

第4章 河川構造物の設計

第1節 概要

1.1 本章の位置付け

本章は、河川構造物の設計に際しての基本的な考え方を示したものである。

[解説]

河川構造物の設計に関しては種々の規定があり、設計作業を実施するに際してはこれらに準拠することが必要である。

本章では、河川管理者がマクロな視点から把握しておかなければならない事項のみを記すこととし、設計の詳細について論じた仕様規定の説明は「河川管理施設等構造令」、「工作物設置許可基準」、「建設省河川砂防技術基準（案）」、その他河川構造物ごとに記された各種技術基準・規定・技術書に譲るものとした。したがって、仕様規定を主体とする設計手順の詳細を把握しなければならない場合は各種技術基準等を参照する必要がある。

1.2 本章の構成

本章は、以下のような構成となっている。

- | | |
|----------------|----------------------|
| 第 1 節 概要 | 第 9 節 樋門・樋管 |
| 第 2 節 堤防 | 第 10 節 水門 |
| 第 3 節 管理用通路 | 第 11 節 伏せ越し |
| 第 4 節 護岸 | 第 12 節 魚道 |
| 第 5 節 根継工 | 第 13 節 河道内樹木 |
| 第 6 節 水制 | 第 14 節 鉄線籠型多段積み護岸工 |
| 第 7 節 床止め（落差工） | 第 15 節 鉄線籠型護岸工（張タイプ） |
| 第 8 節 床止め（帯工） | 第 16 節 小構造物 |
| | 第 17 節 モニタリング（施工） |

取り扱う構造物の特徴・性格、技術基準の整備状況等により異なるが、基本的に各節は「設計の基本」「構造細目」「設計細目」の3つの部分から構成されている。「設計の基本」では、設計に際しての基本事項が示されている。「構造細目」では構造物を構成するパーツ別の注意事項あるいは性能規定が示されている。「設計細目」では基本的に参照すべき技術基準等が示されているが、確立された技術基準等がない構造物については本章独自に設けた具体的な仕様規定・設計手順が示されている。

第2節 堤防

2.1 堤防設計の基本

2.1.1 堤防設計の基本

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、計画高水位以下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。

「河川管理施設等構造令」より

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。

* 「河川構造物の耐震性能照査指針（案）・同解説 堤防編」より

[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に、越流堤、囲繞堤、導流堤等があるが、ここでは流水が河川外に流出することを防止する堤防（霞堤を含む。高規格堤防を除く）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。基礎地盤と一体化してなじみやすい、工費が安価、劣化が少ない、維持管理が容易等のメリットがあるが、長時間の浸透水により強度低下が起ること、流水により洗掘されやすいこと、越流に弱いこと等のデメリットも共存している。

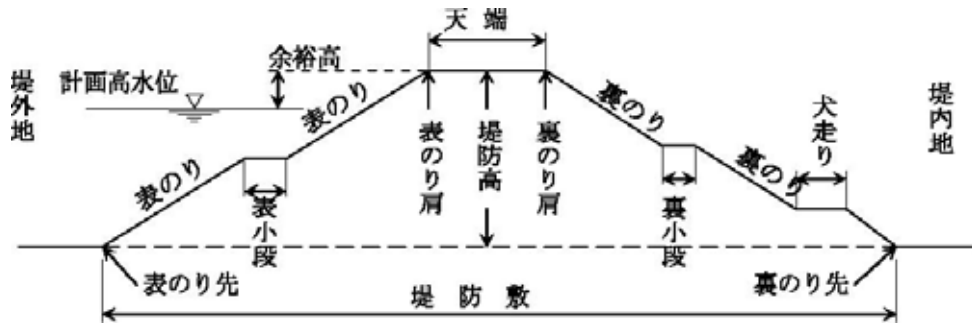
破堤原因としては、堤体あるいは基礎地盤からの漏水、流水等による洗掘、計画高水位を上回る洪水の際の越水などが挙げられる。堤防は、これらの作用に対して安定であるよう設計がなされる必要がある（以上は「河川砂防技術基準（案）同解説設計編Ⅰ」の2.1.2項より抜粋）。

地震対策については以下のように考えるものとする。地震と洪水が同時に発生する可能性は極めて小さく、仮に地震により堤防が損傷しても洪水前までに復旧できるものの、堤内地盤高が外水位よりも低い地域や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、地震被害を受けた堤防から河川水が越水し二次的に甚大な浸水被害へと波及する恐れがあるので、このような浸水による二次被害の恐れのある河川堤防では、地震による被害を受けたとしても河川構造物としての機能を保持するといういわゆる耐震性能2を持たせるよう設計することが必要である。なお、仮に堤防が地震により部分的に損傷してもこうした二次災害を引き起こすことのない区間では、すでに耐震性能2を満たしていると解釈する（以上は「河川構造物の耐震性能照査指針（案）・同解説 堤防編」より抜粋）。

まめ知識	余裕高
<p>堤防は、一般的には越水に対して極めて弱く、越流水によりたちまち侵食されてしまうことが過去の災害の事例、実験等で明らかになっております。このため、堤防の設計においては、たとえわずかな流量・越流時間であっても越流させないようにすべきで、洪水時の風浪、うねり、跳水等の一時的な水位上昇に対して堤防高に余裕をとる必要があります。これが余裕高に求められる機能です。したがって、堤防の余裕高は構造上の余裕と位置付けられることになります。なお、計画流量の余裕は計画高水位の設定のなかに含まれることになります。</p>	

堤防の各部の名称は以下のように定められています。

なお、この図はあくまで各部の名称を示したものであって、堤防のあるべき姿、つまり標準断面を示したものではありません。例えば現在では小段は設置せずに一法の堤防が築かれるようになってきていますのでご注意ください（詳細については技術コラム「小段について」をご参照ください）。



堤防の各部の名称

2.1.2 天端高

湖沼を除く河川

堤防の天端高は、計画高水位に余裕高を加えた高さ以上を確保するものとする。ただし、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、かつ地形の状況等により治水上の支障がないと認められる区間にあたってはこの限りではない。

湖沼

計画高水流量を定める湖沼の堤防の高さは、の条件を満たす値と、計画高水位に波浪の影響を考慮して必要と認められる値を加えた値とを比較し、大きいほうの値を下回らないようにする。

計画高水流量を定めない湖沼の堤防の高さは、計画高水位に波浪の影響を考慮して必要と認められる値以上とする。

* 「河川管理施設等構造令」を再編

[解説]

河川管理施設等構造令においては、表 2.1 のように確保すべき余裕高を計画高水流量ごとにランク分けして示している。

波浪については、打ち上げ高、風による吹寄せ等について検討するものとするが、地形による波浪の増幅・減衰、河道又は湖沼の副振動あるいはセイシュ、波浪の方向、屈折、回折及び反射、消波の効果、護岸の構造等のほか、堤内地の利用状況及び許容越波量、関連他事業計画との調整等の外的環境条件についても十分配慮する必要がある。

表 2.1 余裕高

計画高水流量 (m ³ /sec)	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

なお、余裕高の考え方には、(1)掘込河道を対象とした特例、(2)小河川を対象とした特例がある。ただし、これらはいくまで特例であって、掘込河道・小河川に該当する河川であれば特例を厳守しなければならないということではない。

わが国では、居住区の近くを流れる河川では、堤防を築くなど大なり小なり人の手が入っていて、全くの自然状態の河川（原始河川）というのはほとんどないのですが、原始河川の断面形は次のような形を成しています。



原始河川の横断面形の例

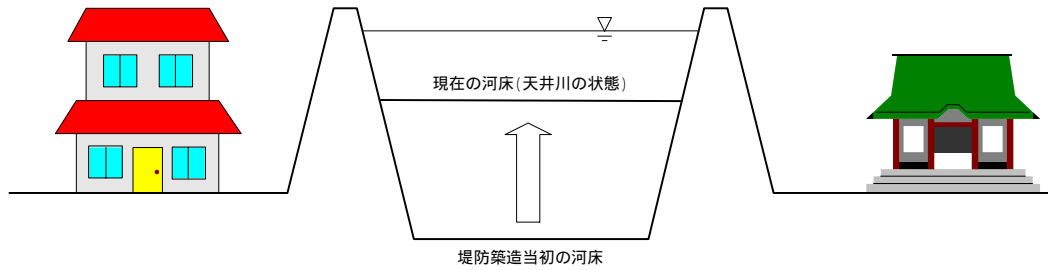
より大きな洪水に対して周辺区域を浸水被害から守ろうとすると、基本的には、堤防を築く、掘削して河道を拡大する、の2つの選択肢があります（折衷案もちろんありますが）。

堤防を築いた河川は築堤河川と呼ばれます。築堤河川では、堤防の位置をどこに築くかで洪水容量を調節できます（もちろん、わが国の場合は河川流域に居住区が作られていることが大半なので、堤防の位置を自由に選ぶわけにはいきませんが）、その反面、もし堤防が切れた場合、氾濫水の量が非常に大きくなるので堤内地に与える被害も甚大になりやすいという欠点を持っています。

掘削して河道を広げた河川は掘込河川と呼ばれます。堤防がないので無堤河川と言われることもあります。掘込河道の長所は、洪水時に仮に河岸侵食が生じてもそれが周辺への氾濫に結びつかないことです。ある意味では河川の理想的な姿ということができるでしょう。ただし、現況河川の洪水容量を少ない費用で効率よく増やすという面においては、築堤河川の場合と比べ水深を大きく増大させないので流速が上昇せず不利です。

天井河川は主として扇状地河川に形成される河川の状態です。扇状地河川とは、扇状地上を流れる河川のことです。県内でいうと御勅使川扇状地がその美しい同心円状の等高線により全国的にも有名ですが、そのほかにも山梨県には扇状地河川がたくさんあります。扇状地河川は大きさとしては扇面に引かれた一本の線のような存在ですが、実は扇状地はその上に載っている一本の線に過ぎない河川によって形成されたのです。堤防がない時代、扇状地河川は洪水の度に大量の土砂を扇状地に供給しました。自らが運んだ土砂が邪魔となって車のワイパーのように流路を変えらるということを繰り返し、土砂を撒き散らしながら扇状地を次第に発達させました。このため、当時は台風が来るたびに流路がまた変わって家や田畑を失うのではないかと心配をしなければいけなかったわけです。そこで、先人たちは堤防を築いて扇状地を暴れ回るのを閉じ込める挑戦を始めました。当初は失敗もあったでしょうが、現在わが国ではほとんどの扇状地河川の「囲い込み」に成功しています。これで一安心、といきたいところでしたが、新たな問題が発生してきました。それが天井川です。これまで、扇状地に広く薄く撒き散らしていた土砂が堤防の間に

しか行き場所がなくなってしまったので河床が上昇しはじめました。河床が周辺の地盤高よりも高くなってしまった状態を天井川といいます。もし、洪水になって天井川の堤防が切れたら、流水だけでなく土砂までが堤内地に流出し、大きな災害を引き起こします。時には人工的に掘削してまでも天井川の解消に努めるのはこのためです。



天井川の横断面形のイメージ

[余裕高の特例(1)～掘込河道の場合]

掘込河道の場合、余裕高を以下のように設定することができる。

- ・背後地が家屋連担地でない場合は、計画高水流量に関わらず0.6mとして良い。
- ・超過洪水時に下流の築堤河道に計画以上の負担が懸念される場合は0～0.6mとして良い。
- ・築堤が内水被害を助長すると考えられる場合は、0～0.6mとして良い。

*「河川管理施設等構造令」を再編

[余裕高の特例(2)～小河川の場合]

計画高水流量が50m³/s未滿の小河川については、計画高水位が堤内地盤高より高い場合でも、その差が0.6m未滿であり、かつ天端幅が2.5m以上確保できれば、余裕高を0.3m以上とすることができる。

*「河川管理施設等構造令」を再編

2.1.3 天端幅

下記を除く河川

堤防の天端は、浸透水に対して必要な堤防断面を確保するとともに、常時の河川巡視または水防活動等のために必要な幅を確保するものとする。

計画高水流量を定めない湖沼の天端幅

計画高水流量を定めない湖沼の天端幅は、堤防の高さ及び構造並びに背後地の状況を考慮して、3メートル以上の適切な値とするものとする。

*「河川管理施設等構造令」を再編

[解説]

下記を除く河川

河川管理施設等構造令においては、確保すべき天端幅を計画高水流量ごとにランク分けして示している。なお、(1)堤内地盤高が計画高水位より高く地形的に治水上の支障がない区間、(2)小河川を対象とした特例がある。ただし、これらはいくまで特例という位置付けがなされており、該当する河川は特例を厳守しなければならないということではない。堤防の天端幅は、下表の値以上を確保するものとする。

計画高水流量を定めない湖沼

計画高水流量を定めない湖沼の堤防天端幅は、堤防設置箇所の状況により定める。具体的には当面の運用として表2.3により増減することを標準とする。ただし、表2.3を適用した結果、天端幅が6m以上となる場合は1mを減じることができる。

表 2.2 天端幅

計画高水流量 (m ³ /sec)	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

表 2.3 湖岸堤の天端幅の増幅値

項	区分	増幅値 (m)	
1	構造	三面張り	0
		三面張り以外	1.0
2	堤防高 (堤内側)	3m 以上	1.0
		3m 未満	0
3	波浪高	1m 以上	1.0
		1m 未満	0
4	背後地の状況	市街化区域	1.0
		市街化区域以外	0

[天端幅の特例(1)～余裕高堤防の場合]

堤内地盤高が計画高水位より高く地形的に治水上の支障がない区間では、計画高水流量の大きさに関わらず天端幅を 3m 以上とすることができる。

* 「河川管理施設等構造令」を再編

[天端幅の特例(2)～小河川の場合]

計画高水流量が 50m³/s ～ 100m³/s でかつ川幅が 10m 未満の場合 2.5m 以上

計画高水流量が 50m³/s 未満で管理用通路の代用となり得る道路がある、もしくは堤防の構造がコンクリート堤や鋼矢板堤である場合 2m 以上

* 「河川管理施設等構造令」を再編

[解説]

上記枠内の において管理用通路の代用となり得る道路の条件は以下のとおりである。

- * 堤防から概ね 100m 以内にある
- * 適当な間隔で堤防への進入路がある
- * 所定の建築限界を有する
- * 橋梁がある場合は設計自動車荷重 14t 以上 (なお、小河川でない場合は 20t 以上)

2.1.4 堤防ののり勾配

堤防ののり勾配は 2 割以上の緩やかな勾配とすることが望ましい。

[解説]

堤防ののり勾配は、緩く設定すると以下のようなメリットがある。

- 土質的安定性・耐震性が増す。
- 洪水時における耐浸透性が増す。

堤防表面に繁茂した植生への日当たりがよくなり、こうした植生のもつ洪水時の耐侵食効果が増大する。

堤防を乗り越えて行き来しやすくなり、親水性が増す。

景観性が向上する。

ただし、以下の場合などは河道の安全性等が十分に確認された場合に限り2割よりも急な勾配を選定することが許される。

(1)川幅が著しく狭いなど、のり勾配を2割より緩く設定するのが困難な場合

(2)洪水時水深が浅いために堤防、河岸の安全度がそもそも十分に高く、かつ地形的、経済的制約等により勾配を緩くすることに困難を伴う場合

(3)掘込河道であり、仮に多少の河岸侵食が発生したとしても河道周辺に重要な資産がないために甚大な災害を生じる可能性がない場合

*「河川砂防技術基準計画編」に山梨県独自の考え方を付加

技術コラム	のり勾配の設定
<p>堤防ののり勾配は緩く設定すればするほど強固なものとなります。ここで改めて緩勾配化に伴うメリット、デメリットについて確認してみましょう。</p> <p><メリット></p> <p>堤防の土質的安定性が増す</p> <p>のり面が緩くなるのですべり破壊等、土質的な強度不足による災害が起こりにくくなります。また、仮に生じても規模が小さくなります。</p> <p>堤防の耐浸透性が増す</p> <p>特に堤脚付近の浸透経路が大きくなるので、耐浸透性が増加します。</p> <p>堤防の耐震性能が向上する</p> <p>堤防が大きな地震動の作用を受けた場合、すべり破壊が発生したり地盤・堤脚付近で液状化が生じたりして堤防が破壊されることがありますが、のり面が緩いとすべり破壊の規模は小さくなり、また堤脚が広がるので液状化が生じても部分的な破壊に留まる可能性が増します。すなわち、部分的には破壊されても堤防としての最低限の機能を失わない程度の破壊に留まる可能性が増します（耐震性能3が向上します）。</p> <p>のり面への日当たりが良くなり植生の繁茂が促される</p> <p>日照時間が増し、かつ日光の入射角が大きくなるので植生の繁茂が促されます。また、植生が繁茂することにより他の生態系にも好影響を与えます。</p> <p>堤防から水面へのアクセスが容易となり親水性が増す</p> <p>3割程度ののり勾配が確保できれば、人々が堤防を横切って水面に近づくのが容易となり、親水性が増します。</p> <p>堤防保護のための水防活動が軽減される</p> <p>洪水時に堤防にクラックが入ったり、浸透水が発生したり、堤防そのものが侵食される可能性が低くなるので、「木流し」、「五徳縫い」、「腹付け」、「輪中」などの水防活動の必要性が減少します。その分越水対策や人命救助等に集中することができます。</p> <p><デメリット></p> <p>用地・費用が増す</p> <p>堤脚幅が増大するので、多くの用地を必要とし、また建設費用も増大します。</p> <p>以上のように、堤防の緩勾配化は、機能的にはメリットばかりが得られるものです。ですから、用地や費用上の問題はあるかも知れませんが、状況が許す限りまずは堤防の緩勾配化の可能性について検討してみることが重要です。堤防は半永久的に使うものですから、緩勾配化は後世の河川管理者に任すのではなく、出来るだけ早く実現するのが有効な公共投資です。</p> <p>なお、谷底河川・掘込河川などでは地山の掘削により河道拡幅を行わなければならないことがあります。その際には以下に示す労働安全衛生規則による掘削勾配規定がのり勾配の決定要因の一つになること</p>	

もあります。

労働安全衛生規則第 356 条第 1 項より抜粋

地山の種類	掘削面の高さ(m)	掘削面の勾配
岩盤又は堅い粘土からなる地盤	5m 未満	90 度
	5m 以上	75 度(3 分)
その他の地山	2m 未満	90 度
	2m 以上 5m 未満	75 度(3 分)
	5m 以上	60 度(6 分)

なお、緩勾配化に際して、種々の事情により局所的にしか実行できない場合、すなわち対象区間より上下流の堤防は急勾配のままで残さなければならない場合は注意が必要です。すなわち、このようなところに緩勾配の堤防を築造すると堤防のり面に勾配の変化点ができてしまいます。堤防のり面勾配の変化点は、一般に洪水時に弱点となりやすいので、当面はやむを得ないとしてもなるべく早めに解消したいものです。上下流の急勾配のり面堤防に改築の予定がない場合は、のり勾配の変化点を残しても治水上の弱点にならないかどうか、洪水時に発生する流体力、背後地の状況等を総合的に考慮して判断する必要があります。なお、すり付け区間をなるべく長く取ればこの問題はある程度解消できます。

技術コラム	小段について
<p>小段の機能は、堤防の土質的安定性確保、水防活動の時の搬路・作業スペース確保等と言われていたがはっきりとしたことはわからないのが現実です。以上のような機能は、堤防ののり勾配を緩く設定すればこれらの機能のある程度確保できますし、平場を設けないほうが雨水の浸透を抑えられますので、最近では緩傾斜堤では一法の堤防が築かれる傾向にあります。</p> <p>比較的急なのり面を有する堤防では、一法にした場合、地震時に発生するすべりの規模が大きくなる場合も考えられます。また、谷底河川・掘込河川等では背後地に家屋が迫っていることも多いので、のり勾配を急に設定しなければならないことがあります。このような河川でかつのり長が長くなるようなケースでは、小段を設けて堤防の土質的安定性の向上を図る方が被災の規模を小さくできる可能性があります。どちらの形式を選ぶかは、土質的安定性、耐震性、耐浸透性、経済性等を総合的に考慮して決定する必要があります。</p>	

2.2 構造細目

2.2.1 堤防の構造

堤防の構造は、1.1.1 項に基づき、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。

* 「河川砂防技術基準（案）設計編」を再編

[解説]

堤体の構造は、基本的に降雨や河川水の浸透を出来るだけ防止し、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。

(1) 耐侵食機能を確保する構造について

高水敷等の河道の状況を踏まえ、堤防に作用する流水、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、そのもとで堤体の耐侵食性を検討する。護岸については第 2 節で、水制については第 4 節で詳述する。

(2) 耐浸透機能を確保する構造について

降雨および河川水の浸透を抑制する構造

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覆う方法、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・抑制するためにしゃ水シートを埋設する方法もある。

基礎地盤の浸透を抑制し、浸透侵食を防止する構造

矢板等を設置する方法、土質材料または人工材料によるブランケット構造などがある。こうした構造物でしゃ水性を高めると地下水に影響が及ぶ場合があるので注意が必要である。

浸透水を速やかに排除する構造

堤体内の浸透水を排除する工法としては、裏のり尻に設置するドレーンが代表的である。基礎地盤の浸透水を排除する工法としては、リリースウェル、透水性トレンチなどがあるが、わが国では適用例は少ない。

(3) 耐震機能を確保する構造について

堤防の耐震性能としては、地震により仮に堤防が破損した際、外水が流出して浸水被害をもたらさないこと、すなわち耐震性能 2 を確保することが要求されている。したがって、例えば堤内地盤高が耐震性能の照査の際に設定される外水位よりも高ければ、自動的に耐震性能 2 を満足していることに

なる。なお、耐震性能の照査の際に設定される外水位には、平常時の最高水位があてはまる。

耐震性能の照査方法としては、レベル2の地震動を受けた場合に耐震性能2を確保できるかどうかを調べることになる。地震による大規模な被害事例からすると、そのほとんどが基礎地盤の液状化によりもたらされたものであるようであるので、耐震性能の照査の具体的な手順としては、液状化による堤防の変状を数値モデルにより予測することになる。手法としては、動的照査法、静的照査法のいずれでもよい。より簡単な静的照査法には構造力学的な「自重変形解析法」、流体力学的な「永久変形解析法」などがある。

一方、液状化対策としては、締固め工法、固結工法、ドレーン工法などがある。

2.2.2 堤体の材料の選定

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。なお、材料の評価にあたっては「河川土工マニュアル」を参照するものとする。

*「河川砂防技術基準（案）設計編」を再編

2.2.3 のり覆工

盛土による堤防ののり面（高規格堤防裏のり面を除く）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。急流部、堤脚に低水路が接近している個所、水衝部、流水や流木等によりのり面が侵食されやすい個所等については、表のり面に適当な護岸を設ける必要がある。護岸については第2節を参照のこと。

*「河川砂防技術基準（案）設計編」を再編

2.2.4 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、浸透水の遮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。

*「河川砂防技術基準（案）設計編」を再編

より詳細な情報が必要な場合は「河川砂防技術基準（案）同解説設計編[I]」の2.2.4項解説、「河川堤防の構造検討の手引き」第4章を参照されたい。

2.2.5 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。

*「河川砂防技術基準（案）設計編」より

より詳細な情報が必要な場合は「河川砂防技術基準（案）同解説設計編[I]」の2.2.5項解説、「河川堤防の構造検討の手引き」第4章を参照されたい。

2.3 設計細目

堤防の設計細目については、以下の文献・技術基準、通達等を参照されたい。

内容	文献・技術基準・通達等	出版者、出版年
堤防の一般的な機能、計画・設計の考え方	改定 解説・河川管理施設等構造令 河川堤防設計指針	日本河川協会、2000
構造検討全般	河川砂防技術基準（案）同解説設計編 河川堤防の構造検討の手引き 中小河川における堤防点検・対策の手引き（案）	建設省河川局監修、1997 国土技術研究センター、2002 国土技術研究センター、2004
耐震設計	河川構造物の耐震性能照査指針（案）・同解説 河川構造物の耐震性照査において考慮する河川における平常時の最高水位の算定の手引き(案)	国土交通省河川局治水課、2007 国土技術研究センター、2007

第3節 管理用通路

3.1 管理用通路設計の基本

3.1.1 管理用通路設計の基本

堤防には、河川の巡視・洪水前の水防活動などのために管理用通路を設置するものとする。なお、以下の条件に当てはまる場合はこの限りではない。

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

堤防の高さと地盤高との差が0.6m未満の区間である場合

なお、管理用道路を一般道路と兼用する場合、管理用道路としての機能を損ねないように留意するものとする。

* 「工作物設置許可基準」「河川砂防技術基準（案）設計編」をもとに再編

[解説]

管理用通路は、日常的に行われる河川の巡視・防災点検のための経路、非常時の搬路・避難路、水防活動のための通路等の役割を果たすために設置される。築堤河川においては堤防天端に設置されるのが一般的である。なお、これに代わる機能を有する道路が近隣にあればこの限りではない。「これに代わる機能を有する道路」の具体的な条件は以下のとおりである。

* 堤防から概ね100m以内にある

* 適当な間隔で堤防への進入路がある

* 所定の建築限界（構造細目参照）を有する

* 橋梁がある場合は設計自動車荷重20t以上（なお、小河川の場合は14t以上）

管理用通路が上記の機能を確保するため、構造細目として幅員および建築限界が定められている（小河川の特例あり）。平面線形、縦断勾配については特に規定は定められていないが、上記の機能を保持できるものでなければならない。

堤防を道路に兼用することは、河川管理上種々の問題があるので、従来からできるだけ禁止されてきたが、日常の河川巡視、洪水時の河川巡視又は水防活動、将来の河川工事、河川の自由使用及び河川環境の保全等に与える影響などのデメリットのほか、堤防天端に兼用道路を設ける場合の治水すまたは道路計画上のメリットを総合的に勘案のうえ、堤防天端に兼用道路を設けることがやむを得ないと考えられる場合又はむしろ適当と考えられる場合もあり得る。

「解説・工作物設置許可基準」によれば、堤防を道路と兼用する場合における管理用通路の取扱いを以下のように定めている。

兼用道路の計画交通量が6000台/日未満の道路の場合や、河川管理用の車両が制約なしに通行できる措置が講ぜられている自転車歩行者専用道路の場合は、管理用通路と兼ねることができる。

計画交通量が1日につき6000台以上の道路の場合は、川側の位置に幅員3m以上の管理用通路を設けるものとする。ただし、次の各号のすべてに該当する場合はこの限りでない。

イ)計画交通量が1日につき6000台以上で10000台未満の道路で、かつ車線数が2車線以下の道路の場合

ロ)川側の路肩の幅員が1.25m以上の場合

ハ)前記の川側の路肩に河川管理用車両が駐停車可能な場合

なお、堤防の全部もしくは主要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である場合は、一般には人家密集地域であり管理用通路を設けることが著しく困難な場合が多く、必ずしも管理用通路は設けなくてもよい。しかし、幅3m以上の管理用通路を設けることができなくても、極力1m以上の適当な幅の管理用通路は設けるものとする。

3.1.2 立体交差の要件

管理用通路は、一般には堤防天端に設けるが、計画高水流量が $1000\text{m}^3/\text{s}$ 以上、またはその他重要な河川の区間に設ける橋の路線の計画交通量が、道路橋にあっては6000台/日以上の場合、鉄道橋にあっては最大遮断時間が20分/時間以上の場合には、原則として平面交差のほかに立体交差を併設するものとする。

*「工作物設置許可基準」を要約

[解説]

管理用通路は、一般には堤防天端に設けるが、先にも述べたとおり、他の交通等によって河川管理のための通路としての機能が損なわれてはならないので、「工作物設置許可基準」は、必要計画高水流量が $1000\text{m}^3/\text{s}$ 以上、またはその他重要な河川の区間に設ける橋の路線の計画交通量が、道路橋にあっては6000台/日以上の場合、鉄道橋にあっては最大遮断時間が20分/時間以上の場合には、原則として平面交差のほかに立体交差を併設するものとするとして定めている。

ただし、道路橋の路線と交差する管理用通路が道路と兼用しており、当該道路に渋滞対策としてその計画交通流に応じた右折車線を設置する場合、または管理用通路に代わるべき適当な通路がある場合にはこの限りではない。

なお、平面交差と立体交差を併設すべき場合であっても、河川の堤防が低く、立体交差のための建築限界を確保するためには地下道形式となる場合、または立体交差とするために著しく費用増となる場合は平面交差のみでよい。また、高速道路等沿道制限のある場合は立体交差のみでよい。

3.1.3 その他の留意事項

防護柵、標識、表示板、信号機等の道路交通のために設置する道路付属物は、必要最小限にとどめるものとする。

道路付属物の基礎は計画堤防内に設置しないことを基本とする。

橋の堤外地側にアンダークロス道路は設置しないことを基本とする。

道路の設置にあたっては、他の一般公衆の自由かつ安全な河川使用の妨げとならないよう、堤内地及び堤外地へのアクセスに配慮した横断歩道の設置等の必要な対策を講ずるものとする。

歩道等は、高齢者、障害者、車いす等の利用に配慮した構造とする。

*「工作物設置許可基準」を要約

[解説]

堤防天端に防護柵等を設置すると、洪水時の水防活動の支障や堤防の弱体化につながるため、交通安全上特に必要と認められる区間に限り認めるものである。

道路付属物の基礎付近は、一般に亀裂が入り易く雨水が浸透し堤防が弱体化する恐れがあることから、縦断的又は横断的に連続して設置する場合には計画堤防外に設けることを基本としたものである。なお、標識、表示板等を単独で設置する場合でかつ特に入念な施工をおこなうときはこの限りでない。ここで、堤防のかさ上げ、拡幅時等に施工した堤防の余盛部分については、築造後3年以上経過しており、さらなる沈下（広域的な地盤沈下を含む）等が見込まれない場合は、計画堤防外として工作物が設置可能とするものとする。

また、道路付属物の基礎をのり肩ぎりぎりに設けることも好ましくない。

橋の堤外地側にアンダークロス道路を設置しないことにした理由は以下のとおりである。

イ) 堤防取付部に必然的に生じる坂路又は道路設置により必要となる道路付属物によって河積阻害が生ずるとともに、路面を舗装することによって部分的に流速が速くなり、坂路等の突起による影響と相まって局部的に複雑な流れを生ずることとなり、洗掘等災害発生の危険性が増し、治水上の支障となる恐れがある。

ロ) 堤外地側のアンダークロス道路は河川敷地を分断することとなり、一般公衆の高水敷の安全な利用を制限する、親水性・景観を損なう、動植物の生態系に影響を及ぼす、ゴミ等の不法投棄を助長するなど、河川の自由使用の確保及び環境保全上好ましくない。

ハ) 堤防を兼用している道路と橋の取付部が交差する箇所での交通渋滞の解消は堤内地側での立体交差施設の設置、バイパスの設置等の手段を講じ道路管理者においてなされるべきものであり、橋、取排水施設等のように河川敷地内に設置しなければならない必然性に乏しい。

道路を設置すると、堤内地と川とを結ぶ通行路を分断し、堤内地及び堤外地への自由かつ安全なアクセスを妨げる場合がある。このため、道路を設置する際には、川辺や堤防上の散策路、堤内地の歩道等からなるネットワークの形成に配慮しつつ、適当な位置に適当な間隔で横断歩道を設けるなどの必要な対策を講じるものとしたものである。なお、横断歩道の取付部には、横断待ちの歩行者のための安全な待ちスペースが確保されることが望ましい。

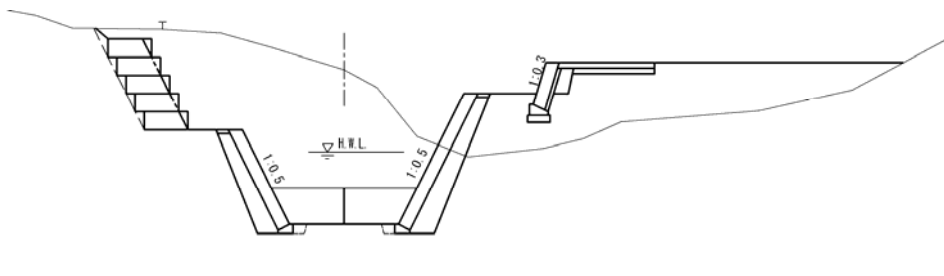
川は、水と緑、生物の賑わい、風と匂いなどがある開けた空間であり、人を健康にし、人の心を癒す機能を有している。また、子供、大人、高齢者、障害を持つ人が交流できる空間でもある。高齢化社会の到来に伴い、これらの機能を活かす川作り、「川の365日」を意識した健康づくりやふれあい・交流の場としての川づくりが求められている。このため、歩道等は、高齢者、障害者、車いす等の利用に配慮しバリアフリー化した構造とするものとしたところであり、地形の状況や地域の意向を踏まえつつ、可能な限り歩車道の分離、歩道等の有効幅員の確保、歩道等と車道との適切なすり付け等がなされるよう配慮するものとする。

管理用通路の平面線形と縦断勾配を明確に規定する技術基準等は存在しません。堤防上に管理用通路を設ける場合は線形と縦断勾配がほぼ自動的に定まりますが、掘込河道では平面線形の選択に自由度がありますし、堰などの横断工作物がある場合は堤防の高さが局所的に凸凹することもあるので管理用通路の縦断勾配についても考慮が必要です。ここでは無堤河川における管理用通路の平面線形と縦断勾配の設定に際して留意すべき点について記します。

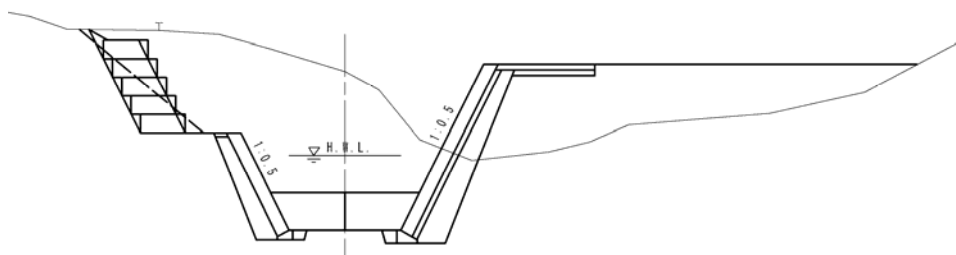
掘込河道における管理用通路の平面位置は、用地面積をなるべく小さくしようとして河道に接近させることがよくあります。条件によっては河岸の肩までよせて護岸を路側兼用護岸としてしまうこともあります。しかし、河道の深さが大きい勾配が急な河川では、管理用通路を河岸に寄せると上載荷重が護岸に作用するようになることがあるので、護岸の安定性について照査が必要です。また、一般道との兼用とする管理用通路を河道に接近させる際には転落防止用のガードレールが必要になります。なお、この場合、ガードレール基礎は堤防として認められないのでこの高さの分だけ余分に護岸を高くする必要があります。また、一般道との兼用とする場合には道路構造物の標準設計に準じて裏コンクリートを護岸の高さに応じ配置する必要があります。以上のように、場所ごとに、管理用通路の利用性、護岸の安全性、施工性、経済性等を総合的に捉え、ベストな方策を講じることが肝要です。

縦断勾配については、一般道として兼用される場合には一般道としての基準を満たさなければなりません。管理用通路としてのみの利用であっても、林道規定等を参考にしてなるべく通行性をよくすることが望まれます。

< 管理用通路路側を護岸と独立させた例 >



< 管理用通路路側を護岸兼用とした例（一般道との兼用とした場合） >



3.2 構造・設計細目

3.2.1 幅員

管理用通路の幅員は 3m 以上で堤防天端幅以下の適切な値とすること。ただし、堤防高と堤内地盤高の差が 0.6m 未満の場合、小河川の場合、にはそれぞれ河川管理施設等構造令に定められた特例があるので、必要に応じて適用するものとする。

*「河川砂防技術基準（案）設計編」を再編

[解説]

管理用通路は、その機能を果たすべく、取るべき幅員が 3m と定められている。ただし、堤防高と堤内地盤高の差が 0.6m 未満の場合、小河川の場合、にはそれぞれ河川管理施設等構造令に定められた特例がある。これらは管理用通路の規模の縮小を許した特例であって厳守すべき性格のものではないが、コスト縮減のために特例を適用しない必要性がない限りは適用されるのが通常である。

特例の内容は以下のとおりである。

< 管理用通路の幅員に関する特例 >

堤防高と堤内地盤高の差が 0.6m 未満の場合

堤防高と堤内地盤高の差が 0.6m 未満の場合は、管理用通路の幅員を以下のように設定することができる。

川幅 5m 未満	両岸とも 1m 以上
川幅 5m 以上 10m 未満	片側 3m、対岸 1m
川幅 10m 以上	両岸とも 3m 以上

小河川の場合

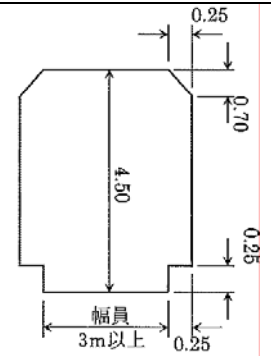
計画高水流量が 100m³/s 未満かつ川幅が 10m 未満の場合がここでいう小河川の条件である。この条件を満たす場合には幅員は 2.5m 以上とすることができる。なお、これは堤防高と堤内地盤高の差が 0.6m 以上の場合でも適用が可能である。

*「河川管理施設等構造令」を再編

3.2.2 建築限界

管理用通路の建築限界は次の図に示すところによること。ただし、堤防高と堤内地盤高の差が0.6m未満の場合、小河川の場合、にはそれぞれ河川管理施設等構造令に定められた特例があるので、必要に応じて適用するものとする。

*「河川管理施設等構造令」を再編



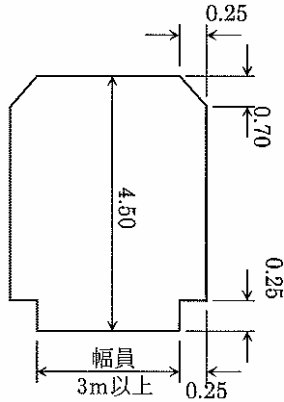
[解説]

管理用通路は、その機能を果たすべく、建築限界が定められている。ただし、堤防高と堤内地盤高の差が0.6m未満の場合、小河川の場合、にはそれぞれ河川管理施設等構造令に定められた特例がある。これらは管理用通路の規模の縮小を許した特例であって厳守すべき性格のものではないが、コスト縮減のために特例を適用しない必要性がない限りは適用されるのが通常である。

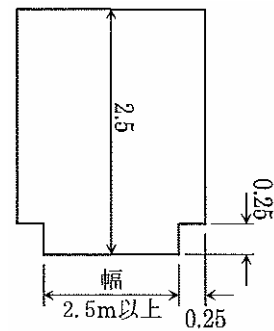
特例の内容は以下のとおりである。

< 管理用通路の建築限界に関する特例 >

堤防高と堤内地盤高の差が0.6m未満の場合

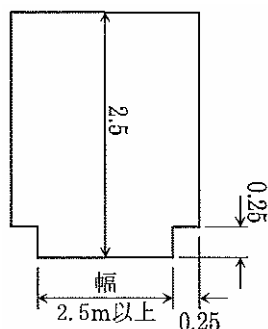


(幅員 3m 以上の場合)



(幅員 3m 未満の場合)

小河川の場合



「河川管理施設等構造令」を再編

3.2.3 舗装構成

管理用通路は、一般道路と兼用する場合、堤防土が脆弱で降雨時における雨水の天端からの浸透を軽減する必要がある場合、河川の重要度が高く河川巡視用車両・水防活動用車両の通行性を向上させたい場合、縦断勾配が著しく急で舗装がないと車両の通行が困難な場合等には舗装してもよい。

なお、幅員 1m の管理用通路は原則として舗装しないものとする。

舗装構成の設計はその利用形態に応じ、「舗装設計施工指針」、「舗装設計便覧」に従うものとする。

* 山梨県独自の考え方による

[解説]

管理用通路は、

- (1) 一般道路と兼用するため走行性を向上させる必要がある場合
- (2) 堤防土、河岸土が脆弱で、降雨時における雨水の浸透が堤体・河岸に悪影響を及ぼす恐れがあって、舗装により雨水の浸透を軽減する必要がある場合
- (3) 対象河川の治水重要度が高く、日常の巡視を頻繁に行う必要がある場合、洪水時における水防活動に大きな減災効果を期待する必要があるとみなされる場合には舗装するものとする。

舗装構成の設計は、原則として下表に基づき実施するものとする。

利用形態	舗装
一般道との兼用	一般道として設計
サイクリングロード・歩道との兼用	歩道として設計
河川管理専用（幅 3m）	歩道として設計 or 舗装なし
河川管理専用（幅 1m）	舗装なし

管理用通路の線形は、基本的に河川の法線形に沿った形にする必要があるので、管理用通路の縦断勾配は河川の縦断勾配に左右される。著しい急流河川を対象とした場合、縦断勾配がアスファルトの施工限界を超える可能性がある。この場合にはコンクリート舗装とする。

堤防天端に舗装を行う場合、舗装構成が河道計画として必要な堤防断面を犯さないようにするのが望ましい。

第4節 護岸

4.1 護岸設計の基本

4.1.1 設計の手順

護岸の設計は、一般的には右図のフローに沿ってなされる。

まず、局所洗掘の予測を行う。予測方法については4.3.1項を参照のこと。

次に、局所洗掘の範囲を推定する。推定方法については4.3.2項を参照のこと。

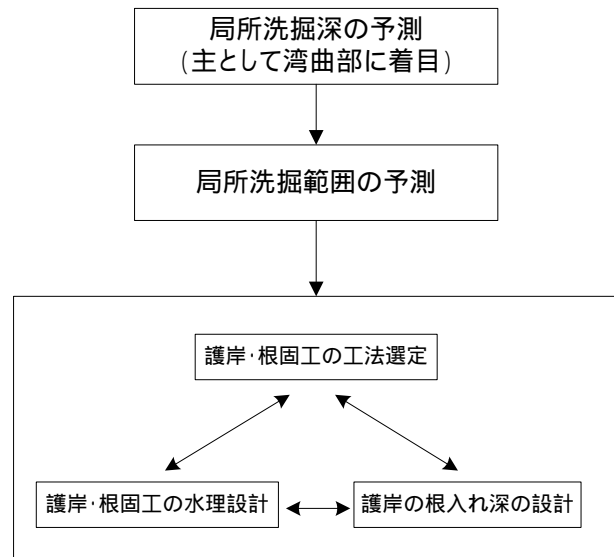
局所洗掘深・局所洗掘範囲が明らかになったら、これらを寄与条件として護岸・根固工の水理設計を行う。水理設計の項目としては、

護岸・根固工の工法選定、護岸の根入れ深の設計、護岸・根固工の水理設計、の3つである。これら3項目は、設計のプロセスにおいてフィードバックが繰り返されることになる。

護岸・根固工の選定に際しては、対象河道の河床変動特性・河道特性等にマッチした工法を選定することが重要である。工法の選定に際しては、4.1.2項および4.2項、技術コラム「急流河川における護岸の被災形態」、まめ知識「景観法」を参照のこと。

護岸の根入れ深の設計では、これに先立って予測した局所洗掘深に対し、護岸の根入れと根固工とでこれをどのように分担するかを決める。例えば、護岸に根入れを持たせず、根固工の屈撓性だけで局所洗掘に対処する方法もあれば、護岸の根入れだけで対処し、根固工を設置しない方法もある。また、護岸の根入れと根固工とで分担する方法もある。これについては4.2.3~4項および技術コラム「基礎工の形式の選択」を参照のこと。

護岸・根固工の水理設計では、設置予定地点の地形的特性、洪水時の水理特性等を反映しつつ、長期にわたって安定が得られるように諸元を決定する。水理設計に際しては、4.3項を参照のこと。



4.1.2 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つては堤内地を安全に防護できる構造とする。

水際に設置する護岸は、水際部が生物の多様な生息環境であることから、十分に自然環境を考慮した構造とする。

河川利用の多い河川では、利用者の安全に配慮しつつ親水性機能を付与するよう配慮する。

保全すべき良好な景観が形成されている区域、景観計画に組み入れられている区域などでは景観に配慮した概観をもたせるようにする。

現地の地形条件等に配慮し、施工性に配慮した構造とする。

経済性等を考慮して設計するものとする。

[解説]

護岸の設計に際しては、主として(1)水理的安定性、(2)環境性、(3)親水性、(4)景観性、の4つの性能を確保しつつ、(5)施工性、(6)経済性、にも配慮する必要がある。これら6つの項目は互いに関連しあうものであるから、護岸の選定に際しては、6つの項目について繰り返しフィードバックすることが重要である。例えば護岸の選定の際に(1)、(2)、……、(6)の順で照査を行い、仮にすべてを満たす工法が見出されたとしても、再度(1)から順にみなおすことがよい工法選択につながる。

なお、これら4つの性能はすべて同レベルに扱われるべきではなく、護岸の計画地点の特性によって優先順位を変えるのが普通である。条件によってはこれら4つ以外の別の性能についても合わせて考慮する必要がある場合もあり得る。

以下に、個別の性能について、適切な護岸選択の基本的な考え方を示す。

(1)水理的安定性

水理的安定性を確保し、侵食作用から堤防・河岸を守る等の機能を発揮することは、護岸を設置する本質的な目的であるので、他の機能よりも優先的に扱われることが多い。具体的には「河川砂防技術基準(案)」、「護岸の力学設計法」、「美しい山河を守る災害復旧基本方針」等に示されている水理設計法に基づき照査を実施することになる。

水理設計においては、基本的に現地の洪水時水量に合わせて部材の大きさや重量を選択する方法が取られるので、適当な大きさ・重さの部材が調達できれば理論上ほとんどの工法が適用可能との誤解を生みがちであるが、現実的にはそうではない。護岸工法にはそれぞれ水理上の特徴があるので、当該地点において過去に発生した侵食事例、水理的特性等から、その地点に設置する護岸に期待する機能(例えば流水による堤防表面の侵食の防止など)を明確にし、その機能を発揮できるであろうと期待される適切な護岸工法を選択することがより安定でかつ経済的な護岸の設計を行う上で重要である。工法と発揮が期待される機能との関係については、4.2.1.1項に記す。

(2)環境性

環境性を確保することは、あらゆる河川に求められていることであつて、水理設計と同様に重要である。環境設計に際しては、護岸に求められる治水機能を損ねることなく、環境へのインパクトを最小限に抑えることが求められる。積極的に新たな環境の創生を目指して構造物の諸元等を工夫する考

え方もあるが、継続的かつ全域的な環境破壊の結果、現況河道において保全すべき環境が見当たらない場合にのみ適用すべきである。

環境設計の具体的な方策としては、以下の2つのアプローチが存在する。

*適切な工法の選択：治水機能を保持しつつ、環境へのインパクトを最小限に留められる工法を選択する。なお、元の環境よりも良好な環境を創出することが期待されることもある。

*構造的工夫：環境的には選択したい工法であるものの治水的に強度不足となる場合、補強して必要な治水安全度を確保したり、治水面から選択した工法に工夫して環境性をもたせたりする工夫が必要となる場合がある。

(3)親水性

周辺流域が居住区で当該河川が住民の憩いの場になっている場合など、親水性を高める必要がある場合は、利用者の安全性、環境へのインパクト、親水施設の設置が河道の水理的安全性に与える影響等を考慮しつつ護岸の緩勾配化、階段の設置等について検討する必要がある。ただし、親水性と環境性は両立が難しいケースもあり得るので、貴重種が生息する場合などは親水性と環境性の優先順位を明確にしたり、河道をゾーニングして区間ごとに目指す河川の姿（目標）を変えるなど、計画段階における十分な検討が必要である。

(4)景観性

親水性に配慮すべき場合、元々特筆すべき景観を有している場合、元の美しい景観を取り戻したい場合などは景観性に配慮することも重要である。景観性については、その評価が難しい側面があるので、計画段階で目標を明確にすることが必要である。

(5)施工性

計画・設計段階において施工性に配慮し、現地の地形条件等により施工が不可能・困難な工法の選択を避けることが必要である。ただし、(1)～(4)を損ねてまでも施工性の向上に努めることは、護岸設置の本来の目的からして適切ではない。

(6)経済性

経済性への配慮は、上記5つの項目を高水準で達成することと反するよう思われるが、河川事業は公共事業である以上、費用を極力抑えなければ事業化が認められないという体系の存在を無視することはできない。

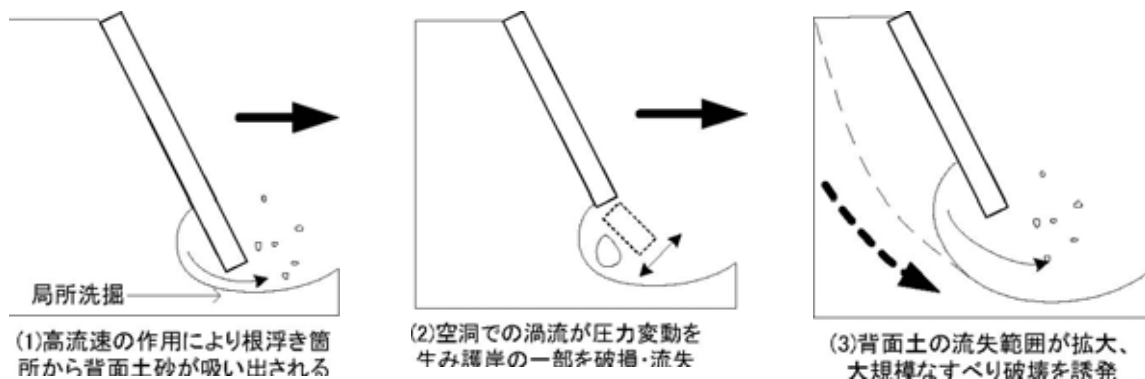
経済性の向上を図る際には、無駄を省く、合理的な施工により工期を短縮する、河川の本来持つ復元作用に期待する等に配慮すべきであり、経費削減のために必要な機能を損ねるようなことがあってはならない。

一般河川における護岸の被災形態は、「河川・砂防技術基準(案)」、「美しい山河を守る災害復旧基本方針」等に詳しく紹介されていますので、ここでは急流河川に特化した護岸の被災形態について解説しようと思います。

急流河川において最も多いと思われるのが河床洗掘による被災です。護岸前面の河床洗掘が護岸の基礎工以下にまで進行し、基礎工が支持力を失って護岸の自重により崩壊する場合や、基礎工の下から護岸の背面土が抜け出して、護岸がそれに追従する場合があります。

天端工・天端保護工の被災も急流河川ではよく見られるようです。河道が湾曲しているところなどでは、洪水時に流水が低水路から洪水敷に乗り上げたり、逆に高水敷から低水路に落ち込んだりすることがあります。この流れの流速が大きく、天端工・天端保護工を破壊に至らしめるのがこの被災形態です。

吸出し破壊は緩流河川ではめったに起こらない、急流河川ならではの被災形態と言えるでしょう。これは以下のようなプロセスで発生します。まず、局所洗掘の進行により護岸の根が浮いた部分から背面土砂が吸い出されます。次いで空洞内で組織渦が形成され、圧力変動を生じ護岸を揺動させます。そして護岸の一部が破壊され、開口部が拡大します。その結果、背面土がいつその侵食を受け、ついには土質の安定を失って大規模すべり破壊を誘発します。



ここに挙げた被災形態は、いずれも護岸近傍の土砂移動と密接な関係があるものばかりです。ですから、こうした被災を生じさせないための対策は、護岸近傍の土砂移動を許さないことが必要となってきます。

