

バ-スクリ-ン複合型溪流取水工の水理特性に関する実験的研究

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2012-05-24 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 小島, 信彦 メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/10291/12894



バースクリーン複合型溪流取水工の
水理特性に関する実験的研究

Experimental Study
on Hydraulic Characteristics of
the Bar Screen Compound Type
Torrent Intake

農学研究科 農学専攻 小島信彦

目 次

第 1 章	まえがき	1
第 2 章	溪流取水工	3
1.	溪流取水工の定義	3
2.	溪流取水工の型式	4
(1)	自然取水方式溪流取水工	
(2)	取水堰方式溪流取水工	
(3)	水クッション方式溪流取水工	
(4)	バースクリーン方式溪流取水工	
(5)	その他の溪流取水工	
第 3 章	バースクリーン複合型溪流取水工の構造	7
第 4 章	取水特性	10
1.	実験装置の概要	10
2.	実験方法	15
3.	実験結果及び考察	15
(1)	取水量	
(2)	目詰まりの状況	
4.	取水量算定式の検討	19
5.	構造上の留意点	21
第 5 章	集水路諸元の決定方法	26
1.	対象溪流取水工の水理諸元及び原設計に関する検討	27
2.	集水路諸元の決定方法	29
(1)	側水路型余水吐の設計方法による決定方法	
(2)	等流水深と速度水頭による方法	
3.	検証実験	36
4.	実施設計	39

第 6 章	複列式バースクリーン複合型溪流取水工の開発	43
1.	取水特性	46
(1)	実験装置及び実験方法	
(2)	実験結果及び考察	
2.	水クッション内の流速	54
(1)	実験装置及び実験方法	
(2)	実験結果	
(3)	考察	
第 7 章	施工事例	68
第 8 章	まとめ	72
第 9 章	あとがき	74

<引用文献>

第1章 まえがき

わが国の水利用のための水源としては、河川等の表流水がその大部分を占めており、河川の河水自流量を超える水需要が生じたとき、季節的に、時間的に大きく偏っている河川流出量を、その変動に関わらず年間を通して利用するために、ダム等の建設を行ってきた。

このとき、河川本流を締め切って貯水池を築造することは、貯水池が集水と取水及び貯水機能とを併せ持つため、河川水利上は有効な方法である。しかし、一方で河川水のみならず、自己流域より流入してくる土砂・石礫・流木等の他、流域の開発に伴って増加する塵芥・汚水など、あらゆる流下物をため込むために、貯水池の堆砂や水質の汚濁のほかにも、河川下流への土砂礫の供給が停止するため、河床低下、河口・海浜の浸食等の河川環境上の問題が発生しやすい。したがって、流量変化が大きく、大量の土砂・石礫が流下する溪流河川本流に貯水池を築造することは、必ずしも有効な利水方法ではない。

これに対して、溪流河川本流外の適当な地点に貯水池を建設し、溪流河川本流あるいはいくつかの溪流に設置した溪流取水工による取水を導水・貯留して利水を行う、溪流取水工群とオフストリームダムあるいは調整池とからなる利水システム¹⁾は非常に有効な手段である。このシステムにおいては、利水上の利点のみならず、適切な取水方式の選択によって、取水工地点を流下する河川水の全量取水を避け、溪流河川環境の保全が図られるほか、堆砂防止による貯水池の寿命の延長、河川下流への土砂・石礫の供給を保証することによる河床低下及び河口・海浜の浸食防止などにも効果がある。また、単独の貯水池の場合には対象とならなかった、支流、小溪流であっても、地形・地質的に適切で、溪流河川本流あるいは近隣の溪流より導水できれば、貯水池の建設が可能になるので、水没補償などの社会的条件の厳しい地点を避けることができるという利点もあり、今後、大いにその機能を発揮するものと思われる。

本研究は、この利水システムへの適応を目指して開発した、バースクリーン複合型溪流取水工について、水理模型実験・解析を行い、その水理特性を明らかにし、水理諸元の算定方法を究明したものである。なお、このバースクリーン複合型溪流取水工は、従来のバースクリーン後方取水型溪流取水工を改良したものである。バースクリーン後方取水型溪流取水工においては、溪流河川流量が計画取水量の2倍以下になると、十分な取水機能を発揮することができなくなるのに対して、バースクリーン複合型溪流取水工では、溪流河川流量が小さくなっても取水が可能であり、また、構造も簡単で、同一の取水工落差に対する取水量も大きくなるという利点を有するものである。

第2章 溪流取水工

1. 溪流取水工の定義

農業土木標準用語事典^{2) 3)}によると、一般に流域面積が小さく、河床勾配が急なため、流量の増減が急激で、多量の土砂・石礫が流下して河床変動が激しい山間部の溪流に設けられる取水施設が、溪流取水工(mountain stream diversion works)であるという。この場合、山間、溪谷の流れを溪流(mountain stream)としているが、河川水理学的見地からすると、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(500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)というのが適切であり、このような溪流河川に設けられる取水工を溪流取水工(torrent intakes)とすべきであると考えられる。

したがって、上記のような条件の下に設けられる溪流取水工の型式は、河川地形、流況、取水目的、取水量に適したものでなくてはならない。そこで、溪流取水工の具備すべき要件⁴⁾に関してまとめると、

- ① 急激な流量変化に関わらず、安定した計画取水が出来ること。
- ② 流下土砂礫、種々の浮遊流下物によって取水障害が起りにくいこと。
- ③ 流石、流木など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 取水制限流量などの取水規制がある場合には、その条件を確実に満たし得る措置を講じていること。
- ⑥ 冬季に積雪、凍結があるところでは、そのことによって取水障害が起りにくく、損壊しにくいこと。
- ⑦ 周辺の環境、流況を損ねないこと。

⑧ 魚族の棲息環境を保証し得るものであること。

等を挙げることができる。

これらの全てを満足するような溪流取水工を設置することは、非常に困難であるが、現在、工夫を凝らした様々なタイプの取水工が計画・施工され実際に使用されている。

次に、これまでに開発されてきた溪流取水工の諸型式と施工事例について概観する。

2. 溪流取水工の型式

わが国の溪流の河川地形と取水方式、取水工の構造などから、溪流取水工の型式を類別すると次のようになる。

(1) 自然取水方式溪流取水工

安定した水位を保っている滝壺や淵がある溪流では、適当な位置に取入口を設けることによって、自然水位から直接安定した取水が可能である。この方式の取水工は、構造的には最も簡単なものであるが、洪水時には計画取水量以上の水量が流入するので、過剰流入水の制御、処理についての適切な方策を講ずる必要がある。また、多量の土砂礫が流入し易いので土砂礫流入防止工、あるいは沈砂池を設けて、土砂礫の流入防止と排除について検討しなければならない。

(2) 取水堰方式溪流取水工

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（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などによって取水障害が起こ

り易い。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損、上砂吐ゲートの損壊が起こり易く、一般に維持管理は容易ではない。

(3) 水クッション方式溪流取水工

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たものである。水クッション内の流況は、平水時は常流状態を保ちながら取水を行い、設計流量を越える出水時には射流状態になって、水クッション内の堆砂礫及び流下石礫は掃流排除される水理構造になっている。

この型式の取水工としては、側壁の片面あるいは両面に設けた取水口から取水する、水クッション側方取水型溪流取水工⁵⁾及びスクープタイプ（SCOOP TYPE）溪流取水工⁶⁾、水クッション後方に設けた取水口から取水を行う、水クッション後方取水型溪流取水工^{7) 8)}、あるいは水クッション底床部下方に設置した集水槽または集水管によって取水する水クッション集水管（槽）方式溪流取水工⁹⁾等がある。

(4) バースクリーン方式溪流取水工

この方式の溪流取水工は、溪流河川を横切って取水堰（固定堰）を設置し、堰広頂部に水平また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受けながら取水する、または、越流堰（固定堰）越流斜面、あるいは砂防堰堤または床固工の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、バースクリーンから下方への落下水を取水するバースクリーン下方取水型溪流取水工¹⁰⁾と、取水堰段落斜面に、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流下するナップ（流下水脈）が水平底床面に突入して、バースクリーン隙間から後方への逆流水を取水するバースクリーン後方取水型溪流取水工¹¹⁾がある。さらにこの夕

タイプの取水工には、本研究で開発したバースクリーン複合型溪流取水工¹²⁾が含まれる。この型式の溪流取水工については改めて後述する。

(5) その他の溪流取水工

上記以外の溪流取水工としては、チッソ(株)によって開発された、固定堰越流水側方取水型溪流取水工¹³⁾、固定堰越流水俯角面付着取水型溪流取水工¹⁴⁾などがある。

第3章 バースクリーン複合型溪流取水工の構造^{1,2)}

Fig.3・1 に示した、バースクリーン下方取水型溪流取水工は、平水時の取水であれば、バースクリーンの取付け角度 θ が小さく、バースクリーン隙間幅（開度）が大きくて、バースクリーンの長さが長いほど、単位幅当たりの取水量は大きくなるが、土砂・石礫の流下が多い溪流河川においては、バースクリーンの取付け角度 θ が小さいと目詰まりが起こり易く、バースクリーン隙間幅が大きいと土砂礫の流入が多くなる。また、バースクリーンが長くなると、巨石、流木等による、バースクリーンの変形、損壊を受け易くなる。これまでの施工事例によると、洪水時には、枯葉、石礫によりバースクリーンの目詰まりが起こり、取水機能が極端に低下するとともに、平水時においても、所定の取水量の確保のために、頻繁にバースクリーンの清掃を必要とするものが多い。

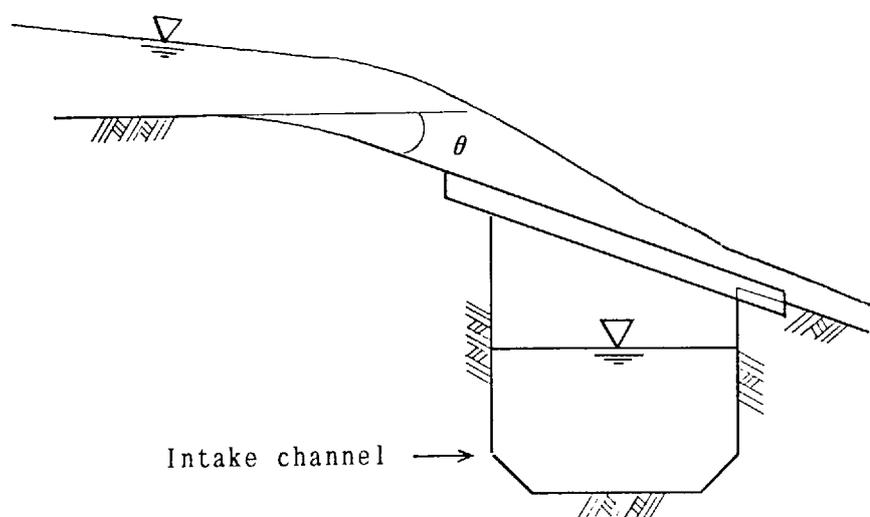


Fig.3・1 Bar screen bottom intake type torrent intake

これに対して、Fig.3・2 に示した適切な水理構造諸元のバースクリーン後方取水型溪流取水工は、目詰まりが起こりにくく、バースクリーンも堅牢で、設定した条件に応じて、溪流河川流量の増減に

関わらず、安定した計画取水が可能である。しかし、単位幅当りの取水量を増加させるためには、それ相応の段落斜面高さを必要とし、また、バースクリーン下方取水型溪流取水工と比べて、構造が複雑になり、工事費も割高となる欠点を有している。

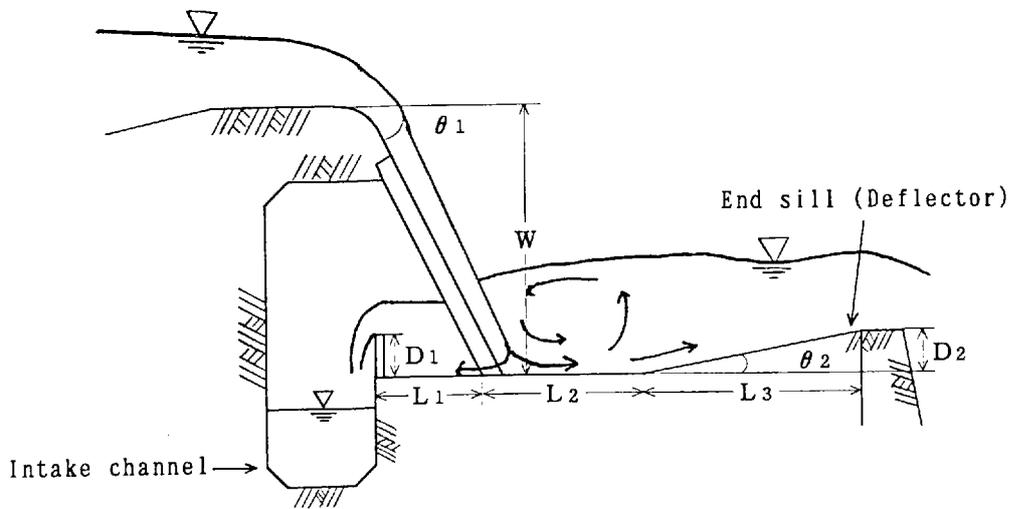


Fig.3.2 Bar screen back stream intake type torrent intake

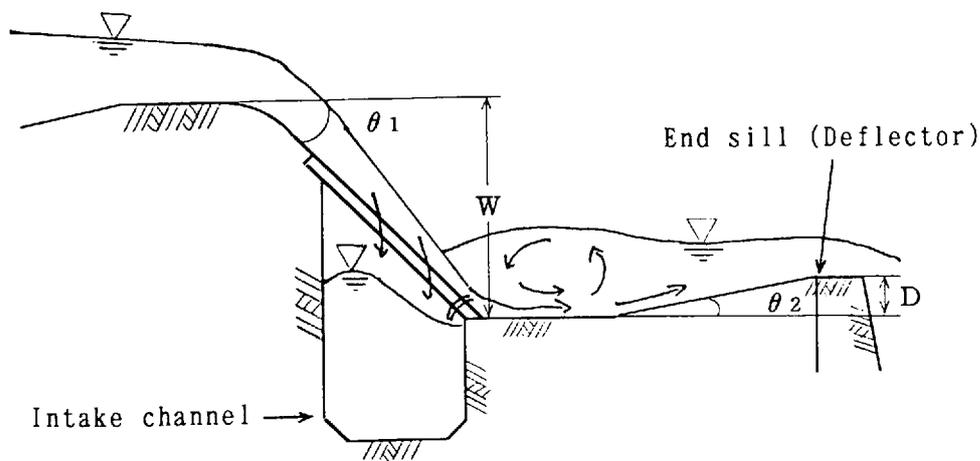


Fig.3.3 Bar screen compound type torrent intake

Fig.3.3 に示す、バースクリーン複合型溪流取水工は、上記のバースクリーン後方取水型及びバースクリーン下方取水型の両取水工の優れた特性を十分具備した溪流取水工として開発したものである。

取水工の構造を簡単で強固なものとするために、バースクリーン後
方取水型溪流取水工の集水路をバースクリーン下方取水型溪流取水
工と同様に、バースクリーン直下に設けた構造としたものである。
また、バースクリーン下方取水型溪流取水工において、単位幅当た
りの取水量が大きくなる点と、バースクリーン後方取水型溪流取水
工において、バースクリーンの目詰まりが起こりにくい点を考慮し
て、バースクリーン取付け角度 θ_1 を両者の中間の $45^\circ \sim 50^\circ$ に設
定した。バースクリーン下流側には、バースクリーン後方取水型溪
流取水工と同様に水平底床（水叩き）を設置し、さらに、エンドシ
ル（デフレクター）により水クッションを付加したものである。

次章より、このバースクリーン複合型溪流取水工に関する水理特
性について述べる。

第4章 取水特性^{1,2)}

バースクリーン複合型溪流取水工の取水特性を明らかにするために、次に述べるような実験装置によって、水理模型実験・解析を行った。

1. 実験装置の概要

実験装置は、Fig.4・1の配置図に示すように、高架量水槽、上流・下流水路、バースクリーン、下流側量水槽、帰還水路等からなり、また、量水槽にはともにJIS規格による直角三角堰を設けている。

次に、実験装置のバースクリーン部はFig.4・2に示す通りである。水路幅、深さがともに500mmで上流、下流各々5mの三面アクリル樹脂ガラス張り（厚さ15mm）水路をそれぞれ水平に、落差600mmで設置し、上流水路末端部には、高さ157mm、下流側ノリ面傾斜角 50° のバースクリーン取付け固定堰を設置する。下流水路には、バースクリーン取付け固定堰末端からの水平距離が419.5mmの一定の位置に、バースクリーン取付け角度 $\theta_1 = 50^\circ$ 、 45° 、 40° 、 30° のそれぞれに対し、バースクリーン下端敷高と等しくなるように、順次、ベニヤ板によって水平水路底床を敷設する（Fig.4・3）。 $\theta_1 = 50^\circ$ のとき水平水路底床の高さは、段落水路底床より、100mmであり、同様に $\theta_1 = 45^\circ$ では180.5mm、 $\theta_1 = 40^\circ$ では248mm、 $\theta_1 = 30^\circ$ では358mmとなる。また、この水平距離419.5mmは、原型の集水路幅に相当する。

