

第6編 溪流保全工等その他の砂防施設

第1章 溪流保全工

1 溪流保全工の基本

溪流保全工は、安全に土砂や洪水を流下させることを目的とし、さらに、現況の溪流を極力改変しないように計画、施工を行い、治水上の安全の確保と溪流の生態系の保全を図るものである。

掃流区域だけでなく、土石流対策堰堤から下流への接続流路として計画される場合もある。



溪流保全工

1-1 地域の治水上の安全の確保

(1) 土砂災害の防止

洪水流の乱流、および溪床の過度の変動、溪岸侵食等により土砂災害が発生する可能性がある地域については、砂防施設を適切に配置して土砂災害を防止し、地域の安全を確保する。

(2) 緩衝的な空間の確保

- ① 保全対象が溪流に隣接して存在すると、豪雨時等の出水時に被災する可能性が高くなることから、溪流と保全対象にある程度の緩衝的な空間を確保する。
- ② 対策例として、溪流空間を緩衝的な空間（土砂の滞留空間）として活用することで土砂災害の危険性を軽減することが可能であることから、溪流空間を広く確保して土地利用の誘導を図る。
- ③ 土地利用上、緩衝的な空間を確保することができない場合は、洪水流を安全に流下させることに重点を置くものとする。

1-2 溪流の生態系の保全

(1) 溪流空間の確保

溪流空間は、溪流の溪床や溪岸、河岸段丘等、土砂の移動により攪乱を受けて、その地域に特有の植生環境、生息環境が形成され、景観を創り出している。溪流空間として確保することが可能な地域については、溪畔林等を含めて積極的にこれらの空間を取り込むものとする。

(2) 溪流空間の多様性・連続性の保全

- ① 溪流空間の多様性、連続性を保全するために自然溪流においては、現在の地形を極力改変しないように配慮する。
- ② 既に砂防施設の整備がなされている場合は、溪流の多様性、連続性を創造することも考慮して基本方針を設定する。

(3) 砂防施設の材料

- ① 砂防施設は生態系に対する影響を最小限に抑え、溪流の多様性、連続性の保全に配慮するものとし、施設に求められる機能に応じて透水性の高い材料や植生等が侵入しやすい材料、景観を選択肢に含めて材料選定を行うものとする。
- ② 土砂や木材などの自然材料を用いようとする場合には、あくまでもその現場または現場周辺で砂防工事等によって生じた土砂、伐採木、または流通している自然材料もその地域に生息している植生の範囲にとどめるものとする。

1-3 溪流保全工の整備の考え方

(1) 溪流保全工の基本方針の明確化

- ① 対象とする地域における各種の要請(治水上の安全、生態系の保全、溪流の利用等)について、どのような整備が望まれているか明らかにし、その地域における溪流保全工の基本方針を明確化する。
- ② 溪流環境整備計画がすでに策定されている場合には、その方針に基づき設定する。
(「第1編 6-4 溪流環境整備計画の策定について」参照)

(2) 整備の方針

溪流保全工は、土地利用形態、保全対象の分布等、溪流の特性等を踏まえ、その場に応じた整備の考え方を明確化する。(保全対象の隣接に関しては図 1-10-1 を参照)

- ① 保全対象が隣接していない地域
保全対象が溪流に隣接していない空間では、保全対象に影響がない程度に河床変動を許容するため、溪流空間を積極的に取り入れて土砂の滞留空間を確保する。
- ② 保全対象が隣接している地域
保全対象が隣接しており、洪水や過度な河床変動によって土砂災害の危険性が高い空間では、洪水流の安全な流下を図るものとする。

(3) 溪流空間の確保

- ① 溪流保全工における溪流空間は、洪水や土砂の一時的な滞留の場として防災的に機能する空間かつ日常的には生態系の保全に寄与する空間として整備する。
- ② 整備にあたっては、滞筋の変遷など過去の溪流の移り変わりを把握し、現在の土地利用状況を勘案しながら、空間を確保する。

(4) 溪畔林の利用

- ① 溪流保全工における溪畔林は、砂防法上の砂防設備に準ずるものとして位置づける。
- ② 溪畔林は、現存するものを保全することを基本とし、新たな植栽は行わないものとする。
- ③ 溪畔林を砂防設備として活用するにあたっては、必ず砂防構造物(床固工、帯工、水制工等)を併用するものとし、また流木災害が発生しないように留意する。

(5) レクリエーションの場としての活用

溪流保全工の整備にあたって人とのふれあいの場としての要請が高い場合には、溪流の利用を計画に反映させるものとする。その場合には、地域の要求等を十分に把握してこれらの要請に配慮する。

(6) 維持管理の実施

溪流空間は時間的・空間的に常に変動する場であり、これらの影響を受けて溪流空間の河床の状態、動植物も変化する。また、各種の砂防施設もこれらの変動の影響を受けて機能が低下する可能性がある。溪流保全工の機能を発揮させるため、定期的に監視（モニタリング）を行い適切な維持管理を実施するものとする。

2 溪流保全工の構成

- ① 溪流保全工は、洪水流の乱流、および河床高の過度の変動を抑制するための施設（床固工、帯工等）、溪岸侵食を防止するための施設（護岸工、水制工等）、細粒土砂を堆積させるため等の施設（溪畔林等）などで構成することを基本とする。
- ② 溪流保全工は、砂防施設（溪畔林を含む）と溪流空間がもつ土地利用誘導的な緩衝地帯（バッファゾーン）等の機能を活用しながら、溪流を総合的に整備するものであり、治水上の課題を解決するために必要となる砂防施設を溪流空間に適切に配置する。
- ③ 砂防施設の配置にあたっては、溪流の多様性、連続性を損なうことにならないよう配置し、溪流の生態系の維持についても配慮する。

2-1 溪流保全工の整備のあり方

- ① 土地利用形態、保全対象の分布、溪流特性を勘案して、洪水流の安全な流下を図ることが必要である空間、河床高の変動をある程度許容して、現在の地形をなるべく改変せずに溪流の多様性、連続性を保全することが可能な区間を分けるものとする。
- ② 溪流空間を積極的に活用する区間については溪流空間を砂防指定地によってその範囲を確保し、その空間全体で土砂処理を検討する。

2-2 保全対象との関連

(1) 保全対象が隣接していない地域

- ① 現在の溪流の状態をなるべく改変しないように整備する。
- ② 床固工、帯工、護岸工、水制工、溪畔林等を溪流空間内の特性に合わせて適切に配置し、防災的な効果とともに溪畔林と動植物の生息範囲が有する溪流の多様性、連続性を確保する。

(2) 保全対象が隣接している地域

洪水流を安全に流下させ、洪水の乱流や過度な河床変動を抑制するために、床固工、帯工、護岸工、水制工を適切に配置する。

3 溪流保全工の計画手順

溪流保全工の計画は、溪流保全工の基本方針を明確にし、溪流保全工を計画する空間を設定して、基本方針に基づいて溪流の空間整備を行うものである。

3-1 溪流保全工の基本方針

- ① 溪流保全工の基本方針とは、その地域の自然、社会条件をもとに、治水上の課題、自然環境、その地域において要請される各種事項を把握して設定する。
- ② 溪流保全工の整備の最も重要な基本方針は地域の治水上の安全の確保であり、その実施にあたっては溪流の生態系の保全にも配慮する。
- ③ 当該地域の生活と溪流のつながり、すなわち、溪流と人の関わりにも配慮する。
- ④ 健全な溪流の生態系を維持していくためには、溪流の物質運搬、流路変動等の攪乱を受ける不安定な立地、魚類等の水生生物の生息空間を極力損なわないようにしなければならない。
- ⑤ 溪流保全工の計画は以下のミティゲーションの考え方を適用する。
 - a. 回避：護岸や床固工を設置しないで、下流に導流堤や遊砂地をつくる。
 - b. 最小化：護岸や床固工の規模を抑える。透水性の高い材料を用いる。
 - c. 代償：瀬淵や魚類の産卵床、特殊な生物の生息場を別に創造する。
 - d. 修復・回復：工事によって改変した地形等を工事前の状況にもどす。

(ミティゲーション)

- ・回避 —— ある行為またはその部分的な行為をしないことによりすべての影響を回避する。
- ・最小化 —— ある行為またはその実施の程度または規模を制限することにより影響を最小化する。
- ・修正 —— 影響を受けた環境を修復、再生または回復することにより影響を修正する。
- ・低減 —— ある行為の期間中の保存および維持により時を経て生じる影響を低減または除去する。
- ・代償 —— 代価的な資源または環境で置き換えるか、またはそれを提供することにより、影響を代償する。

- ⑥ 回避、最小化については以下の事項について配慮する。
 - イ. 構造物の配置を極力抑えるものとする。
 - ロ. 横断形状を全て矩形断面のように画一的に固定するのではなく、ある程度は変動するような余裕を確保する。
 - ハ. 背後地の状況等を勘案して洪水流や土砂の滞留区間を設定できる場合には、溪畔林等を含めてその空間を積極的に取り組むなど、現況の溪流の平面、縦断、横断形状を尊重しながら、溪流空間の持つ緩衝地帯的な機能を有効に活用して土砂処理を行い、環境への影響を最小限に留める。
 - ニ. 数年や数十年に一度起こり得るような発生頻度の高い自然攪乱を抑制しすぎないように配慮する。
- ⑦ 代償については、流路の整備によって失われる環境（魚類の産卵床、瀬淵、特殊な生物の生息場等）を別に確保する。
- ⑧ 修復・回復については、施工などによって地形を改変した場合には、復元レベルを明確に設定して、このレベルに達するように環境を復元する。

3-2 溪流保全工の計画手順

溪流保全工の計画手順を図 1-3-1 に示す。

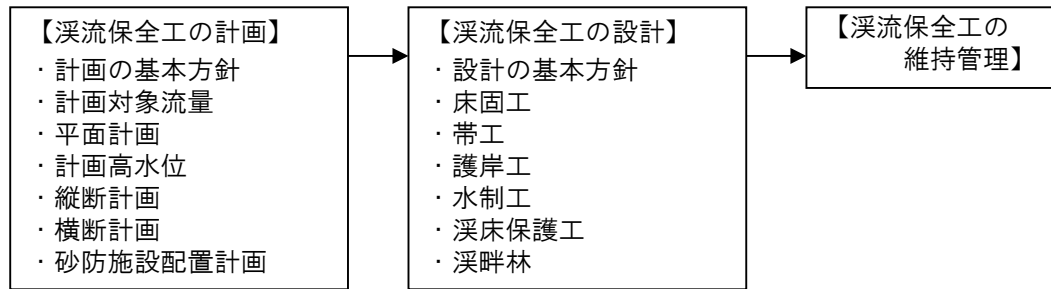


図 1-3-1 溪流保全工の計画手順

4 溪流保全工計画の基本方針

溪流保全工の計画は、地域の安全の確保、溪流の生態系の保全等、溪流保全工に求められる機能を発揮できるように、溪流空間内に砂防施設（床固工、帯工、護岸工、水制工等）を適切に配置する。