まめ知識	景観法
<p>景観法は、我が国の都市、農山漁村等における良好な景観の形成を促進するため、景観計画の策定その他の施策を総合的に講ずることにより、美しく風格のある国土の形成、潤いのある豊かな生活環境の創造及び個性的で活力ある地域社会の実現を図り、もって国民生活の向上並びに国民経済及び地域社会の健全な発展に寄与することを目的として2004年6月に公布されました。</p> <p>この法では、環境計画の立案、景観地区の設定、景観協定の締結、景観重要構造物と景観重要樹木の指定、景観整備機構の指定が扱われています。</p> <p>景観計画とは、現にある良好な景観を保全する必要があると認められる土地の区域、地域の自然、歴史、文化等からみて、地域の特性にふさわしい良好な景観を形成する必要があると認められる土地の区域等を対象に定める景観の将来計画です。国と地方公共団体は、景観計画の策定が必要かどうかを判断し、必要であれば必要な手続きのもとこれを策定する責務があります。なお、景観計画の策定に際して住民が提案することが可能であり、景観計画策定に携わる行政団体（景観行政団体と呼称される）は、計画提案が行われたときは、遅滞なく、当該計画提案を踏まえて景観計画の策定又は変更をする必要があるかどうかを判断し、当該景観計画の策定又は変更をする必要があると認めるときは、その案を作成しなければなりません。</p> <p>景観計画は、区域内における建築物の形態意匠の制限等を定める都市計画と考えてよいでしょう。都市計画区域及び準都市計画区域内では景観地区を、それ以外の区域でも条例を制定することで準景観地区を設定することができます。</p> <p>景観計画が策定されると、計画区域内の建築等に関して届出・勧告による規制を行うとともに、必要な場合に建築物等の形態、色彩、意匠などに関する変更命令を出すことができます。また、市町村は、景観地区内の工作物について、政令で定める基準に従い、条例で、その形態意匠の制限、その高さの最高限度若しくは最低限度又は壁面後退区域における工作物の設置の制限を定めることができます。さらには、景観行政団体は、景観計画区域内の良好な景観の形成に重要な建造物（景観重要建造物）や樹木（景観重要樹木）を指定し、所有者と管理協定を結んでこれらの保護や管理を義務付けることができます。</p> <p>景観行政団体は、公益法人やNPO法人を景観整備機構として指定することができます。なお、景観法により、従来の美観地区は廃止されました。</p>	

4.2 構造細目

4.2.1 のり覆工

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

4.2.1.1 工法の選定

のり覆工の工種は多種多様である。河道特性や作用する流速、高水敷の幅等の地形的条件、河川環境等に配慮し、適切なものを選択する。

[解説]

のり覆工の工種は、流水の作用に対する安定確保を重視したもの、植生の繁茂を促すもの、水棲生物の生息環境を提供するもの、景観を重視したもの等多種多様である。表 4.4.1 にのり覆工の工種とその特徴について表にまとめる。

のり覆工の工種は、設置地点の河道特性、洪水時における最大流速・せん断力等水理的な条件、景観、河川環境、地形的特徴、施工性、経済性等を総合的に評価して決定する。建設省土木研究所資料「洪水流を受けたときの多自然型河岸防御工・粘性土・植生の挙動」(平成 9 年 1 月)によれば、まず河川環境に配慮した工法の選定・組合せを行い、次いで水理設計を実施して洪水時の安定を確保する手順が提案されている。また、より簡便な方法として、「美しい山河を守る災害復旧基本方針」及び「護岸の力学設計法」には計画高水流量時の設計流速から選定する方法も紹介されている。設計条件等から都合のよい方法を選択するものとする。

表 4.4.1(1) 工法の種類と特徴(「美しい山河を守る災害復旧基本方針」をもとに再編)

復旧工法例		工法の概要図	設置の目安	設計の考え方・特徴等
植生系	張芝		<ul style="list-style-type: none"> ・のり勾配が 1 : 2.0 より緩いところ ・代表流速は 2m/s 以下 	<ul style="list-style-type: none"> ・30cm 以上の土羽厚を確保する ・平水位では浸水しない位置に設置する ・草刈・雑草の排除等の管理をどの程度実施するかで流水に対する耐侵食強度が変わるので、活着するまでは十分な養生が必要 ・水際は残土・寄せ石等を行い、場合によっては木杭を併用する
	ジオテキスタイルシート系		<ul style="list-style-type: none"> ・のり勾配が 1 : 2.0 より緩いところ ・代表流速は 3m/s 以下 	<ul style="list-style-type: none"> ・ジオテキスタイルで表面を覆い、表面の植生に通根させることによって補強効果を得る ・ジオテキスタイル上には 10cm 程度の覆土を行い、植生工を施す ・上下流端部および天端部、のり尻部にはアンカーピン等でめくれ対策を施す ・水際は残土・寄せ石等を行い、場合によっては木杭を併用する
	ブロックマット		<ul style="list-style-type: none"> ・のり勾配が 1 : 1.5 より緩いところ ・代表流速は 4m/s 以下 	<ul style="list-style-type: none"> ・めくれ対策が必要であり、特に上下流端のすり付け部の処理を確実にを行う ・杭・アンカーピン等によるすべり止め対策を施す ・残土等により基礎部の寄せ石やのり面部に覆土を行い植生の復元を図る

表 4.4.1(2) 工法の種類と特徴(「美しい山河を守る災害復旧基本方針」をもとに再編)

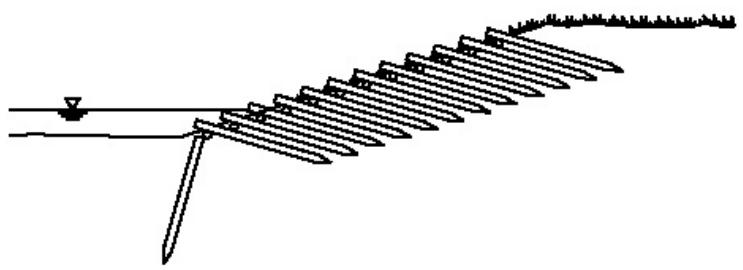
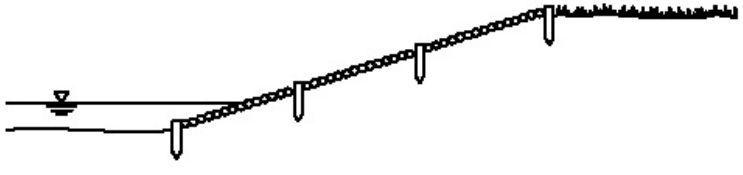
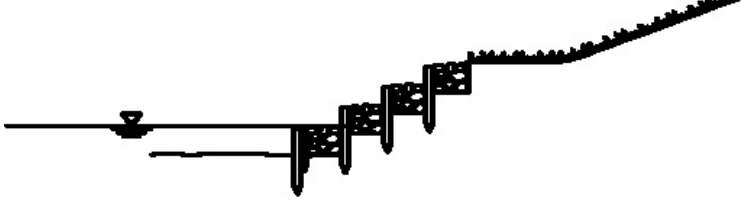
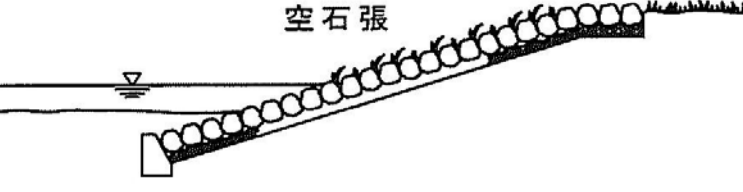
復旧工法例		工法の概要図	設置の目安	設計の考え方・特徴等
木系	丸太格子		<ul style="list-style-type: none"> 代表流速は 4m/s 以下 	<ul style="list-style-type: none"> 間伐材を積極的に使用する 木杭の腐食対策として柳等の植生を併用することが多い
	粗朶法棹		<ul style="list-style-type: none"> のり勾配が 1:1.5 より緩いところ 代表流速は 4m/s 以下 	<ul style="list-style-type: none"> 詰石は、代表流速に対して安定な径を選択する 必要に応じて吸出し対策を実施する
	杭柵		<ul style="list-style-type: none"> のり勾配が 1:0.5 より緩いところ 代表流速は 4m/s 以下 	<ul style="list-style-type: none"> 詰石は、代表流速に対して安定な径を選択する 平水位以上の領域および水位変動域では、柳等の植生と併用することが多い
石系	自然石張(空)	<p>空石張</p> 	<ul style="list-style-type: none"> のり勾配が 1:1.5 より緩いところ 代表流速は 5m/s 以下 	<ul style="list-style-type: none"> 石は、代表流速に対して安定な径を選択する 石はかみ合わせて安定性が増すよう工夫する

表 4.4.1(3) 工法の種類と特徴(「美しい山河を守る災害復旧基本方針」をもとに再編)

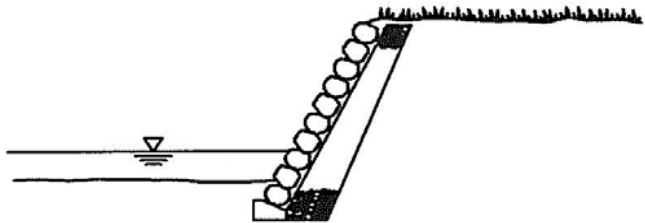
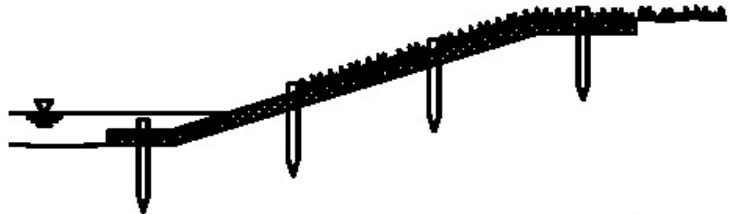
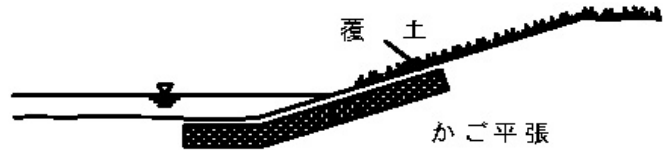
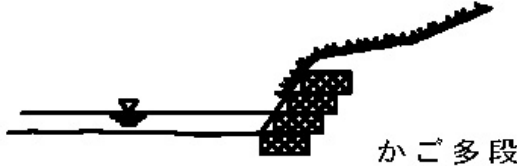

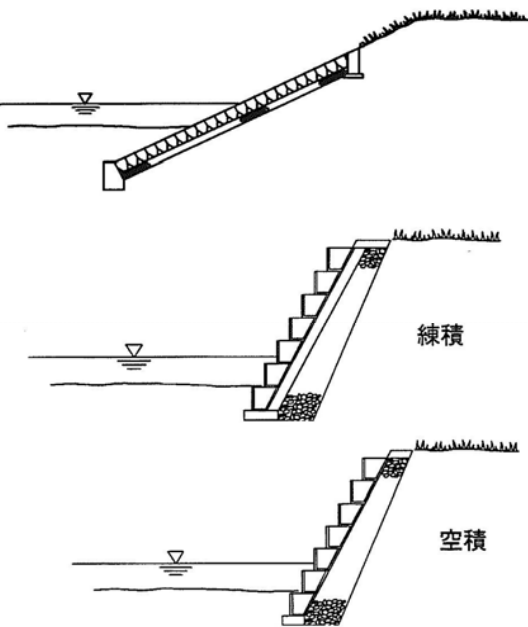
復旧工法例		工法の概要図	設置の目安	設計の考え方・特徴等
石系	自然石積(練)		<ul style="list-style-type: none"> 急勾配、大流速の場合に用いられる 	<ul style="list-style-type: none"> 同じ厚さのコンクリートブロックと同等の強度を有すると考える 胴込コンクリートは深目地として表に出ないようにする 残留水圧軽減のための水抜き工を適宜設置する。なお水抜きパイプは護岸表面に飛びなさないように施工する
	蛇籠		<ul style="list-style-type: none"> のり勾配が 1 : 1.5 より緩いところ 代表流速は 5m/s 以下 	<ul style="list-style-type: none"> めくれ対策が必要であり、特に上下流端、天端部、たれ部では注意を要す
かご系	かご	 <p>覆土 かご平張</p>	<ul style="list-style-type: none"> のり勾配が 1 : 1.5 より緩い場合は張タイプ、急な場合は積みタイプを採用 張りタイプの場合、代表流速は 5m/s 以下 多段積みの場合、代表流速は 6.5m/s 以下 	<ul style="list-style-type: none"> 覆土を行う際には、水締めで空隙をしっかりと埋めることが必要
	かご多段			

表 4.4.1(4) 工法の種類と特徴(「美しい山河を守る災害復旧基本方針」をもとに再編)

復旧工法例	工法の概要図	設置の目安	設計の考え方・特徴等
連節ブロック		<ul style="list-style-type: none"> ・のり勾配が 1:1.5 より緩いところ ・代表流速については、かなり大きい流速まで対応可能(水理設計を実施することが前提) 	<ul style="list-style-type: none"> ・必要に応じて鉄筋等によりずれ止めを設置する ・残土等により基礎部に寄せ石やのり面に覆土を行い、植生の復元をはかることが望ましい
コンクリート系		<ul style="list-style-type: none"> ・代表流速については、かなり大きい流速まで対応可能(水理設計を実施することが前提) 	<ul style="list-style-type: none"> ・ブロックには、構造、材質、機能等多種多様なものがあるので、河川の特性を十分把握し、目的にあったものを選定する ・植生の生育への配慮として、日照条件や冠水頻度等を把握した上でブロックの隙間や地山との連続性に留意する ・魚類の生育への配慮として、土砂の堆積状況等の条件を把握した上で、ブロック表面の凹凸やブロック空間の広さ等に留意する ・残留水圧軽減のための水抜き工を適宜設置する。なお、水抜きパイプは護岸表面に飛びなさないように施工する ・残土等により基礎部に寄せ石やのり面に覆土を行い、植生の復元をはかることが望ましい

4.2.2 水抜きパイプ

水抜きパイプは、洪水減水期に護岸に作用する残留水圧、あるいは集中豪雨等で河川が洪水になる前に堤内地の浸透水位が河川水位より高くなることにより残留水圧と同じように護岸に作用する水圧を軽減するために設置する。

[解説]

以下の条件が重なった場合、護岸のり覆工に作用する残留水圧が大きくなり、場合によっては護岸の安定性に影響を及ぼすことがある。

- ・護岸のり覆工のしゃ水性が高い
- ・背面土の浸透水圧が高い
- ・洪水の減水が早い

このような条件下にある護岸には水抜きパイプを設置するものとする。

一方、空石積み護岸、空石タイプのブロックなどはもともと背面土と護岸表での水の行き来が可能であるので水抜きパイプを設置する必要はない。

水抜きパイプの設置を検討する際には、対象河道の水理特性と以下に述べる水抜きパイプの水理機能・特性を十分に勘案すること。

水抜きパイプは洪水の増水期には河川水が逆に背面土に浸透する経路となるので設置を嫌う向きもあるが、掘込河道等では背後地の降雨が浸透して背後地の浸透水位を上げるので、水抜きパイプを設置しなくても結局は背面水圧が増大することになる。むしろ、水抜きパイプを設置した場合のメリットに注目すべきであると考えられる。

水抜きパイプを通しての残留水の排水に伴い、背面土の土砂が吸い出されるおそれがある。これを防止する方策として、パイプの地山側に吸出し防止材を設置する方法などがある。吸出し防止材としては、化学繊維を利用したものや、ヤシガラのような自然材を利用したものなどがある。ただし、堤防土が砂質の場合には吸出しを完全に防止することは難しいので、設置については慎重な対応が必要である。

水抜きパイプの設置密度、管径などは水理計算により求めることも可能であるが、工費的にも軽微であるので、通例に従い管径 5cm 程度の管を 2m² あたり 1 本程度設ければよいと考えられる。現実的には、1~2m 間隔で縦断方向に一列に並べる配置でよい。

水抜きパイプの設置高さは原則的には平水位より上とするが、護岸の遮水性が低く、背面土の透水性が高い場合にはこれより低くてもよい。

4.2.3 基礎工（のり留め工）

4.2.3.1 基礎工設計の基本

護岸の基礎工（のり留め工）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]

急流河川に限らず、護岸の被災形態のなかで最も発生頻度の高いものは、護岸前面の河床洗掘が護

岸の基礎工以下にまで進行し、基礎工が支持力を失って護岸の崩壊を招くいわゆる局所洗掘型である。よって、基礎工の設計に際しては、基礎工の設置高さ（天端高）をどのように設定するかを決定することが最重要事項となる。

基礎工の設置高さ（天端高）は、洪水時に洗掘が生じても護岸基礎の浮き上がりが生じないように、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より設定するものとする。ただし、この方法で基礎工の設置高さを決めた際に、護岸の高さが著しく大きくなって不都合が生じることがあり得るので、以下に示す基礎工の設置高さ（天端高）についての4つの基本的な考え方の中から適切な方法を選択することで対処する。

- (1)最深河床高の評価高を基礎工の設置高さ（天端高）とする。また、護岸の重要度や洗掘の予測精度に応じ、必要と判断された場合には前面に最小限の根固工を設置する。
- (2)最深河床高の評価高よりも上位に基礎工の設置高さ（天端高）を設定し、かつ根固工を設置して前面の洗掘が基礎工の基盤に至らないようにする。
- (3) 最深河床高の評価高よりも上位に基礎工の設置高さ（天端高）を設定し、かつ基礎工は矢板形式とし、必要に応じて根固工を設置する。
- (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、基礎を自立可能な矢板で支える。

なお、(2)および(3)の方法において、これまでの事例によると基礎工の設置高さ（天端高）を計画断面の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。

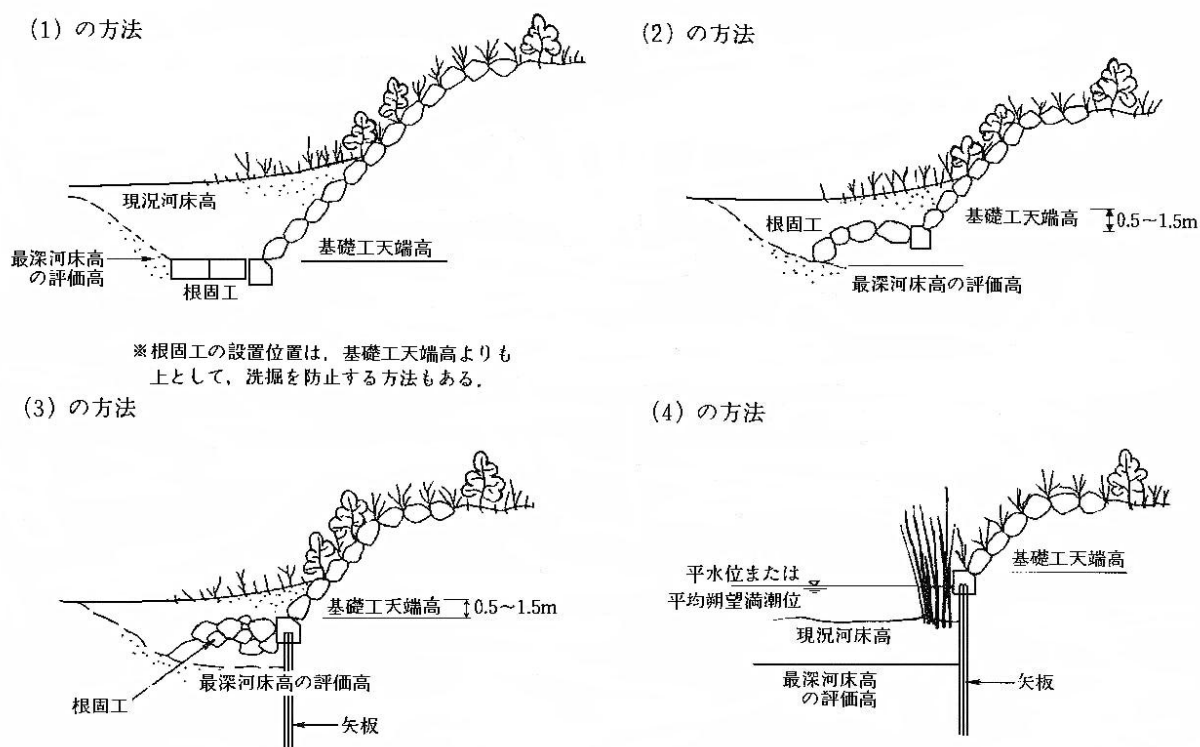


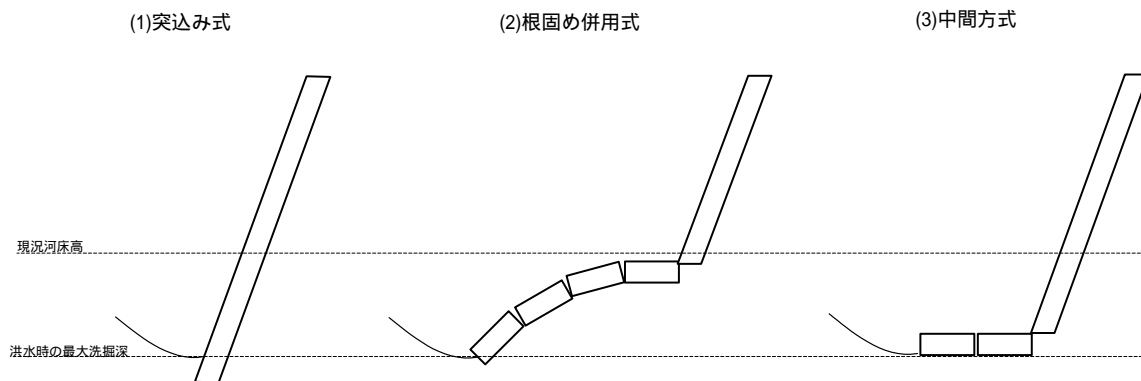
図 4.4.1 基礎工天端高と根固工の組合せの例

* 「河川砂防技術基準 設計編 ()」より引用

技術コラム

基礎工の形式の選択

一般に、護岸の基礎処理については、突込み式、根固工併用式、両者の中間方式、の3つの方法があります。それぞれの機能的な特徴について以下にまとめてみます。



方 式	特 徴
突込み方式	<p>強固で確実な工法である。</p> <p>のり勾配が急な場合、洗掘が進むとすべり破壊への注意が必要となる。</p> <p>洗掘深が基礎より深くなると背面土の吸出しが起こりやすくなる。</p>
根固め併用方式	<p>護岸の直高を低くできる。</p> <p>根固工は洗掘深に対して柔軟性を持っている。つまり実際の洗掘が設計洗掘深より大きくなっても根固工として機能する可能性がある。</p> <p>根固工自体は護岸に比べ信頼性・耐久性の低い構造であることが多い。</p> <p>最大洗掘深の発生位置がのり尻から根固工の先端にまで押し出される（洪水流況が変わる恐れがある）</p>
中間方式	<p>地形条件に恵まれ、かつ適切な設計がなされれば、突込み方式・根固め併用方式がそれぞれもつ欠点を補うことができる。</p> <p>設計が難しい。</p>

護岸の設計におけるこれらの工法の使い分けですが、基本的には河道特性、洪水特性等によって適切な方式を選択することになっています。しかし、実際問題として、護岸の方式は水理特性のみならず、経済性や環境性といった面からも検討しなければならないので、使い分けは難しい面があります。

山梨県の場合、急流河川が多いことから、この点に着目し以下のように考えるのも一つの方法と思われます。

基本的に、突込み方式とします。これは、護岸のほうが根固工より強固であるからです。山梨の急流河川では流速が大きく流砂による磨耗作用も強いので強固さが重要なのです。一方、根固工を将来の河床低

下への備えと位置付けておき、将来河床低下が進行したら根固工を敷設することを前提として突込み方式としておきます。

ただし、以下の条件にある場所においては、他の方式の可能性についても考慮する。

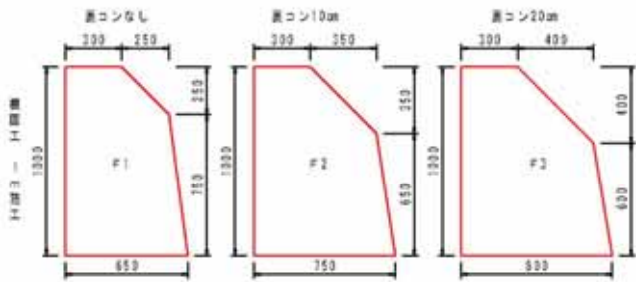
- ・突込み式であると直高が大きくなりすぎる場合（5mを一応の目安とする。なお、のり勾配が緩い場合は直高が高くなっても護岸に背面土圧が作用しないことがあるのでこの項目は気にする必要ありません）
- ・根入れを取るための施工により河床の強度が著しく失われ洪水時に洗掘を招く恐れがある場合
- ・既設の護岸で根入れが不足している場合で、かつ川幅が狭いなどで根継工の施工が困難な場合
- ・上下流に併用式の既設護岸がある場合

4.2.3.2 基礎工のタイプ

基礎工は、のり覆工の厚さやのり勾配に応じて適切な形状のものを選択する。

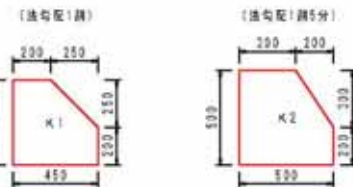
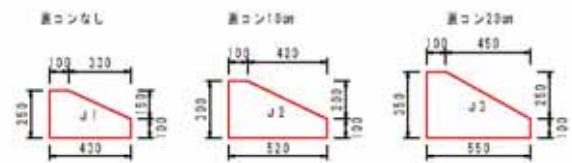
[解説]

基礎工は、一般に現場打ちコンクリートとして作成される。以下に示すものが定型としてよく用いられており、実績があるのでなるべくこの中から選択するようにする。やむを得ず定型以外のものを用いる場合には、安定計算などによってその安定性を十分に確認しなければならない。



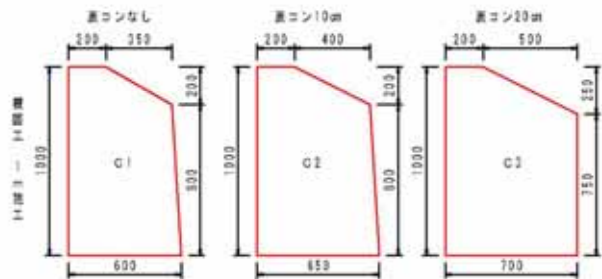
10.0m幅

種別	コンクリート量 m ³	型枠面積 m ²
F1	5.54	21.1
F2	6.16	21.5
F3	6.89	21.7



10.0m幅

種別	コンクリート量 m ³	型枠面積 m ²
J1	0.93	2.5
J2	1.14	4.0
J3	1.26	4.5
K1	1.71	10.0
K2	2.20	10.6



10.0m幅

種別	コンクリート量 m ³	型枠面積 m ²
C1	5.35	18.0
C2	5.89	18.0
C3	6.37	17.5



10.0m幅

種別	コンクリート量 m ³	型枠面積 m ²
D2	2.05	11.2
D3	2.89	13.6

護岸の基礎形状

4.2.4 根固工

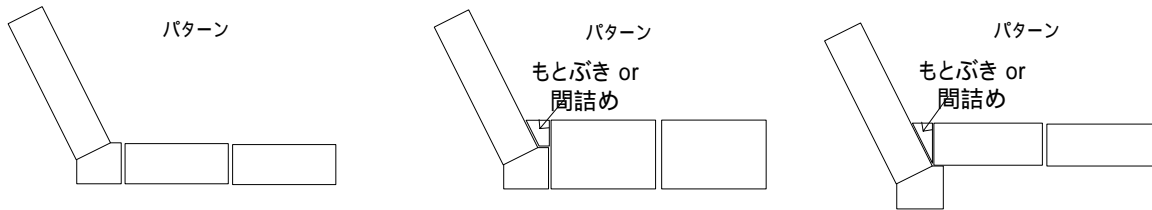
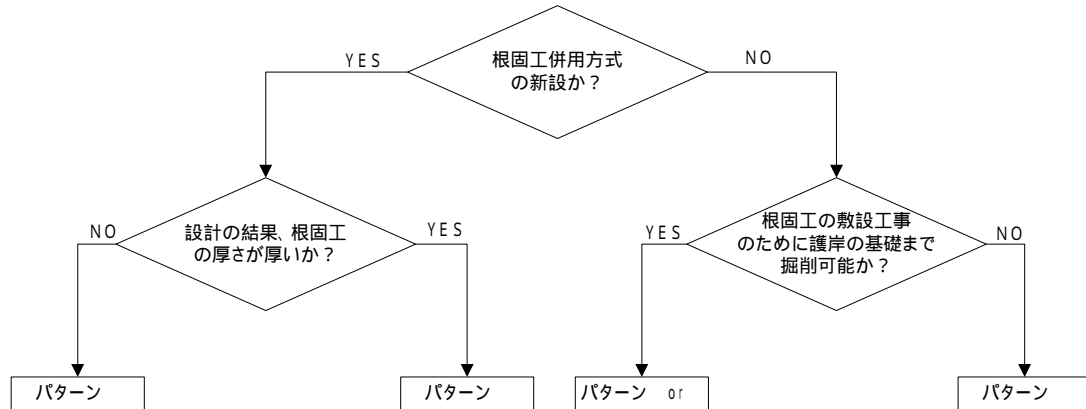
4.2.4.1 根固工の種類と特徴

根固工は、洪水時の洗掘を緩和し、基礎工の安定を図るために設置するものであり、単独もしくは法覆工と組合せて施工する。根固工には種々の素材を用いた工法があることから、各工法の特徴を十分理解しておく必要がある。

[解説]


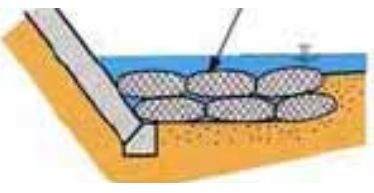

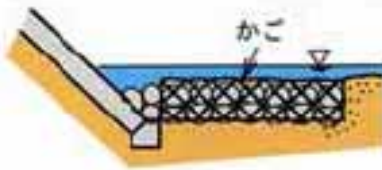
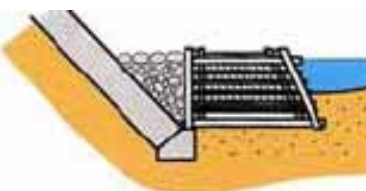
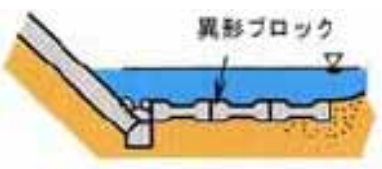
護岸の被災原因の多くは、基礎部の洗掘によるものである。根固工は、その地点の流勢を減じ、河床を直接覆うことで急激な洗掘を緩和する目的で設置する。根固工は流水の作用に対して安定である必要がある。法覆工と同様に各工法の構造的な特徴を理解した上で、そのタイプや配置について検討する。一般的に用いられる根固工の種類とその特徴を表 4.4.2 に示す。

基礎工と根固工の高さをどう組み合わせるかについては、河川砂防技術基準（案）や「美しい山河を守る災害復旧技術基準」でもその内容が異なるなど諸説あるようですが、以下のように考えるのも一つの方法かと思われます。



このフローの基本的な思想は、根固工の高さはなるべく低い位置に設置することで将来発生する洗掘に対する追従性を上げるとともに敷設範囲をなるべく小さくしたい、しかし施工時に掘削によって既設護岸の安定性を失わせるほどには下げない（護岸の基礎より深く根固工を配置することはない）、というものです。山梨県によく見られるような急流河川では、河床材料がアーマーコート化して石畳状になっているところもあります。こうしたところは少々の洪水では洗掘が発生しませんから、河床としては安全な状態にあると言えます。ですから、これをあえて剥がしてまで根固工を深く入れようとしないうほうが良いでしょう。

表 4.4.2 根固工の種類と特徴

工法	工法概念図	運用河川	材料	設計・施工上の留意点
石系		特に規定なし	できるだけ現地周辺の石材を利用	十分な敷設幅を確保
袋体系		<ul style="list-style-type: none"> ・転石の少ない河川 ・局所的に流速の速くなるところ不可 	できるだけ現地周辺の石材を利用 鋭利な形状の中詰材を避ける	流速が大きい場合は袋体同士を連結
沈床系		粗朶沈床：暖流 木工沈床：急流	できるだけ現地周辺の石材・間伐材を利用	木材は腐食防止のため常に水面下に置く
かご系		転石の少ない河川	できるだけ現地周辺の石材を利用 河川の水質に応じ耐食性に留意	河川利用のあるところでは鉄線の選択に配慮
片のり系		流下能力に余裕のある河川	できるだけ現地周辺の石材を利用	木材は腐食防止のため常に水面下に置く 環境保全に関する様々な工夫可
ブロック系		特に規定なし	連結・噛み合せが可能なものは安定度が増す	多孔質ブロック・自然石との組合せなどにより水際の多様性を確保

* 「美しい山河を守る災害復旧基本方針」より引用・補筆

4.2.4.2 根固工の必要な箇所

根固工は、設計流速や局所的な河床洗掘などの河床変動等を考慮しつつ、原則として以下の場合に設置する。

- ・かつて局所洗掘で護岸が被災したことがある場合
- ・最深河床が深く護岸基礎の根入れが不経済となる場合
- ・基礎の根入れのみでは必要な安定性が確保できない場合

[解説]

根固工は、被災原因を十分に把握して適正な箇所に設置するものとし、出水時の急激な河床洗掘による被災箇所や水衝部などの局所的な河床洗掘による災害を受けやすい箇所、及び既設根固工（上・下流を含めて）のある箇所において、現地条件を十分に考慮の上、その必要性を検討して設置するものとする。

4.2.4.3 根固工選定の考え方

根固工は、主として以下の点に配慮し選定する。

- ・設計流速等の外力に対して安全な構造であること
- ・魚類等の生息空間などの河川環境に配慮したものであること
- ・施工性、経済性等を総合的に勘案したものであること

[解説]

根固工の選定に際しては、計画高水流量時の洪水流を受けても安定な構造であるのはもちろんのこと、水際という河川空間の中でも最も生態系にとって重要な場所に設置する構造物であるため、環境性にも十分に配慮する必要がある。また、施工の困難なところに設置するので、施工性、経済性にも配慮を払うのはもちろんのことである。

根固工の工法については、施工予定箇所の河道特性、環境性等を勘案して個別に決定するのが理想であるが、以下の表に示した工法別の特徴を参考にしてもよい。

表 4.4.3 根固工の工法の特徴

工法	工法の特徴
石系	<ul style="list-style-type: none"> ・捨石の粒径を水理設計することで、様々な流況の河川に適用可能。 ・多孔質であるので、平水時水位を勘案しつつ適切な標高に設置すれば、水生生物にとって良好な環境を創出可能。 ・急流河川では景観的にもマッチし、かつ現地発生材を利用することで経済的な施工が可能。
袋体系	<ul style="list-style-type: none"> ・多孔質であるので、平水時水位を勘案しつつ適切な標高に設置すれば、水生生物にとって良好な環境を創出可能。 ・転石の少ない河川に適用する。 ・橋脚周りや床止め下流など、局所的に流速が速くなる場所での使用は避ける。
沈床系	<ul style="list-style-type: none"> ・粗朶沈床は緩流河川、木工沈床は急流河川で用いられる場合が多い。 ・腐食防止のため、常に水面下に没しておきたいので、水位変動が激しかったり、平水時の水深が薄い河川では不適。
かご系	<ul style="list-style-type: none"> ・多孔質であるので、平水時水位を勘案しつつ適切な標高に設置すれば、水生生物にとって良好な環境を創出可能。 ・屈撓性の大きなものは河床変動の大きな場にマッチする。 ・転石の少ない河川に適用する。 ・酸性又は塩分濃度の高い場所では耐食性の優れた素材を使用するなど注意が必要。
片法枠系	<ul style="list-style-type: none"> ・流下能力に余裕のある河川に適用する。 ・腐食防止のため、常に水面下に没しておきたいので、水位変動が激しかったり、平水時の水深が薄い河川では不適。 ・護岸と法枠工の間を利用してさまざまな環境保全の工夫が可能であるので、積極的に水生生物の生育環境を創出したい場合に適。
ブロック系	<ul style="list-style-type: none"> ・水理設計を実施すれば、かなり流速の大きな河川にも適用可能。 ・環境面ではマイナス要素を持つものもあるので、空隙の多いブロックや石等との組合せにより、多様な水際を確保するよう工夫する必要あり。

4.2.5 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る。天端工の端に巻止工を設置する場合もある。

より詳細な情報が必要な場合は「河川砂防技術基準（案）同解説設計編[I]」の 4.2.4 項解説を参照されたい。

4.2.6 覆土・寄せ石

工事によって発生した残土は覆土等に利活用するものとし、植生の回復を図る。また水際部においても現地発生材等を利用した寄せ石等を行う。

[解説]

覆土は、護岸等の施設の上に土壌を確保し、天然河岸と同様に植生が生育しやすいような条件を整えることにより、河川環境の保全を図るものである。また、植生の繁茂によって景観や親水性が向上し、「川らしさの復元」に効果がある。

覆土や寄せ石の材料は現地発生材を仮置きして利用するものとし、特に覆土材は現地で採取した表土を活用することで、元の状態に近い状態で早期に植生の回復が期待できる。

覆土ができない構造の護岸の場合は、現地の状況に合わせて水際部の寄せ石、天端部の覆土を行うことが望ましい。

水際部には、覆土の流出を防止するため、また、多孔質な空間を確保するため、必要に応じて寄せ石を行う。その際には、対象となる生物に対して適切な大きさの空間を確保できないと効果が少なくなることに留意すること。

連節ブロック等のめくれが弱点となる護岸では、ある程度の層厚を確保して、覆土の締固めを行う隠し護岸タイプを検討する。

4.3 設計細目

4.3.1 局所洗掘の予測

局所洗掘の予測は、基本的には「河川砂防技術基準（案）計画編」、「護岸の力学設計法」に基づいて実施するものとするが、これらの2文献ではしばしば性能設計的な書式で表現がなされているため、利用者にとってはわかりにくい面がある。このような表現がなされているのは、

局所洗掘の予測は技術的に非常に難しい

局所洗掘現象の特徴は、河道特性によってかなり異なるので、全ての河川について成立する事項を記述しようとする、絞り込んだ表現は避けなければならなくなる

局所洗掘の予測技術は特に進歩の著しい分野であるため、絞り込んだ表現をすることで新しい技術の開発・発展を妨げることがあってはならない等の事情があるからである。

山梨県の管理する河川は、いずれも著しい急流であること、比較的小規模の河川が多いこと、という特徴がある。このことは、局所洗掘の予測技術という観点で見れば、対象河川の条件を限定したことになり、局所洗掘の予測プロセスを技術基準化する際には「河川砂防技術基準（案）計画編」、「護岸の力学設計法」のそれよりもより踏み込んだ表現が可能であることを意味している。

本項では、上記の2文献よりも踏み込んだ表現で局所洗掘の予測法について記した。基本的にはこの手順により局所洗掘の予測を行うものとする。

また、本項には、3つの技術コラム「局所洗掘の種類と特徴」、「河道の大きさと洗掘深の関係」、「局所洗掘の予測（概論）」が示されている。「局所洗掘の種類と特徴」は、基本的な土砂水理学の知識として洗掘を2つのタイプに分類し、それらの成因について知ること、実際の河川における洗掘深の予測に役立てようとするものである。「河道の大きさと洗掘深の関係」は、流れの状態が同じようであっても河道のスケールが異なれば発生する局所洗掘深も異なる、すなわち護岸の根入れ深を設計するに際しては河道のスケールごと局所洗掘を予測しなければならないことを喚起したものである。「局所洗掘の予測（概論）」は、上記事項に鑑み、「河川砂防技術基準（案）計画編」、「護岸の力学設計法」における局所洗掘の予測プロセスを山梨県の河川の特性に合わせいっそう具体的に表現したものである。これらの技術コラムを活用し、局所洗掘に関する基本的な知識を踏まえたうえで局所洗掘の予測に取り掛かることが肝要である。

< 局所洗掘の予測法 >

局所洗掘は主として河道の湾曲部や屈曲部に発生するが、中規模砂州が形成されるような河道では直線部にも発生することがある。ここでは湾曲部における局所洗掘の予測方法について記すものとする。なお、直線部における局所洗掘の予測については「河川砂防技術基準(案)」、「護岸の力学設計法」、「美しい山河を守る災害復旧基本方針」等を参照されたい。

湾曲部における局所洗掘の予測方法としては、以下に述べる5つの手順がある。河川を重要河川と一般河川に分類し、以下のように方法を使い分けるものとする。

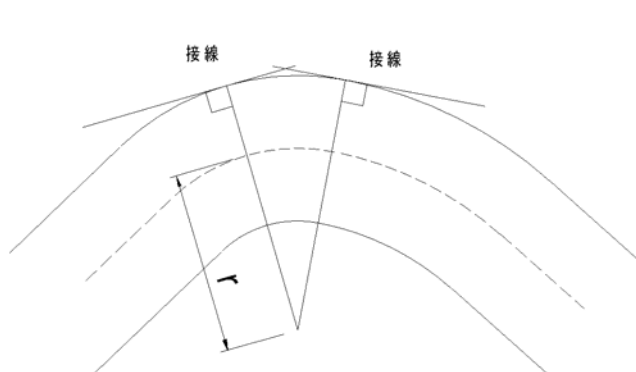
重要河川……方法1～3のうち、最大値を採用
一般河川……方法2と方法3のうち、最大値を採用
なお、重要河川のうち、必要な安全度を確保するためには特に局所洗掘深の正確な予測が必要とみなされる河川、洗掘位置の予測が重要な河川については方法4、5のいずれかを採用
重要河川：川幅が5m以上で背後地に居住地やライフラインなどの重要施設を有する河川
一般河川：上記以外の河川

方法1

方法1は、これまでに行われた調査・研究成果をもとに局所洗掘を推定するものである。推定方法には様々なものがあるが、ここでは池田の方法を紹介する。この方法は、砂粒に作用する流体力と重力のつりあい条件から局所洗掘深を理論的に導いたものである。

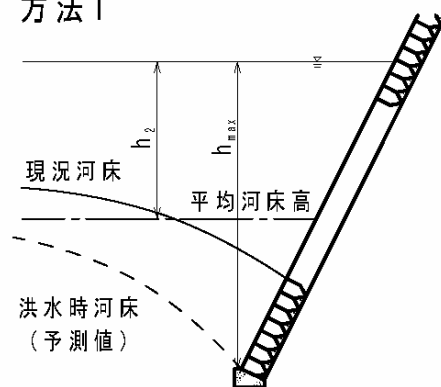
この方法に基づく局所洗掘の推定手順を以下に示す。

対象河道の曲率半径 r 、川幅 b を平面図より判読する。川幅 b は基本的には洪水時における水面幅とする。 r の読み取りには、下図に示す方法もある。この際、接線を引く2点が離れすぎないようにすることが必要である。



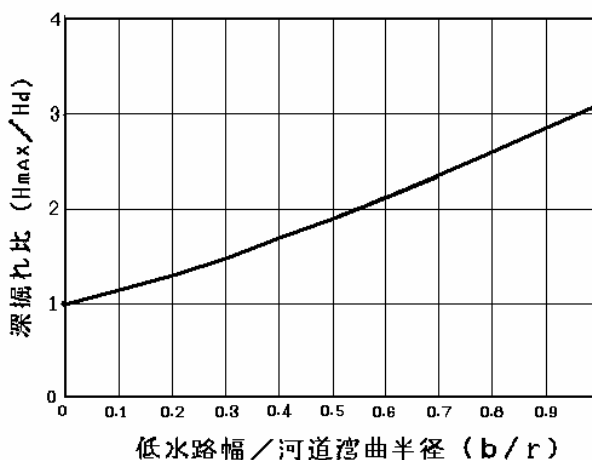
曲率半径の読み取り方の例

方法1



h_2 、 H_{max} のとり方

下図より h_{max}/h_a を求める。ここに、 h_{max} ：最大水深（洗掘箇所部の水深）、 h_a ：平均水深である。



< 解説 >

「河川砂防技術基準（案）計画編」、 「護岸の力学設計法」で紹介されている方法である。この方法には以下に述べるような精度上の特徴がある。これらの特徴と対象河川の河道特性と照合し、得られる洗掘深にどの程度の精度を期待できるのか検討することが必要である。

池田の方法の特徴と実用上の課題等

特徴	実用上の課題等
流量に応じた洗掘深が予測できる	洪水末期に生じる埋め戻し現象ゆえに、洪水後に測量を実施して洗掘深をとらえても、それが洪水時最大洗掘深と一致しているかどうかわからないという問題を解消できる。
単湾曲河道（曲率が一定の河道）を前提にしている	現実の河川では単湾曲とみなせる湾曲は少ないので、安全側の解が得られると解釈できる。
中規模砂州の影響は考慮されていない	中規模砂州が形成される河川での湾曲では、「共鳴現象」と称される湾曲による洗掘と砂州による洗掘が重なって大きな洗掘をもたらす現象があるが、この方法では共鳴現象発生時の洗掘量の評価はできない。したがって、中規模砂州が形成される河川では危険側の解を与える恐れがある。

方法2

山梨県土木工事設計マニュアル砂防編に基づく方法であり、対象地点における河床勾配と計画河床高を求め、以下の式により推定するものである。

局所洗掘高（最深河床高）= 計画河床高 -

ここに、

河床勾配が 1/20 より急な場合…… = 1.5m

河床勾配が 1/20 より緩い場合…… = 1.0m

<解説>

この方法は、ここに紹介した5つの局所洗掘深予測方法のうちで最も簡単で手間の要しないものであるが、以下の3つの点で課題が残されているのでその取扱いには十分に注意が必要である。

ア) 現行の河道計画手法（通称新河道計画）においては、計画河床高の概念が無くなっている

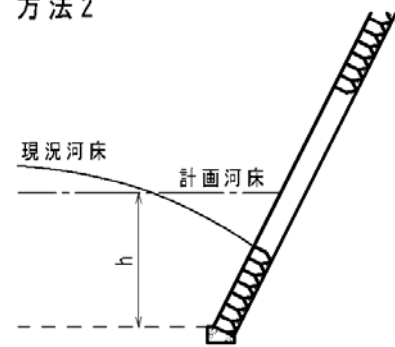
イ) 大きい河川ほど危険側の近似となる

ロ) そもそも力学的考察から導かれたものではないので、精度の面で問題があると考えられる。また、その適用範囲についても不明瞭である。

ア) の問題について、旧河道計画手法に則り河道計画がなされた河川については上記の枠囲いとおりとし、新河道計画手法に則り河道計画がなされた河川については上記の枠囲いにおいて「計画河床」を「管理河床」と読み替えるものとする。

イ) ロ) の問題については、方法2を単独で用いず、必ず他の方法との併用とし、最大値を選択するというプロセスを踏むことで対処する。

方法2



方法2における局所洗掘深の予測

方法3

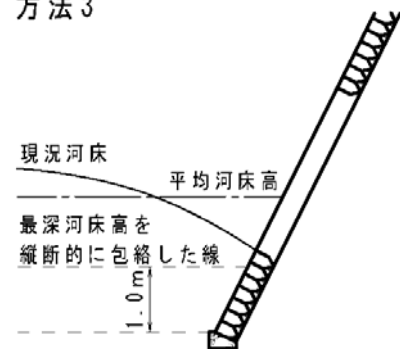
対象区間の横断測量データから推定するもので、以下の手順により求める。

護岸設置区間を対象に断面ごとの最深河床高を求め、縦断面図に描く。

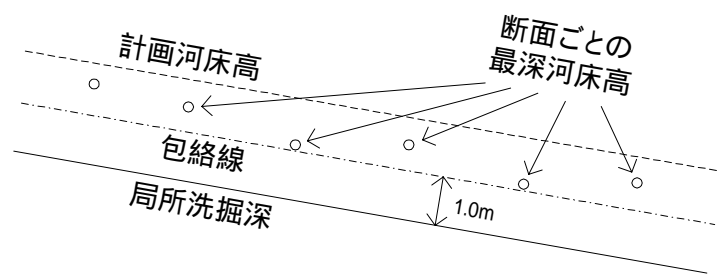
縦断面図上で異常値を除きすべての最深河床高を下回る直線を計画河床と平行になるよう引く。

その直線より 1m 下を洗掘深とする。

方法3



横断面図



縦断面図

< 解説 >

この方法は、実際の洗掘深から洪水時の最大洗掘深を予測する方法であるので、方法 2 よりも高精度が期待できる。この方法の最大の特徴は、現況の洗掘深と洪水時の洗掘深の差を 1m と仮定することによって、現況河床から洪水時の最大洗掘深を予測する点である。ただし、現況の洗掘深と洪水時の洗掘深との差を 1m としていることから、大きい河川ほど危険側の近似になっているという問題が残されている。

この問題については、基本的に方法 2 と同様であり、大河川への適用を避けること、他の方法との併用とし最大値を選択するプロセスを踏むことで対処する。

方法 4

当該区間を含む河道を相似律に従い製作した模型において移動床模型実験を行い、局所洗掘形状・発生位置等を求める。詳細については、技術コラム「局所洗掘の予測（概論）」を参照のこと。

方法 5

当該区間を含む河道を対象に数値シミュレーションを行い、局所洗掘形状・発生位置等を求める。手法の詳細については、技術コラム「局所洗掘の予測（概論）」、「河床変動計算」を参照のこと。

< 方法 4・5 の解説 >

方法 4 は模型実験による方法、方法 5 は数値シミュレーションによる方法で、それぞれ物理実験、数値実験と呼ばれることがある。いずれも方法 1～3 に比べ格段に高い精度で局所洗掘形状・発生位置等を予測可能である。特に洗掘位置についてはかなりの精度が期待できると言える。

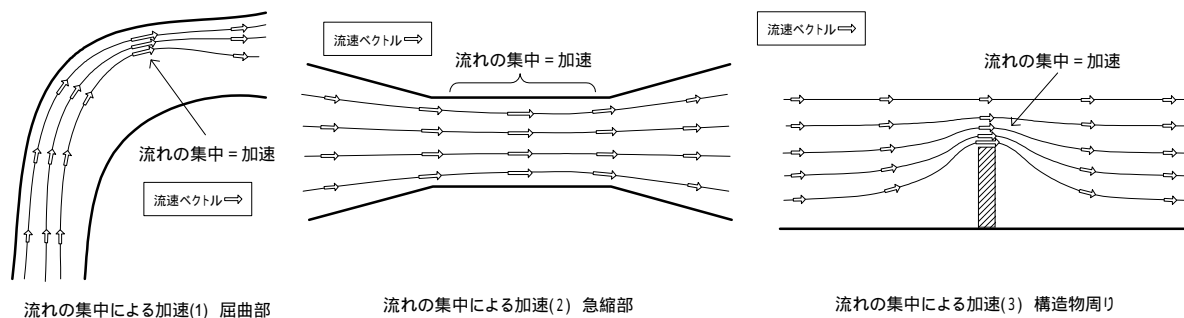
ただし、いずれの方法も他の 3 手法に比べ費用・手間がかさむので、局所洗掘の予測精度が河道の安全度を大きく左右し、かつ破堤等の被害が発生した場合に周辺住民の人命・資産に少なからぬ影響を与える場合などにその実行を検討するものとする。

局所洗掘は、ごく大まかに分類すると、
 流れの集中に伴う流れの加速による局所洗掘
 二次流による局所洗掘

の2パターンに帰着することができます。

基本的に、局所洗掘はある区間を考えたとき、そこに入ってくる土砂量よりもそこから出て行く土砂量が多いときに発生します。つまり、例えば流速が非常に大きい河川で土砂の移動量が著しく多くても、出て行く土砂量と入ってくる土砂量が同じであれば局所洗掘は発生しないわけです。逆に、流速が小さい河川でも、出て行く土砂量が入ってくる土砂量よりも大きければ局所洗掘が発達します。

流れの集中は、川幅の縮小部、屈曲部、構造物の隅角部などで発生する現象で、流線網を書いた場合に流線の間隔が狭まっているところのことを言います。このようなところでは、流線に沿って流速の変化を見ると、加減速が生じています。流線の最も密に集まったところで流速が最大となり、同時に洗掘深が最大となります。



二次流による局所洗掘は、湾曲部に限って生じる現象です。厳密に言うと、二次流にもいろんなものがあるのですが、河川工学上問題となるような局所洗掘を伴うという意味では湾曲部だけと考えても問題はありません。