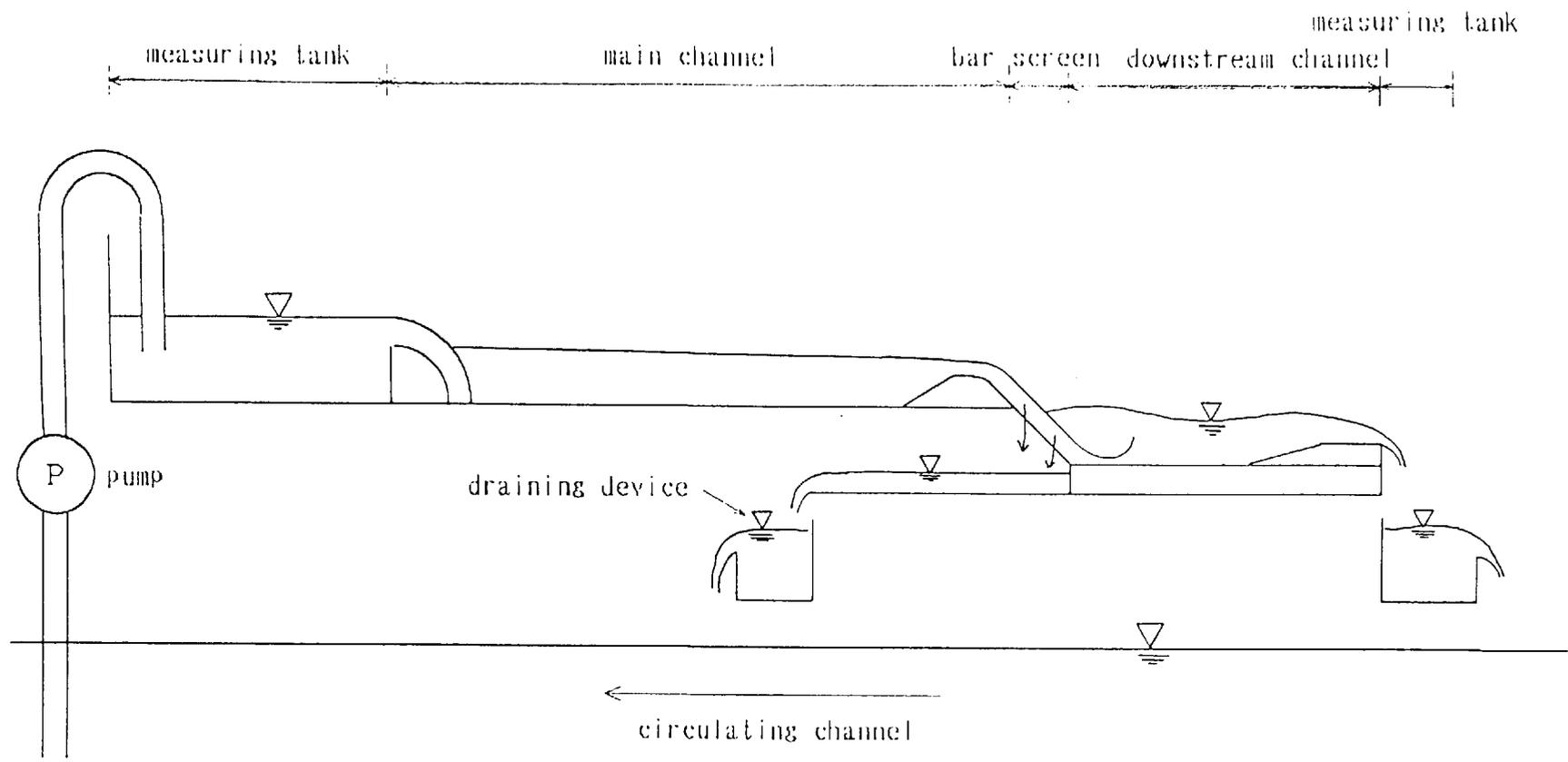


Fig.4·1 Arrangement of experimental apparatus

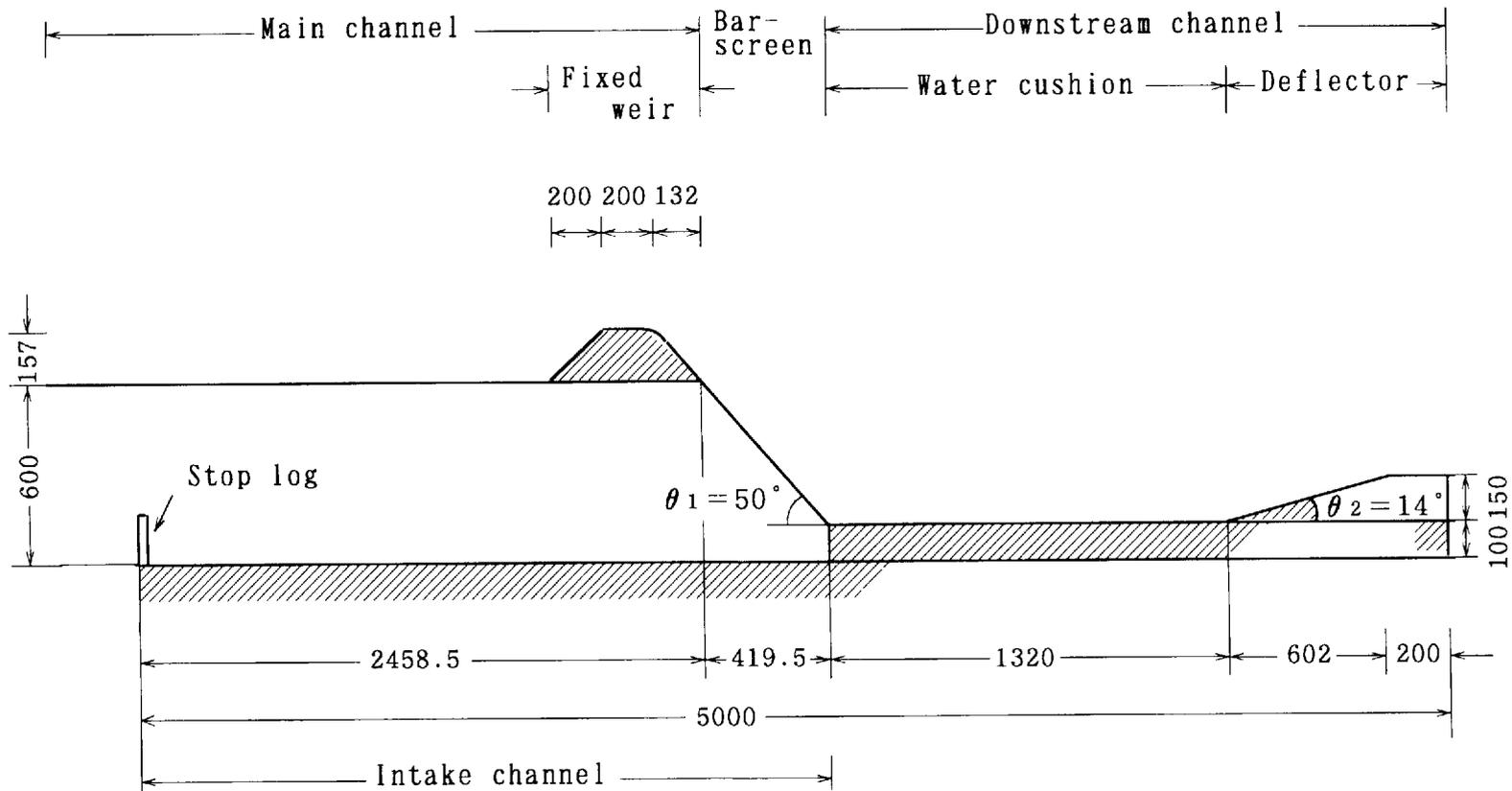


Fig.4.2 Dimension of experimental apparatus (mm)

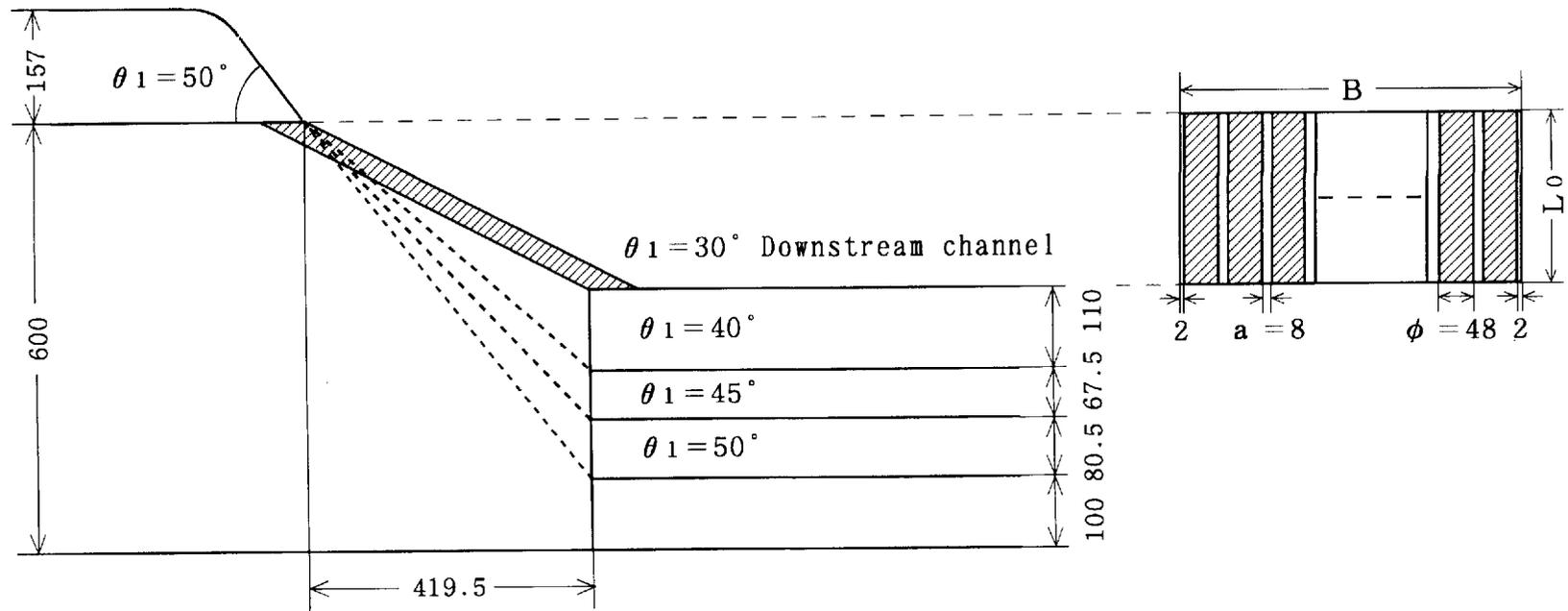


Fig.4.3 Bar screen installation in detail (mm)

デフレクターの諸元は、バースクリーン後方取水型溪流取水工のものを参考に決定した^{15) 16)}。デフレクターの這い上がり斜面傾斜角度 θ_2 は、上・下水路の落差が小さいこと、水クッション内の掃流力を大きくすることを考慮して $\theta_2=14^\circ$ とし、デフレクターの這い上がり高さ D は、(4.1)式¹⁵⁾によって算出した。

$$D \geq h_c \left(\sqrt{1 + 2k \frac{v_1}{v_c} \cos^2 \theta_2} - 1 \right) \quad \text{———— (4.1)}$$

D : 水クッションデフレクター這い上がり高さ (m)

h_c : 水クッション設計流量に対する限界水深 (m)

θ_2 : デフレクター斜面傾斜角度

k : デフレクター斜面上の水面形状補正係数

($\theta_2 = 14^\circ \sim 30^\circ$ のとき、 $k = 0.99 \sim 1.1$)

$v_c = \sqrt{g h_c}$: 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っ込み水脈の水平底床面方向の流速 (m/s)

$\alpha = 0.8 \sim 0.9$

g : 重力の加速度 (m/s^2)

W : 段落斜面高さ (m)

水クッションの設計流量はポンプの容量を勘案して40 l/sとし、また、 $k=1.0$ 、 $\alpha=0.8$ を(4.1)式に代入して、デフレクターの這い上がり高さ $D=150\text{mm}$ と決定した。

以上の諸元のデフレクターは、バースクリーン後方取水型溪流取水工においては、水クッションの長さ(水平水路底床の長さ)が、段落高さの2倍以上になると取水量がほぼ一定になる¹⁶⁾ことから、バースクリーン下端部よりの距離が1320mmの位置に設置した。

バースクリーンは、外径 $\phi=48\text{mm}$ の塩化ビニール製パイプを幅 $B=500\text{mm}$ の水路に両端を各々2mm開け、隙間幅 $a=8\text{mm}$ で9本配列

した。バーの有効長 L_0 は、バースクリーン取付け角度 $\theta_1=50^\circ$ 、 45° 、 40° 、 30° に対し、それぞれ 652.7mm、593.2mm、547.6mm、484.4mm となり、バースクリーンの開度 $\psi (= \Sigma a / B)$ は、いずれも13.6%である。

2. 実験方法

Fig.4.3 に示す、バースクリーン取付け段落部に、バースクリーンの取付け角度 $\theta_1=50^\circ$ 、 45° 、 40° 、 30° の順でバースクリーンを取付け、それぞれの場合について、高架量水槽で計量した流量を上流水路に流下させ、バースクリーンで取水した後、下流水路を流下する流量を末端部の量水槽で計量した。取水量は、上・下のそれぞれの量水槽で計量した流量の差から算定する。

実験流量は10、20、30、40、46 l/sの5種類として、以下の各々の場合について計測を行った。

バースクリーンからの取水量は、バースクリーン部流下水が、段落下流側水平水路底床を自由流下する場合と水平水路底床末端部に、デフレクターを設置した場合、さらに取水側水路末端部に角落し堰（厚さ15mmの合板）を設置し、堰上げを行った場合について実験・計測を行った。堰上げ高は、10cmより5cm ごとに流況を観察しながら変化させた。

取水量の計測と同時に長さ15cm前後の杉の枝葉を流下させて、バースクリーンの目詰まりの様子についても観察を行った。

3. 実験結果及び考察

(1) 取水量

バースクリーン取付け角度ごとの取水側水路の堰上げを行わない場合の基幹水路流量とバースクリーン取水量との関係をFig.4.4 に示す。

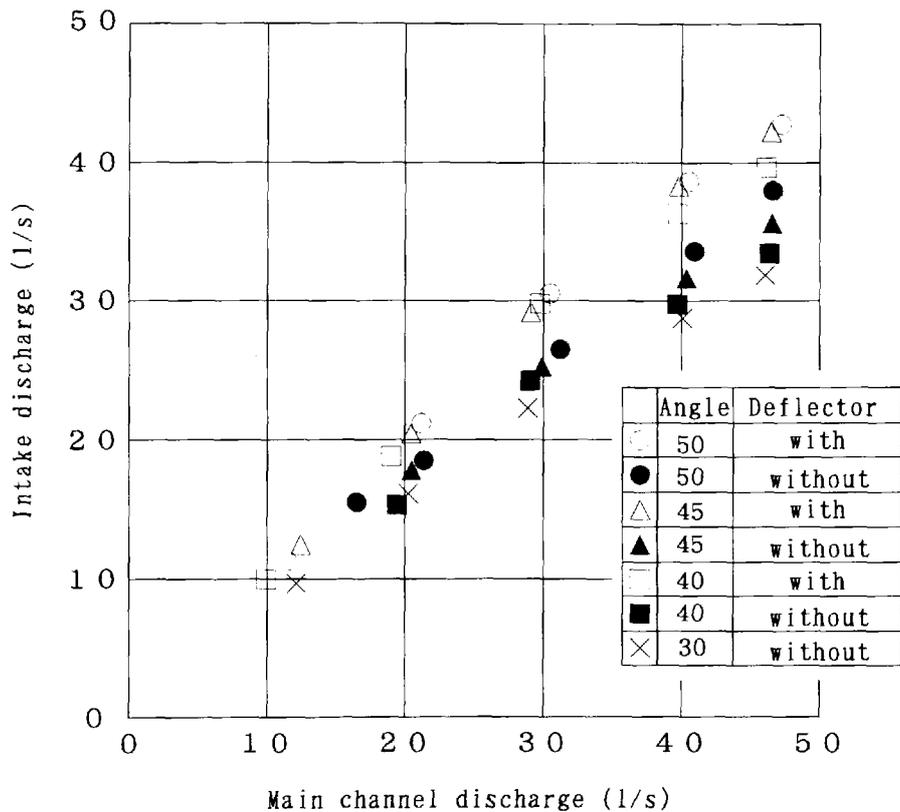


Fig.4-4 Relation between main channel discharge and intake discharge

バースクリーン取付け角度と取水量の関係をみると、一般的には、バースクリーン取付け角度が小さいほど（水平に近いほど）取水量は増加するように思えるが、Fig.4-4 から分かるように、デフレクターの有無に関わらず、バースクリーンの開度が等しく、バースクリーン下端部より水平水路底床を設置した場合には、バースクリーン取付け角度が大きくなるに従って取水量は増加している。このことについては、集水路幅が一定の場合には、バースクリーンの取付け角度が大きくなるのに従って、バーの有効長も長くなることと、バーに沿って流下する段落斜面流の水平水路底床への突っ込み後のバースクリーン裏側への分流逆流水が、流下水脈の突入角度が大きくなるのに伴って増加する¹⁷⁾ことが考えられる。

また、デフレクターを設けると、さらに取水量は多くなる。デフレクターを設置しない場合には、流下水は水平水路底床を自由流下

するが、このとき、取水されるのはバースクリーンからの自由落水及びバースクリーン裏側への分流逆流水である。これに対して、デフレクターを設置した複合型とすると、バースクリーンからの自由落水及びバースクリーン裏側への分流逆流水に加えて、流下水の水クッション突入後に形成される回転流の領域からの上流（バースクリーン）方向への流れによる流入水が加わるために取水量が多くなる。

取水側水路の堰上げの有無については、一例として、Fig.4・5 にバースクリーン取付け角度 $\theta_1 = 50^\circ$ で、デフレクターを設置しない場合の基幹水路流量と取水率との関係を示した。図より、取水側水路の堰上げを行わない場合（角落し堰高 = 0 cm）の方が、堰上げを行う場合（角落し堰高 = 10, 15cm）よりも、取水量（ここでは、取水率で示す）が多くなっている。この傾向は他の実験条件でも同様であり、このことから、取水側水路の堰上げを行うことによって、取水量の調整が可能になることが分かる。

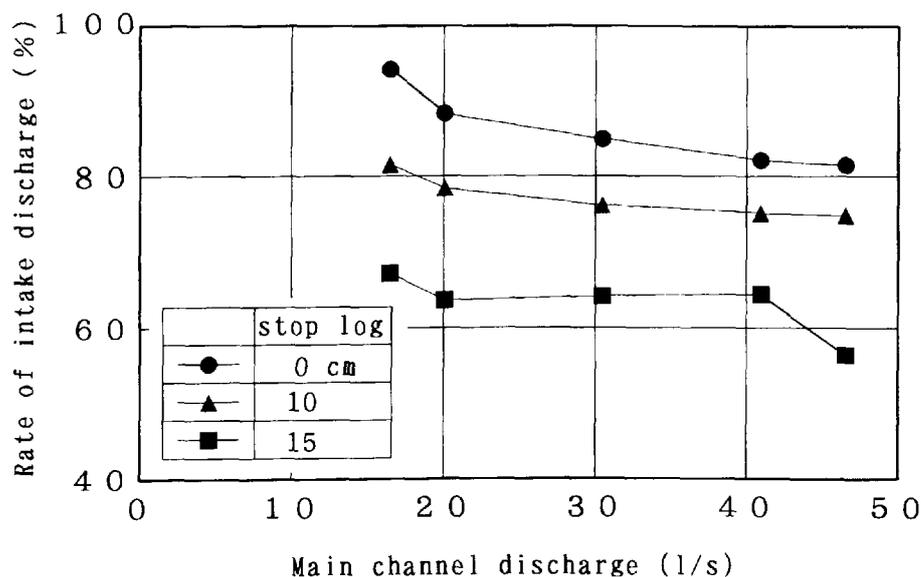


Fig.4・5 Effect of stop log ($\theta_1 = 50^\circ$, without deflector)

次に、デフレクターを設置した場合に全量取水状態となるときの流量を比較すると、集水路幅が一定の場合には、バースクリーン取付け角度 $\theta_1 = 50^\circ$ 、 45° 、 40° のとき、それぞれ、38.74、37.94、32.76 l/s となり、単位幅当りの取水量を増加させるには、バースクリーン取付け角度 $\theta_1 = 50^\circ$ と大きくするほど有利になる。

(2) 目詰まりの状況

バースクリーン取付け角度 $\theta_1 = 50^\circ$ 、 45° 、 40° とし、段落下流側の水平水路底床を自由流下する場合（デフレクターを設置しない場合）、バースクリーンへの浮遊流下物の付着による目詰まりは、流量が10 l/s以下のごく少ないときを除き、ほとんど発生しなかった。基幹水路流量が10 l/s以上になると、仮に浮遊流下物が付着しかかっても、バーに沿って流下する段落斜面流によって掃流される。しかし、バースクリーンの隙間に嵌入した場合には、それが分離、流下することはほとんどない。

デフレクターを設けた場合、バースクリーン部流下水が、デフレクターを越流して下流へ流下する場合には、付着による目詰まりは起こらず、隙間へ嵌入するものもほとんどない。しかし、基幹水路流量が減少して、全量取水状態となると、バースクリーンへの付着、嵌入が起きるようになる。

この二つの場合においては、いずれも、バースクリーンの取付け角度の小さい方ほど、目詰まりは起こり易い。取水側水路末端部の堰上げを行うと、段落斜面流下水は、バースクリーンの裏側で空気混入流となり、バースクリーン下端裏側で盛り上がり、エアリフト効果を発揮する。このため、バースクリーンへの付着や嵌入が起こりにくくなると同時に、いったん、枝葉が付着、あるいは嵌入しても、バースクリーンより分離し掃流、流下するようになる。デフレクターを設け、かつ、基幹水路流量が少なく、全量取水状態となる際においても、浮遊流下物は、水クッション内には滞留するものの、再度バースクリーンに付着するようなことはない。この堰上げによ

る浮遊流下物の目詰まり防止効果は、枝葉の付着の様子、枝葉の離脱までの時間から、バースクリーンの取付け角度の大きいほど顕著である。

ただし、取水側水路の堰上げを行うと、Fig.4.5 にも示したように取水量の減少が避けられないので、実施に当たっては、溪流河川地形、流況、取水量等を考慮して堰上げ高さを決定する必要がある。

