

第 21 章 溪流取水工の設計

河川勾配が急で流量が急激に増減し、多量の土砂、石礫が流下して河床変動が激しい河川から取水する場合には、溪流取水工型の頭首工を採用すると有利である場合が多い。

ここでは、溪流取水工を設計する場合の一般的な手法や留意事項を解説する。

21.1 溪流取水工が具備すべき条件

流域が小さい山間、溪谷の流れを一般に溪流と称することが多いが、河川水理学的には、流域の大小にかかわらず、河川勾配が急で河状係数が大きく（数百以上）、尖鋭なハイドログラフを呈し、多量の土砂、石礫が流下して、河床変動の激しい山間、山麓地帯の河川を溪流（torrent）と呼ぶ。

溪流取水工（torrent intakes）は、溪流河川の地形、流況、取水目的、取水量に適した構造とする。

溪流取水工が具備すべき要件としては、

- (1) 急激な流量変化に対して、安定した計画取水ができること。
- (2) 流下土砂礫、種々の浮遊落下物によって、取水障害が起こりにくいこと。
- (3) 流石、流木等に対して堅牢であること。
- (4) 構造が簡単で、維持管理が容易であり、その費用が低廉であること。
- (5) 取水制限流量等の取水規程がある場合には、その条件を確実に満たし得る措置を講じていること。
- (6) 冬季、積雪、凍結のあるところでは、そのことによって取水障害が起こりにくく、損壊しにくいこと。
- (7) 周辺の景観や、河川環境を損ねないものであること。
- (8) 魚族の棲息する溪流河川では、その環境を保障し得るものであること。

等を挙げることができるが、一つの溪流取水工で、上記の要件をすべて満たし得るようなものを設置することは容易なことではない。特に、多量の土砂礫、巨石の流下する溪流河川では、摩耗、損壊に対して堅牢な構造となるよう設計上十分な配慮が必要になる。

21.2 溪流取水工の型式

溪流取水工の型式は、溪流河川の地形、流況、取水目的、取水量、取水方式等を勘案して選定する。

溪流河川を横切って固定堰を設ける取水工の型式は、構造令第 37 条のただし書きに準拠するものである。

溪流取水工の型式とそれぞれの水理特性は、次のとおりである。

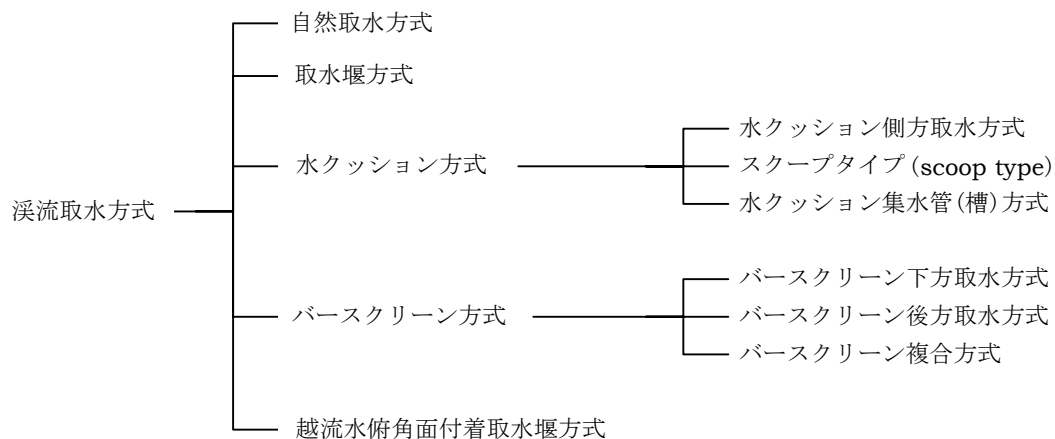


図-21.2-1 溪流取水工の方式

21.2.1 自然取水方式

安定した水位を保っている滝壺や淵があるところでは、適切な位置に取水口（孔口）を設けることによって、自然の水位から直接安定した取水をすることができる。

構造的には最も簡単な取水工であるが、洪水時には計画取水量以上の水量が流入し、多量の土砂礫が流入しやすいので、余分な流入水の調節、並びに、土砂礫の流入防止と排除について、適当な対策を講じることが必要である。

自然水位からの安定した直接取水が困難な溪流河川では、砂礫、蛇籠等によって仮堤を築き、また、河川地形、流況によっては、河道に明きょ導水路を開削して、取入口まで河川水を導いて取水する方式をとることがある。しかし、これらの仮堤、明きょ導水路は、洪水のたびごとに流失、埋没されやすく、取水量の規模によっては、その修復、維持管理に相当の労力と費用を要する。

21.2.2 取水堰方式

河床勾配が比較的緩やかで河床が安定した地点に、溪流河川を横切って固定堰、土砂吐き（排砂門）を設置して、計画取水水位を確保する方式の取水工である。

この方式の溪流取水工は、溪流河川の地形、流況及び取水工の規模によって大量の取水が可能であるが、取入口の位置、土砂吐きゲートの操作が適切でないと、取入口前面に堆積した土砂礫の流入、除塵スクリーンの目詰まり等によって取水障害が起こりやすい。また、多量の石礫が流下する溪流河川では、コンクリート構造物の摩耗、土砂吐き（洪水吐き）ゲートの損壊が起こりやすく、一般に維持管理は容易ではない。

溪流河川の地形、流況によっては、図-21.2-2 に示すように、固定堰軸線より下流側に固定堰堰頂よりも高い導流壁を設け、その末端部に土砂吐きゲートを設置して、土砂吐き水路を形成し、沈砂池の機能を備える場合がある。土砂吐き水路内で、十分な敷高が得られる位置に取入口を設けることによって、砂礫の流入を防ぐことができるとともに、導流壁下流端に常時小流量を越流し得る欠口を設けることによって、落葉等の浮遊流下物を放流することができる。

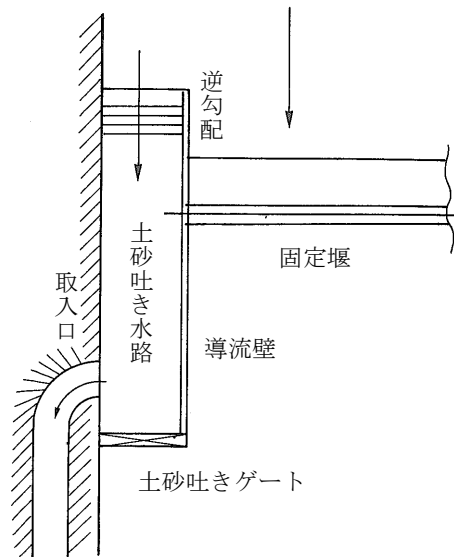


図-21.2-2 軸線違いの取水堰概要図

21.2.3 水クッション方式

この方式の溪流取水工は、溪流河川を横切って越流堰（堰堤）を設置し、その段落斜面直下部に水クッションを設け、水クッション側方又は後方に設けた取水口（孔口）あるいは水クッション底床部に設置した集水槽又は集水管によって取水するものである。

(1) 水クッション側方取水方式

図-21.2-3 に示す水クッション側方取水型溪流取水工は、主要構造として段落斜面部と水クッション部を有し、水クッション内を常流状態に保ちながら、側壁の片面あるいは両面に設けた取水口（孔口）から取水する。

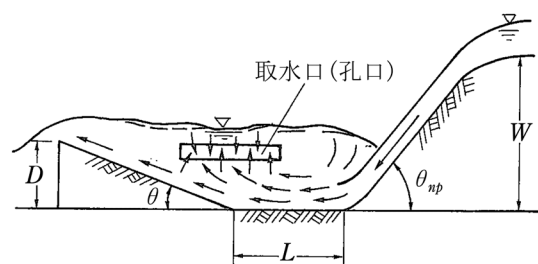


図-21.2-3 水クッション側方取水方式

この方式の取水量は、段落斜面の高さ W 、段落斜面の傾斜角 θ_{np} 、水クッションの幅及び底床部の長さ L 、デフレクター斜面の傾斜角 θ 及び高さ D 、取水口（孔口）の大きさ及びその位置によって規定されるが、一般には、落差 2 m で $1 \text{ m}^3/\text{s}$ 前後の取水が可能である。

ただし、取水に伴って浮遊流下物が流入しやすいので、除塵スクリーンあるいは阻壁を取付ける。

また、河川流量が設計流量以上に増水するときは、水クッション内は射流状態になり、水クッション内の堆砂礫は完全に掃流されるが、取水口が露出して取水ができなくなることがある。

(2) スcoopタイプ (Scoop-type) *¹

この型式の溪流取水工は、前述(1)側方取水方式とは異なり、**図-21.2-4**に示すように、下流側流出口（デフレクター）の高さが上流側流入口の敷高よりも高くなるよう溪流河床にくぼみを作り、平水時には水クッション内を常流状態に保ちながら、両側壁に設けた取水口から取水し、出水時には水クッション内に沈積した土砂礫及び流入石礫を自然に掃流排除し得るような水理構造としたものである。しかし、水クッション内が射流状態になるときは、取水口を露出して取水は停止する。

この型式の溪流取水工は、スコットランド西北部における発電水力のために、比較的小流域面積の溪流河川に設けられる取水工として開発されたものである。水理模型実験の結果から最適形状を決め、**図-21.2-4**に示した数字に設計流量 (m^3/s) の $2/5$ 乗を掛けると、各寸法諸元はフィート単位で表すことができるようになっている。

