的なタイプ 水制長を変化させる	△ 高水用	△	△	△	△	○	○	○	—	○	局所洗堀に注意する 基礎を十分に入れる
	直線部	砂礫	中程度で、先端を水 中に入れる	△ 高水用	—	—	—	△	○	○	○	△	○	上向きとして、水制間に土砂の堆積をおこなう 横断勾配を少し変化させ、長さに変化をつける
		砂泥	中程度で、地形(横 断面)に近い形	—	○	△	△	△	○	○	○	△	○	不等沈下に注意する 屈どう性のあるタイプとすること
		ワンド	低くて、長いもの 植物を生育させる	—	△	△	△	△	○	○	○	△	○	透過型でも堆積で不透過になることがある 下流側にカギをつけてワンドが埋まるのを防ぐ
	水裏部	砂礫 砂	低くて、長いもの	—	△	△	△	△	○	○	○	○	○	○
ワンド		低くて、長いもの 植物を生育させる	—	△	△	△	△	○	○	○	○	○	○	水制だけでなく、ワンドも埋まる可能性がある 流下土砂量に注意する
3 下 流	水衝部	砂礫	水面幅に応じて中～ 長いもの	—	○	△	△	—	△	○	○	△	○	ブロックと石の透過型は、穴が埋まる可能性が ある 箆類は塩分に注意する ブロックの表面が見えないように、被覆する 周辺の状況に応じて、覆土・植栽を行う 低水路の固定に有効
	直線部	砂泥	水面幅に応じて中～ 長いもの	—	○	△	△	—	△	○	○	○	○	
	水裏部	ワンド	水面程度の高さで、 植物を生育させる	—	○	△	△	—	△	○	○	○	○	

ブロック：透過水制には異形ブロックの乱積み、不透過水制には異形ブロックと石の併用または方形ブロック等をしめす。魚介類の生息のためには、異形ブロックの乱積み、大きな石による空石積みが良い。

4-3-2 高さとの考え方

水制の高さと形は、水制群全体として「水の流れと土砂の動き」をどうするかを念頭において、個々の水制に求める「機能」に応じて決定することを基本とする。

〔解説〕

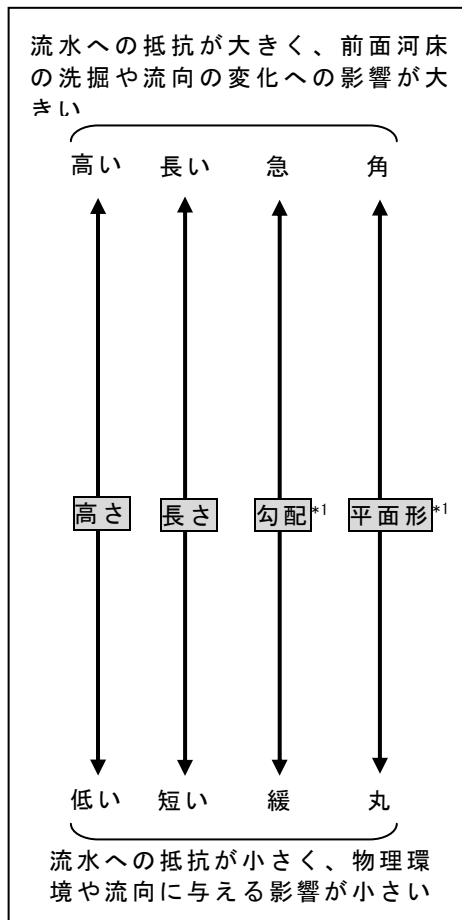
水制は、その高さとの形によって、果たす機能が異なる。

例えば、頭部形状を立てて角張らせた低水水制を水衝部の縮流区間（淵頭付近～水衝点の区間）に配置すると、河岸下部の侵食を抑制しながら水制前面の河床を適度に洗掘させて淵の水深を確保することなどが期待できる。

こうした伝統的な水制工で用いられてきた高水水制と低水水制の高さや形の組み合わせを、治水と環境に調和する対策工としてうまく応用することで、瀬から淵、そしてその淵尻からまた下流の瀬へと連続する自然に近い河床・河岸の環境形成を促すことが期待できる。