4. 取水量算定式の検討

バースクリーン下方取水型溪流取水工の取水量は、バースクリーン取付け角度 θ 、バーの長さ L_0 、バースクリーン隙間幅 a 及びバースクリーン設置幅 B によって決定される。平水時には、Fig.4.6 に示すように、バースクリーン上流端における流下流量 Q_0 (m^3/s) が全量取水となる状態を考えると、所要のバーの長さは次式によって求められる^{18) 19)}。

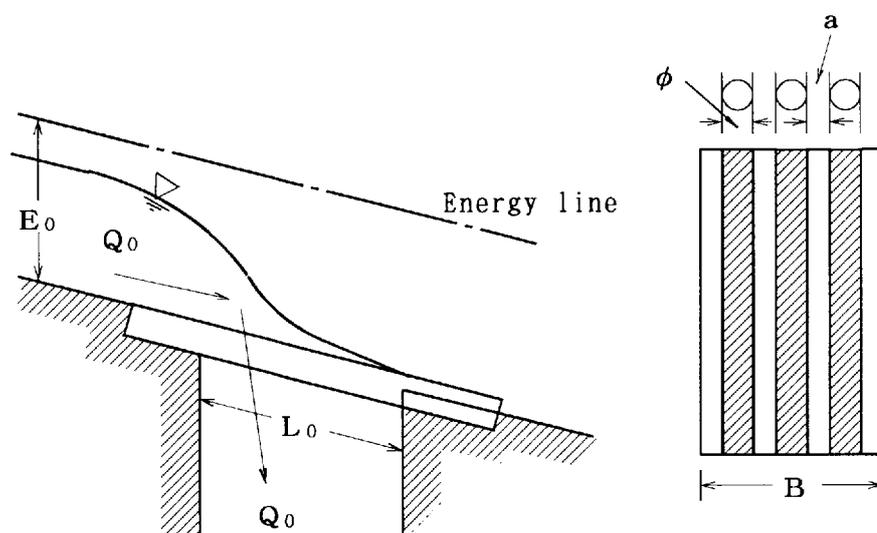


Fig.4.6 Definition sketch of bar screen

$$L_0 = \frac{Q_0}{\mu \phi B \sqrt{2gE_0}} \quad (4.2)$$

- L_0 : 全量取水に必要なバーの長さ (m)
 μ : 流量係数
 ϕ : 開度 (= $\Sigma a / B$, a : バースクリーン隙間幅 (m))
 B : バースクリーン設置幅 (通水幅) (m)
 E_0 : バースクリーン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/s^2)

流量係数 μ の値は、バースクリーンの取付け角度、開度、水深、設置方法等によって異なるが、越流堰下流側にバースクリーンを取付ける場合には、バースクリーン取付け角度が、 30° より小さいとき、 $\mu = 0.6$ 前後としてよいといわれている²⁰⁾。

しかし、バーの形状、大きさによっては、流下水の一部が、バーに付着して下流端から流去するので、流下水を完全に取水するためには、理論値の2倍以上のバーの長さを必要とすることもある²⁰⁾。本実験装置においても、バーに付着して流去する様子が見受けられたので、下流水路末端に高さ10mmの角落しを設置し、これを越流しない最大の流量を Q_0 とし、流量係数 μ の値を算出した。その結果 Table 4.1 を得た。

Table 4.1 Discharge coefficient

取付け角度 θ_1 ($^\circ$)	30	40	45	50
流量 Q_0 (l/s)	29.522	32.432	34.857	38.352
バー有効長 L_0 (mm)	484.4	547.6	593.2	652.7
流量係数 μ	0.621	0.585	0.566	0.549

Table 1 からバースクリーン取付け角度 $\theta_1 = 50^\circ$ のとき、 $\mu = 0.55$ 、 $\theta_1 = 30^\circ$ のとき、 $\mu = 0.62$ となり、過去の実験結果²⁰⁾ と

ほぼ一致し、バーの長さの決定に(4.2)式を使用しても支障のないことを確かめた。したがって、実際の設計では、安全率を考慮して、バースクリーン取付け角度 $\theta_1 = 45 \sim 50^\circ$ のとき、 $\mu = 0.5 \sim 0.55$ とすればよい。

5. 構造上の留意点

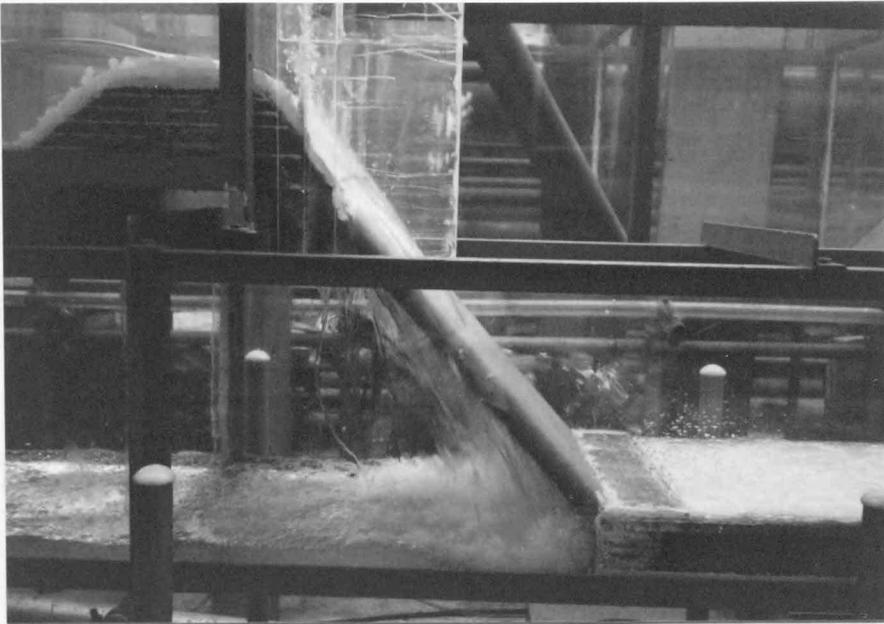
段落部においては、所期の取水量確保のために、基幹水路流下水をバースクリーンに沿って流下させる必要がある。この場合、バースクリーン上流側の越流堰（実験水路におけるバースクリーン取付け固定堰）は重要な働きをするものである。

実際に実験水路のバースクリーン取付け固定堰を除去し、単純な鉛直段落部にバースクリーンを取付けた場合の取水量を求めると、Table.4.2 の結果が得られた。

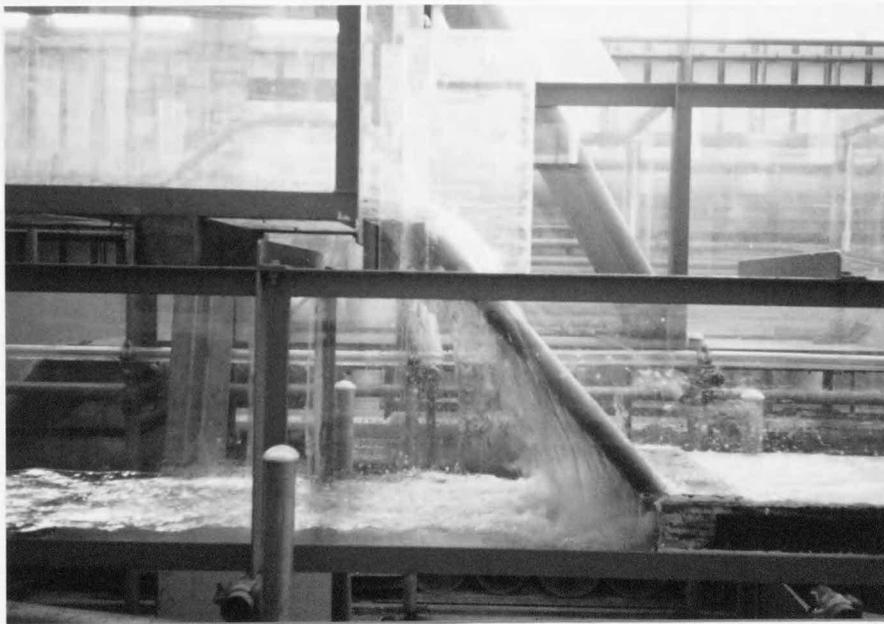
Table 4.2 Comparison of intake discharge ($\theta_1 = 50^\circ$)

基幹水路流量 (l/s)	取水量(l/s)	
	固定堰有り	固定堰無し
50.000	39.297	—
40.000	32.672	—
30.000	26.158	10.004
20.000	17.685	11.660
10.000	10.000	10.000

注) —印は、測定できず。



(a) with fixed weir

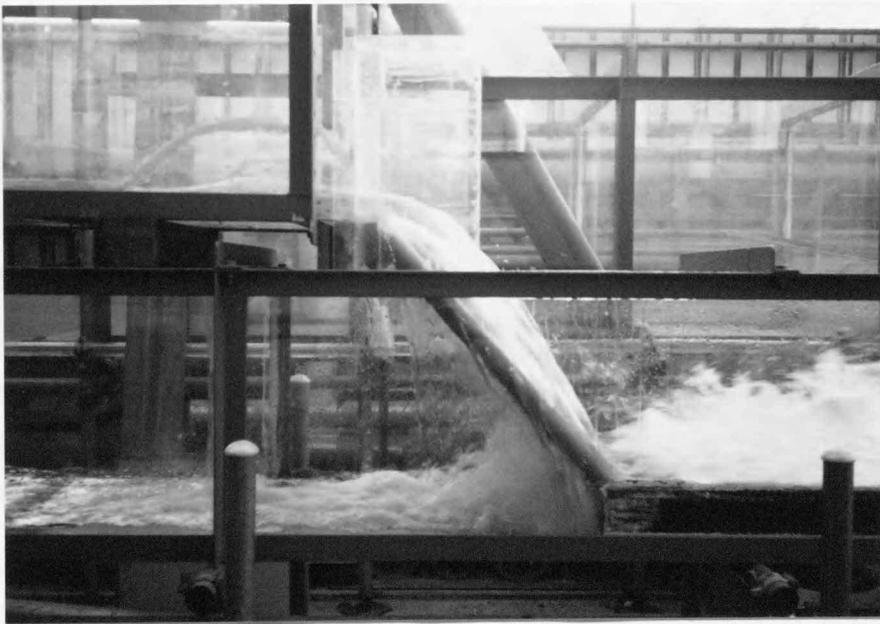


(b) without fixed weir

Photo.4.1 Effect of fixed weir ($Q=10$ l/s)



(a) with fixed weir



(b) without fixed weir

Photo.4.2 Effect of fixed weir ($Q=30$ l/s)

Photo.4・1 に示すように、基幹水路流量が $Q = 10 \text{ l/s}$ と少ないときには、固定堰の有無に関わらず、流下水がバースクリーンに沿って流下するため取水量の差はみられない。しかし、Photo.4・2 に示すように基幹水路流量が増加 ($Q = 30 \text{ l/s}$) すると、バースクリーン取付け固定堰を設置している場合(a)には、流下水脈がバースクリーンに沿って流下するので、基幹水路流量の増大にともなって、取水量も増加するが、固定堰を設置しない場合(b)には、基幹水路流量の増大に伴い、流下水がバースクリーンを離れて、流下水脈が直接水路床に達するようになり、取水量も減少することを確認した。このことは、段落部への接近流速が落水脈に大きく影響を及ぼすとともに、落水脈がバースクリーンから遊離するためである。

上流水路末端部のバースクリーン取付け固定堰を取り外し、上流水路に直接バースクリーンを取付けた場合には、Fig.4・7 に示すような単純な段落水路となるので、基幹水路流下水は流速が低下することなく、段落部より弧を描いて下流水路底床へと突入する。この自由落下する落水脈の中心軌道を求めるのに(4・3)式²⁾¹⁾を適用すると、この実験装置(バースクリーン取付け角度 $\theta_1 = 50^\circ$)においては、段落高さ $W (= y) = 500 \text{ mm}$ であるので、基幹水路流量 30 l/s のとき、水平距離 $x = 390 \text{ mm}$ となる。本実験装置におけるバースクリーンの水平距離 $x = 419.5 \text{ mm}$ であるから、この値より基幹水路流量が増加すると、流下水は、バースクリーンを離れて、水路底床に直接突入するようになる。このために、Table 4・2 に示したような、取水量の激減がみられたのである。

$$\frac{x}{H} = 1.477 \left(\frac{y}{H} + 0.242 \right)^{0.567} \quad \text{————— (4・3)}$$

x : 落ち口を座標原点として下流の水平方向に測った距離

y : 落ち口を座標原点として鉛直方向に測った距離

H : 上流水路の限界水深位置における比エネルギー ($= 1.5 h_c$)

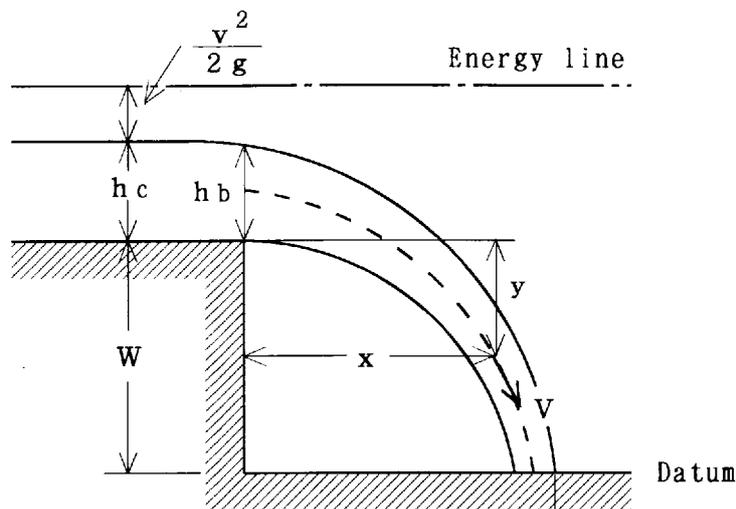


Fig.4-7 Definition sketch of free overflow nappe

上記のように、基幹水路流量の増大に伴う段落部流速の変化は、上流水路に直接バースクリーンを取付けた場合の方が大きく、そのため、流下水が、次第にバースクリーンから遊離するようになり取水量が減少するようになることから、所定の取水量を確保するためには、バースクリーンへの接近流速を小さくして、流下水が段落斜面に沿って流下するように調節する必要がある。よって、バースクリーン上流側に越流堰を設置し、その形状は、流下水脈がバースクリーンから離れないような滑らかな曲面とするようにしなければならない。これまでの実験及び実施事例によると、この曲面の曲率半径は、越流堰も含めた段落高さ W の $1/5$ 以上とすると有効であることが確認されているので、バースクリーン上流側の越流堰の高さは、必要とされる曲率半径 r から逆算することによって求めることができる。なお、本実験装置においては、バースクリーン取付け固定堰も含めた段落高さは、バースクリーン取付け角度 $\theta_1 = 50^\circ$ のとき、 $W = 657\text{mm}$ であり、このうち固定堰の高さは、 157mm であるので、必要とされる曲率半径 $r = W/5 = 131.4\text{mm}$ を満足し得る構造となっている。

第5章 集水路諸元の決定方法

バースクリーン方式溪流取水工の集水路断面の諸元については、従来、ダムの側水路型余水吐（横越流洪水吐）、側水路内の水面形の決定方法^{22) 23)}に準じて算定を行ってきた。

しかし、バースクリーン複合型溪流取水工のように、バースクリーンの取付け角度が大きい場合には、バースクリーン隙間からの落水は、集水路断面下流側の壁面に突入した後、上流側壁面に沿って大きく這い上がる二次元流を生起するため、集水路下流方向の流速が低下するとともに、集水路の水位が上昇する（Fig.5-1）。したがって、従来の側水路型余水吐と同様な方法では、適正な集水路の水理諸元を算定することは困難である。

このことについては、側水路型余水吐においても、適用されている算定式が、一次元的に横断方向への平均水深として扱われていることから、二次元的にとらえる研究として、工藤・川越²⁴⁾、松下²⁵⁾、植田・常住²⁶⁾等の研究がなされているが、いずれも、新たな普遍的な算定式を確立するまでには到っていない。

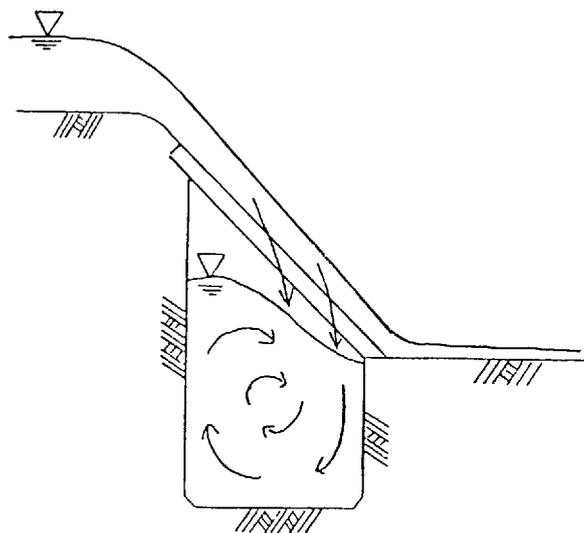


Fig.5-1 The profile of secondary flow

そこで、本章では、台湾、台東県、卑南溪支流鹿野溪の卑南上圳溪流取水工を取り上げて、側水路型余水吐による方法を例示し、その集水路への適用に関する問題点を明らかにするとともに、この方法に代わる実用的な方法として、集水路下流端における等流水深に速度水頭を加えて水深を算出し、これに基づいて、集水路断面を決定する方法を提案する²⁷⁾。さらに、水理模型実験を行い、所定の取水量を安全に集水するための水理諸元の決定には、等流水深と速度水頭による方法が妥当であることを確かめた。

1. 対象溪流取水工の水理諸元及び原設計に関する検討

原型は、段落斜面高さ $W = 1.63\text{m}$ 、段落斜面傾斜角度 45° 、バースクリーン設置幅（集水路長） $B = 10\text{m}$ 、バースクリーン取付け角度 $\theta_1 = 45^\circ$ 、バー管径 $\phi = 100\text{mm}$ 、バー有効長 $L_0 = 1.60\text{m}$ 、バースクリーン隙間幅 $a = 30\text{mm}$ 、開度 $\psi = 28.5\%$ 、集水路幅 $b = 1.13\text{m}$ 、集水路底勾配 $s = 1/50$ 、計画取水量 $Q_0 = 4.174\text{m}^3/\text{s}$ のバースクリーン複合型溪流取水工である。バースクリーン単位幅当りの取水量は $0.4174\text{m}^3/\text{s}/\text{m}$ となる。Fig.5-2 に、集水路末端における縦断面図を示す。

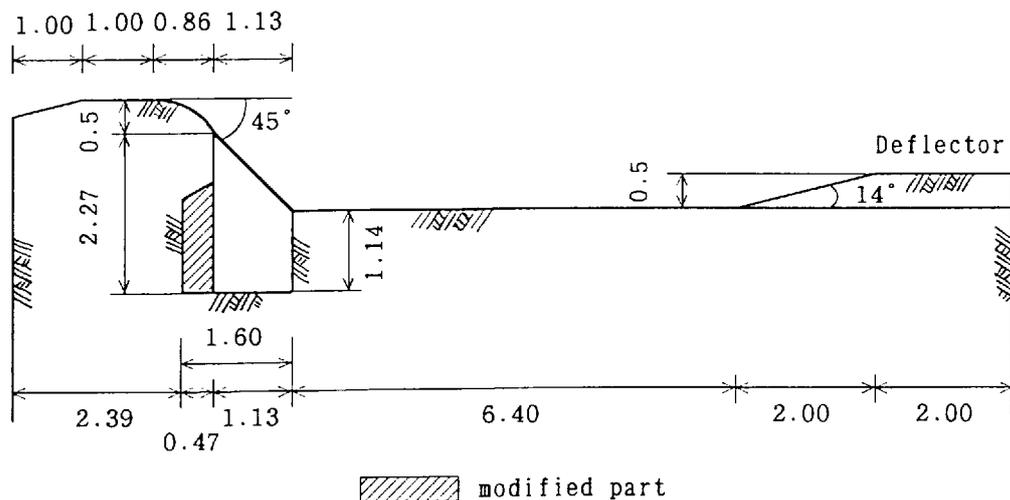


Fig.5-2 Dimension of Pei-Nan Upper Canal Intake (m)