湾曲部における二次流の話に戻しましょう。湾曲部では下図左に示したような二次流が形成されます。この流れが湾曲部の外岸の土砂を内岸に運ぶため、外岸側が洗掘されるのです。なぜこのような流れが形成されるかの説明はやや専門的になってしまうので省略しますが、川底の流れよりも水面近くの流れのほうが速いこと、湾曲部の流れには遠心力の作用が及ぶことが二次流発生の原因です。

でも、二次流は、湾曲部のどこにでも発生するわけではありません。二次流が十分に発達するにはそれなりの流下距離が必要なのです。実際には湾曲も後半、出口付近になってようやく十分に発達するイメージです。

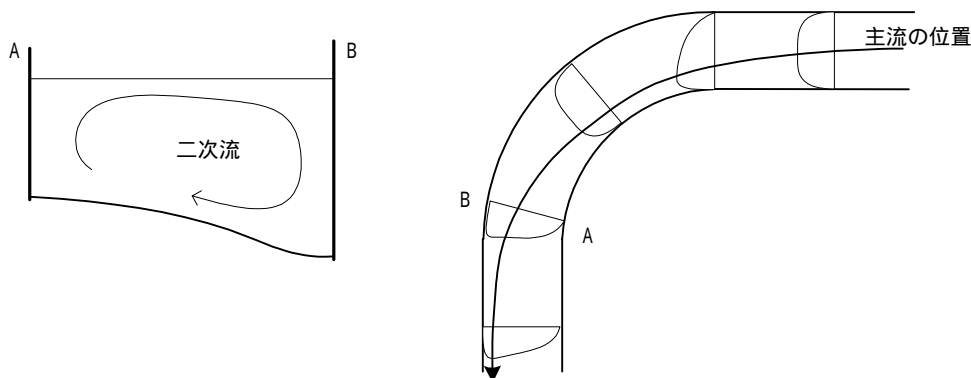
ここで、湾曲部を中心とした平面的な流速分布に着目してみましよう(下図右)。湾曲部では、内岸側のほうが経路が短いので、実質的なエネルギー勾配は内岸側のほうが大きく、すなわち流速が大きくなりや

すい状況にあります。湾曲の入口（上流側）ではまさにこの性質が現れ内岸のほうが流速が大きくなります。しかし、流下に伴い、先に述べた二次流が次第に発達してきます。二次流は、下図左からわかるように、水面近くの流速の速い流れ、すなわち運動量の大きい流れを外岸側に輸送します。この作用により、二次流の発達とともに外岸側に運動量の大きな流れが集まって外岸側の流速が加速されます。湾曲の入口では内岸側のほうが速かったのに、流下とともに外岸側の流速が増大し、湾曲の出口では逆転します。これが典型的な湾曲部の流れです。この現象は河床勾配の大小に関わらず発生します。

局所洗掘もこの流況に応じて形成されます。湾曲の出口付近では先に述べたとおり二次流の直接の作用で外岸側の河床が洗掘され、さらには二次流による外岸側の流れの加速作用が加わって洗掘の規模が大きくなります。下図左は下図右に示した A-B 断面の横断河床形状を示したもので、これより上流では次第に局所洗掘深が減じられ、湾曲の入口付近では局所洗掘はほとんど生じません。逆に湾曲の出口の下流に続く直線部では、湾曲部で形成された二次流が慣性の作用によりすぐには消失せずに残るので、局所洗掘も直線部まで拡大することがしばしばです。

以上のように、局所洗掘にも種類があり、それぞれ発生位置等が異なります。よって、根固工などの局所洗掘対策を施す際には局所洗掘発生の原因を調べるとともに、洗掘の特徴にあった対策を施すことが重要です。例えば、流れの集中が原因で局所洗掘が発生している箇所では、流れの集中を緩めるような対策を施すことが重要となります。河道法線を改良して流れの集中を緩和するのは特に有効ですが、こうした対策を実施するのが難しい場合でも、洗掘範囲が流れの集中範囲と直結しているので、流れの集中範囲がわかれば根固工の敷設範囲を正確に無駄なく決めることができます。ちなみに、流れの集中範囲を正確に予測する最もよい方法は模型実験や数値シミュレーションです。

二次流が原因で発生している局所洗掘に対し、根固工で対策しようとする場合に注意しなければならないのは、その範囲の決め方です。上記のように、局所洗掘の発生ポイントは湾曲の出口を中心とした上下流ですので、この特徴をよく念頭に入れておかないと敷設範囲を誤る可能性があります。



技術コラム	河道の大きさと洗掘深の関係
<p>河道の規模はさまざまで、幅 1m に満たないものもあれば数百 m のものもあります。世界最大の川幅をほこるアマゾン川はなんと数 km もあります。このように多種多様の河川に対し、護岸の根入れは一様でよいのでしょうか。</p> <p>この問いに答える最もわかりやすい例は模型実験でしょう。河川模型実験では、河川の流れや河床変動が模型と現地とで相似になるように工夫がなされます。これを達成するルールが「相似則」であり、基本的には、</p> <ul style="list-style-type: none"> ・河道地形、河床材料粒径などは模型の縮尺どおりに縮める ・時間は縮尺の 1/2 乗に比例して縮める <p>等となります（現実にはさらに専門的な工夫が数々あるのですが、本題とは直接関係ないので説明を省略します）。</p> <p>つまり、うまく相似性を得ることができた模型では、洪水通水後の河床形状も相似になるはずなので、模型と現地とでそれぞれ対応する断面を対象に横断測量を行えば、その地形は相似になるはずで、すなわち、模型と現地における局所洗掘深の比は、縮尺と一致することになるのです。このことは、流れの状態が同じようであっても、河道のスケールが異なればその比に応じて局所洗掘の大きさも異なることを意味しています。とすれば、護岸の根入れは河道の規模ごとに変えなければならないこととなります。</p> <p>かつての技術基準では、護岸の根入れ深を 0.5m ~ 1.5m としているものもありました。値には一応幅を持たせておりますが、わが国の河川のスケールを考えれば、この幅では不十分と言えるでしょう（かつての技術基準は、主として直轄河川をイメージして作られたものと考えられます。直轄河川に限定するならば、河川のスケールの違いはかなり小さくなりますので、このような値の範囲でも十分なのでしょう）。</p> <p>これに対し、最近の研究成果を総合した「護岸の力学設計法」や「河川砂防技術基準（案）設計編」では、対象河川の局所洗掘深をこれまでの研究成果をもとにした予測法などで予測し、それに応じて護岸の根入れを決める手順が示されています。この方法に従えば、設計対象河川の規模がどのようなものであっても最適な護岸の根入れ深を求めることができます。</p> <p>後述の技術コラム「局所洗掘深の予測（山梨県試算）」では、こうした河川のスケール効果に配慮しつつ、局所洗掘深の予測体系をまとめたものです。だれもがなるべく簡単に扱えるような工夫がなされていますので、護岸の設計等に際しては積極的な利用が望まれます。</p>	

技術コラム	局所洗掘深の予測（概論）
<p>護岸の根入れの設計に際しては、局所洗掘深の予測が必要になります。しかしながら、これを簡単にかつ高精度で実現できる決め手がないのが現実です。「護岸の力学設計法」等では、以下に示す4つの手法が列挙されていますが、この中で河道特性や対象河川のデータの集積状況からベストな手法を選択することが要求されています。</p>	
<p>(1)経年的な河床変動データからの評価 (2)既往研究成果からの評価 (3)数値計算による評価 (4)移動床水理模型実験による評価</p>	
<p>ここでは、各手法の概要、長所・短所、使用時の注意事項を示すことで、どの手法を選択すべきかの判断に役立つ情報を提示します。</p>	
<p>(1)経年的な河床変動データからの評価</p>	
<p><手法の概要></p>	
<p>・河床高の経年変化図、河道平面経年変化図、航空写真等を用いて、洗掘の要因、洗掘箇所・水衝部の移動状況、一連区間での最深河床高の位置や変化について検討します。</p>	
<p><長所></p>	
<p>・現地の実態に基づいた確実なデータが得られます。</p>	
<p><短所></p>	
<p>・データがない場合には不可。</p>	
<p>・洪水ピーク時の深掘れを表していないので、つまり、洪水後期の埋め戻し現象を受けた後の地形を捉えている可能性があるため、危険側の近似になる恐れがあります。</p>	
<p><注意事項></p>	
<p>・砂利河川では洪水後期の埋め戻しが顕著なため、この方法では危険側の近似になる恐れがあります。(2)の方法と併用し、大きいほうの値を選択することが必要です。</p>	
<p>・砂利河川のうち、土砂の流出が顕著な河川では砂利河川と同様に洪水後期の埋め戻しが見られます。よって、砂利河川の場合と同様の対応が必要です。</p>	
<p>・砂利河川のうち、土砂の流出が少ない河川では洪水後に測定した横断測量の結果から最大洗掘深を推定する方法は有効です。ただし、本当に大きな洪水が来た場合、河床に形成されたアーマーコートが剥ぎ取られてその下に潜んでいた細粒分が流出すると一時的に土砂供給が復活し、土砂の流出が顕著な河川と同様の振る舞いをするため注意が必要です。</p>	
<p>・砂利河川において、土砂の流出が多いか少ないかを判断するのは決して容易ではありませんが、河床表面に細粒土砂がどの程度あるのかを観察するという簡単な作業でもある程度の評価は可能です。この方法では、河床に細粒分が多ければ土砂供給が多く、アーマーコートが形成されていれば土砂供給が少ないと</p>	

評価します。

(2) 既往研究成果からの評価

<手法の概要>

・洗掘を予測するための研究成果は多数ありますが、そのほとんどは当該箇所の水理量、地形情報をインプットして洗掘深をアウトプットするというものです。

<長所>

・既往研究成果に基づく方法は、作業が容易である、適用範囲が明確なので、使用しやすい等のメリットがありますが、なんといっても最大のメリットは埋め戻し現象の影響を受けていない洪水時の最大洗掘深を推定することができる点です。

<短所>

・適用条件が明確なので、対象地点によってはマッチする手法が見当たらないことがあります。さらにいえば、その手法が構築された研究のバックグラウンドを深く知らないと適用を誤る場合があるのが難点です。

<注意事項>

・以下に述べる(3)(4)も洪水時の最大洗掘深を知ることができますが、(2)に比べいずれも費用・手間が格段にかかります。(1)(2)の手法を組合せて用いるというのが現実的ですが、先に述べたとおり(2)の手法は様々な仮定の上に構築されたものであり、最終的に洗掘深を絞り込むには技術者の適切な判断が必要となります。そのためには、研究成果の内容をよく学んでおくことが不可欠です。

(3) 数値計算による評価

<手法の概要>

・二次元以上の数値モデルで洪水時の河床変動を解くものです。局所洗掘や堆積がどこにどの程度発生するのかを予測することができます。また、これらの洪水時における発達・減衰のプロセスを追跡することができます。

<長所>

- ・適切な計算がなされれば、全ての手法のなかでも精度がよい手法です。
- ・特筆すべきなのは、洗掘・堆積の位置を明確にできることです。つまり、護岸や根固工が必要は範囲を定量的に、精度良く決めることができます。
- ・洪水時における洗掘の過程を捉えられるので、洪水末期の埋め戻し現象等の影響のない真の最大洗掘深を明らかにすることができます。
- ・対策の効果を試行錯誤的に確認できます。これは事実上のコンピュータ上での実験ですので（数値実験と呼称されています）、検討を重ねれば重ねるほどベストに近い対策工の諸元や配置案を求めることができます。

<短所>

- ・計算手法はまだ完成に至っておらず、計算者の能力が計算結果の精度を左右するのが現状です。
- ・上述の2手法に比べ手間や費用がかかります。

<注意事項>

- ・河床変動計算のためのソフトが市販されていますが、短所のところでも述べたとおり計算手法はまだ完成に至っていないので、適用条件を誤ると不自然な解を出力することがあるなど注意が必要です。
- ・ただし、適切に利用すれば理想に近い対策工の検討が可能ならば素晴らしいツールとなりうるものですので、重要河川での検討に用いるのが理想的です。
- ・コンピュータの発展とともに今後さらに精度の向上が期待できる手法です。いずれ、近い将来、(4)に述べる水理模型実験を凌駕するでしょう（例えば、航空工学や機械工学では、物理実験よりも数値実験のほうが精度が高いと位置付けている分野も存在します）ですから、これを学ぶことは決して損にはなりませんし、今から積極的に活用して慣れておくことが重要です。

(4)移動床水理模型実験による評価

<手法の概要>

- ・概ね1/50前後の縮尺で対象河道をモルタルなどで作成し、相似則に従い粒度分布や比重を調整した河床材料を敷き詰め、これにやはり相似則に従い流量・通水時間を調節した洪水流を通水して河床変動の様子を調べるものです。

<長所>

- ・特に、洗掘や堆積の発生位置の再現性はここに紹介した4手法のうち最も高いと言えます。洗掘深の再現性については模型が達成した相似性のレベルによります。例えば、相似則を満足するために河床材料に軽量材料を用いると洗掘深の精度は多少低下する傾向があるようです。それでも、ここで紹介した4つの手法の中では最も高精度が期待できます。
- ・また、模型実験は、特に一般の方に対して大きな説得力を与えるようです。事業に反対していた方が、模型実験を一目みただけで安心されて賛成にまわってくれることも少なくありません。(3)で述べた数値計算による方法も模型実験に迫る精度が期待できるのですが、コンピューターシミュレーションと聞いただけで拒絶反応を起こす人は残念ながら少なくありません。それと比べると大違いです。

<短所>

- ・なんといっても手間・費用がかかることです。模型のサイズは相似則によって支配されますが、全長100mを超えるモデルが必要になることも少なくありません。
- ・特に、河床勾配が緩く河床材料粒径が細かい河川では、河床変動の予測精度がします。これを防止するためには相似律に従いながら縮尺を調整して模型を著しく大きく作る必要があります。

<注意事項>

- ・模型実験には、紙面に書ききれないほどたくさんのノウハウがあります。模型実験の成功のカギを握る相似則の内容を良く知っておくことはもちろん必要ですが、このノウハウを知ることでも模型実験を成功に導く重要な要素と言えます。

4.3.2 局所洗掘の発生範囲の予測

局所洗掘の発生範囲を予測する方法は、以下のとおりである。

護岸の施工に際し河道の法線形を現況とほとんど変えない場合……現況河道における局所洗掘範囲と同一とする

護岸の施工に際し河道の法線形を大きく変更する場合……既往の研究成果に従い範囲を予測する

[解説]

局所洗掘の発生範囲は、河道の法線形状のみならず、洪水規模によっても変化することがある。従って、厳密に言えば護岸の施工に際し河道の法線形を現況とほとんど変えない場合も計画高水流量がその河道にとって未だ発生したことの無い規模であるならば、現況の洗掘発生範囲が将来の洗掘発生範囲と一致するとは限らない。洗掘発生範囲をより正確に把握するための方法としては、水理模型実験や平面河床変動計算等がある。とはいえ、河道の法線形は局所洗掘の発生位置を決定する支配的要素であることに変わりはないので、水理模型実験や平面河床変動計算を実施する必要性の少ない場合、対象河道の治水的な重要度がさほど高くない場合などは洗掘発生範囲が将来の洗掘発生範囲と一致すると仮定してもよい。

護岸の施工に際し河道の法線形を大きく変更する場合には、もはや現況の洗掘発生範囲から将来河道における洗掘発生範囲を予測することは難しくなる。この場合には、水理模型実験や平面河床変動計算等が必要となるが、対象河道の治水的な重要度がさほど高くない場合などは技術コラム「局所洗掘の種類と特徴」等を参考に推定することになる。

4.3.3 のり覆工の設計

のり覆工の安全性の照査は、計画流量時の流体力、通常時の土圧、洪水減水期の残留水圧、河床変動等を考慮して行うものとする。

[解説]

護岸ののり覆工の設計は、基本的には「河川砂防技術基準（案）計画編」、「護岸の力学設計法」に基づいて実施するものとする。

なお、項末に、流体力の影響を加味した護岸の設計法の試案を記載した。一般に法勾配が急な護岸の場合、洪水時に護岸ブロックが受ける流体力よりも背面土の土圧の作用のほうが圧倒的に大きいので、護岸の設計に際しては外力として土圧を考慮し流体力を無視するという手続きが取られるが、洪水時の流速が著しく大きい場合、ブロックに作用する流体力が土圧に比べても無視できない値になることがある。項末の試案は、こうした場合を想定したもので、土圧と流体力の両方を考慮した護岸の設計が可能となる。

4.3.4 根固工

4.3.4.1 設計の基本

根固工は、基本的に計画高水流量時にも安定であるよう水理設計を実施するものとする。工法によっても異なるが、設計項目は基本的には構造物自体の安定性、および敷設幅である。

[解説]

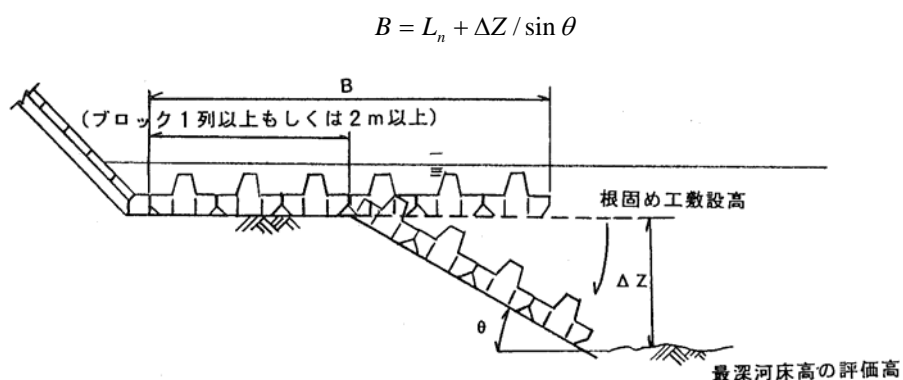
根固工は、原則的には計画高水流量に対応した洪水流に対して安定であるよう、必要に応じてのり覆工と同様に水理設計を実施する。根固工の構造により異なるが、設計項目としては、洪水流の作用により自らが移動、破壊しないこと、および護岸前面での局所洗掘を防止できるのに十分な敷設幅を有することの2つが挙げられる。

(1) 自らの安定性の確保

根固工の形状は多様であるため、形状・機能に応じて適切な照査を行う必要がある。水理設計方法の詳細は、「河川砂防技術基準(案)設計編〔 〕P36～」、「美しい山河を守る災害復旧基本方針」、「護岸の力学設計法」を参照のこと。

(2) 敷設幅の設計

護岸周辺での河床低下や局所洗掘の発生が予測される区間では、護岸基礎前面の河床が低下しないような敷設幅を確保する必要がある。すなわち、護岸前面に河床低下が生じても最低1列もしくは2m程度以上の平坦幅が確保されることが必要とされる。幾何学的には、敷設幅 B は、根固工敷設高と最深河床高の評価高の高低差 Z を用いれば、



となる。ここで、 L_n : 最低1列もしくは2m以上程度*、 Z : 根固工下面高と最深河床高との高低差、である。斜面勾配 θ は、河床材料の水中安息角程度になるが、安全を考えると一般に 30° とすればよい。

*2m以上程度という表現は、2m以上取ることが望ましいの意である。河川の規模が小さい場合には、地形条件、水理条件、堤防の土質条件等を勘案し、この値を小さくしてもよい。

4.3.4.2 設計上の留意点

根固工の設置に当たっては、淵の保全等、水際部の多様な環境の保全に配慮する。特に小河川の場合には、根固工の河川環境に及ぼす影響が大きいため、十分に注意する必要がある。

[解説]

根固工の設置高さは、原則として根固工を設置する場所の現況河床高に根固工の上面を合わせるものとするが、設置場所の水深、上下流の河床状況等を考慮してこれによることが適当でない場合は、この限りではない。

根固工の横断勾配は、河床状況に応じて設定する。なお、既設の根固工がある場合には、原則として既設根固工の高さを考慮して設置する。

根固工の施工は水面下施工が前提であるが、水面上となる場合には、間詰めを行う等により水際環境の保全に配慮する。

木材等を用いる場合には、極力間伐材を利用するものとする。なお、間伐材の利用にあたっては杭径等の規格を必要以上に設定しない(例 100~150)。

なお、資源の有効利用や環境保全の観点から、根固工には現地発生材や間伐材の活用を積極的に図るものとする。

* 「美しい山河を守る災害復旧基本方針」より引用・補筆

技術コラム	方塊ブロック
<p>方塊ブロックは、現場打ちの大型連結根固工であり、その工法・名称共に山梨オリジナルです。著しい急流河川では、根固ブロックとして数 t の重さが必要になることが少なくありませんが、このような大型の二次製品は河川への搬入が容易でないこと、費用的にも割高になること等の背景がこの工法を生みだす原動力となったのでしょう。</p> <p>方塊ブロックの長所・短所をここで整理してみましょう。</p> <p><長所></p> <ul style="list-style-type: none"> ・費用が安い ・多少磨耗されても本質的な機能を損ねない <p><短所></p> <ul style="list-style-type: none"> ・粗度係数が小さいので、根固めブロック上の流速が大きくなる ・河床より深い位置に設置するのが難しい ・環境・景観に与えるインパクトが大きい ・連結鉄筋が腐食したら補修するすべがない ・屈撓性に乏しく河床低下が進むと「宙吊り」状態になってしまう <p>以上からわかるように、方塊ブロックは、経済的であると同時に、特に環境面や維持・管理面で多くの課題を有する工法と言えます。</p> <p>方塊ブロックは、逼迫した予算の中で効率的に治水安全度を上げるという役割をこれまで果たしてきましたが、河川に対する価値観が多様化してきた現在、その位置付けを次第に変えざるを得ないでしょう。特に、環境・景観面での配慮が必要な河川においては、方塊ブロックという選択肢は優先順位を下げざるを得ません。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・二次製品のブロックの搬入が地形的に難しい ・予算的な制約が大きい ・景観等にあまり配慮する必要のないところである ・根固工上の流速が多少速くなくても大丈夫な河川である（規模が小さい、掘込河道である etc.） <p>等の条件を満たす河川が方塊ブロックの新たな活躍場所となっていくでしょう。</p>	

4.3.5 裏込め材

4.3.5.1 設計の基本

護岸工に作用する残留水圧を軽減するため、裏込め材を設置するものとする。

[解説]

護岸の裏込め材には、主として以下に示す二つの役割がある。

洪水減水期にあつては、堤内地盤、すなわち護岸背後の浸透水位が洪水位を上回る状態になることがある。また、流出の遅い河川において比較的下流域に豪雨があつた場合などは、洪水位が上昇するより前に降雨が直接地盤に浸透し、浸透水位が洪水位を上回ることがあり得る。こうした条件下では、護岸の構造によっては残留水圧が作用することがある。これを防止するために、排水性のよい裏込め材を護岸の背面に配置する。

護岸を建設する際には背面土を掘削することが多い。背面土を護岸の裏法とぴったり合うよう正確に施工するのは無理であるので、背面切土面と護岸との間にはどうしても隙間ができてしまう。裏込め材には、この隙間を埋める役割もある。

よって、基本的には護岸工の背面には裏込め材を設置する必要がある。ただし、上記の2つの役割を必要としない条件下に護岸を施工する場合、護岸工自体に残留水圧を下げることのできる構造となっている場合などはこの限りではない。

4.3.5.2 裏込め材の厚さ（積護岸の場合）

積護岸の裏込め材の厚さについては、建設省制定「土木構造物標準設計2（擁壁）」におけるブロック積（石積）擁壁の基準を適用するものとする。但し、適用範囲は護岸前面ののり勾配が1:0.3~1:0.5のものに限る。

4.3.5.3 裏込め材の厚さ（張護岸の場合）

張護岸工の裏込め材については、裏込め材厚を以下の値とし、かつ上下等厚とすることを標準とする。ここで、裏込め材厚とは、護岸工のり面に対し直角方向にとった値のことを指す。

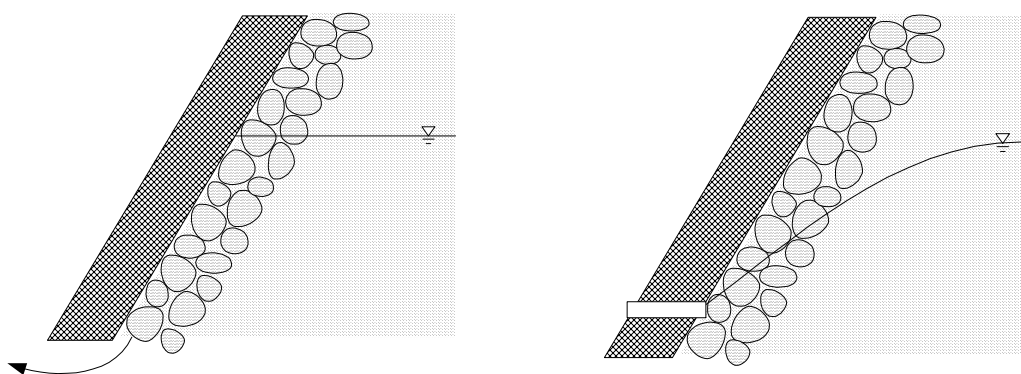
前面法勾配が1:1.0以上1:1.5未満の場合：0.3m

前面法勾配が1:1.5以上の場合：0.2m

ただし、裏込め材厚は、対象河川の特性、土質条件等から決定すべきものであり、ここに示す数値は標準値と解釈されるべきものである。

護岸に裏込め材を入れるのは、主として残留水圧を下げるためです。でも、護岸の遮水性が非常に高かったらどうなるでしょう？---左図のようになります。これでは裏込め材があってもなくても浸透水の水位は同じです。しかも、水の抜け道は護岸の下をまわるしかないので（図中矢印）護岸の基礎の洗掘を誘発する恐れが生じます。

では、こうした事態を防ぐにはどうしたらいいでしょうか。それは水抜きパイプを設置することです。水抜きパイプを設置すると、浸透水の水面形は右図のようになり、護岸に作用する水圧は著しく軽減されます。



水抜きパイプを設置すると、河川の水位のほうが浸透水の水位よりも高い場合には、河川水が堤防護岸の裏に入り込むので問題であるとする向きもあります。特に、築堤河川では浸透水の影響による堤体の土質強度の低下を懸念する向きもあるようです。しかし、築堤河川でも、降雨強度の高い雨が降ったときなどは天端から浸透してきた雨が護岸のところで滞留して水圧を作用させ、護岸を破壊してしまう事例もあるようなので、築堤河川であっても条件によっては堤体からの十分な排水性のほうを優先しなければならないこともあるのです。

水抜きパイプが必要なのは、ずばり残留水圧が大きくなるところです。どんなところで残留水圧が大きくなるかというと、

豪雨時に、急激に水位が上昇し、また急激に下がる場所

強度の強い雨が降る傾向がある場所

などです。山梨県の河川は急流が多く、特にに当てはまり易いので、水抜きパイプについては、設計の際に、仮に設置すると生じるかもしれない不都合をいろいろと想定し、それが見当たらない場合には基本的に設置するつもりでいるくらいの方がいいかも知れません。

4.3.6 裏込コンクリート

河川護岸には石（ブロック）積護岸、玉石積護岸、大型ブロック積護岸などがある。裏コンクリートは専ら（石）ブロック積の安定性が不足する場合に用いられるものである（玉石積護岸は玉石を固定するために胴込めコンクリートが用いられるのが普通である。また、大型ブロックは一般に大きな控え厚を有し、空積状態で構造上安定となるよう設計されているものが多い）。よって、ここでは石（ブロック）積護岸をの設計法について概説しつつ、裏込コンクリートの扱いについても合わせて述べるものとする。

石（ブロック）積護岸はわが国では古くから河川護岸等に用いられてきた工法で、その設計の考え方については、経験に基づいた設計法、および力学的設計法、の2とおりが存在し、そのいずれもが現在も活用されている。両者が内容的に必ずしも一致するものではないが、河川管理者はこれらの設計法を適用する現場の特性、2つの設計法の特徴等を総合的に考慮し、適切な設計法を選択するようにしなければならない。以下に2つの設計法の特徴について概説する。

経験に基づいた設計法

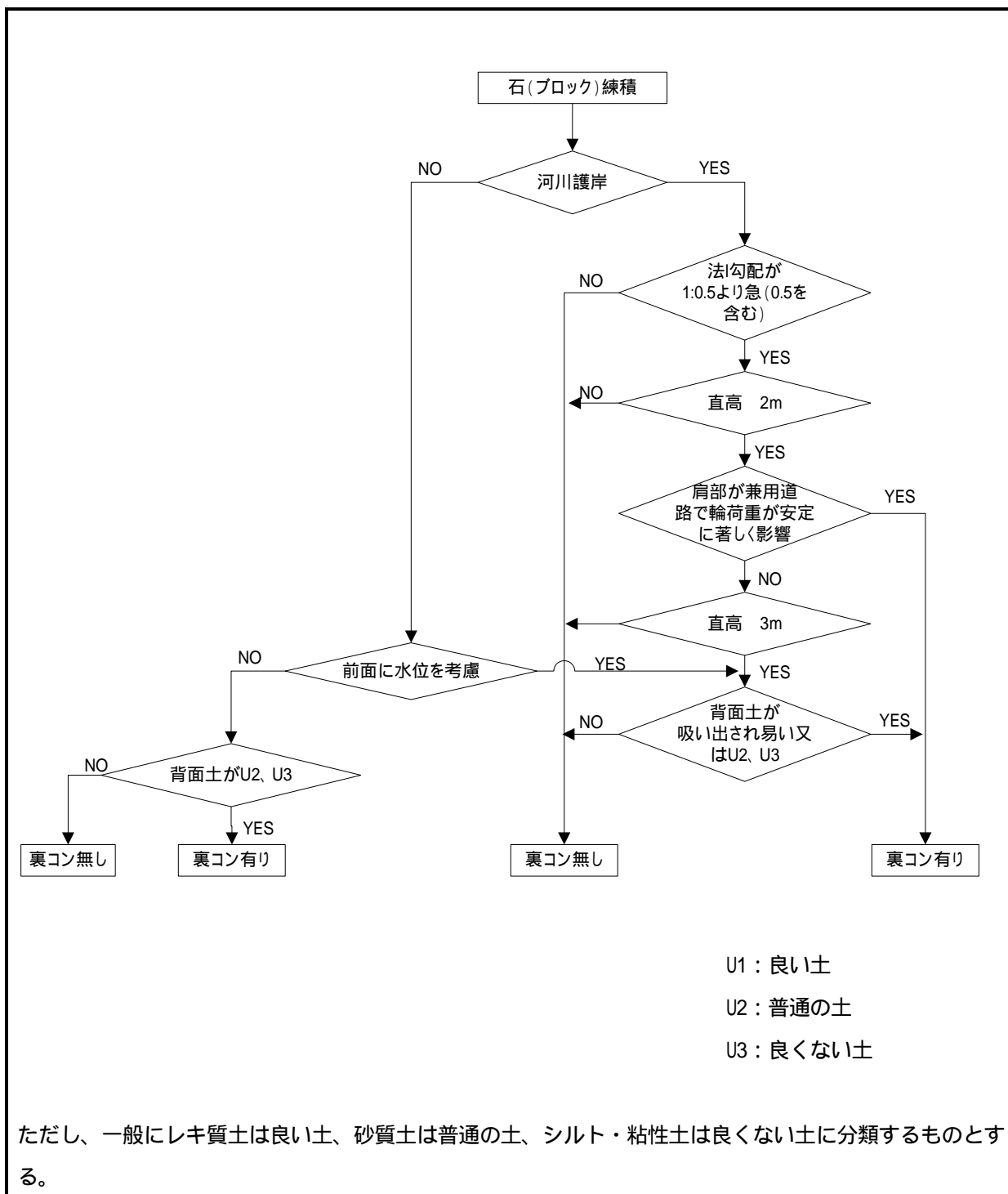
河川管理の長い歴史上の経験に基づき安定とみなされる護岸・擁壁等の構造が国土交通省制定「土木構造物標準設計（第2巻）」として取りまとめられている。護岸の設計を要する地点における背面土や地形条件がこの標準設計のそれと合致している場合は、あえて力学的な照査を行わなくとも「土木構造物標準設計（第2巻）」に示されている諸元をそのまま用いて護岸を設計することが許される。したがって、標準設計「土木構造物標準設計（第2巻）」を利用しようとする者は、これを適用しようとする現場の条件が「土木構造物標準設計（第2巻）」に示されている前提条件と合っているかどうか十分に検証することが重要である。

力学的設計法

護岸の安定性について力学的に照査するもので、擁壁の安定計算の考え方を活用したものや、「示力線による照査法」などが提案され、また実際に護岸の設計に用いられている。

国土技術研究センターから出版されている「護岸の力学設計法」が現在おそらく最も広く用いられている力学的設計法であるが、これが扱う護岸の法勾配は1割5分より緩いものである。のりが5分勾配のブロック積護岸の設計についての国交省の公式見解としては、昭和56年5月21日付「護岸の裏込めコンクリートに関する事務連絡」がある（「まめ知識」に全文を掲示）。ここでは5分勾配のブロック積護岸について、原則的には裏込コンクリートを入れないよう指示がなされているが、同時に直高や背面土の状態によっては例外があることも述べられている。

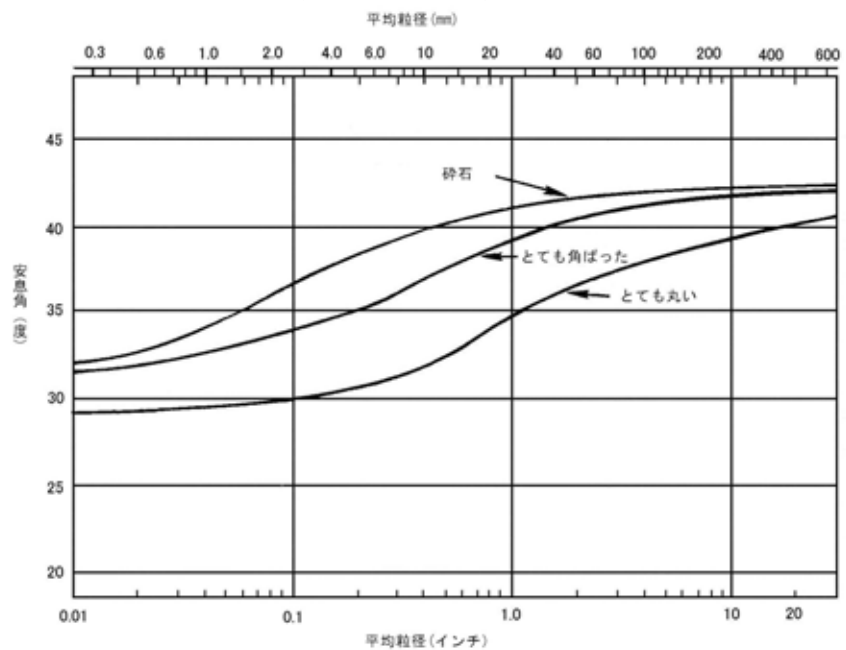
まめ知識	護岸の裏込コンクリートに関する事務連絡（昭和 56 年 5 月 21 日付）
<p>標記については、護岸の裏込コンクリートの扱いについて記した重要な事務連絡でありますので、ここに全文を紹介します。</p>	
<p style="text-align: right;">（昭和 56 年 5 月 21 日事務連絡）</p>	
<p>都道府県主管課長 指定市主管課長</p>	<p style="text-align: right;">治水課専門官 砂防課専門官 防災課専門官</p>
<p style="text-align: center;">河川工事のコンクリートブロック積の裏込コンクリートについて</p>	
<p>標記について、別紙のとおり取扱うことにしたので、通知する。 なお、貴管下市町村（指定都市を除く）に対してもこの旨周知徹底方取り計らわれない。</p>	
<p>（別紙）</p> <p style="text-align: center;">河川工事のコンクリートブロック積の裏込コンクリートについて</p>	
<p>1. 河川工事のコンクリートブロック積の裏込コンクリートは原則として入れないものとする。 ただし、次のような場合については、この限りではない。</p> <p>イ 護岸の直高 2.00m 以上、法勾配 1:0.5 より急勾配（0.5 含む）のもので、護岸肩部が兼用道路で、輪荷重が護岸の安定に著しく影響する場合。 （注）（直高 2.00m～3.49m、下端より等厚 0.10m、直高 3.50m～5.00m、下端より等厚 0.15m）</p> <p>ロ 護岸の直高 3.00m 以上、法勾配 1:0.5 より急勾配（0.5 含む）のもので、護岸の背面土質材料が砂質等、吸い出され易いもの及び、軟弱地盤で護岸の安定上特に必要とする場合。 （注）（直高 3.00m～3.49m、下端より等厚 0.10m、直高 3.50m～5.00m、下端より等厚 0.15m）</p> <p>ハ この方針によりがたい場合は、別途協議すること。</p> <p>2. 災害復旧事業及び砂防事業については、昭和 56 年 7 月 1 日以降発注するものについて適用する。尚、査定における総合単価について昭和 56 年は従来通りとし、昭和 57 年度で変更することとする。</p> <p>3. 災害復旧事業と改修費を合併する時の災害復旧費の支出限度額は、合併施工において、裏込コンクリートを必要としない場合は、その費用を減じた額とする。</p>	



護岸の裏込コンクリートに関する事務連絡（昭和 56 年 5 月 21 日付）では背面土が U1、U2 or U3 のいずれに属するかによって護岸の裏込コンクリートの扱いが変わってくる場合がありますが、土質試験を行わない限り、当該地点の背面土が 3 つのどれに属するかを評価するのはなかなか難しいものです。このため、土質試験を実施しない場合、現実的には背面土を砂質土と仮定し、安全側の検討とすることも多いようです。人命を預かる河川管理の仕事では、設計等を確実に安全側に設定することはとても重要なことです。しかしながら、急流河川では河岸土が礫質であることも多く、現場によっては U1 と判断してもよさそうなところもありそうです。そこで、ここではどんな場所の河岸が U1 と判断できる可能性があるか、一般的な特徴を述べてみましょう。しかしながら、ここで述べるのはあくまで一般論であり、実際の設計にあたっては現場の土質をよく見るのが最も大切であることはいうまでもありません。

まずは前述の事務連絡に記されている U1、U2 or U3 の違いについて考えてみます。事務連絡では U1：礫質土、U2：砂質土、U3：シルト・粘土という注意書きが添えられておりますが、ここではおそらくせん断抵抗角の違いを粒径で表現したものと推定されます。というのは、護岸の安定性については背面土のせん断抵抗角が大きく影響するからです。次に、礫の安息角と粒径、角ばり方の一般的な関係について知っておきましょう。下の図はこれらの関係を示した研究の成果ですが、粒径が粗いほど（礫質であるほど）、また角ばっているほど安息角が大きくなる、すなわち U1 に近づくことを示しています。

では、どういうところに粒径が大きく、角ばった礫からなる河岸があるでしょうか。頻繁に見られるのはかつて土石流が頻発したようなところとす。いわゆる谷底河川で土石流による堆積物を侵食して流れるような溪流がこれに相当します。一方、もっと広々とした扇状地を流れるいわゆる扇状地河川も河岸土は礫質土でできていますが、こちらは河道内を洪水時に長い距離にわたり転動して運ばれた礫から成っていますから、土石流の堆積物に比べ丸い石が多いようです。しかしながら、礫質土であることに変わりありませんから、土質的に精査すれば U1 と判断される可能性はあります。もし、現場が目視では U1 と U2 のぎりぎりにあって、仮に U1 と判断されたら護岸の設計に有利に働くようなところであったら、土質試験を実施してみるのもいいかもしれませんね。



< 参考：急流河川における護岸のり覆工の水理設計（試案） >

通常、護岸の力学設計においては、護岸のり勾配が 1 : 1.5 より緩い場合には洪水時における流体力が、1 : 1.5 より急な場合には土圧や静水圧が考慮すべき荷重として扱われるのが普通である。しかし、対象河道が著しい急流などの場合、洪水時の流速が著しく大きくなることがあり、この際には例えのり勾配が 1 : 1.5 よりも急であっても洪水時における流体力による影響を考慮しなければならない。本試案は、このような状況下における護岸の力学設計法を提案したものである。ただし、現状ではこの試案は参考とみなされるものとする。

< 試案 >

一般に、護岸には洪水時・非洪水時を通じ様々な荷重が作用する。主要なものとしては、計画流量時の流体力、通常時の土圧、洪水減水期の残留水圧、の 3 つが挙げられる。のり覆工は、いずれの荷重に対しても安定でなければならず、そのためにはのり覆工がこれらの荷重に対して安定でなければならない。

(1) 荷重の組合せ

上記の 3 つの荷重のうち、通常時の土圧はのり覆工のり勾配に大きく左右される。例えばのり勾配が 5 分のときは 3 つの荷重で最大となることが多く、2 割のときは最小となることが多い。この性質を勘案し、「護岸の力学設計法」ではのり勾配が 1 割 5 分を閾値とし、それより緩い場合は護岸の破壊要因を流体力、きつい場合は土圧・水圧が破壊の主要因と位置付けている。「護岸の力学設計法」は技術基準を規定する性格のものではないが、この記述をもとに、のり覆工の設計に際しては評価すべき荷重を以下のように設定しているのが一般的である。

のり覆工設計時の荷重の設定（一般の河川を対象とした場合）

のり勾配	流体力	通常時の土圧	残留水圧
1:1.5 より緩勾配		×	
1:1.5 より急勾配	×		

ただし、これはわが国の平均的な勾配の河川のことを想定しつつ設定した荷重の組合せであるといえる。わが県の大半の河川は急流河川であり、洪水時の流速がゆうに 5m/s を超えることが少なくない。このような河川においては、上記 3 つの荷重のうち流体力の割合が相対的に高くなるので、上記の荷重の組合せでは不適となることが予想される。そこで、流速とのり勾配を内部パラメータとし、流体力（揚力）と土圧との関係を調べた（技術コラム「急流河川における各種荷重の大きさ」参照のこと）。これによると、流速が 5m/s を超えるような急流河川においては、流体力が通常時の土圧と同等になるので、上記の荷重設定では問題があることがわかる。このような急流河川にまで適用可能なのり覆工の設計条件は、以下のように再設定する必要がある。

5分勾配ののり覆工設計を想定した荷重の設定（急流河川を対象とした場合）

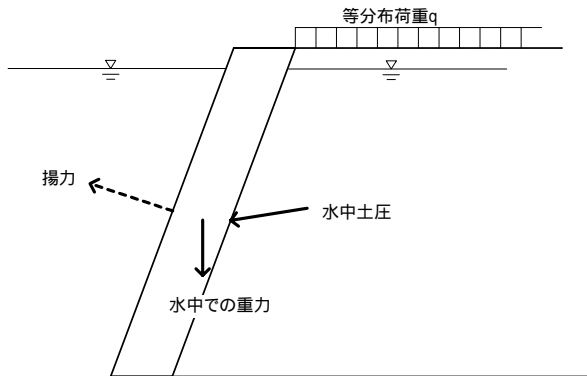
流速	流体力 ¹⁾	通常時の土圧	残留水圧
5m/s 以上			
5m/s 未満	×		

1)流体力がのり覆工に作用するときは背面土の水中土圧も同時に作用しているので、安定計算では流体力と水中土圧が同時に作用していると考えなければならない。

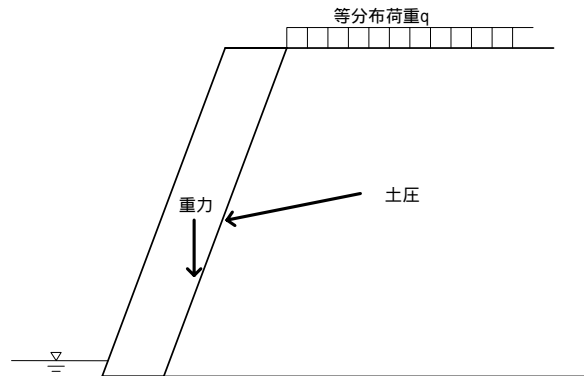
なお、のり勾配が5分より緩い場合は、3つの荷重全てを設計対象とする（上表において流速5m/sの場合と同じ）。

荷重の組合せを図示すると以下ようになる。

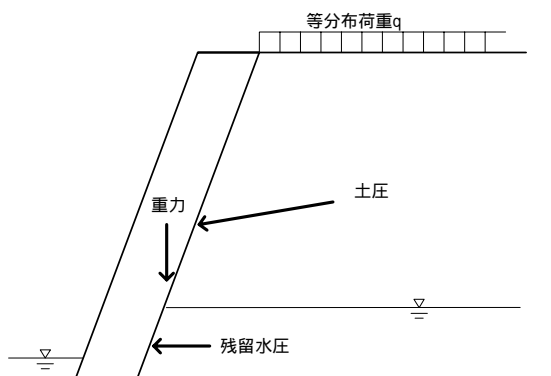
流体力作用時



土圧（通常時）作用時



残留水圧作用時



(2) 流体力を加味した安定計算手法の誘導

ここでは、上記(1)の「流体力作用時」の条件を対象に、安定計算の具体的な方法について説明する。

1) 転倒(示力線方程式)

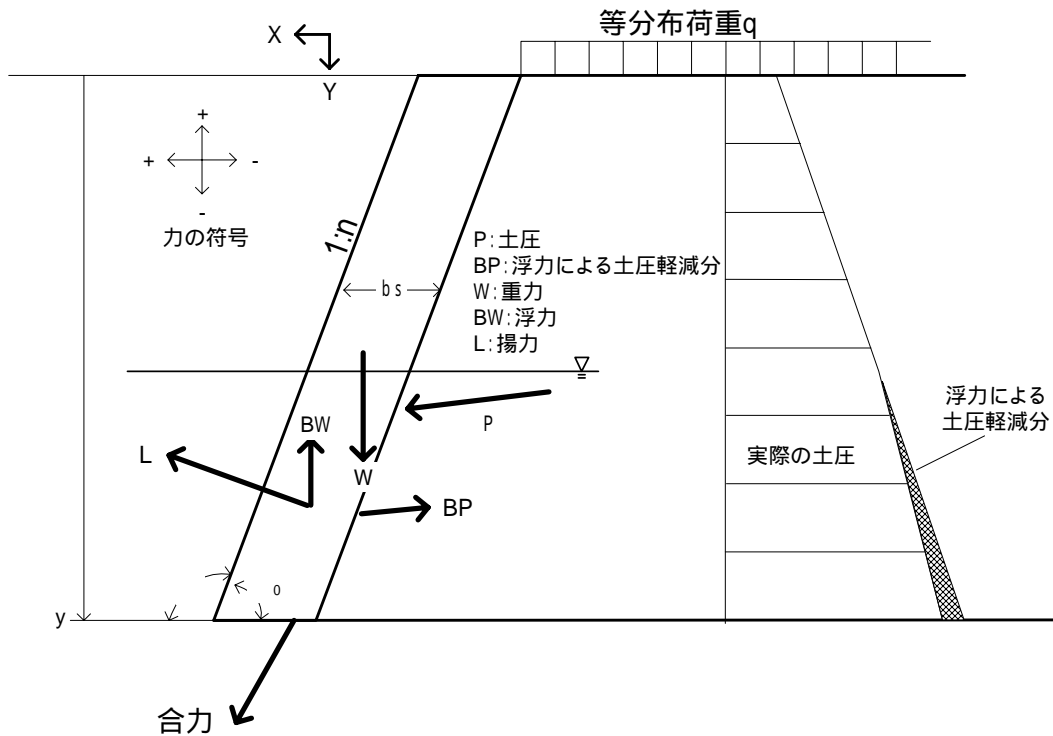
裏込め土が砂質土で、下図に示すように地表面が一定勾配を持ち、水面が護岸の途中に存在し、かつ $q(\text{tf}/\text{m}^2)$ の等分布載荷重が作用する場合について考える。

モデルの前提条件を以下に列挙する。

<モデルの前提条件>

- ・水面下の護岸には浮力が作用する。作用位置は水面下の部分の重心である。
- ・洪水時には背面土にも水が浸透する。その量は護岸の遮水性や背面土の土質等により異なるが、のり覆工の安定計算を安全側に進めるため、最も厳しい条件として背面土の浸透水の水位=洪水位とする。
- ・護岸には流速に応じ揚力 L が作用する。

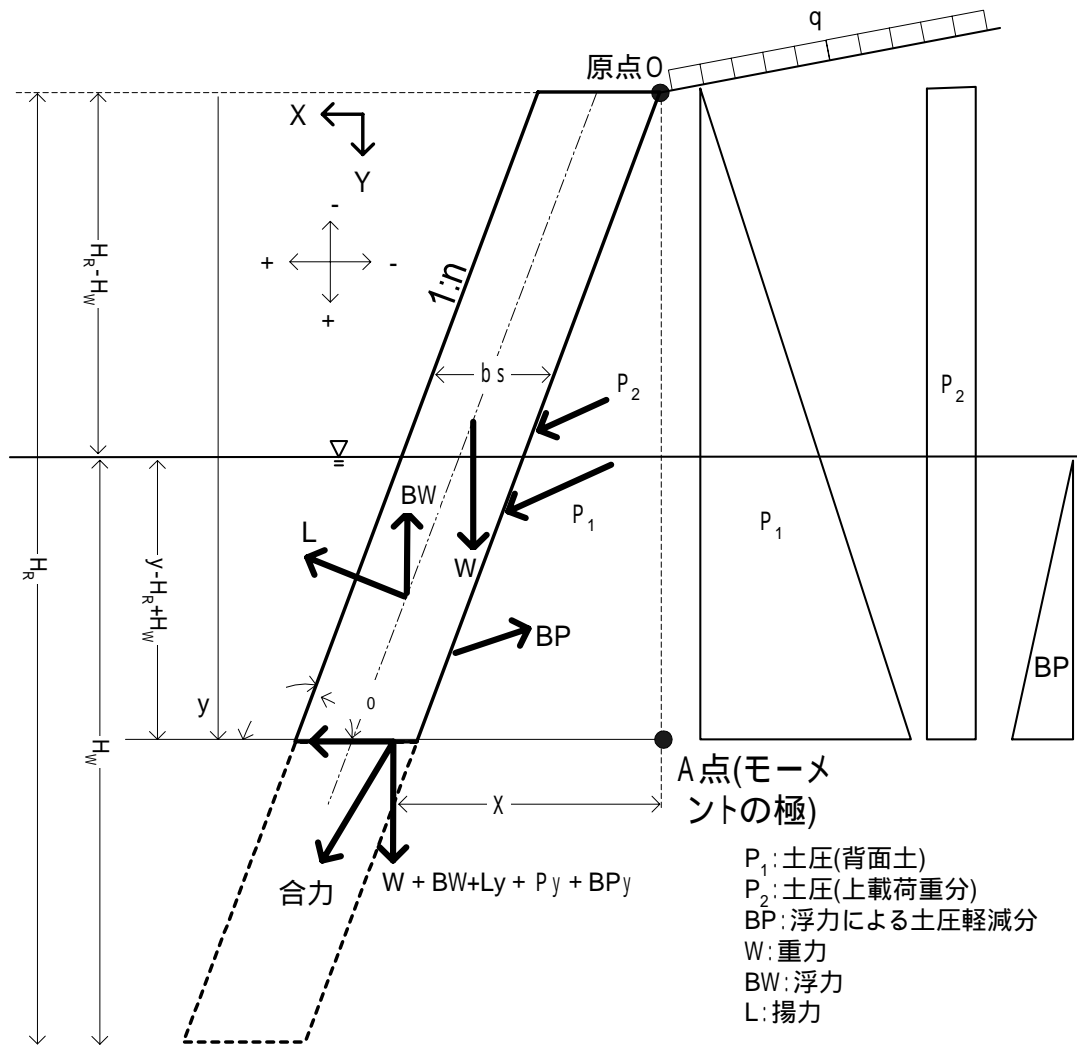
水位の存在により護岸・背面土両方に浮力が作用するので、本モデルではこれらを以下のように扱う。



力のつりあい

転倒に関する検討の基本的な考え方は、示力線による設計方法に基づくものとする。ただし、一般に示力線法と呼ばれている方法は、手計算での検討が可能ないように示力線方程式を二次方程式に収める努力がなされており、そのためにいくつかの簡略化を導入している。しかし、現在はコンピュータの発達によりこうした簡略化を導入することなく解を求めることができるので、本手法においてもこうした簡略化のない厳密な方法を導入する。