■ 水制の形状と物理環境の変化の傾向

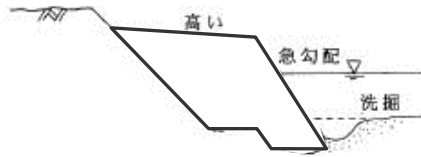
下に水制の高さや形とその作用との関係を示しているが、これはあくまで基本的な傾向を示すものである。実際にはその場所の川成・水の流れ・土砂の動きを読み、これに応じた水制（群）を検討する必要がある。



*1: 主に「頭部」の縦断勾配および平面形の意

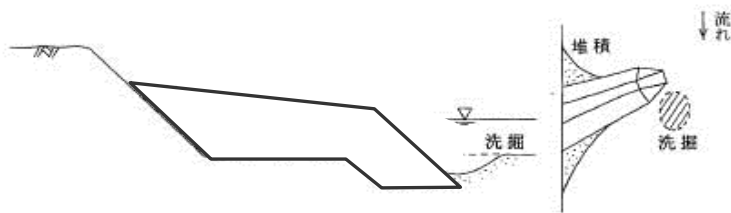
例1: 標準より「高い-短い-急勾配-角い」タイプ (水刎ね水制)

設置例: 湾曲部外岸で淵を積極的に創出・保全する場合の淵頭～淵尻、河岸に鈍角に当たる流向を変える場合の上流端など



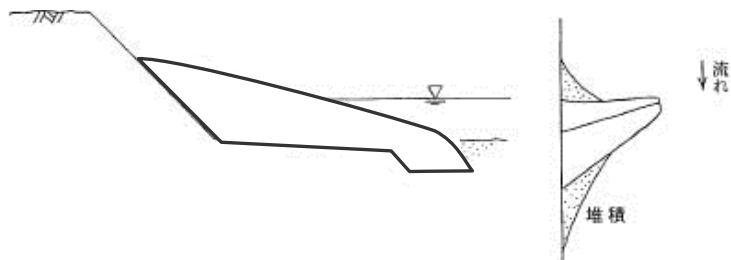
例2: 標準タイプ

設置例: 河岸に当たる流れを河心側に寄せる場合など



例3: 標準より「低く-長く-緩勾配-丸い」タイプ

設置例: 水制間へ土砂の堆積を促す場合や水制を越流した流れにより流向を制御する場合など



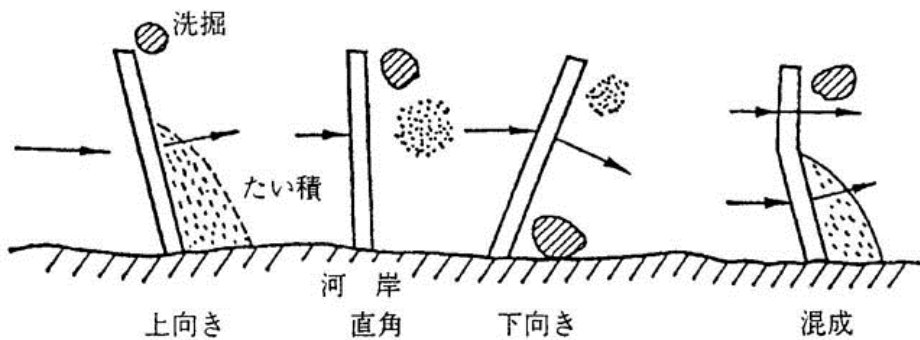
4-3-3 水制の方向

護岸基礎部の洗掘の防止に用いられる越流水制は、上向きまたは直角方向を原則とする。

〔解説〕

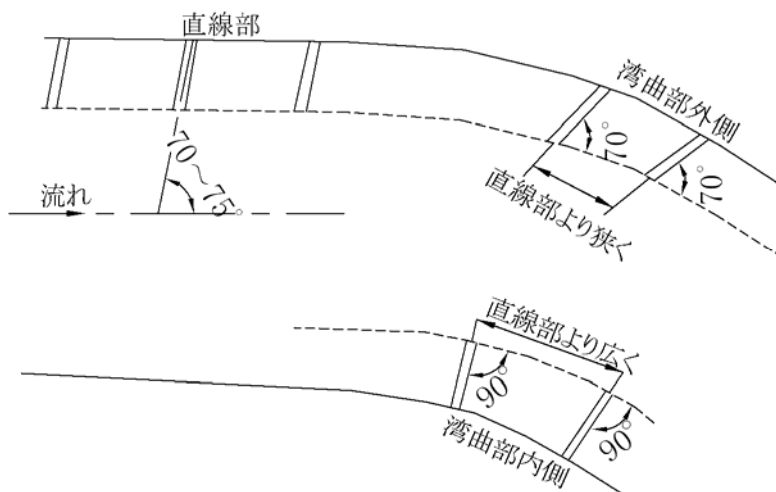
水制の中心軸の方向(以下、水制の方向)は、流れの方向に対して上向き、直角、下向きがある。水制を越流した水は、水制の方向に対して直角方向に流下するため、水制の方向によって、その下流側や対岸の土砂の侵食と堆積をコントロールすることができる。