ここで、取水量算定式として、前述の(4.2)式を変形した次式を適用する。

$$Q = \mu \cdot \phi \cdot B \cdot L_0 \sqrt{2gE_0} \quad \text{————— (4.2)'}$$

流量係数 $\mu = 0.5$ として、取水量を算出したところ、 $Q = 7.769 \text{ m}^3/\text{s}$ となり、計画取水量に対して約2倍の取水量を確保できることになる。しかし、原型についての台湾省水利局水工試験室における水理模型実験の結果²⁵⁾、平水時全量取水量は計画取水量の61%、 $2.55 \text{ m}^3/\text{s}$ で、計画取水量に対して約40%不足した。このことについて検討した結果、バースクリーン複合型溪流取水工の取水量は、バースクリーンの諸元によるのは勿論であるが、集水路断面の寸法諸元によって大きく規定されることの知見を得た。当該溪流取水工建設予定地点においては、地形標高の制約により、集水路の深さを大きくすることが不可能であるので、集水路の幅を拡大して流下断面の増大を図り、所期の取水能力が得られるように考え、集水路の幅を40%拡幅し、 $1.13 \times 1.4 \div 1.60(\text{m})$ として、Fig.5.2の斜線部のように集水路断面の拡大を図った。

本学における集水路基礎実験模型水路は、原型の1/10とし、水理諸元は、Froudeの相似則により決定した。実験流量は、0.1m単位幅当たり $q_m = 0.00132 \text{ m}^3/\text{s}/0.1\text{m}$ ($q_v = 0.4174 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$)を流下させるものとし、以下の計算も全て、実験模型水路の値について行った。

なお、本学実験室における水理模型実験の後、計画取水量等の変更が行われ、上記の諸元と実施設計とは異なるものとなったが、水理諸元の決定に関する考え方は同一であるので、上記の諸元による結果をそのまま例示した。なお、実施設計については後述する。

3. 集水路諸元の決定方法

(1) 側水路型余水吐の設計方法による決定方法^{2.2) 2.3)}

従来、バースクリーン方式溪流取水工の集水路断面は、ダム計画設計基準による、側水路型余水吐の設計方法に基づいて求められてきた。この方法は、J.Hinds の逐次近似計算法を使用し、集水路越流長を適当な長さに分割して、試算によって各断面ごとの水面高を算出し、これを連ねて水面形を求めるものである。

Fig.5.3 に示すような集水路断面を考えると、流量が増加していく水路の任意の短区間について区間上流端における運動量に、この区間内の増加運動量を加えたものは区間下流端における運動量に等しくならなければならない。この関係は、次の運動量方程式で表される。

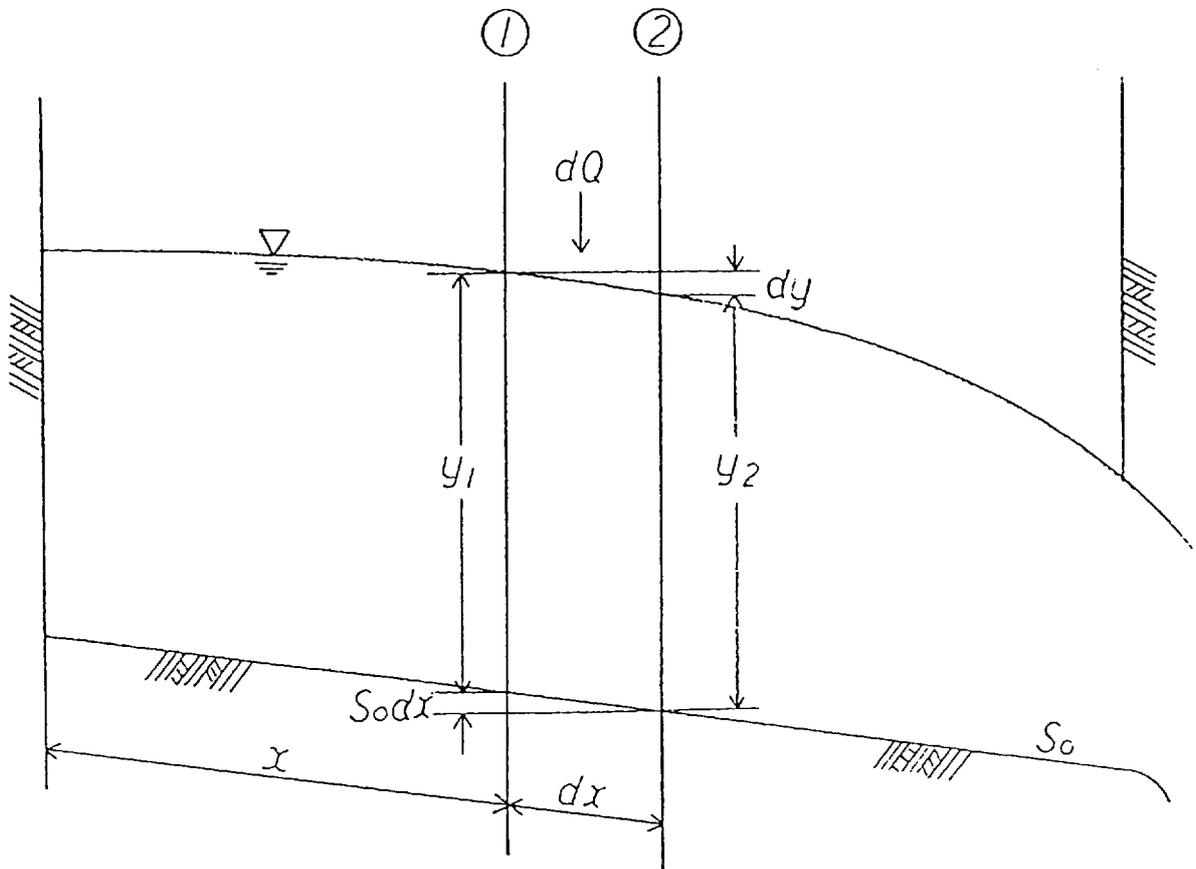


Fig.5.3 Definition sketch of the intake channel

$$\Delta y = \frac{Q_1(v_1 + v_2)}{g(Q_1 + Q_2)} \left(\Delta v + \frac{v_2}{Q_1} \Delta Q \right) + s_f \Delta x \quad \text{—————(5.1)}$$

Δy : Δx 区間の水位の変化量

Δx : 断面間の距離

Q_1 : 下流断面の流量

Q_2 : 上流断面の流量

v_1 : 下流断面の平均流速

v_2 : 上流断面の平均流速

ΔQ : $Q_1 - Q_2$

Δv : $v_1 - v_2$

g : 重力加速度

s_f : 摩擦勾配

この式は、流量が場所的に増加していく流れの水面形を求めるのに用いられ、右辺第一項は、衝撃による損失を、第二項は摩擦損失を表している。ダム余水吐の設計基準^{2,3)}においては、水路内の激しい動揺を考えると、摩擦損失の項は無視できるとしているが、本研究では、安全側に数値があるので省略しないで考慮する。

計算方法は以下の通りである。

- ① 水面形計算の基準となる支配断面の決定を行う (Fig.5.4)。
計算は集水路をいくつか適当な長さに分割して行い、まず、流れが水路全区間にわたって限界状態となるために必要な水面の低下量を計算する。ここでは仮に標高が 0.5m の点から出発した図示を行っている。
- ② 与えられた流量条件で、水路の全区間を通じて、流れが限界状態であるような仮想的な水路床を求める。これは、①で求めた水面の累加低下量に限界水深を加えたものとなる。
- ③ 支配断面を決定するために、仮想水路床を示す線に対して、実際の水路床に平行な接線を引く。この接点が支配断面となる。

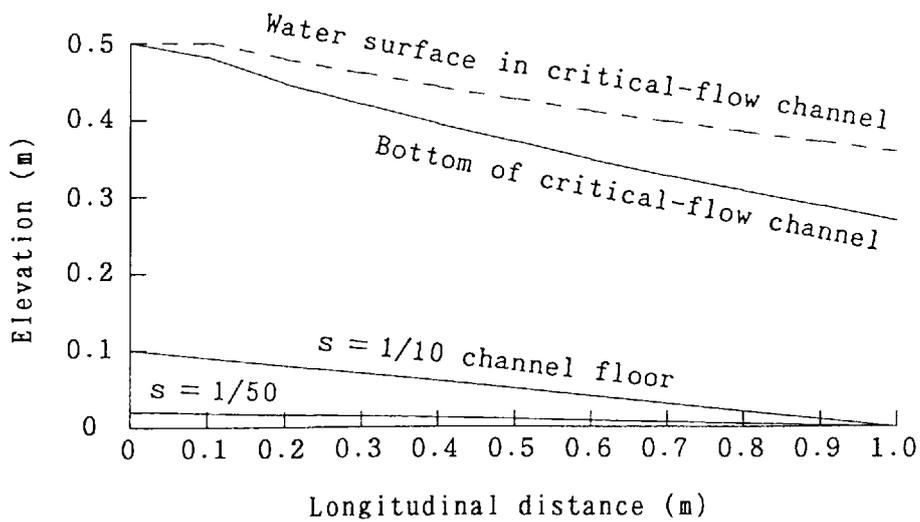


Fig.5.4 Decision of the control section

- ④ 支配断面より上流側が常流、下流が射流の場合は、それぞれ支配断面より上流、下流に向かって逐次計算を行う。
- ⑤ まず、水面低下量 $\Delta y'$ を仮定し、これに基づいて求められる次の断面の水理量を計算し、これと既知量である元の断面の水理量とを上式に代入して Δy を算出する。この算出値 Δy と仮定値 $\Delta y'$ とが一致するまで試算を繰り返す。
- ⑥ 計算結果より水面形を描く。

しかし、Fig.5.4 から分かるように、この与えられた条件では、仮想水路床の勾配が大きくなり、③のように接線を引くことはできない。つまり、支配断面の決定ができないということである。この条件下で支配断面を求めると、その水路勾配は1/10以上にならねばならず施工上不可能な値となる。

この点に関して数値計算から検討を加えると以下のようなになる²⁹⁾。
 一様断面における、流量が増加していく流れに対する運動方程式は、

$$\frac{dy}{dx} = \frac{s - s_f - \frac{2Qq}{gA^2}}{1 - \frac{Q^2}{gA^3}B} \quad \text{--- (5.2)}$$

ただし、 $q = \frac{dQ}{dx}$

で表すことができる。ここで、摩擦勾配 s_f を無視し、また、

$\frac{Q^2}{gA^3}B = Fr$ (Fr : フロード数) であることから、上式は、

$$(1 - Fr^2) \frac{dy}{dx} = s - \frac{2Qq}{gA^2} \quad \text{--- (5.2)'}$$

となる。限界状態では、 $Fr = 1$ であり、 $1 - Fr^2 = 0$ となるから、

$$s - \frac{2Qq}{gA^2} = 0$$

$$s - \frac{2q^2x}{gA^2} = 0$$

$$x = \frac{s g A^2}{2q^2} \quad \text{--- (5.3)}$$

を得る。

一方、 $\frac{Q^2}{gA^3}B = 1$ であるので、

$$\frac{q^2 x^2 B}{gA^3} = 1 \quad \text{--- (5.4)}$$

さらに、(5.3)を(5.4)に代入すると、

$$\frac{s^2 g B^2 y}{4q^2} = 1 \quad \text{--- (5.5)}$$

となる。ここで、対象の水路内で、支配断面が生じるためには、 $y = y_c$ (限界水深) のとき、 $x < L$ (集水路長) となればよいことになる。

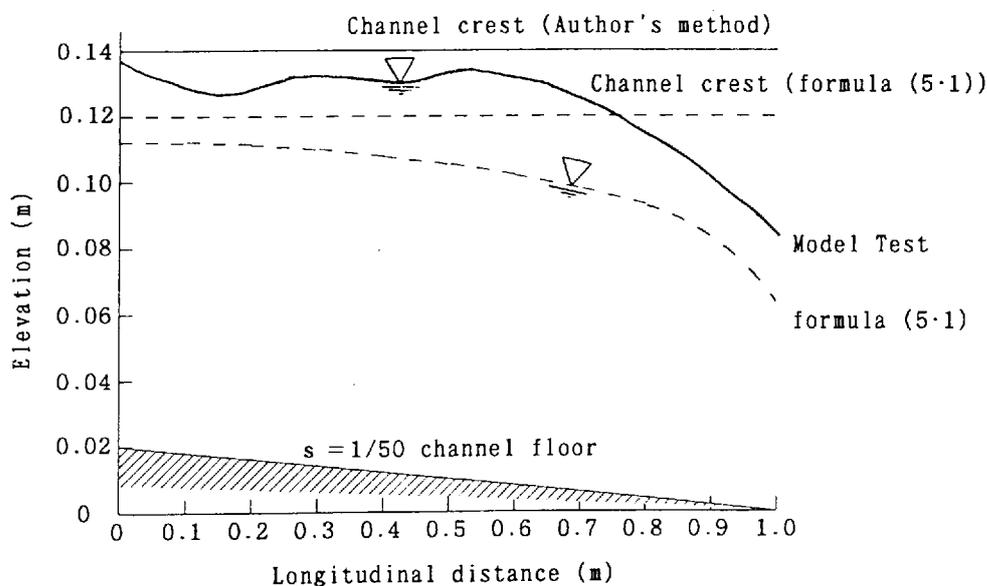
この実験模型においては、まず、射流が集水路末端部で起こると考えると、 $y_c = 0.0886m$ 、 $x = L = 1m$ 、 $A = B \cdot y_c$ から、(5.3)式により、 $s = 0.177$ を得る。よって、この集水路内で射流が発生

するためには、 $s > 0.177$ である必要がある。そこで、 $s = 0.2$ として、(5.5)式に代入して解くと、 $y = 0.0695\text{m}$ となり、これを(5.4)式に代入して、 $x = 0.695\text{m}$ を得る。よって、水路の上流から0.695mの位置が支配断面となる。

しかし実際には、集水路底勾配 $s = 1/50 = 0.02$ であるから、この値により計算すると、 $x = 694.5\text{m}$ にもなり、 $x < 1\text{m}$ の条件を満たさないので、本集水路内では、支配断面が生じないことになる。

以上のように、集水路長が短く、水路底勾配が小さい溪流取水工の集水路では、支配断面を見いだすことが困難となり、側水路型余水吐の方法の適用は不可能になる。

当該取水工では、集水路に接続する導水路の条件が未定のため、集水路末端での水深が決定できないので、段落における落口の水深 y_b が、 $y_b = 0.72y_c$ 。(Fig.4.7において、 $y_b = h_b$ 、 $y_c = h_c$ であ



Solid line : The method of uniform flow depth and velocity head and the result of model test
 Break line : The method of formula (5.1)

Fig.5.5 Comparison of water surface profiles

る)で表せる^{2.1)}ことから、 $y_b = 0.72 \times 0.0886 = 0.0638(\text{m})$ と仮定した。また、計画取水量に対する集水路内における限界勾配を求めると、集水路の全ての区間にわたって、水路底勾配 s よりも小さくなるので、集水路内の流況は射流となる。よって、集水路上流端の水深を仮定し、これに基づく集水路末端の水深の計算値が y_b と一致するまで、上流端の仮定を変えて計算を繰り返して水面形を求めた。

その結果、Fig.5.5の破線に示す水面形が算出され、集水路末端における天端の高さを0.12mと決定した。

(2) 等流水深と速度水頭による方法^{2.7)}

集水路断面を決定するためには、その集水路内を流下する流れの最大水深を求め、それに合わせて集水路の天端を決めれば、所定の流入水を十分に集水し得ると考えられる。等流水深と速度水頭による集水路諸元の決定方法は、各断面の水面高を求め、その各点を連ねて水面形を決定するのではなく、集水路流下流量が最大となる集水路下流端における水深を求めるものである。算定は、次の手順で行う。

- ① 集水路の幅はバースクリーンの水平長とし、集水路勾配 s は原則として $1/30 \sim 1/20$ とする。
- ② 集水路下流端における流量(計画取水量に同じ)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 Manning の平均流速公式を代入して求めた(5.6)式を用いる。

$$h = \left(\frac{q n}{s^{1/2}} \right)^{3/5} \left(1 + \frac{2h}{b} \right)^{2/5} \quad \text{--- (5.6)}$$

h : 集水路下流端の等流水深 (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 ($m^3/s/m$)

n : 粗度係数(本研究では $n = 0.015$ とした)

s : 集水路勾配

Q_0 : 集水路下流端流量 (m^3/s)

- ③ 集水路下流端における水深は、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 $1/50 \sim 1/40$ 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、通水断面積を大きくする。
- 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。

Table.5.1 Depth of intake channel (unit:m)

bed slope s	uniform flow depth h	$h + 0.6 \cdot \frac{v^2}{2g}$		$h + 0.8 \cdot \frac{v^2}{2g}$		$h + 1.0 \cdot \frac{v^2}{2g}$	
		up*	down**	up	down	up	down
1/20	0.0545	0.0747	0.1247	0.0981	0.1481	0.1216	0.1716
1/30	0.0630	0.0822	0.1151	0.0996	0.1329	0.1171	0.1504
1/40	0.0700	0.0875	0.1125	0.1017	0.1267	0.1158	0.1408
1/50	0.0761	0.0921	0.1121	0.1041	0.1241	0.1161	0.1361

*) up : Water depth at the upperstream end of the intake channel

***)down : Water depth at the downstream end of the intake channel

それぞれの計算結果を示すとTable 5.1 のようになる。表における down の欄は、等流水深と速度水頭による方法によって求めた集

水路下流端の水深であり、up の欄は、集水路上流端における水路の深さで、down の値より水路床の高さを引いて求めたものである。集水路底勾配 $s = 1/50$ について求めると、集水路下流端での水深は 0.1361m となるので、これより、集水路天端の高さは、Fig.5.5 の実線で示したように 0.14m と決定した。

等流水深と速度水頭による方法では、上記のように、J.Hinds の逐次近似計算法に比べて計算がかなり簡便になる。また、天端の高さ、即ち集水路断面が、側水路型余水吐の方法と比べて大きくなることが考えられる。

このことについて、検証実験を行うと次のようになる。

3. 検証実験

Fig.5.6 に示す実験装置は、JIS 規格の直角三角堰付量水槽の直下流に幅 1m、側壁高さ 200mm、下端落ち口部に高さ 20mm の整流板を持つ整流装置を設け、流下水が均等に越流するように調整した。その下流端に、所定の高さ（整流装置から集水路断面上流側壁天端までの高さ）100mm を確保するように、模型実験集水路を流れ方向に対して直角に設置する。集水路は、幅 160mm で、基幹水路流下方向に対し、断面上流側壁の高さ 200mm、下流側壁の高さ 140mm とし、水路勾配、水深の設定は、別に用意した幅 160mm、長さ 1250mm の底板で調整する。

実験は、まず、水路勾配 s を 1/50、1/40、1/30、1/20 に設定する。各々の水路勾配に対応して、等流水深に速度水頭の 60、80、100 % を加えた水路断面になるように、順次、底板を調整する。集水路断面上流側壁面天端からの設定した底板までの高さは、Table 5.1 により決定した。各々の場合について、実験流量 $0.0132\text{m}^3/\text{s}$ を量水槽によって計量したのち、集水路実験模型装置に流下させ、集水路全区間にわたって、溢水することなく、所定の流入水を安全に集水し得るかどうかの観察を行った。Photo.5.1 に実験の様子を示す。