示力線法を構築する上での力の作用図を以下に示す。示力線法では天端からの距離 y で護岸をスライスし、その底辺における合力の作用位置がどこにあるかで護岸の安定性を評価することになる。



力のつりあい

土圧（背面土）

天端より下方 y のところの任意点に作用する土圧強度 p_1 、 p_1 の積分値 P_1 は次式で与えられる。

$$p_1 = \gamma \cdot y \cdot K_A \quad (1)$$

$$P_1 = \gamma \cdot \frac{y^2}{2} \cdot K_A \quad (2)$$

$$K_A = \frac{\sin^2(\alpha + \phi)}{\sin^2 \alpha \cdot \sin(\alpha - \delta) \cdot \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) \cdot \sin(\phi - \beta)}{\sin(\alpha - \delta) \cdot \sin(\alpha + \beta)}} \right]^2} \quad (3)$$

γ : 背面土の単位重量 (t/m^3)

K_A : クーロンの土圧係数

β : 背面土の勾配

P_1 の x 方向、 y 方向成分 P_{1x} 、 P_{1y} は、図の符号に適合するよう配慮しつつ表示すると以下のようになる。

$$P_{1x} = P_1 \cdot \cos(\alpha_0 + \delta - 90^\circ) \quad (4)$$

$$P_{1y} = P_1 \cdot \sin(\alpha_0 + \delta - 90^\circ) \quad (5)$$

土圧（上載荷重による土圧）

天端より下方 y のところの任意点に作用する上載荷重の土圧 p_2 、 p_2 の積分値 P_2 は次式で与えられる。

$$p_2 = K_A \cdot q \cdot \frac{\cos(\alpha_0 - 90^\circ) \cos \beta}{\cos(\alpha_0 - 90^\circ - \beta)} \quad (6)$$

$$P_2 = K_A \cdot q \cdot y \cdot \frac{\cos(\alpha_0 - 90^\circ) \cos \beta}{\cos(\alpha_0 - 90^\circ - \beta)} \quad (7)$$

q : 等分布積載量 (t/m^2)

P_2 の x 方向、 y 方向成分 P_{2x} 、 P_{2y} は、図の符号に適合するよう配慮しつつ表示すると以下のようになる。

$$P_{2x} = P_2 \cdot \cos(\alpha_0 + \delta - 90^\circ) \quad (8)$$

$$P_{2y} = P_2 \cdot \sin(\alpha_0 + \delta - 90^\circ) \quad (9)$$

浮力による土圧の軽減分

$$bp = -\gamma_w \cdot y' \cdot K_A \quad (10)$$

$$BP = -\gamma_w \cdot \frac{(y')^2}{2} \cdot K_A \quad (11)$$

ただし、 $H_W - H_R < y$ のとき $y' = H_W - H_R + y$
 $H_W - H_R > y$ のとき $y' = 0$
 γ_w : 道路土工によれば、 $0.9 [tf / m^3]$

BP の x 方向、 y 方向成分 BP_x 、 BP_y は、図の符号に適合するよう配慮しつつ表示すると以下のようになる。

$$BP_x = BP \cdot \cos(\alpha_0 + \delta - 90^\circ) \quad (12)$$

$$BP_y = BP \cdot \sin(\alpha_0 + \delta - 90^\circ) \quad (13)$$

揚力・抗力 (単位高さ当り)

$$D = \frac{1}{2} \cdot C_D \cdot \rho \cdot A_D \cdot u^2 \quad (14)$$

$$L = \frac{1}{2} \cdot C_L \cdot \rho \cdot A_L \cdot u^2 \quad (15)$$

C_D : 抗力係数、 C_L : 揚力係数、 ρ : 水の密度、
 A_L : 単位高さあたり揚力作用面積、
 A_D : 単位高さあたり抗力作用面積、
 u : 護岸近傍流速

揚力 L の x 方向、 y 方向成分は、図の符号に適合するよう配慮しつつ表示すると以下のようになる。

$$L_x = L \cdot \cos(\alpha_0 - 90^\circ) \quad (16)$$

$$L_y = L \cdot \sin(\alpha_0 - 90^\circ) \quad (17)$$

擁壁に働く重力

$$W = \gamma_s \cdot Bs \cdot y \quad (18)$$

擁壁に働く浮力

$$B_W = -\gamma_w \cdot Bs \cdot (y - H_R + H_W) \quad (19)$$

Bs : ブロック水平幅
 γ_s : ブロックの見かけの単位体積重量
 γ_w : 水の単位体積重量

アーム長

$$\begin{aligned}
 WL_x &= \frac{n}{2} \cdot y + \frac{Bs}{2} \\
 BWL_x &= \frac{n}{2} \cdot (H_R - H_W + y) + \frac{Bs}{2} \\
 P_1L_y &= \frac{1}{3} y \\
 P_1L_x &= \frac{2}{3} n \cdot y \\
 P_2L_y &= \frac{1}{2} y \\
 P_2L_x &= \frac{n}{2} y \\
 BPL_y &= \frac{H_W + y - H_R}{3} \\
 BPL_x &= \frac{n}{3} \cdot (H_R - H_W + 2y) \\
 LL_y &= \frac{H_R - H_W + y}{2} \\
 LL_x &= \frac{n}{2} \cdot (H_R - H_W + y) + \frac{Bs}{2}
 \end{aligned} \tag{20}$$

n : のり勾配 [例えば 5 分勾配では $n = 0.5$]

モーメントのつりあい

図において、A 点に作用するモーメントの釣り合いを考えると次式が成立する。

$$\begin{aligned}
 &W \cdot WL_x + P_{1x} \cdot P_1L_y + P_{1y} \cdot P_1L_x + P_{2x} \cdot P_2L_y + P_{2y} \cdot P_2L_x && \text{空中での外力によるモーメント} \\
 &+ BP_y \cdot BPL_x + BP_x \cdot BPL_y && \text{背面土に作用する浮力によるモーメント} \\
 &+ L_x \cdot LL_y + L_y \cdot LL_x && \text{揚力によるモーメント} \\
 &+ BW \cdot LL_x && \text{護岸に作用する浮力のモーメント} \\
 &= (W + BW + L_y + P_{1y} + P_{2y} + BP_y) \cdot x && \text{合力のモーメント}
 \end{aligned} \tag{21}$$

示力線方程式

以上を考慮しつつ、(21) 式を x について解くと、

$$x = \frac{W \cdot WL_x + P_{1x} \cdot P_1L_y + P_{1y} \cdot P_1L_x + P_{2x} \cdot P_2L_y + P_{2y} \cdot P_2L_x + BP_y \cdot BPL_x + BP_x \cdot BPL_y + BW \cdot LL_x + L_x \cdot LL_y + L_y \cdot LL_x}{W + BW + L_y + P_{1y} + P_{2y} + BP_y} \tag{22}$$

となる。これが揚力の影響を加味した示力線方程式である。

2) 滑動

擁壁が滑動に対して安定か否かの評価式は、以下のように導くことができる。

擁壁を滑動させる方向に作用する力を外力 \vec{F} 、それに抵抗する力を抵抗力 \vec{f} とする。 \vec{F} はX方向、Z方向成分表示を用いれば次のように与えられる。

$$\begin{aligned}\vec{F} &= \vec{F}(F_X, F_Z) \\ |\vec{F}| &= \sqrt{F_X^2 + F_Z^2}\end{aligned}\quad (23)$$

ここに、
 F_X, F_Z :それぞれ外力のX、Z方向成分、
である。

今、安全率 F_S を、

$$F_S = \frac{|\vec{f}|}{|\vec{F}|}\quad (24)$$

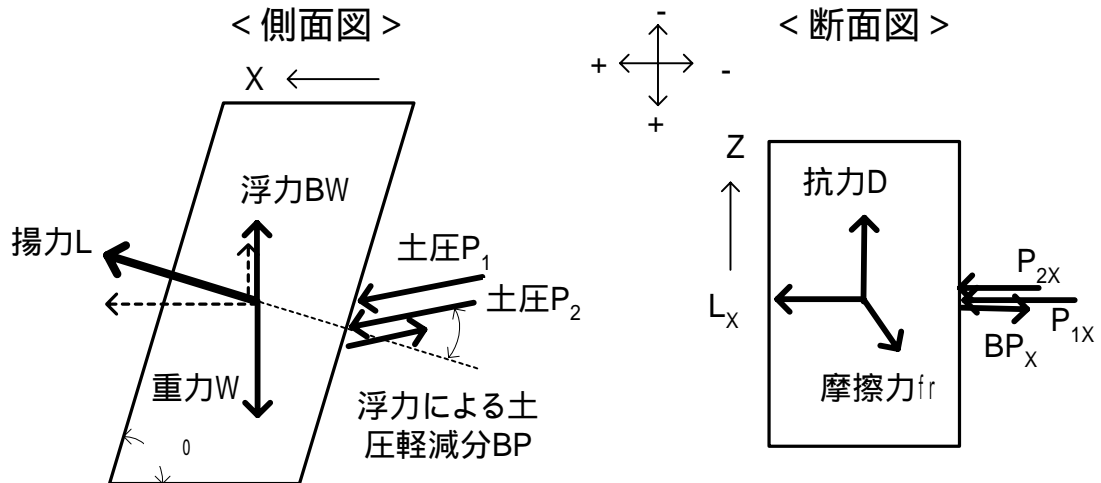
と定義すると、設計の基本的な考え方として次の関係が得られる。

$$F_{SC} \leq F_S = \frac{|\vec{f}|}{|\vec{F}|}\quad (25)$$

ここに、 F_{SC} は許容限界安全率で、通常的设计では1.5が与えられることが多い。種々の条件に応じ、式(25)に各力の成分を代入すれば、滑動について安定性を評価することができる。各力の成分は、底面での滑動を対象としたケースと、擁壁の途中での滑動を対象としたケースとで、それぞれ以下のように評価する。

[底面での滑動]

水平方向に滑動することを前提としたもので、主として、護岸の基礎と河床との間の滑動を対象としたものと位置付けることができる。



力のつりあい（底面での滑動）

外力の X 方向成分

$$F_x = L_x + P_{1x} + P_{2x} + BP_x \quad (26)$$

$$L_x = L \cdot \sin \alpha_0 \quad (27)$$

$$P_{1x} = P_1 \cdot \cos(\delta + \alpha_0 - 90^\circ) \quad (28)$$

$$P_{2x} = P_2 \cdot \cos(\delta + \alpha_0 - 90^\circ) \quad (29)$$

$$BP_{1x} = BP \cdot \cos(\delta + \alpha_0 - 90^\circ) \quad (30)$$

外力の Z 方向成分

$$F_z = D \quad (31)$$

抵抗力のスカラ

$$|\vec{f}_z| = \mu_s \cdot (W + L_y + P_{1y} + P_{2y} + BW + BP_y) \quad (32)$$

$$L_y = L \cdot \sin(\alpha_0 - 90^\circ) \quad (33)$$

$$P_{1y} = P_1 \cdot \sin(\delta + \alpha_0 - 90^\circ) \quad (34)$$

$$P_{2y} = P_2 \cdot \sin(\delta + \alpha_0 - 90^\circ) \quad (35)$$

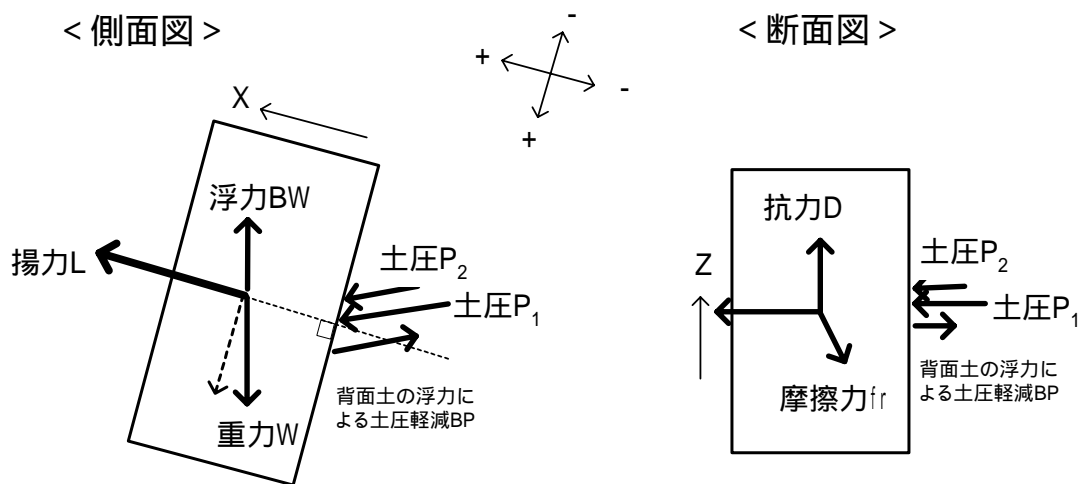
$$BP_y = BP \cdot \sin(\delta + \alpha_0 - 90^\circ) \quad (36)$$

μ_s : コンクリートと土の摩擦係数

式(26) ~ (36)を式(25)に代入し、まとめると次の評価式を得る。

$$F_s = \frac{\mu_s \cdot \{W + L_y + P_{1y} + P_{2y} + BW + BP_y\}}{\sqrt{\{L_x + P_{1x} + P_{2x} + BP_x\}^2 + D^2}} \quad (37)$$

[擁壁の途中]



力のつりあい (擁壁の途中での滑動)

ここでは、天端が斜面状になっている基礎の上に擁壁が載っている状態、あるいはブロック同士が積み重なっている状態を対象とする。

抵抗力、外力のX、Z方向成分は次のように表すことができる。

外力のX方向成分

$$F_x = L + (P_1 + P_2 + BP) \cdot \cos \delta - (W + BW) \cdot \sin \alpha_0 \quad (38)$$

外力のZ方向成分

$$F_z = D \quad (39)$$

抵抗力のスカラー量

$$|\vec{f}| = \mu \cdot \{(W + BW) \cdot \sin \alpha_0 + (P_1 + P_2 + BP) \cdot \sin \delta\} \quad (40)$$

μ : コンクリートの摩擦係数

底面滑動と同様に、上式を F_s の定義式(25)に代入し、以下の評価式、

$$F_s = \frac{\mu \cdot \{(W + BW) \cdot \sin \alpha_0 + (P_1 + P_2 + BP) \cdot \sin \delta\}}{\sqrt{\{L + (P_1 + P_2 + BP) \cdot \cos \delta - (W + BW) \cdot \sin \alpha_0\}^2 + D^2}} \quad (41)$$

を得る。

安定計算においては、擁壁の形状に応じ、底面滑動と滑動の評価式を使い分ける、あるいは両方を同時に満たすことが要求される。

3) 支持力

支持力については、総鉛直力 V を底面積で除して q_s を求め、これが許容地盤反力度 q_c を下回っているかどうか検証する。

$$q_c > q_s = \frac{\sum V}{A_B} \quad (42)$$

(3) 荷重条件

物理量	決定方法
土質定数(通常時)	背面土の粒径、締め固め状態などに応じて適切な単位体積重量、せん断抵抗角を与える。
土質定数(水中、飽和状態)	通常の単位体積重量から 0.9tf/m ³ 、あるいは 9kN/m ³ を減じる。せん断抵抗角は通常時と変わらない。
残留水圧	計画高水流量時の計算水位(H.W.L.でもよい)から護岸基礎工の天端高までの距離の 1/3 を浸透水の水深とする。

抗力係数、揚力係数、抗力作用面積、揚力作用面積は、のり覆工の表面の凹凸状況、隙間の有無、流れの状況等によって変わるので、厳密には水理実験を実施しなければ決められない。当面は、以下の式および数値を用いて単位面積あたり抗力 D 、単位面積あたり揚力 L を求めるものとする。

$$D[\text{kgf}/\text{m}^2] = \alpha_1 V^2 \quad V: \text{流速}[\text{m}/\text{s}]$$

$$L[\text{kgf}/\text{m}^2] = \alpha_2 V^2 \quad V: \text{流速}[\text{m}/\text{s}]$$

のり覆工の種類*	1	2
検地石	3.696	0.934
玉石	1.766	1.130
コンクリートブロック	2.524	1.423

「護岸の力学設計法」ではのり勾配が1割5分を閾値とし、それより緩い場合は護岸の破壊要因を流体力、きつい場合は土圧・水圧が破壊の主要因と位置付けていますが、流速が大きい急流河川ではどうでしょうか。というのは、揚力・抗力といった流体力は平均流速の2乗に比例しますので、流速が大きい場では思った以上に大きな力となるからです。

$$D = \frac{1}{2} C_D \rho A_D V^2$$

$$L = \frac{1}{2} C_L \rho A_L V^2$$

ここに、 D ：抗力、 L ：揚力、 C_D ：抗力係数、 C_L ：揚力係数、 ρ ：水の密度、 A_D ：抗力作用面積、 A_L ：揚力作用面積、 V ：平均流速、である。

以下の図は、高さ5m、のり勾配が5分と1割の護岸を前提とし、これに作用する揚力の水平成分と土圧の水平成分を比較したものです。計算条件は以下のとおりです。

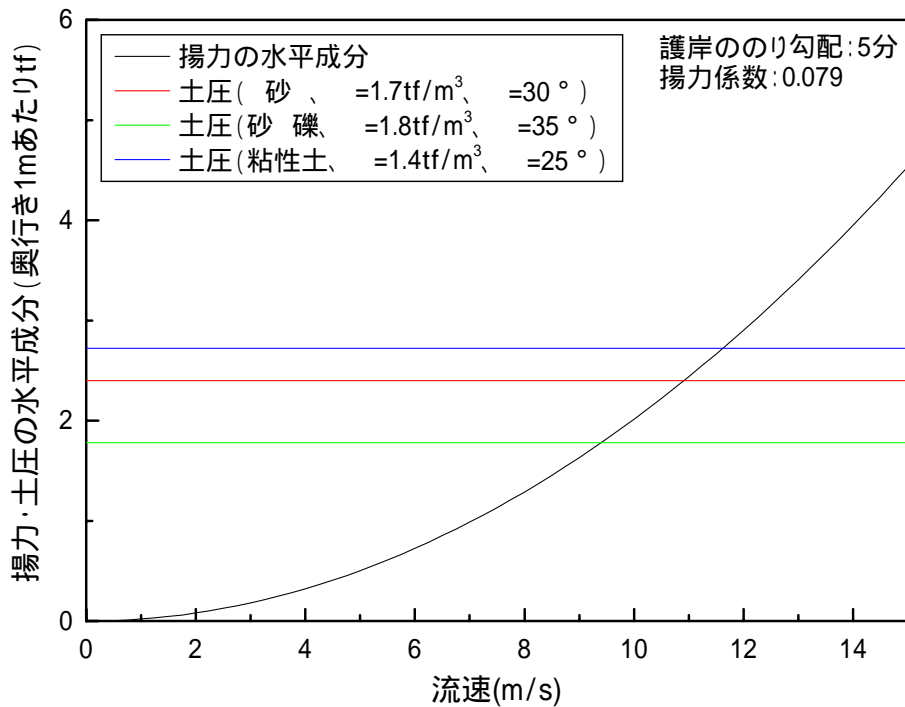
背面土：砂（単位体積重量 =1.7tf/m³、せん断抵抗角 =30°）

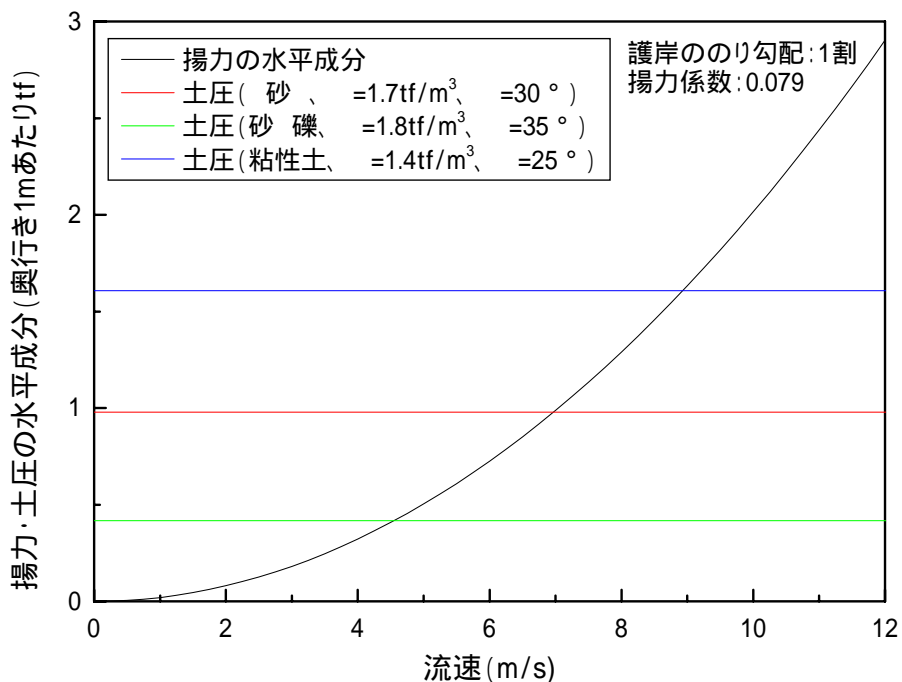
砂礫（ =1.8tf/m³、 =35°）

粘性土（ =1.4tf/m³、 =25°）

の3種類。

揚力係数： $C_L = 0.079$ （検地石に相当）





のり勾配が5分の場合、流速が10m/sを超えた領域では揚力が土圧と同程度以上になってきます。のり勾配1割の場合は土質条件にもよりますが、背面土が砂礫の場合は流速が4m/s強で揚力が土圧を超えます。

以上の図から、流速が大きい場では、護岸の安定性を考えるうえで背面土圧と流体力を同じ重要度で考えていけなければいけないことがわかります。山梨の河川では、洪水時の流速が10m/sに達するものも少なくありませんので、護岸の安定検討には流体力の作用も考える必要があります。

第5節 根継工

5.1 根継工の基本

5.1.1 根継工の位置付け

根継工は、河床洗掘、河床低下に伴い既設護岸の基礎部分が露出したり、被災した場合に基礎部を保護するために設置するものであるが、改修工事により既設護岸を利用する場合にも計画されることがある。

通常、根継工が適用できる河床の深掘れは、局所的なものが多い。河道法線形が比較的直線的で深掘れ延長が長い場合や、左右岸が一様に洗掘されている場合には、計画河床高の変更、護岸の改築、または帯工と根継工との併用による等の根本的な河床低下対策が必要である。

5.1.2 根継工の形式

根継工には主としてステップ式、一法式、矢板式の3タイプがある。それぞれの水理的特徴を踏まえ、現場の特性に適合したタイプを選択するものとする。

[解説]

根継工には主としてステップ式、一法式、矢板式の3タイプがある。ステップ式と一法式を比較した場合、既設護岸に施工時の悪影響を与えない、小段がある分だけ土圧に対して有利になる等のメリットがステップ式にはある。よって、護岸の高さが高い場合などにはステップ式を用いる。ただし、河積に余裕がない場合には一法式とする。ただし、一法式の場合は、既設護岸直下を床掘する必要がある、土質及び護岸の状況を確認して施工する必要がある。

矢板式は河積阻害が少ない、施工時に既設護岸に与える影響が少ない等のメリットがあるが、費用がかさむことが多い。

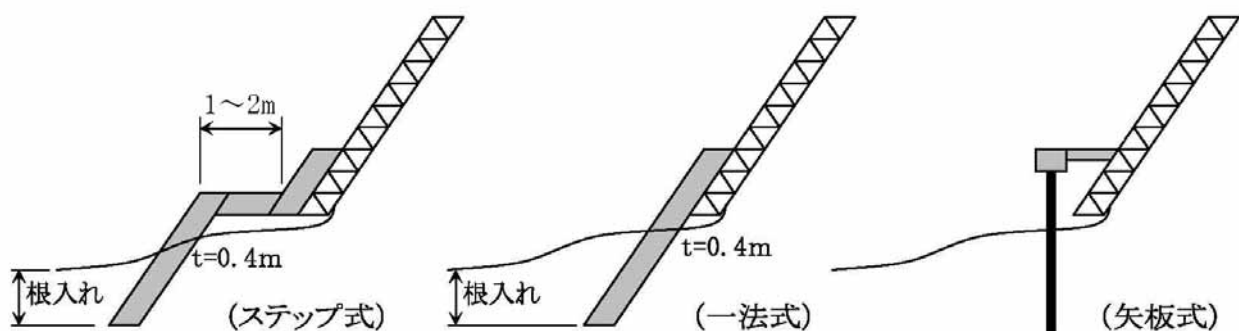


図 4.5.1 根継工の代表的な3タイプ

5.2 構造・設計細目

5.2.1 断面形状

ステップ式、一法式の根継工の大きさは、一般には以下のように設定する。

<厚さ>

0.4mとする。

<ステップ式の平場の長さ>

床掘による崩壊の恐れがない範囲で、川幅等、現地の状況によって決定する(1~2m)

<ステップ式の平場の厚さ>

0.4mとする。

ただし、安定性等で問題がある場合にはこの限りではない。適切な方法により設計し、最適な形状を決定するものとする。

5.2.2 延長

根継工は上下流端部が治水上の弱点となり易いので、その延長は前面に発生する局所洗掘、あるいは流速の加速区間よりも十分に広く取るものとする。

[解説]

根継工は護岸よりも河心方向に突き出した形状となるので、特に上下流端では局所的に流速が増大し、隅角部で洗掘が発生するなどの問題が起こりやすい。これを防止するには、根継工の延長を十分にとり、両端部をそもそも根継工が必要となる原因となった局所洗掘や流速の加速区間から外すことが必要である。

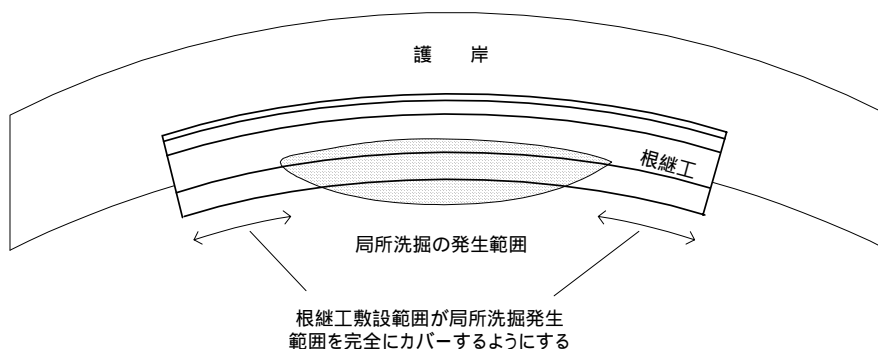


図 4.5.2 根継工の延長のとり方

5.2.3 環境への配慮事項

根継工は、一般に水際部の河川環境上の多様性を保全する上で望ましくないことが多い。施工時には、寄せ石、盛土等により水際部に变化を持たせるなど、河川環境にも配慮する。

[解説]

根継工は、いずれ前面の河床が洗掘される可能性が高いことから、前面に根固工または寄せ石工を施工するのが望ましい。なお、生物に配慮して河床に深みを残し、また寄せ石材等で多孔質な空間を創出すること。

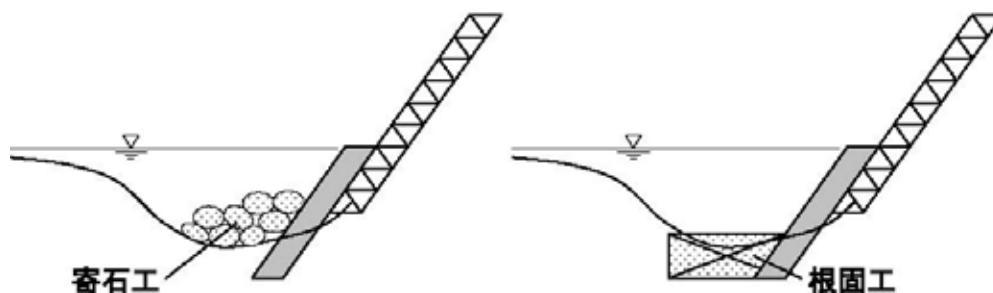


図 4.5.3 根継工前面への根固工の配置

既設護岸が環境保全型ブロックや空石積の場合、水際部の植生等の生物環境を確保するために根継工自体を環境性のあるものとする。

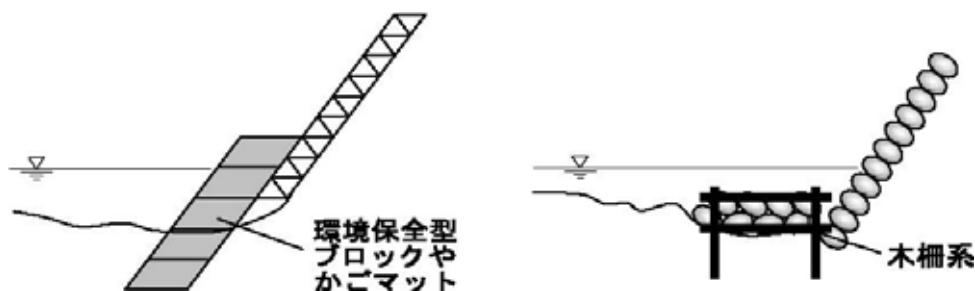


図 4.5.4 根継工自身を環境に配慮した形にする方策の例

5.2.4 施工上の配慮事項

根継工の目地位置については、既設護岸の目地位置に合わせる。
根継工の上下流端部は、流水から大きな抵抗を受けやすく治水上の弱点となりうる。これを防止するために既設護岸とのすり付けを図るものとする。

[解説]

(1) 目地工の位置について

根継工の目地位置については、既設護岸の目地位置に合わせること(下図のように既設護岸の目地位置でクラックが入るケースが多いため)。

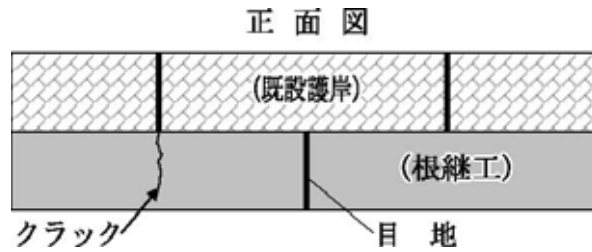


図 4.5.5 目地の配置法

(2) 端部処理について

根継工は、平面的には飛び出した構造物であるので、上下流端の小口周辺で流れの集中が生じ、河床洗掘等が生じる可能性があるため、下図のように小口の処理を工夫すること。

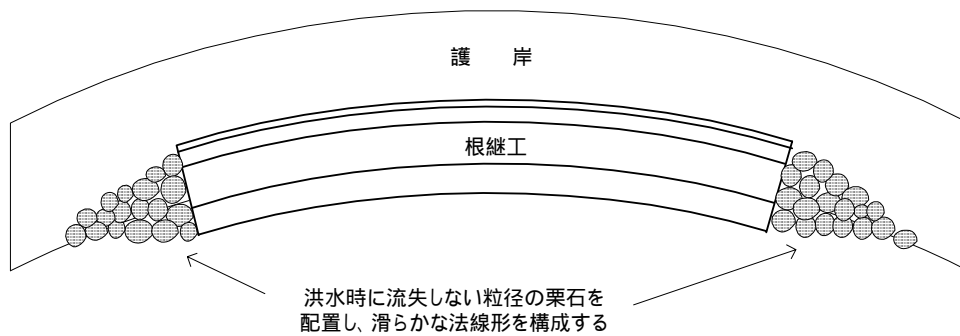


図 4.5.6 端部処理の例

第6節 水制

6.1 水制の基本

6.1.1 水制の機能

水制には主として以下の機能を発揮することが期待される。水制の構造は、設置する河川の河道特性により変わるのももちろんのこと、改修計画における水制に期待する機能・位置付け等によっても左右される。

[解説]

水制に期待される機能は、一般には以下のように分類される。

表 4.6.1 水制の機能

機能の名称	内 容
水はね	河岸防御のため、洪水時に河岸に接近する主流部を河心側に押し出して河岸近傍の流速を下げる。扇状地河川など砂州によってみお筋が蛇行する河川では、みお筋が河岸に向かうのを防止する目的で作られることもある。水はねを期待する水制には不透過型水制が用いられることが多い。主に大洪水をターゲットとして設計される。
流速低減	水制に作用する抗力を利用して流速を直接減じる機能である。河岸防御に用いられることが多いが、構造物保護のために用いられることもある。透過型水制が用いられることが多い。主に大洪水をターゲットとして設計される。
土砂堆積～高水敷形成	高水敷等を造成するため、河心付近の流れを河岸側に引き込み、そこで流速を減じることによって浮遊土砂を堆積される機能である。河道特性に応じて様々な形状の水制が用いられる。中小～大洪水をターゲットとして設計される。
航路維持	河川内に形成された航路が土砂により埋没しないよう、水制によって川幅を強制的に絞るものである。主として不透過型水制が用いられる。中小～大洪水をターゲットとして設計される。
分合流部の流量調整	河川の分合流部に設置し、分合流の流量を制御する。「出し」と呼称されることもある。主として不透過型水制が用いられる。設計のターゲットとなる洪水規模は流量制御の目的によって変わる。
環境創生	水制は環境創生に様々な貢献が可能であり、期待される機能は実に多様である。他の工法と組み合わせて機能を発揮することが期待されることもある。 <ul style="list-style-type: none">・蛇行流の形成・先端に淵の形成・水制先端付近で早瀬、水制間でよどみを形成（流れの多様化）・水制間に水生生物のハビタット形成 etc. いずれも平水流量をターゲットとして設計される。

表 4.6.1 のとおり、水制はその目的に応じ設計対象となる洪水の規模も異なる。また水制単独で上記の機能を発揮することが期待される場合もあれば、他の構造物との組合せで機能を発揮することが期待される場合もある。水制の設計に際しては、水制の機能や位置付けを明確にしたうえで、適切な外力の規模、必要強度等の設計目標を定めることが重要である。

6.2 構造・設計細目

6.2.1 工種の選定

水制の工種は、河川の平面および縦断形状、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]

水制の構造は、その機能に直接関係する。本章 4.1.1 の解説に示した水制の機能と対応する水制の構造について以下に述べる。

(1) 水はね

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

(2) 流速低減

- ・水制の高さは低い。
- ・透過性あるいは水深に比し低い不透過性水制である。
- ・杭工などが主で軽い工作物になっている。
- ・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。

(3) 土砂堆積～高水敷形成

- ・杭出し水制のような透過性が多い。
- ・木曾三川のケレップ水制のように不透過型で長いものもある。
- ・群体である必要がある。

(4) 航路維持

- ・不透過性で、平水でも水没しない高さが必要である。
- ・航路に沿って群体として設置される。

(5) 分合流部での流量調整

- ・強固な構造のものが単体で置かれることが多い。

(6) 環境創生

- ・創生しようとする環境によって様々なものが考えられる。

なお、水制の工種としては、

コンクリートブロック、四基構、三基構、大聖牛

三角枠、ポスト、枠だし、籠出し、棚牛、笈牛、菱牛、川倉

木工沈床、改良沈床、合掌枠、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ち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

は聖牛が多く用いられる。

* 「河川砂防技術基準(案)設計編」より引用・補筆

6.2.2 方向

水制の方向は、一般に流向に対して直角とするが、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。ただし、急流河川においては、上向き水制の先端部に発生する局所洗掘が大きくなり、自身の安定性の確保が難しくなることがあるので、水制の向きは特別な事情がない限り直角とするものとする。

水制高の低い根固水制あるいは不透水制については、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ないのもので、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、不透水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が、もとづけ部で洗掘が生じる可能性があるため、必要に応じて水制周りに根固工を併用するなどの対策を行う。

* 「河川砂防技術基準(案)設計編」より引用・補筆

6.2.3 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用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、流過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と解釈することで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、水制の元付け部分の高さは計画高水位程度とし、水制を越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はない。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。砂利河川が対象とならないのは、建設費が大きくなる、確保した水深を砂河川並みに維持することが水理的に困難である、の2点による。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的に得策である。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して決定する。

(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、水の流れに変化を与えることより、水中生物に多様な環境を作る、洪水時の魚の非難空間を形成する、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。この場合の設計ポイントは次のようである。

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留意して設計する。

多孔質な材料（石材・籠工）を用いた水制を工夫する。

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。

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。

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。

* 「河川砂防技術基準（案）設計編」より引用

水制は一般的に河岸と直角に設置することが多いようですが、向きを上流や下流に向けたらどうなるでしょうか。ここでは、水制の向きをいろいろに変えると水制周りの流速や土砂の洗掘・堆積状況がどう変わるのかを調べた移動床水理実験の結果を見てみることにしましょう。

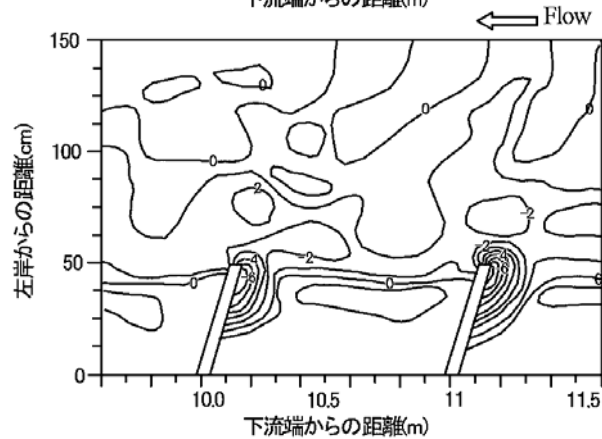
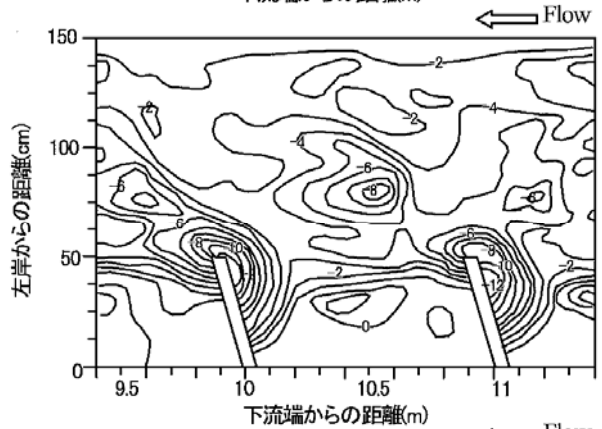
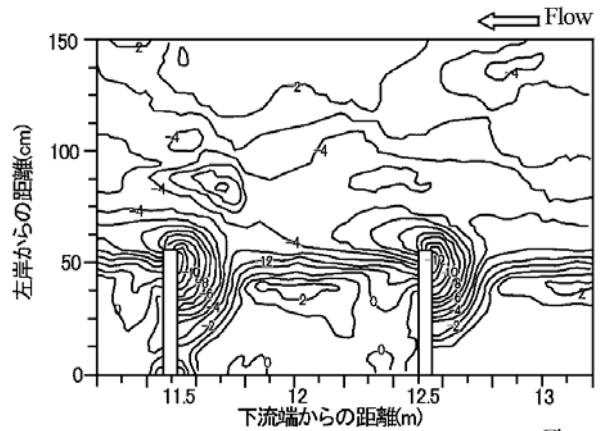
右の図は、平坦な河床に水制をたくさん置き、通水して河床がどう変化したかをコンター図で示したものです。実験では縦断的にたくさん水制を置いていますが、この図は代表的な2本の水制周りをクローズアップしたものです。

上の図は、水制を河岸法線に対し直角に置いたものです。これによると、水制の先端付近に形成される洗掘が他の2パターンに比べ大きいのですが、水制の間の部分（水理学では水制域と呼ばれる）での土砂堆積は最大です。これは、水制域の流速が3パターンのうち最小になることに起因しているようです。この実験結果からわかることは、水制によって河岸付近に土砂を堆積させようとした場合、水制を置くのが効果的ですが、水制の長さがある程度確保し、水制先端に発生する洗掘の範囲が河岸に及ばないようにする必要がありますということです。

真ん中の図は、水制軸を河岸と直角のラインから下流に15°振ったものです。下流に振るとなんとなく水制の先端の洗掘が軽減されそうなイメージがありますが、現実にはそうはなりません。

しかも、本来土砂を堆積させたい水制域でも河床が下がっています。これは、河床面近傍で水制域から水制の上流側に沿って水路の中央方向に向かう流れが生じるからであると考えられます。

下の図は、水制軸を河岸と直角のラインから上流に15°振ったものです。こうすると、土砂を含んだ河床近傍の流れが水制に沿って水制域に入ってくるため水制先端の洗掘が軽減されます。ただし、この流れが水制域と水路中央の運動量を交換するので、水制域の流速が直角案に比べ遅くならず、結果として水制域への土砂の堆積量も少なめになっているようです。



水制周りの河床変動状況

以上の実験結果から、水製の形状と期待する効果の関係について以下のように考えることもできます。

河岸の根の洗掘防止や高水敷造成をねらいとして河岸に土砂を貯めたい場合・・・水制を直角に、しかも十分な長さに設置する。ただし、水製の先端での洗掘が著しいので、水制自身がこれに耐え得るよう強固な構造にしたり根固工などによる洗掘対策を行うことが必要である。

河川環境に配慮し瀬や淵を作ったり流れの多様化を図りたい場合・・・水制を上向きに設置する。上向き水制は河川に与えるインパクトが少ないので、水製の設置がかえって治水安全度に悪影響を与えるような事態を招くことを防ぐことができる。

以上、水制に期待する効果と形状との関係について述べましたが、これも一案に過ぎません。河道特性に応じていろいろな工夫が必要でしょうし、設置後のモニタリングとフィードバックが重要なのはいうまでもありません。

<参考文献>

福岡捷二・西村達也・岡信昌利・川口広司：越流型水制周辺の流れと河床変動、水工学論文集、第42巻、PP.997-1002、1998

第7節 床止め（落差工）

7.1 床止め（落差工）設計の基本

河床低下を防止して河床を安定させ、河川の縦断および横断形状を維持するために設置される横断構造物を床止めという。床止めのうち、落差のあるものを落差工、ないものを帯工という。ここでは主として落差工について記すものとし、帯工については第6節に記す。

床止めは、計画高水位以下の水位の通常的作用に対して必要とされる機能を有し、かつ安全な構造となるよう、加えて魚類等の遡上・降下時の河川環境を十分考慮して設計するものとする。また、床止めは、付近の河岸および河川管理施設の構造に著しい支障を及ぼさない構造となるよう設計するものとする。

* 「河川砂防技術基準（案）設計編」より引用・補筆

[解説]

河道計画では、洪水流のエネルギーを一箇所に集中しないよう分散させつつ堤防・河岸を防御することが望ましい。しかし、勾配が急な河川では、洪水流のエネルギーが大きいので河床変動や構造物に作用する力が大きくなる。落差工は、落差をつけることで落差工上下流の河床勾配を緩め、流水のエネルギーを小さくするための工法である。このため、落差工の周辺では洪水流のエネルギーが一箇所に集中する格好となるので落差工が被災することも少なくなく、設計には注意が必要である。

一方、落差工は一般に本体上で水深が浅く、流速が大きい流れを生じさせ、流水の連続性を断ち、魚類等の移動を妨げる傾向がある。落差工は河床の安定上やむを得ない場合に限りて設置するものとし、魚道の設置や緩傾斜化により魚類等の移動に配慮する必要がある。

7.2 構造細目

7.2.1 本体

床止め本体の形状、構造は、河道特性、落差部の流れ、景観、魚類の移動等を考慮して決定するものとする。また、端部の処置などによって床止め全体が安全な構造となるように決定するものとする。

[解説]

(1) 床止めの構成

床止め本体には、一般にコンクリート構造のものと、根固ブロック等を用いて屈撓性をもたせた構造のものがあるが、本節では、設置事例が多く一般的な構造であるコンクリート構造について主に示している。屈撓性構造の床止めを設計する場合に、外力に対する安定検討は、本節に示すコンクリート構造に対する手法と同様の考え方により実施することができる。屈撓性をもつ床止めは、作用する揚圧力が大きくなること、床止めが一体となって河床になじみ、河床の変化に追随しやすいことなどのメリットがあるが、上下流の河床変動を護床工が吸収できなければ床止めとしての機能が失われてしまうことになるため、護床工の安定性について十分に検討することが重要である。

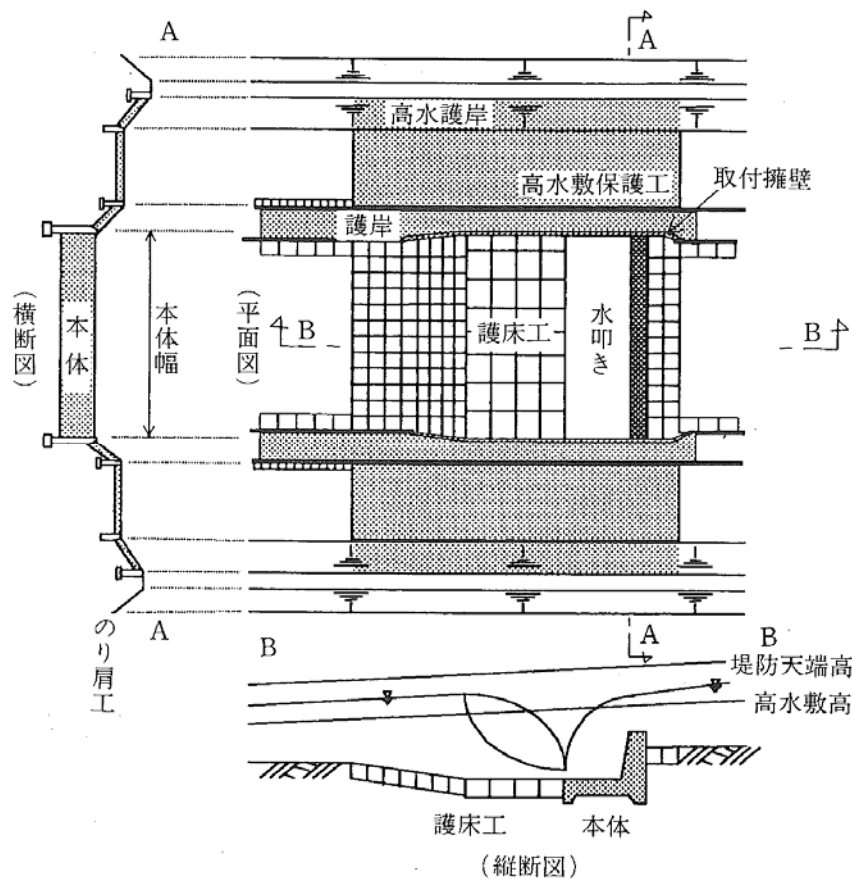


図 4.7.1 床止工各部の名称

(2) 横断形状

床止めの天端は、流水が1箇所に集中しないように水平とすることが一般である。ただし、魚道設置のために天端部に切欠きを設ける場合や、水棲生物の遡上降下のための天端形状をV字型にするこ

とがある。

床止め本体の端部処理については、従来は堤体に嵌入することとしていたが、この場合、床止め本体との間で水みちが発生する危険性や、床止め本体が被災を受けた場合に、堤防にまで被災が及ぶ危険性がある。このため床止めが被災しても堤防は安全であるように、床止め本体と堤防とは絶縁することが望ましい。特に複数断面河道では、高水敷上で流水の乱れが床止め付近の洗掘を生じさせ堤防の決壊を起こす危険性があるため、これを防止することを目的として図 4.7.2(a)に示すように床止め取付部の上下流を擁壁構造の護岸とし、高水敷に保護工を設けることが望ましい。ただし、セグメント 1 に代表されるような急流河川では、洪水時に高水敷上で流速が速いほか、床止め下流で高水敷から低水路への落込流により高水敷侵食が生じやすい。これを防止するため、図 4.7.2(b)のように床止め本体の両端を堤防表のり尻まで嵌入させ、堤防とは矢板で絶縁し、仮に床止めが被災しても堤防に影響が及ばないようにすることが必要である。なお、単断面で河床勾配が 1/100 程度の急流かつ掘込河道の場合には、安全のため床止め本体を河岸等に嵌入させてもよい。

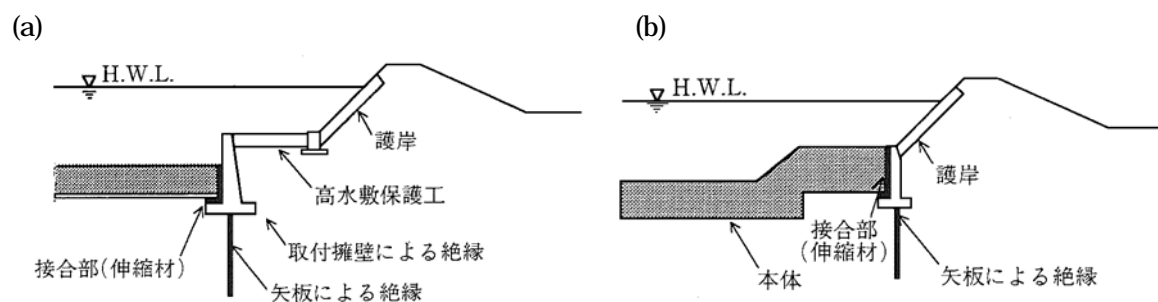


図 4.7.2 横断形状

(3) 縦断形状

本体の縦断形状としては、本体の下流側のり面勾配は一般に 1 割～5 分が多い。なお、流水の落下によって生じると予測される騒音を防止する目的、また魚道の機能をもたせる目的で、本体の下流側のり面勾配を 1 割以下の緩いものにする場合もある。ただし、落差が大きい場合に緩い勾配にすると、流速の速い範囲が下流に広がる恐れがあるので注意を要する。

(4) 水棲生物の遡上・降下に配慮した形状

水棲生物の遡上・降下に配慮した形状としては、魚道を設置しさらに水叩き工の計画天端高を下げる方式や、落差工本体を緩傾斜型の構造とする方式がある。手法の選択に際しては、河道特性、治水上および河川環境上の効果、施工性、経済性、維持管理等の面から検討する必要がある。

緩傾斜型床止めとしては、多段式、粗石付斜路面式等のタイプがある。緩傾斜型の勾配、表面形状の検討は、魚道の設計と同様に水棲生物及び河道の特性や流況等を考慮して検討する。

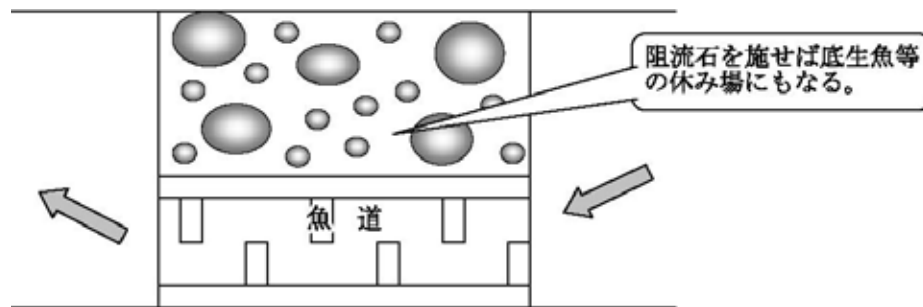


図 4.7.3 水棲生物の遡上・降下に配慮した形状

(5) 落差

一般に上下流の落差は2m以内とする。なお、1m以下の場合、河川の縦断的な連続性を保全するために、落差工を計画せずに済むよう縦断計画の再検討してみることも必要である。

* 「河川砂防技術基準(案)設計編」, 「床止めの構造設計の手引き」より引用・補筆

7.2.2 水叩き

水叩きは、コンクリート構造を標準とする。また、水叩きは本体を越流する水の侵食作用および下面から働く揚圧力に耐えうる構造とする。

[解説]

床止めの被災形態としては、本体、水叩き等の下部でのパイピング現象による地盤支持力の低下、流水や転石による水叩きへの直接衝撃、流水による下流部の洗掘及び堤体下部からの吸出し、揚圧力に起因する移動等が考えられる。したがって、水叩きは、洗掘等を防げる長さと同様に揚圧力に耐える重力(厚さ)を有するものでなければならない。