下向きの越流水制は、洪水時の流れを河岸に向けるので一般には用いられないが、水制の下流側に淵をつくる場合や洲を除去する場合には有効である。



■ 設置箇所による上向水制の角度の目安

- ・水衝部 上向き70°程度
- ・直線部 上向き70°～75°程度(九州地方建設局の実績から)
- ・水裏部 90°程度(流れに対してやや上向きとなる)



4-3-4 水制の平面形状と長さ

水制の平面形状(線形)は、実施例からみると直線水制がほとんどであるが、河道状況や水制群における個々の水制に求められる「機能」に応じて使い分けるものとする。(三次案p.21参照。)また、長さについては、これまで施工例があまりないため、長さは平水時における川幅の10%以下を基本として、現地の自然景観に調和するよう短めに計画し、完成後の効果を見ながら必要に応じて継ぎ足しなどを行うのが望ましい。

〔解説〕

●直線水制

最も一般的な形状で、低水水制のほとんどがこのタイプである。水制の方向によって越した水の流向を変化させ、土砂の侵食と堆積をコントロールする。

●カギ型水制

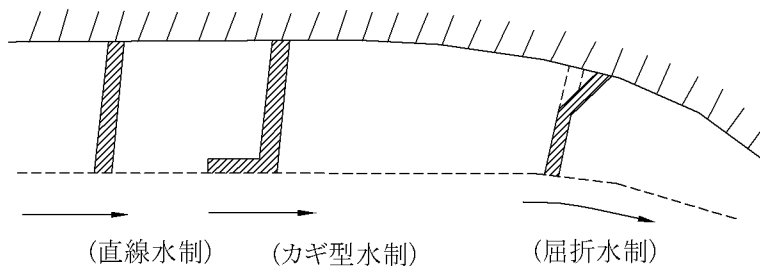
カギ型水制は、水制の末端部にカギを付けることにより、水制域内の流れと土砂の洗掘、堆積をある程度制御することができる。

- ①上向きカギ型水制(水制間への土砂堆積の促進)
- ②下向きカギ型水制(水制域内への土砂堆積の抑制)

●屈折水制

屈折水制は河道の湾曲度が大きい箇所では流向を変えるのに有効である。

- ①根部を下流側に折った屈折水制(水制の下流側河岸の侵食防止)
- ②根部を上流側に折った屈折水制(水制の下流側への土砂堆積防止)