(1) 基本方針の設定

- ① 保全対象が隣接していない地域では、現在の溪流を極力改変しないように配慮するものとし、溪流の多様性・連続性を十分確保した上で、溪岸・溪床侵食による土砂流出抑制を行い、下流への有害土砂流出を防止する。
- ② 保全対象が隣接している地域で土地利用が進行している都市部や郊外では、洪水流の乱流および溪床高の変動、溪岸侵食等により被災する可能性があるため、洪水流を安全に流下させることで土砂災害を防止する。

(2) 溪流の多様性・連続性の保全

溪流の生態系を保全するためには、溪流の多様性・連続性を維持することが必要である。従って、自然溪流においては、溪流の横断形状や縦断形状を改変せずになるべく現況を維持する。

(3) 溪流保全工の対象範囲（砂防指定地）

- ① 溪流の多様性・連続性を維持するために、溪流の溪床や溪岸や河岸段丘等、土砂の流出により攪乱を受けて変動する不安定な立地を溪流保全工の対象範囲として設定することが望ましい。
- ② 溪流保全工の対象範囲は溪流空間を基本とし、溪畔林調査や土地利用調査等から溪流空間の変遷を把握して、現在の土地利用状況を勘案しながらできる限り広範囲に設定し、砂防指定地として管理していくものとする。
- ③ 溪流保全工の対象範囲には管理用通路を含めて設定する。

5 計画対象流量

計画対象流量は、過去の災害履歴、計画対象流域の大きさ、対象となる地域社会の経済的重要性、想定される災害等から総合的に判断する。

- ① 計画対象流量は、基本的に対象降雨量を設定し、この年超過確率で評価する。参考に河川の計画規模の標準は表 1-5-1 のとおりである。一般に、河川の重要度は 1 級河川の主要区間においては A 級～B 級、1 級河川のその他の区間および 2 級河川と都市河川においては C 級、一般河川は重要度に応じて D 級あるいは E 級が採用されている場合が多い。

表 1-5-1 河川重要度と計画の規模

河川の重要度	計画規模 (対象降雨の降雨量の超過確率年) [※]
A 級	200 以上
B 級	100 ～ 200
C 級	50 ～ 100
D 級	10 ～ 50
E 級	10 以下

[河川砂防技術基準(案)同解説 計画編 第 2 章 2.4] ※年超過確率の逆数

- ② 計画対象流量は対象降雨量の規模から合理式法(ラショナル式)で算出した「第 5 編 第 2 章 掃流区域における計画対象流量 1 清水流量」に土砂混入率を考慮した値とする。
- ③ 土砂混入率は、「第 4 編 第 2 章 水系砂防計画における土砂処理計画 11 溪流保全工の実施順序」に準じて次の数値を目安とする。
- 砂防工事が施工中、および屈曲、乱流防止の場合 --- 土砂混入率 10%
(上流の砂防工事が計画流出土砂量に対し原則として 50%以上完了している。)
 - 砂防工事が施工済みの場合 ---- 土砂混入率 5%

6 平面計画

溪流の多様性・連続性を考慮して、自然河道の平面形状を尊重しながら設定するものとするが、屈曲が著しく治水安全上好ましくない場合には、法線形を緩くする。

また、やむを得ず反曲線を設ける場合には、曲線部と反曲線部には計画河幅の 6 倍以上の直線部を設けることが望ましい。

$$10 \sim 20 \leq R/B, \quad \theta \geq 60^\circ \quad \text{---- (式 1.6.1)}$$

ここに、 R : 曲線半径 (m), B : 計画河幅 (m), θ : 湾曲度 ($^\circ$)

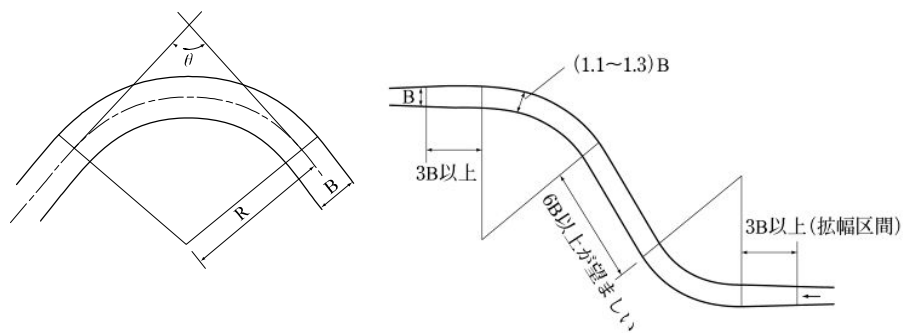


図 1-6-1 湾曲部の法線形

7 計画高水位

計画高水位は、計画する溪床面から縦断形および横断形と相互に関連して決定するものとし、周辺の地形状況をもとに設定する。

- ① 計画高水位は、与えられた対象流量をもとに流れが等流であると仮定して基本的にはマンニング式より求める場合が多いが、急流河川等では水面のうねり、跳水、過度な河床変動、蛇行位置の変化による水位変動が大きいので、不等流計算を行って水位の変動を把握して計画高水位を設定することを基本とする。ただし、急流河川でも、河川幅や流量規模が小さい小規模な溪流保全工の場合、等流計算（マンニング式）により計画高水位を設定することも可能である。なお、不等流計算は、「河川砂防技術基準（案）同解説 調査編 第6章 4.2」によるものとする。
- ② 横断計画を自然状態とした場合には、溪床の状態をもとに断面を区分して各々の粗度係数を設定して計画高水位を求め、横断計画に反映させる。

8 縦断計画

溪流の多様性・連続性を考慮して、自然河道の縦断形状を尊重しながら勾配の変化をあまり急激に行なわないように設定するものとする。

勾配の変化点においては、その上下流で掃流力 ($u_* = \sqrt{g \cdot H \cdot I}$) が 50% 以上の変化をしないように勾配ならびに水深を設定するものとする。

(1) 保全対象が隣接している地域

保全対象が隣接しており、勾配の変化点で局所的洗掘が著しい個所、また、支川が合流している地点においては、洗掘、堆積等に留意して、床固工等の落差工を設けることを原則とするが、構造物の規模・材料・施工方法については、設置場所の特性を十分勘案してなるべく溪流空間の生態系に影響がないように検討する。なお、縦断規制すべきポイント以外は、自然にまかせる。

(2) 保全対象が隣接していない地域

治水上の問題が生じない限りにおいて自然河道の縦断形状を尊重する。

9 横断計画

断面形状は、対象流量、流路の縦断勾配、平面形状、背後地の土地利用状況、溪畔林の分布特性や構造特性等、溪流の多様性、連続性を考慮して定める。

9-1 計画幅

現況の河道断面を尊重するものとし、原則として溪床整正は行わないものとし、河道断面はできるだけ広く設定する。

(1) 保全対象が隣接している区間

通常流水が流下する幅として必要な河道幅は、レジューム理論による次式から求められる幅とし、この幅を下回らないように配慮する。

$$B = \alpha \cdot Q^{1/2} \quad \text{----- (式 1.9.1)}$$

ここに、 B ：河幅 (m)， Q ：流量 (m^3/s)， α ：係数

表 1-9-1 α の値

流域面積 A (km^2)	α の値
$A \leq 1.0$	2~3
$1.0 < A \leq 10.0$	2~4
$10.0 < A \leq 100$	3~5
$100 < A$	3~6

(2) 保全対象が隣接していない区間

溪流保全工による計画幅を確保しつつ、現在の溪流の状態を維持する。

9-2 河道断面

河道断面は掘込み方式（築堤のない河道）を採ることを原則とし、築堤工は本川との取付部分等に限るものとする。

護岸天端を背後地盤と同高以下にすることが原則であるが、やむを得ない場合でも、計画高水位は背後地盤高を越えないようにする。

9-3 余裕高 [砂防指定地内の河川における橋梁等設置基準(案) 砂防関係法令例規集]

① 河川としての余裕高は原則として、計画対象流量によって決定するものとし、表 1-9-2 の数字を下回ってはならない。ただし、余裕高は溪床勾配によって変化するものとし、計画高水位 (H) に対する余裕高 (ΔH) との比 ($\Delta H/H$) は表 1-9-3 の値以下とならないようにする。

表 1-9-2 余裕高

計画対象流量	余裕高
200 m^3/s 未満	0.6m
200 m^3/s 以上 500 m^3/s 未満	0.8m
500 m^3/s 以上 2000 m^3/s 未満	1.0m

表 1-9-3 溪床勾配と余裕高の比

勾配	~1/10	1/10~ 1/30	1/30~ 1/50	1/50~ 1/70	1/70~ 1/100	1/100~ 1/200
$\Delta H/H$	0.50	0.40	0.30	0.25	0.20	0.10

- ② 橋梁の桁下高は計画護岸高（計画高水位に河川としての余裕高を加えたもの）に流木の流出等を考慮した余裕高を加算した高さ以上とする。橋梁としての余裕高は0.5(m)を原則とする。

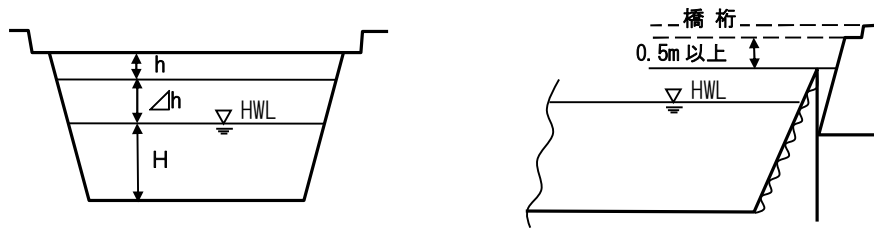


図 1-9-1 橋梁の桁下余裕高

9-4 湾曲部の横断形状

湾曲部の横断形状については外カーブ側には、水のせり上がり現象が発生し、また内カーブ側には土砂の堆積現象が発生するため、断面を十分確保する必要がある。

水位上昇式は、常流区域では Grashof (グラシヨー) の簡易式、射流区域では knapp (ナップ) の式が用いられている。

なお、湾曲部とは、曲率半径 R と河幅 B の比が 5 以下の場合とする。

① 常流区域 (グラシヨー式)

$$\Delta h = \frac{V^2}{g} \{2.303(\log R_2 - \log R_1)\} \quad \text{----- (式 1.9.2)}$$

② 射流区域 (ナップ式)

$$\Delta h = \frac{B \cdot V^2}{g \cdot R} \quad \text{----- (式 1.9.3)}$$

ここに、 Δh : 水位上昇高 (m)

V : 平均流速 (m/s)

R_1 、 R_2 : 曲率半径の内側、外側 (m)

R : 中心線の曲率半径

B : 流路幅 (m)

g : 重力加速度 (9.81m/s²)

なお、常流と射流の区分は次式のフルード数 (Fr) によって判定する。

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{g \cdot h}} \quad \begin{array}{l} Fr \leq 1 \cdots \text{常流} \\ Fr > 1 \cdots \text{射流} \end{array} \quad \text{----- (式 1.9.4)}$$

ここに、 h : 等流水深 (m)