上流から流下する流水や転石による水叩きへの直接衝撃や大規模な洗掘に対しては、水叩きを所要の長さを有する強固な構造とし、下流部の洗掘に対しては所要の長さを有する護床工を設置して対処するとともに、間詰め石などにより吸出しを防止する必要がある。

パイピングについては、本章 5.2.5 を参照されたい。

水叩きの縦断形状は、流水の減勢や魚類等の移動を考慮して、下流河床よりも掘り込んで水褥池化する等の工夫を図ることが望ましい。

* 「河川砂防技術基準(案)設計編」より引用

7.2.3 護床工

護床工は、床止め上下流での局所洗掘の防止等のために必要な長さと同様に揚圧力に耐える重力(厚さ)を有するものとし、原則として屈撓性を有する構造として設計する。

[解説]

河状等を考慮して必要がないと認められる場合を除き、原則として床止め本体の上下流には、護床工を設けるものとする。

護床工の工種は、床止め上下流の河床勾配、落差、洪水時の流速、平水時の状況による生態への影響、河床の地質等を勘案して選定するものとする。

護床工の構造は、水叩き下流での跳水の発生により激しく流水が減勢される区間では、例えば、鉄筋により連結されたブロック構造かコンクリート構造等とし、その下流の整流となる区間は、できるだけ流勢を減殺する工法として、一般には、粗朶沈床、木工沈床、改良沈床、コンクリート床版、コンクリートブロック等が用いられるが、できるだけ屈撓性を持たせ、硬い構造のものから漸次軟らかい構造のもので、河床になじみよくするような配慮が必要である。

下流側の護床工の範囲は、落差工による流水の影響がなくなると推定される範囲までとし、上流側の護床工の範囲は計画高水位時の水深以上とする。特に急流河川では、護床工が長くなる場合が多いので、これを短くするために流れの減勢を目的とした補助構造物を水叩きまたは護床工に設置し、これにより強制的に跳水を発生させエネルギーを減勢する方法がある。強制跳水に必要な補助構造物としては、エンドシル、バップルピア、段上がりがある。魚類などのためには、段上がりとして水褥池水深を深くする方法がよい。

護床工の設置範囲及びブロック等の重量は、原則として「河川砂防技術基準（案）」設計編〔 〕P51「床止めの構造設計の手引き」、「護岸の力学設計法」により決定するものとするが、ブロック重量については、現河川や類似河川のブロックの被災履歴等から必要重量を確認しておくことも重要である。

* 「河川砂防技術基準（案）」設計編 』より引用・補筆

チェックポイント

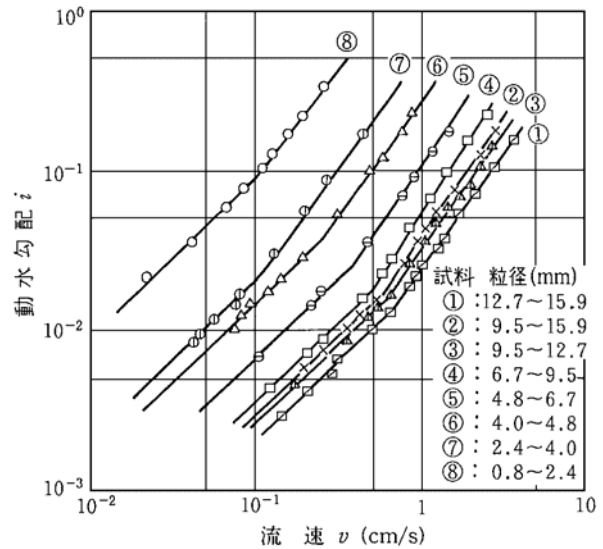
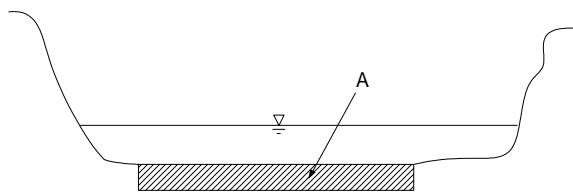
かご工による護床工上でみお筋が消失しないための条件

かご工は、護岸や路側・土留めに利用されることが多いのですが、河床変動が著しいところでは、落差工の護床工に使われることがあります。この場合問題となるのは、平常時においてみお筋がかご工の浸透流となってしまうことです。特に、平常時の流量が少ない河川では、魚類をはじめとする水棲生物の移動に支障となります。間詰めをしたり、縦断距離をなるべく短くすることで多少の改善は期待できますが、100%の問題解決にはなりません。かご工を護床工として利用しようとする際には、対象河川の平常時の流量、生態系等に十分留意しましょう。

浸透流の流量は、以下の式と表により推定することができます。なお、図では動水勾配 河床勾配として流速 v を読み取ります。これにかご工の断面積 A を掛けたものがかご工断面満杯時の流量、すなわち最大浸透流量 Q_s です。 Q_s よりも平常時の流量が大きければ、みお筋がすべてかご工に吸い込まれることはありません。ただし、かご工の透水係数は中詰め材の粒径や粒度分布、締固度等によって大きく変わるので、以下の式で推定される流量は目安程度と考えてください。

$$Q_s = Av$$

ここに、
 Q_s : 最大浸透流量
 A : かご工の断面積
 v : 浸透流速 (図より読み取る)



7.2.4 基礎

基礎は、上部荷重を良好な地盤に安全に伝達する構造として設計するものとする。

[解説]

床止め本体の基礎は、直接基礎、杭基礎が一般的である。

直接基礎は、地盤が良好な岩、砂礫または砂等の箇所で、十分な地耐力が得られる場合に採用する。杭基礎には、既成杭と場所打ち杭がある。既成杭として RC、PC 杭等を採用する場合には、水平力による曲げ抵抗と継手の強度について検討するものとする。また、鋼杭を採用する場合には、先端閉鎖効果も検討する。

なお、将来も不同沈下の生ずる恐れのないと判断される場合には、摩擦形式の杭基礎とすることができる。ここで、杭の許容水平変位は 1cm を標準とする。また、良質な地盤の目安としては、砂層、砂礫層において、は N 値が概ね 30 以上、粘性土層では N 値が概ね 20 以上と考えてよい。基礎の検討手法は「道路橋示方書・同解説」等による。

* 「河川砂防技術基準（案）設計編」より引用

7.2.5 シャ水工

床止めのシャ水工は、原則として鋼矢板構造またはコンクリート構造のカットオフとし、上下流の水位差で生じる恐れのある揚圧力やパイピング作用を減殺しうる構造として設計するものとする。

[解説]

シャ水工は、上下流の水位差で生じる恐れのある揚圧力やパイピング作用を減殺するために設けるものである。

ただし、基礎が強固でパイピング作用により本体の安全性に問題のない場合等には、シャ水工を設けなくてもよい。シャ水工としては、一般的に 型の鋼矢板を用いる場合が多いが、土質等によって、打込み困難等の場合には 型以上の鋼矢板を使用する場合もある。

本体及び水叩き端部に設けられるシャ水工は、取付擁壁および護岸の基礎とを連続させるものとする。また、取付擁壁基礎の矢板は、シャ水矢板と同規模とすることが望ましい。下図にシャ水工の設置平面図を示す。

* 「河川砂防技術基準（案）設計編」より引用

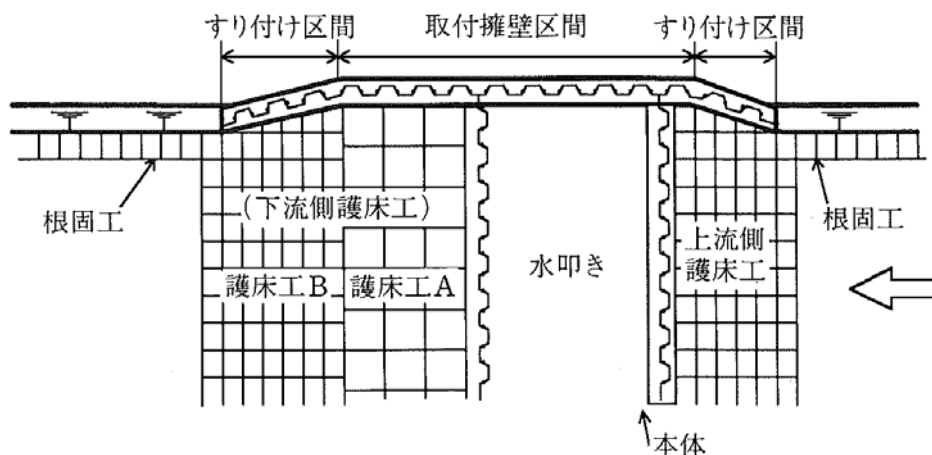


図 4.7.4 しゃ水工の設置平面図

7.2.6 取付擁壁・護岸

取付擁壁・護岸は、流水の作用より堤防または河岸を保護しうる構造とし、河川環境にも配慮して設計するものとする。

[解説]

床止めからの越流落水により跳水が発生する取付区間では、特に流水の乱れが激しく、河岸部に強いせん断力が発生する。また、高水敷からの落込流による河岸侵食の恐れもあるため、この区間では強固な河岸防護工として取付擁壁を設置する必要がある。取付擁壁の設置範囲は、跳水の発生区間を原則とする。なお、上流部については、低下背水による流速増に対する安全を見込み、本体より 5m 程度上流までを設置範囲とすることが望ましい。

床止め周辺で大きな流速が発生し、河岸および高水敷の侵食の恐れがある範囲には、侵食防止工として護岸を設置する必要がある。特に床止め下流部では、高水敷からの落込流および低水路からの乗上げ流が発生することがあるため、その対策として高水敷保護工あるいはのり肩工とともに護岸を設置する必要がある。護岸の設置範囲は、水理模型実験などによる流速評価によって求めることが望ましいが、設置範囲の目安として、河川管理施設等構造令第 35 条では、「床止めに接する護岸、または堤防の護岸は、上流側は、床止め天端から 10m の地点または護床工の上流端から 5m の地点のうちいずれか上流側の地点から、下流側は、水叩きの下流端から 15m の地点または護床工の下流端から 5m の地点のうちいずれか下流側の地点までの区間以上の区間に設けること」としている。ただし、セグメント 1 に属するような急流河川では全区間護岸が必要になる場合があるので、必要に応じて配慮するものとする。

取付擁壁の構造は、堤防の機能を損なわないように自立構造を原則とする。床止め本体及び水叩きと取付擁壁との接合部は絶縁し、擁壁の基礎は水叩きや護床工の底面より 1m 程度低い所に設けるほか、護床工下流の擁壁および護岸前面には根固工を設ける等により洗掘に備える必要がある。

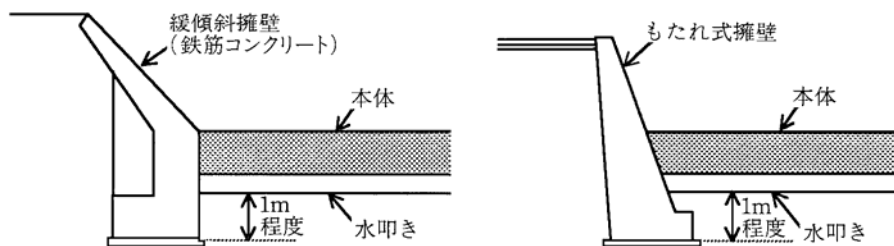


図 4.7.5 取付擁壁

取付擁壁ののり面形状は、周辺の景観などを考慮して直壁とはせず、斜面形状とする等の工夫を図ることが望ましい。のり面を直壁形状とする場合は、落差工下流部の河岸侵食を低減させるために、拡幅した形状として低水河岸に取り付ける。この場合、取付擁壁の床止め直下流河岸部においては、取付擁壁に沿う流れと床止めを直進してきた流れが集中することによって局所洗掘が生じる。この対策として、取付擁壁の下流側護岸とのすり付け角度は、剥離が生じないとされている角度とすることが望ましい。

護岸の構造は、対象地点の特性に応じ工種、諸元を定める。この際、既往の調査研究成果等を参考にしながら流速、洗掘深などを評価しつつ安定検討を行う必要がある。

* 「河川砂防技術基準（案）設計編」より引用

7.2.7 高水敷保護工

高水敷保護工は、流水の作用による高水敷の洗掘を防止しうる構造として設計するものとする。

[解説]

床止めの被災原因の1つに高水敷の侵食があげられる。これは、高水敷から低水路へ落ち込む流れや、逆に乗り上げる流れなどの床止め周辺の局所流によって生じるものである。特に、このような流れが強くなることが予想される場所では、のり肩工、高水敷保護工を設置して高水敷を保護する必要がある。

高水敷保護工の敷設範囲は、落差工の上下流護床工の位置までの長さが必要である。幅については、砂利河川の高水敷は全幅が望ましく、砂河川においても10m程度以上は必要と考えられる。また、上下流の護床工のさらに上下流に設置される上記5.2.6による護岸には、のり肩を保護するのり肩工を設ける。その幅については護岸の天端工の幅としてよい。なお、高水敷に落差ができる場合は別途検討を要する。

高水敷保護工およびのり肩工は、蛇籠や布団籠、連節ブロック等の掘とう性がある構造が望ましい。なお、保護工の控え厚は、洪水時の掃流力に耐えるだけの厚さを有している必要がある。また、高水敷の被災状態によっては、高水敷保護工あるいはのり肩工と高水敷表土のなじみが悪く、その境界部で流水による洗掘が発生する場合もあるため注意を要する。

* 「河川砂防技術基準（案）設計編」より引用

7.2.8 魚道

魚道は、魚類等の遡上・降下に適した形状とし、計画高水位以下の水位の作用に対して安全な構造とする。魚道の詳細については第9節を参照のこと。

* 「河川砂防技術基準(案)設計編」より引用・補筆

7.3 設計細目

設計細目については、「建設省河川砂防技術基準（案）同解説 設計編 []」の「床止めの構造設計手引き」を参照のこと。

第8節 床止め（帯工）

8.1 床止め（帯工）設計の基本

8.1.1 帯工の機能

河床低下を防止して河床を安定させ、河川の縦断および横断形状を維持するために設置されえる横断構造物を床止めという。床止めのうち、落差のあるものを落差工、ないものを帯工という。ここでは主として帯工について記すものとし、落差工については第5節に記す。

帯工は、計画高水位以下の水位の通常的作用に対して必要とされる機能を有し、かつ安全な構造となるよう設計するものとする。

[解説]

帯工は、床止工のうち落差のないものをいう。帯工は、横断方向に広範囲な河床低下や連続する河床洗掘に対処するための構造物である。したがって、帯工の設計では、本体の形状以上に配置計画が重要となる。

8.1.2 帯工が必要な条件

帯工は、縦侵食が発生しているところ、あるいは発生の恐れがあるところに設置するものとする。

[解説]

縦侵食とは、局所洗掘が次第に拡大して河床低下に近い状態になったもののことであり、狭義には落差工の下流などに発生した局所洗掘が次第に拡大して河床低下の様相を帯びてきた状態のことを言う。

特に、射流場では河床変動は上流に伝播されるので、既に縦侵食が発生してしまった箇所に帯工を設置すれば、帯工の直上流で生じた埋め戻しが次第に上流に伝播して広い範囲で埋め戻し効果を発揮する可能性がある。

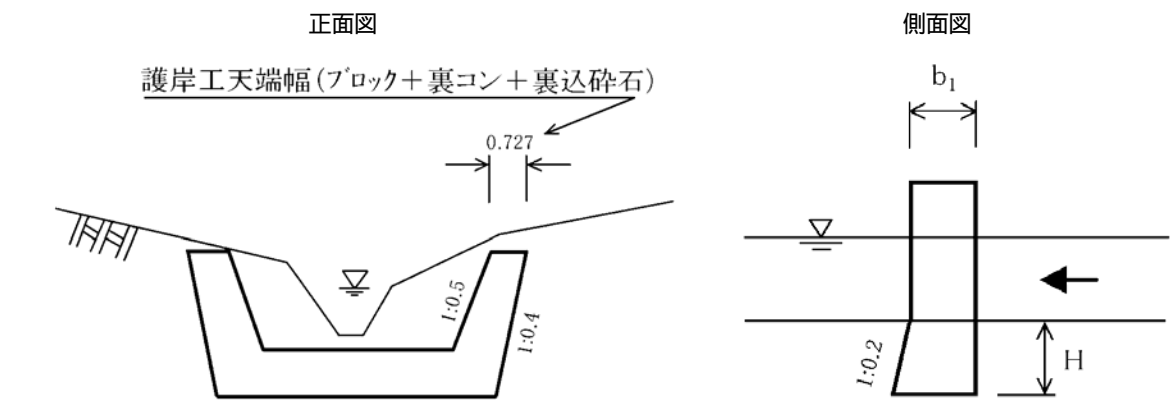
8.2 構造細目

8.2.1 本体

帯工本体の形状、構造は、河道特性、景観等を考慮して決定するものとする。また、端部の処置などによって帯工全体が安全な構造となるように決定するものとする。

[解説]

帯工は、基本的にはコンクリートで製作する。その形状は、例えば護岸の法勾配が5分のとき、山梨県公共土木工事マニュアル砂防編において、表のり5分、裏のり4分とし、垂直壁に準じて袖を設けるものとする規定されている。



	転石		土砂・礫	
	b_1	H	b_1	H
下流側が土砂	1.0	1.5 ~ 2.0	0.8	1.5 ~ 2.0
下流側が底張りコンクリート	0.8	1.0	0.5	1.0

* 「山梨県土木工事設計マニュアル」より引用・補筆

図 4.8.1 帯工の標準的な形状

なお、施工中に転倒の恐れがある場合には袖の地山へのかん入によって支える構造としてもよい。帯工下流部における河床・河岸の保護の方法は、垂直壁下流部のそれに準じるものとする。

8.2.2 設置間隔

帯工の設置間隔は以下の基準を目安とする。

計画河床勾配 ($1/i$) の分母 i をメートルに読み替えた距離に 1 箇所割合で設置する。

隣接する床固工の間に等間隔で設置する。

単独帯工の場合は、縦侵食の発生箇所、あるいは発生の予測される箇所に設置する。

ただし、河床変動計算などにより有効な帯工の設置間隔が提案された場合にはそちらを優先してもよい。

[解説]

上記の基準は帯工の配置計画を決める一応の目安である。現在は河床変動計算等の精度が向上して落差工・帯工の有効な配置計画を立案できるようになったので、そのような解析結果があればそちらを優先してもよい。

なお、山梨県「砂防マニュアル」には三面張り河道の場合における帯工の設置基準が記されているが、本書では縦侵食は護床工により防御すべきという考え方をとり帯工は不要と位置付けている。

* 「山梨県土木工事設計マニュアル」より引用・補筆

8.2.3 護床工、しゃ水工、取付護岸、高水敷保護工

護床工、しゃ水工、取付護岸、高水敷保護工の設計の考え方については、床止工（落差工）の考え方を流用するものとする。

[解説]

帯工の取付護岸は、護床工の上下流端からさらに 5m 程度長く設置することが必要である。なお、帯工の場合は、落差工と異なり取付擁壁工の必要はない。取付護岸工の根入れは、帯工の底面と護床工の底面から 1m 下がりのうち深い方とする。

8.3 設計細目

帯工の設計細目については「河川砂防技術基準（案）設計編〔 〕」、「床止めの構造設計の手引き」を参照のこと。

技術コラム	屈撓性帯工
	<p>コンクリートの帯工は非常に強固ですが、河床変動が著しい河川ではその存在が問題になることがあります。例えば洪水時流れが射流となるような急流河川において仮に河床低下が著しく進むと、帯工が上流の水面形を緩める効果はほとんどないので帯工自体が単なる河床上の障害物になってしまうこともあり得ます。このような場合に効果を発揮するのが屈撓性帯工です。これは、例えば以下に示したようにふとんかごやコンクリートブロックを連結して帯工とするもので、多くの場合同じ材料で製作されますが、設計上は縦断的に見て本体部分とそれを上下流で挟む護床工部分とに分けることができます。</p> <p>屈撓性帯工に用いる材料には、しばしばふとんかごあるいはコンクリートブロックが用いられます。一般に流速 5m/s よりも緩い流れの場合はふとんかごを、5m/s よりも速い流れの場合にはコンクリートブロックを用います。これは洪水時における掃流砂礫によるかごの磨耗・破断、中詰め材の片寄りを心配しての措置ですが、5m/s という閾値にそれほど深い意味があるわけではありません。ふとんかごのほうが一般に屈撓性が高いので、河床変動が特に著しい河川では流速が 5m/s を超えてもふとんかごのほうが効果的に河床変動を抑制できることがありますので、対象河川ごとにどんな工法がマッチするのか水理的に考察することが重要です。</p> <p>なお、屈撓性帯工についての水理機能・設計に対する考え方等については、「床止めの構造設計手引き」に詳述されているので、詳細についてはこちらをご参照ください。</p> <div data-bbox="327 1332 1228 1646" style="text-align: center;"> </div> <p style="text-align: center;">屈撓性帯工の縦断概念図</p>

第9節 樋門・樋管

9.1 樋門・樋管の設計の基本

9.1.1 樋門・樋管の定義

樋門は、河川又は水路を横断して設けられる制水施設であって、堤防の機能を有するものをいう。堤防の機能のないものは堰である。

樋門と樋管の構造令上の区別はない。よって、本書においても両者を区別しない。

樋門と水門の構造令上の区別については、暗渠構造のものが樋門、堤防を分断して設置されたものが水門である。

[解説]

樋門・堰は共に河川又は水路を横断して設けられる施設であるが、両者の区別は堤防の機能を有するかどうかで定まる。堰は主として取水のために設置される構造物で、洪水時にはゲートが開かれ洪水流に対する影響が最小となることが期待されているのに対し、樋門は洪水時にはゲートが閉じられ流水を堰き止めて堤防と同様の機能を発揮することが期待されている。

樋門と樋管は、構造令上では区別されない。構造令以外の視点からも両者の間に明確な差異はなく、傾向として規模が大きいものが樋門と呼ばれているようである。

樋門は本体が堤防をくりぬく暗渠でできているもので、水門は本体が堤防を開削し縦断方向に分断する開水路でできているものを指す。ただし、水門や樋門は構造令が制定される以前から存在した河川構造物であり、個々の構造物に付けられた名称が構造令上の区分と一致していない場合があるので留意されたい。

より詳細な定義づけについて知る必要がある場合には「河川管理施設等構造令」を参照のこと。

9.1.2 樋門の設置位置

樋門の設置が不適当な箇所は以下のとおりである。

洪水時、水衝部となる箇所

河床変動の大きい箇所、みお筋の不安定な箇所

本川への流入水が本川に対して悪影響を及ぼさない箇所（本川への流入を目的とした樋門）

設置にあたって対策が必要な箇所は以下のとおりである。

既設の水門および樋門に近接した箇所

基礎地盤が軟弱な箇所

堤防又は基礎地盤に漏水履歴のある箇所

[解説]

について、中小河川に樋門を通じて流水を合流させる場合、中小河川と流入支川あるいは流入水路の規模が近いと流入水が中小河川に悪影響を及ぼすことがあり得る。この場合は流入水が中小河川に対してどのような影響を及ぼすかの確に推定し、必要な対策を施すものとする。

について、より詳しい情報が必要な場合は、「河川管理施設等構造令」、及び「工作物設置許

可基準」を参照のこと。

9.1.3 樋門の設置

共通事項

水門等の設置の方向は、堤防法線に対して直角を基本とするものとする。

排水のための水門等を設置するときは、必要に応じ、取付河川との連続性を確保するよう配慮するものとする。

取付護岸及び高水敷保護工は、河川環境の保全に配慮した構造とするものとする。

対策が必要な箇所における設置基準

既設の[水門等に近接した箇所に設置するときは、取付護岸の一体化等必要な対策を講ずるものとする。

基礎地盤が軟弱な箇所及び堤防又は基礎地盤に漏水履歴のある箇所に設置するときは、十分な対策を講ずるものとする。

[解説]

樋門の設置については、工作物設置許可基準による制限条件がある。より詳しい情報が必要な場合は、「解説・工作物設置許可基準」を参照のこと。

* 「解説・工作物設置許可基準」より引用・補筆

9.1.4 構造形式の選定

函体の函軸構造は、函体の断面構造および継手の構造特性を考慮して樋門の構造形式に適合した構造とする。

函体の継手は、継手に求められる機能、函体構造との適合性を考慮して選定する。

樋門の基礎形式は、地盤の残留沈下量、樋門の構造特性および周辺堤防への影響等を考慮して選定するものとし、原則として直接基礎とする。

[解説]

樋門の構造形式は、基礎地盤の残留沈下量および基礎の特性等を考慮して選定するものとし、柔構造樋門とすることを原則とする。選定対象としては、函体、函体の継手、基礎形式が挙げられる。選定の考え方の詳細については、「柔構造樋門設計の手引き」を参照のこと。

* 「柔構造樋門設計の手引き」より引用・補筆

9.1.5 耐震設計

樋門には耐震設計を施すものとする。

樋門に付加すべき耐震性能は以下のとおりである。

レベル1地震動に対しては、全ての樋門について耐震性能1を確保するものとする。

レベル2地震動に対しては、治水上又は利水上重要な樋門については耐震性能2を、また、それ以外の樋門については耐震性能3を確保するものとする。

なお、樋門の耐震性能は以下のとおりとする。

耐震性能1：地震によって樋門としての健全性を損なわない性能

耐震性能2：地震後においても、樋門としての機能を保持する性能

耐震性能3：地震による損傷が限定的なものにとどまり、樋門としての機能の回復が速やかに行い得る性能

[解説]

レベル1地震動は、河川構造物の供用期間中に発生する確率が高い地震動であり、震度法による従来の耐震設計で考慮されていた地震動のレベルを踏襲するように定めたものである。レベル1地震動に対しては、従来の耐震設計と同様に、地震後においても機能拡幅のための修復をすることなく、地震前と同じ機能を保持することができるように、地震によって樋門としての健全性を損なわない性能を確保することとした。

レベル2地震動に対しては、治水上又は利水上重要な樋門については、地震後においてもゲートの開閉性、函渠の水密性等の確保が求められることから、地震によりある程度の損傷が生じた場合においても、樋門としての機能を保持できることを必要な耐震性能として規定した。一方、前記以外の樋門については、地震後に樋門としての機能が応急復旧等により速やかに回復できることを必要な耐震性能として規定した。

対象とする樋門が治水上の重要であるか否かについては、以下のような視点により判断するものとする。すなわち、仮に地震動により樋門そのものあるいは樋門と堤防の境界での水密性が失われた場合、平常時における最高水位時に堤内側に浸水が発生する恐れがあるものを治水上重要とみなす。ただし、水密性が失われた箇所が限定的なものに留まり、洪水時の水防活動等によって堤内側への浸水が防止できる場合はこの限りではない。

* 「河川構造物の耐震性能照査指針(案)・同解説」より引用・補筆

9.2 構造細目

9.2.1 本体

9.2.1.1 本体の構造

樋門の本体は、原則として函体、継手、胸壁、門柱、ゲート操作台、しゃ水壁等で構成する。設計にあたっては、各構造部位の機能の確保と同時に全体系としての安定に配慮した構造としなければならない。

[解説]

樋門の基本構成および各部の名称は以下の図のとおりとする。

本体内部の水替えや異常時の仮ゲート機能の確保のために川裏側には角落し等を設置できる構造とすることが望ましい。背後地、規模等を考慮し、重要な樋門については川裏側に予備ゲートを設けることがある。

* 「柔構造樋門設計の手引き」より引用・抜粋

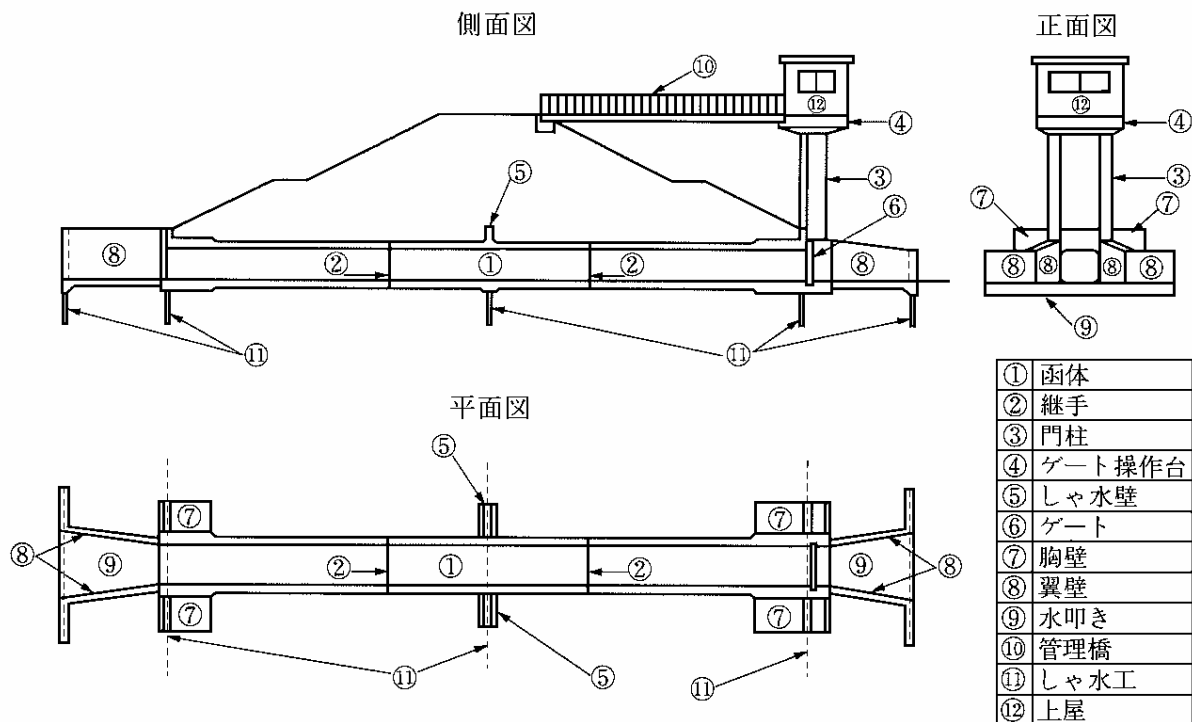


図 4.9.1 樋門構造と各部の名称

9.2.1.2 函体の断面

函体の断面は、水路の計画流量および形状、余裕高等を考慮して定める。

[解説]

函体の最小寸法は、維持管理の容易性等を考慮して原則として内径 1.0m 程度以上とする。ただし、小規模の樋門で堤内地盤高が計画高水位以上の場合等では、これ以下に縮小することができる。

函体の沈下を許容する場合は、沈下量を断面の余裕高に加算する等で断面の流下能力を確保しなけ

ればならない。

なお、樋門によって水生生物等の生態系に影響を及ぼすことが予想される場合は、本体及び水叩き部に適切な水深を確保できるような配慮が必要である。

* 「柔構造樋門設計の手引き」より引用・抜粋

9.2.1.3 本体長

本体長は、堤防断面をできるだけ切り込まないように決定しなければならない。

[解説]

函渠の長さは、計画堤防断面の川表、川裏ののり尻までとすることが標準である。適切な敷高の設定、通水断面の確保等、樋門の機能を確保するために堤防断面を切り込まざるを得ない場合においても、切り込みを必要最小限とするように努めなければならない。具体的には、函体頂版の天端から胸壁の天端までの高さを 1.5m 以下とすることが望ましく、胸壁が樋門の上の堤防の土留め壁として機能することを考慮すると、0.5m 程度とすべきである。

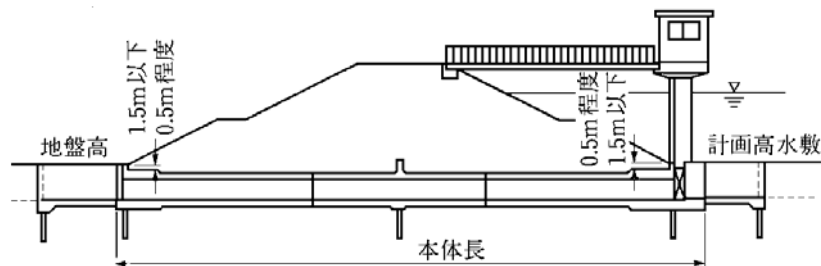


図 4.9.2 樋門の本体長

* 「柔構造樋門設計の手引き」より引用

9.2.1.4 継手

継手は、水密性と必要な可とう性を確保し、耐久性・施工性等に配慮した構造とする。

[解説]

継手は、樋門の構造形式および地盤の残留沈下分布に対応するスパン割を検討して適切な位置に設けるが、できるだけ堤体中央部付近を避ける必要がある。このために継手は 2 個以上とすることが望ましいが、スパン長や継手部の安全性に配慮してその設置位置を決定する。

* 「柔構造樋門設計の手引き」より引用

9.2.1.5 函体端部の構造

函体端部は、門柱・胸壁等から伝達される荷重に対して安全かつ安定した構造とする。

[解説]

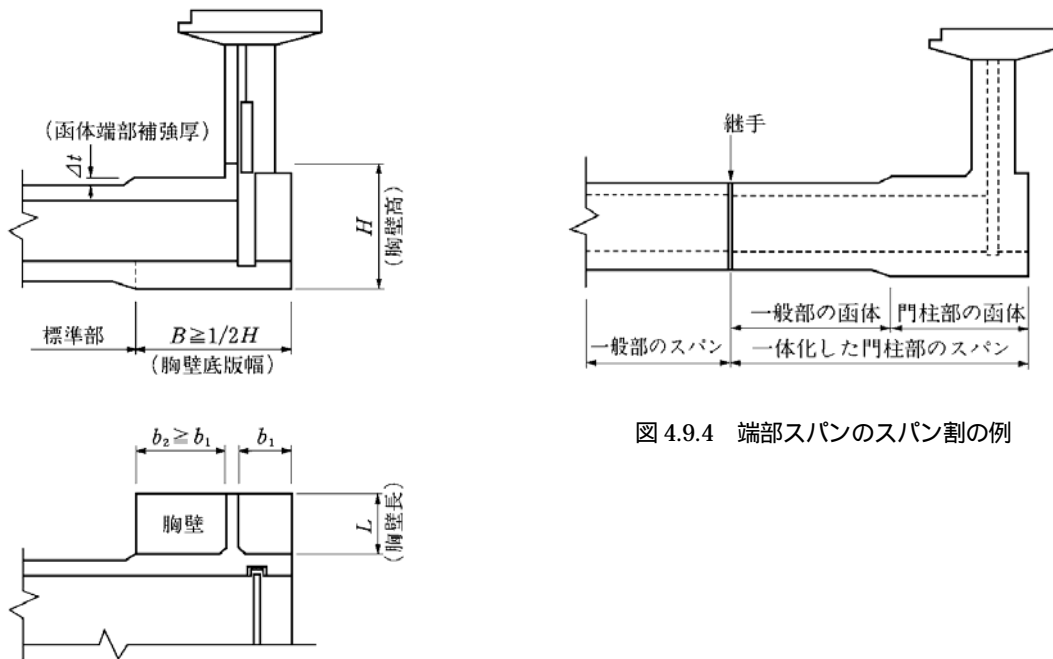


図 4.9.3 函体端部の構造（門柱部）

図 4.9.4 端部スパンの-span 割の例

函体端部には門柱からの荷重および胸壁に作用する土圧による荷重等が作用するため、これらの荷重に対して安全な構造としなければならない。

コンクリート構造の函体では、これらの荷重に対して補強が必要な場合、函体端部の部材厚を増すことで対応するのが望ましい。

なお、函体端部の底版厚さは、下部戸当りの箱抜きや PC 函体においては、緊張材の定着のための必要厚さを考慮して決定するものとし、胸壁の底版厚さと同一とすることを原則とする。

函体端部の予期せぬ不同沈下を防止して安定を図るためには、函体端部（門柱部）を短いスパンとせず、一般部の函体と一体化する等で比較的長いスパン長を確保することが有効である、

端部スパン長が比較的短く、可とう性の継手を利用する場合には、端部の安定が確保されても変位・変形が問題になることがあるので十分な検討が必要である。

* 「柔構造樋門設計の手引き」より引用

9.2.1.6 胸壁

胸壁は、本体と一体構造とし、設計上も一体として取り扱う。

[解説]

胸壁は本体と一体構造とし、その基礎形式も同一としなければならない。胸壁の横方向の長さは 1.0m 程度とし、函体上面からの高さは 8.2.1.3 項を考慮して決定する。

胸壁の断面形状は逆 T 形を標準とし、底版幅は胸壁高の 1/2 以上で、後趾の長さは前趾の長さ以上とするものとし、函体側壁に配置される斜め補強筋の配筋を考慮した長さとするのが望ましい。

* 「解説・工作物設置許可基準」より引用

9.2.1.7 門柱

門柱は、ゲートの開閉が容易で、流水の抵抗を極力少なくできる構造とする。

[解説]

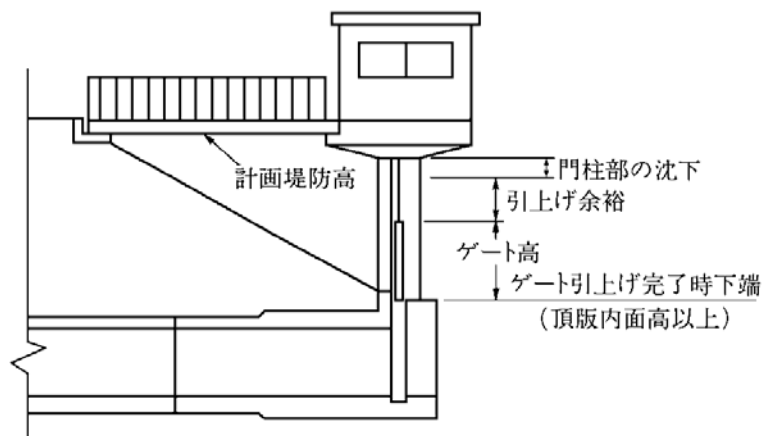


図 4.9.5 ゲートの引上げ余裕高

門柱の天端高の決定には、ゲートの管理に必要な高さ、管理橋の桁下と計画高水位との余裕および樋門の沈下を許容する場合は門柱の沈下量を考慮して検討しなければならない。また、操作機器類および管理橋は、門柱の傾斜に対応できる構造とする。

ゲートの管理に必要な高さとしては、引上げ余裕高（50cm 程度）と吊り下げ金具等の付属品の高さを考慮する。

戸当りについては、次の点を考慮して決定する。

底部戸当り面は、原則として函体底版と同一平面とする。

門柱部の戸当りは、ゲートが取り外せる構造とする。

* 「柔構造樋門設計の手引き」より引用

9.2.1.8 シャ水壁

樋門の本体には、原則として1個以上のシャ水壁を設ける。

[解説]

シャ水壁の諸元は、次の事項を考慮しつつ決定する。

シャ水壁の高さ及び幅は、原則として1.0m以上とする。

土かぶりが小さい樋門で、シャ水壁の高さを1.0mとすることが不適當な場合は適當な範囲まで縮小することができる。

堤防断面が大きい場合やシャ水矢板が長くなる場合には、シャ水壁を2個以上設けてシャ水効果を確実にするとともに、シャ水工による本体への力学的影響を分散させるのがよい。

掘込河道等に設ける樋門で、堤内地盤高が高く浸透流に対する安全が確保される場合にはシャ水壁

を設けなくてもよい。

しゃ水壁の高さは、しゃ水工の接続等を考慮して決定する。例えばコンクリート構造の本体にしゃ水鋼矢板を接続する場合は、使用する鋼矢板の高さ、鉄筋径、鉄筋のかぶりを考慮して定める。

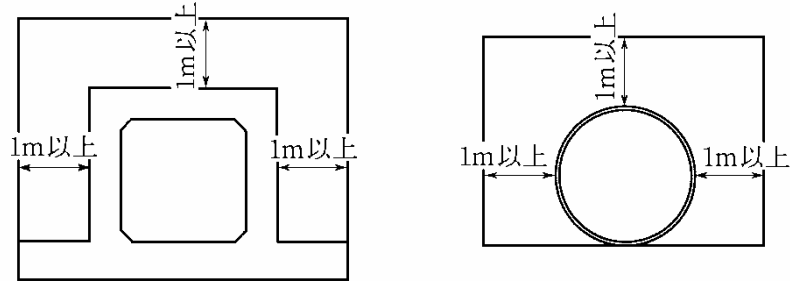


図 4.9.6 しゃ水壁の設置例

* 「柔構造樋門設計の手引き」より引用

9.2.1.9 ゲート、戸当り、開閉装置

ゲート、戸当り、開閉装置は、洪水時等において確実なゲート操作が可能な構造とする。

[解説]

樋門のゲートは原則としてローラーゲートとする。ただし、扉体面積 2m^2 程度以下の小断面の場合にはスライドゲートを適用することができる。

門柱の傾斜が予想される場合は開閉装置への影響について検討し、門柱の傾斜によりネジ部の偏磨耗、軸受の損傷、摩擦抵抗の増大などの障害が生じないように配慮しなければならない。

開閉装置は、緊急時に自重による降下可能なラック式開閉装置を用いることが望ましい。また、特に小規模な場合を除いて操縦性のよい電動とすることが望ましい。都市河川等で洪水の到達時間が速く、ゲートの操作のタイミングが重要な河川や、ゲート操作時の安全が十分確保できない場合等では、ゲートの遠隔操作・自動操作を検討すべきである。

* 「柔構造樋門設計の手引き」より引用

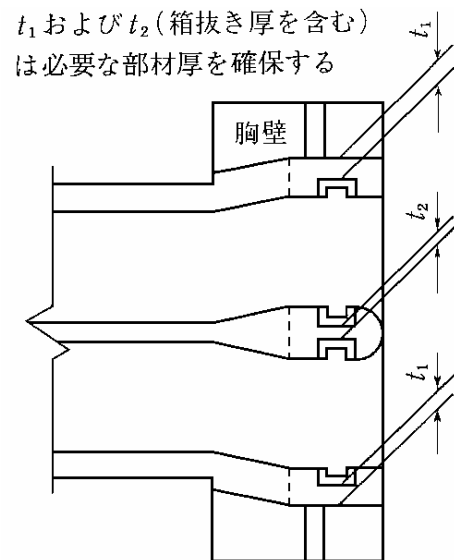


図 4.9.7 戸当り部の部材厚

9.2.1.10 管理橋

管理橋の幅員は 1.0m とする。

桁下高は、計画高水位に余裕高を加えた高さ以上とし、地盤沈下等の影響を考慮して決定する。
 支承には、地震および暴風による浮き上がりに対応できる落橋防止装置を設ける。

* 「柔構造樋門設計の手引き」より引用

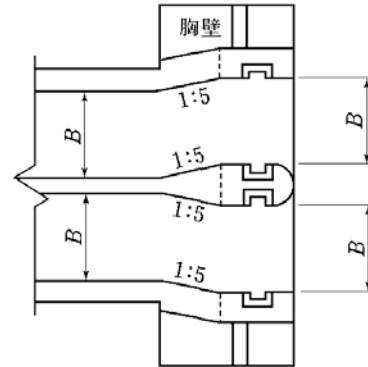
9.2.1.11 二連以上の函体端部の断面

二連以上の函体端部の断面は、原則として標準部と同一の通水断面を確保する。

[解説]

二連以上の函体の場合、隔壁の端部はゲート戸当りの存在のため標準部の隔壁より厚くなるが、下図のような平面形にするなどして函体端部の通水断面が標準部の通水断面より縮小することのないようにする。

* 「柔構造樋門設計の手引き」より引用・抜粋



図

図 4.9.8 函体端部の通水断面の確保

9.2.2 翼壁

翼壁は、原則として本体と分離した自立構造とし、堤防を十分保護できる範囲まで設ける。

[解説]

翼壁は、原則として樋門本体と分離させるが、樋門本体との接続部は可とう性継手あるいは可とう性のある止水板および伸縮材等を使用して、変位差が生じても水密性を確保できる構造とする。

翼壁の構造は、U形タイプを標準とするが、翼壁幅が広く、U形タイプとすることが適当でない場合は逆T形タイプを適用してもよい。翼壁は、堤防または堤脚の保護を目的とするので、原則として堤防断面以上の範囲まで設けるものとする。平面形状は1:5程度で漸拡させることを標準とするが、本川および支川の河状を考慮して決定する。翼壁の端部は、水路の洗掘等を考慮し、堤防に平行な取付水路の護岸の範囲、または翼壁端部の壁高に1.0mを加えた値のいずれか大きいほうの長さとする。

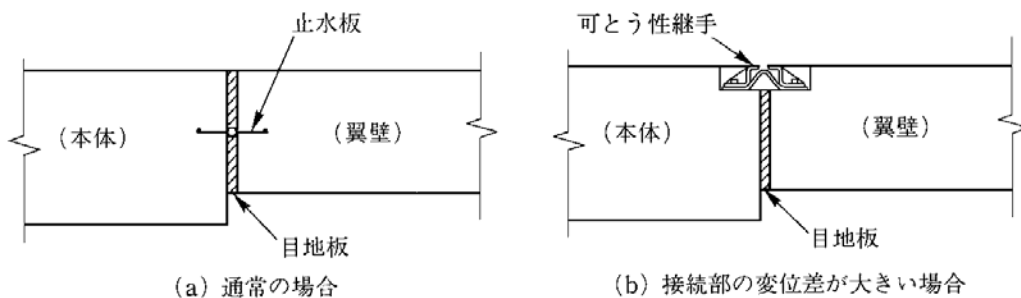


図 4.9.9 樋門本体と翼壁の接続部の例

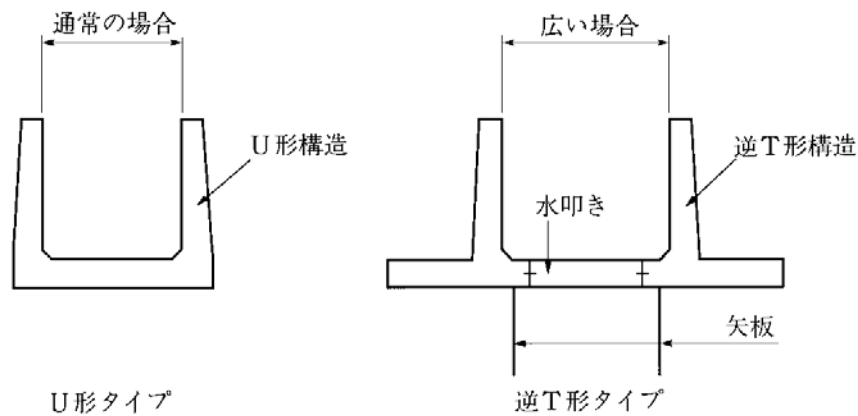


図 4.9.10 翼壁の構造

* 「柔構造樋門設計の手引き」より引用・抜粋

9.2.3 シャ水工

本体には、本体に沿う函軸方向の浸透流の影響を抑制するために適切な位置にシャ水工を設置する。

[解説]

シャ水工は、函体と一体として設置されるシャ水壁・胸壁とそれらの下部・側部に接続して設けるシャ水矢板等によって、樋門本体と堤防との接触面に沿って生じる本体の函軸方向の浸透流の影響を抑制するために設けるものである。

1) シャ水工の配置

シャ水工は、土質条件、堤防断面形状、考慮する水頭差、浸透経路長などを総合的に検討しつつ、一般的には以下のように配置する。

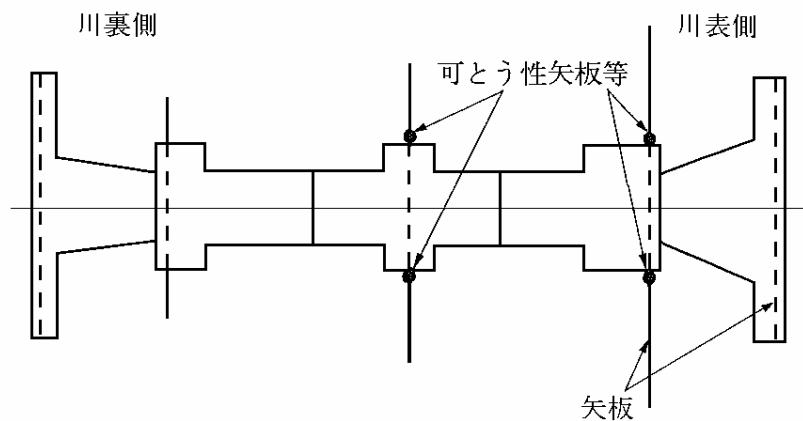


図 4.9.11 シャ水工の配置

翼壁の下部への配置は、翼壁の構造形式に応じて一般には次のように配置する。

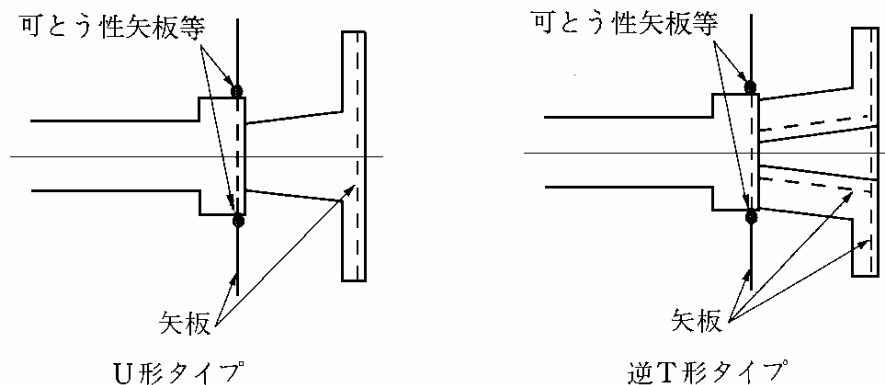


図 4.9.11 翼壁構造としゃ水矢板等の配置

2) しゃ水工の構造と長さ

鋼矢板をしゃ水工として用いる場合は、鋼矢板の形式は、施工性等を考慮して選定し、長さは 2m 程度以上で設置間隔の 1/2 以下とする。

基礎地盤が良好な場合の直接基礎で鋼矢板の施工が困難な場合は、深さ 1m 程度のコンクリートのカットオフとしてよい。

3) 堤体内浸透流に対する配慮

堤防開削後の堤防の埋め戻し土の土質等によっては、開削埋め戻しの境界面に沿って浸透流が卓越することがある。この対応策としては、しゃ水工を水平方向に開削のり面まで延長することが有効と考えられる。洪水時の浸透流から堤防の安全を確保するためには、堤体内への浸透水の浸入を抑制し、堤体内に侵入した浸透水は速やかに排水するのが基本である。樋門周辺においても同様な配慮が必要であり、川裏側のしゃ水工によって、堤体内に浸透水を滞留させないようにしなければならない。このため、洪水時の堤体内浸透流に対してしゃ水工を水平方向に延長する場合は、川表側の胸壁位置から堤体中央付近までのしゃ水工を対象とするのがよい。

堤体側支川または水路の河床と本川の河床との落差が大きい場合には、常に内水が堤外に浸透し、ルーフィングの原因となることがあるので、その対応に配慮が必要である。

4) しゃ水鋼矢板に作用する負の周辺摩擦力に対する配慮

函体の周辺地盤の沈下によって、しゃ水鋼矢板には負の周辺摩擦力が作用する。しゃ水鋼矢板は表面積が大きいので、この影響は大きな集中荷重となって樋門本体に作用し、クラックを発生させるなどの悪影響を与えたり、しゃすい鋼矢板が樋門本体等から脱落してしゃ水機能が損なわれることがある。この対応策として次の事項に配慮するとともに、必要に応じて本体の縦方向の設計には、しゃ水鋼矢板から樋門本体に伝達する負の周面摩擦力の影響を考慮すべきである。

しゃ水鋼矢板の樋門本体等との接続部は、負の周面摩擦力によって樋門本体等から脱落させないために下図のようにしゃ水鋼矢板にヒゲ鉄筋を設けて樋門本体等と結合する等の脱落防止措置を行う。