●長さの決定

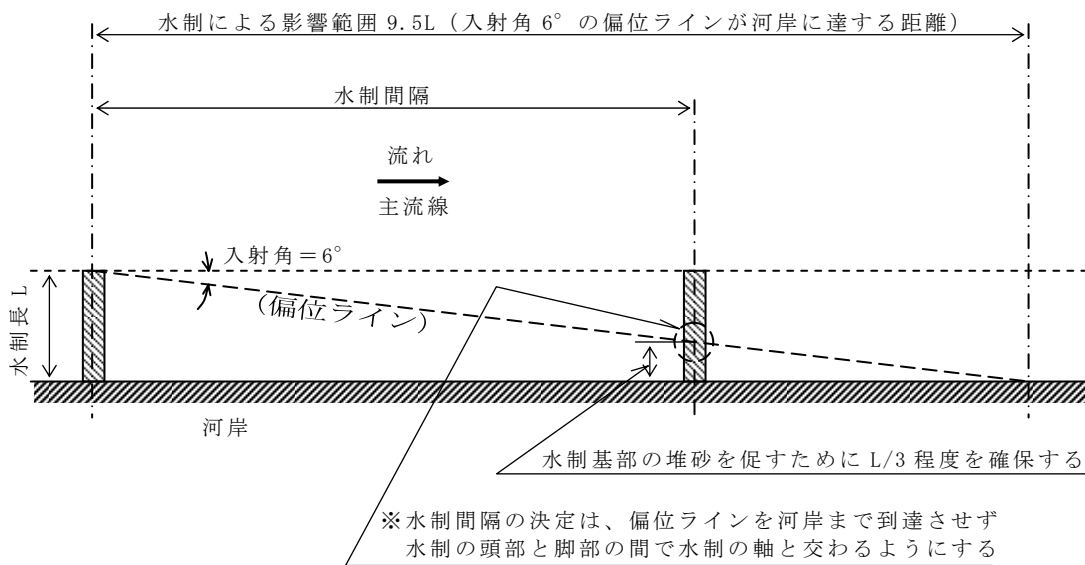
既往の調査(水制工の配置と洗掘防止効果に対する研究 1988, 建設省土木研究所)によれば、現在全国の河川に配置されている高水水制の長さLは設置地点の川幅B(低水路幅)の10%以下のものが最も多く、25%を越して設置されることは非常に少ないことが報告されている。このように、日本での水制長は川幅の10%以下が大半であり、経験的にこの程度が対岸へ影響を与えない限度になるのではないかとと思われる。しかし、対岸の砂州を侵食させることを意図する場合は、10%以上にする必要がある。

4-3-5 水制の間隔

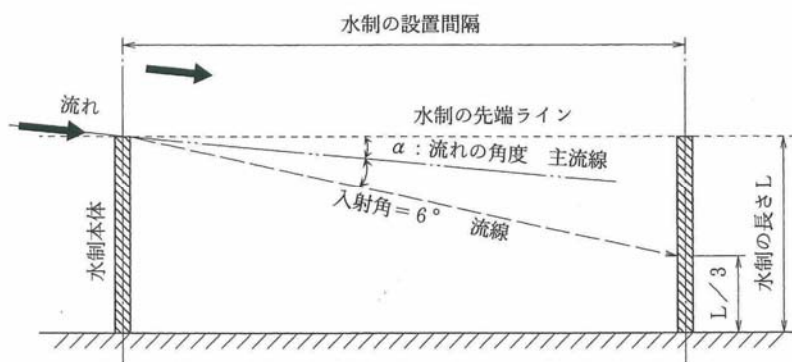
水制の間隔は、水制先端からの流れ入射角(約 6°)を考慮し、水流の影響が岸まで及ばない程度の間隔に設置することを基本とする。

〔解説〕

水制先端部を通り過ぎた流れの流線は、主流線に対して約 6° の角度(入射角)で水制域内に偏位することが実験により確かめられている。偏位した流れの流線は、水制長さ L の約9.5倍の距離で河岸に到達する。したがって低水水制の間隔は、偏位流によって河岸が洗掘を受けないように、流れの偏位ラインが岸から $L/3$ 程度のところで水制軸と交わるように決定するのがよい。