9-5 支川処理

- ① 本川と支川がともに土砂の流出が少なく、溪床勾配、計画高水位が同じような溪流の場合には（両方の掃流力が同じ場合）、合流点下流の河幅は本川、支川の合計とすることが望ましい。
- ② 支川の掃流力が本川を大きく上回り、合流点に土砂が堆積する場合には、支川の合流点上流で土砂処理を行うなどして対応する。
- ③ 支川が合流する場合には、支川の流路勾配が急で射流となる時があり、たとえ、洪水のピーク到達時間がずれたとしても、射流から常流に移る際に支流からの跳水現象により本川の護岸をのりこえる危険があるので十分に注意する。そこで直角に流入させることを避け、緩和曲線などの法線計画をもって合流処理をすることが望ましい。

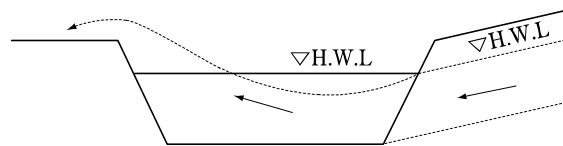


図 1-9-2 支川合流の影響

- ④ 本川に支川が流入することによる洗掘、堆積を防ぐため、支川の縦断勾配は原則として本川に合わせた勾配とする。そのため、合流点直上流部の支川に落差工を設け、支川の縦断勾配を修正して合流させるなど、合流点付近の縦断勾配、平面形状等十分検討する必要がある。

[河川砂防技術基準 設計編 [II] 第3章 6.3]

10 砂防施設配置計画

溪流保全工の基本方針を達成するため、対象とする範囲内の各場所において必要とされる諸機能が発揮されるように、各種砂防施設（床固工、帯工、護岸工、水制工、溪床保護工、溪畔林）を適切に組合せて配置する。

① 溪流保全工における砂防施設配置計画のイメージを図 1-10-1 に示す。

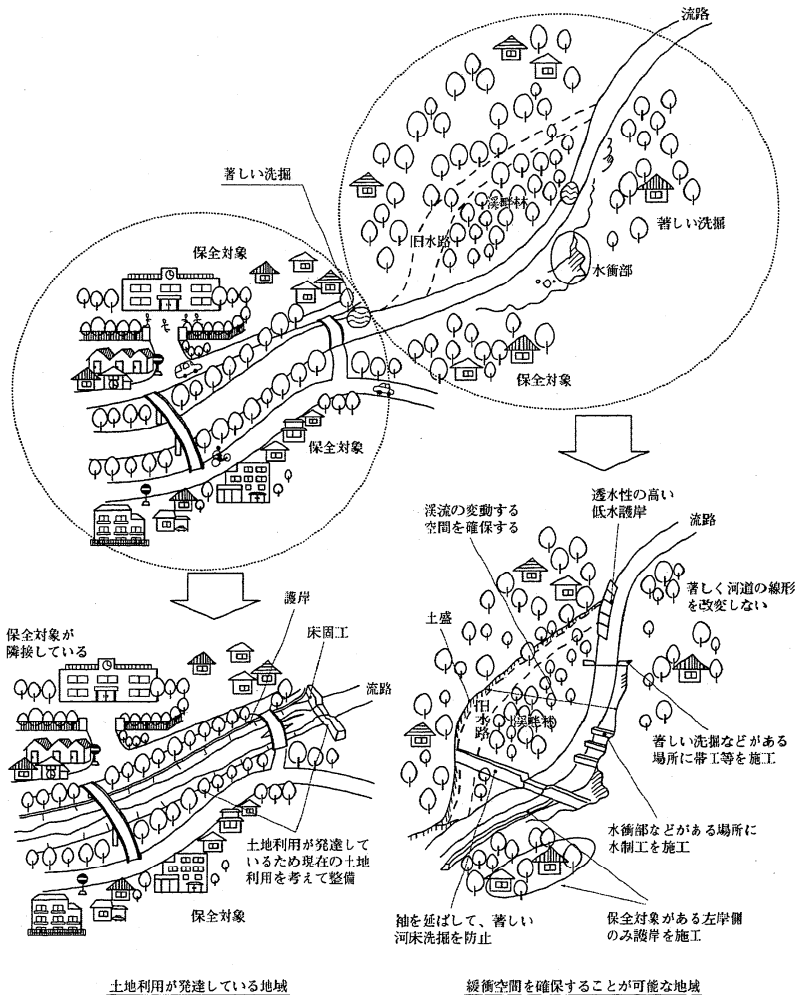


図 1-10-1 砂防配置計画イメージ図

- ② 保全対象が隣接していない区間においては、なるべく流路を固定するのではなく、河床変動や攪乱をある程度許し、溪床の微地形の発達を促す。
- ③ 溪流空間内に溪畔林が生育しており、これらを防災的に活用する場合には、床固工や帯工、護岸工等を併用し、流木化の防止も含めて一体的に整備することを原則とする。

- ④ 溪流保全工の横工（床固工、帯工等）の間隔は、一般に次式を用いるものとするが、設置は溪流の特性をもとに現地に合わせて決定することを基本とする。

a. 床固工の間隔

$$L = \frac{m \cdot n}{m - n} \cdot h_r \quad \text{----- (式 1.10.1)}$$

ここに、 L ：床固工の間隔（m）

h_r ：床固工の有効高（m）

n ：現在の溪床勾配の分母（ $1/n$ ）

m ：計画溪床勾配の分母（ $1/m$ ）

計画された溪流保全工が過度の乱流または偏流防止を目的としている場合には、次式を用いる。

$$L = (1.5 \sim 2.0) \cdot B \quad \text{----- (式 1.10.2)}$$

ここに、 L ：床固工の間隔（m）

B ：溪流保全工の計画幅（m）

b. 低堰堤工群の間隔

上流側床固工（低堰堤）の設置位置は、下流側床固工（低堰堤）の水通し天端高より平常時堆砂勾配で引いた線が現在地盤高と交わる位置よりも下流側になるように、床固工（低堰堤）の間隔を設定する。

事例によると（有効落差÷溪床勾配）の2倍程度を床固工（低堰堤）間隔としている例が多い。ただし、溪床の局所洗掘が起こる恐れのある場合には、床固工（低堰堤）の間に帯工を必要に応じて設置する。

c. 帯工の間隔

帯工は、一つの勾配がかなり長い距離で続き、縦侵食の恐れがある場合、中間に帯工を設ける。

この帯工の間隔は通常その勾配を表す分数の分母の数字を距離に読み替えた程度を原則とする。

11 溪流保全工の設計方針

- ① 溪流保全工の設計は、計画した砂防施設に求められる所定の機能が発揮されるように設計する。
- ② 景観デザインの視点を含めてその地域の生態系と地域の文化や風土にふさわしい砂防施設を設計するものとし、施設の構造や使用する材料についても設置場所に求められる所定の安全度と強度を有するよう検討を行うとともに景観にも配慮する。
- ③ 地域における景観計画や、溪流環境整備計画等が示されている場合には、十分これらとの整合を図る。

12 床固工、階段状床固工群

床固工は、縦侵食を防止して溪床を安定させ、溪床堆積物の再移動防止、溪岸の侵食又は崩壊等の防止を図るとともに、護岸等の工作物の基礎保護の目的のため施工するものである。

[河川砂防技術基準（案）同解説 計画編 第13章 3.1]

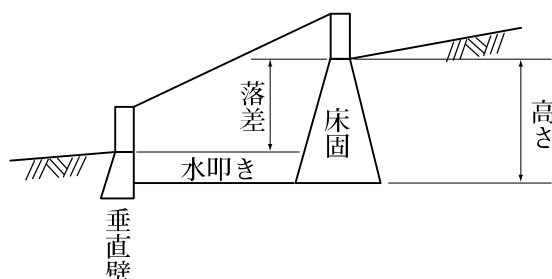


図 1-12-1 床固工

12-1 床固工の断面

- ① 床固工の断面決定は、原則として砂防堰堤に準じて安定計算をする。ただし、土石流区域において完成直後に床固工上流を埋戻すものについては土石流流体力は考慮しないものとする。
- ② 床固工の高さ(全高)は通常の場合 5m 程度以下とし、水叩きおよび垂直壁を設けるときの落差 3.5～4.5m が限度である。
- ③ 床固工の高さが 5m 程度以上を必要とする場合、および床固工を長区間にわたって設ける必要がある場合は、階段状床固工群を計画するのが適当である。
- ④ 掃流域における床固工の天端幅は 1.5～2.5(m) の範囲内とし、下流のりは 2 分を標準とするが、土砂流出が少ない場合で前のり部の損傷の恐れが少ないものはこれより緩くすることができる。
- ⑤ 土石流区域における床固工の天端幅については、「第 3 編 第 3 章 不透過型堰堤 6 本体の設計」を参考にしてもよい。

12-2 水通し断面

- ① 水通し断面は、計画対象流量をもとに設定する。
- ② 溪流保全工の最上流端に位置する止めの床固工は、砂防堰堤と同様に上流側に貯水することを考慮して、せきの流量公式より水通し断面を決定する。
- ③ 流路幅が護岸等により、ほぼ一定に計画されている場合の床固工の水通し断面はマンニングの流速公式と計画流量とから求められる流水の断面積に余裕高を考慮して決定する。
- ④ 床固工が一連の施設ではなく単独に配置されている場合で、床固工の水通し幅よりも溪流保全工の計画幅の方が大きく、床固工上流部に流水が滞留する場合には、せきの越流公式を用いて水通し断面を決定する。
- ⑤ 水通し断面の設定にあたっては、治水上に問題がない限りにおいて、現況の溪流の横断形状を反映させて（水通しに高低差のある横断形状）、溪床の微地形の発達を促すように配慮する。

12-3 床固工の方向

単独床固工の方向は、必ず計画箇所下流の流心線に対して直角とする。

階段状床固工群にあっては、直上流床固工の水通し中心点における下流流心線上に床固めの中心点がある様、各床固めの水通し位置を定めるものとする。

12-4 袖の設置

- ① 袖天端幅は、水通し天端幅と同一を標準とする。
- ② 床固工の袖は十分に地盤内に嵌入することが望ましく、護岸等を設置しない床固工については、溪流保全工の対象とする範囲の両端まで袖を確保する。

12-5 その他の留意点

- ① 最上流端の床固工の水通し部は、せきの断面として設計されるが、護岸工等を併用して流路を一定幅に確保している区間では開水路の断面として設計されるため、その間に取合わせ部が必要となる。取合わせ部は水理条件を急変させないよう適当な長さとする。
- ② 射流域において床固工の袖を流路内に出すと、そこで水位が上昇して越流する可能性があるため、射流域での流路内にはできるだけ袖を出さないようにする。
- ③ 止めの床固工の水通し高さは、現況溪床高より高くし、流水が完全に集水できる位置とする。
- ④ 床固工の堤長が 15m 程度を越えるような場合は横収縮継目を設ける。