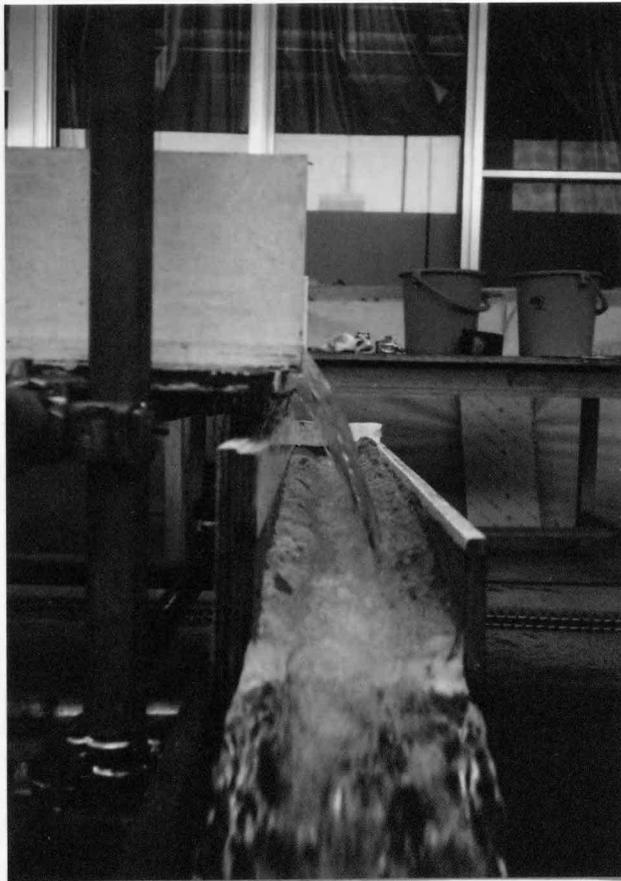
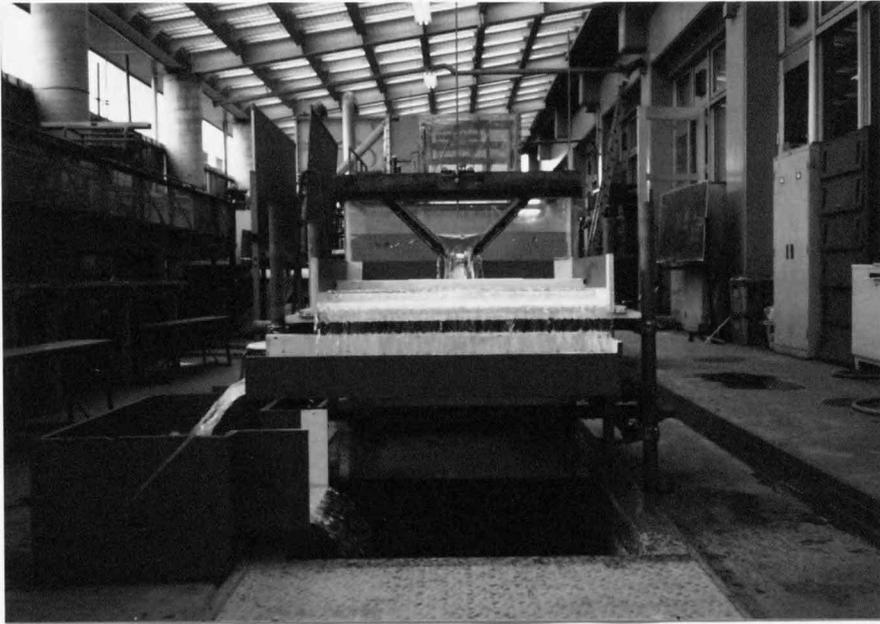


Photo.5·1 Hydraulic model test ($s = 1/50$)

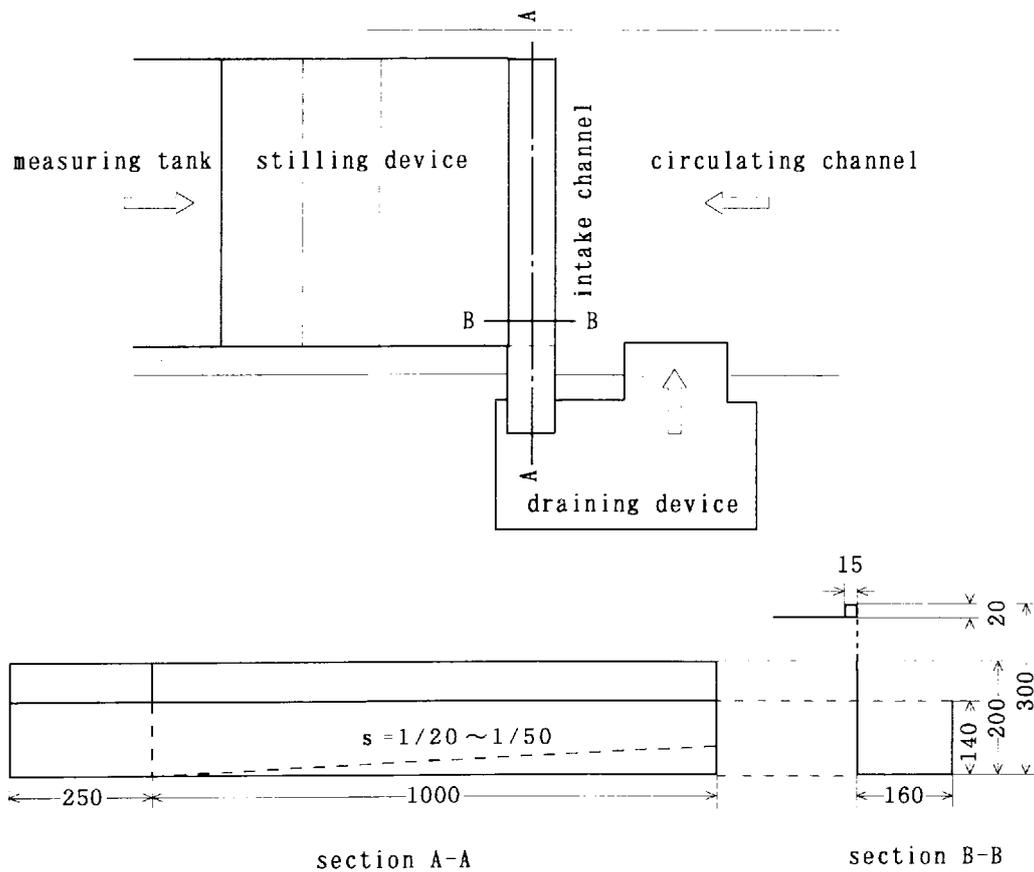


Fig.5.6 Experimental apparatus (mm)

その結果、集水路勾配が、 $1/30$ 、 $1/20$ のときは、速度水頭の60%、 $1/50$ 、 $1/40$ 、の場合は、速度水頭の100%を等流水深に加えれば、支障なく集水できることが明らかになった。また、このことは、台湾省水利局水工試験室の水理模型実験においても同様の結果を得ている³⁰⁾。さらに、集水路勾配 $s = 1/50$ の場合の実測の水面形を示すと Fig.15 の実線のようにになった。図からも、従来の方法では集水路断面の不足する様子が分かる。よって、等流水深と速度水頭による集水路断面の決定方法は十分な集水路断面を決定することができるので、簡便で妥当な方法といえる。

4. 実施設計

前述の卑南上圳溪流取水工の諸元のうち、実施設計においては、計画取水量 $Q_0 = 7.2\text{m}^3/\text{s}$ 、バースクリーン設置長 $B = 17.25\text{m}$ となったのを受けて、集水路断面の設計を行った。当該溪流取水工建設地点の地形上、集水路の深さは、 0.10m 掘削するのが限界であり、水クッション下流側のデフレクターの高さも設計洪水量から考えて 0.05m 嵩上げするのが限度であった。したがって、デフレクターを含めた集水路下流端の水深を 1.79m として、この値と等流水深と速度水頭による方法との間で試算を行い、集水路幅 $b = 2.40\text{m}$ と決定された。これに基づいて、台湾省水利局水工試験室において、集水路に関する水理模型実験装置 (Photo.6.2) に計画取水量を流下させて、集水路底床部に設けたマンノメーターによって、水位を計測した結果、Fig.5.7 に示すような水面形が得られて³⁾、十分集水能力のあることが確かめられた。

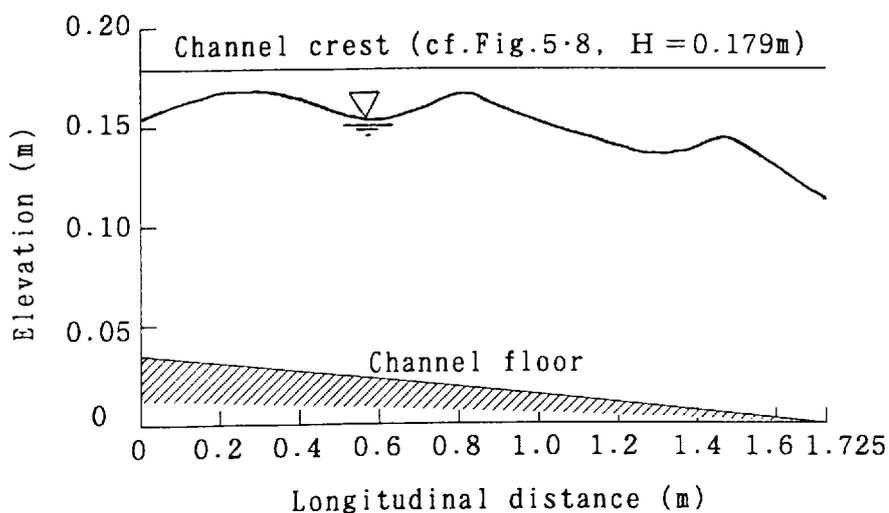


Fig.5.7 Water surface profile of the intake channel



Photo.5.2 Experimental apparatus in Taiwan

以上の検討を経て、最終設計案は、原型に対して斜線部に示すような変更を行いFig.5・8 のようになった。

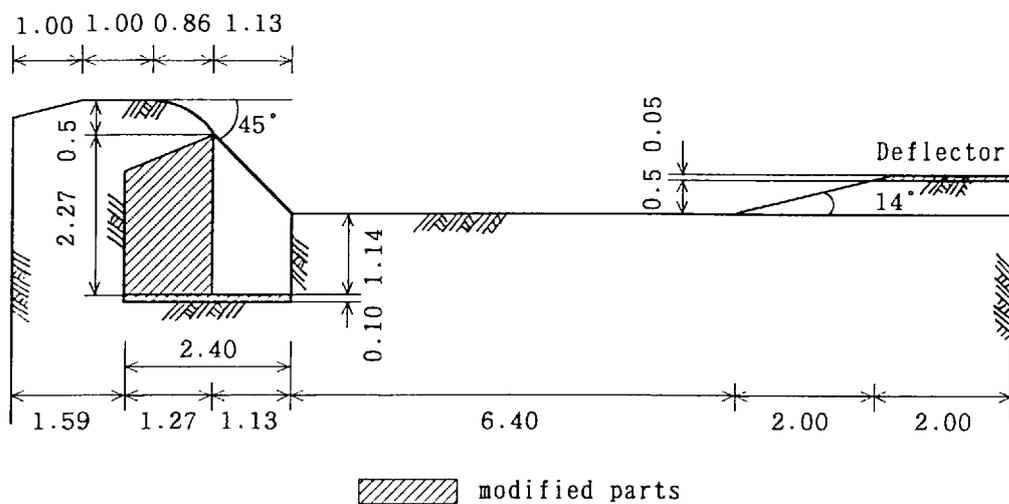


Fig.5-8 Dimension of Pei-Nan Upper Canal Intake (m)

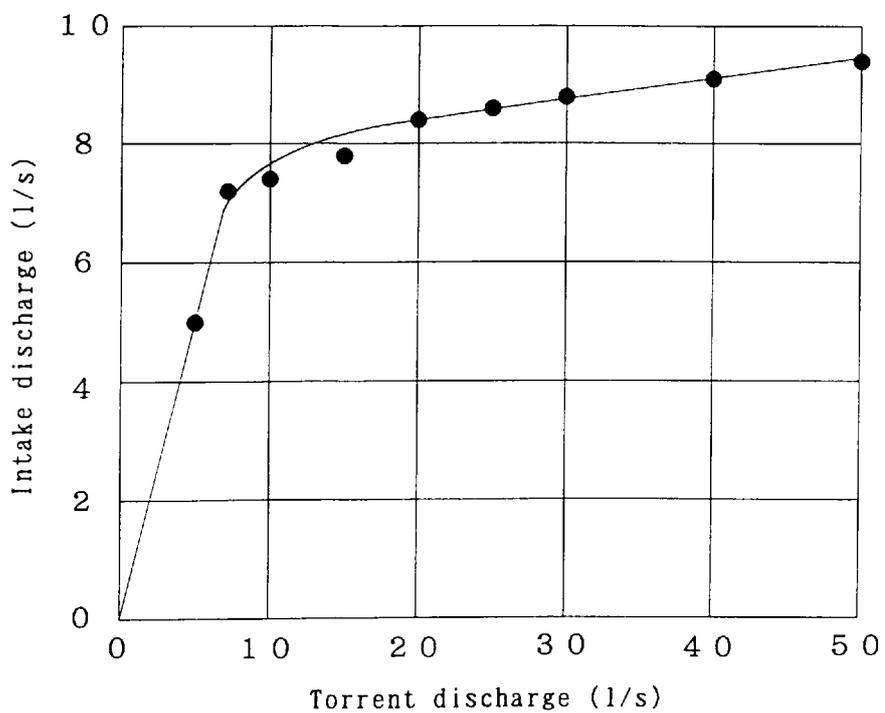


Fig.5-9 Relation between torrent discharge and intake discharge

さらに、この設計案に基づき、台湾省水利局水工試験室において、取水量に関する水理模型実験を行い、Fig.5・9の結果を得た²⁸⁾。

図に示すように、基幹水路流量が計画取水量の $7.2\text{m}^3/\text{s}$ に達するまでは全量取水となり、 $7.2\text{m}^3/\text{s}$ を超えると、取水量は基幹水路流量の増加と共に僅かに増大することが確かめられた。

以上の結果から、本溪流取水工の水理諸元は、Fig.5・8のように決定された。

第6章 複列式バースクリーン複合型溪流取水工の開発

これまで述べたように、バースクリーン複合型溪流取水工は、適正な水理諸元により、平水時のみならず高水時の大量の取水も可能であることが明らかになった。しかし、バースクリーン複合型溪流取水工を単一で設置する場合には、溪流河川地形、流況によっては段落固定堰上流側に土砂礫が堆積してバースクリーン流下水通水幅が狭小になり取水機能が低下し易い。特に計画取水量が増大して、バースクリーン設置幅が大きくなる場合には固定堰上流側の広範にわたる堆砂礫は取水に及ぼす影響が大きくなる。

この問題を解決するのに、Photo.6・1 に示すような階段落差工においては、上段部の落差工の上流側に土砂堆積がみられても、下段部の落差工の天端では、水が均一に流下していることにヒントを得て、Fig.6・1 に示すようにバースクリーン複合型溪流取水工を連続して複列に設置することを考えた^{3・2)}。この場合、洪水の発生後に上段部取水工の上流側に土砂礫が堆積する場合でも、下段部取水工の上流側には土砂礫が堆積しないので、平水時には、下段部取水工で安定した取水が保証され、洪水時には、上段部取水工上流側の堆砂礫が掃流・流下されるので、上下の両取水工によって、洪水時の大量の取水が可能になる。

本章は、複列式バースクリーン複合型溪流取水工の水理特性について、明らかにしたものである。

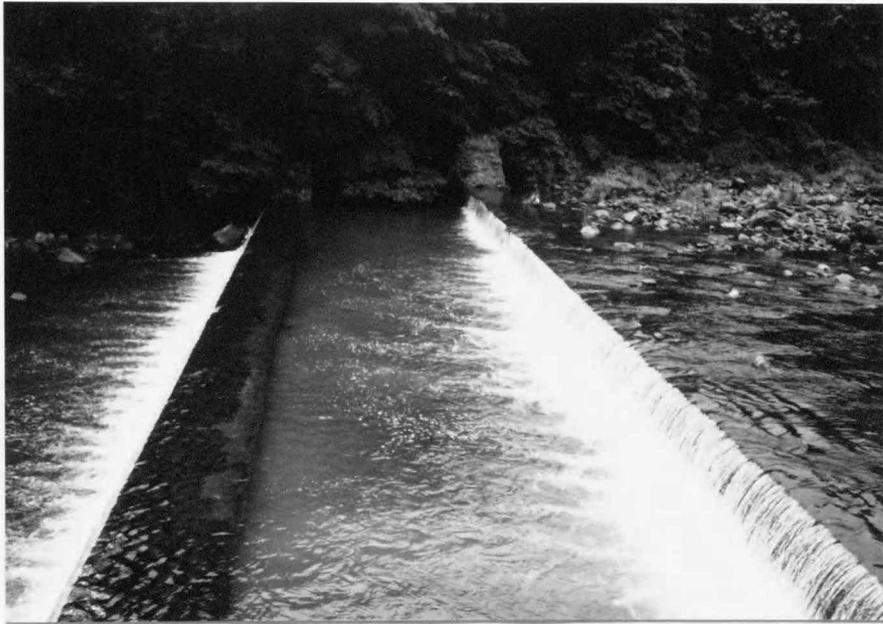


Photo.6·1 A ladder of drop structures in Hayakawa River

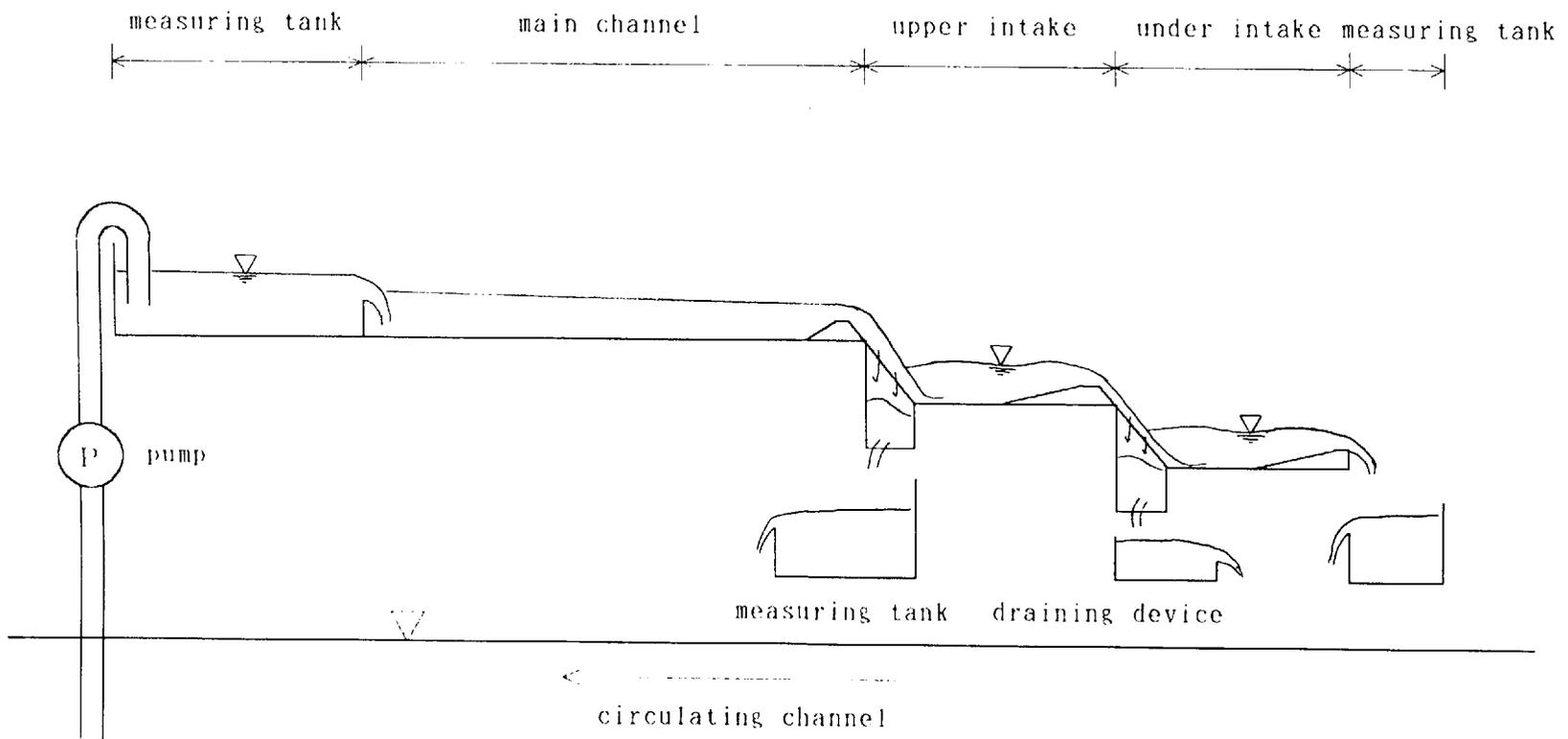


Fig.6.1 Arrangement of experimental apparatus

1. 取水特性

まず、複列式バースクリーン複合型溪流取水工の取水特性を明らかにするために、以下のような水理模型実験・解析を行った。

(1) 実験装置及び実験方法

実験装置は、Fig.6・1の配置図に示すように、高架量水槽、基幹水路、上段部・下段部のバースクリーン複合型溪流取水工、水路末端部及び上段部取水工の下流に設置した量水槽からなる。各量水槽は、全てJIS規格の四角堰である。