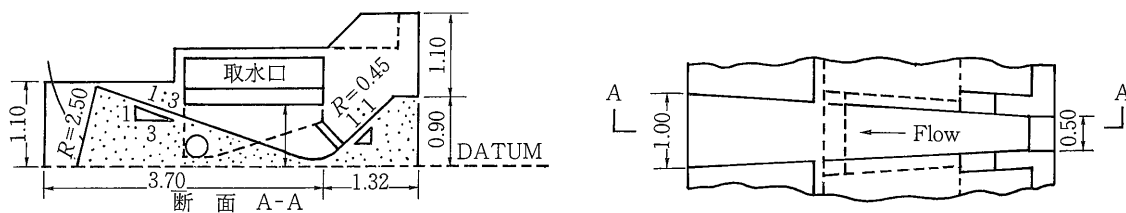


図-21.2-4 スcoopタイプ

(3) 水クッション集水管（槽）方式

集水管による取水量は、管径、管長、勾配、滞水層の透水係数、たん水深等に左右される。一般に、管径 1.0～1.5 m、管長 1 m 当たりの集水量は 1.0～1.5 l/s 程度であるので、計画取水量が大きい場合には長大な集水管を埋設する必要がある、取水工地点、溪流河川地形の制約を受けやすい。

図-21.2-5に示すような、溪流河床面下に集水管を埋設した集水管方式は、周辺の景観を損ねることが少なく、清水の取水が可能であるが、溪流河川の流量が少なく、全量取水の状態になると、落葉や腐植等によって濾過層の目詰まりが起こりやすい。また、出水時には集水管の露出、損壊、流失等の障害が起こりやすく、一般に維持管理は容易でないので、設計に際しては十分な注意が必要である。

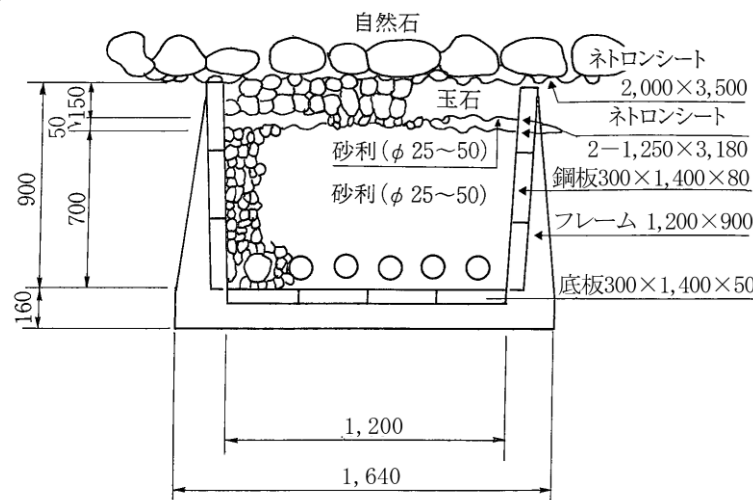


図-21.2-5 集水管方式

*¹ E. B. Wilson, J. A. Stevenson: Side Stream Intakes for Hydro Power in Scotland, A. S. C. E. Po 1 Jan. (1966)

図-21.2-6 は、水クッション底床部下方に集水槽を設置した水クッション集水槽方式である。水クッション内は常時たん水状態に保ちながら、増水時には水クッション内の掃流力を高めて、濾過層の目詰まり防止を図る水理構造としたものである。

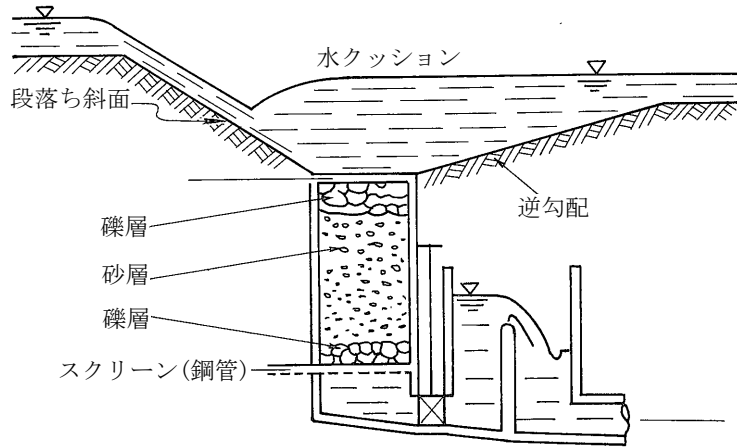


図-21.2-6 水クッション集水槽方式*2

段落ち高さ 0.5 m 前後、段落ち斜面傾斜角 45° 、水クッション底床部水平長 0.5~1.0 m、逆勾配(デフレクター) 斜面傾斜角 $12^\circ \sim 15^\circ$ のとき、単位幅当たり集水量は 30~40 l/s で、取水量は少ないが、溪流河床面下に敷設する一般の集水管方式のものに比べて、安定した清水の取水ができるので、畜産団地等における溪流取水工に適する。

21.2.4 バースクリーン方式

バースクリーン方式は、溪流河川を横切って固定堰を設置し、堰広頂部に水平又は傾斜したバースクリーンを取付けて、バースクリーン隙間からの落下水を堰体内に設けた集水路に流下させながら取水する型式である。また、下方取水型として、越流堰(固定堰)越流斜面あるいは砂防堰堤水叩き末端、又は床固め工下流側に集水路を設けて、取水量に応じた水理諸元のバースクリーンを取付け、バースクリーン隙間から下方への落下水を取水する型式がある。さらに、後方取水型として、固定堰段落ち斜面に 60° 前後の傾斜角でバースクリーンを取付け、バースクリーン斜面に沿って水平底床面に突込んだ射流水のバースクリーン隙間から後方への逆流水を取水する型式がある。

バースクリーン隙間から下方に取水する型式は、一般に、バースクリーンの取付け角を水平あるいは 30° 以下とするために、取水とともに多量の土砂礫が流入し、石礫、落葉等の浮遊流下物による目詰まりが起りやすい。バースクリーン取付け角を $45^\circ \sim 50^\circ$ と大きくし、下方取水型と後方取水型の両機能を備えたバースクリーン複合方式は、目詰まりが起りにくく、取水量が大きい場合に適する。

(1) バースクリーン下方取水方式

この方式は、オーストリアのチロル地方で開発されたことに因んで、一般にチロルタイプ(Tyrolean type)と呼ばれているものである。

固定堰越流斜面、あるいは砂防堰堤水叩き根固め工の下流側、又は落差工等の下流側に、計画

*2 秋吉康弘：水クッション構造と跳水現象、宮崎大農研技報、34-2 (1987)

取水量に応じたバーの長さ、傾斜角、隙間幅で取付けたバースクリーンによって、流下水から石礫、流木、落葉等を分離、排除しながら、バースクリーン隙間からの落下流入水を集水路に受けて取水する方式の取水工であるが、洪水時には多量の土砂が流入しやすい。

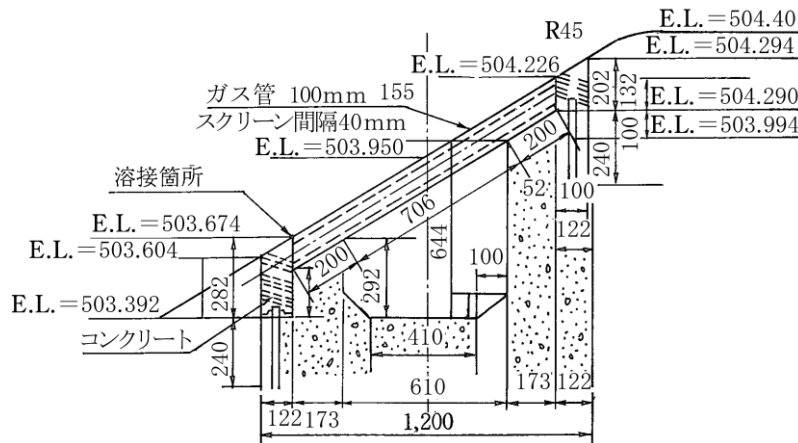


図-21.2-7 バースクリーン下方取水方式

バースクリーン下方取水方式は、平水時に清水を取水する場合には、バーの取付け角が小さく、バーの隙間幅（開度）が大きくて、バーが長いほど単位幅当たりの取水量は大きくなる。しかし、土砂、石礫、落葉等の浮遊流下物が多い溪流河川では、バーの取付け角を小さくした場合には、開度が小さいと目詰まりが起りやすく、開度を大きくすると砂礫の流入が多くなる。また、バーが長くなると、巨石、流木等によるバーの変形、損壊が起りやすい。

一般にバースクリーン下方取水方式は、バー取付け角 30° 以下、バー隙間幅 20～30 mm、バーの長さ 1 m 前後で単位幅当たり取水量 $0.1 \sim 0.3 \text{ (m}^3/\text{s/m)}$ であるが、施工実態をみると、石礫、落葉によって目詰まりが起りやすく、洪水のたびごとにバースクリーンに張り付いた枯葉やバーの隙間にかん入した石礫の除去、清掃を実施している。

バースクリーン下方取水方式は、平水時の取水を目的とする場合には、洪水後の適切な維持管理によって、バースクリーンの取水機能の回復を図ることができるが、平水時のみならず、洪水時の取水を目的とする場合には、バースクリーンの目詰まりによって著しく取水機能が低下し、取水不能になることがあるので、何らかの対策を要する。

(2) バースクリーン後方取水方式*3、*4

図-21.2-8 に示すような、バースクリーン後方取水方式の主要構造は、バー（鋼管）を一定隙間幅 a (20 mm 以下) に配列した段落斜面部と水クッション部からなっている。