主流線が河岸に平行な場合



$$\text{水制間隔} = \frac{2 \cdot L}{3} \times \frac{1}{\tan(6 + \alpha)}$$

(参考)主流線が河岸に侵入する場合

水制間隔の考え方

4-3-6 水制の断面形状

水制の横断面の形状は、できるだけ流れの抵抗を受けないような形状とする。

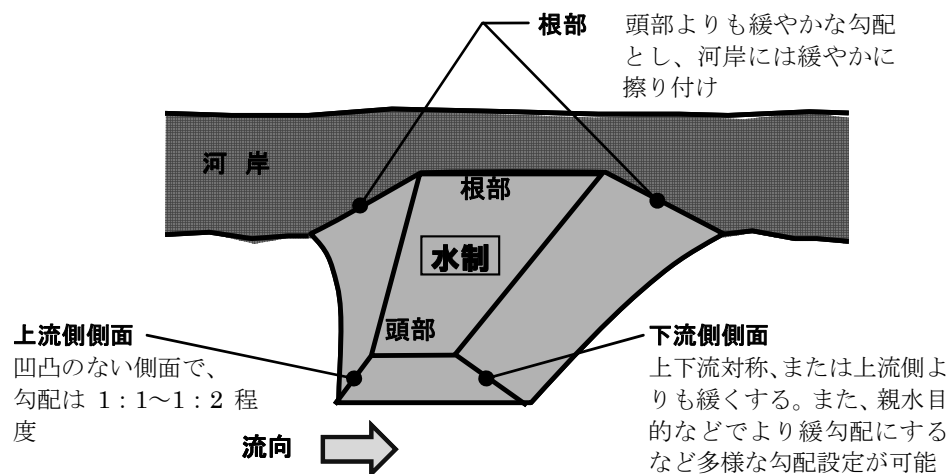
水制の縦断面の形状について、水制胴部の縦断勾配は、河心に向かって1/10～1/100程度の下り勾配とすることを基本とし、水制頭部の縦断勾配は、流水に対する構造の安定性を確保することを前提に、目的に応じて使い分ける。また、水制頭部の根入れ深さは、施工箇所の堆積・侵食傾向や、設置する水制の目的に応じて決定する。

〔解説〕

【横断面】

●上流側の勾配は1:1～1:2程度を基本とする。水流を上に乗せて減勢させるため、できるだけ急勾配とするべきであるが、水制基礎部全面の深掘れ、空積みの場合は安定性を保つために1:2とすることが望ましい。

●下流側は上下流対称または上流側よりも緩い勾配とすることを基本とする。水流を緩やかに流し、下流の洗屈を防止するために緩勾配とする。

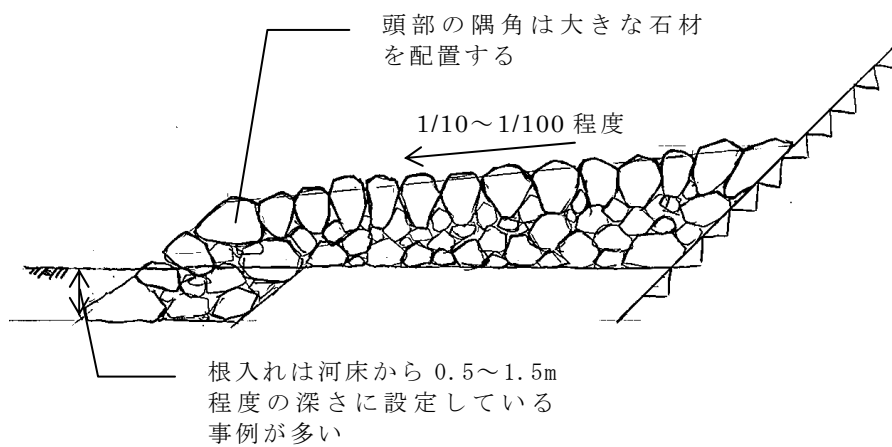


水制の横断面図

【縦断面】

●水制胴部の縦断勾配は河心に向かって 1/10～1/100 程度の下り勾配を基本とする。流水に対する水制の抵抗を大きくしないよう、水制の規模が課題にならないように配慮しながら、現場条件や設計の意図に応じて使い分ける。

●水制頭部の根入れは、石出し水制の場合、洗掘に対応できるように河床から 0.5～1.5m 程度の深さに設定している事例が多いが、施工箇所の堆積・洗掘傾向をみて決定すること。また、頭部の隅角部の材料は単体でも流出しない大きさの石材（力石）を配置する。