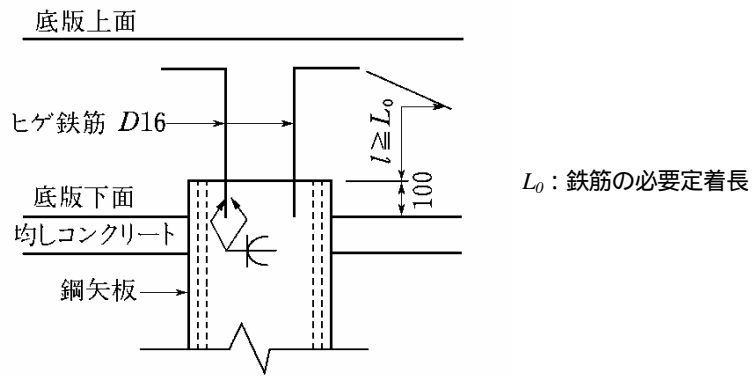


図 4.9.12 鋼矢板にヒゲ鉄筋を用いた例

しゃ水鋼矢板を水平方向に延長する場合は、樋門本体との取付部に可とう性矢板を設置して、その外側に延長したしゃ水鋼矢板から伝達する負の周辺摩擦力の影響をしゃ断する方法がある。

基礎の周辺地盤が過大な沈下を生じると、上記の方法によっても可とう性矢板のゴムが破断することがあるので、残留沈下のすり付け対策に十分配慮する必要がある。

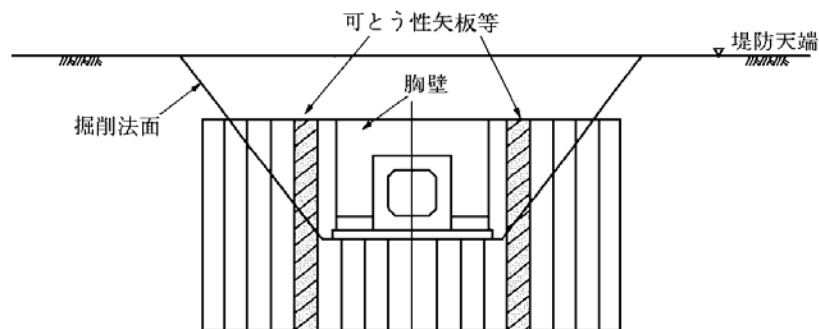


図 4.9.13 水平方向（堤防縦断方向）のしゃ水鋼矢板

5) しゃ水鋼矢板の支持抵抗に対する配慮

しゃ水鋼矢板の先端が中間砂層等の比較的良好な土層に根入れされると、しゃ水鋼矢板の先端支持力や正の周面摩擦力によって支持抵抗が大きくなる。直接基礎（浮き直接基礎を含む）形式の樋門において、しゃ水鋼矢板の支持抵抗が大きくなると函体がしゃ水鋼矢板を支点とする長い梁状態となり、函体に予期せぬ大きな断面力が発生するなどの悪影響を与える恐れがある。浸透流に対して長いしゃ水鋼矢板が必要となる場合は、特に注意が必要であり、設置位置を増加させてしゃ水鋼矢板の長さを短くする、あるいはしゃ水鋼矢板の接続部を可とう性構造とするなどの配慮が必要である。

本体の縦方向の設計には、必要に応じてしゃ水鋼矢板の支持抵抗の影響を考慮すべきである。

* 「柔構造樋門設計の手引き」より引用

9.2.4 取付水路

川表の取付水路は、本川洪水時に堤防に及ぼす影響を最小限かつ治水上問題のない範囲にとどめるような構造とする。また、高水敷の上下流の一体的利用を損なわないように配慮する。

[解説]

川表の取付水路は、減速として堤防法線に直角に設ける。また、取付水路によって高水敷が上下流に分断されることによりその一体的利用が損なわれないように、取付水路の横断や親水性などに配慮する必要がある。

* 「柔構造樋門設計の手引き」より引用

9.2.5 水叩き

本体の呑口部、吐口部に接続する取付水路には、必要に応じて水叩きを設ける。

[解説]

水叩きの長さは翼壁と同一とする。

水叩きの先端は、流水による洗掘およびしゃ水工との接続に配慮した構造とする。

* 「柔構造樋門設計の手引き」より引用

9.2.6 取付水路の護岸

取付水路の護岸は、流水の作用により侵食され、樋門としての機能を損ねることのない構造とする。河岸防護ラインより堤防側の部分については堤防防護機能の保持にも留意した構造としなければならない。

[解説]

河岸防護ラインより堤防側の取付道路には、原則として護岸・高水敷保護工・水路肩保護工・護床工を設け、洪水時に侵食作用を受けて高水敷のもつ堤防保護機能を低下させたり、堤防防護上悪影響のある乱流による影響を防ぐ必要がある。河岸防護ラインより低水路側の取付水路は、流水の作用により大きく侵食されて取付水路が閉塞する等の樋門としての機能を損なうことのないよう、高水敷の耐侵食性等に留意し、必要に応じてのり面保護工・護床工等の保護工を設けるものとする。

河川の川幅が狭く、河岸防護ラインを設置できない場合には、必要に応じてのり面保護工・護床工等の保護工を堤防から河岸までの範囲に設けるものとする。

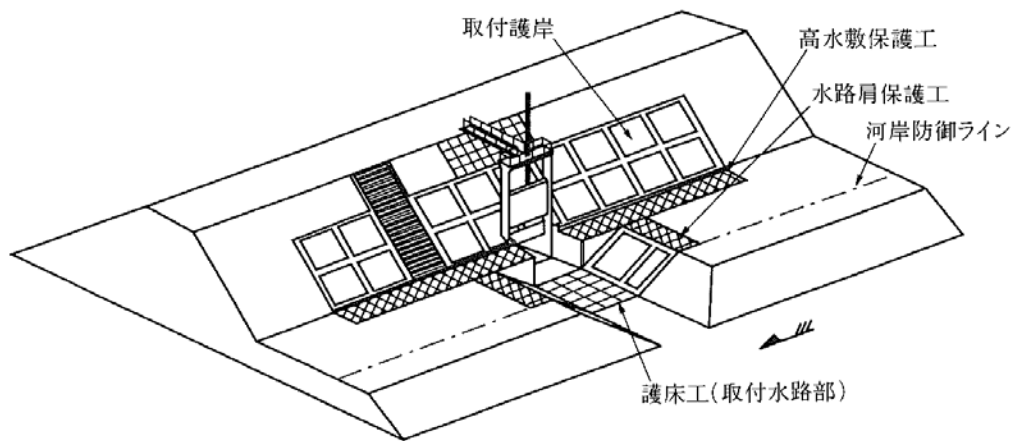


図 4.9.14 取付水路の護岸の例

* 「柔構造樋門設計の手引き」より引用・補足

9.2.7 取付護岸および護床工

取付護岸および護床工は、流水による洗掘等から堤防を防護できる構造とする。

[解説]

取付護岸は、樋門の端部より上下流それぞれ 10m、あるいは施工時の開削幅の大きいほうの範囲以上とし、既設護岸と近接する場合は、その区間を空けずに連続させるものとする。

管理橋下の堤防のり面は、原則として下図に示す程度の範囲に護岸を設けるものとする。

現況低水路法線が河岸防御ラインと一致している場合は、低水護岸および本川部護床工を設ける。川幅が狭く、河岸防御ラインを設置できない場合も同様とする。現況低水路法線が河岸防御ラインよりも低水敷側にある場合で、河道法線形状・高水敷の耐侵食強度・本川河床変動状況等から、取付水路と本川接合部で著しい侵食が生じ、河岸防御ラインを置かされる恐れがあるとみなされる場合には低水護岸及び本川護床工を設けるものとする。

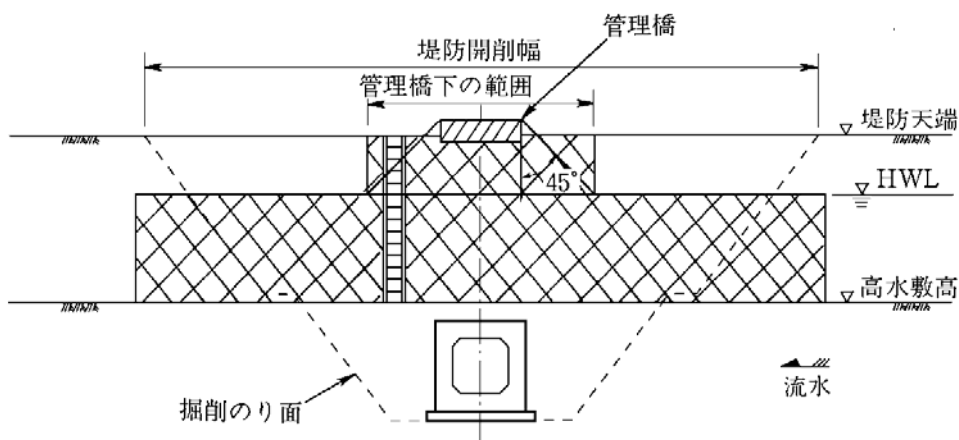


図 4.9.15 堤防開削の場合の取付護岸の例

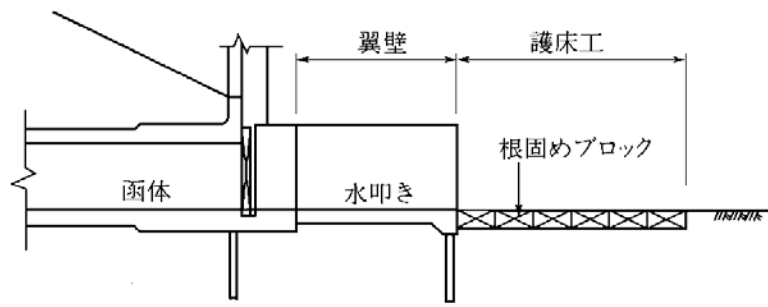


図 4.9.16 取付水路の護床工

* 「柔構造樋門設計の手引き」より引用・補足

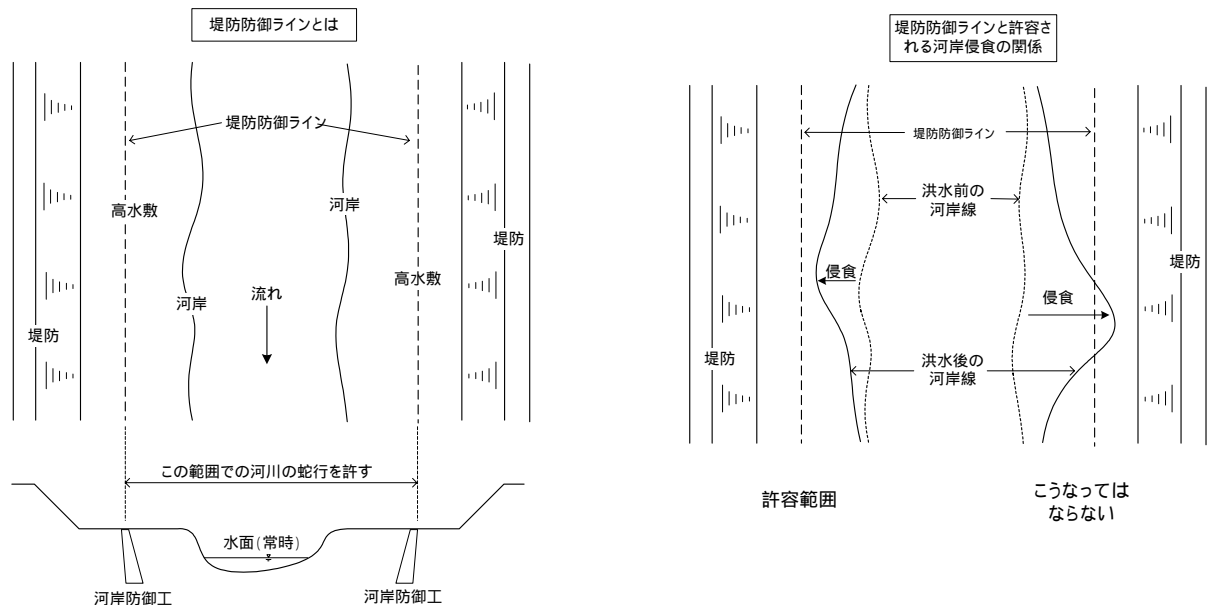
ここでは、複断面河道を想定して堤防防御ラインの説明を行います（そうするのがわかりやすいからです）。

洪水時、特に急流河川ほど高水敷河岸が侵食される可能性が高まります。例えば北陸の代表的な河川である黒部川は河床勾配が 1/50 を超える急流河川ですが、一回の洪水で高水敷が横断方向に 100m 以上も削り取られたことがあります。これは日本でも最大の河岸侵食の例ですが、扇状地河川といわれる河川は、河床への大量の土砂堆積、それに伴う河岸侵食の発生というプロセスによって流路を変える性質があります（笛吹川も明治 40 年にこの作用で石和付近の流路が変わっています）。

高水敷の水理的な役割の一つに、洪水時に河岸侵食の削りしろとなって堤防本体が侵食されるのを防ぐというのがありますが、一回の洪水で 100m も削れてしまうのですから、自然の作用に身を任しているわけにはいかなくなります。そこで、護岸や水制に代表される河岸防御工の登場となるわけですが、「新河道計画」と呼ばれる最新の河道計画手法が実施に移されるなかでその設計思想に大きな進歩が見られました。この背景としては、河岸に対する以下のような知見の集積があったことが挙げられます。

河岸は水棲生物にとって採餌場所、産卵場所、休憩・非難場所となっていることが多く、環境保全の面で極めて重要なエリアであること

河川の特長にもよるが、人工的に直線的な河道を作るよりも、河川の侵食・堆積作用にある程度任せて河川自身に自然な蛇行を作らせたほうが長期的に安定な河道が構築でき、かつ自然な瀬と淵、多様な流れ場を形成できること



そうはいつでも河岸侵食の度が過ぎて堤脚が削られ堤防が決壊しては困るので、「新河道計画」では堤防を守るのに最低限必要な高水敷幅を定めました。これが堤防防御ラインです。水際から堤防防御ラインま

では基本的に人の手を入れず、河岸防御ラインで浸食作用等から堤防をがっちり守るのです。

堤防防御ラインを決めるには、対象河川の特性等をよく知っておかなければなりません。先にも述べたように、扇状地河川では一洪水で 100m も高水敷が侵食されることがあるのですが、河床勾配が数千分の 1 で高水敷が土でできている場合などは侵食幅はせいぜい数 m です。一方、堤防が低く、洪水時の流速も小さな河川では、仮に河岸が侵食されても堤防はびくともしない場合もあるでしょう。このように、河岸防御ラインを決めるのは結構難しい作業ですが、洪水時に対象河道では何が起こりうるのか、そのためにどのような備えをしておくべきなのか考えるいい機会となることでしょう。

以上は複断面河道を前提に説明を行ってきましたが、単断面河道でもこの思想を反映させることができるのはいうまでもありません。堤防に護岸を設置するのに加えて根固工や水制を置くのも、この考え方と通じるところがありますね。

第10節 水門

10.1 水門設計の基本

10.1.1 水門設計の基本

水門は、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安全な構造となるよう設計するものとする。また、水門は、計画高水位以下の洪水の流下を妨げることなく、付近の河岸および河川管理施設の構造に著しい支障を及ぼさず、ならびに水門に接続する河床、高水敷等の洗掘の防止について適切に配慮された構造となるよう設計するものとする。

[解説]

水門は、河口部で高潮の影響を軽減すること、支川の合流点で本川の背水の影響を軽減すること等のため、堤防を分断し、その部分が一連の堤防の機能を確保できるようにするためゲートを設置した工作物で、それが横過する河川の計画高水流量、または、流下能力等を考慮して定める流水の流下に必要な形状および断面積とする。

水門の設置については、堤体内に異質の工作物が含まれ、漏水の原因となりやすく堤防の弱点となるので、河川管理上必然性のあるものに限られるべきである。治水・利水が河川の機能である以上、水門の設置を排除できないが、設置にあたっては、水門の付近が堤防の弱点とならないよう、その構造および施行について十分な配慮がなされなければならない。また、舟運等に利用する水門については、前述のほか、その目的に必要な形状および断面積をとる必要がある。

なお、本節においては、現在多く用いられている引上式ゲートの水門を主に示しているが、他の形式のゲートを使用する場合には、本節に示した内容の主旨を十分考慮し、所要の機能と安全性が確保できるよう水門を設計する。

* 「河川砂防技術基準（案）設計編（ ）」より引用

10.1.2 水門の断面

支川において、本川の背水の影響を軽減する目的で設置する水門については、その断面は次によるものとする。

1.水門設置地点において、水門を建設しない場合の該当河川の計画高水位以下の計画河道断面積が、水門断面積と比較して1：1.3以内の場合には、両端部のピアの内側は、当該河川の計画高水位と堤防の交点の位置とするものとする。

2.前号の場合において、1：1.3以上となる場合においては、1：1.3となるまで水門幅を縮小することができるものとする。

また、当該河川の計画高水位が本川の計画高水位、または計画高潮位と比較して相当低い場合で通船に影響のない場合においては、カーテンウォールを設けることができるものとする。

[解説]

流下能力という点からいえば、水門の有効断面積は河道の計画断面積と等しければよいわけであるが、これを等しくして水門幅を決定すると、水門の部分で極端に川幅が狭くなるケースが生じ、この

箇所で縮流によるエネルギーの損失のための洪水の円滑な疎通に支障をきたす恐れがある。

カーテンウォールの規定は、ゲートの天端高を 10.2.1.6.2 に示す高さとする、ゲート制作費、開閉機等の費用が相当大きくなる場合があるので設けたものである。なお、カーテンウォールの下端高は、本章 10.2.1.6.3 によるものとする。カーテンウォールは、高水時、または高潮時にゲートと一体となって堤防の効用を果たすものであり、カーテンウォールとゲートの間の水密性には注意する必要がある。

* 「河川砂防技術基準（案）設計編（ ）」より引用

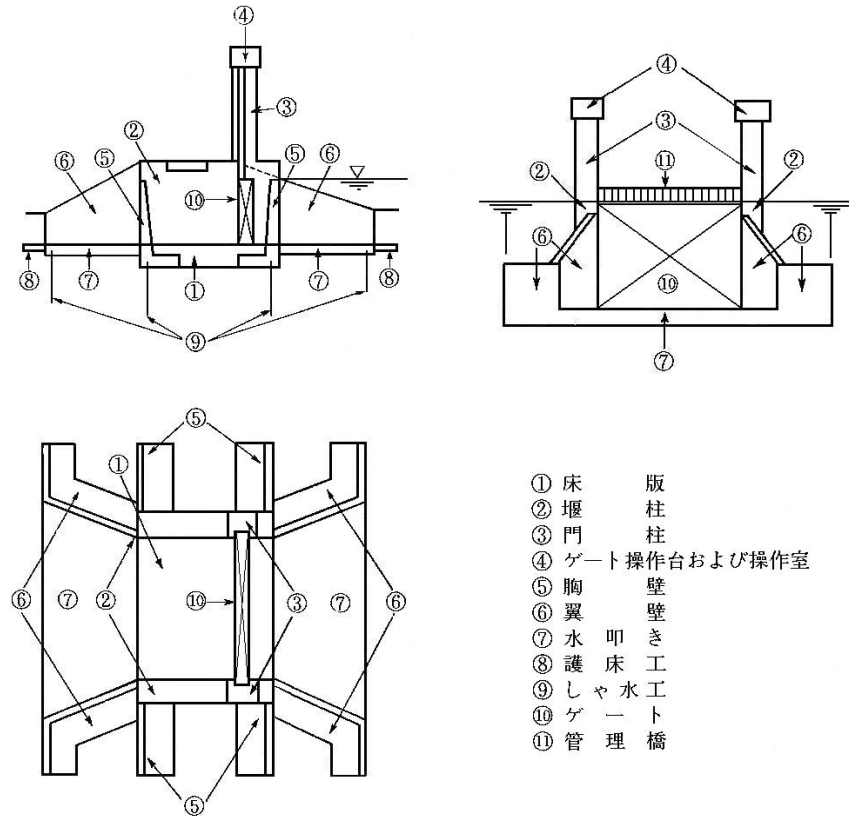


図 4.10.1 水門の各部の名称

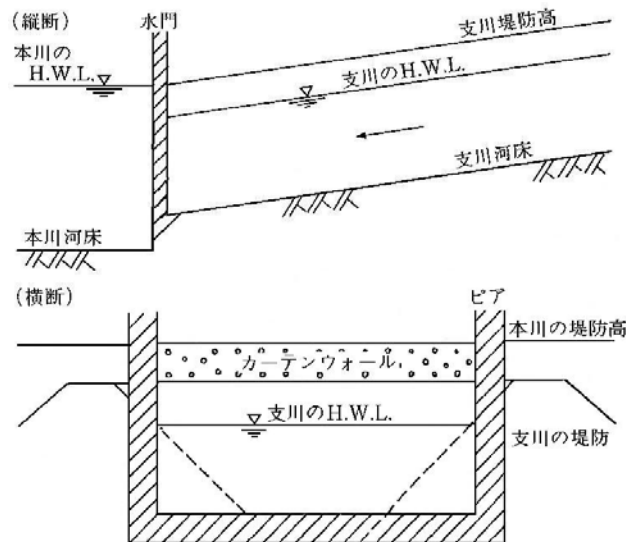


図 4.10.2 水門の断面説明図

10.1.3 水門の設置

共通事項

水門等の設置の方向は、堤防法線に対して直角を基本とするものとする。

排水のための水門等を設置するときは、必要に応じ、取付河川との連続性を確保するよう配慮するものとする。

取付護岸及び高水敷保護工は、河川環境の保全に配慮した構造とするものとする。

対策が必要な箇所における設置基準

既設の水門等に近接した箇所に設置するときは、取付護岸の一体化等必要な対策を講ずるものとする。

基礎地盤が軟弱な箇所及び堤防又は基礎地盤に漏水履歴のある箇所に設置するときは、十分な対策を講ずるものとする。

[解説]

水門の設置については工作物設置許可基準による制限条件がある。より詳しい情報が必要な場合は、「解説・工作物設置許可基準」を参照のこと。

10.1.4 耐震設計

水門には耐震設計を施すものとする。

付加すべき耐震性能のランクは以下のとおりである。

レベル1地震動に対しては、全ての水門について耐震性能1を確保するものとする。

レベル2地震動に対しては、治水上又は利水上重要な水門については耐震性能2を、また、それ以外の水門については耐震性能3を確保するものとする。

なお、水門の耐震性能は以下のとおりとする。

耐震性能1	地震によって水門としての健全性を損なわない性能
耐震性能2	地震後においても、水門としての機能を保持する性能
耐震性能3	地震による損傷が限定的なものにとどまり、水門としての機能の回復が速やかに行い得る性能

[解説]

レベル1地震動は、河川構造物の供用期間中に発生する確率が高い地震動であり、震度法による従来の耐震設計で考慮されていた地震動のレベルを踏襲するように定めたものである。レベル1地震動に対しては、従来の耐震設計と同様に、地震後においても機能拡幅のための修復をすることなく、地震前と同じ機能を保持することができるように、地震によって水門としての健全性を損なわない性能を確保することとした。

レベル2地震動に対しては、治水上又は利水上重要な水門については、地震後においてもゲートの開閉性等の確保が求められることから、地震によりある程度の損傷が生じた場合においても、水門としての機能を保持できることを必要な耐震性能として規定した。一方、前記以外の水門については、

地震後に水門としての機能が応急復旧等により速やかに回復できることを必要な耐震性能として規定した。

対象とする水門が治水上の重要であるか否かについては、以下のような視点により判断するものとする。すなわち、仮に地震動により水門そのものあるいは水門と堤防の境界での水密性が失われた場合、平常時における最高水位時に堤内側に浸水が発生する恐れがあるものを治水上重要とみなす。ただし、水密性が失われた箇所が限定的なものに留まり、洪水時の水防活動等によって堤内側への浸水が防止できる場合はこの限りではない。

* 「河川構造物の耐震性能照査指針（案）・同解説」より引用・補筆

10.1.5 その他の留意事項

水門等は、統廃合に努めるものとする。

水門等は、他の利水及び河川利用の状況に配慮し設置するものとする。

* 「解説・工作物設置許可基準」より引用・補筆

10.2 構造細目

10.2.1 本体

10.2.1.1 本体の構造

水門の本体およびゲートは、十分な強度と耐久性を有する構造とするものとする。

[解説]

水門の本体のうち床版、堰柱、門柱、胸壁、ゲート操作台の各部は、鉄筋コンクリート構造とすることが多いが、ほかにプレストレスコンクリート、鋼、ダクタイル鋳鉄等の構造とする場合もある。また、ゲートは、鋼構造とすることが多いが、アルミ等の構造とする場合もある。

水門の本体の形式は、一般に次に示すものが用いられている。

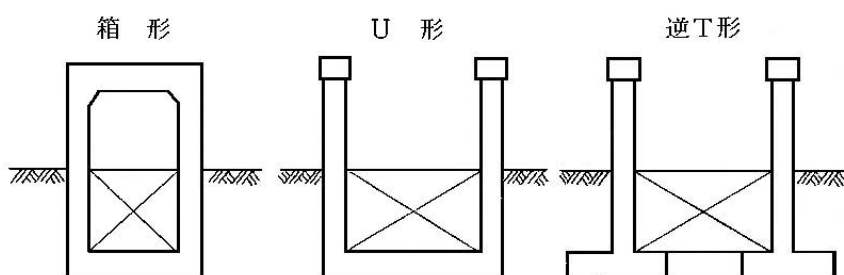


図 4.10.3 水門の本体の形式

水門の本体の形式は、小規模なものは箱型、大規模なものは逆T型となり、中間のものはU形としている場合が多いが、構造形式の選定にあたっては、基礎地盤の良否、施工性（仮締切りとの関連）、事業費等も考慮する必要がある。

* 「河川砂防技術基準（案）設計編（ ）」より引用

10.2.1.2 床版

水門の床版は、上部荷重を支持し、ゲートの水密性を確保し、堰柱間の水叩きの効果を果たすことのできる構造とするものとする。

[解説]

本体の形式が逆T形のように床版が分離している場合（図 4.10.4 参照）には、堰柱からの荷重を支持する堰柱床版と、ゲート荷重をおもな荷重とする中間床版とがある。中間床版の基礎は、ゲート荷重に対して不同沈下が生じないような構造とし、中間床版は、ゲートとの水密性が確保できるように必要がある。また中間床版は堰柱間の水平力に対するストラット（支材）を兼ねさせることがある。半川締切り等で堰柱を仮締切りに兼用させる場合は、堰柱および堰柱床版は単独で安定させるものとする。

底部戸当り面は、床版と同一平面とすることが望ましい。

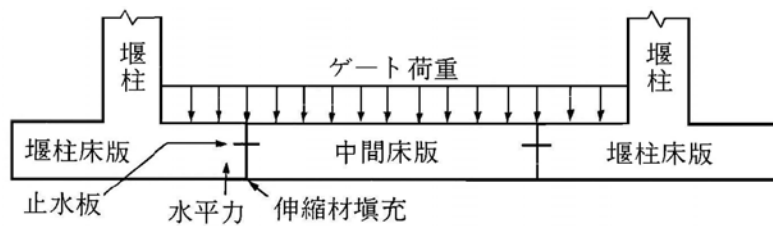


図 4.10.4 本体の形式が逆T形の場合の床版

* 「河川砂防技術基準（案）設計編（ ）」より引用

10.2.1.3 堰柱

水門の堰柱は、上部荷重および水圧を安全に床版に伝える構造として設計するものとする。

[解説]

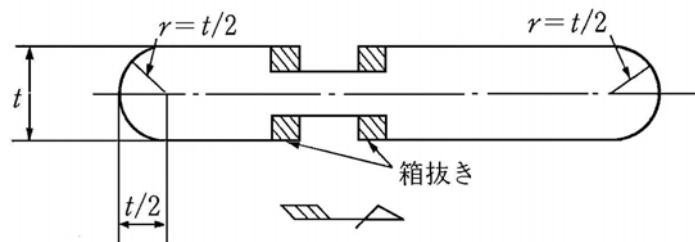


図 4.10.5 堰柱形状

引上式ゲートの場合の中央堰柱の断面形状は、流水に対する抵抗を小さくし、流水に対する安全性を確保するため、上下流端を半円形等とする例が多い。なお、堰柱の幅および長さは、管理橋の幅員、ゲート戸当り寸法、開閉装置の寸法、力学的安定計算等から決定される。

戸当りの箱抜きは、戸当り材を余裕をもって取り付けられるように考慮するものとする。

なお、水門の堰柱の天端高については、ゲートの閉鎖時の天端高、管理橋等の条件を考慮して決定するものとする。一般には、計画堤防高とすることが多いが、河川の状況によっては余盛りを加えた高さとすることもできる。

安定計算は、高水時、地震時における支持力、転倒、滑動等について計算し、算定された堰柱長が堤防天端幅に門柱幅、角落し用戸溝幅を加算した幅に満たない場合には、その幅以上とする。

なお、堰柱と床版は、同じ長さとするが、中間堰柱にあっては、必要に応じ堰柱長を床版長より短くする場合もある。

* 「河川砂防技術基準（案）設計編（ ）」より引用

10.2.1.4 門柱

水門の門柱の天端高は、ゲート全開時のゲート下端高に、ゲートの高さおよびゲートの管理に必要な高さを加えた値とするものとする。

[解説]

門柱の断面は、戸当り、ゲートの操作用階段等の設置を考慮して、十分検討のうえ、決定する必要がある。ゲートの管理に必要な高さとしては、引上余裕高のほか滑車等の付属品の高さを含んだものであり、ゲート操作台下面までの高さとし、ゲートの規模、開閉装置の構造、開閉速度等を考慮して決定するが、原則として、引上余裕高は1m以上とする。

門柱戸当りは、ゲートの修理点検が容易にできるように取りはずし可能なものとする。

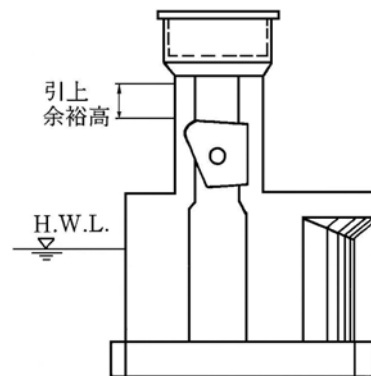


図 4.10.6 門柱

* 「河川砂防技術基準（案）設計編（ ）」より引用

10.2.1.5 ゲートの操作台および操作室

水門の門柱上部には、原則としてゲート操作用開閉器、操作盤等の機器を設置するための操作台を設けるものとする。

ゲート操作台には、原則として操作室を設けるものとする。

[解説]

操作台に操作室を設けるかどうかは、開閉機、操作装置等の維持管理の面から検討されるが、堰のゲート操作は、あらゆる天候のもとでも確実に操作ができる状態を常に維持させておく必要から、操作室を設けることを原則としている。

操作室は、上記機器を格納するための十分なスペースがなければならぬと同時に、補修時に機器の搬入ができるような措置（例えば、チェーンブロック用梁、機器の大きさに相応した扉の設置等）をとる必要がある。

* 「河川砂防技術基準（案）設計編（ ）」より引用

10.2.1.6 ゲート

10.2.1.6.1 ゲート

水門のゲートは、高水時に確実に開閉ができ、十分な水密性を有し、高水時の流下に著しい支障を与える恐れのない構造となるよう設計するものとする。

*「河川砂防技術基準（案）設計編（ ）」より引用

10.2.1.6.2 ゲートの天端高

水門のゲートの閉鎖時における天端高（カーテンウォールを有する場合はその上端高）は、水門に接続する堤防高（計画横断形が定められている場合において計画堤防高が現状の堤防高より低く、かつ、治水上の支障がないと認められるとき、または、計画堤防高が現状の堤防高より高いときには、計画堤防高）以上とすることを原則とするものとする。

[解説]

高潮区間などのように、水門の背後地の状況その他特別の理由により、治水上支障がないと認められる場合には、水門の構造、波高等を考慮して、ゲートの天端高を計画高潮位以上の適切な高さとしてすることができる。

*「河川砂防技術基準（案）設計編（ ）」より引用

10.2.1.6.3 引上げ完了時のゲート下端高

水門ゲートの引上げ完了時のゲート下端高（カーテンウォールを有する場合は引上げ完了時のゲートの下端高およびカーテンウォールの下端高）は、水門が横断する河川の計画高水位に構造令第 20 条に定める高さを加えた高さ以上で、当該地点における河川の両側の堤防（計画横断形が定められている場合において、計画堤防高が現状の堤防高より高いときは計画堤防）のいずれか高いほうの高さを下回らないものとする。

[解説]

水門ゲートの引上げ完了時のゲート下端高およびカーテンウォールの下端高に関する最低限確保されなければならない基準を示したものである。決定にあたっては、次の事項について考慮する必要がある。

1. 本節 10.1.2 に示す水門の断面積
2. 通船がある場合は、船舶の航行に支障を及ぼさないような高さ、ただし、マスト等の高いプレジャーボート等が該当するときは、経済性、景観等の面から関係者との十分な調整や検討が必要である。
3. 地盤沈下が予想される地域では、必要に応じて、予測される将来の地盤沈下量。

*「河川砂防技術基準（案）設計編（ ）」より引用

10.2.1.6.4 操作方法

水門のゲートの開閉装置は、原則として電動機によるものとし、予備動力設備を備えるものとする。また、ゲートの操作は、機側操作、または遠方操作とするものとする。なお、遠方操作方式の場合

には、機側操作も可能にするものとし、操作は機側操作優先とする。

[解説]

開閉装置として電動機を原則としたのは、操作室が小さくてすむとともに、動力の変換が内燃機関に比して容易であり、電源として常用（商用）と自家発電の両方を使用でき、暴風雨時に常用電源が停止した場合にも、予備動力として自家発電を用いることができるからである。

ただし、起伏式ゲートや小規模な引上式ゲートの場合には、内燃機関、または手動油圧シリンダーとすることができる。

なお、起伏式ゲートには予備動力は設けないのが一般的である。

また、必要に応じて手動装置を備えるものとする。機側操作は、遠隔操作が異常な場合に用いるものであり、確実に操作ができるものとし、機側操作中は、安全管理上遠隔操作方式では作動しないような構造とする。引上式ゲートの開閉速度は、使用目的によって異なるが、原則として 0.3m/min を標準とする。

* 「河川砂防技術基準（案）設計編（ ）」より引用

10.2.2 胸壁および翼壁

10.2.2.1 胸壁

胸壁は、本体と堤防内の土粒子の移動および吸出しを防止するとともに、翼壁の破損等による堤防の崩壊を、一時的に防止する構造となるよう設計するものとする。

[解説]

胸壁は、浸透経路長を長くし、本体と堤防間の土粒子の移動および吸出しを防止するとともに、翼壁の破損等による堤防の崩壊を一時的に防止するためのものである。

胸壁は、本体と一体とした構造とし、かつ、土圧等に対して自立できるよう設計するものとする。

胸壁の天端は、計画堤防断面内を標準とするが河川の状況によっては施工断面内とすることができる。

胸壁長さは、土砂の吸出し、一時的な崩壊防止等を考慮のうえ、胸壁の高さの半分以上の長さで、必要な長さを確保するものとする。

* 「河川砂防技術基準（案）設計編（ ）」より引用

10.2.2.2 翼壁

翼壁は、原則として本体と分離した構造として設計するものとする。

[解説]

1. 翼壁は、本体と分離した構造とするが、その継手は、可とう性のある止水板および伸縮材を用いて、構造上変位が生じても水密性が確保できるようにするものとする。

2. 翼壁の平面形は、図 4.10.1 のようにすることを標準とするが、本川および支川の河状を考慮して決定するものとする。

3. 翼壁の天端高は、計画堤防断面または施工断面にあわせる。天端幅は、35cm 以上とし、本体のバランス、構造、施工性を考慮して決定する。また、端部は、水路の洗掘等を考慮して堤防に平行に、取付水路の護岸の範囲または翼壁端部の壁高に 1m 程度を加えた値以上嵌入する。

* 「河川砂防技術基準（案）設計編（ ）」より引用

10.2.3 水叩き

本体の上下流には、水叩きを設けるものとする。

水叩きは、水門本体の安全を保つために必要な長さで構造を有するものとする。

[解説]

1. 水叩きは、一般に鉄筋コンクリート構造とすることが多いが、揚圧力が大きく明らかに不経済となる状況においては、軽減を図る構造（根固工等を利用）とすることができる。この場合においても、必要な浸透経路長を確保するものとする。
2. 水叩きの長さは、翼壁が堤防の一部であることを考慮して、内外水位差による浸透水、ゲート操作の影響による洗掘等により翼壁が破損しないよう、翼壁と同一の長さとするものとする。
3. 水叩きを鉄筋コンクリート構造としたときの床版との継手は、水密でかつ不同沈下にも対応できる構造として設計するものとする。

* 「河川砂防技術基準（案）設計編（ ）」より引用

10.2.4 しゃ水工

水門には、水門下部の土砂流動と洗掘による土砂の吸出しを防止するために、適切なしゃ水工を設けるものとする。

[解説]

しゃ水工に用いる矢板は、内外水位差による浸透水の動水勾配を減少させ、水門下部の土砂流動と洗掘による土砂の吸出しを防止するために図 1-68 のように設けるものとする。その深さ、水平方向の長さ、設置位置は浸透水および開削幅等を十分検討のうえ決定する。また、矢板に構造計算上の荷重は分担させない。

水門のしゃ水矢板は、一般に 型を用いるが、土質等により打込み困難な場合は、必要に応じ 型以上の鋼矢板を使用するものとする。

なお、しゃ水矢板は、本体と離脱しないように配慮し、水平方向に設けるしゃ水矢板は必要に応じ可とう性を有する構造として設計するものとする。

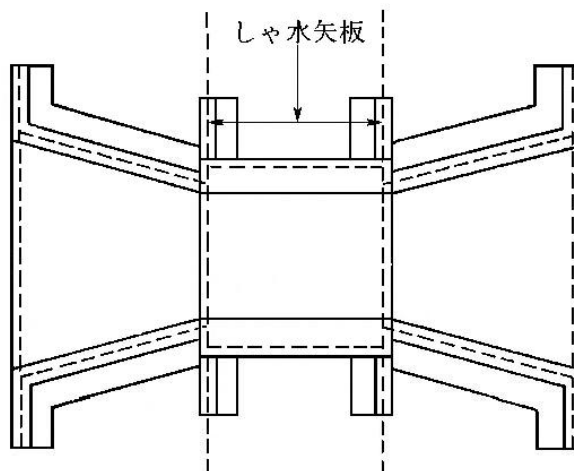


図 4.10.7 水門のしゃ水矢板の配置

* 「河川砂防技術基準（案）設計編（ ）」より引用

10.2.5 基礎

水門の基礎は、上部荷重を良質な地盤に安全に伝達する構造として設計するものとする。

[解説]

基礎には、直接基礎、杭基礎、ケーソン基礎がある。

直接基礎は、地盤が良好な岩、砂礫、または砂等の場所で、十分に耐力があり、圧密沈下などが生じない場合に採用する。

杭基礎には、既製杭と場所打杭がある。既成杭として R C、P C 杭等を採用する場合は、水平力による曲げ抵抗と継手の強度について検討するものとする。また、鋼杭を採用する場合は、先端閉塞効果も検討するものとする。なお、杭基礎の場合には、不同沈下を起こさないようにするため、良質な地盤まで打ち込むものとする。ただし、支持力の計算をするうえでは、摩擦力を考慮してよい。

ケーソン基礎は、オープンおよびニューマチック方式がある。

基礎の種類を選定にあたっては、必要工期、作業場面積の大小、環境面での制限、施工機械の保有量等を考慮するものとする。

許容水平変位は、1cm を標準とする。

良質な地盤とは、目安として、砂層、砂礫層においては N 値が大略 30 以上、粘性土層では N 値が大略 20 以上と考えてよい（「道路橋示方書」「同解説」）による。）

また、堰地点の地質条件等によっては、地震時に堰の基礎地盤が液状化する可能性があるため、必要に応じて液状化対策を行うものとする。

また、杭基礎、ケーソン基礎については、関東地震級および平成 7 年兵庫県南部地震級の地震を想定した設計水平震度に相当する慣性力に対しても、限定的な損傷にとどまることを照査する。

対象とする地震時の水平震度等については、「道路橋示方書」に準ずるものとする。

*「河川砂防技術基準(案)設計編()」より引用

10.2.6 護床工

護床工は、屈とう性を有する構造とし、河川環境を考慮して設計するものとする。

[解説]

水叩きを直接河床に接続させると、洗掘による深掘れなどを生ずる危険性が考えられるので、水叩きに接続して屈とう性のある護床工を設けるものとする。

護床工は流速を弱め流水を整える作用をもち、併せて本体及び水叩きを保護することを目的としている。一般的に使用されている種類としてはコンクリートブロック床、捨石床、粗朶沈床、木工沈床、改良沈床等がある。

工種の選定にあたっては、次の点を検討のうえ決定するものとする。

1. 剛性

水門本体から離れるに従い剛なものから柔なものに変化させる。

例 { コンクリートブロック床と粗朶沈床
 { コンクリートブロック床と捨石床

2. 粗度

小から大に変化させる

3. 安定性

コンクリート床版に接続する部分は流速が大きくなることが多いので、単体としての安定性および河床材の吸出し防止を考慮するものとする。

特に河口部に設けられる水門においては、波浪に対する安全性も考慮するものとする。

4. 施工性

5. 河床変動とのなじみ

6. 腐食

木工沈床、粗朶沈床等は、常時水中にある場合は耐久性が比較的よいが、その他の場合は、腐食が問題となるので注意を要する。

7. 吸出し

河口部で波浪の影響を受ける場合については、その特性をよく把握し、アスファルトマット等を併用することも検討するものとする。

*「河川砂防技術基準(案)設計編()」より引用

10.2.7 護岸

護岸は、流水等の作用から堤防を保護しうる構造とし、河川環境を考慮して設計するものとする。

[解説]

護岸については、河川管理施設等構造令および本章第4節を参照する。

*「河川砂防技術基準(案)設計編()」より引用

10.2.8 高水敷保護工

高水敷保護工は、流水等の作用による高水敷の洗掘を防止しうる構造とし、河川環境を考慮して設計するものとする。

*「河川砂防技術基準(案)設計編()」より引用

10.2.9 その他の構造物

10.2.9.1 管理橋

管理橋の幅員は、水門の維持管理上必要な幅、堤防の管理用通路幅等を考慮して決定するものとする。

[解説]

管理橋の幅員は、接続する道路の幅員、交通量、その重要性等と、水門管理および水防時の交通を考慮して決定するものとする。ただし、兼用道路の場合には、道路管理者と協議する。橋面高の決定においては、取付道路の構造等を検討し、路盤が計画堤防断面内に入らないような高さとするものとする。また、管理橋の桁下高については、引上げ完了時のゲート下端高以上とするものとする。

*「河川砂防技術基準(案)設計編()」より引用

10.2.9.2 付属設備

水門には、維持管理および操作のため、必要に応じて付属設備を設けるものとする。

[解説]

水門には、付属設備として水位観測施設、照明設備及び川表、川裏の堤防のり面に管理用階段を設ける。また、必要に応じて船舶運航用の信号、繫船環、防舷材、防護柵を設ける。

管理用階段は、川表、川裏が一直線になるように設ける。なお、大規模な水門には、水門の上下流に設けることを標準とする。

水位観測施設は、水門の前後に設け、ゲート操作のため、操作室に水位表示のできる構造とする。

*「河川砂防技術基準(案)設計編()」より引用

10.3 設計細目

設計細目については、「河川砂防技術基準（案）設計編（ ）」に従うものとする。

まめ知識	防潮水門と河口堰との違い
	<p>海のない山梨県には防潮水門も河口堰もないので直接関係はないかも知れませんが、構造令上の両者の違いを知ることは、水門と堰の機能の違いを確認し、構造令の適用の違いを明確にする上で重要です。</p> <p>防潮水門も河口堰も、河道を横断して設けられ、基本的に堰柱とゲートから構成される構造物であるため外見上に大差はありません。共に洪水時には両者ともゲートが全開され、機能上の違いはありませんが、防潮水門のほうは高潮時にはゲートが閉められ堤防としての機能を果たすことから構造令上は「水門」と位置付けられます。ただし、水門や樋門は構造令ができる前から全国のあちこちに存在しているものですから、固有名詞としては～水門であるけれども構造令上は堰に分類されるものが結構あるので注意が必要です。</p>

第 1 1 節 伏せ越し

11.1 伏せ越しの設計の基本

伏せ越しは、計画高水位以下の水位の流水の作用に対して安全であり、かつ計画高水位以下の洪水の流下を妨げず、ならびに付近の河岸および河川管理施設に著しい支障を及ぼさない構造として設計するものとする。

[解説]

伏せ越しとは、用排水路等が河川と交差する場合に河川を横過して河床下に埋設される水路構造物である。伏せ越しは、その性質上延長が長くなり、河床への変動、揚圧力の影響、堤防横過分と河床横過分の土被りの厚さの相違等不同沈下を起こす要素が多く、さらに地盤沈下のある地域で支持杭を施工した場合、地表面の沈下量と支持層面の沈下量の差が堤体、河床に影響を与えることも予想されるので、伏せ越しの設計にあたっては、これらの点について配慮する必要がある。堤防を横断して設ける伏せ越しにあっては堤防の下に設ける部分とその他の部分は原則として構造上分離するものとする。

伏せ越しは、基本的に函渠、伸縮継手、マンホール、制水ゲート、スクリーン、翼壁、水叩き、止水壁、止水矢板、基礎、護岸、護床等より構成される。

* 「河川砂防技術基準設計編 []」より引用

11.2 構造細目

11.2.1 函渠の方向

伏せ越しの方向は、堤防法線に対して、原則として直角とするものとする。ただし、地形の状況その他の理由によりやむをえないと認めた場合はこの限りではない。

[解説]

伏せ越し函渠の方向は、堤防法線に対して直角とする。著しく斜めに横断する場合かあるいは河川の左・右岸の堤防が平行でない場合は、堤防横過部分の方向は、原則として堤防法線に対してほぼ直角とする。

* 「河川砂防技術基準設計編 []」より引用

11.2.2 函渠の構造

伏せ越しの函渠は、鉄筋コンクリート構造を原則とし、伏せ越しの函渠の断面の大きさは、原則として内径 1.0m 以上とするものとする。また、伏せ越しの函渠の断面の最小部材厚は、原則として 35cm 以上とするものとする。

[解説]

伏せ越しの構造は、原則として鉄筋コンクリートの構造またはこれに準ずる構造とし、函渠の断面は原則として矩形とする。断面の大きさ等の理由でヒューム管等を使用する場合は、その外側を鉄筋コンクリートで巻き立てた構造とし、ヒューム管等の強度を無視して設計するものとする。

ただし、所要の屈撓性および水密性を有する継手によって接続された鉄管を使用する場合には、河床横過部分は鉄筋コンクリートで巻き立てなくてもよい。

伏せ越しの函渠の断面の大きさは、函渠内の土砂等の堆積が生じやすく、流水の流下能力が阻害されることも予想され、また函渠内に堆積した土砂等を取り除く等の維持管理を勘案して、内径 1.0m 以上とする。ただし、小規模のものでこれによりがたい場合は、内径 60cm 以上とする。

* 「河川砂防技術基準設計編 []」より引用

11.2.3 函渠の長さ

伏せ越しの函渠の長さが 30m 以上となる場合は、継手を設けるものとする。また、伏せ越しの函渠が堤防の下を横過するところにおいては、原則として堤防横過部分と河床横過部分とは分離し、継手によって接続するものとする。なお、伏せ越しの函渠の継手は、十分な屈撓性および水密性を有する構造とするものとする。

[解説]

伏せ越しの長さが長くなると、河床の変動、揚圧力の影響、堤防横過分と河床横過分の土被りの差等、不同沈下を起こす要素が多くなるので、長さが 30m 以上になる場合は、伸縮継手を設けるものと

する。軟弱地盤の場合や地盤沈下の予想される地域においては、20m程度を限度とすることを標準とする。

伏せ越しの全延長のうち堤防の横過分は、特に、荷重条件が異なるため、築造後の不同沈下等による折損等の欠陥の発生が多いので、函渠の長さが30m未満であっても堤防横過分と河床横過分とは分離し、伸縮継手によって接続するものとする。ただし、堤防の地盤の地質、伏せ越しの深さ等を考慮して、堤防の構造に支障を及ぼす恐れがないときは、この限りではない。

伏せ越しの函渠の伸縮継手の構造は、屈撓性のある止水板を用いて、変位が生じても水密性を確保できるようにし、周囲は、鉄筋コンクリートのカラーで囲むものとする。また、函渠と函渠の接触面、函渠とカラーの接触面は、弾力性のある目地材を充填するものとする。

継手の位置は、河川の規模にもよるが堤防のり尻より6.0m程度河床部側に離して設置することを標準とする。

*「河川砂防技術基準設計編 []」より引用

11.2.4 函渠の深さ

伏せ越しは、低水路および低水路河岸ののり肩から20m以内の高水敷においては低水路の河床から、その他の高水敷においては高水敷から、堤防の下部分においては堤防の地盤面からそれぞれ2m以上の部分に設けるものとする。

[解説]

伏せ越しの深さの規定は、河川の河床洗掘等が発生して伏せ越しの函渠が水中に露出して乱流を起こすと、さらに異常洗掘を誘発助長して周囲の河川管理施設その他の工作物に害を及ぼすと同時に、自らも危険となる恐れがあることから設けた。

伏せ越しの函渠の上面の河床からの深さは、原則として計画横断形または現状横断形のいずれか低いほうから2.0m以上とする。

ただし、河床の変動がほとんどなく、改修計画による掘削計画がない場合、または伏せ越しの函渠の上を護床工等で保護する場合は、必要に応じ伏せ越しの函渠の上面の河床からの深さを河川の規模に応じて2.0m以下とする場合がある。

*「河川砂防技術基準設計編 []」より引用

11.2.5 マンホール

伏せ越しのマンホールは、鉄筋コンクリート構造とし、原則として断面積は函渠の断面積以上、高さは計画堤防高以上とするものとする。また、伏せ越しのマンホールの底部の高さは、函渠の敷高より低くし、土砂を溜める構造とするものとする。また、伏せ越しのマンホールの最小部材厚は、原則として35cm以上とするものとする。

[解説]

伏せ越しのマンホールは、伏せ越しの縦導水管を兼用することが多く、そのときには最低限函渠と同一断面積とする。さらにマンホールは、伏せ越しの函渠内に堆積した土砂を搬出する等の維持管理面より要求される断面積を考慮して内径 1.0m以上とする。自然河床を持つ河道では、大なり小なり流砂が発生するが、伏せ越しの函渠はその構造ゆえ土砂が溜まり易いので、いずれは函渠内の堆積土砂を排出する必要がある。3面張り等で流砂が存在し得ず、土砂が函渠内に堆積しないことが確認されている場合は、内径 60cm 以上とする。

伏せ越しマンホールの高さは、原則として計画堤防高以上とするが、制水ゲートの高さの関係でゲートの巻き上げ高に余裕高を加えた高さが計画堤防高、または現状堤防の高さのいずれか高いほうの高さ以上となる場合には、その高さとする。なお、この場合の制水ゲートの巻き上げ余裕高は、制水ゲートの構造、巻き上げ速度等により決定されるが、0.5m程度を標準とする。

伏せ越しマンホールの底部およびスクリーンの前部には土砂溜めを設置し、函渠が土砂で埋塞しないよう配慮するものとする。伏せ越しの土砂溜め深さは、用排水路等の性状により決定するものとするが、原則として 50cm 以上とする。

伏せ越しのマンホールの最小部材厚は、35cm 以上とする。

伏せ越しのマンホールには、昇降用の階段、制水ゲート開閉用の操作台を設け、操作台の周囲には、てすり、開口部には、グレーチング等防護用の蓋を設ける。また、マンホール内部には、函渠への昇降タラップを設ける。また、必要により操作台上屋、照明施設、水位観測施設等を設ける。