*3 山本光男・西田順一・吉田昌弘：Bar screen-Back Stream Intake 溪流取水工、土木学会講演要旨集（1977）

*4 山本光男・松浦ら：Bar Screen Back Stream 型溪流取水特性とその適用性、農業土木学会講演要旨集 p. 28～29. (1978)

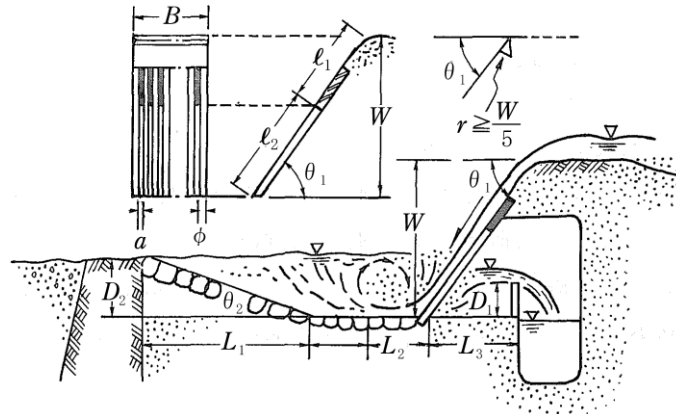


図-21.2-8 バースクリーン後方取水方式

取水目的、取水量に応じて、段落斜面高さ W 、段落斜面傾斜角（バー取付け角） θ_1 、バー隙間を管径の約 1/2 の高さまで埋込んだナップ誘導斜面の長さ ℓ_1 、バー隙間の長さ ℓ_2 、バー隙間幅 a 、後方取水量調整ゲート（取入れ角落し堰）の高さ D_1 、水クッション底床部水平長 L_2 、水クッションデフレクター（逆勾配）はい上がり斜面の傾斜角 θ_2 、その高さ D_2 及びバーの設置幅 B 等の諸元を規定して取水条件を決定することによって、安定した計画取水ができるものである。

バースクリーン後方取水方式は、次のような水理特性を有する。

ア 水クッション内が常流状態で、段落流量（溪流河川流量）が設計取水量以上に増加する場合、バースクリーン開度 $\psi = \left[\sum a \ell_2 / B(\ell_1 + \ell_2) \right]$ と段落流量（溪流河川流量）及び後方取水量との関係は、図-21.2-9 に示すように、バースクリーン開度が $\psi = 8\%$ 前後のとき、全量取水以上になると、段落流量の増減にかかわらず後方取水量はほぼ一定になる。

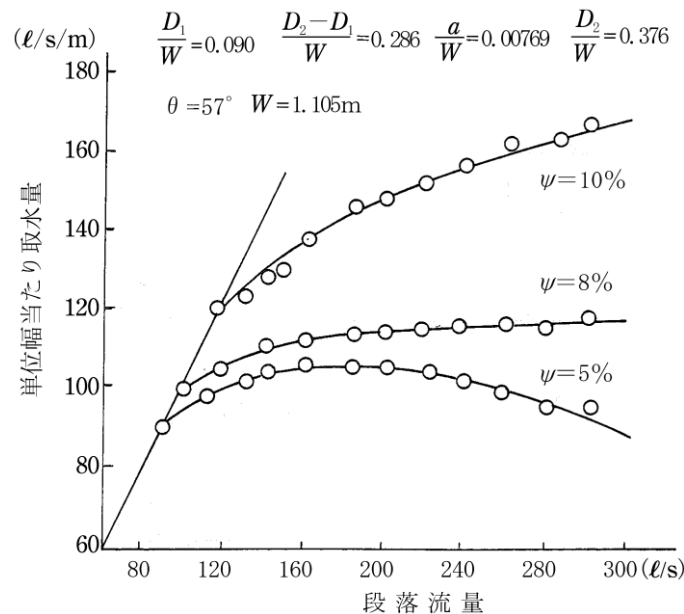


図-21.2-9 バースクリーン開度と後方取水量の安定性^{*5}

イ 段落斜面傾斜角 $\theta_1 = 60^\circ$ 、バースクリーン開度 $\psi = 8\%$ 、段落斜面高さ W 、水クッションデフレクター斜面の傾斜角 θ_2 が一定のときは、取水量調整角落し堰高さ D_1 が低く、水クッション

^{*5} 山本・角谷：Bar Screen 後方取水型溪流取水工 Screen 開度・水クッション諸元と取水特性、農士年講（1994）

デフレクターはい上がり高さ D_2 及び水クッション底床部水平長 L_2 が大きいほど、単位幅当たり常流状態最大後方取水量は大きくなる。しかし、水クッション底床部水平長 L_2 が段落斜面高さ W の2倍以上になると、最大取水量はほぼ一定になる^{*5}。

また、バースクリーン開度 $\psi = 8\%$ が一定のときは、バー隙間幅 a が小さく、隙間長さ l_2 が長いほど後方取水量は大きくなる。

ウ バースクリーン取付け角 $\theta_1 = 60^\circ$ 、バーの外径 $\phi = 100 \text{ mm}$ 、バー隙間幅 $a = 20 \text{ mm}$ 、バースクリーン開度 $\psi = 8\%$ 、水クッションデフレクター斜面傾斜角 $\theta_2 = 45^\circ$ 、 $L_2/W = 2$ 、 $D_3/W = 0 \sim 0.04$ 、 $D_2/W = 0.26$ のとき、段落斜面高さ $W = 0.5 \sim 5.0 \text{ m}$ に対する単位幅当たり常流状態最大後方取水量は、 $q = 0.03 \sim 1.10 \text{ (m}^3/\text{s/m)}$ 程度になる。

(3) バースクリーン複合方式^{*6}

バースクリーン下方取水方式は、バー取付け角が小さく、バー隙間幅が大きくて、バーが長いほど単位幅当たりの取水量は大きくなるが、土砂、石礫、落葉等の浮遊物が多量に流下する溪流河川では、バーの取付け角が小さいと目詰まりが起こりやすく、バー隙間幅が大きいと砂礫の流入が多くなる。

一方、バースクリーン後方取水方式は、目詰まりが起こりにくく、バースクリーンも堅牢で、設定した取水条件に応じて、安定した計画取水が可能であるが、単位幅当たり取水量を大きくするためには、相応の段落斜面の高さにしなければならない。また、バースクリーン下方取水方式に比べて構造がやや複雑になる。

図-21.2-10 に示すバースクリーン複合方式は、バースクリーン後方取水方式の集水路部をバースクリーン下方取水方式と同様にバースクリーン直下に設けて簡単な構造としたもの、あるいは、バースクリーン下方取水方式のバー取付け角を $45^\circ \sim 50^\circ$ と大きくし、バースクリーン下流側に水平底床を有する水クッションを付加した構造としたものである。

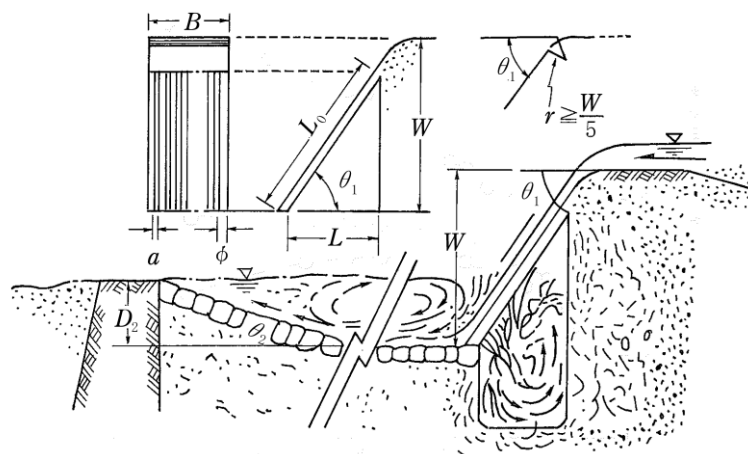


図-21.2-10 バースクリーン複合方式

バーの管径 ϕ 、バー隙間幅 a 、バー水平長（集水路幅） L が等しい場合には、バー取付け角の大小にかかわらずバースクリーンの開度は等しく、バー取付け角 $\theta = 30^\circ \sim 50^\circ$ に対して流量係数を $\mu = 0.55 \sim 0.6$ として、バースクリーン下方取水方式と同様の計算式によって取水量を算定することができる。また、バー取付け角を大きくするほど取水量は増大し、石礫、浮遊流下物によ

^{*6} 小島・山本：バースクリーン複合型溪流取水工に関する実験的研究、農土論集、No. 171 p. 67～73. (1994)

る目詰まりは起こりにくくなる。

バースクリーン複合方式は、バースクリーン下流側に水平底床を設け、さらにデフレクターを設置して水クッション部を形成するので、バースクリーン隙間からの下方落下流入水のほかに後方流入水が加わり、バースクリーン下方取水だけの場合に比べて取水量は増大する。

この型式の取水工の取水量は、デフレクターの高さに影響されるとともに、溪流河川の流量によって増減する。洪水時、溪流河川の水位が上昇して取水工が完全に潜りの状態になると、取水量は溪流河川水位と集水路出口の水位差によって決まり、浮遊流下物はもちろん、石礫によるバースクリーンの目詰まりは起こりにくい。この型式は、平水時のみならず、洪水時の取水を主要目的とする場合に適する。