12-6 前庭保護工

床固工には原則として前庭保護工（水叩き、側壁護岸、垂直壁）を設けるものとする。

12-6-1 水叩き

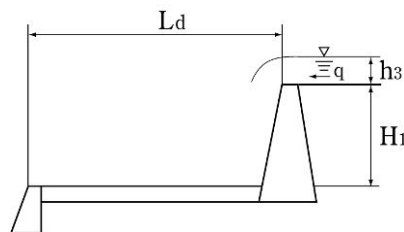


図 1-12-2 水叩き工

① 水叩きの長さ

a. 経験式

水叩きの長さは次式により設定し、越流水深（ h_3 ）が大きいほど長くする。

$$L_d = (2 \sim 3) \cdot (H_1 + h_3) \quad \text{----- (式 1.12.1)}$$

ここに、 L_d ：水叩き長（m）

H_1 ：水叩き天端からの床固工の天端高さ（m）

h_3 ：越流水深（m）

b. 半理論式

「第3編, 第3章 不透過型堰堤, 15 前庭保護工」を準用する。

$$L_d = I_w + X \quad \text{----- (式 1.12.2)}$$

ここに、 X ：跳水距離（m）、 I_w ：水脈飛距離（m）

- ② 水叩きの厚さは一般に 1m を標準とし、揚圧力に耐えうる重量（構造）のものとする。
- ③ 水叩きは摩耗するため、斜勾配で施行すると床固工の底抜けやそれに起因する床固工の破壊につながる可能性があるため、水叩きは原則的に水平として設計する。
- ④ 水叩きは基本的にコンクリート構造とするが、堅い巨礫がある場合はそれらを用いてもよい。
- ⑤ 水叩きの縦断形状は、魚類の遡上等、流水の減勢等を考慮して、下流の溪床よりも掘り込んでウォータークッション化する等の工夫を図ることが望ましい。
- ⑥ ウォータークッション化する場合は、最低 1m 厚を目安にしつつ、水褥地のある計算式を用いて水叩き厚を低減してもよい。[解説・河川管理施設構造令 第 4 章 第 33 条 第 2 項]

12-6-2 側壁護岸

- ① 側壁を床固工に取り付ける場合は、落下水脈に叩かれないように側壁基礎を水通し肩から垂直に下ろした線より後退させるものとする(図 1-12-3)。
- ② 側壁護岸は水叩き部においては落下水が越流しないような十分な高さを有することが必要であり、床固袖天端と垂直壁袖天端を結んだ高さを一般とする。

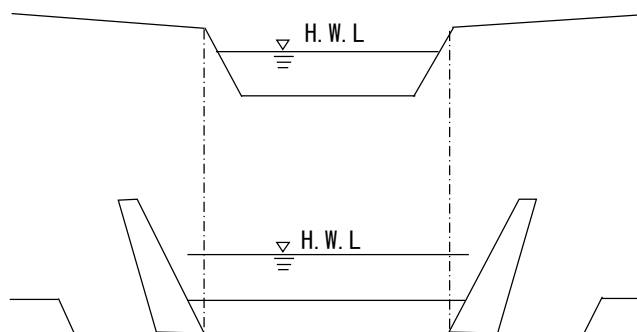


図 1-12-3 側壁護岸基礎の位置

12-6-3 垂直壁

- ① 垂直壁の天端幅は、1m 程度を標準とし、上流のりは直、下流のりは砂防堰堤に準じて安定計算から求めるものとする。
- ② 垂直壁の高さはその溪流の性質、特に計画流量、河床粒度・河床変動および床固工の落差などをよく把握して、垂直壁下流側の洗掘に配慮して（通常 2～3m）根入れを設定するものとする。

12-6-4 護床工

垂直壁下流側には、必要に応じて護床工を設ける。

護床工の長さは「第 3 編 第 3 章 不透過型堰堤 15 前庭保護工」を準用する。

13 渓床保護工

渓流保全工においては、前項「3-1 渓流保全工の基本方針」に則り、渓床固定（三面張り）は原則として行わないものとする。

ただし、渓床が著しく洗掘され治水上の問題が生ずる場合には、渓床を洗掘から保護する対策を実施するものとする。この場合、コンクリート張りおよびコンクリートブロック等、永久的に一定の河床変動が許容されない構造や植生等が侵入しにくくなる構造は極力避ける。

13-1 渓床について検討する場合

以下の場合については、渓床保護の対策を行ってもよいものとする。

- ① 渓床勾配が急で常時出水（生起確率 1/1~1/5 程度）による掃流力がその地点の粒径（90%粒径）による限界掃流力よりも大になる場合（ $u_*^2 > u_{*c}^2$ ）。

$$u_*^2 = g \cdot h \cdot I \quad \text{----- 掃流力} \quad \text{(式 1.13.1)}$$

$$u_{*c}^2 = 0.05(\sigma/\rho - 1) g \cdot d_{90} = 80.9 d_{90} \quad \text{----- 限界掃流力} \quad \text{(式 1.13.2)}$$

ここに、 h ：平均水深（cm） I ：渓床勾配 d_{90} ：粒径（90%粒径）（cm）
 σ ：砂礫の密度（2.60~2.70）（g/cm³）
 ρ ：泥水の密度（1.0~1.2）（g/cm³）
 g ：重力加速度（980cm/s²）

- ② シラス、火山灰堆積地帯等、特殊な地質で直接流水がこの地質に接することにより崩壊、岸決壊等が生じるため、流水が接触することを防止する必要がある場合とする。

13-2 渓床対策 [砂防・地すべり防止、急傾斜地崩壊防止施工法 2.2、2.3]

- ① 縦断勾配計画の際に勾配緩和、河幅拡大等を考慮して、掃流力を小さくすることを検討する。
- ② 一般的には計画渓床幅が狭く流域面積が 2(km²)以下の小規模な溪流では、厚さ 0.3m 程度のコンクリート張りが採用されている例が多いが、磨耗の著しい火山地帯では厚さ 0.5~0.7m としている溪流もある。
- ③ 長い渓床固定区間では適当に帯工等を設け、地下水路の発達を防ぐ必要がある。一般には、計画渓床勾配の分母の数の 2 倍程度を距離に読み替えて設置する場合が多い。また、渓床固定下流端には少なくとも帯工を設け吸出し防止を図るものとする。
- ④ 渓床固定（三面張）の位置は、「ブロック積=計画河床-コンクリート厚」とする。渓床固定のコンクリート天端位置は計画河床と同じ高さとし、コンクリート底の位置に護岸工基礎天端を合わせる。なお、三面張の場合は、渓床固定の目的での帯工は配置されない場合がある。

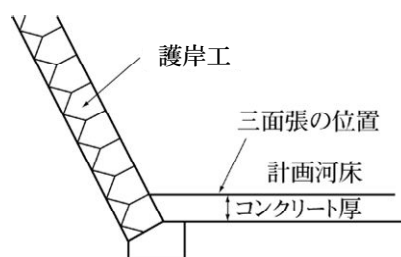


図 1-13-1 三面張の位置

第2章 帯工

帯工は縦侵食を防止するための施設である。単独床固工の下流および床固工群の間隔が大きいところで、縦侵食の発生、あるいはその恐れがあるところに計画する。

設計にあたっては治水上問題がない限りにおいて、設置場所の特性に応じて柔軟な設計を行う。

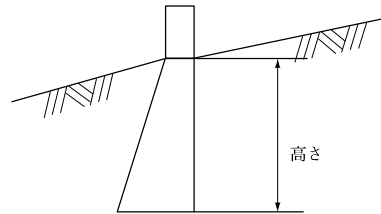


図 2-1-1 帯工

- ① 帯工の設計は、原則的には垂直壁の項を参照して計画する。
- ② 河道の微地形が発達するように計画断面が複断面化している場合については、複断面に対応した横断形状を持った帯工とするなど対応を図るものとする。
- ③ 帯工は溪床の過度の洗掘を防止するために施工されるものであり、一般に高さは2m程度である。また天端高は計画溪床高として落差はつけないものとする。
- ④ 帯工の断面決定に際しては、天端幅は0.5～1.5m程度とし、上流のりは垂直、下流のりは砂防堰堤に準じて安定計算から求めるものとするが通常は2分とする。

第3章 護岸工

護岸工は、溪岸の侵食・崩壊防止、山脚の固定、河道の横侵食防止等を目的とした施設である。

設計にあたっては、治水上問題がない限りにおいて、堤外地へ繋がる一連の植生等溪流環境の連続性への影響を考慮して、透水性の高い材料や護岸表面に植生が侵入しやすいものを使用する。

1 護岸の型式

一般に溪流においてはコンクリート護岸、練ブロック積護岸、練石積護岸、および自然石等の練積護岸を計画する。空積護岸は一般に溪流には不適當である。

なお、治水上問題のない限りにおいては、多自然型護岸を計画する。採用にあたっては、地域の状況、経済性を考慮して選定する(護岸の力学設計法 参照)。

- ① コンクリート護岸はもたれ式が多く用いられる。安定に関する照査は、「道路土工－擁壁工指針」によるものとする。
- ② 護岸の前のり勾配は、原則として1:0.3より緩い勾配とし、溪床勾配が急なほど摩耗防止のため急勾配とすることが望ましい。一般には1:0.5程度を採用することが多い。
- ③ 自然石および石積、ブロック積護岸の安定に関する照査は、次式に示す示力線の方程式によることができる。

$$H = \frac{3 \cdot \gamma_s \cdot b \cdot \sec \theta \cdot \tan \theta}{F_s \cdot K_{AH} \cdot \gamma} - \frac{3q}{\gamma} \quad \text{----- (式 3.1.1)}$$

ここに、 H : 限界高 (m)

K_{AH} : 水平主働土圧係数 (試行くさび法により算出する)

q : 上載荷重 (kN/m²)

γ_s : ブロックの単位体積重量 (kN/m³)

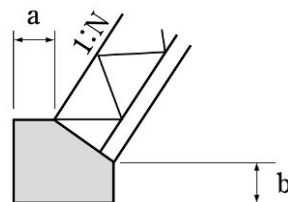
γ : 背面土の単位体積重量 (kN/m³)

F_s : 安全率=1.5

b : ブロックの控え厚 (ブロックの控え厚+裏込コンクリート) (m)

θ : 壁背面と鉛直面とのなす角 (°)

- ④ 自然石および石積、ブロック積護岸の基礎構造については図 3-1-1 を参考にして決定し、安定計算を行い安全な構造とする。



(砂防流路工の計画と実際)

a : 20~30cm

b : 20cm 程度

図 3-1-1 コンクリート基礎構造 (例)

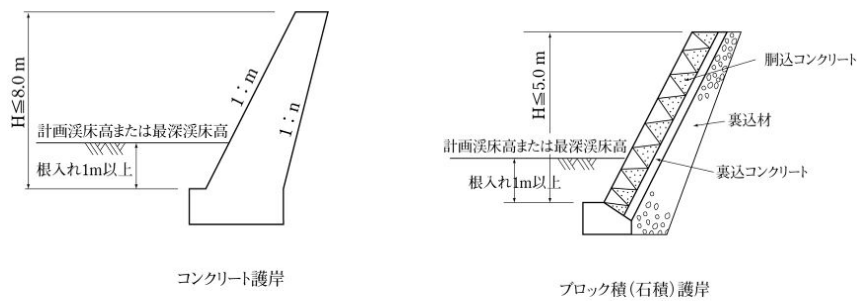
- ⑤ 護岸工の施工継目は、コンクリート護岸では10(m)、石積・ブロック積護岸では20(m)程度の間隔を標準とし、構造は「フラット型」とする。