水制の縦断面図

4-3-7 材料（石材）の大きさの決定

水制の設計流速には、代表流速を割り増した水制周りの局所流速を用い、水制に用いる石材の大きさは、洪水時にも移動しない重さ、大きさを有するものとする。

〔解説〕

●設計流速

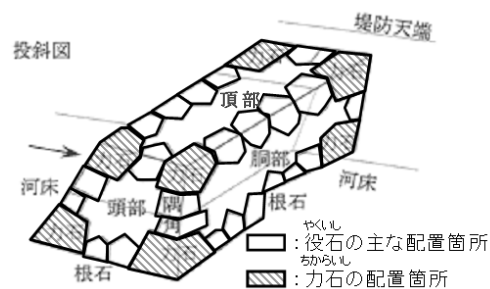
水制の設計には、水制から離れた位置での一様な流れの流速に対して、対象地周辺の現地にある転石や根固工等に使われている石材等の大きさと安定状況を参考に代表流速を割り増した流速を用いることが望ましい。

●石材の大きさの算定

「石出し水制」の構造は、強固な「石張り」や、噛み合わせの弱い「捨石」、流水の抵抗に配慮しながら石材をラフに組む「石組み」など、多様である。また、流体中で安定する石材の大きさの算定式も、滑動、転倒及び掃流など、複数のモデルが示されている。

このため、石材の大きさを算定する場合には、水制の構造に応じた適切な計算式を選択して算定し（水制周りの局所流速を用いる）、これと設計箇所やその近傍で使用されている石材とその安定性といった情報などを総合して決定することが望ましい。

さらに、構造の要となる部分（力石：下図の着色部分）には、必要に応じて築石よりも一回り大きな石材とすることが望ましい。



石積み水制工の一般的な構造における「力石」

5 特殊水制（ hidroバリアー水制）

5-1 hidroバリアー水制の種類

hidroバリアー水制は、水制軸と交わる方向の通水路をその胴部に設けた構造の水制をいう。水制の機能は、「土砂堆積」と「土砂排除」の2種類があり、それぞれの構造形状の違いに注意する必要がある。

【解説】

hidroバリアー水制は、水制胴部に開口部を持つ水制であり、開口部の幅と長さの比率に応じて、「土砂堆積」及び「土砂排除」の相反する2つの機能がある。

hidroバリアー水制の採用にあたっては、その特色と機能、設置する箇所の河川特性を十分吟味した上で、判断する必要がある。

5-2 土砂を堆積させる hidroバリアー水制

土砂堆積を目的とする hidroバリアー水制の通水路形状は「細長形状」、通水路方向は「水制の先端部を回り込む流れにぶつける方向」とする。

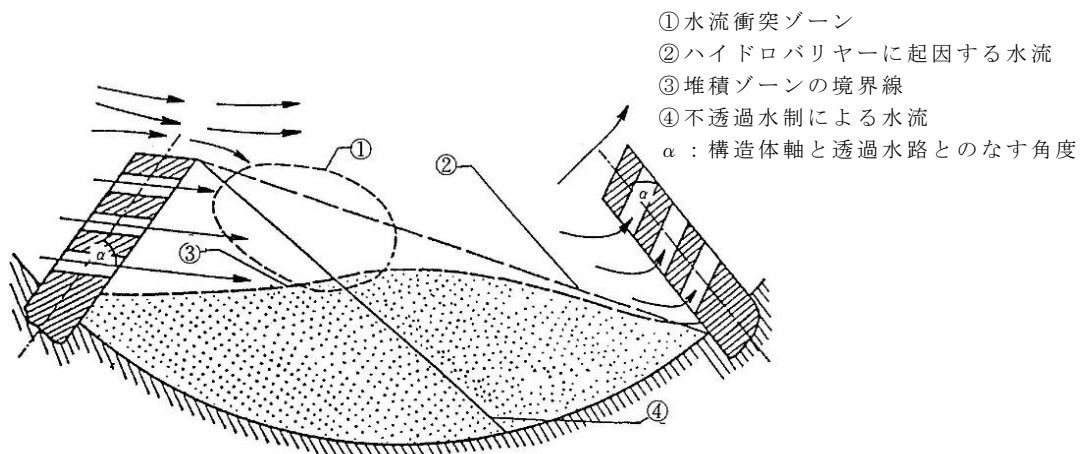
〔解説〕

「土砂堆積」を目的とする hidroバリアー水制は、土砂を堆積させ効率的に河岸を守る目的で、ロシアの水理実験によって開発された。

水制先端部を回り込む水流に水制に設置する通水路を通過する水流をぶつけることにより、運動エネルギーの一部を失わせ（流速を低下させ）、下流側河岸付近に土砂の堆積を生じさせる水制である。