バースクリーン方式溪流取水工では、バースクリーン設置幅が大きくなると、取水堰直上流に砂礫が堆積して流下水の通水幅が減少し、取水機能が低下しやすい。平水時のみならず高水時においても大量の取水を行う場合には、階段落差工の下段部には砂礫が堆積しにくいことから、バースクリーン複合型溪流取水工を幅広く、連続して、複列に設置すると、高水時には上段部取水工直上流の堆砂礫は掃流流下されるので、平水時には下段部取水工を主体に取水し、高水時には上下両方の取水工によって大量の取水が可能となる。

小規模な溪流取水工においても、溪流河川地形、流況によって、取水工直上流に砂礫が堆積しやすい場合には、取水堰上流側に床固め工を設置し、取水工上流全面にわたってたん水域ができるようにすると、流下水の通水幅は越流堰全面に保たれ、安定した取水が可能になる。

取水堰に集水管を設けると、トラップダムの機能を持たせ取水堰上流側、溪流河床貯留水を引水することができる。

21.2.5 越流水俯角面付着取水堰方式^{*7}

図-21.2-11 は、取水堰越流部を円弧として、上流側は $4^{\circ} \sim 8^{\circ}$ の逆勾配斜面とし、下流側は円弧に接して、鉛直面に対して $10^{\circ} \sim 19^{\circ}$ の俯角をなす壁面として、その直下に集水溝を設けた越流水俯角面付着取水堰方式溪流取水工である。

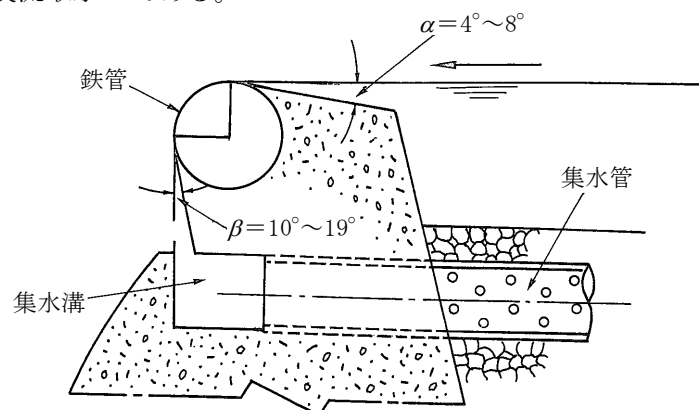


図-21.2-11 越流水俯角面付着取水堰方式

流下水は、円弧状の取水堰上流側逆勾配斜面で様な流速になり、堰頂を越流後、付着力によって俯角面に沿って集水溝に落下流入する水理構造になっている。

流下砂礫、浮遊流下物は、慣性力や遠心力によって集水溝の前方に落下するので、砂礫や落葉等

^{*7} 石田：溪流取水工の一方、発電水力、p.125. (1973)

の大部分は分離、除去されるが、5 mm 以下の砂粒子や軽い枯葉の一部は、付着水とともに集水溝に流入することがある。

取水堰越流部の半径 100 mm、俯角斜面高さ 250 mm の場合、最大取水量は単位幅当たり流量 10 l/s/m のとき約 7 l/s/m で、取水可能量は非常に小さい。

出水時、越流量が多くなると、ナップが堰頂部で俯角面を離れるので、取水はほとんど不可能になる。補助取水施設として、取水堰上流側に直径 200 mm 程度の集水管を埋設しているものもある。

砂礫や浮遊流下物の流入が少なく、維持管理のための労力をほとんど必要としないので、出水時の取水を放棄しても維持管理上の利点を選択する発電水力用の小規模溪流取水工としての施工事例が多数ある。

21.3 溪流取水工の位置の選定

溪流取水工の位置は、取水位と導水路の水位との関係を検討して、必要な水量が取水でき、施工性、経済性及び維持管理上有利になるように、溪流河川の地形、流況を調査して決定するが、位置の選定に当たっては、次のような事項について考慮する。

- (1) 洪水による洗掘、土砂礫の堆積等、河床変動の起こりにくい、安定した地点であること。
- (2) 溪流河川勾配が緩やかになり、河床幅が急拡する地点は、土砂礫が堆積しやすく、堆積土砂礫によって取水障害が起こりやすいので避けること。
- (3) 基礎地盤が良好で、溪流取水工の構造上の安定が得られ、施工に便利で、工事費が低廉な地点であること。
- (4) 上下流に及ぼす影響が少なく、維持管理に便利な地点であること。

なお、自然取水方式あるいは取水堰方式を設置する場合には、取入口は、溪流河川凹岸側、湾曲部中央部下流付近に設けることが望ましい。

21.4 水理構造設計

溪流取水工の水理構造諸元は、取水目的、取水量、建設地点の地形、流況等を考慮して、安定した計画取水ができるように決定するが、その算定式が確立されていないものは少なく、水理実験、経験によって諸元を決定しているところが多い。

21.4.1 固定堰

取水堰方式、水クッション方式及びバースクリーン方式等の固定堰は、一般の頭首工の固定堰設計手法に準じて構造諸元を決定してよい。

固定堰は、取水方式、取水工の型式、取水工の規模、取水目的、流況等によって、完全越流の状態になる場合と、完全潜りの状態になる場合がある。

21.4.2 水クッション

水クッション方式により安定した取水を図るためには、常時、水クッション内は常流状態に保たれ、土砂礫の堆積によって取水に支障を来たさないようにするとともに、溪流河川流量が増大して、水クッション内の流況が射流状態に移行するとき、あるいは水クッション内の流況が射流状態のまま溪流河川流量が減少して水クッション内が常流状態に復帰するとき、取水量が皆無又は著し

く減少する時間を極力短くするように水クッションの諸元を決定する。

(1) 水クッションデフレクターはい上がり高さ^{*8}

図-21.4-1 に示すように、水クッション底床部の水平長さを段落斜面高さとはほぼ同等にすると、水クッションの深さ（デフレクターはい上がり高さ）は次式によって算定することができる。

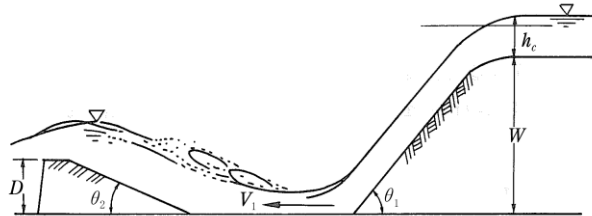


図-21.4-1 水クッション概要図

$$D \geq \left(\sqrt{1 + 2\kappa \frac{V_1}{V_c} \cos^2 \theta} - 1 \right) h_c \dots\dots\dots (21.4-1)$$

ここに、 D ：水クッションデフレクターはい上がり高さ（m）

h_c ：水クッション設計流量に対する限界水深（m）

θ ：デフレクター斜面傾斜角（°）

κ ：デフレクター斜面上の水面形状補正係数

（ $\theta = 14^\circ \sim 30^\circ$ のとき、 $\kappa = 0.93 \sim 1.01$ ）

V_c ： $\sqrt{gh_c}$ ：設計流量に対する限界流速（m/s）

V_1 ： $\alpha\sqrt{2g(W+1.5h_c)}$ ：段落斜面趾端における突込み水脈の水平底床面方向の流速（m/s）

α ：0.8～0.9

g ：重力の加速度（m/s²）

W ：段落斜面高さ（m）

ここで、水クッション設計流量は1年に5～6回発生する洪水量程度とし、段落斜面の傾斜角は、溪流取水工の型式、段落高さ等によって45°～60°とする。

デフレクターはい上がり高さは、段落斜面高さ、水クッション設計流量、デフレクター斜面傾斜角によって決められるものであるが、デフレクターはい上がり高さが等しいときは、デフレクター斜面傾斜角が小さいほど水クッション内の流況が常流状態から射流状態に移行する流量は大きくなる。また、水クッション内の土砂礫は掃流されやすい。

デフレクターはい上がり高さを高くすると、取水量は大きくすることができる。

(2) 水クッションの幅と長さ

水クッションの幅と長さは、溪流取水工の型式及び取水量に適したものとする。

水クッション側方取水方式では、幅よりも長さを大きくし、底床部水平長は段落高さの1.5～2倍程度とする。水クッションの幅 B は、計画取水量を Q （m³/s）とすると段落斜面上流側の溪流河川流量を $2Q$ （m³/s）として、次式によって概算することができる。

^{*8} 山本光男・細野正夫：水クッション型溪流取水工のデフレクターはい上り高さ、農業土木学会論文集 No. 67（1977）

$$B = \frac{2Q}{u_c h} \dots\dots\dots (21.4-2)$$

ここに、 B : 水クッション側方取水型溪流取水工段落部の幅 (m)

Q : 計画取水量 (m^3/s)

h : 段落斜面上流側溪流河川流量 $2Q$ m^3/s 時の平均水深 (m)

u_c : 溪流河川流量 $2Q$ m^3/s の砂粒子の掃流限界流速 (m/s)

段落斜面上流側、砂粒子の掃流限界流速 u_c (m/s) は次式によって求める。

$$u_c = \frac{u_{*c} h^{1/6}}{ng^{1/2}} \dots\dots\dots (21.4-3)$$

u_{*c} : 限界摩擦速度 (m/s)

h : 段落斜面上流側溪流河川流量 $2Q$ m^3/s 時の平均水深 (m)

($h \doteq R$ とする、 R : 径深)