2 護岸高

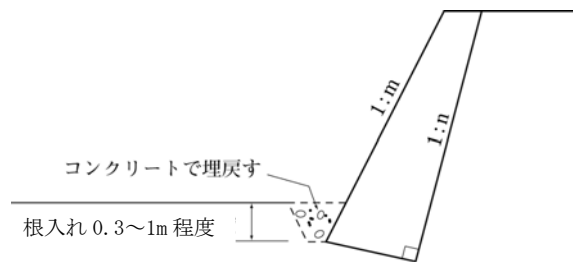
- ① 護岸工の天端高は、計画高水位に余裕高を加えた高さとするのが原則である。
- ② 護岸高は、一般に溪流部では河床変動が激しいので河床変動の上昇を考慮した高さの確保が必要である。また、垂直壁直下流においては、跳水による水位上昇が起こりやすいため十分な高さを確保する。

3 護岸の根入れ

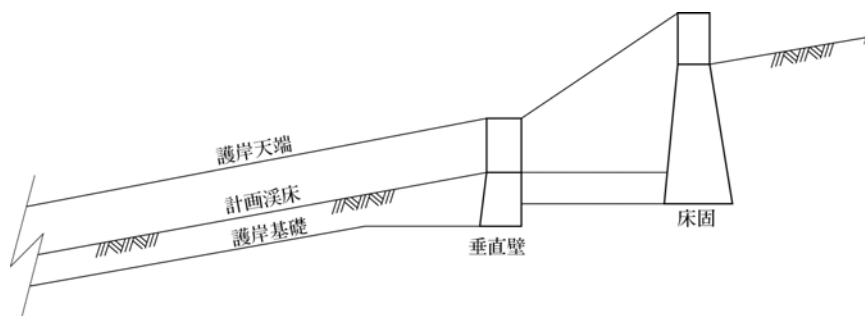
- ① 砂礫基礎の護岸工の根入れは、計画溪床高または最深溪床高のいずれか低い方より 1(m) 以上の根入れを原則とする（図 3-3-1 参照）。河床変動をある程度許容する箇所（淵を造る場合）については、これよりも深く設定する。



- ② 護岸基礎部に岩盤がある場合は、岩盤の質、護岸基礎部の前面のかぶり等を考慮して設定する。一般的には、0.5~1m 程度の根入れをする（図 3-3-2 参照）。



- ③ 垂直壁等の下流に接続する護岸基礎の底面は、垂直壁等の基礎底面と一致させることを原則とする（図 3-3-3 参照）。ただし、護床工を設置する場合にはこの限りでない。



4 護岸工と床固工（堰堤工）との取り付け

- ① 堰堤および床固工上流に計画する護岸工天端は、堰堤および床固工の袖天端と同高または、それ以上の高さに取り付けなければならない。
- ② 護岸工と床固工の取り付けは、床固工袖小口に一致させ、床固工直下で広げられた河幅は垂直壁の水通し部で元の流下断面に戻す（図 3-4-1 参照）。

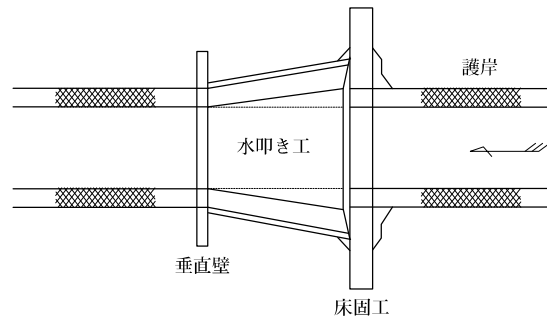


図 3-4-1 護岸工と床固工の取り付け

- ③ 堰堤および床固工上流に取り付ける護岸の根入れは原則として水通し天端高より 1.0m 以上下げるものとする（図 3-4-2 参照）。

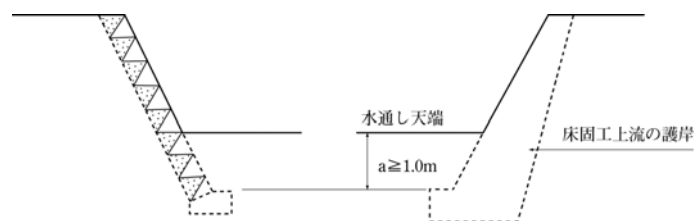


図 3-4-2 床固工上流護岸の基礎

5 根固工

- ① 根固工は、自重と粗度により流水による護岸の基礎の洗掘を防止するもので、その構造は屈とう性のあるものでなければならない。根固工の材料は、コンクリートブロック、捨石工等がある。
[河川砂防技術基準（案）同解説 設計編 [II] 第3章 4.6]
- ② 根固工の上面高は、計画河床高以下とする。

第4章 低堰堤工群

低堰堤工群は、縦断規制による土砂の洗掘・流出の抑制のみでなく、溪流内の拡幅部等を利用、あるいは遊砂地を造成して流出土砂を調節することを目的として、複数の低堰堤（床固工）を互いに補完し合うような間隔で設置する工法である。

扇状地の土砂扞止や、遊砂機能の増大のために用いられる事例が多い。

1 堤高

個々の床固工の有効落差は、原則として1～2m程度とし、根入れ深さを加えたものを堤高とする。

2 基礎

床固工の基礎は原則として砂礫層でよい。

3 水通し断面

水通し幅は、兩岸斜面の崩壊や侵食が起きないように注意しながらできるだけ広くとる。また、平水流量が少ない溪流で、環境上の配慮が必要な場合などは、水通しを複断面にすることができる。

4 平面計画

流路幅は、計画地点の地形を考慮に入れて、できるだけ広くとることが望ましい。また、床固工の方向は、拡幅部全体の形状に合わせた法線形にしたがって、原則として各床固工の計画箇所下流における流心線に直角方向とする。

5 袖の設置

「第3編 第3章 不透過型堰堤 13 袖の設計」に準ずる。

6 その他の留意点

「第6編 第1章 溪流保全工 12-5 その他の留意点」に準ずる。

7 前庭保護工

低堰堤工群では、流水が分散され洗掘量が低減されるため基本的には有効落差が1～2m程度であり前庭保護工は必要ないが、根入れ深さが極端に深くなり不経済な場合は、前庭保護工を設置することができる。

第5章 溪畔林

溪畔林は、土砂や洪水の一時的な滞留区間として洪水の減勢等を図ることを目的に整備するものである。

溪畔林は砂防構造物と併用するものとし、現存の植生をできる限り排除しないことを原則とする。

1 溪畔林の導入方法

(1) 溪流空間の確保（回復型、創造型）

溪畔林の生育基盤となる溪流空間を確保するものとする。そのためには、流水で常に攪乱を受ける場所では、溪畔林を導入することができないため、常には流水にさらされず、中小洪水時にある程度冠水し、攪乱を受ける程度に透水性の高い護岸等を設置する。

(2) 植栽（創造型）

レクリエーションの目的から早急に溪畔林の造成が必要とされる場合、溪畔域の確保に加え、植栽を行うものとする。導入にあたっては、溪流の特性を十分に把握し、維持管理等を実施しながら慎重に対応する。

2 レクリエーションを目的とした溪畔林の導入手順

溪畔林調査の結果に基づき導入する場合は、以下に示した手順で検討する。

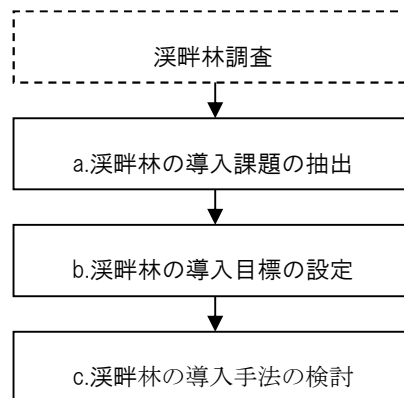


図 5-2-1 溪畔林の導入手順

(1) 溪畔林の導入課題の抽出

レクリエーション機能を効果的に発揮させていくための溪畔林の導入上の課題を整理する。

(2) 溪畔林の導入目標の設定

求められるレクリエーション機能を整理して、溪畔林の導入目標を設定する。

(3) 溪畔林の導入手法の検討

目標達成のための効率的な導入手法を選択する。導入の考え方としては、回復型と創造型の2つがある。

- ・回復型

自然の力によって導入を図るものであり、基本的には現在の溪畔林の生育環境を保全、確保する。

- ・創造型

植栽を行い、レクリエーションの場としての溪畔林を創造するものである。

第6章 魚道

砂防堰堤、および床固等を設ける場合において、魚類等の遡上を確保するため必要に応じて魚道を設ける。魚道については、掃流区域だけでなく土石流区域においても計画、設置される。

1 魚道の必要性

魚道の必要性は水系ごとに策定されている「溪流環境整備計画の策定について」に基づき実施する。

〔参考文献 「魚にやさしい溪流づくりー越美山系の魚道ー（越美山系砂防事務所）〕

2 魚道の構造

魚道の規模、形式は、滯筋等の河床の変動状況、適当な魚道の流量、魚道において対象とする魚種の習性等を適切に判断し、また、直上流部および直下流部における通常予想される水位変動の範囲内で魚道が機能するような構造とする。

また、必要に応じて学識経験者等の意見を聴き、その意見を設計に反映するものとする。

〔法例規集、農業用工作物の河川環境に関するガイドライン（案）について、平成10年1月23日 建河計発七号〕

3 魚道の形式 [河川砂防技術基準（案）同解説 設計編 [I] 第1章 7.2.8.3]

[最新 魚道の設計 （財）ダム水源地環境整備センター]

魚道には以下に示す形式があるが、我が国で最も実績があり遡上効率が高いと評価されている階段式魚道を基本として考えることが望ましい。

表 6-3-1 魚道のタイプ分け

魚道タイプ	我が国における代表的な魚道形式
プールタイプ	階段式魚道 バーチカルスロット式魚道 ハーフコーン式魚道 棚田式魚道 潜孔式魚道
水路タイプ	デニール式魚道（標準型、舟通し型） 粗石付き斜路式魚道 粗石付き斜曲面式魚道 緩勾配バイパス水路式魚道（人工河川式魚道）

(1) プールタイプ魚道

隔壁によって形成されるプールを連続させることによって魚の休憩池を確保しながら高度を稼ぐタイプ、隔壁の上端部を丸形にすることが必要である。

① 階段式

隔壁には大型魚用に切り欠きを設ける場合が多い。水位コントロールが難しく越流水深が大きくなる場合にはアイスハーバー式が検討されるが、潜孔は流れを乱す場合があり基本的に必要ない。