伏せ越しのマンホールは、堤防のり尻から深さの 2 倍または 5m の、いずれか小さいほうの値以上離して設置するものとする。

なお、制水ゲート、伏せ越しのマンホールを堤内側に支障物件等特殊な理由があつてやむをえず川表に設ける場合には、樋門、樋管と同様に高水時の流水に対して支障を与えないような構造とし、かつ堤防を著しく切り込まない位置に設置するものとする。

* 「河川砂防技術基準設計編 []」より引用・補筆

11.2.6 制水ゲート

伏せ越しには、その両端に制水ゲートを設けるものとする。ただし、地形の状況等からその必要がないと認められる場合はこの限りではない。

伏せ越しの制水ゲートは、確実に開閉できるものとし、必要な管理施設を設けるものとする。

[解説]

制水ゲートは、洪水時に伏せ越しが折損し、堤内に河川の流水が噴出されるような事態が発生した場合に、流水を速やかにしゃ断するため、また伏せ越しの中に堆積した土砂を取り除く等の維持管理面から、伏せ越しの両端に設置する必要がある。

ただし書きは、堤内地盤高が計画高水位より高い場合のような地形条件になる場合をさす。

小規模な伏せ越し、または堤内地盤高が計画高水位以上である区間に設ける伏せ越しの制水ゲートは、必要に応じ角落し等とする。

伏せ越しの制水ゲートを川表に設ける場合は、洪水時の流水に著しい支障を与えないような構造とする。この場合は、計画堤防高以上の桁下高を有する管理橋、操作台等を設けるものとする。

伏せ越しの制水ゲートの戸当り部の断面は、戸当り金物を余裕をもって取り付けられるよう考慮するものとする。

制水ゲート全開時における戸当りは、制水ゲートの取り外しが可能なように可動戸当りとする。

*「河川砂防技術基準設計編 []」より引用

11.2.7 スクリーン

伏せ越しには、原則として上流側マンホールの入口付近にスクリーンおよび管理橋を設けるものとする。ただし、小規模な伏せ越し、またはごみの少ない用排水路等に設けられる伏せ越しで、その必要がないと認められる場合はこの限りではない。

管理橋は有効幅員 1.0m 以上とする

干満の影響を受ける用水路等に設けられる伏せ越しには、その両端にスクリーン等を設けるものとする

伏せ越しのスクリーンの部材間隔は、20cm 程度を標準とする

*「河川砂防技術基準設計編 []」より引用・補筆

11.2.8 翼壁

翼壁は自立構造とし、マンホールと分離させるものとする。

[解説]

翼壁の構造については、樋門の翼壁の構造細目を参考にすること。

*「河川砂防技術基準設計編 []」より引用・補筆

11.2.9 しゃ水壁

伏せ越しのしゃ水壁は、堤体の下の函渠 1 径間につき少なくとも 1 箇所設けるものとする。

[解説]

しゃ水壁の構造については、樋門のしゃ水壁の構造細目を参考にすること。

*「河川砂防技術基準設計編 []」より引用・補筆

11.2.10 しゃ水工

伏せ越しには、しゃ水工を設けるものとする。

[解説]

しゃ水工の構造については、樋門のしゃ水工の構造細目を参考にすること。

伏せ越しの翼壁前面のしゃ水工は、流水による洗掘や地盤沈下の激しい地域では、その影響も考慮するものとする。また、必要に応じてマンホールの縦導水管基礎部にも設けるものとする。

* 「河川砂防技術基準設計編 []」より引用・補筆

11.2.11 基礎

伏せ越しの基礎は、上部荷重を良質な地盤に安全に伝達する構造として設計するものとする。

[解説]

地盤条件の他やむを得ない理由のある場合は、堤防横過部分のみ基礎杭を施工し、河床横過部分を直接基礎とすることができる。この場合は、堤防横過部分と河床横過部分は構造上分離し、継手によって接続するものとする。

* 「河川砂防技術基準設計編 []」より引用

11.2.12 護岸等

伏せ越しに接続して取り付けられる水路には、所要の範囲に護岸および護床工を設けるものとする。ただし、小規模で、地形の状況を考慮してその必要がないと認められる場合にはこの限りではない。伏せ越しが横過する堤防のり面には、必要な範囲に護岸及び護床工を設けるものとする。

[解説]

伏せ越しの横過する堤防のり面には、原則として上流および下流にそれぞれ 10m 以上の範囲にわたって護岸を設けるものとする。護岸の高さは計画高水位以上とし、護床工の幅は河川の性状により決定するものとする。

* 「河川砂防技術基準設計編 []」より引用

11.3 設計細目

伏せ越しの設計細目については、「河川砂防技術基準設計編 []」に従うものとする。

第 1 2 節 魚道

12.1 魚道設計の基本

12.1.1 魚道計画の立案

魚道は、生態調査、ヒアリング等を通じて対象魚種を絞り、その習性と河道の状況等を十分に把握したうえで工種、構造、設置位置等を決定するものとする。

[解説]

魚道を設置するに際しては、必要に応じ魚道の計画を行う。魚道計画において実施すべき事項は以下のとおりである。

< 魚道計画における検討項目 >

検討項目	内 容
目標設定（対象範囲の設定）	河川に生息する魚の生活史や遡上・分布範囲の現況及び変遷を踏まえ、事業対象とする範囲を設定する。
課題の整理	事前調査により当該河川における魚の遡上・降下（移動）上の課題（移動の阻害要因）を抽出し、阻害要因が横断施設（堰、砂防堰堤、頭首工等）と判断される場合には、詳細な施設の評価を行う。
整備計画	阻害要因が明らかになった後、その要因を解消するための改善方針を定め、具体的な事業計画（段階的な整備計画）を決定する。
効果予測と影響予測	計画段階で事業の効果予測及び周辺環境への影響予測を行い、必要に応じて環境保全対策を検討する。
委員会の実施	計画策定からの各段階において、学識者や関係者等で構成する委員会を開催すると効率的に事業を進めることができる。

こうして得られた情報をもとに魚道の構造を決めることになる。なお、近隣で同様の計画がなされた場合はその結果を転用してもよい。また、事業の規模に応じ上記検討項目のうち不必要と思われるものを省略することが可能である。



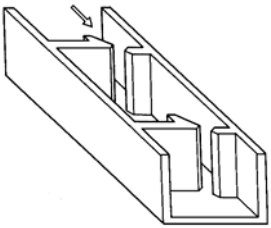
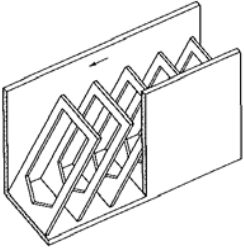
12.1.2 代表的な魚道形式

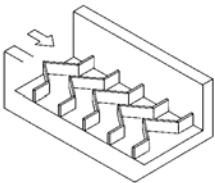



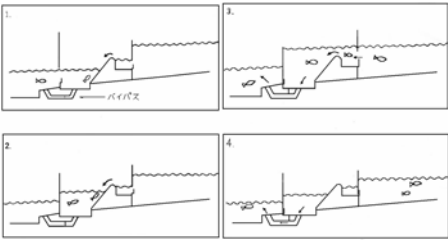
魚道はその水理学的特性の差によりいくつかに分類することができる。それぞれの特性を十分に踏まえた上で魚道形式を選定するものとする。

[解説]

魚道はその水理学的特性の差により以下のように分類することができる。それぞれの特性を十分に踏まえた上で魚道形式を選定するものとする。

表 4.12.1 魚道の特徴

タイプ	名称	形状	方式	特徴
プールタイプ	階段式		平面水路に隔壁を設け、プールと越流を形成する。隔壁に切り欠き・潜孔を設ける場合あり	遊泳魚用及び底生魚用として国内での適用事例が多い。 魚道流量が少なくても機能するように設計できるが、逆に水位変化に対応するための流量調節機能が必要となる。 土砂が堆積しやすいので、対策あるいは管理が必要。
	アイスハーバー式		階段式魚道の一形式。 隔壁の一部を水上に突出させて非越流部を設けたもの。隔壁に潜孔が設けられる場合が多い。	魚は非越流部の裏側に形成される静穏域を遡上途中の休息場として利用することができる。遊泳魚用として適用事例が多い。底生魚には向かない。水位変化に対応させるためには、流量の調節機能を持たせる必要がある。土砂が堆積しやすいため、対策あるいは管理が必要である。
	バーチカルスロット式		平面水路に隔壁を設け、プールの底部まで切り込んだ開口を設けた魚道である。	水位変化の影響が比較的小さい(魚は遡上する水深(深度)を選ぶことができる)。遊泳魚用として適用事例が多い。 堆積した土砂の排砂機能が比較的高い。プール間の水位差(落差)を大きくすると魚道流速が大きくなる(水位差で流速が決まるため)。
	デニール式(標準タイプ)		水路にU字型の阻流板を前方に向かって斜めに配置し、水を逆流させて水流を制する魚道である。	水勢を弱める方式としては最良であり、急勾配(1/10以上)でも機能する。遊泳魚用として適用事例が多い。水位変化にもある程度は対応可能。施工が容易であり、施工費用も小さい。可搬型もあり。魚は一気に遡上する必要があるため、延長の大きい魚道の場合は、途中で休息プールを設ける等の工夫が必要。

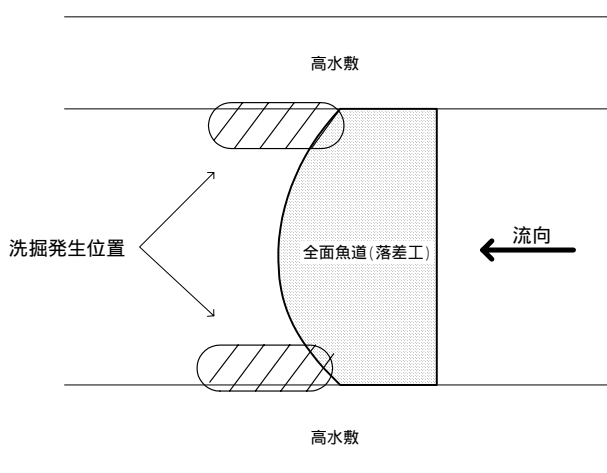
水路タイプ	デニール式(舟通し型)		水路の底面に阻流板を配置し、水流を制する魚道である。	特徴は標準型デニール式魚道とほぼ同様であるが、底生魚の遡上には標準型よりも適するとされている。
	粗石付き斜路式		粗石を魚道底面に配置し、水深を増し流速を押さえ、魚類の休息場所を与える魚道である。	自然河川の形状に近い魚道となり、多様な流速場を創出することができるため、底生魚から遊泳魚まで広い魚種に向く。急勾配(1/20以上)にすると水が一気に走り、長所が生きない。流速や流況を精度よく予測できない。水位変化への対策が必要。
	緩勾配パイパス水路式		緩勾配で瀬、淵を創出した魚道である。自然石や土砂を配置した例が多く、植栽したものもある。	自然河川形状に近い魚道となり、多様な流速場を創出することができるため、底生魚から遊泳魚まで幅広い魚種に向く。急勾配にすると減勢効果が低下し、長所が生きない。水位変化への対策が必要。
	ハーフコーン式		円錐(コーン)を半分に割ったものを流れに対し直角に配置した魚道。	角がなく遡上魚・降下魚ともに安全。多様な水深・流速が形成される。土砂が溜まりにくい。鳥による食害を受け易い。大型魚は敬遠する傾向にある。大流量時には流れが一様化してしまう。
閘門タイプ	ロック式		門扉を操作して上下流のゲート操作により上流に導く魚道である。	魚の収容力が大きく、遊泳力の弱い魚も遡上させることができる。常時管理操作が必要であり、ランニングコストが大きく、集魚装置(あるいは魚を集める工夫)も必要。

チェックポイント

魚道の検討の際も安全性のことを忘れずに！

魚道の設計を行う際には魚の立場になって上りやすさを考えることが必要です。しかし、魚になりきってしまっはいけません。人間としての立場、すなわち洪水時の安全度のことを決して忘れないことが必要です。特に、山梨の河川は急流河川ばかりで洪水時の流水の作用は非常に大きいのでなおさらです。

例えば扇形の全面魚道は要注意です。落差工、特に高水敷を有する河川に設置された落差工では、洪水時に流れが落差工両端、高水敷のり尻部に集中して洗掘を助長することが知られています。扇形の落差工にするとこの作用がもっと強まります。この位置での洗掘は、ひどくなると高水敷を削り、ついには堤防を破壊することがあるので要注意です。築堤河川で高水敷の幅が狭い急流河川では扇形の落差工は避けましょう。どうしても必要な場合には下図で示した洗掘発生位置を根固工でしっかりと固めることが必須条件となります。



これはほんの一例ですが、魚を初めとする水棲生物の生育のことばかりを考えて治水安全度の確保が疎かになったのではそもそも何のために河川構造物を作ったのかという話になり本末転倒です。必要な治水安全度を確保すること、これはあらゆる河川構造物の設置に共通して言える必須条件です。

12.2 構造細目

12.2.1 魚道の設置場所

魚道の設置場所は、以下に示す事項に留意しつつ決定するものとする。

魚道を置く横断方向の位置は、全断面魚道を除き、基本的には魚の遡上経路に合わせて岸沿いとす
る。

複数の魚道を併設する場合には、流速が速い形式の魚道を流心側に置く。

魚道の下流端（魚道の入口）は魚が発見しやすい場所に置き、下流端と堤体との間に魚が滞留しな
いように留意する。

上流端（魚道の出口）は取水口を避けて置き、魚が安全に遡上できるように配慮する。

[解説]

遡上力の弱い小型の魚類は岸沿いの緩流域を遡上することが多いため、通常、魚道は岸沿いに設置
する。

複数の魚道を併設する場合の横断方向の配置 魚道形式にはそれぞれの特徴があるため、複数の形式
の魚道を並列して設置することにより、多様な魚種の遡上に対応させる場合がある。この場合、魚道
の横断方向の配置は、自然河川の流速分布と同様に、流速の速い魚道を流心側、遅いものを河岸側と
する。また、呼び水水路を併設する場合には、最も流心側に配置することが多い。

魚道下流端が横断施設本体または水叩きの下流端より突き出ている場合には、遡上魚が魚道を発見
できずに施設直下に滞留しやすい。セットバック式魚道は落差工より上流側に引っ込んだ魚道であり、
既設の落差工に魚道を設置する場合に有利である。また、魚が昇り口を判別しやすい特徴がある。

12.2.2 形式の選定

魚道形式は、以下の視点より選定するものとする。

横断施設の種類と規模：固定堰、可動堰の区別及び落差の大きさ。

水位変動：水位変動の大きさ。

魚道流量：魚道から放流できる水量の多寡。

施設上下流の流路や土砂：変動及び移動の大きさ。

用地や地形：勾配や面積の制限。

魚種：対象とする魚種の遡上力、遡上形態（遊泳性、底生性）。

[解説]

魚道形式の選定は、対象魚道が適切に機能するかどうかを左右する重要なポイントである。しかし
ながら、魚道形式のみで魚道機能が決まるわけではなく、魚道を折り返し、延長を稼いで勾配を緩く
する等、構造の工夫により機能を高めることができる場合も多いので、総合的な視点を持つことも重
要である。

12.2.3 魚道勾配・延長・落差

魚道の勾配、延長及び落差については下記を参考に決定するものとする。

魚道勾配：階段式魚道では 1/10～1/20 程度、隔壁を設けない粗石付き斜路式魚道では 1/20 以下が適切とされ、デニール式魚道はやや急な勾配（1/10 以上）まで対応可能とされている。ハーフコーン式魚道では 1/10 程度まで適用された事例がある。

魚道延長：必要な勾配を確保できる範囲内でなるべく短くすることが望まれる。

プール間落差（プールタイプ魚道の場合）：階段式魚道では 10～20cm 程度が適切とされている。

[解説]

魚道勾配は魚道を設置する施設の落差と確保できる魚道延長により決定される。勾配は、既往の実験結果等から、階段式魚道では 1/10～1/20 程度が適切であるという知見が得られている。また、隔壁を設けず粗石により流速を抑える粗石付き斜路式魚道では 1/20 以下の勾配を必要とし、逆に水路タイプのデニール式魚道は、一般的にやや急な勾配（1/10 以上）まで対応可能とされている。

魚道延長は、魚道形式によって魚が一度に容易に遡上できる距離（延長）が異なるため一概には言えないが、一般的には維持管理や施工コスト及び魚食性鳥類による食害を考慮すると、必要な勾配を確保できる範囲内でなるべく短くすることが望まれる。

プールタイプ魚道のプール間落差は、施設の落差、魚道延長及びプールの個数により決定される。プール間落差については、階段式魚道の場合、既往の実験結果等から 10～20cm 程度が適切とされている。

12.2.4 幅員・プール長

魚道幅員及びプール長は下記により決定するものとする。

魚道の幅員：河床（澁筋）の安定しない場所に全断面魚道を設置する等の場合を除き、さほど大きな幅員は必要としない。

プール長（プールタイプ魚道の場合）：プール長が短く、横長の場合には流れが乱れることがあるため留意しなければならない。

[解説]

魚道の幅員は大きいほど良いというものではなく、魚の遡上経路に合った適切な幅に設定する。幅の広い魚道は規模が大きくなり、流量や大きな施工費用を必要とするため、河床（澁筋）の安定しない場所に全断面魚道を設置する等の場合を除き、必要以上に幅員を大きくしない。

なお、プール長が短く、プールが横長の場合には、横波が増幅されて流れが乱れることがあるので留意が必要である。

なお、階段式魚道では、既往の実験結果から幅員に対して概ね 1.5～2 倍程度のプール長が適切という知見がある。

12.2.5 水深と隔壁形状

道の水深及び隔壁形状に係る留意点は以下のとおりである。

魚道の水深：最浅部（階段式魚道の場合は隔壁越流部）の水深は魚の体高の2倍以上を確保する。

隔壁の形状：階段式魚道では隔壁天端の断面形状を傾斜型やR型とし、厚みは20～30cm程度が適切とされている。

[解説]

(1) 水深

魚道の水深は、最浅部（階段式魚道の場合は隔壁越流部）において、対象とする魚が遊泳可能な水深（体高の2倍以上が目安）が確保されていることが基本である。また、サギ類等、陸上の捕食者による食害を避けるためには、水路タイプの魚道ではある程度水深が必要である。

ただし、プールタイプ魚道の場合は、プール水深が深すぎると鉛直方向の渦流が発生し魚（特に遊泳魚）が遡上方向を見失う場合があるため留意が必要である。また、浅すぎると減勢効果が薄れるため、適切な流況・流速を見出すことが必要である。

(2) 隔壁形状

階段式魚道においては、隔壁天端の断面形状が直角型の場合、下流側に剥離した流れ（隔壁との間に空隙が生じる流れ）が発生して魚の遡上が困難となるため、天端の断面形状を傾斜型やR型等として剥離した流れの発生を抑える。

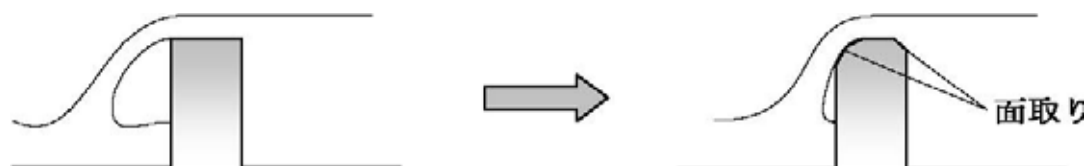


図 4.12.1 隔壁の面取り

また、隔壁の厚さについては、厚さが増すほど斜面距離が長くなり魚の遡上が困難となるため、強度にもよるが20～30cm程度が一般的である。なお、厚さが薄すぎる場合には剥離した流れが発生するため留意する。隔壁部の切り欠きについては、魚道内の流況を安定させるためには水平部対切り欠き幅の比は4:1または5:1程度、切り欠き位置は全ての隔壁で同じ側に設けることが適切との知見がある。

12.2.6 魚道上流端・下流端の高さ

魚道上流端及び下流端の高さに係る留意点は以下のとおりである。

上流端の高さは、基本的には上流側の低い水位に合わせる。

下流端は、河床の洗掘等に備えて根入れ等を行う。

[解説]

魚道上流端・下流端の敷高は、それぞれ横断施設の下流側及び上流側の水位変動を踏まえて決定する。基本的には対象とする魚種の遡上時期の水位に合わせるが、洪水後の復帰遡上等、季節に係わりがない遡上もあるため、年間を通じた水位変動も考慮する。対応させる水位の範囲は、対象河川の水位変動により異なるが、極端に流量が多い時には魚は遡上しないとされているため、上流端の高さは基本的には低い水位に合わせる。また、農業用の施設の場合は、灌漑期と非灌漑期で水位が大きく変化する場合が多いため、高さの異なる魚道上流端を2箇所設ける等して、水位変動に対応させることもある。

なお、魚道下流端は将来的な河床の洗掘等にも備え、十分な根入れ等を行う。

12.2.7 付帯施設

魚道の付帯施設の設計上の留意点は以下のとおりである。

流量調節：必要に応じて、魚道上流端の角落し、機械式の流量調節ゲート、量調節柵及び溢流式魚道等により魚道流量を調節する。

呼び水：呼び水の流速は、一般的に魚道流速の2倍以上とする。

魚道内の休息プール：魚道の途中に置く魚の休息用プールは、他のプールよりも勾配を緩く、容積も大きくする。設置する間隔は階段式魚道では20～30m程度が目安とされている。

土砂対策：グレーチング蓋や上流端の土砂吐き等により、土砂の流入を防止する。

[解説]

(1) 流量調節

魚道上流側の水位変動が大きい場合には、魚道流量を安定させるために流量調節機能を持たせることを検討する。階段式魚道等の場合、よく用いられるのは魚道上流端に角落しを設け、ここに厚板や木柱を落とし込んで流量を調節する手法である。この場合、角落し部に剥離した流れが発生しないように、厚板や木柱の天端の断面形状を傾斜型やR型とする。角落しの他にも機械式の流量調節ゲート、流量調節柵及び溢流式魚道等、様々な流量調節の手法が開発されており、対象とする魚道の特徴や施工条件に合わせて適切な手法を選定する。

(2) 呼び水水路

呼び水水路は、魚の遡上経路とは異なる位置に魚道を設置せざるを得ない場合において、道下流端に魚を誘導するために設置する。呼び水の流速は一般的に魚道流速の2倍以上が要とされている。呼び水の流速が遅い場合には魚の誘導効果が低下するだけでなく、呼び水路内に魚が迷入することもあるため、流速は適切に保つとともに、水路の下流端に落差設けて迷入を防止する等の工夫が必要である。なお、呼び水は上中流部においては強い流れを発生させ、魚に上流を感知させて魚道へ誘導するが、汽水域では、魚は流速差よりも塩分差を感知して遡上するため、河口堰等の感潮における呼び水には強い流れは必要としない。

(3) 魚道内の休息プール

横断施設の落差が大きいため、魚道延長を長くする場合には、魚道の途中に魚の休息用プールを

設置する。休息プールは魚が休息できるように他のプールよりも勾配を緩くし、容積も大きく確保する。休息プールを設置する間隔についてはとくに基準はないが、階段式魚道では既往の実験結果等から20～30m程度が目安とされている。

(4) 土砂・転石対策

魚道への土砂や礫の流入により、流れの乱れ等が生じ、魚道機能が低下する場合がある。このため、土砂の移動が大きい場所では土砂対策を講ずる。土砂対策の手法には、土砂の流入を防ぐ、あるいは流入した土砂を排砂するという考え方があり、前者ではグレーチング蓋等による流入の防止、後者では魚道上流端に土砂吐を設ける等の手法がある。

12.2.8 その他の留意点

その他の留意点には以下のような事項があげられる。

景観への配慮：魚道は、周辺景観との調和に配慮する。

複合式魚道：複数形式の魚道を組み合わせた複合式魚道では、各形式の長所が生きるように留意する。

魚道周辺への配慮：魚道を陸域と水域との移動経路として利用する生物もあるため、これにも配慮する。

[解説]

(1) 景観への配慮

魚道は魚の移動経路の確保を第一の目的とするが、周辺環境との景観上の調和にも配慮する。魚道側壁や床等は、コンクリート面よりも施工地周辺の水辺環境に合わせた自然石張り等するほうが、景観上及び機能的に好ましい場合がある。

(2) 複合式魚道

魚道の設置スペースが限定される条件下において、多様な魚種や水位変動等に対応させる目的から、複数の魚道形式を組み合わせた複合式魚道が開発されている。例えばバーチカルスロット式魚道と舟通しデニール式魚道を組合せ、平水～高水位時にはバーチカルスロット式、低水位時にはデニール式魚道が機能する魚道がある。

複合式魚道は、例えば高水位時に流れが干渉し合ってそれぞれの長所を相殺する場合があるため、互いの流れが影響し合わないよう留意する。

(3) 魚道周辺への配慮

魚道は河岸部に設置されることが多いが、河岸部は河川を横断的に見た場合、水域と陸域とが接する移行帯に当たる。両生類（サンショウウオ類やカエル類等）や爬虫類（カメ類等）には陸上と水中を行き来するものが多いため、それらにとって移行帯は重要な移動経路となる。移行帯の保全、創出にも配慮する必要がある。

(4) 迷入対策

魚道の上流端近くに農業用水等の取水位置が有る場合は、魚が取水孔へ迷入してしまう恐れがある

ので、スクリーンの設置等の処理が必要である。隔壁には水生生物のための潜孔を設けるほか、起伏堰に設ける階段式魚道については、堰の倒伏後に魚等が閉じこめられないよう、設計に注意する必要がある。

*以上、「魚が上りやすい川づくりの手引き」(平成17年3月国土交通省河川局)より引用・補筆

12.3 設計細目

魚道の設計にあたっては、「魚がのぼりやすい川づくりの手引き」(国交省河川局)、「魚道の設計」((財)ダム水源地環境整備センター)、「魚道のはなし」((財)リバーフロント整備センター)、「多自然型魚道マニュアル」((財)リバーフロント整備センター)、「魚からみた落差工への配慮事項」、「魚類の遡上降下環境改善上のワンポイントアドバイス」等の文献を参照のこと。

第 1 3 節 河道内樹木

河川区域内の樹木について、改修工事等の際には極力保全を図るものとし、やむを得ず支障になるものについては可能な範囲で移植、復元するものとする。

河川区域内の植樹については、「河川区域内における樹木の伐採・植樹基準について」(平成 10 年 6 月 19 日建設省河治発第 44 号建設省河川局治水課長通達)に従うものとする。

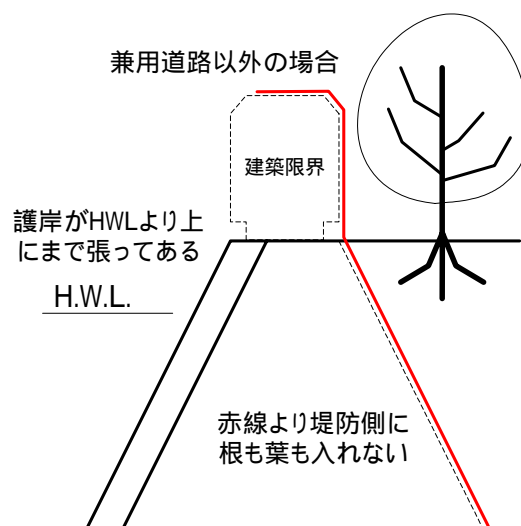
[解説]

「河川区域内における樹木の伐採・植樹基準について」(平成 10 年 6 月 19 日建設省河治発第 44 号建設省河川局治水課長通達)は、樹木が洪水流に与える影響を予測する手法の発達により河道内の樹木の治水上の機能についての知見の集積が進んでいる状況に鑑み、「河岸等の植樹基準(案)」および「河道内の樹木の伐採・植樹のためのガイドライン(案)」の内容を抜本的に見直し、新たな知見を加えて両者を一本化したものである。ここではこの概要について概説する。詳細については「河川区域内における樹木の伐採・植樹基準について」を参照されたい。

(1) 掘込河道における管理用通路(兼用道路)への植樹

掘込河道における管理用通路(兼用道路)への植樹する場合には、次の基準に適合するよう行うものとする。

- * 植樹する高木は耐風性樹木であること
- * 護岸の高さが HWL 以上の場合に限ること
- * 樹木の主根が計画堤防に入らないよう、護岸のり肩から必要な距離を離すこと
- * 河川管理用通路が兼用道路以外の場合、道路の建築限界を冒さないこと

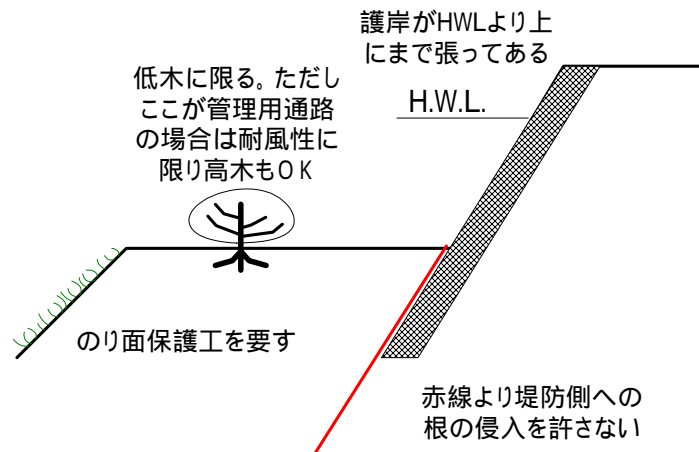


(2) 河岸への植樹

河岸への植樹する場合には、次の基準に適合するよう行うものとする。

- * 護岸の高さが HWL 以上の場合に限ること

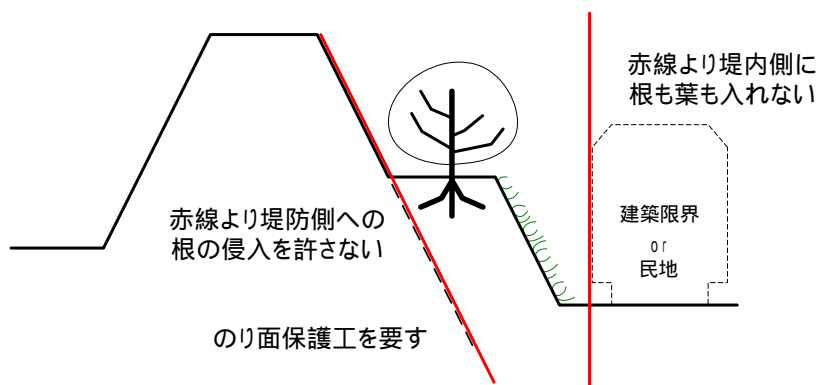
- * 張芝等ののり面保護工を実施すること
- * 超過洪水時における流水の疎通とのり面の安定にも配慮すること
- * 高木の植樹は、河岸のり肩面より堤内側が河川管理用通路である場合に限ること
- * 植樹する高木は耐風性樹木であること
- * 樹木の主根が計画堤防に入らないよう、護岸のり肩から必要な距離を離すこと



(3) 堤防の裏小段への植樹

堤防の裏小段に植樹する場合には、次の基準に適合するよう行うものとする。

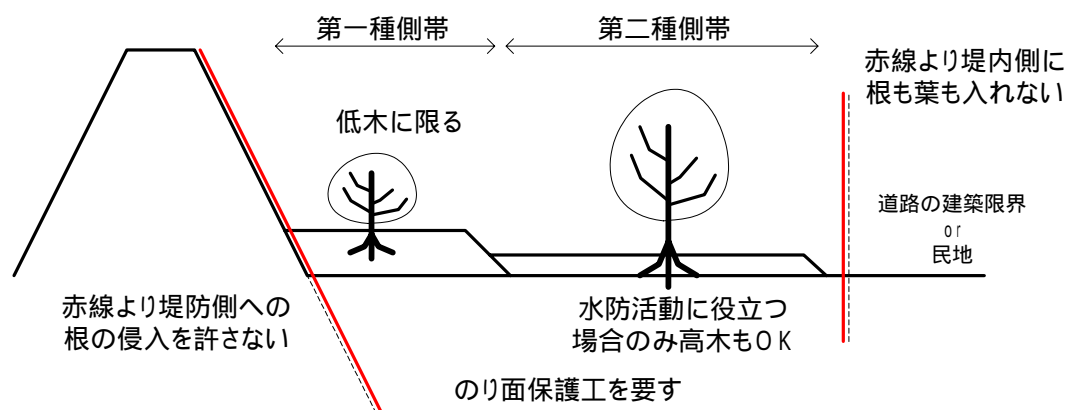
- * 植樹の位置は、堤防保全上の問題のない区間に限る
- * 樹木の枝、根等が背後の民地との境界線または道路の建築限界を冒さないこと
- * 樹木の主根が計画堤防に入らないよう盛土を設けて植樹すること
- * 盛土部分には張り芝等ののり面保護工を実施すること



(4) 堤防の側帯への植樹

堤防の側帯に植樹する場合には、次の基準に適合するよう行うものとする。

- * 植樹の位置は、堤防保全上の問題のない区間に限る
- * 樹木の枝、根等が背後の民地との境界線または道路の建築限界を冒さないこと
- * 第一種側帯においては低木のみとすること
- * 第二種側帯においては、高木の植樹は水防活動に資する場合に限ること
- * 樹木の主根が計画堤防に入らないこと
- * 盛土部分には張り芝等ののり面保護工を実施すること



* 「河川区域内における樹木の伐採・植樹基準について」(平成 10 年 6 月 19 日建設省河治発第 44 号建設省河川局治水課長通達)より抜粋・再編

第 1 4 節 鉄線籠型多段積み護岸工

14.1 設計の基本

本節は、横断のり勾配が 1:1.0 より急な河岸・堤防保護に用いる鉄線籠型多段積み護岸工の水利設計法を示したものである。1:2.0 よりゆるい河岸・堤防ののり面に沿って大型の鉄線籠を置く工法については第 15 節で扱うものとする。

かご材が腐食すると護岸としての機能を発揮できなくなるので、構造上問題となる腐食を発生させる以下の条件を満たすところは適用除外とする。

PH5 以下の河川水が流れている区間

塩素イオン濃度が年平均 450mg/ 以上の河川水が流れる区間

黒色有機物混じり土、泥炭層などの土壌で電気抵抗率が 2,300 \cdot cm 以下の区間

鉄線籠型多段積み護岸工の構造としては、以下の設計条件を満足することが求められる。

鉄線籠型多段積み護岸工を擁壁として見た場合、流水の作用や土圧により移動・破壊しないこと

鉄線籠単体に着目した場合、流水の作用や土圧により移動・破壊しないこと

洪水流の侵食作用を背面土にまで伝達しないこと

中詰め材が抜け出さないこと

籠の鉄線が破断しないこと

鉄線籠型多段積み護岸工に対する水利設計法、すなわち性能設計法についてはまだ実績が乏しい等の課題があり、現状では「規定設計法」の考えに則り上記の設計条件を満たすのに必要なかご工・中詰め材の諸元が直接示されている。

のり勾配が 1:1.0 ~ 1:2.0 の箇所に鉄線籠型多段積み護岸工を置く方法については、確立された水利設計法がないので、当面の運用を本節の末尾に掲載しておく。

[解説]

適用範囲 (のり勾配)

鉄線籠型多段積み護岸工の場合、対象地点ののり勾配が 1:2.0 よりゆるい場合は下図左に示すようにのり面と鉄線籠群の天版・底版が平行になるように置き (張タイプと称される) のり勾配が急な場合、特に 1:1.0 よりも急な場合は鉄線籠を階段状に重ねて置く (多段積みタイプと称される) のが一般的である。

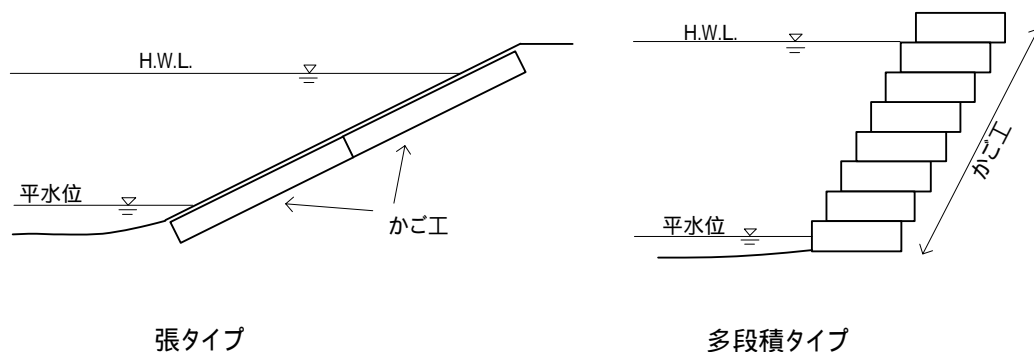


図 4.14.1 鉄線籠工を用いた護岸の 2 タイプ

のり勾配によって配置が異なるのは、主として背面土圧への対処の仕方が両者の間で異なるからである。すなわち、のり勾配が1:2.0より緩いと背面土質が特別なものでない限り背面土圧はゼロとなるので、鉄線籠に期せられる役割は堤防・河岸の表面侵食防止機能だけということになる。一方、のり勾配が急な場合、鉄線籠には表面侵食防止機能に加え背面土の崩落を防止する土留め擁壁としての機能を発揮することが求められる。

のり勾配が1:2.0よりも緩い区間での鉄線籠工の設計法としては、「鉄線籠型護岸の設計施工技術基準(案)」が平成6年に建設省河川局治水課より施行されている。鉄線籠型多段積護岸工の水理設計法としては、対象区間をのり勾配1:1.0より急な区間に限定しつつ「鉄線籠型多段積護岸工法 設計・施工技術基準(試行案)」が平成10年に建設省河川局防災・海岸課より編集・改訂されている。のり勾配が1:1.0~2.0の区間については、鉄線籠工へ土圧が作用するか否かが背面土質・地形により左右される、すなわち「張タイプ」とするか「多段積タイプ」とするか個別事例ごとに判断しなければならない領域であるが、この領域については、「鉄線籠型多段積護岸工法 設計・施工技術基準(試行案)」のなかで参考として当面の運用が示されている。本節においては、のり勾配1:2.0以上の区間を対象とし、「鉄線籠型多段積護岸工法 設計・施工技術基準(試行案)」およびその参考の要点を示すことにする。なお、のり勾配が1:2.0より緩い区間における鉄線籠型多段積護岸工の設計法については、第16節で述べるものとする。法勾配1:1.0~1:2.0の範囲にある鉄線籠型多段積護岸工の設計法については15.3項に運用を示すに留めるが、その理由については で詳述する。

適用範囲(かご材の耐腐食性)

かご材が腐食して中詰め材を保持できなくなると当初想定した機能を発揮できなくなるので、破断に至るような構造上問題のある腐食を誘発する条件下では鉄線籠の使用を避ける必要がある。腐食を起こす条件の詳細については今後の調査・研究を待たねばならないが、当面以下のように設定する。

PH5以下の河川水が流れている区間

塩素イオン濃度が年平均450mg/l以上の河川水が流れる区間

黒色有機物混じり土、泥炭層などの土壌で電気抵抗率が2,300 Ω・cm以下の区間

洪水時に人頭大以上の転石があると推定される区間(ただし、保護工を設ければこの限りでない)

設計の基本

上記 でも述べたとおり、鉄線籠型多段積護岸工には表面侵食防止機能に加え背面土の崩落を防止する土留め擁壁としての機能が期待されるので、設計項目としては、

鉄線籠型多段積護岸工全体を擁壁として見た場合において流水の作用や土圧によりそれ自身が移動・破壊しないこと

洪水流の侵食作用を背面土にまで伝達しないこと
等が求められる。

それに加え、鉄線籠型多段積護岸工を構成する個々の鉄線籠の安定性にも注目する必要がある。個々の鉄線籠が安定であるためには、以下のような設計項目を満たさなければならない。

鉄線籠単体がすべり破壊等の破壊に至らないこと

個々の中詰め材が流水の作用により抜け出さないこと

鉄線籠を構成する鉄線が破断しないこと

これらの設計項目を満たす方法としては、鉄線籠や中詰め材の諸元を直接規定する「規定設計法」が用いられている。規定設計の内容については、構造・設計細目の項で詳述する。

「規定設計」よりも、力学的な考察により構成されたいわゆる「性能設計」のほうが応用的・発展的であるが、あえて「性能設計」を採用しなかったのは以下の理由による。すなわち、水理学をベースに構成された水理設計法は存在するものの、実績が乏しいところ、金網と中詰め材の総合作用等に未解明な部分が残されているところ等があり、性能設計法として規定するのは尚早と考えられたからである。

法勾配 1 : 1.0 ~ 1 : 2.0 の範囲の鉄線籠型多段積護岸工の設計法について

法勾配 1 : 1.0 ~ 1 : 2.0 の範囲は、鉄線籠を用いた護岸工にとってはいわば「多段積タイプ」と「張タイプ」中間領域であって、しかもその境界が土質条件やかご工の形状等によって変化することから、明確な規定が作りにくい状況にあり、事実この領域を対象とした設計法が空白のまま残されている。

「鉄線籠型多段積護岸工法設計・施工技術基準（試行案）」（（社）全国防災協会）においては、この点についての不備を補うために、巻末に法勾配 1 : 1.0 ~ 1 : 2.0 の範囲のものに対する運用を示している。本ハンドブックにおいてもこれを適用するものとするが、将来的には水理設計法を確立すべきところである。

14.2 構造・設計細目

14.2.1 鉄線籠単体の標準形状

鉄線籠の標準形状は、厚さ 50cm、幅 1m とする。

[解説]

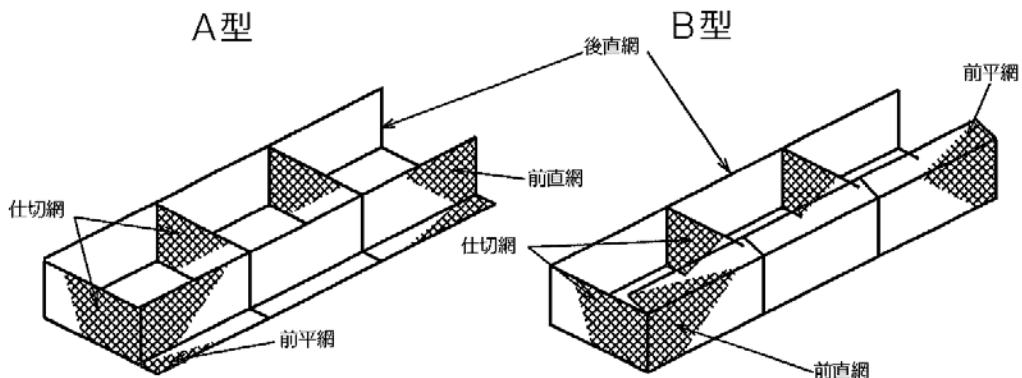
鉄線籠の標準形状を定めるのは、かご工自体の力学的特性に不明瞭な部分がまだ多く残されており、設計に際して従来の経験則を用いざるを得ないところがあること、および土圧に対する安定性照査等に際して標準設計のように扱い、安定計算の手間を省くことの2つの目的によるものである。適切な照査法があればこの標準形状から逸脱することに問題はないが、危険側に逸脱する場合には細心の注意を払うものとする。

14.2.2 鉄線籠の規格

鉄線籠の規格は下表を標準とする。

表 4.14.1 鉄線籠の規格

中詰材の粒径 (cm)		5 ~ 15	15 ~ 20	
か ご の 構 造 と 規 格	かごの厚さ (cm)	50		
	網目の 大きさ	前直網 (mm)	65	
		前平網 (mm)	65	
		最上段の蓋網 (mm)	65	
		その他 (mm)	100	
	線材の 径	網 線	前直網 (mm)	5
			前平網 (mm)	5
			最上段の蓋網 (mm)	5
			その他 (mm)	4
		枠線及び骨線 (mm)	6	
仕切網の間隔 (cm)	200			



14.2.3 鉄線籠型多段積護岸工の擁壁としての安定性

14.2.1 に示した鉄線籠単体の標準形状を満たしたものを積み重ねた構造で高さが5m以下のものは、背面土圧に対する剛な擁壁としての安定性を満たしていると評価してよい。なお、高さが5mを超えるもの、14.2.1 に示した標準形状を満たさないかご工を用いるものは、安定計算を実施するなどしてその安定性について照査する。

[解説]

これまでの研究結果や実績により、14.2.1 項に示した鉄線籠単体の標準形状を満たしたものを積み重ねた構造で、高さが5m以下のものについては、背面土圧に対する土質的安定性を満たしていると評価し、擁壁としての安定計算を行わなくてよい。なお、背面土の勾配が著しく大きかったり、土質が特殊な場合はこの限りではなく、剛な擁壁としての安定計算が必要となる。

安定計算に際しては、転倒、滑動、地盤支持力の3つの視点から照査を行う。転倒の照査方法としては示力線法が有効である。古典的な示力線法では土圧の作用方向を水平とするなどの仮定が導入されていたが、コンピュータの発達した現在ではこうした仮定を用いなくても解を得ることができる。すなわち、多段積かご工を剛なブロックを積み重ねたものと仮定し、個々のブロックに作用する土圧、上下のブロックとの摩擦力、重力を求め、その合力の作用点を連ねたもの（示力線）位置がかご工の外縁から出ないようにであれば安定と見なす。

滑動についても鉄線籠型多段積護岸工を剛なブロックを積み重ねたものと仮定し、各ブロック間および地盤との接点で滑動が生じるかどうかを調べる。なお、かご工間に作用する摩擦力の摩擦係数は当面0.5とするものとする。

支持力については通常のコンクリート擁壁と同様の考え方、すなわち個々のかご工を剛体と見なす考え方で評価するものとする。なお、かご工を剛体として扱うのは、支持力照査においては安全側の近似と見なせるが、かご工・地盤共に弾性体と見なす高度かつ的確な設計を実施した場合にはそちらの結果を優先するものとする。

14.2.4 中詰め材

15.2.1 で示した標準形状のかご工を用いた場合、中詰め材の粒径は[解説] に示す数表から、現場の地形・水理量に対応した値を選定してもよい。

標準形状のかご工を用いなかった場合には、次式により中詰め材の粒径を決定するものとする。

$$d > \frac{u_{*0}^2}{s \cdot g \cdot \tau_{*c}}$$

$$u_{*0} = \frac{V_0}{\phi}$$

$$\phi = 6.0 + 5.75 \log_{10} \left(\frac{H_d}{k_s} \right)$$

$$k_s = 2.5d$$

以上を総括して、

$$d > \frac{V_0^2}{s \cdot g \cdot \tau_{*c} \left(6.0 + 5.75 \log_{10} \left(\frac{H_d}{2.5d} \right) \right)^2}$$

ここに、

d : 中詰め材の粒径、

u_{*0} : 摩擦速度、

s : 中詰め材の水中比重、

g : 重力加速度、

τ_{*c} : 無次元限界掃流力 (= 0.15、多段積タイプの場合)

V_0 : 代表流速、

ϕ : 流速係数、

H_d : 設計水深、

k_s : 相当粗度、

である。

代表流速 V_0 の計算方法は、「護岸の力学設計法」、「美しい山河を守る災害復旧基本方針」を参照するものとする。

上式では、 d についての陰形式となっているので、以下のように計算を進める。まず d を適当に仮定して右辺に代入し、左辺を求める。左辺の値 d を再び右辺に代入するという作業を繰り返し、 d の収束値を得る。

[解説]

かご工の被災事例によれば、流水の作用により中詰め材が下流に移動して、下流端で金網が膨れ、ついには金網が破断して中詰め材が流出してしまう被災パターンが多い。このような災害を防ぐには、設置地点の水理条件・地形条件に合わせて適切な中詰め材を選択する必要がある。

下表は、14.2.1 項で示した標準形状の鉄線籠の使用を前提に、設置予定地点の設計流速と水深と、安定に必要な中詰め材の粒径との関係を示したもので、これを用いれば設置予定地点の設計流速と水深から直ちに中詰め材の必要粒径を求めることができる。

表 4.14.2 中詰め材の粒径

水深(m)	設計流速(m/s)						
	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	6.5
~1.0	5~15	5~15	5~15	5~15	15~20		
1.0~2.0	5~15	5~15	5~15	5~15	5~15	15~20	15~20
2.0~3.0	5~15	5~15	5~15	5~15	5~15	5~15	15~20
3.0~4.0	5~15	5~15	5~15	5~15	5~15	5~15	5~15
4.0~5.0	5~15	5~15	5~15	5~15	5~15	5~15	5~15

単位：cm

中詰め材の移動しやすさは無次元せん断力だけで決まるわけではない。鉄線籠の天版による抑え効果もあるので、サイズや使用する金網の線径が変わればその値にも影響があるものと推定される。かご材が標準形状から外れたもの、特に鉄線籠のサイズが 14.2.1 項に示した標準形状よりも大きい、またはかご材の線径が細いものである場合には中詰め材は標準形状を利用したものよりも動き易いと考えられるので、上記式により求められた値には注意が必要である。

使用する鉄線籠が本規定外のものであったり、設計流速が表 14.2 に示す範囲にない場合などは水理設計を実施して中詰め材の粒径を決定する必要がある。式中、代表流速は河道の湾曲の影響、深掘れの影響等を取り込んだ流速であるが、この計算方法は「護岸の力学設計」、「美しい山河を守る災害復旧基本方針」に従うものとする。なお、設計水深 H_d については最深部の鉄線籠の天端から設計流量時の水面までの距離とし、基本的に鉄線籠の中詰め材は同じ粒径で統一するものとする。

14.2.5 メッキ

鉄線籠に使用する線材は、亜鉛 + アルミ合金メッキ（アルミ含有率 10%、付着量 300g/m²以上）されたもの、又は同等品以上のものを使用し、合金メッキ線の品質は、JISG3547 の規格を準用することとする。

[解説]

かご網に使用する線材には、設計外力に対する強さとともに恒久護岸としての耐久性が要求される。鉄線籠型護岸構造のように加工部が多く、かつ傷の発生しやすい構造には、「犠牲防食性」を持った亜鉛メッキが優れているとされる。このため、防蝕・保護機能を兼ね備えた亜鉛メッキにアルミニウムを添加した亜鉛アルミメッキを採用することとする。

亜鉛アルミ合金メッキの設計付着量は、亜鉛メッキと合金メッキの耐食性の実験比較からアルミを 10% 添加することとして、耐用年数 30 年を目途として 300g/m² とする。

JISG3547 のうち、特に巻付性については枠線が細いため、線径の 1.5 倍の円筒に 6 回以上巻きつけ

るものとする。

14.2.6 吸出し対策

鉄線籠型多段積護岸工下の土砂の吸出しを防止するため、鉄線籠型多段積護岸工の下面には吸出し防止材を設置する。

[解説]

鉄線籠型多段積護岸工下の土砂の吸出しは鉄線籠型多段積護岸工の倒伏の原因となり得るため、鉄線籠型多段積護岸工の下面には吸出し防止材を設置してこれを防御するものとする。

吸出し防止材としては、十分な強度、耐食性、施工性を有しかつ目詰まりを起こしにくいものを選ぶ必要がある。吸出し防止材に求められる具体的な規格を表 4.14.3～4 に示す。

表 4.14.3 吸出し防止材に求められる規格値 (1)

項目	規格	備考
厚さ	10mm 以上	
開孔径	0.2mm 以下	
引張り強度	1.0tf/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 K 7114 準拠 (ph5 ~ 9)
耐候性	70%以上 130%以下	JIS A1410、A1415 準拠

表 4.14.4 吸出し防止材に求められる規格値 (2)

試験項目	内容	単位	規格値	試験方法
密度		g/cm ²	0.12 以上	JIS L 3204
圧縮率		%	12 以下	JIS L 3204
引張強さ		tf/m	1.0 以上	JIS L 3204
伸び率		%	50 以上	JIS L 3204
耐薬品性	不溶解分	%	90 以上	JIS L 3204
透水係数		cm/s	0.01 以上	JIS L 3204

吸出し防止材の施工時、次の点に留意すること。

- 1)吸出し防止材の重ね幅は 10cm 以上を確保し、上流側の吸出し防止材を上重ねるように配置する
- 2)吸出し防止材は、ずれを防止するためのり面方向に縦に敷設する
- 3)背面土はかごに合わせて階段状に整形し、この形状に合わせて吸出し防止材を配置する。背面土を階段状に整形できない場合は吸出し防止材を背面地盤に合わせて敷設し、鉄線籠型多段積護岸工と吸出し防止材の間のできる隙間には碎石等を詰めるものとする。