取水口の位置は、デフレクター斜面はい上がり始点を中心に設け、流量係数は 0.6 程度とすればよい。

水深が低下して取水口が欠口状態になると、流量係数は 0.7 前後になる*9。

取水口はあらかじめ大きめに開口しておき、角落し堰によって取水量を調節するようにするとよい。

バースクリーン後方取水方式では、単位幅当たり取水量及び計画取水量に応じて水クッションの幅を大きくする。水クッション底床部水平長は他の条件が同等の場合には、長くするほど常流状態最大取水量は増大するが、段落高さの 2 倍以上になると最大取水量はほぼ一定になる。

バースクリーン複合方式に水クッションを設ける場合には、バースクリーン後方取水方式に準じて幅と長さを決めればよい。

(3) バースクリーンの諸元

バースクリーン下方取水方式 (チロルタイプ) では、所要のバーの長さは、バー上流側の流量が計画取水量 Q_0 (m^3/s) に等しく、図-21.4-2 に示すように、全量取水になる場合を考えて、式 (21.4-4) によって求める*10、*11。

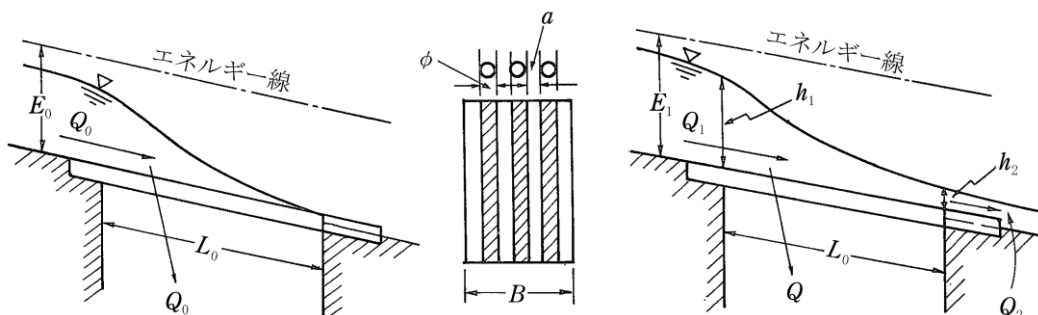


図-21.4-2 バースクリーン諸元

*9 山本・笹沼ら：水クッション型 Side Stream Intake、農土年講集 (1975)

*10 土木学会：水理公式集 (1961)

*11 Ven Te Chow: Open Channel Hydraulics、McGraw Hill (1959)

$$L_0 = \frac{Q_0}{\mu \psi B \sqrt{2gE_0}} \dots\dots\dots (21.4-4)$$

ここに、 L_0 : 全量取水に必要なバーの長さ (m)

μ : 流入係数 0.6 前後

ψ : 開度 ($= \sum a/B$ 、 a : バーの隙間幅)

B : バースクリーン設置幅 (通水幅) (m)

E_0 : 上流水路底より測ったエネルギー水頭 (m)

g : 重力の加速度 (m/s²)

流入係数 μ の値は、バー取付け角、隙間幅、水深、設置場所によって異なるが、バー取付け角度 30° 前後までは 0.6 程度としてよい*12。

洪水時にバー上流側での流量 Q_1 (m³/s) が計画取水量を上回る場合は、流れはバー隙間から落下するとともに、バー下流端から流下する。

このとき、バー上流端及び下流端における水深を h_1 (m)、 h_2 (m)、上流水路底より測ったエネルギー水頭を E_1 (m) とすると、バーの長さ L_0 などの関係は式 (21.4-5) のようになる。

$$L_0 = \frac{E_1}{\mu \psi} \left(\frac{h_1}{E_1} \sqrt{1 - \frac{h_1}{E_1}} - \frac{h_2}{E_1} \sqrt{1 - \frac{h_2}{E_1}} \right) \dots\dots\dots (21.4-5)$$

式 (21.4-5) によって、バー下流端における流下水の水深 h_2 を求めると、そのとき、バー下流端から流下する流量 Q_2 (m³/s) は、

$$Q_2 = Bh_2 \sqrt{2g(E_1 - h_2)} \dots\dots\dots (21.4-6)$$

によって求められるので、バー隙間からの落下水量 Q (m³/s) は、

$$Q = Q_1 - Q_2 \dots\dots\dots (21.4-7)$$

となる。一般に $Q_0 < Q$ であるので、集水路、余水吐き等の諸元は式 (21.4-7) で求めた落下水量を考慮して決める。

バースクリーン後方取水方式の単位幅当たり取水量は、段落斜面高さ W 、バースクリーン取付け角 (段落斜面傾斜角) θ_1 、バースクリーン開度 ψ 、後方取水量調整角落し堰 (調整ゲート) の高さ D_1 、水クッションデフレクター斜面の傾斜角 θ_2 及びその高さ D_2 、水クッション底床部水平長 L_2 等の諸元によって決まるが、 $\theta_1 = 60^\circ$ 、 $\psi = 8\%$ 、 $\theta_2 = 45^\circ$ 、 $L_2/W = 2$ 、 $D_1/W = 0 \sim 0.04$ 、 $D_2/W = 0.26$ のとき、段落斜面高さ $W = 0.5 \sim 5.0$ m に対する単位幅当たり常流状態最大後方取水量は、ほぼ図-21.4-3 に示すようになる。

*12 川合 亨：溪流取水工の水理設計について、水と土、No. 22 (1975)

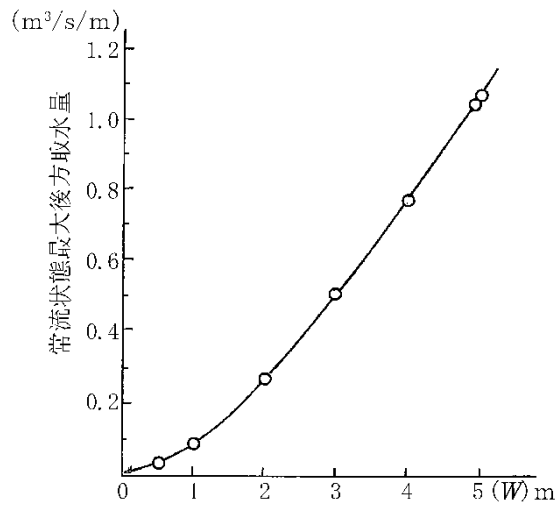


図-21.4-3 段落斜面高さ W と単位幅当たり最大後方取水量 $q_{\max}$ との関係^{*13}

バースクリーン複合方式のバー取付け角は $45^\circ \sim 50^\circ$ とするが、計画取水量とバーの所要長さとの関係は、式 (21.4-4) において $\mu = 0.55 \sim 0.5$ とすればよい。バースクリーン複合方式の取水目的を洪水時の取水を主とする場合、バースクリーンが完全潜りの状態になるときの取水量 Q (m^3/s) は、次式によって求められる。

$$Q = \mu\psi BL_0 \cos\theta \sqrt{2gH} \cdots \cdots \cdots (21.4-8)$$

ここに、 H : 完全潜り状態になった洪水時溪流河川水位と、集水路出口水位との差 (m)

L_0 : 計画取水量全量取水に必要なバーの長さ (m)

μ : 流入係数 0.55 程度

ψ : バースクリーン開度

B : バースクリーン設置幅 (m)

g : 重力の加速度 (m/s^2)

θ : バースクリーン取付け角 ($45^\circ \sim 50^\circ$)

(4) 集水路

バースクリーン下方取水方式、バースクリーン後方取水方式、バースクリーン複合方式の集水路は、貯水池側溝余水吐きに準じて算定するが、溪流取水工の集水路、特にバースクリーン下方取水方式、並びにバースクリーン複合方式では、図-21.4-4 に示すように、バースクリーンからの落下水は集水路断面下流側側壁に突込んだ後、上流側側壁に沿って大きくはい上る二次流を発生するために、主流方向の流速が減少するとともに、集水路の水位が上昇する。したがって、適正な集水路の諸元を算定することは容易でない。

*13 山本光男・王 雄：溪流取水工の設計について、明治大学農学部研究報告、No. 92 (1991)

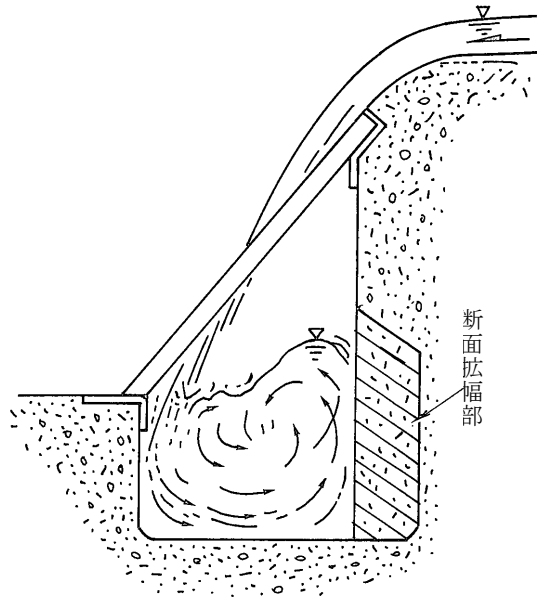


図-21.4-4 集水路横断面二次流発生状況

水理模型実験の結果から、計画取水量を支障なく取水するための集水路の諸元は、次の方法で求めることができる^{*14}。

- ① 集水路の幅はバースクリーンの水平長とし、底勾配は 1/30～1/20 程度とする。
- ② 集水路下端における流量（設計取水量に同じ）に対する等流水深と速度水頭を算定する。
等流水深の算出には、連続の式にマニング（Manning）の平均流速公式を代入して求めた式（21.4-9）を用いる。

$$h = \left(\frac{qn}{s^{(1/2)}} \right)^{(3/5)} \cdot \left(1 + \frac{2h}{b} \right)^{(2/5)} \dots\dots\dots (21.4-9)$$