② 潜孔式

隔壁下部に魚が遡上できる潜孔があるもの、わが国での実績は少ない。

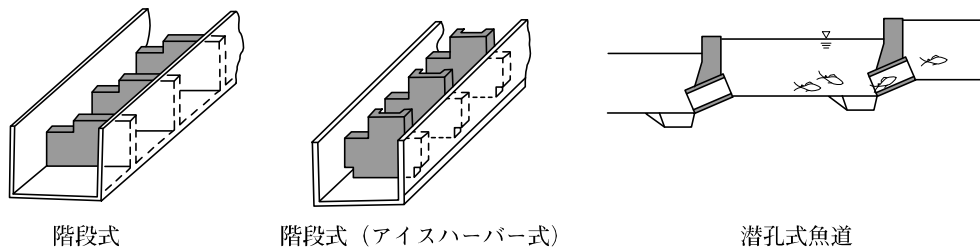


図 6-3-1 プールタイプの魚道の例

(2) 水路タイプ

一定勾配の水路を連続させるタイプ。基本的にはプール部分がなく止水部分がないもの。

① 緩勾配水路式

緩勾配により水流を弱めるタイプ。経費が高くつく。

② 粗石付斜路式

粗石により水流を緩めるタイプ。粗石の適正な配置が大変難しい上、水位変動に対する適応範囲が狭い。

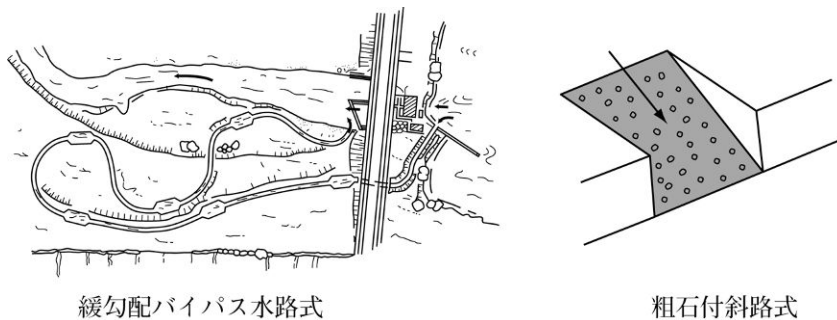


図 6-3-2 水路タイプ魚道の例

(3) 阻流版式魚道

水路式であるが、流れを制御する隔壁等により止水部分を設けたもの。

① デニール式

異形阻流版により流速を弱めるタイプ、阻流版付近で強い渦が発生するため小さい魚の遡上は困難である。

② パーチカルスロット式

隔壁の深い切り欠きによって水流を逃がし、隔壁の陰に魚の休憩場所を設けるタイプ、複雑な強い流れが形成されるため勾配の急な部分には望ましくない。

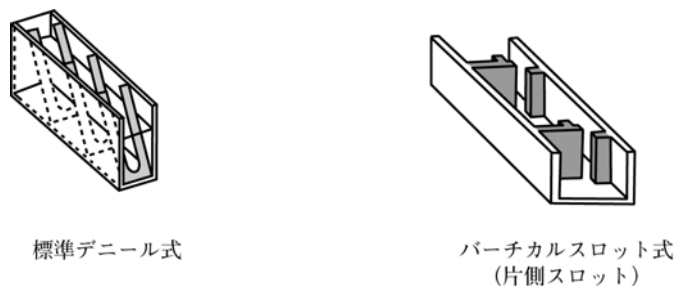
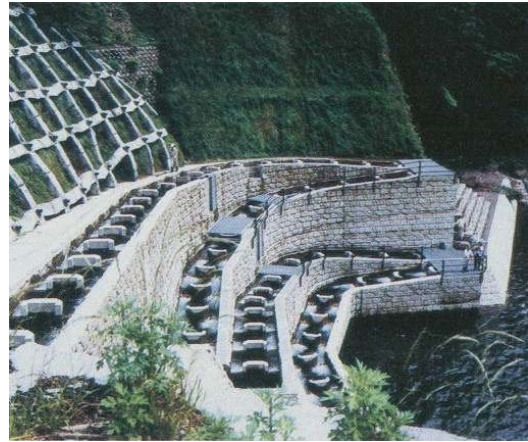


図 6-3-3 阻流版式魚道の例



形式：階段式魚道（呼び水水路付き）
湯舟沢床固工魚道



形式：アイスハーバー改良型階段式魚道
倉見砂防堰堤魚道



本堤：階段式魚道
副堰堤：階段式魚道（呼び水水路付き）
坂内砂防堰堤 魚道



形式：たて型壁面魚道
山の谷第一砂防堰堤

魚道の事例

4 魚道の設計

4-1 設計手順

魚道の設計作業の一般的な流れは、図 6-4-1 に示す通りである。

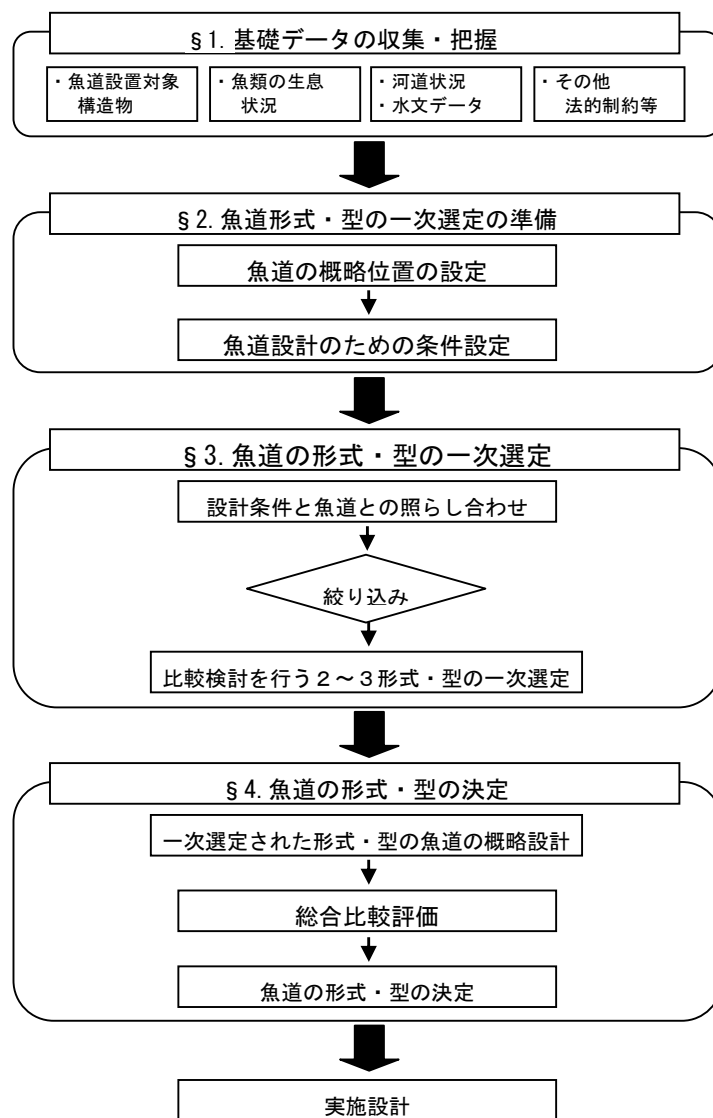


図 6-4-1 魚道の設計作業の一般的な流れ

4-2 魚道の形式・型の選定に当たり考慮すべき点

魚道の形式・型の一次選定に当たり、一般に考慮すべき条件としては表 6-4-1 のようなものがある。このうち、特に 2) の重点対象魚種、4) の落差（想定される魚道勾配）、9) の確保できる流量などは、選定の各段階において重要なポイントとなる場合が多い。

表 6-4-1 魚道の形式・型の選定に当たり考慮すべき条件

考慮すべき条件	備考
1) 本体施設の諸元	構造・運用方法・舟運利用の有無
2) 設置場所の対象魚種・重点対象魚種	遊泳力、遊泳形態、サイズ、利用時期
3) 設置場所周辺の河川形態	縦断形状、横断形状、平面形状
4) 設置場所の落差	落差により想定される魚道勾配、流速
5) 設置場所の水位変動幅	上流側水位、下流側水位
6) 設置場所の河床変動状況	濡筋の位置の変化
7) 設置場所の土砂・ゴミ・流木等堆積状況	
8) 魚道のために確保できるスペース	位置、広さ、延長
9) 魚道のために確保できる流量	河川の流量、取水量
10) 魚道のために確保できる予算	経済性
11) 維持管理体制	流量調節施設、メンテナンス
12) 施工のしやすさ	施工ヤード
13) 土砂流入への対応	土砂流入した場合の維持管理、土砂が流入した場合でも機能する構造)
14) その他	付加できる補助施設、近隣施設との関係、地水上の問題、景観上の問題、他の生物との関係、法的規則、水温など

4-3 魚道の形式・型の一次選定

魚道の形式・型の一次選定は、本体施設の諸元、設置場所の対象魚種・重点対象魚種、河川形態、落差、水位変動幅、河床変動状況、土砂等堆積状況等と各魚道の特徴とを照らし合わせ、魚道の「タイプ」から具体の「形式」「型」へと選定の絞り込みを行い、概略設計及び総合比較評価を行うための数案の「形式」「型」を選定する。

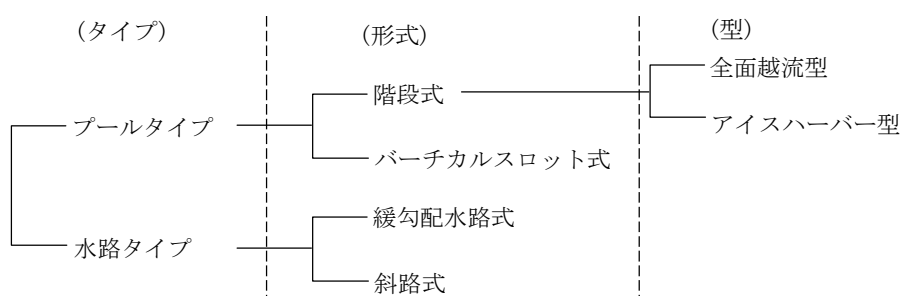


図 6-4-2 魚道の分類

4-4 タイプの選定

4-4-1 プールタイプ魚道と水路タイプ魚道の選定ポイント

表 6-4-2 プールタイプ魚道 or 水路タイプ魚道 選定のポイント

		プールタイプ魚道	水路タイプ魚道
代表的な魚道形式		階段式 バーチカルスロット式 など	緩勾配水路式 斜路式
魚道タイプの定義		魚道内流速を制御し対象とする魚類が遡上可能な流況を創出する魚道のうち、隔壁と隔壁との間に形成されるプールにより減勢するタイプの魚道	魚道内流速を制御し対象とする魚類が遡上可能な流況を創出する魚道のうち、水路内に設置した粗度により減勢するタイプの魚道
選定のポイント	勾配	魚道勾配が 1/10 以下で選定可能	魚道勾配が 1/20 以下で選定可能
特徴・留意点等		<ul style="list-style-type: none"> 急勾配（高落差）への対応性が比較的高い（特に階段式魚道）。 土砂やゴミが溜まりやすい（特にプール水深が深い場合、維持管理に工夫が必要）。 	<ul style="list-style-type: none"> 土砂やゴミが溜まりにくい（維持管理が容易）。 自然に近く景観性に配慮できる余地がある。 急勾配（高落差）への対応性が低い（工夫が必要）。 魚道内で鳥の捕食の対象となりやすい(対策が必要)。 土石の流下等の外力によって破壊される可能性は低い。