各水路は、アクリルで製作し、水路幅 $B = 1\text{m}$ で、基幹水路及び両取水工の水クッション水路底床が水平となるように設置した。

Fig.6・2に実験装置主要部の水理諸元を示す。

水理諸元の決定には、まず、集水路の底面は水平とし、幅及び深さを 500mm 、バースクリーンの取付け角度 $\theta_1 = 50^\circ$ として、これに基づいて決定した。

バースクリーン部は、バーの長さ $L_0 = 879\text{mm}$ とし、両端に各々 11mm 開けて、バースクリーン隙間幅 $a = 8\text{mm}$ で、外径 $\phi = 50\text{mm}$ のアクリルパイプを17本配列して製作した単位幅のバースクリーンのセットを水路にはめ込んで設置した。その結果、スクリーンの開度 $\psi (= \sum a / B)$ は、 15% となる。

バースクリーン直上部にはバースクリーン取付け固定堰を設置し、下段部取水工のものは、上段部取水工のデフレクターと一体化させたものを用いた。水クッション水平水路底床の長さは、段落高さ $W = 881\text{mm}$ と同じ長さに設定した。また、デフレクターの這い上がり高さ D は、水クッション設計流量を 150 l/s として、前述の(4・1)式に、這い上がり傾斜角度 $\theta_2 = 14^\circ$ 、 $\alpha = 0.8$ 、 $k = 1.0$ を代入して、 $D = 200\text{mm}$ と決定した。

バースクリーン取水量は、上流の高架量水槽で計量した流量を基幹水路に流下させて、それぞれの流量に対して、上段部取水工では

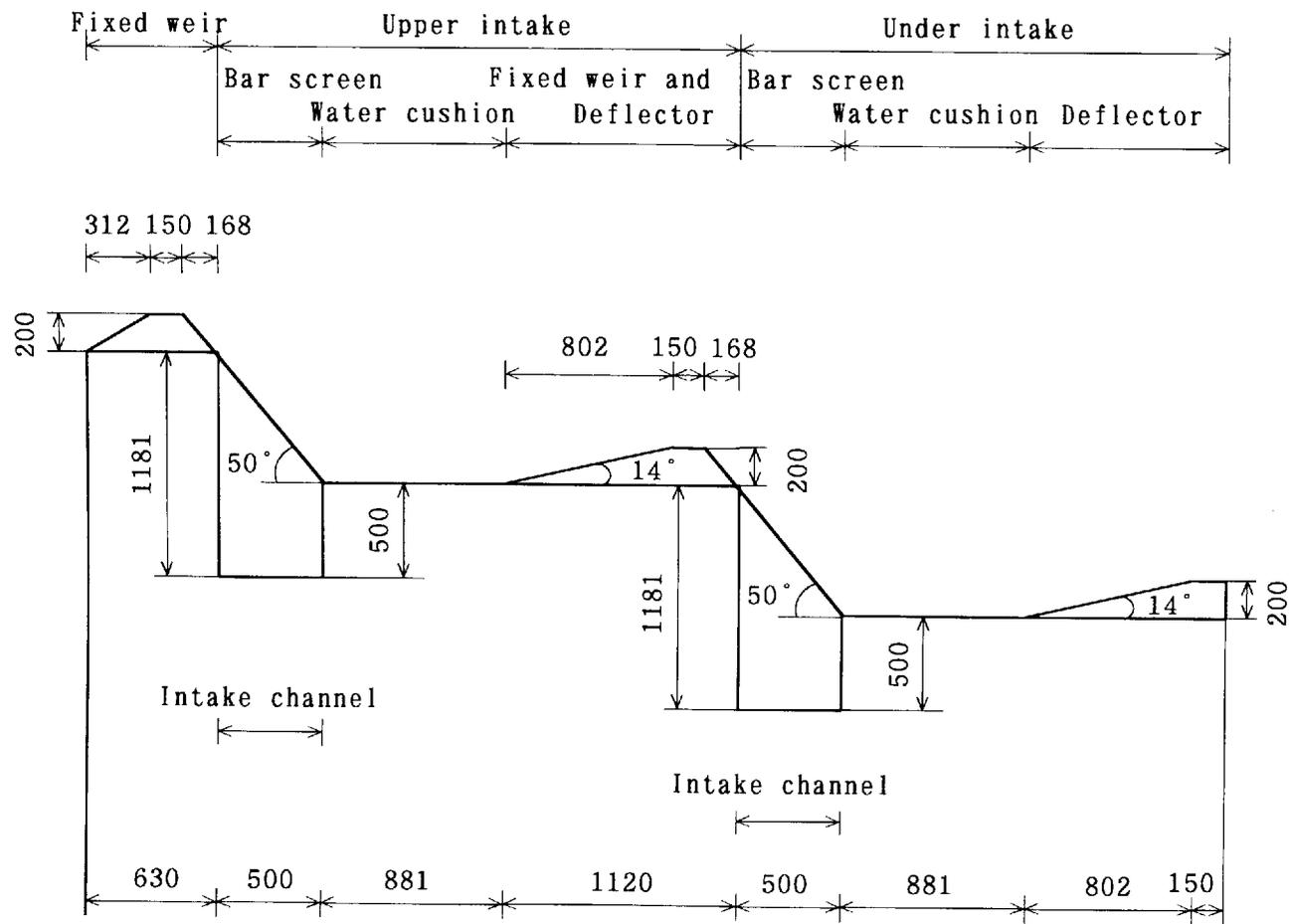


Fig.6.2 Dimension of experimental apparatus (mm)

その集水路下流に設置した量水槽により、下段部取水工については、基幹水路流量と上段部取水工の取水量及び下段部取水工末端部の流下流量の差より算定を行った。

(2) 実験結果及び考察

基幹水路流量と上段部・下段部各取水工の取水量との関係を示すと、Fig.6・3 のようになる^{3・3)}。

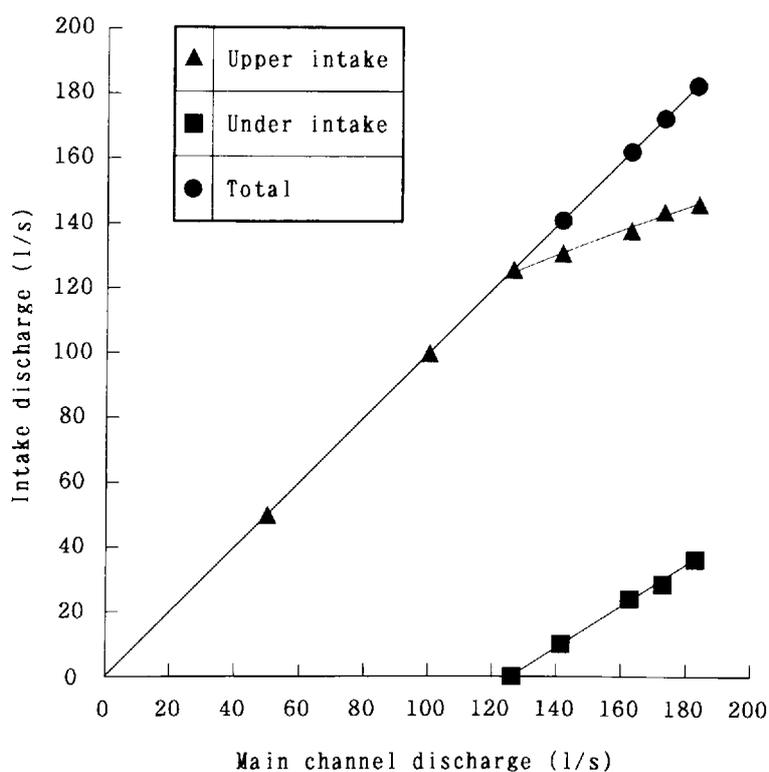


Fig.6-3 Relation between main channel discharge and intake discharge

上段部取水工では、126 l/s まで全量取水が継続し、さらに基幹水路流量が増加すると下段部取水工での取水が始まり、上段部・下段部両取水工によって取水が行われる。また、基幹水路流量を200 l/s 近くまで増加させても、Fig.6・3 に示すように、上段部・下段部の両取水工によって全量が取水されている。

ここでバースクリーン複合型溪流取水工の取水量の算定式として、前述の(4.2)'式を適用する。

$$Q = \mu \cdot \phi \cdot B \cdot L_0 \sqrt{2gE_0} \quad \text{————— (4.2)'}$$

上式に、流入係数 $\mu = 0.5$ として、本実験水理模型の諸元を代入すると、試算の結果、 $Q_0 = 121$ l/sとなり、上段部取水工の全量取水量が126 l/sであるので、バースクリーン諸元に基づく所定の取水量を確保できることが明らかになった。したがって、十分な集水路断面が確保できれば、バースクリーンの諸元によって、大量の取水が可能であることが再確認できた。ここで、Fig.6.3 に得られた結果は取水工として好ましいものではあるが、流れの全体の傾向を把握することはできないので、Fig.6.4 に示すように、集水路の底床面を400mm 嵩上げすることにより、通水断面積を縮小して、再度、取水量に関する実験を行った。Photo.6.2 は実験の様子である。

再実験の結果より、基幹水路流量と取水量の関係としてFig.6.5 を得た³⁴⁾。上段部取水工では、65 l/sまで全量取水となり、その後、基幹水路流量の増大にともない、下段部取水工でも取水が始まり、基幹水路流量が153 l/s までは、上段部・下段部の両取水工で全量取水となる。さらに増加すると、下段部取水工のデフレクターを流下水が越流するようになる。また、各々の取水工の取水量は、65 l/sを超えるまでの全量取水状態のときには、基幹水路流量の増大に対し、比例して増加する。その後、基幹水路流量が全量取水量よりも大きくなると、少しずつ増加した後、取水量およそ85 l/sで、ほぼ一定の値で落ちつく。この取水傾向は、集水路断面の縮小をする前の結果 (Fig.6.3) と同様の結果である。

上記の85 l/sという取水の限界値は、集水路断面の大きさに影響されるものであり、十分な集水路断面を確保できれば、本取水工の目的のとおり、洪水時の大量の取水が可能である。

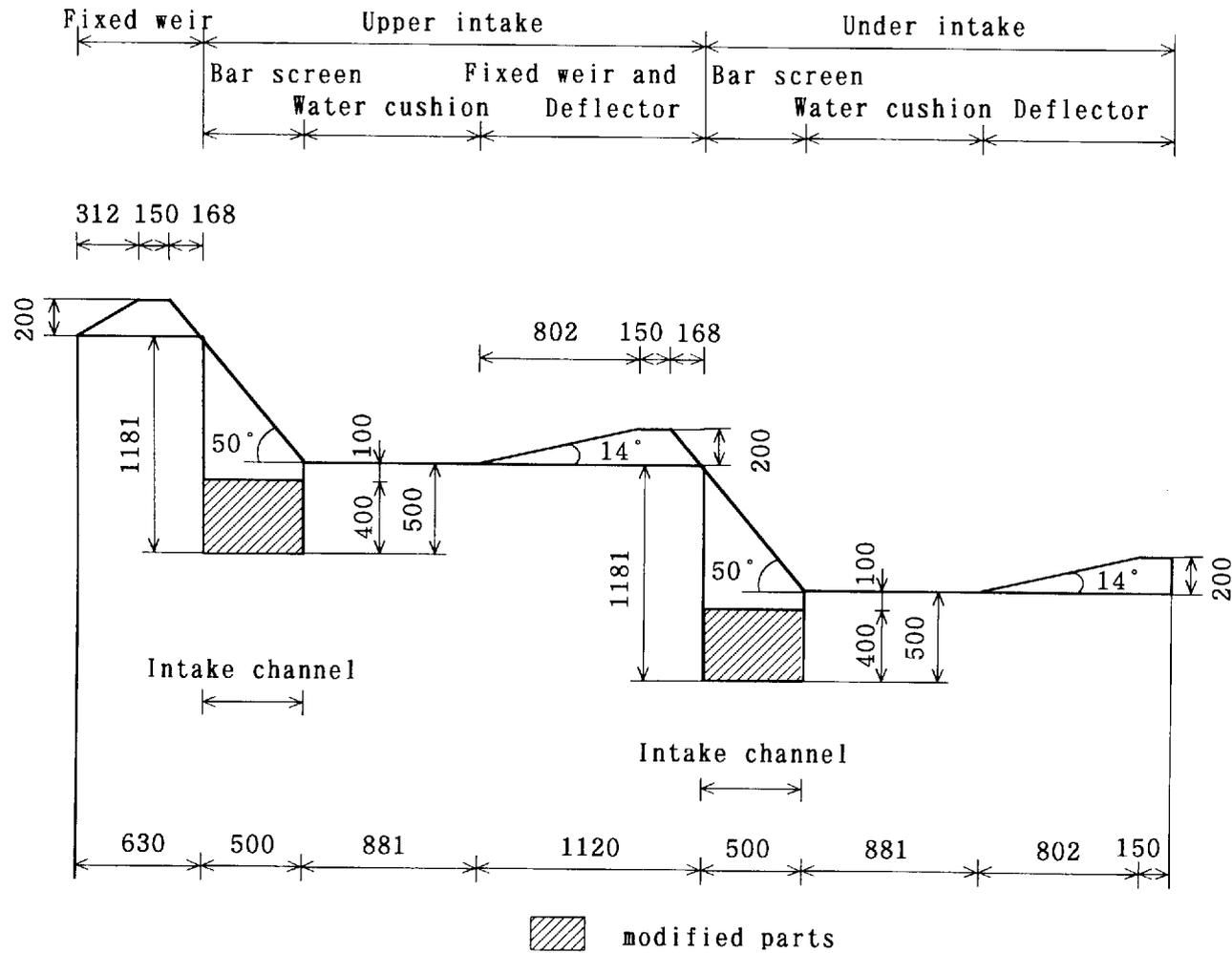


Fig.6.4 Dimension of experimental apparatus (mm)

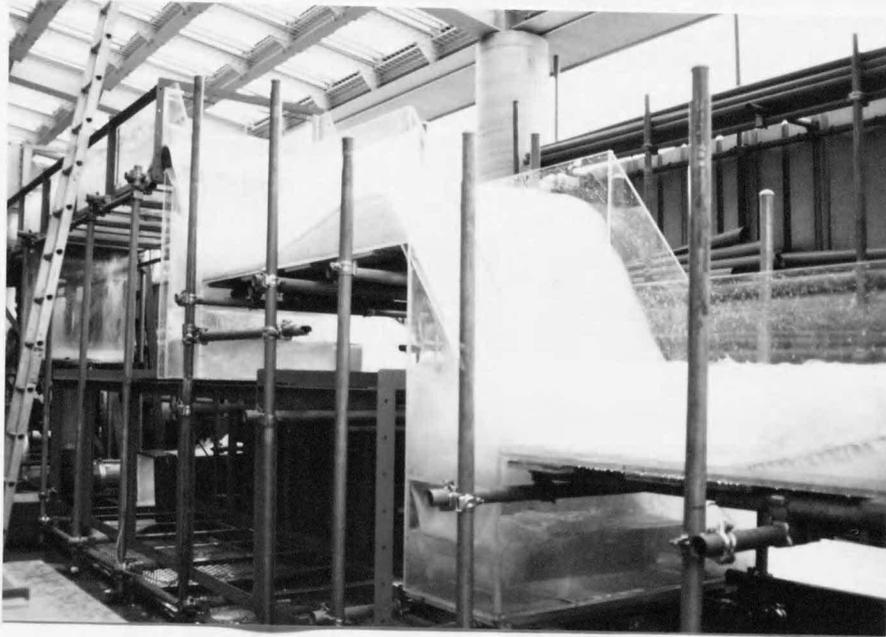


Photo.6.2 Hydraulic model test

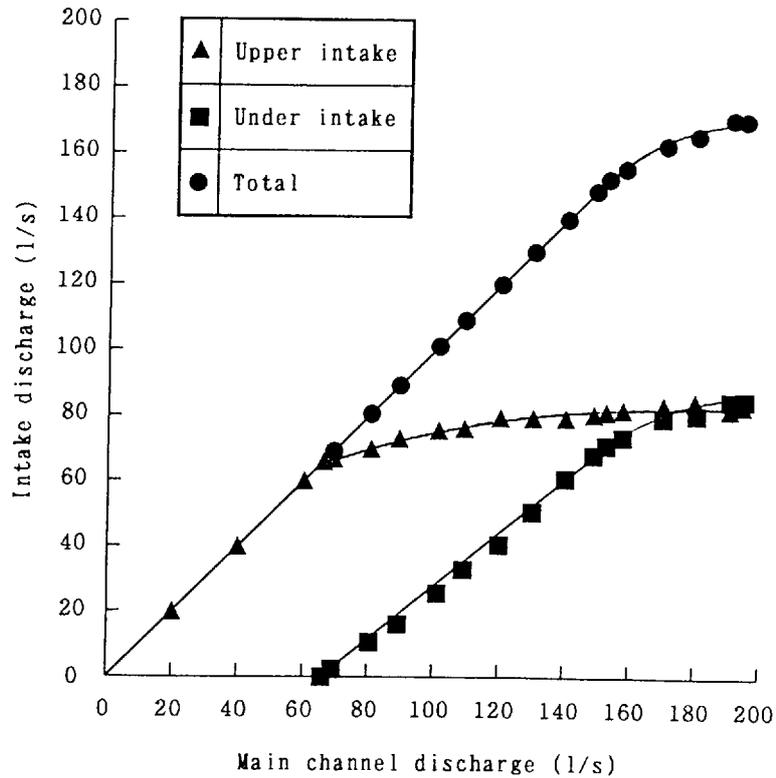


Fig.6-5 Relation between main channel discharge and intake discharge

次にバースクリーン複合型溪流取水工の取水特性について、単一の場合と複列に設置した場合において、両者のバースクリーンの開度 ψ が、ほぼ同一（ $\psi = 13.6\%$ 及び 15% ）となることに着目して、無次元化表示による取水量の比較を行った。このとき無次元化には、次式で定義される Drop number $D^{3.5}$ を用いた。

$$D = \frac{q^2}{gW^3} \quad \text{--- (6.1)}$$

q : 単位幅流量 ($\text{m}^3/\text{s}/\text{m}$)

W : 段落高さ (m)

g : 重力加速度 (m/s^2)

比較に用いたデータは、単一のものでは、バースクリーン取付け角度 $\theta_1 = 50^\circ$ で、取水側水路末端部での堰上げを行わない場合、複列の場合は集水路断面の大きさによる取水量への影響を避けるために、上段部取水工の集水路断面を縮小する前のデータ (Fig.6.3) を用いた。いずれの場合も、全量取水状態でのデータは、必ずグラフの傾きが1となるので除外した。そのためにデータ数が少なくなりましたが、図示を行うとFig.6.6 のようになる。