ここに、
 h : 等流水深 (m)
 b : 集水路幅 (m)

$q = Q_0 / b$: 集水路下流端単位幅当たり流量 (m³/s/m)
 n : 粗度係数 ($n = 0.015$)
 s : 集水路勾配
 Q_0 : 集水路下流端流量 (m³/s)

- ③ 集水路下流端における深さは、等流水深に速度水頭の 60%を加えたものとして決定し、これに若干の余裕を加えて集水路の天端を決定する。
- ④ 地形上、集水路勾配 s が 1/50～1/40 となり、通水断面が不足する場合には、速度水頭をそのまま等流水深に加えて、集水路下流端の深さとする。
- ⑤ バースクリーン下流側に水平底床を設ける場合には、水平底床末端に、取水量に応じた高さのデフレクターを設置することによって、集水路の深さを大きくすることができる。

バースクリーン後方取水方式の集水路は、集水路末端で計画取水量を流下する導水路の起点

^{*14} 小島信彦、山本光男、張 澤：バースクリーン複合型溪流取水工の集水路諸元の決定方法、農土論集 No.178、p. 31～36. (1995)

における水路底標高、水位を基準にして、所定の計算諸元に基づいて水面形を計算し、集水路の諸元を決定するが、一般には、貯水池側水路型洪水吐きの設計に準じて、集水路長の増分が Δx の任意の 2 断面間について、上流断面における運動量に 2 断面間の運動量の増分を加えたものは下流側断面における運動量に等しくならなければならないことから、式 (21.4-10) によって水面計算を行っている^{*15}。

<計算諸元>

計画取水量： Q (m^3/s)、集水路長： ℓ (m) 粗度係数： n 、水路勾配： i 、水路側壁勾配： m ($=0$)、水路幅： B (m) に対して、

$$\Delta y = \frac{1}{g} \cdot \frac{Q_1(v_1 + v_2)}{(Q_1 + Q_2)} \cdot \left(\Delta v + \frac{qv_2 \Delta x}{Q_1} \right) \dots\dots\dots (21.4-10)$$

ここに、 Δx ：任意断面間の水路区間長 (m)

Δy ： Δx 区間の水位上昇量 (m)

Q_1 ：下流断面の流量 (m^3/s)

Q_2 ：上流断面の流量 (m^3/s)

v_1 ：下流断面の平均流速 (m/s)

v_2 ：上流断面の平均流速 (m/s)

$\Delta v = v_1 - v_2$ (m/s)

q ：バースクリーン単位幅当たりの流入量 ($\text{m}^3/\text{s}/\text{m}$)

g ：重力の加速度 (m/s^2)

計算は下流から上流に向かって進める。 Δy を仮定し、これに基づいて求められる上流断面の水量と式 (21.4-10) とから Δy を算出し、算出値と仮定値が一致するまで計算する。水理計算の結果、最も高い水位によって集水路の諸元を決定する。

21.5 形状設計

溪流取水口は、安定した計画取水ができる形式、水理構造とするとともに、材料、施工上の面を検討して、堅牢で、維持管理が容易な構造とする。

21.5.1 固定堰

取水堰方式の固定堰、堰体の断面形は、一般に上流面を鉛直あるいはこれに近い勾配とし、下流面は緩勾配の台形断面を修正した放物線形曲面に水承 (bucket) を設けた形状とするが、石礫が大量に流下する溪流河川では、砂防堰堤のように上流面を緩勾配とし、下流面は急勾配にして、落下する石礫による損壊を防止するようにする。

21.5.2 バースクリーン方式のバー形状^{*16、*17}

市販の鋼材を用いるのが最も経済的である。形状としては、鋼管、丸鋼、I 形鋼 (レール)、山形鋼、T 形鋼等があるが、施工事例によると鋼管を用いたものが多く、転石の衝撃、石礫の摩擦に対

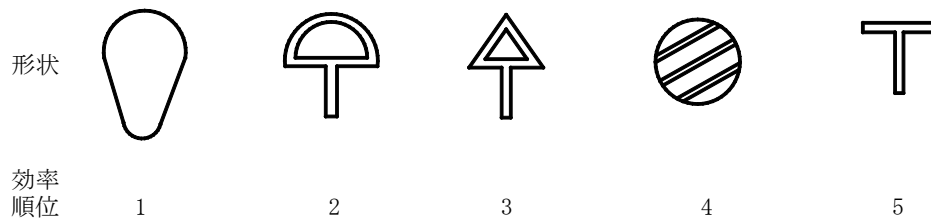
^{*15} 農林省構造改善局：土地改良事業計画設計基準 ダム

^{*16} J. Orth E. Chardonnet, et al. : Study of botton type water intake, grids, La Houille Blanche (1954)

^{*17} 水資源開発公団：昭和 44 年度水路技術委員会報 (1960)

して十分堅牢である。

参考として、バーの形状による流入効率の順位を示すと、図-21.5-1 のようになる。



(注) スクリーン勾配 1 : 5 における流入効率は、100%、95.5%、93%、97%、80% となり、3 と 4 はほとんど差がない。

図-21.5-1 形状による流入効率の順位

21.5.3 バースクリーンの取付け

バースクリーンは、取付け斜面がバースクリーン上流側固定堰越流斜面と一致するように取付ける。

バースクリーンの取付け幅は、計画取水量とバースクリーン単位幅当たり取水量によって算定するが、バースクリーン下方取水方式では目詰まりが起こりやすいので、石礫の流下状況によって算定値の 1.5～2.0 倍の幅とする。

バースクリーン後方取水方式のバースクリーン設置幅が大きくなる場合には、適宜バースクリーンの背面に隔壁を設けて段落斜面張出し部の支持工するとともに、隔壁間に角落し堰を入れて、取水量及び流入土砂量の制御ができるようにする。

溪流河川の流下通水幅がバースクリーンの設置幅よりも大きい場合には、固定堰越流部は取水部（低水部）と洪水越流部（高水部）とに区分して、バースクリーン設置幅に対する流下水の通水幅の安定を図る。さらに、角落しを備えた補修用の放水口、あるいは、土砂吐きを設ける。

バースクリーンは、単位幅ごと、又は 4～5 本ごとに溶接したセグメントを工場で製作すると取付けに便利であり、補修、維持管理が容易である。

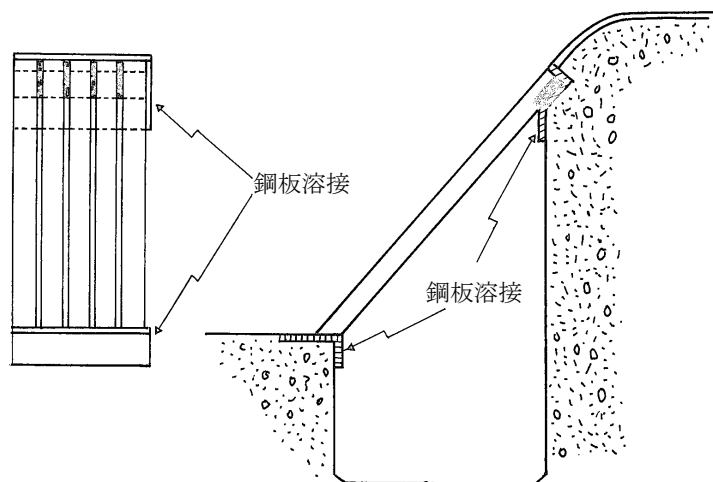


図-21.5-2 バースクリーンセグメント

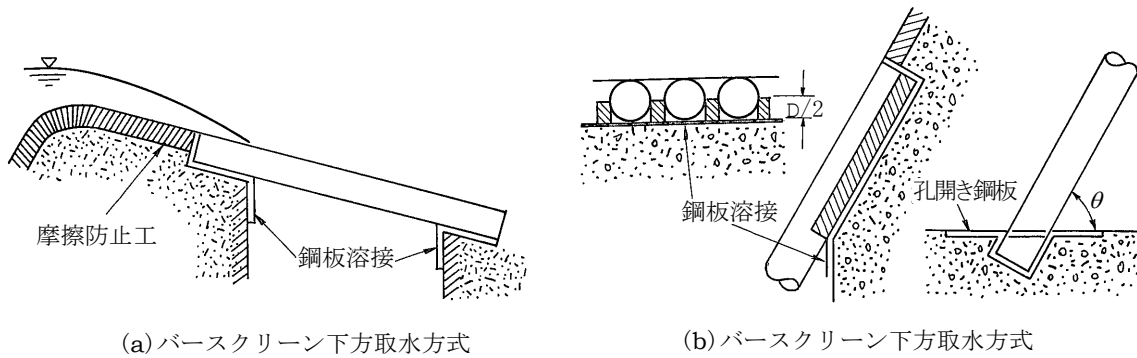


図-21.5-3 バースクリーン取付け構造

21.5.4 低落差バースクリーン後方取水方式

バースクリーン後方取水方式のバースクリーン取付け角は $\theta = 60^\circ$ 前後とするが、段落斜面の高さが小さく、 $W < 1.0 \text{ m}$ になる場合、溪流河川流量が減少して全量取水の状態になると、段落斜面流水はバースクリーン斜面に沿っていったん水クッション内に滞溜したのちバースクリーンを逆流するために、落葉等の浮遊流下物はバースクリーンに引き付けられて目詰まりを起こすようになる。