「プールタイプ魚道」か「水路タイプ魚道」かを選定するポイントは、魚道勾配（総落差と魚道延長により決まる値）である。

原則として、水路タイプ魚道は魚道勾配が 1/20 以下、プールタイプ魚道は魚道勾配が 1/10 以下で選定が可能である。

魚道勾配が緩やかな場合は、魚道全体の流速が遅くなるため、水路タイプ魚道、プールタイプ魚道のいずれも選定可能で、魚道勾配が急な場合は水路タイプ魚道では魚道全体の流速が速くなるため遡上が困難となる。

一方、プールタイプ魚道では、ある程度魚道勾配が急な場合でも連続したプールが魚の遡上に必要な休息場を常に提供するため遡上が可能である。

4-4-2 階段式魚道とバーチカルスロット式魚道の選定ポイント

表 6-4-3 階段式魚道 or バーチカルスロット式魚道 選定のポイント

		階段式魚道	バーチカルスロット式魚道
代表的な魚道の型		全面越流型 アイスハーバー型 など	-
魚道形式の定義		プールにより魚道内流速を減勢するタイプの魚道のうち、隔壁頂部を水が越流する形式の魚道	プールにより魚道内流速を減勢するタイプの魚道のうち、隔壁に設けられた鉛直スリットを水が流下する形式の魚道
選定のポイント	魚種	重点対象魚種に大型魚以外を含む場合にも選定可能（大型魚を含む場合は越流水深の確保が必要）	重点対象魚種が大型魚のみの場合に選定可能（小型魚や底生魚等に対しては石礫を敷き詰めるなどの工夫が必要）
	水位	施設上流側の水位変動幅が小さな場合に選定可能（水位変動幅：25cm以下が目安） （水位変動幅が大きな場合は流量調節施設などの設置が必要）	施設上流側の水位変動幅がある程度大きな場合にも選定可能（水位変動幅が25cm以上でもある程度対応可能）
	配勾	魚道勾配が1/10以下で選定可能	魚道勾配が1/20以下で選定可能
	流量	魚道のために確保可能な流量が少ない場合にも選定可能	魚道のために確保可能な流量が多い場合に選定可能
特徴・留意点等		<ul style="list-style-type: none"> 実績が多く情報が豊富である。 一般的に施工費用が安い。 	<ul style="list-style-type: none"> 水位変動への対応性が比較的高い。 プール内に土砂が堆積しにくい（ただし、転石などがスロット部につまり閉塞すると魚道として機能しなくなるため、維持管理に工夫が必要）。 同一条件で比較すると、階段式魚道に比べて施工費用が高い。

4-4-3 前面越流型とアイスハーバー型の選定ポイント

表 6-4-4 全面越流型 or アイスハーバー型 選定のポイント

		全面越流型	アイスハーバー型
魚道の型の定義		隔壁頂部を水が越流する形式の魚道うち、非越流部がない細部構造をもつ魚道	隔壁頂部を水が越流する形式の魚道うち、非越流部がある細部構造をもつ魚道
選定のポイント	延長形状	魚道延長が短く、かつ形状が直線の場合に選定可能（魚道延長が長い場合、休憩プール等の設置が必要）	魚道延長が長い場合や形状が直線的でない場合にも選定可能
特徴・留意点等		<ul style="list-style-type: none"> 国内での実績が多く、情報が豊富である。 構造が単純で、施工性が良い。 プール底部に静穏域が形成されにくく、魚道延長が長くなるような場合には、休憩プールの設置やプール底部に石礫を敷き詰めるなどの工夫が必要となる。 	<ul style="list-style-type: none"> セイシュなど強い横波が発生しにくい。 同規模の魚道では、全面越流型に比べて、少ない魚道流量で機能する。 全面越流型に比べて、ゴミが溜まりやすい（維持管理に工夫が必要）。 流量が多い場合、越流部の流れが全面越流型に比べて不安定になりやすい（左右の越流部の高さを変えるなど工夫が必要）。 隔壁に非越流部があり、その下流に休憩場所となる静穏域が形成され、また魚道底部の流況も比較的安定しているため、底生魚など遊泳力の弱い魚類でも各プールで休憩しながら遡上することが可能。

4-4-4 勾配水路式魚道と斜路式魚道の選定ポイント

表 6-4-5 緩勾配水路式魚道 or 斜路式魚道 選定のポイント

		緩勾配水路式魚道	斜路式魚道
代表的な魚道の型		-	粗石付き斜路型 など
魚道形式の定義		粗度により魚道内流速を減勢するタイプの魚道のうち、勾配が緩い魚道	粗度により魚道内流速を減勢するタイプの魚道のうち、勾配がやや急で大きな粗度を設けた形式の魚道
選定のポイント	魚種	重点対象魚種に特に遊泳力の弱い魚類を含む場合にも選定可能	重点対象魚種に特に遊泳力の弱い魚類を含まない場合に選定可能
	勾配	魚道勾配が 1/80 以下で選定可能	魚道勾配が 1/20 以下で選定可能
特徴・留意点等		<ul style="list-style-type: none"> ・遊泳魚、底生魚、エビ・カニ類など多種多様な生物に対応し、特に遊泳力の弱い稚魚なども遡上可能。 ・自然河川と類似した遡上環境の創出が可能。 ・一般に魚道延長が長い（設置場所の確保、魚道出入口の位置調整、施工コスト縮減など工夫が必要）。 ・水深が浅く、魚道延長が長い場合は水温が上昇しやすい。 	<ul style="list-style-type: none"> ・粗度の形状、密度、配置により流況が複雑に変化する。このため、流量や流況の推定精度が低い。 ・低落差の固定堰等において、全断面化が可能。 ・土石の流下などの外力によって破壊される可能性が低い。

4-5 魚道の形式・型の決定

一次選定された魚道の型、数案について、以下の設計条件を踏まえながら、魚道本体や付帯施設の規模を得るための概略設計を実施する。概略設計の結果をもとに、経済性、施工性、維持管理の容易性等の総合比較評価を行い、望ましい魚道形式・型の決定を行う。

- (1) 設計検証魚の選定
- (2) 設計対象河川流量の設定
- (3) 設計対象河川流量に基づいた上下流水位の設定

4-5-1 設計検証魚の設定

重点対象魚種について魚の遊泳力、体長や体高などを既往調査結果や既往知見をもとに整理する。

これらの情報をもとに重点対象魚種から、魚道内流速や必要水深、細部構造などの設計条件を与えるための代表魚である設計検証魚を選定する。

設計検証魚は、以下の 3 項目の設計条件を設定するための魚である。

- ・魚道内の目標とする流速の設定 → 重点対象魚種のうち最も遊泳力の弱い魚を基本とする。
- ・魚道に必要な水深の設定 → 重点対象魚種のうち最も体高の高い魚を基本とする。
- ・魚道細部構造や配慮事項の設定 → 重点対象魚種のうち遊泳形態が特徴的な底生魚・甲殻類等。

魚類の遊泳速度は、巡航速度と突進速度がある。

巡航速度は、比較的長時間（30 分～数時間）疲労することなく持続的に泳ぐ速度である。突進速度は、1～数秒間瞬発的に出すことができる速度である。

魚道内ではさまざまな流速が発生している。遡上経路のうち、最速の流速が発生している箇所（例えば、階段式魚道の越流部など）を遡上できるかどうかを判断するには、突進速度と比較する。突進速度では通過できない長い区間（例えば、長い斜路式魚道、緩勾配水路式魚道など）を遡上できるかどうかを判断するには、巡航速度と比較する。

魚の体長を B_L (cm) とすれば、巡航速度 = $2 \sim 3 B_L$ (cm/s)、突進速度 = $10 B_L$ (cm/s) の程度である。ただし、サケ科の魚では、巡航速度 = $3 \sim 4 B_L$ 程度であり、アユにおいては、巡航速度 = $5 \sim 7 B_L$ 、突進速度 = $12 \sim 18 B_L$ 程度であるとも言われている。

一般に、この比は、稚魚のほうが成魚よりも小型の魚のほうが大型魚よりも大きくなる傾向にある。

表 6-4-6 漁種別の遊泳力

魚種別の遊泳力			
魚種	体長 (cm)	巡航速度 (cm/s)	突進速度 (cm/s)
アユ	14.4	110	178
ニジマス	17.2	80	170
コイ	15.3	70	150
ブルーギル	10.3	55	120
アユ	6.6	40	120
キンギョ	10.1	35	113
ウナギ	9.0	15	80
クサフグ	2.3	15	30
ゴンズイ	4.9	15	36
コトヒキ	2.1	13	47
ドジョウ	7.1	10	112
グッピー	3.0	10	30
グッピー	0.88	8	16
カワムツ	0.80	8	16.5
キス	0.76	6	17

出典)「魚類生理学」恒星社厚生閣

4-5-2 設計対象河川流量の設定

設計対象河川流量は、重点対象魚種の遡上・降下時期に魚道が最も機能するようにこの時期の河川流況をもとに設定する。

- ・設計対象河川流量の下限値
 - 重点対象魚種の遡上から降下時期の期間における低水流量相当程度の流量 (発生頻度 75%)
- ・設計対象河川流量の上限値
 - 重点対象魚種の遡上から降下時期の期間における豊水～平水流量相当程度の流量。 (発生頻度 26%から 50%)

下限値を低水流量相当の流量としたのは、渇水流量を設計対象河川流量に含めた場合、水位差の総範囲が大きくなり不経済となるためである。

豊水流量：1年を通じて 95日はこれを下らない流量 (発生頻度 26%)
 平水流量：1年を通じて 185日はこれを下らない流量 (発生頻度 50%)
 低水流量：1年を通じて 275日はこれを下らない流量 (発生頻度 75%)
 渇水流量：1年を通じて 355日はこれを下らない流量 (発生頻度 97%)

4-6 魚道の流況と設計流速

4-6-1 魚道の流況

魚道内の流況は、遡上魚が方向を見失うことがないように、また、必要以上に体力を消耗しないように安定させる。

階段式魚道の場合、隔壁から水が落ち込むことによる多量の気泡（白泡）の発生や、横波、縦波及び渦流等が発生する場合には魚が遡上しにくいので留意する。

4-6-2 設計流速

遊泳力の弱い魚種に配慮し、対象とする魚種の遊泳力に基づき設定する。

また、構造の工夫や形式の異なる魚道の併設等により、全体として多様な流速場を創出し、魚が選好する流速帯を選べるように配慮する。

魚道内の最大流速は、対象とする魚種のうち最も遊泳力の弱い魚の突進速度以下になるように設定することを基本とするが、流速が極端に遅い場合には、魚が遡上意欲を欠くという知見もあるため、適度な流れが必要である。

遊泳力が様々な魚種を対象とする場合には、魚道内に多様な流速場を創出し、魚が遡上経路を選べるように配慮する。

流速の設定に際しては、遡上魚が突進速度を継続できる時間（スタミナ）も考慮する。

なお、階段式魚道の場合、隔壁から落ち込む流れの最大流速により魚の遡上の可否が決まるが、この流速は隔壁の落差に支配されるため、この落差に留意する。

4-7 魚道の諸元

4-7-1 魚道勾配

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。

4-7-2 魚道延長

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。

4-7-3 落差

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10～20 cm程度が適切とされている。

4-7-4 幅員・プール長

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（濬筋）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ため留意する。