水制の基本構造は通常の水制と共通するが、水制胴部に通水路を設置し、水流の角度を変える。水制の軸に対する通水路の角度（ α ）は設置箇所の河川特性に合わせ十分に検討が必要であるが、 $\alpha = 30^\circ \sim 40^\circ$ として紹介された例がある。

水制胴部の通水路長は少なくとも開口部幅の3倍と解説されている。



土砂堆積型 hidroバリアー水制の概念図

5-3 土砂を排除する hidrobarrier 水制

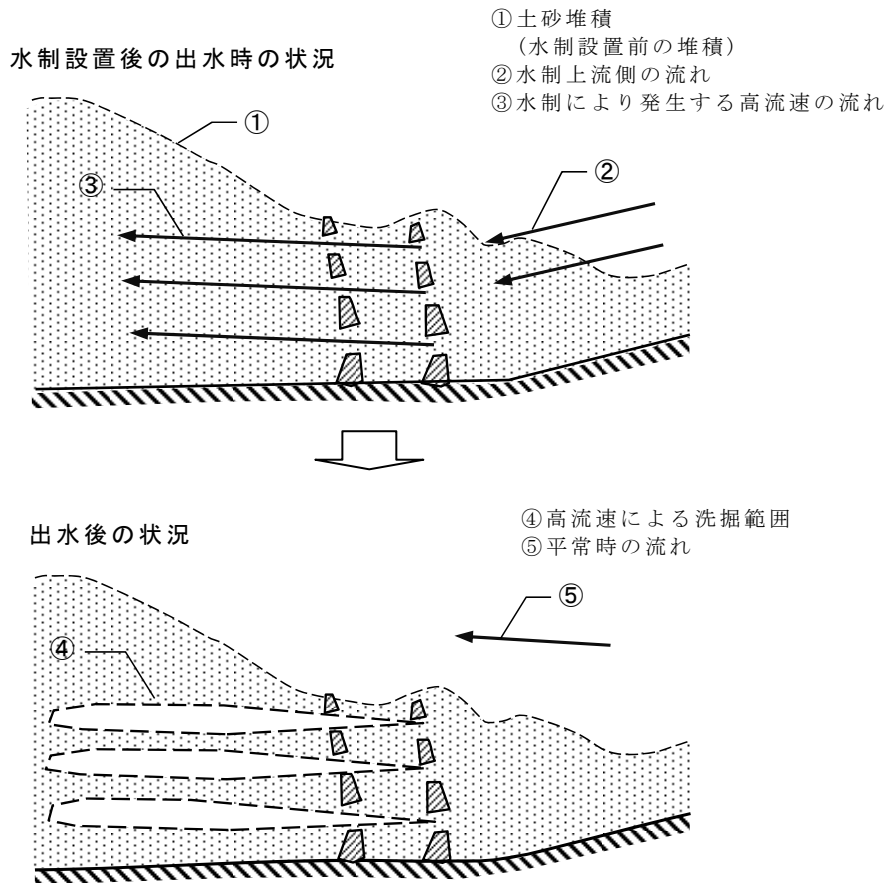
土砂排除を目的とする hidrobarrier 水制は、現段階においても検証段階の水制である。通水路形状は「幅広形状」、通水方向は「原則として水制軸に対し90度」とする。

〔解説〕

「土砂排除」を目的とする hidrobarrier 水制は、土砂堆積型の hidrobarrier 水制の応用型として、河川水流を二手に分流し運動エネルギーを増幅させ（流速を上昇させ）下流に堆積する土砂を掃流させる水制である。

水制の基本構造は土砂堆積型の hidrobarrier 水制と同様であるが、通水路長に対し通水路幅を広くすることが大きな違いであり、これまで試みられた事例は、通水路長：通水路幅 = 1 : 1.5 程度のものが多い。

このタイプの水制は検証段階であり、設置場所や通水方向を誤るとその効果を発揮できない場合もあることから、河岸、河床、流向、流量等、河川特性を十分に調査した上で、水制の設置箇所、設置方向等を検討することが望ましい。



土砂排除型 hidrobarrier 水制の概念図