このような場合には、バースクリーンの取付け角を $40^\circ \sim 50^\circ$ に緩やかにすると、段落斜面流はバー隙間からバースクリーン下端部背面側に流下して空気混入流となる。この空気混入流はバースクリーン下端で盛り上がり、エアリフト効果を発揮するために、水クッション内に流入した浮遊流下物はバースクリーン下端で上昇する気泡とともに浮上して、水クッションデフレクターに向けて押し流され、目詰まりは起こりにくくなる。

段落斜面高さが低く、取水量の少ない小規模のバースクリーン後方取水方式では、水クッションにデフレクターを設けず、その部分に順底勾配をつけるとともに角落し堰を取付けて、溪流の流量に応じて水クッションの水深を調節し、水クッション内に滞溜する落葉、土砂を適宜排除し得る構造にするとよい。

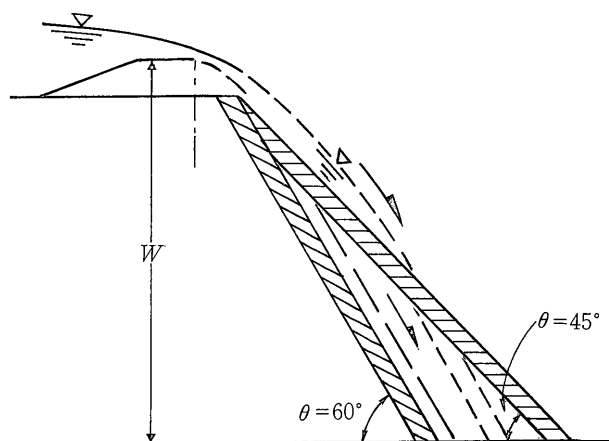


図-21.5-4 低落差、小流量時の斜面流流下形態

なお、低落差、小規模のバースクリーン後方取水方式は、工場でセグメントを製作し、可搬・組立式にすると施工は容易であるとともに、溪流河川の地形、流況に応じた据え付け調整が可能である。

21.5.5 固定堰越流斜面落ち口形状

水クッション側方取水方式、バースクリーン後方取水方式及びバースクリーン複合方式のように、取水の安定と維持管理の容易を図るためには、固定堰越流斜面を流下する水脈は、完全に段落斜面に接して、設定した段落傾斜角に沿って流下する必要がある。このためには、固定堰越流斜面落ち口の曲面の曲率半径は、段落高さの 1/5 以上にするといよい。

段落斜面落ち口の曲面、流下水脈誘導段落斜面は、所定の流下水脈突込角を与えて、取水量及び水クッション内流況を規制するものであるもので、摩耗、損壊に対して堅牢な材料、施工法を採用する必要がある。

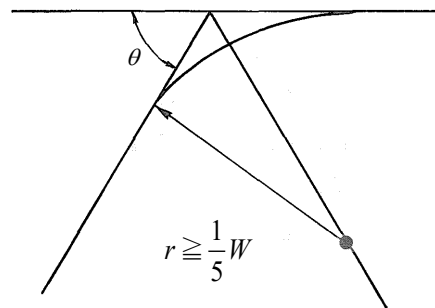


図-21.5-5 段落斜面の落ち口形状

21.5.6 施工区分

溪流取水工は、砂礫、転石の流下によって、摩耗、損壊されやすいので、段落斜面越流部、流下水脈誘導斜面部、水クッション部等、補修しやすい部分と、しにくい部分に分けた構造として、材料、施工の区分を行うとよい。

コンクリートの摩耗、損壊防止対策としては、間知石張り、高強度コンクリートの打設、鋼鉄板張り等がある。

21.6 設計事例

21.6.1 御勅使川溪流取水工

竣工年度：1973 年度

所在地：山梨県中巨摩白根町

地区名：山梨県営かんがい排水事業御勅使川地区

計画取水量：0.89 m³/s（最大 3.0 m³/s）

型式：バースクリーン下方取水型（チロルタイプ）

バースクリーン隙間幅 40 mm、設置幅 40 m

パイプ：φ = 100 mm、鋼管、有効長 70.6 cm、取付角度 30°

集水路：幅 0.61 m、水路勾配 1/40

〔機能概要〕段落高さ 5.22 m の砂防堰堤の、水叩き（長さ 16.6 m）末端根固め工に続いて、

図-21.6-1(b)のようにバースクリーンを取り付けたものであるが、バースクリーン設置幅が広いために、水叩き上に砂礫が堆積して通水幅が狭くなり、平水時には流下水のかからないところも見られるが、計画取水量が小さいために、バースクリーンの広範に石礫が詰まった場合でも計画取水量は確保されている。

バースクリーン下流端をコンクリート斜面に合わせて埋込んで取り付けられているために、石礫による目詰まりが起こりやすい。

砂防堰堤上流側に砂利採取場があり、洪水時には流域内の山地が崩壊しやすい地形であるので、土砂礫の流下が激しく、集水路に多量の土砂が流下するとともに、バースクリーンの目詰まりも著しい。洪水のたびごとに、バースクリーンに嵌入した石礫の除去作業を行っているが、自然流入方式であった旧取水施設に比べると、はるかに安定した取水が保証され、維持管理も容易になっている。

洪水時には、高さ 5.22 m の砂防堰堤から径 50~60 cm の巨石が流下しているが、20 数年経過した時点で、バーの一部に摩耗による損傷は見られたものの、変形したものはほとんどない。しかし、コンクリートの摩耗、護床工の破壊が激しく、バースクリーン複合式への改修が検討されている。

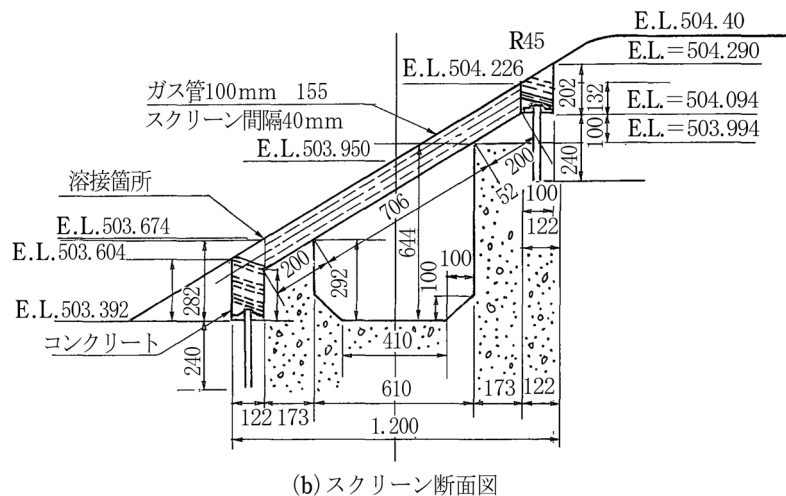
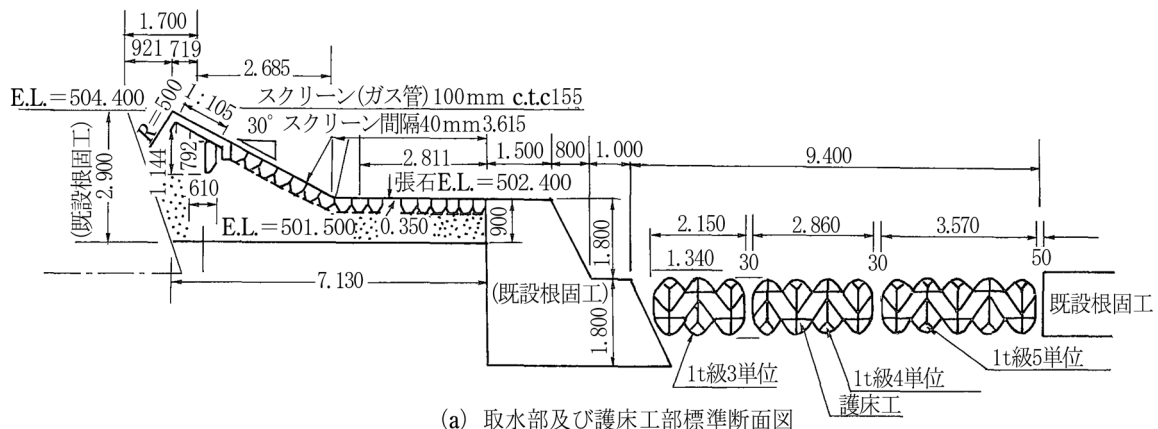


図-21.6-1 御勅使川溪流取水工構造概要図

21.6.2 三重用水河内谷川溪流取水工

竣 工 年 度 : 1986 年度

所 在 地 : 三重県員弁郡藤原町

地 区 名 : 水資源開発公団三重用水事業地区

計 画 取 水 量 : 最大計画取水量 $3.03 \text{ m}^3/\text{s}$ (内取水制限流量 $0.43 \text{ m}^3/\text{s}$)

型 式 : バースクリーン後方取水型

段落斜面高さ 2.60 m 、段落斜面傾斜角度 57°

バースクリーン隙間幅 20 mm 、設置幅 14 m

バースクリーン開度 7%

バ ー : $\phi=114.3 \text{ mm}$ 、有効長 2.42 cm 、取付角度 57°

集 水 路 : 幅 1.50 m 、最大深さ 1.59 m 、水路勾配 $1/12$

水クッション : 底床部水平長 1.5 m 、デフレクター斜面傾斜角度 14° 、デフレクターはい上がり高さ 1.0 m

〔機能概要〕河川協議により、取水制限流量は取水量とともに一度取り入れたのち、所定の流量を保証するため、還元口から元の溪流河川に戻す構造になっている。

昭和 61 年(1986) 6 月竣工以来試験取水を続け、平成元年(1989) 8 月から本取水を開始している。低水時、全量取水状態を続けると、流況によって、水クッション内デフレクター斜面上に堆砂をみることがあるが、バースクリーン斜面流水脈によって掃流されるので、後方取水に支障を来たすようなことはないようである。