14.2.7 洗掘対策

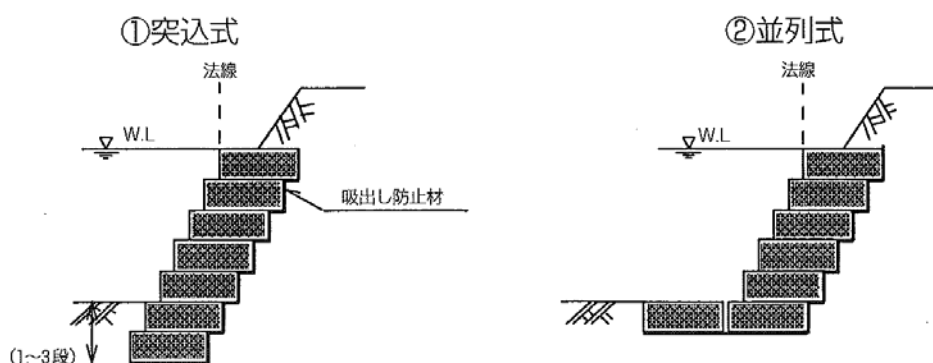
基礎部に生じる洗掘への対策としては、根入れを深くとる方法（突込式）と、鉄線籠を根固工として置く方法（並列式）の2とおりがある。河道や洪水流の特性に応じて好ましいほうを選択するものとする。

[解説]

鉄線籠型多段積護岸工の基礎部前面の河床が洗掘されると、鉄線籠型多段積護岸工全体の安定性が損なわれる恐れがあるので、洗掘現象に対する基礎部の保護工法があらかじめ必要となる。

基礎部の一般的な保護工法には、基礎部を現河床以下に突っ込む工法（突込式）と現河床付近に並列に設ける工法（並列式）がある。

基礎部の工法は、被災流量等による最大掃流力までの外力、河道の湾曲の度合い、砂州の形成及び移動の状況、河床の低下（局所洗掘も含む）等を総合的に判断して突込工法および並列工法のいずれかを選定するものとする。突込式の根入れの取り方については護岸基礎工の高さの設計に、並列式における並列部の敷設長さについては根固工の敷設幅の設計法にそれぞれ順じるものとする。なお、並列式の場合、並列部前面に発生する洗掘による屈撓の影響が多段構造本体に影響しないために、並列部のかごは多段積構造本体との連結は避け、分離して設けるものとする。



14.2.8 端部処理

既設の護岸に連続して設置する場合、あるいは天然河岸に擦り付ける場合、共に鉄線籠型多段積護岸工に接続する部分が水理的な弱点となりやすいので、その場所の特性に応じた適切な対策について講じること。

[解説]

通常の護岸に連続して多段積みかご工を設置する場合、鉄線籠型多段積護岸工が河積阻害を起こさないよう以下のように配置することを基本とする。この際に既設護岸にできる小口が水理上の弱点となりやすいので、小口止め工を配置して対処するものとする。

天然河岸の箇所に鉄線籠型多段積護岸工を設置する際、河積に余裕がある場合は下図右のように配置することにより、鉄線籠型多段積護岸工に接する部分で土羽による小口が形成されるのを防ぐとともに、接合部には砕石・栗石等を配置し、土羽を覆土して間隙を完全に埋める。

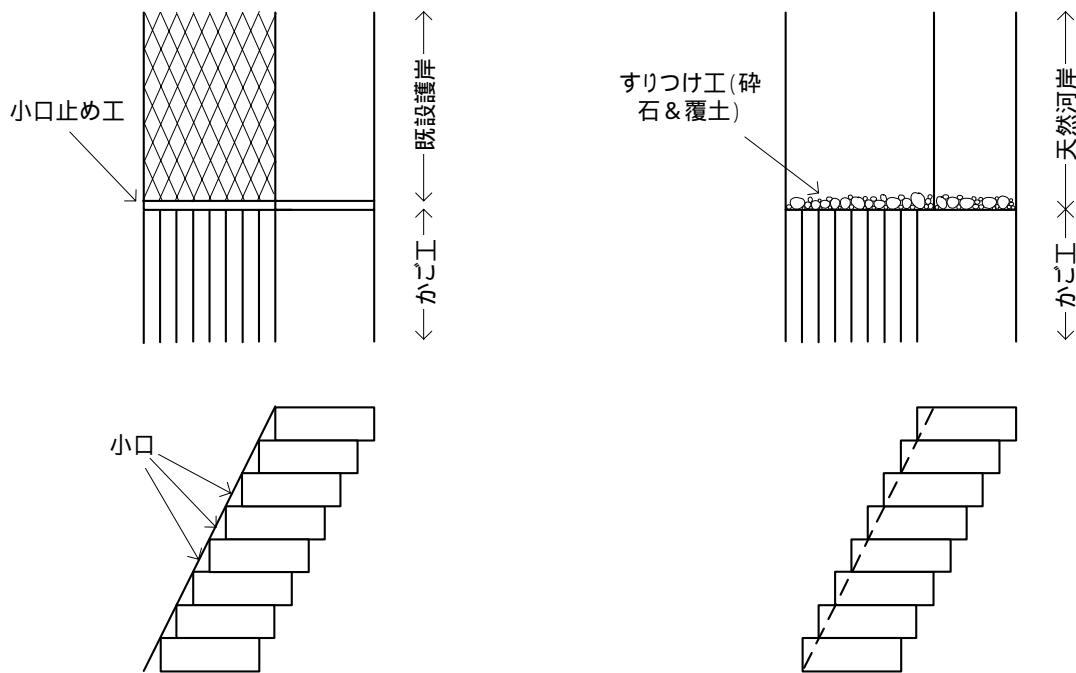


図 4.14.2 端部処理

14.2.9 のり勾配

鉄線籠型多段積護岸工ののり勾配は適用範囲内で極力緩やかにする。

[解説]

鉄線籠型多段積護岸工ののり勾配は、構造の特徴から適用範囲内(5分~1割)における任意の値に設定可能である。このため、5分勾配にこだわらず極力緩やかな勾配とし、用地の確保ができない場合でも、最低限現況河岸のり勾配に合わせることが望ましい。

14.2.10 兼用道路

鉄線籠型多段積護岸工は、基本的に道路路側を兼ねる必要のないところに設置するものとする。

鉄線籠型多段積護岸工の天端に近接する道路は、輪荷重分布内に鉄線籠が入らない位置まで離すものとする。ただし、未舗装で特に交通量が少ない道路(1日10台程度以下)は、輪荷重分布内に多段積みかご工の最上段の鉄線籠の天板が入らなければ設置が許される。

[解説]

輪荷重分布の影響範囲は、下図に示すように路肩の端部から45度下方に向けて伸ばした線の内側であり、この領域に鉄線籠型多段積護岸工が入らないよう道路を配置するものとする。

ただし、未舗装で特に交通量が少ない道路(1日10台程度以下)は、この規定が緩和され、輪荷重分布内に鉄線籠型多段積護岸工の最上段の鉄線籠の天板さえ入らなければ、仮に他の鉄線籠が輪荷重の影響範囲に入ったとしても設置が許されるものとする。

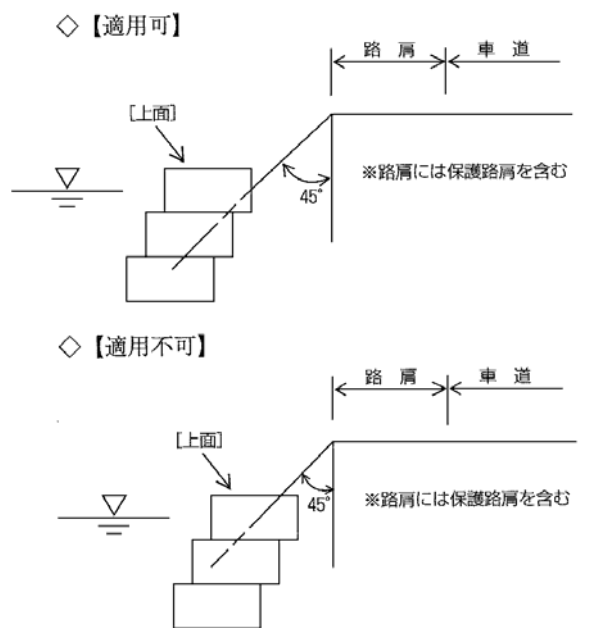


図 4.14.3 兼用道路との位置関係

14.2.11 鉄線籠の連結方法

鉄線籠型多段積み護岸においては、鉄線籠はコイル等で確実に連結されなければならない。

[解説]

鉄線籠型多段積み護岸は、個々の鉄線籠がすべて完全に連結して一体として強度を発揮することを期待される構造物であるので、多段積み護岸本体の鉄線籠各段の連結をコイル式とした場合、接続する長さは鉄線籠の全延長とする。

14.3 のり勾配が 1 : 1.0 ~ 1 : 2.0 の場合の運用

この範囲のものに対する取扱いについては今後検討すべきものであるが、当面以下のとおり運用するものとする。

表 4.14.5 のり勾配が 1:1.0 ~ 1:2.0 の場合の運用

のり面勾配	鉄線かごタイプ	留意事項
0.5 ~ 1.0	多段積	5 分にこだわらず、できるだけ緩やかに
1.0 ~ 1.5	-	多段積と張の複合型を検討
1.5 ~ 2.0	張 + すべり防止	できるだけ緩やかに
2.0	張	法長が長くなる場合はすべり防止を

* 「鉄線籠型多段積み護岸工法設計・施工技術基準（試行案）」より引用・補筆

第 15 節 鉄線籠型護岸工（張タイプ）

15.1 設計の基本

本節は、横断のり勾配が 1:2.0 より緩い河岸・堤防保護に用い鉄線籠型護岸工（張タイプ）の水理設計法を示したものである。

かご材が腐食すると護岸としての機能を発揮できなくなるので、構造上問題となる腐食を発生させる以下の条件を満たすところは適用除外とする。

鉄線籠型護岸工（張タイプ）は、土圧、局所洗掘を含む洪水時の流れの作用に対して安全な構造でなければならない。

[解説]

適用範囲（のり勾配）

鉄線籠型護岸工（張タイプ）の施工箇所の法勾配が急になると、法面に沿う摩擦力が不足して、滑りに対する安定が不足することになり、さらにはかご内の石が下方に片寄る傾向が強くなって、護岸としての機能を損なう恐れがある。このことを考慮し、本節では法勾配が 1:2 未満の急な区間は適用除外とする。ただし、中詰め石の水中安息角は 38 度～41 度であることが知られており、また、1:2 より急勾配における施工実績も数多くあるので、次の 2 点を考慮してのり覆工の滑りに対して十分な安全性が確保できる場合にあつては、1:1.5 までの法勾配の箇所に適用してよいものとする。

護岸上部において、摩擦力を含めた支持機能の補強を施した構造（折り返し構造等）

護岸のり尻部において、摩擦力を含めた支持機能の補強を施した構造（水平の護床工を施した構造および突込み構造等）

適用範囲（かご材の耐腐食性）

これについては、14.1 項 を参照のこと。

設計の基本

鉄線籠型護岸工（張タイプ）についての設計要件としては、

鉄線籠がのり面に沿ってずれ落ちないこと

洪水流の侵食作用を背面土にまで伝達しないこと

個々の中詰め材が流水の作用により抜け出さないこと

かごを構成する鉄線が破断しないこと

が挙げられる。これらの設計要件を満たす方法としては、かご工や中詰め材の諸元を直接規定する「規定設計法」が用いられている。水理設計などの性能規定が用いられていない理由については 15.1 項を参照のこと。設計要件と規定との関係を表 4.15.1 に示す。規定設計の内容については、構造・設計細目の項で詳述する。

表 4.15.1 設計要件と規定との関係

設計要件	規定
ずれ落ちないこと	15.2.2 護岸構造の選定
侵食作用を伝達しないこと	15.2.3 鉄線籠の構造 15.2.7 吸出し防止対策
中詰め材が抜け出さないこと	15.2.1 中詰め材の粒径
鉄線が破断しないこと	15.2.4 仕切り網の間隔と角度、15.2.5 線材の材質、 15.2.6 メッキ

15.2 構造・設計細目

15.2.1 中詰め材の粒径

中詰め材の粒径は下表に基づいて決定する。

のり勾配	代表流速 (m/s)	
水平～1:5	5.0 以下	5.0～6.0
1:3	4.8 以下	4.8～5.7
1:2	4.5 以下	4.5～5.0
中詰め材の粒径 (平均粒径)	5～15cm (10.0cm)	15～20cm (17.5cm)

条件が合わない場合は以下の方法により水理設計を行う。

$$d > \frac{V_0^2}{s \cdot g \cdot \tau_{*sc} \left(6.0 + 5.75 \log_{10} \left(\frac{H_d}{2.5d} \right) \right)^2}$$

$$\tau_{*sc} = \tau_{*c} \cdot \cos \sqrt{1 - \frac{\tan^2 \theta}{\tan^2 \delta}}$$

ここに、

d : 中詰め材の粒径, s : 中詰め材の水中比重,
 g : 重力加速度,
 τ_{*c} : 無次元限界掃流力 (= 0.10、張タイプの場合),
 V_0 : 代表流速, δ : 中詰め材の水中安息角,
 θ : のり面の傾き, H_d : 設計水深, k_s : 相当粗度,
 である。

代表流速 V_0 の計算方法は、「護岸の力学設計法」、「美しい山河を守る災害復旧基本方針」を参照するものとする。

上式では、 d についての陰形式となっているので、以下のように計算を進める。まず d を適当に仮定して右辺に代入し、左辺を求める。左辺の値 d を再び右辺に代入するという作業を繰り返し、 d の収束値を得る。

15.2.2 護岸構造の選定

鉄線籠型護岸工（張タイプ）は、所定の厚さと区切りを有した連続マット状の鉄線製のかご構造の中に詰め石を行い蓋網を施した構造とし、地盤変形等に順応できるようにする。

[解説]

鉄線籠型護岸工（張タイプ）を低水護岸として用いる場合、堤防護岸として用いる場合それぞれの基本形状・諸元を以下の図に示す。

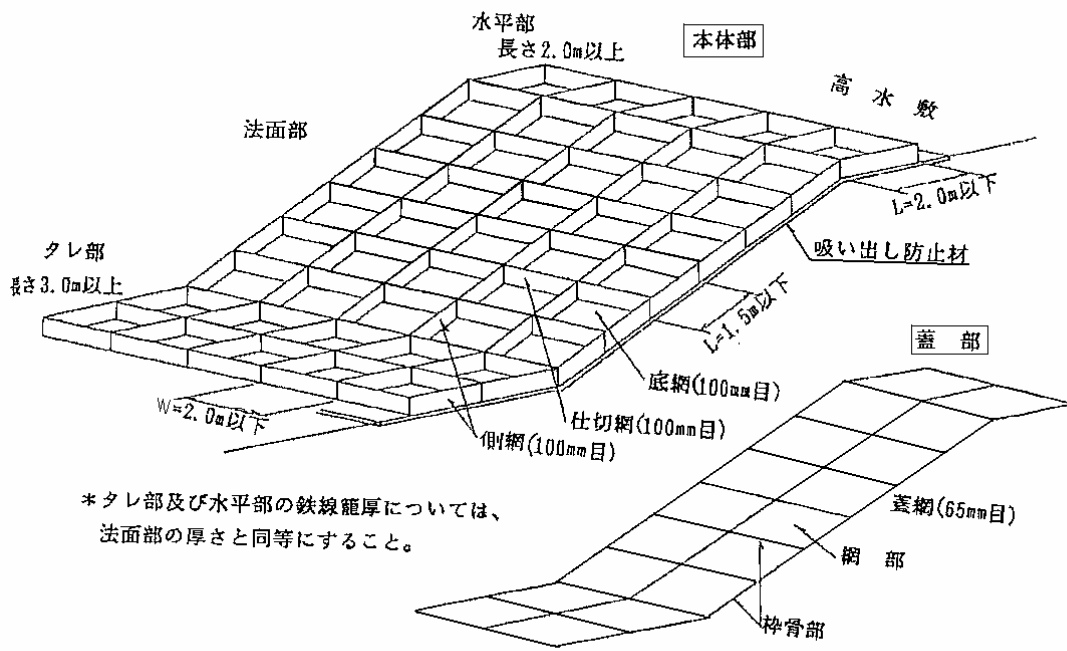


図 4.15.1 鉄線籠型護岸工（張タイプ）の構造

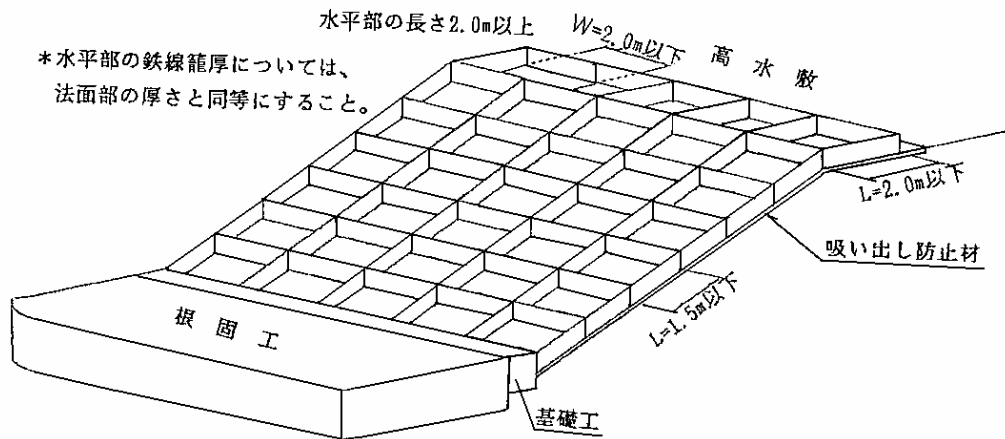


図 4.15.2 根固工を設置したもの

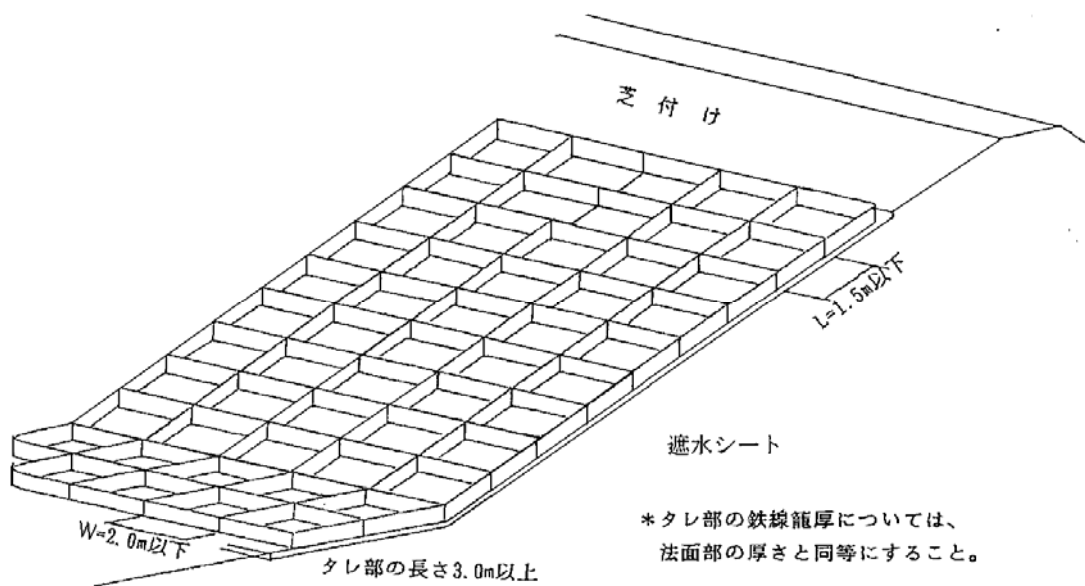


図 4.15.3 しゃ水シートを設置

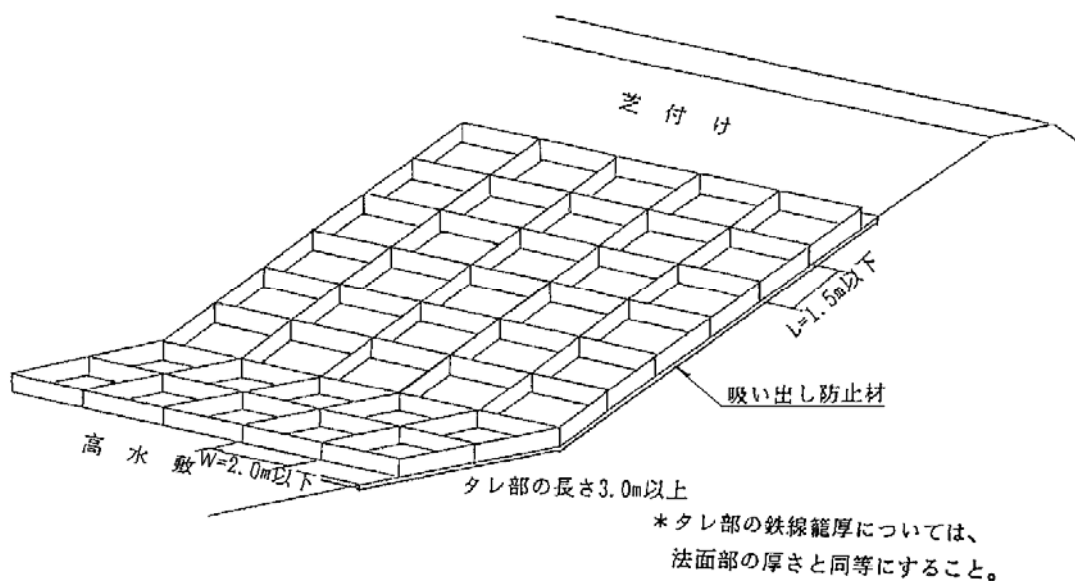


図 4.15.4 吸出し防止材を設置

低水護岸として用いる場合には、高水敷部の一部を覆う水平部を幅 2.0m 以上、タレ部を 3.0m 以上設けることを基本とする。

堤防護岸として用いる場合には、余裕高部分に張り芝を施すものとする。

なお、小規模河川を対象とした際、水平部・タレ部を十分に確保するのが難しい場合があり得るが、水理設計等により安全性が確認されれば変更が許される。

15.2.3 鉄線籠の構造

鉄線籠の厚さは、中詰め材の平均粒径の3倍程度を確保するものとする。

網目の大きさは、中詰め材料が抜け出さないように、かご厚30cmでは7.5cm、かご厚50cmでは10cmとする。

流水に直接さらされる蓋部については、流水の直接の影響を受けたり、流下物等による外力を受けること、さらには詰石の片寄り現象による蓋網のふくらみを抑制するための剛性を確保する等の機能を持たせるために、施工実績を考慮して網目の大きさを6.5cmとする。

網目の形状は、菱形を標準とする。

[解説]

鉄線籠の厚さは、洪水時に流れの作用によって中詰め材が多少かご網内を移動してしまったとしても、かご網の底面が直接流水によるせん断力を受けることがないような厚さにすべきであり、そのためには鉄線籠の厚さが中詰め材の平均粒径の3倍程度あればよい。

鉄線籠型護岸工（張タイプ）は、それ自身が屈撓性を持ち河床変動等へ追従することにより長期にわたって治水機能を発揮することを期待した工法であるから、かご網には柔軟性があることが求められる。しかし、流水に直接さらされる蓋に限っては、ある程度の剛性を有することで中詰め材の移動を防ぐことが求められるので、たわみの少ない、つまり剛性の高いものを使ったほうがよい場合がある。編み方等にも影響されるが、実験結果によれば、網目が細かいほど剛性が高くなる傾向があるため、蓋部には6.5mm網目を要求するものである。

網目の形状は、様々なものがあるが、実績のある菱形を標準とする。ただし、他のものの導入を拒むものではなく、適用する河川の条件、必要な屈撓性等を考慮し、適切と判断されるものであれば適用が許される。

15.2.4 仕切り網の間隔と角度

仕切り網の設置間隔については、タレ部及び法面部1.5m以下、水平部2.0m以下を標準とする。

仕切り網の取付角度はのり面に直角とする。ただし、厚さ50cmのかごであってのり勾配が1:2未満の急な場合には鉛直になるようにする。

また、側網間隔は2.0m以下を標準とする。

[解説]

流水の作用等による中詰め材の移動・片寄りは鉄線籠の機能低下・それ自身の破損につながるため、これを防止するために仕切り網を設置するものである。上記の規定は機械施工による中詰め材の投入し易さ等を考慮してのものであるため、設置予定地点の流速が大きく中詰め材の移動が起りやすい等の条件がある場合には設置間隔をこれよりも縮めてもよい。

15.2.5 線材の材質

鉄線籠に使用される線材は、以下に示す品質のもの、又はこれらと同等品以上のものを使用するものとする。また、ステンレス等の線材を用いる場合にも、以下に示す品質のものと同様品以上のものを使用するものとする。

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

線材の引張り強度は 290N/mm² 以上とする。

線材の品質は、生産過程での管理試験成績および公的試験機関等による品質試験結果を用いて適切に管理するものとする。

[解説]

ここでは、基本的な使用線材として、淡水中での耐用年数 30 年程度を確保するものとして、「亜鉛 + アルミ合金メッキ鉄線」(アルミ含有量 10%、付着量 300g/m² 以上)(以下、「滑面メッキ鉄線」という)を使用するものとする。滑面メッキ鉄線の品質は、JISG3547 の規格を準用する。なお、メッキ鉄線に対してステンレス等の高強度材料を用いる場合にも適切に判断し使用するものとする。

「粗面メッキ鉄線」は、蓋網用として鉄線に粗面メッキを施したものであり、従来の滑面メッキ鉄線の滑りやすいといった短所を改良したものである。しかし、粗面メッキは、表面積が大きくなることもあって、その腐食減量速度は滑面メッキの約 2 倍という試験結果がある。そのため、通常スチールと同程度の硬度を持ち、耐久性の高い(3 倍以上といわれる)「マグネシウムを混入した粗面メッキ鉄線」や、これと同様品以上のものを使用する。

蓋網部の線材については、現場毎に以下の項目も含め、周辺環境や設置条件等、および施工性、経済性なども総合的に判断のうえ、適切な線材を使用するものとする。

・強度

洗掘時の破断抵抗および洗掘に追従する屈撓性を有する鉄線籠本体の一部として機能するため必要な強度を確保するため、鉄線の引張り試験 (JISG3547) を行い、290N/mm² 以上の強度を有することを確認する。

・摩擦抵抗

すべりに対する十分な安全性を保持するための摩擦抵抗については、面的摩擦試験により摩擦係数を確認する。なお、滑面めっき鉄線を基準とした品質向上の程度については、体感試験結果を参考にされたい。

15.2.6 吸出し防止対策

鉄線籠型護岸工（張タイプ）の下面には、護岸下の土砂の流出および吸出しを防止するため吸出し防止材を設置することを標準とする。また、高水護岸においては、必要に応じて遮水シートを設置するものとする。

[解説]

鉄線籠型護岸は、かご体内部にも流れが発生し、背後地盤の表面に減速された流れ（以下残流速という）が残るという特性がある。このため、残流速と護岸下の地盤の土質との関係において、土砂の侵食、流出が起こることがある。また、背後地盤の内水位と河川水位の水位差等の関係においても、地盤内土砂の吸出し現象が起こることがある。このようなことから、鉄線かご型護岸の安定を維持するために、かご工の下面に「吸出し防止材」を設けることを標準とする。

一方、浸透、浸食を重視して設計される堤防護岸として鉄線かごを設置する場合には、鉄線籠型護岸工（張タイプ）の下面に必要に応じて「遮水シート」を設置するものとする。

* 「鉄線籠型護岸の設計・施工技術基準（案）」より引用・補筆

15.2.7 鉄線籠の連結方法

鉄線籠の連結方法については、14.2.11 に準じるものとする。

第 16 節 小構造物

16.1 設計の基本

河川管理施設となる水路、階段等の小構造物については、原則として「工作物設置許可基準」に準じて設計するものとする。

16.2 構造・設計細目

16.2.1 水路

堤内地の堤脚付近に設置する水路については、「堤内地の堤脚付近に設置する工作物の位置について」(平成6年5月31日付け建設省河治発第40号建設省河川局治水課長通達)で通知されている「2Hルール」を冒さないように留意しつつその配置を決定しなければならない。

[解説]

堤内地の堤脚付近に設置する水路をはじめとする許可工作物については、「堤内地の堤脚付近に設置する工作物の位置について」(平成6年5月31日付け建設省河治発第40号建設省河川局治水課長通達)いわゆる2Hルールによりその設置位置が規定されている。ただし、堤脚保護擁壁や堤脚水路等の堤防構造の一部である河川管理施設については、これによらなくても良い。なお、堤脚部に設置する構造物のうち比較的断面が大きく止水性のあるものは、堤防の浸潤面の上昇を助長することから透水性構造又は水抜き対策が必要である。

なお、2Hルールの概要を下図により示す。

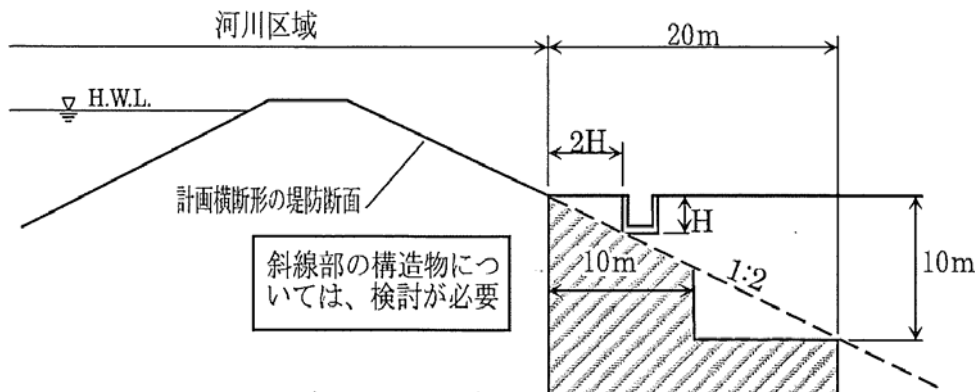


図4.17.1 2Hルール

16.2.2 階段

堤防から高水敷あるいは水面へのアクセスを容易にするためのスロープ・階段は、適切な位置に積極的に設置するものとする。ただし、洪水時、階段が流水に与える影響を最小限に留めるべく、河道法線形についてもあわせて検討を行い、必要に応じて是正・補強するものとする。

[解説]

堤防から高水敷あるいは水面、掘込河道の場合は背後地から水面へ人が往来し易くするためのスロープ・階段は、適切な位置に積極的に設置するものとする。なお、ここでいう適切な位置とは、洪水時に流れの集中・加速がない箇所、河岸際に局所洗掘が発生していない箇所のことである。

スロープ・護岸の設置に際しては、条件が許す限り緩く設置するように心がけ、適切な踏みしろ、段差を設定するものとする。また、利用者の落下対策として手すりを設置する場合には、洪水時にごみ等が引っかかって洪水の安全な疎通に対して阻害とならないよう注意しなければならない。

スロープ・階段の設置により、洪水時に流水が乱れ、堤防等に被害をもたらすことがあってはなら

ないので、スロープ・階段の設置を計画する場合には河道法線形についてもあわせて検討を行い、必要に応じて是正・補強するものとする。特に、スロープ・階段直下流のすりつけ護岸部分は洪水時に大きな流体力を受ける可能性があるため、護岸の形式としては玉石練積みなど強固なものを選択する。

流水に与える影響の少ない堤防法線と階段の組合せの例、およびすりつけ護岸部のり尻に発生する局所洗掘に対する対策例を以下に例示する。

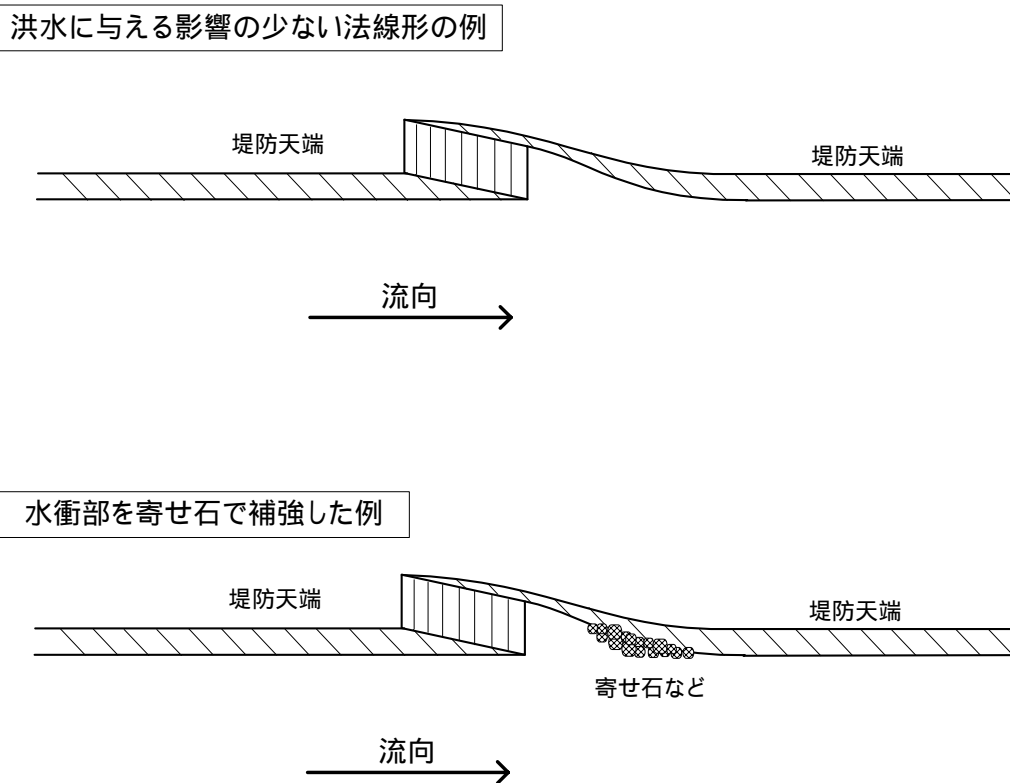


図 4.16.2 階段の設置方法

第 17 節 モニタリング（施設）

17.1 施設計画の評価に関わるモニタリング

施設計画の評価に係るモニタリングとは、河川計画、砂防（土砂災害等対策）計画に基づき配置された施設等が、その後の自然的・社会的条件の変化の中で、本来果たすべき施設の機能が発揮されているかを総合的に監視することである。モニタリングを踏まえ評価し、必要に応じて施設計画にフィードバックするものとする。

[解説]

河川計画、砂防（土砂災害等対策）計画に基づき河川管理施設、砂防設備及び許可工作物等の施設が、設置されているだけでなく、計画時に想定した施設の機能が発揮されていることが重要である。施設配置後の流域の自然、社会条件の変化や河川特性の変化により、配置された施設が本来の機能を十分発揮していない事例もある。

このため、これらの施設等が本来の機能を発揮しているかどうかの監視、評価を行うものとし、必要に応じて施設計画にフィードバックするものとする。例えば、農地の減少による取水量の見直し、河床低下による取水施設の改築、魚道を設置した場合の魚類等の通過量等が該当する事例であり、施設の老朽化等による施設機能の低下については 17.2 で記述する。

17.2 機能の維持に係るモニタリング

機能の維持に係るモニタリングとは、河川計画、砂防（土砂災害等対策）計画に基づき配置された施設等が、施設に要求される本来機能を確保しているか総合的に監視することである。モニタリングを踏まえ評価し、必要に応じて維持管理にフィードバックするものとする。

[解説]

河川堤防や床止め等の河川管理施設は、河川管理施設等構造令等に示す機能を有する必要があり、この機能が衰退することなく持続的に発揮されることが河川等の管理に当っては非常に重要となる。

水・土砂等管理のための計画策定及び施設配置に当っては、維持管理のレベルを考慮して施設に要求される機能が発揮されるように計画、設計することとなるが、配置された施設等が所要の機能を確保しているかどうかについては、測量や計測機器等に基づく監視を十分に行い、この結果を基に施設機能の評価を行うことが重要となる。

監視の項目、時期や頻度はそれぞれの施設等の配置目的及び要求される機能に応じて実施することとなるが、一般には定期点検、洪水や高潮時及びその後の点検等により監視することとなる。また、計器による計測は、施設設計、施工時に考慮しておくことが効率的である。

監視の結果はあらかじめ定められた様式に整理することが重要であり、施設等の機能の評価に活用される。施設機能が衰退し、施設本来の機能を発揮していないと判断された場合には、施設の改築を含め施設計画へフィードバックされるとともに、維持管理の強化にフィードバックし、施設の適正な機能維持に資するものとする。

* 「河川砂防技術基準計画編」より引用

流水中の物体には流体力が作用します。流体力には抗力、揚力、浮力といった力が含まれます。河川構造物の安定性について検討する際、必然的にこれらの力について考えることとなりますので、その性質について知っておくことは有益でしょう。以降の技術コラムでは、抗力、揚力、浮力について説明していきたいと思います。

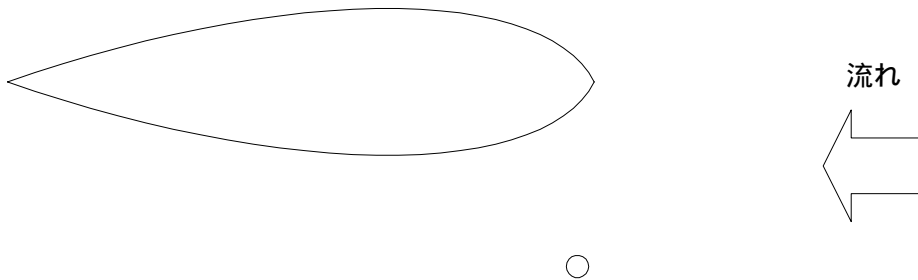
効力は、流水中の物体に対して流水方向に作用する力です。川に手を突っ込んだ時に我々が最も直接的に実感できる力といえるでしょう。抗力は物体表面に作用する力（表面抵抗）と物体の上下流に生じる圧力差に起因する力（形状抵抗）に分けられます。流速も物体も小さい場（正確に言えばレイノルズ数が小さい場）では表面抵抗 > 形状抵抗ということもあるのですが、河川工学上の場合では形状抵抗のほうが圧倒的に大きく、表面抵抗は無視できます。

抗力 D は次式で表されます。

$$D = \frac{1}{2} C_D \rho A V^2$$

ここに、 C_D : 抗力係数、 ρ : 水の密度、 A : 投影面積、 V : 無限遠での流速

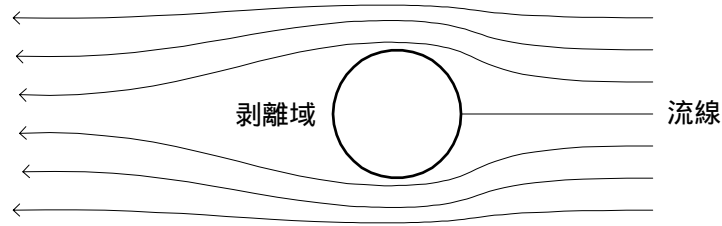
C_D は物体の形状によって変わる係数です。しかもその変わり方が非常に大きいのです。よくある例題をここに引用してみましょう。以下の図にその断面形を示す細い棒と流線型の柱を川に突っ込んだ場合、どちらに作用する抗力が大きいでしょうか？



抗力の比較

正解は細い棒です。流線型断面の円柱は、形を細身にすれば C_D は 0.05 くらいまで下げられるのに対し、棒の方の C_D は 1.2 ~ 1.4 と 20 倍以上も大きいのです。投影面積の差、上図では物体の幅が 20 倍違っても抗力は同じくらいですから、上図の程度では細い棒のほうに作用する抗力のほうがダントツに大きいのです。

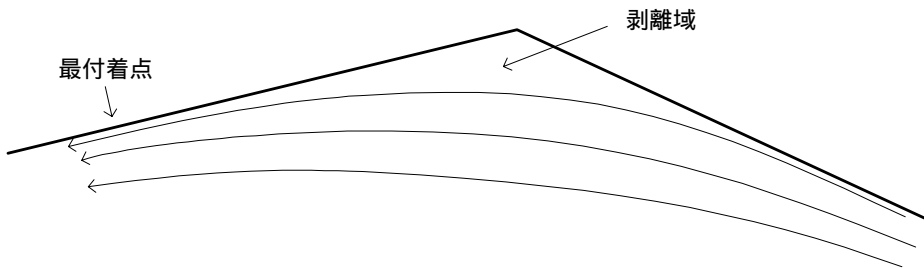
ではなぜそうなるのでしょうか。それは棒のほうには棒の下流に「剥離域」ができるからなのです。逆にいうと、流線型のほうは「しっぽ」の部分が剥離域を作らせないようにしているから形状抵抗が小さいのです。



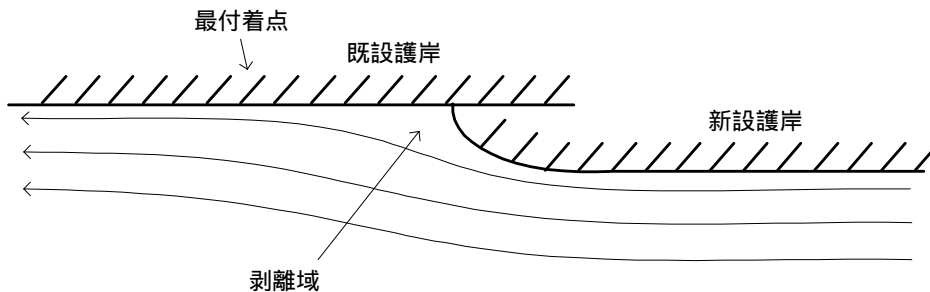
円柱周りの流線網と剥離域

ところで、流線型断面を見てなにかに似ていると思いませんか。そう、魚の形です。彼らは抗力をほとんど受けずに泳いでいるのです。上流にすいすいと余裕でさかのぼれるのもこれが大きな理由の一つです。単に泳ぎがうまいとか、筋力があるとかのせいではないのですね。

以上のことから、流線を剥離させるような形状のところでは大きな抗力が作用することがわかりました。この知識は河川管理上あらゆるところに役立ちますが、端的な例を一つ示しましょう。それは河道の法線形のあり方論です。つまり、河道の法線形を滑らかでない形に作ると、護岸などの河川構造物には余分な力が（それもばかでない）作用することになるのです。滑らかでない形の例としては、「法線形の屈曲」、「どん付け」が挙げられます。



法線形の屈曲



どん付け

「法線形の屈曲」、「どん付け」のいずれも流線の剥離を起こすので、大きな流体力が発生します。また共

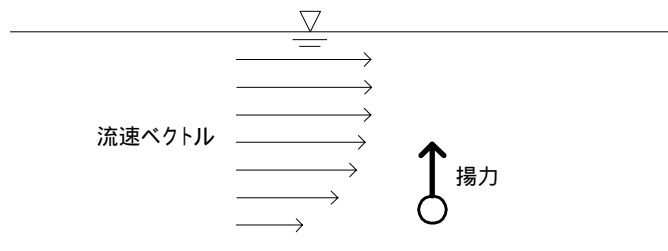
に「流線の再付着」現象が発生し、ここで大きなせん断力が護岸に作用することがわかっています。いずれも既設護岸と新設護岸の接点で既設護岸を壊すことを恐れてしばしば発生する状況ですが、特に浸透が懸念されるところを除き、構造上の切れ目を残すことのほうが法線を屈曲させたりどん付けを行うより安全であるといえるので、設計の際には注意したいものです。

揚力は流体中の物体に対し、流れと直角方向に作用する力です。揚力を利用する有名なものはなんといっても飛行機でしょう。飛行機の翼の断面は以下のような形をしています。



飛行機の翼などにみられる流線型

先ほど抗力のところで例示した流線型とは違い、ひしゃげています。このひしゃげかたが揚力を生むミソなのです。揚力は、ごく簡単に言えば物体の上下で流速差があれば発生するのです（水理的には「循環」がある状態といいます。例えば物体が上下対象でも例えば河床近くのように水深ごとに流速が変わる流れ場（せん断流）ならば循環は有限値となり揚力が作用します。洪水時に砂粒が浮かび上がり流下するものこの力があってこそと言えるでしょう。



せん断流中の砂粒に作用する揚力

さて、飛行機の翼の話に戻します。飛行機の翼では、翼の上側で流速が速くなりますので上向きの揚力が働きます。これが飛行機を空中に持ち上げる力の源になります。飛行機の翼の断面形は、なるべく揚力を大きく、かつ抗力を小さくしようと工夫した結果生まれたものなのです。

揚力 L の大きさは次式で表されます。

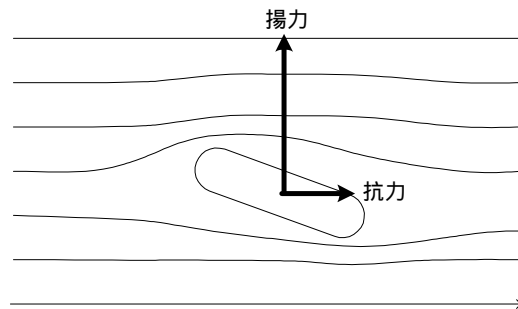
$$L = \frac{1}{2} C_L \rho A V^2$$

ここに、 C_L : 揚力係数、 ρ : 水の密度、 A : 揚力作用面積、 V : 無限遠での流速

抗力の式と似ていますね。実は揚力係数は抗力係数と同じオーダーにありますので、揚力は抗力と同じくらい大きな力です。抗力と違い直感的に感じることの少ない力ですがあなどれません。

河川の管理の仕事では、揚力は河川構造物の設計の中でよく扱われますからもうお馴染みかもしれませんが、注意が必要なのは橋脚に作用する揚力です。小判型や長方形断面を持つ橋脚の向きは洪水流の流線に合わせて決めることになっています。向きがずれていると抗力が大きくなることは想像に

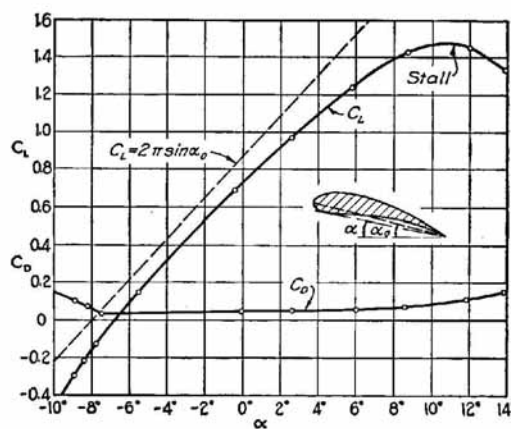
難しくありませんが、本当の問題は揚力のほうにあるのです。洪水流の向きと橋脚の向きがずれている場合の流れの状況を以下に模式的に示します。



流れに対し斜めに置かれた橋脚に作用する揚力・抗力

この図のように、揚力は概ね橋軸方向に作用します。揚力により橋脚が撓むと上部工が落ちる危険性が增大するわけですから、揚力の作用は橋脚にとって大きな敵となりうるわけです。しかも、現実の流れ場では揚力、抗力に加えカルマン渦による揺動も加わりますので大変です。

揚力の大きさは、流れと橋脚のなす角によって変わります。揚力の大きさは上に示した式によって決まりますが、揚力係数 C_L とこの角度との関係については次の研究報告が有名です。



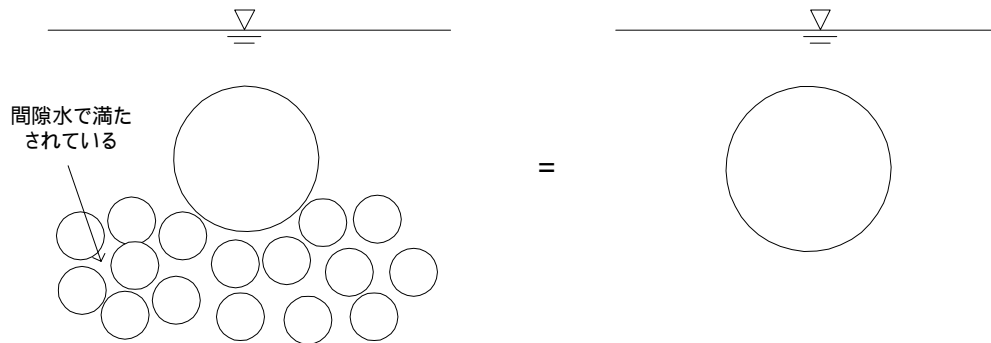
流線型断面の柱を流水中に角度を持たせて設置した場合の揚力係数・抗力係数

この図が示すように、角度によって揚力係数は大きく変わるので、橋梁を設計する際には洪水流の向きを正確に推定することがどれだけ大切かがよくわかると思います。

洪水流の向きを予測する方法として最も確実なのは模型実験ですが、最近ではコンピュータの性能向上により二次元～三次元洪水流計算を実施すればこれと同等の精度で流向を求めることが可能となりました。要する費用も模型実験と比べ遥かに小額で済むので、流向を予測しにくい河川に規模の大きな橋梁をかける場合には積極的に活用したいものです。

浮力は、これまで述べた抗力、揚力とはやや性質の異なる力です。というのは、流速がなくても生じる、流速の向きとは無関係に重力の作用方向と反対に作用する、という違いがあるからです。

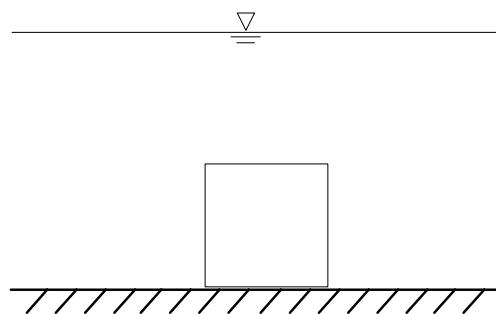
浮力は水中の物体に対し下向きに作用する水圧と上向きに作用する水圧との差により発生することはよく知られています。では実際の河川の河床に置かれた物体にはどのように浮力が作用するのでしょうか。



河床上の物体と浮遊した物体に作用する浮力の比較

河床材料の間隙は、よほど細かな材料が混ざっていない限り水で満たされていますので、上図のように水面からの距離が同じであれば河床材料の有無に関わらず物体に作用する浮力は同じになります。河床に設置する床止工などもこの考えに従い浮力を計算しているわけです。

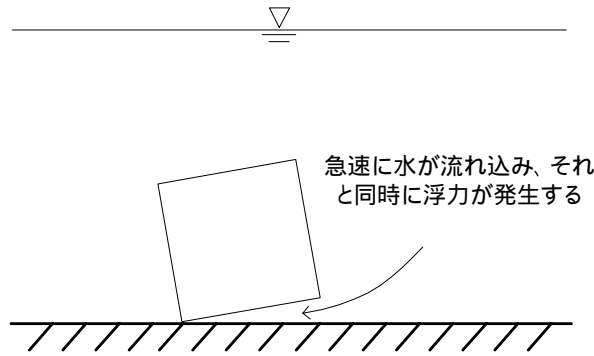
でも、もし河床がコンクリートなど水の入らないものであったらどうでしょう。以下の系で考えてみましょう。答えをいうと、実は浮力は作用しません。



コンクリート河床の上に置かれた物体

これを無理に引き上げると、物体とコンクリート床版の間に水が流れ込み、それと同時に水圧が発生します。この水圧が物体の底面全体にむらなく作用するようになれば普通に浮力が作用するようになります。このことはみなさんお風呂の中で簡単に実感することができます。風呂の底に密着する形

をした物体を底に置いて、これを引き上げてみてください。引き上げる過程で風呂の底と物体の間に水が入るに従い浮力が発生するので、あたかも底に張り付いていた物体を引き剥がしたような感覚が得られることでしょう。



コンクリート床版に密着した物体を吊り上げる場合の挙動