4-7-5 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の水深が必要である。

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する。また、浅すぎると減勢効果が低下するため、適切な流況及び流速に留意する。

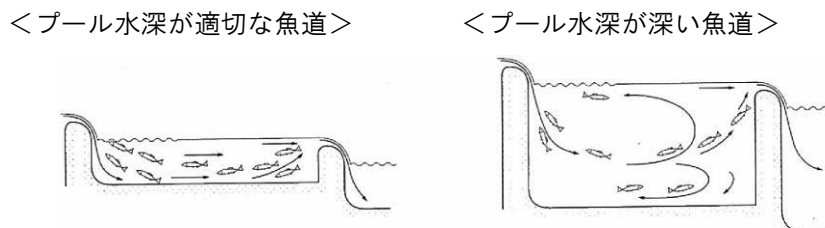


図 6-4-3 プールタイプ魚道

4-7-6 隔壁の形状

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。

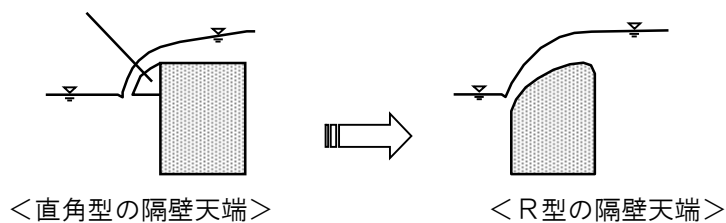


図 6-4-4 隔壁天端の形状

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。

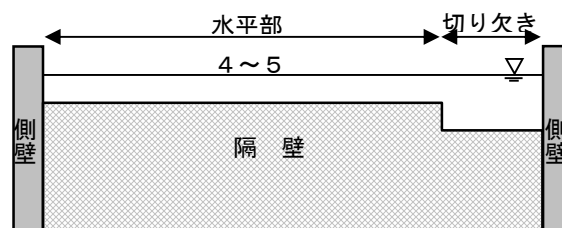


図 6-4-5 切り欠き幅の比

4-7-7 魚道上流端・下流端の高さ

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。

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。

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。

4-8 降下魚及び魚以外への配慮

4-8-1 降下魚への配慮

設計に際しては、遡上魚だけでなく降下魚にも配慮する。

回遊魚は海域と河川を行き来するため、必ず降下もある。ただし、遡上時と降下時には体の大きさが異なるものが多く、例えば、アユでは稚魚が遡上し、仔魚が降下する。

従来、魚道設計においては、魚の遡上が重視され（このため、魚道の下流端を入口、上流端を出口と呼ぶことが多い）、降下について配慮されるようになったのは近年になってからである。

魚の降下は魚道を利用する場合もあるし、出水時に堤体を越えて降る場合もある。また、アユの仔魚のように、遊泳力がほとんどないために水流に乗って降下するものもある。このため、設計に際しては、魚の種々の降下様式にも配慮する。

4-8-2 魚以外への配慮

河川を行き来する生物は魚ばかりではない。テナガエビやモクズガ二等の甲殻類、オオサンショウウオ等の両生類等にも河川内を大きく移動するものがある。

従って、魚以外の生物の生活史や分布・移動範囲を把握し、生活史が完結できるように配慮する。

4-9 付帯施設

4-9-1 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、流量調節柵及び溢流式魚道等により魚道流量を調節する。

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。

4-9-2 呼び水

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、魚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倍以上が必要とされているため、一般的に魚道流速の2倍以上とする。

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を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、河口堰等の感潮域における呼び水には強い流れは必要としない。

4-9-3 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、魚道の途中で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。

4-9-4 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。

4-10 その他の留意点

4-10-1 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とするほうが、景観上及び機能的に好ましい場合がある。

なお、魚道の側壁や床に自然石を用いる場合には、以下の事項に留意する。

① 設計図面

自然の河川にみられるような石の大きさの組み合わせや配置を設計図面で正確に表現することは困難である。無理に図面に落とそうとはせず、設計の意図（流れが乱れないように配置したい・・・等）を分かりやすい言葉で記す工夫が必要である。

② 材料の調達

使用する自然石には、なるべく施工地の周辺で産するものを用いる。その際、石材の採取に伴う環境への影響に留意するとともに、石材のリサイクルも積極的に取り入れる。

③ 景観上の配慮

河川の中流域や下流域において、本来上流域でみられるような大岩を設置したり、暗色系の魚道に白色の石を敷き詰めること等は、不自然な外観につながるため留意する。

④ 自然石の配置

魚道は、自然河川とは異なり勾配が急となる場合が多いため、自然石のみで構成する魚道では流れが乱れて魚の遡上が困難になる場合がある。このため、自然石の利用に際しては、コンクリートブロックの併用等、ケースバイケースの検討が必要である。

4-10-2 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み合わせ、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。

4-10-3 魚道周辺への配慮

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。

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。

第7章 水制工

水制工は、流水や流送土砂をはねて溪岸構造物の保護や溪岸侵食の防止を図るものと、流水や流送土砂の流速を減少させて縦侵食の防止を図るものがある。

設計にあたっては、流送土砂形態、計画対象流量、河床材料、河床変動等を考慮し、その目的とする機能が発揮されるようにするとともに、安全性、維持管理面等についても考慮する。

[河川砂防技術基準(案)同解説 設計編 [Ⅱ] 第3章 5.1]

1 水制工の計画

荒廃溪流においては、次のような場合には水制工を計画する。

- ① 流水の流向を制御して、溪岸の侵食・崩壊を防止する。
- ② 流勢を緩和して、土砂の堆積を図り、溪岸を保護する。
- ③ 流路幅を限定し、溪岸の侵食・崩壊を防止する。

2 水制工の分類

流水が水制の天端を越流するか否かによって越流水制と不越流水制に分けられる。

砂防工事としての水制は、一般に不越流水制を計画するのが原則である。

3 水制の方向

水制の方向が流心に対して直角であるか、上向きであるか、下向きであるかによって以下のように分類される。

- ① 直角水制
- ② 上向き水制
- ③ 下向き水制

溪流において流水が水制を越流した場合、下向き水制では岸に向かって偏流し、上向き水制では溪流の中心に向かって偏流が生じる。従って、溪流においては一般に越流しても偏流の生じることがない直角水制が多く用いられる。

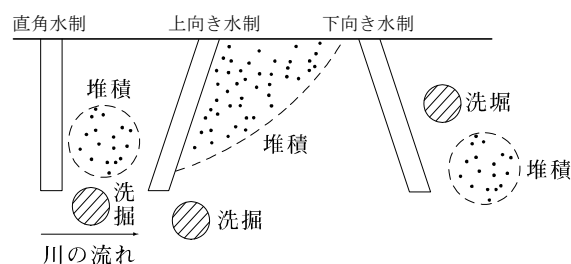


図 7-3-1 水制工の方向

4 水制の形状

水制工の形状には以下のものがある。

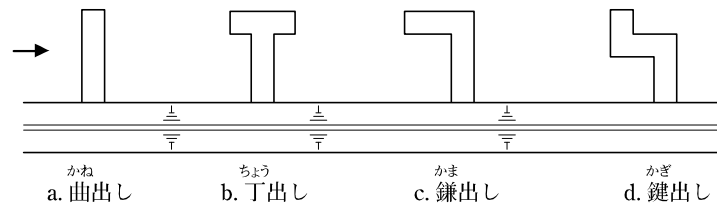


図 7-4-1 水制工の形状

- ① 溪流に対して、直角方向に一直線に出したものを「曲出し」といい、その先端に縦工を付したものを「丁出し」、その先端を折り曲げて縦工横工に兼用するものを「鎌出し」、さらにこの縦工の突端に短い横工を付したものを「鍵出し」という。
- ② 荒廢溪流には一般に「曲出し」が使用されるが、砂礫堆積地帯において河幅員を限定する場合には「丁出し」を用いることがある。

5 水制工の種類

水制工には、その使用材料によって次のような種類のものがあり、対象とする溪流の特性に併せて適切な種類を選定する。

- a. コンクリート水制
- b. コンクリートブロック水制
- c. 枠水制
- d. 沈床水制
- e. 杭打ち水制
- f. かご水制

- ① コンクリート水制は不越流水制の代表的な水制で、砂防溪流での施工はこの水制が多い。
- ② 急流河川 (1/200 程度) で使用され、比較的よい結果を得ているものにコンクリートブロック水制がある。

6 計画・設計

6-1 配置

- ① 崩壊地が短区間の場合にはその上流端に不越流の下向き水制を一箇所設けることによって、流水を崩壊地から遠ざけ、その拡大を防止することがある。しかし、このように水制を設けた場合には対岸が水衝部となることが多いことから、対岸は岩盤のような強固な地盤であることが必要である。
- ② 崩壊地が長区間にわたる場合は直角水制を用い、その天端は完全な不越流とするか、あるいは流心に向かって傾斜させる。通常、勾配は 1/10~1/100 の下り勾配をつける。〔河川砂防技術基準 (案) 同解説 設計編 [II] 第 3 章 5.2〕
- ③ 砂礫堆積地で河幅が広く、乱流、偏流によって溪岸侵食、堆砂礫の移動の顕著な場合には兩岸の水制頭部をお互に対向させ、不越流直角水制とすることが望ましい。

6-2 地山への取り付け

- ① 溪流においては、水勢が激しいために流水が水制に衝突する場合、根部において渦流を生じ溪岸は侵食を受けやすいことから、根部は強固な地山であることが望ましい。
- ② 強固な地山でない場合は溪岸嵌入部の掘削跡は確実な間詰めを行うか、あるいは元付護岸工を施工しなければならない。
- ③ 荒廃溪流において、元付護岸工の上下流端は流水が裏に回ることを防止するために、溪岸に十分巻き込んでおくことが特に必要である。

6-3 高さ

溪流における水制は不越流水制とする場合が多く、従って、流水の衝突によって洪水位が上昇するため、水制の高さは砂防堰堤、床固工の袖の余裕高と同様に考えるものとする。

6-4 長さ

荒廃溪流に設けられる水制は緩流河川の水制と異なり、その作用は顕著でかつ複雑であるから、特に長さの問題は慎重に検討する。

- ① 溪流では一般的に河幅が狭いことが多く、その上流勢が激しいことから水制は多少短すぎるぐらいの方がよい。その後の河状をよく見極めた後に漸次延長して計画の長さまで施工する。
- ② 水制長の決定は、溪流内の状況を十分に調査して流水の法線を決定し、水制の先端をこれに合わせるように計画する。

6-5 間隔

水制工の間隔は、主として水制の長さ、種類、流水の方向、溪床勾配、形状等を考慮し、上流の先端から流水が溪岸に達する前に下流側の水制で受けるように決定する。

水制間隔が広すぎると横流を生じ、水制域内の護岸工および溪岸を破壊することがあるため、水制工間隔は慎重に決定するものとする。

- ① 直線部においては水制長の2.5～3.0倍とする。
- ② 凹部においては水制長の2倍程度、凸部においては水制長の3倍以上とする。

6-6 形状

荒廃溪流における水制頭部は流水および転石の衝撃を最も強く受けることから堅固に造る必要があり、特に洗掘防止のために頭部を長く、深く溪床に掘り入れるのがよい。