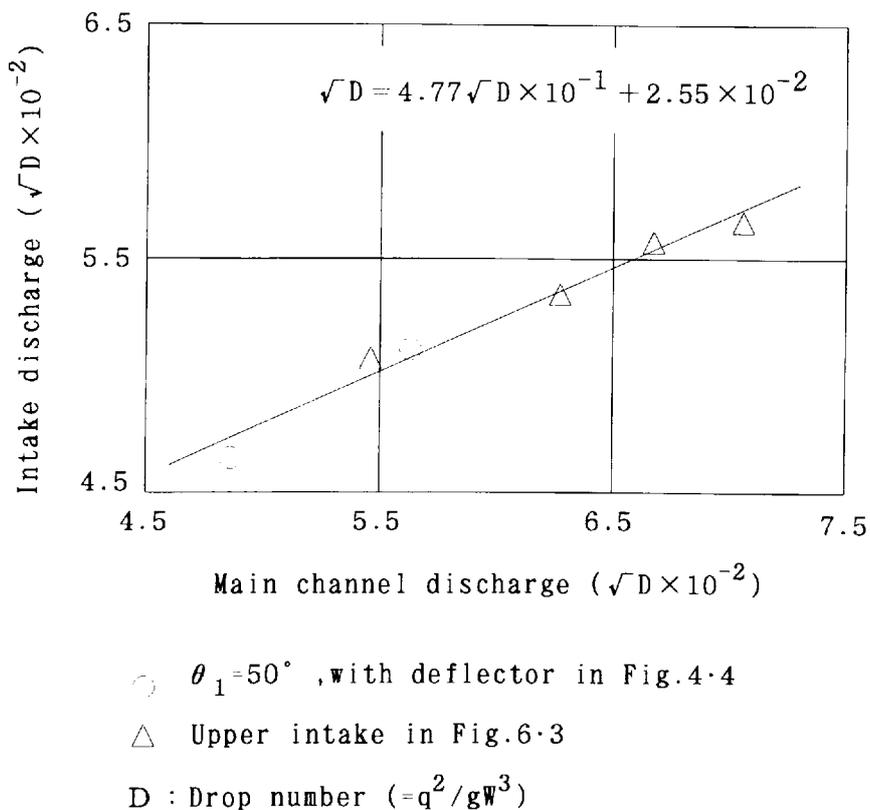


Fig.6.6 Comparison of intake discharge in drop number D

図から、バースクリーン取付け角度 θ_1 及びバースクリーン開度 ψ が等しければ、同一の取水傾向を示すといえる。よって、複列に施工しても、単一で施工したものと同様の取水特性をそれぞれの取水工が示すといえる。さらに、その取水特性は、まず、全量取水状態が継続し、その後は、基幹水路流量の増加に伴い、バースクリー

ン取付け角度 θ_1 とバースクリーン開度 ψ が等しければ、同一の割合で取水量が増加する。そして、集水路の規模によって限界が決められ、そこでほぼ一定になる、ということが明らかになった。

2. 水クッション内の流速

複列にバースクリーン複合型溪流取水工を設置したとき、上段部取水工の水クッション内（下段部取水工上流側）に土砂礫が堆積しないのは、Fig.6.7 に示すような段落斜面下流側に水クッションを有する落差工において、段落斜面趾端における突っ込み水脈の水平底床面方向の流速 V_1 と、段落部上流の固定堰上で生じる限界流速 V_c を比較すると、 $V_1 > V_c$ となり、また、土砂礫の掃流力は流速の2倍に比例するので、上流より水クッション内に流入した土砂礫は下流へ掃流流下されると考えられるからである。

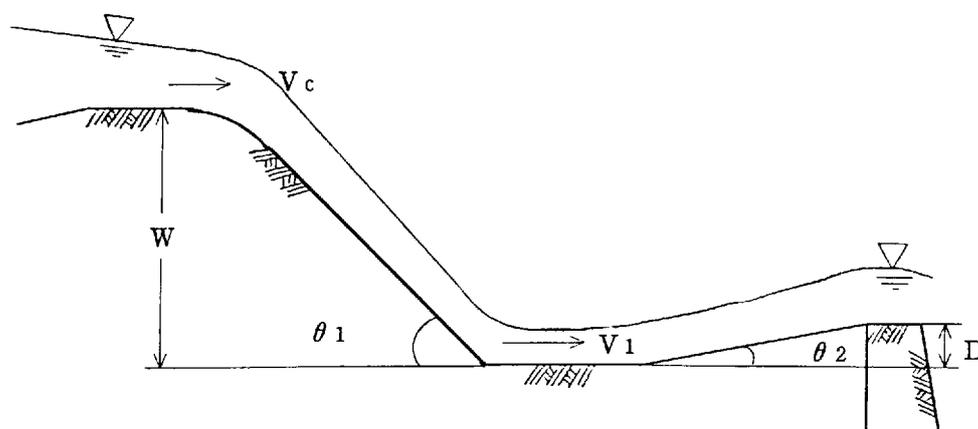


Fig.6.7 Water cushion type drop structure

しかし、バースクリーン複合型溪流取水工の水クッションにおいては、取水が行われることによって、水クッションを経て下流へ流下する流量が減少するばかりではなく、バースクリーン趾端におけ

るバースクリーン裏側への分流逆流水、さらに、水クッション内に形成される回転流の領域からバースクリーン方向へ向かう流れが生じるので、上記のような理論通り十分な掃流力を保持できるのかが問題となる³⁶⁾。

そこで、基幹水路流下流量の全てが水クッションを流下する場合と、バースクリーンによって取水する場合とについて水クッション内の流速の比較を行った。

(1) 実験装置及び実験方法

実験模型は、単位幅水路に対して縮尺を1/5として、Froudeの相似則に基づいて水理諸元を決定した。ただし、模型のサイズが非常に小さくなるため、製作上の都合もあり、前述の複列式バースクリーン複合型溪流取水工と同一の縮尺模型とはしていない。

実験装置は、Photo.6・3に示すように、給水ポンプ、厚さ10mmの亚克力製の実験水路及び実験水路下部に設けたJIS規格の三角堰付き量水槽からなる。

実験水路は、Fig.6・8に示すように、落差100mm、集水路幅100mmのバースクリーン複合型溪流取水工をもつ、幅200mmの開水路である。集水路からの流出部は、バースクリーンによる取水に影響しないようにバースクリーン隙間面積以上の台形オリフィスを開けた。バースクリーン直上部には、ノリ面傾斜角度 45° 、高さ40mmのバースクリーン取付け固定堰を設け、また、バースクリーン部は、落差100mm、バースクリーン取付け角度 $\theta_1 = 45^\circ$ 、バーの実効長 $L_0 = 141.4\text{mm}$ とし、外径 $\phi = 10\text{mm}$ の亚克力パイプを両端に4mmを開けて、隙間幅 $a = 3\text{mm}$ （開度 $\psi = 25\%$ ）で配列した。さらに、バースクリーン趾端より190mmの位置に這い上がり傾斜角 $\theta_2 = 14^\circ$ 、高さ40mmのデフレクターを設置して、水クッション部を形成した。また、下流からの背水の影響を受けないように、デフレクターを越流した水は、完全ナップを形成して流下するようにした。

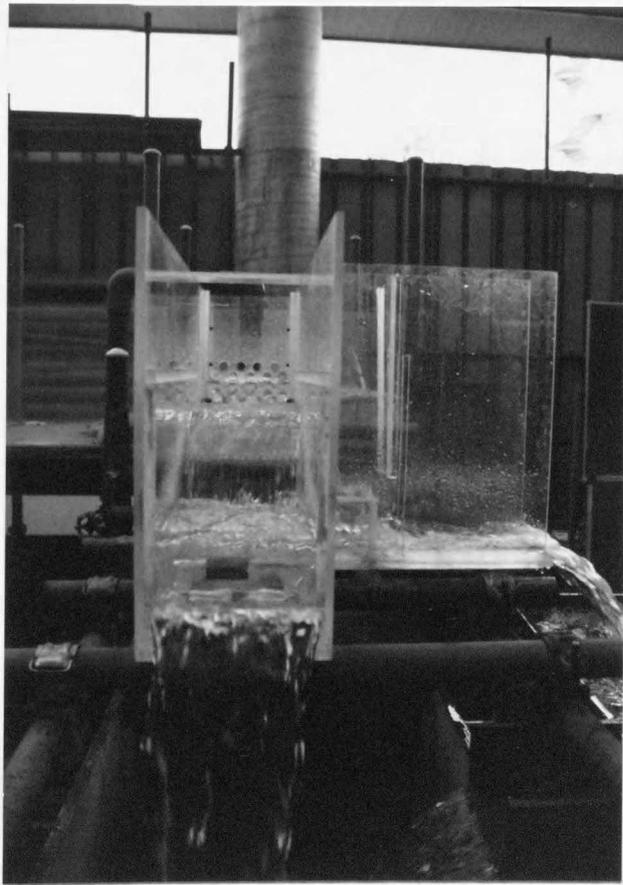
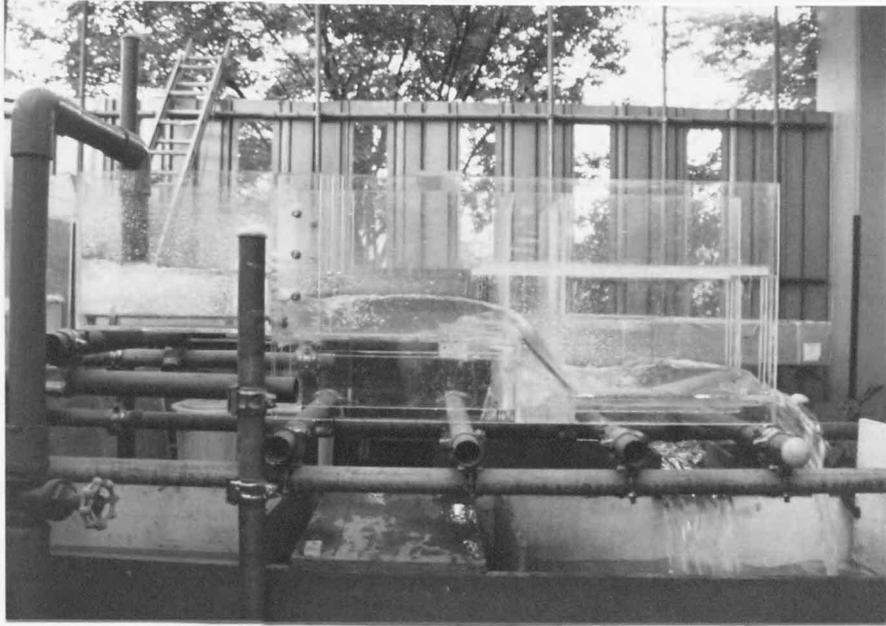


Photo.6.3 Experimental apparatus

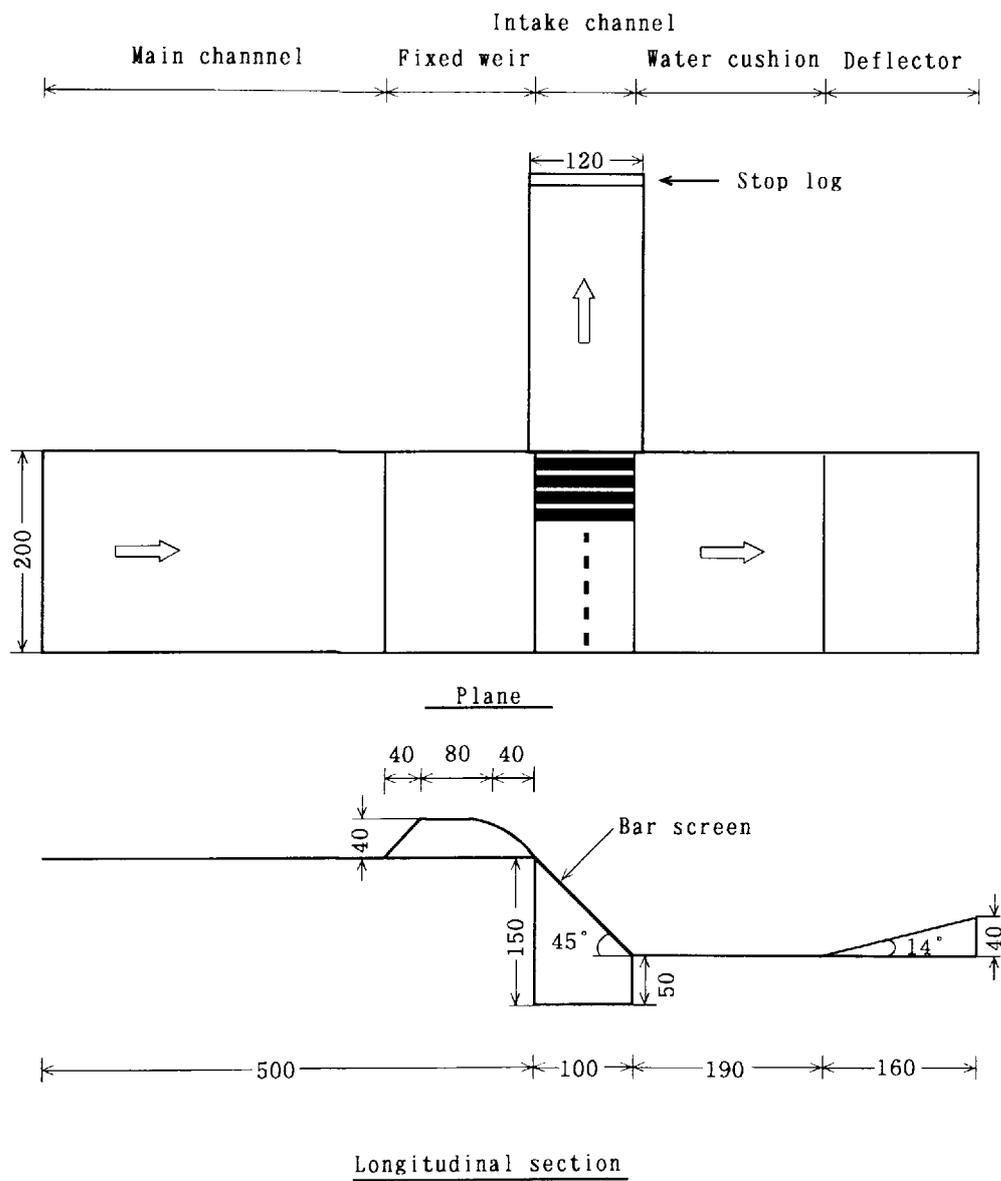


Fig.6-8 Dimension of experimental apparatus (mm)

実験は、水中ポンプより水を基幹水路に流下させ、実験装置の真下に設けた、JIS規格の三角堰付き量水槽で、全流量及び取水量を測定して、実験条件と一致させた。実験流量 Q_m は、原型流量 Q_p を100~500 l/sの間で50 l/sごとに変化させるのに対応するように、

$Q_m = 1.792 \sim 8.944$ l/s の間で調節した。Table 6・1 に、原型と実験模型の基幹水路流量を示す。それぞれの実験流量に対して、バースクリーンによって取水を行う場合、集水路の流出部を角落としにより堰上げ、全流量が水クッション部を経て下流へ流下する場合とについて、流速の測定を行った。

流速の測定には、小型の電磁流速計（計測技研(株)製）を用いた。測定は水路中央部で行い、縦断方向には、バースクリーン趾端を基準として、上流側220mm、下流側340mmにわたり20mm間隔で、鉛直水深方向には、センサーの構造により水路床から15mmを基準にして5mm間隔で行った。データが、周期的に変化するような場合には、各測点における最大値と最小値の中間値を採用した。

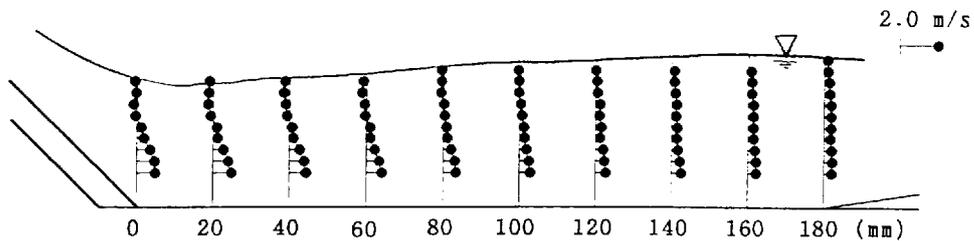
Table 6・1 Discharge in model test (l/s)

Proto type	model test
100	1.792
150	2.679
200	3.575
250	4.475
300	5.376
350	6.256
400	7.161
450	8.046
500	8.944

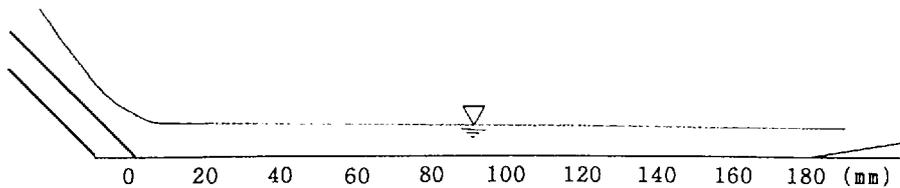
(2) 実験結果

Fig.6・9 に流速分布について、バースクリーンにより取水を行った場合(Intake)と全流量が水クッション部を流下する場合(Drop)の結果の一部を示す。このとき、両者の流速を比較すると、バースクリーン取付け固定堰上から段落斜面にかけては、ほとんど差が見られないので、バースクリーン趾端より下流側の水平水路底床部分の流速分布を示した。

また、取水を行った場合の水クッション流下流量を知るために基幹水路流量と取水量の関係をFig.6・10に示した。図中の全量取水量を示す線と取水量との差が、バースクリーンによる取水を行う場合に水クッションを経て下流へ流下する流量を示している。

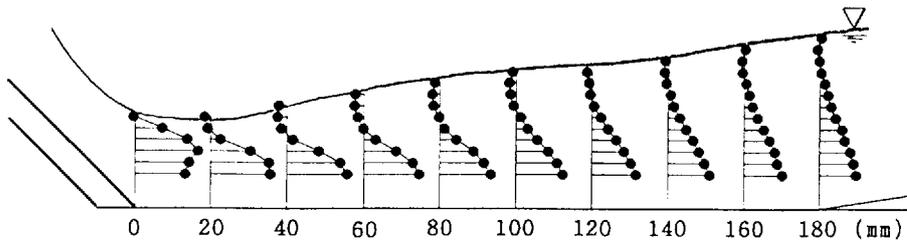


(a) $Q_m = 1.792$ l/s, Drop

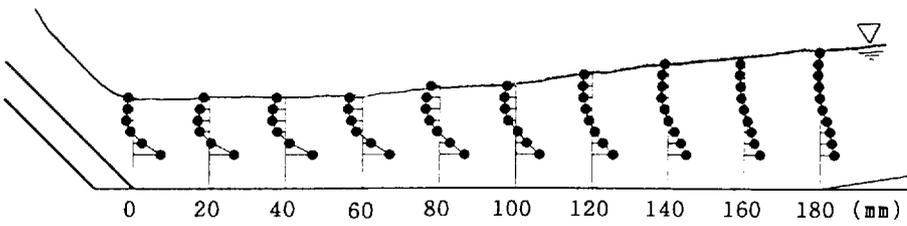


(b) $Q_m = 1.792$ l/s, Intake

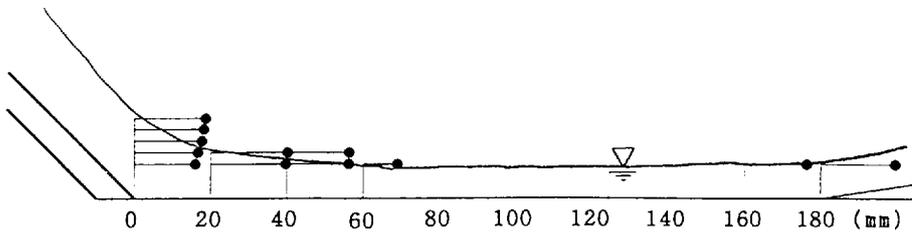
Fig.6・9 Velocity distribution in water cushion