溪流河内谷川の流量が増大して、計画取水量の 2 倍以上になると、水クッション内の堆砂礫は掃流流下されている。水クッションは間知石張りとしているため、洪水時には長径 1 m 以上の巨石が流下しているが、水クッション内に堆積残留することなく、堅牢である。取水工、特に、バースクリーンの摩耗損壊の被害は発生していない。ただし、バースクリーンの取付け不良箇所があって、バースクリーンが離脱したことがある。

段落斜面落ち口並びにバースクリーンに繁茂する苔のために落下水脈が飛散していることがあった。また、溪流河川幅が急拡大する地点に堰堤を設けたために、洪水の流況によっては、取水工上流側に多量の石礫が残留堆積することがある。

本取水開始直後、平成元年(1989) 8 月 27 日、台風 19 号による洪水によって、隣接溪流員弁川に設置している、バースクリーン下方取水型溪流取水工(チロルタイプ)は、枝葉、石礫によって、全面的に目詰まりが起り取水不能の状態に陥ったが、河内谷川バースクリーン後方取水型溪流取水工は、洪水中も、洪水後も、設定した計画取水量を保ちながら、安定した取水を継続していた。

河川幅が急拡大する地点に堰堤を設置したため、上流側に石礫が堆積して州を形成することがある。

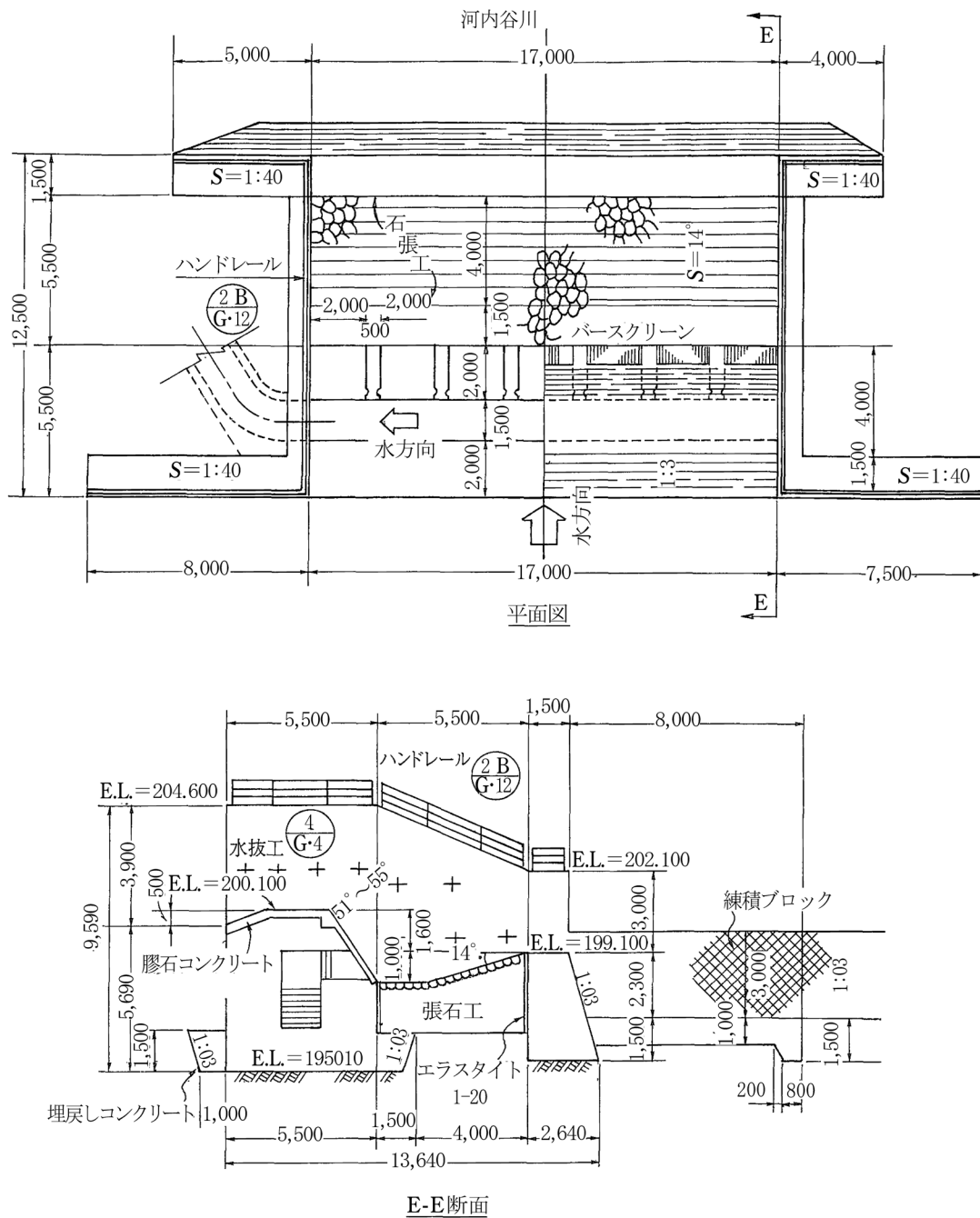


図-21.6-2 三重用水河内谷川パースクリーン後方取水型溪流取水工概要図

21.6.3 関刀溪溪流取水工

竣工年度：1991年度

所在地：台湾、南投県北港溪恵孫林場地先

地区名：南投農田水利会、能高大圳

計画取水量：1.0 m³/s (最大 2.0 m³/s)

型式：パースクリーン複合型溪流取水工

段落高さ 1.30 m、段落斜面傾斜角 45°、パースクリーン隙間幅 20 mm、パースクリーン設置幅 9.6 m、パースクリーン開度 22%

バースクリーン： $\phi = 90$ mm、有効長 1.604 m、取付け角度 45°

集水路：幅 1.00 m、最大水深 0.86 m、水路勾配 1/34.5

〔機能概要〕段落斜面落ち口は施工不良で、設計どおりの滑らかな曲面に仕上がっていないが、溪流河川流量が $1.0 \text{ m}^3/\text{s}$ 前後のとき、段落斜面落ち口曲面を越流する水脈は、バースクリーン設置幅全面にわたって、直接バースクリーン隙間から流入落下するので、全量取水の状態で集水路に流入している。

1991 年 4 月竣工以来、年に 2～3 回程度中小洪水に遭遇しているが、平均径 2～3m の転石に対しても十分堅牢である。しかし、バースクリーン隙間にかん入する石礫、浮遊流下物による目詰まりは避けられず、洪水のたびごとに、スクリーンの清掃・維持管理を実施するようにしている。

バースクリーン下流側には水平底床を設けているので、バースクリーンの清掃・維持管理は安全である。本溪流取水工は、日本、台湾において、この型式の施工事例の第 1 号である。

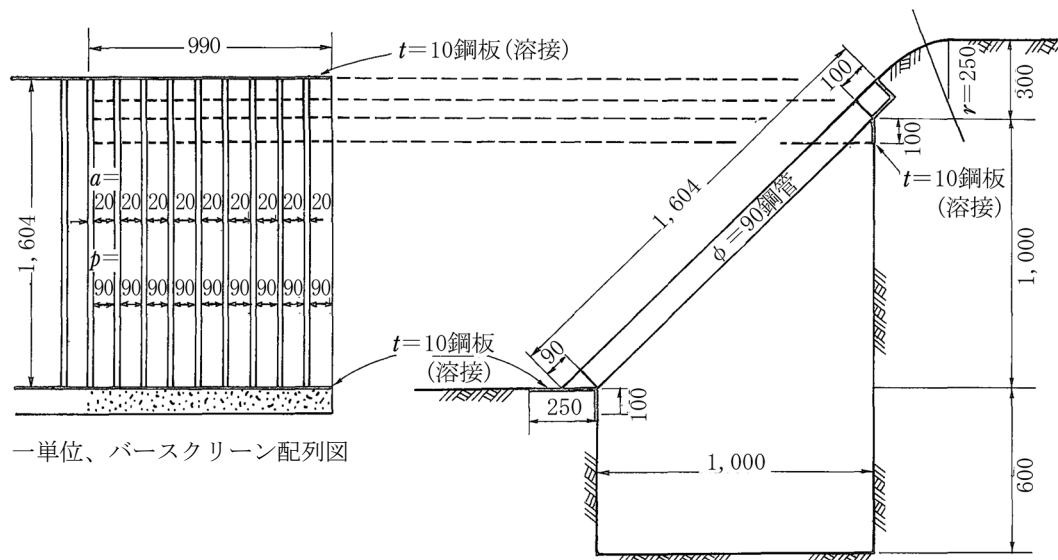


図-21.6-3 台湾関刀溪バースクリーン複合型溪流取水工
バースクリーン取付部構造図

21.7 附帯施設

溪流取水工の附帯施設としては、魚道、排砂施設、管理道路、管理施設、補修用放水路、放水口、制水ゲート、余水吐き、沈砂池、取水制限流量放流口等がある。

中山間地帯、急勾配の地点に設ける、取水量の小さい溪流取水工のためには沈砂池よりも、立体的に土砂分離を考えた沈砂槽を設置するとよい。