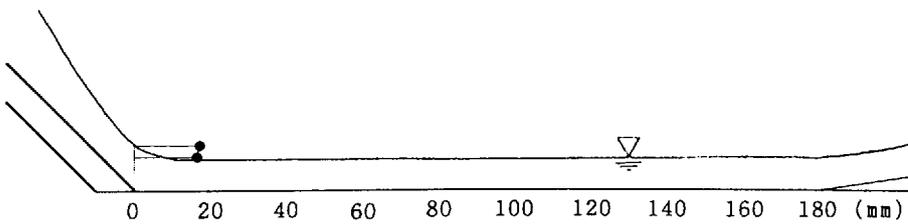
(c) $Q_m = 5.376$ l/s, Drop



(d) $Q_m = 5.376$ l/s, Intake



(e) $Q_m = 8.944$ l/s, Drop



(f) $Q_m = 8.944$ l/s, Intake

Fig.6-9 Velocity distribution in water cushion

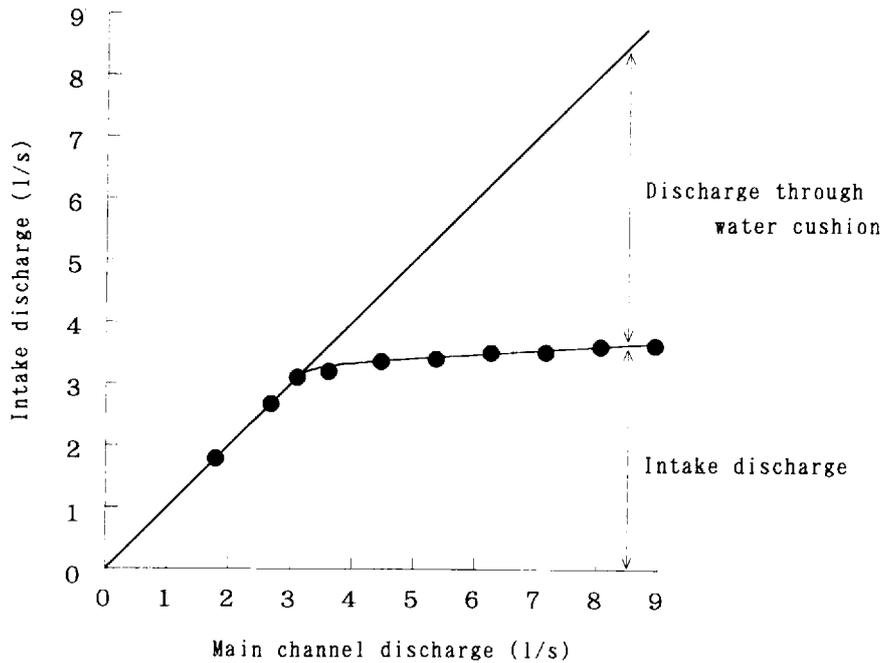


Fig.6.10 Relation between main channel discharge and intake discharge

バースクリーンによって取水を行う場合には、Fig.6.10に示すように $Q_m = 3.108$ l/sまでは全量取水状態が続くので、水クッション内は非常に静穏で、水面の同様もほとんど見られずに下流へ流下している (Fig.6.9(b))。一方、取水を行う場合でも、基幹水路流量が小さいとき (Fig.6.9(a)) には、全体に流速が小さく、表面渦領域 (上流への逆流領域) も非常に小さい。

基幹水路流量の増加にともない、水クッション内の流況は、大きな表面渦領域を形成するようになる (Fig.6.9(c)(d))。

両者に共通していえることは、水路底床に沿う流れが下流方向への最大流速を示し、水面へ近づくにつれて下流方向への流速が低下している。また、水面から 5~10mmの位置で逆流 (上流方向) 最大流速を示している。流速変化の割合は、バースクリーン趾端に近いほど大きく、離れるほど小さくなっている。

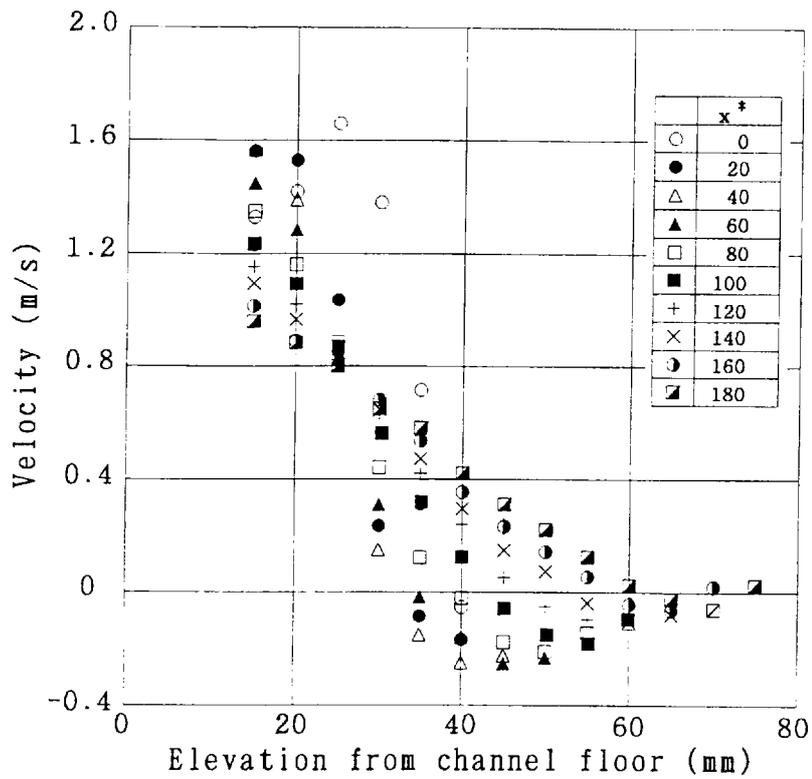
このことは、Fig.6.11に示すように横軸に鉛直水深方向の測点の位置をとり、縦軸に流速を示すとよく分かる。バースクリーン趾端

からの距離の短い方が大きな傾きを示し、遠くなるにしたがって次第に傾きが小さくなっている。図中では、バースクリーンによる取水を行わないとき (Fig.6・11(a))、バースクリーン趾端からの距離 $x = 0\text{mm}$ では、他とは違う傾向を示しているが、これは、流れがバースクリーンに沿った方向から水平方向に変化するためにその影響が現れたものであろう。

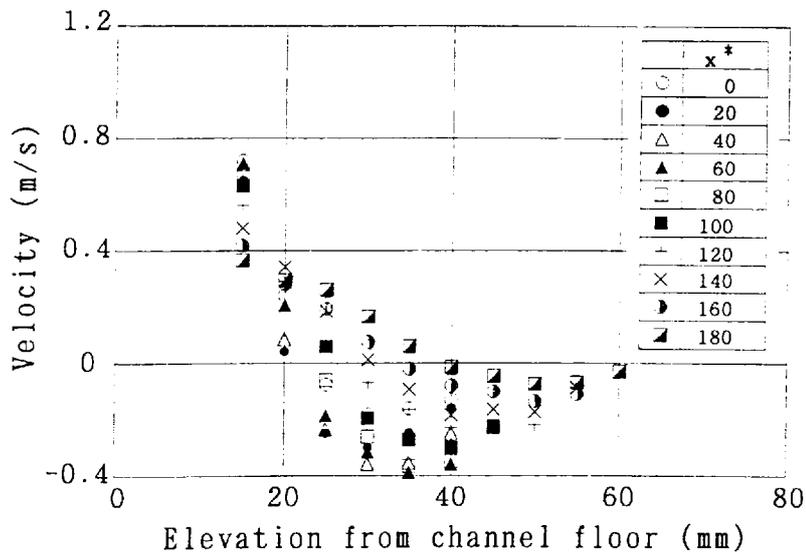
次に両者の違いをみると、水クッション部をFig.6・9(c)では、基幹水路流量 $Q_m = 5.367 \text{ l/s}$ の全量が流下しているのに対し、(d)では、バースクリーンで取水された後の残りの流量のおよそ 2 l/s が流下しているのに過ぎないので、下流方向への流速が、バースクリーンによって取水を行っている場合(d)には、取水しない場合(c)のおよそ半分程度となり、水クッション部での表面渦領域も大きくなっている。よって、表面渦領域の形成が流速の減少に大きく関わっているといえる。

基幹水路流量がさらに大きくなると、表面渦領域の開始点が、バースクリーン上から水平水路底床上へと下流へ移動し、取水を行わない場合には、 $Q_m = 5.5 \text{ l/s}$ 、取水を行う場合でも、 $Q_m = 6.0 \text{ l/s}$ を超えると、水クッション内の流況が射流となる。水クッション内の流速が射流となると、取水の有無による流速分布の違いはほとんど見られなくなるが、水クッション内の水深は非常に小さくなり (15mm以下)、Fig.6・9 の(e)(f)に示すように、全ての測点で流速の測定ができない場合も生じる。

バースクリーンによる取水を行わない場合には、基幹水路流量が $Q_m = 5.5 \text{ l/s}$ で射流となるので、取水を行う場合には、水クッション流下流量が 5.5 l/s を超えて、初めて射流になるとも考えられるが、実際には、水クッション流下流量が 3 l/s 程度で射流へと移っている。このことは、集水路が満流となっていることの影響が現れているものと考えられる。



(a) $Q_m = 5.376$ l/s, Drop



(b) $Q_m = 5.376$ l/s, Intake

*) x : Distance from the toe of bar screen

Fig.6-11 Velocity profiles in water cushion

(3) 考察

本実験では、バースクリーン趾端での流速 V_1 の大きさが最も重要である。段落部をバースクリーンに沿って流下する水脈の流速が、水クッションへ突入後もそのまま維持されると考えると、ベルヌーイの定理に基づいて、バースクリーン趾端での流速 V_1 は、次式³⁷⁾で表すことができる。

$$V_1 = \alpha \sqrt{2g(W + E_0)} \quad \text{----- (6.1)}$$

α : 比例定数

g : 重力の加速度 (m/s^2)

W : 段落斜面高さ (m)

E_0 : 段落部上流水路底より測ったエネルギー水頭 (m)

まず、比例定数 α を求めるために、流下水脈が水クッションへ突入するより上流のバースクリーン上の流速について検討を行う。流速の実測値を縦軸にとり、その位置での比例定数 α を除いた流速の理論値 $V_{c,1} = \sqrt{2g(W + E_0)}$ を横軸にとってプロットすると Fig.6.12 となる。このとき、段落斜面高さ W の値は、バースクリーン取付け固定堰天端から流速測定点までの水路落差を採用した。

Fig.6.12の回帰直線の傾きを求めると、比例定数 $\alpha \doteq 0.84$ となり、 $\alpha = 0.85$ とした山本³⁸⁾、秋吉³⁹⁾の結果ともよく一致している。よって、バースクリーン趾端での理論流速を、 $V_1 = 0.85\sqrt{2g(W + E_0)}$ として、この理論流速と実測値の比較を行うこととした。

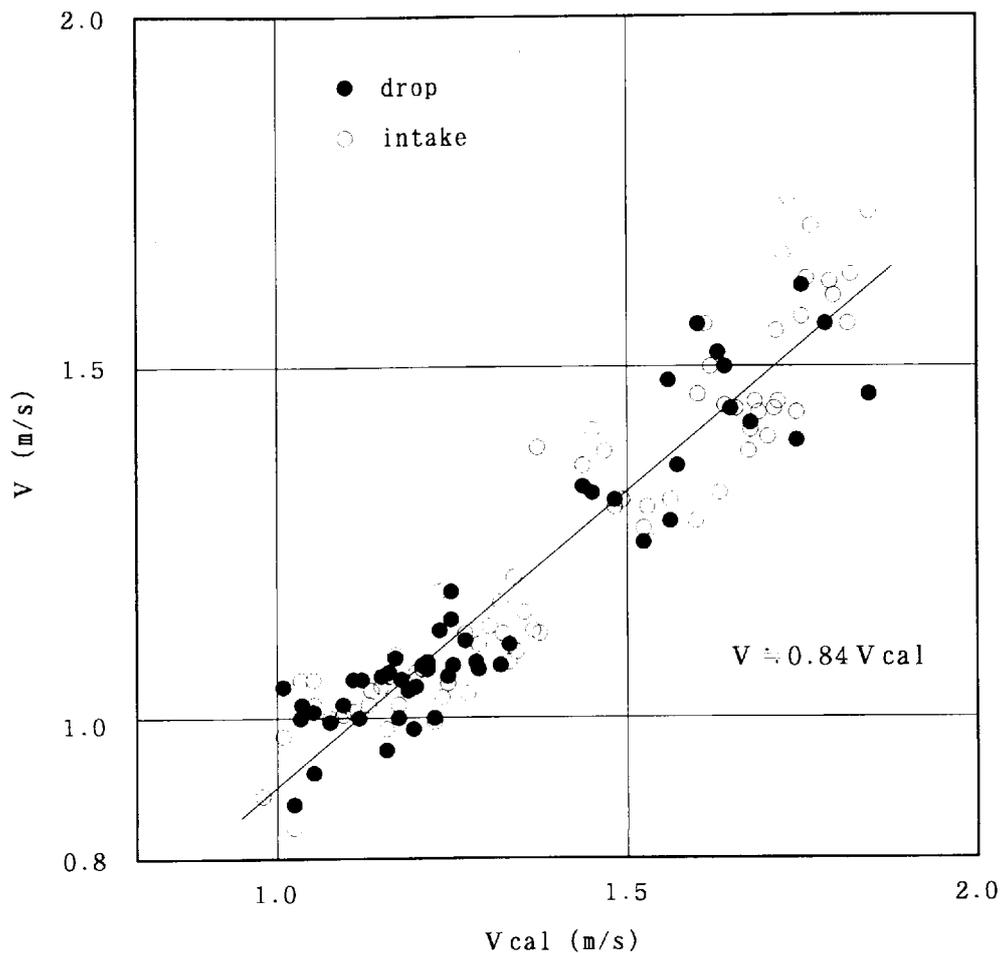


Fig.6.12 Relation between V_{cal} and V

この流速の比較を示したのが、Fig.6.13である。

図では、前述のバースクリーン趾端での理論流速 V_1 とバースクリーンによる取水を行ったとき(Intake)及び行わないとき(Drop)の実測値を示している。さらに、バースクリーン趾端での掃流力を考えるとき、バースクリーン取付け固定堰上の流速よりも、バースクリーン趾端での流速が大きければ、この部分には土砂礫が堆積しないので、バースクリーン取付け固定堰上での流速を V_2 として示した。

実測値については、バースクリーン趾端からの距離 $x = 0\text{mm}$ のときには、前述のように、流れの向きがバースクリーンに沿った方向から水平方向に変化する点であり、流速分布に他の位置と比べて乱れが生じていることがある。そのときには、 $x = 0\text{mm}$ 及び 20mm の水路底床から 15mm の位置（計測した最下部）の値を平均して、バースクリーン趾端での水平底床面方向の流速とした。 V_2 については、バースクリーン複合型溪流取水工でバースクリーン趾端へ堆積して問題となるような上砂礫は、bed loadとして流下してくると考えられるので、バースクリーン取付け固定堰水平部の最上流端での底から 15mm で、バースクリーンによる取水を行った場合と行わない場合の平均値を用いた。ちなみに、両者の間の値の差はほとんどなかった。

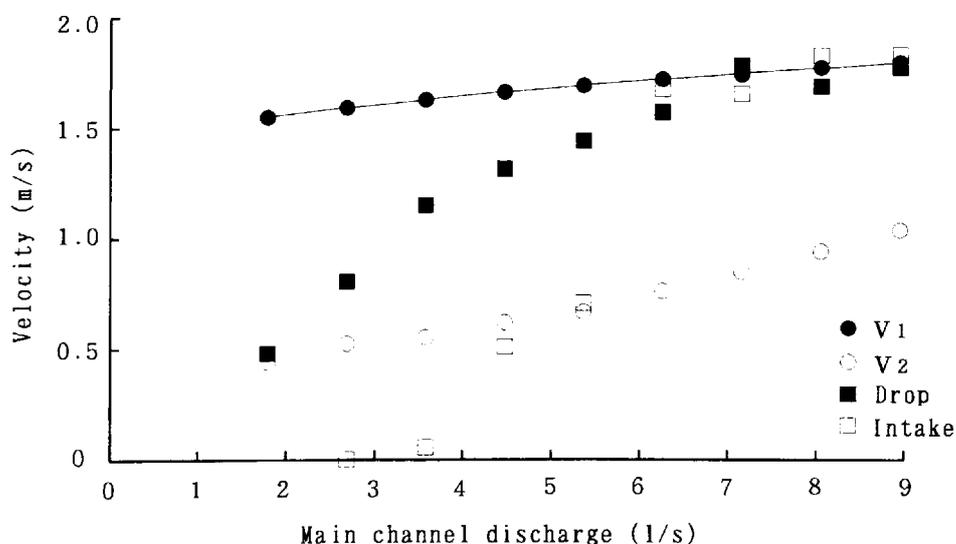


Fig.6.13 Comparison of velocity at the toe of bar screen

バースクリーン趾端での流速の理論値 V_1 と実測値とを比較すると、Fig.6.13からも分かるように、基幹水路流量が小さいときには、両者は一致しない。しかし、基幹水路流量が増加し、水クッション内の流況が射流となると、両者はほぼ一致するようになる。よって、

前述の理論式は、水クッション内の流況が射流という条件では成り立つといえる。

次に、バースクリーン取付け固定堰上での流速 V_2 とバースクリーン趾端での実測値とを比較すると、バースクリーンによる取水を行っていない場合(Drop)には、バースクリーン趾端での流速がバースクリーン取付け固定堰上の流速 V_2 よりも大きいので、土砂礫の堆積の問題は発生しない。しかし、バースクリーンによる取水を行う場合(Intake)には、全量取水状態のときは別としても、水クッション内に回転流が生じている間は、バースクリーン趾端での実測値の方が V_2 よりも小さくなっており、基幹水路流量が増加して、水クッション内の流況が射流となるとはじめて、 V_2 よりも大きくなる。よって、水クッション内に土砂礫を堆積させないためには、水クッション内に回転流が生じない程度にデフレクターの高さを小さくすればよいだろう。

しかし、水クッション内では、回転流が生じるためにエネルギーが消散して流れが減勢されているので、水クッション内の流況が射流になるということは、流れが減勢されずに、場合によってはさらに加速されて下流へ流下することになる。このことは、水クッション内の土砂礫の掃流という面からは好ましいことだが、河川環境上は好ましくない。したがって、本章で検討している、複列式バースクリーン複合型溪流取水工においては、平水時には、上段部取水工の集水路を堰上げて、下段部取水工へ十分な流量を流下させるとともに、回転流を水平水路底床上で生じさせることにより、所期の目的が問題なく達成されるものと考えている。

第7章 施工事例

本章では、本研究で開発した、バースクリーン複合型溪流取水工の施工事例として、1991年に竣工した台湾の関刀溪溪流取水工を取りあげる。

本取水工は、台湾中部、烏溪水系北港溪支流関刀溪にある。集水路末端における単位幅水理構造図をFig.7・1に、また、現地の写真をPhoto.7・1に示す。

本溪流取水工は、バースクリーン下流側に水平水路底床水叩きのみを付したものである。計画取水量 $Q_0 = 1.0\text{m}^3/\text{s}$ 、段落斜面高さ $W = 1.30\text{m}$ 、バースクリーン取付け角度 $\theta_1 = 45^\circ$ 、バースクリーン隙間幅 $a = 20\text{mm}$ 、設置幅 $B = 10.9\text{m}$ でバースクリーン開度 $\psi = 22\%$ である。バースクリーンは、外径 $\phi = 90\text{mm}$ 、有効長 $L_0 = 1.604\text{m}$ の鋼管を用いた。集水路は、幅 1.0m 、底勾配 $s = 1/34.5$ とし、深さは、等流水深と速度水頭による方法によって、下流端の深さを 0.86m と決定した。

1991年の竣工後、翌年1月にかけて行われた現地調査⁴⁰⁾の一部をTable 7・1に示す。

Table 7・1 Results of field works in Kantoukei

No.	溪流流量 (m^3/s)	取水量 (m^3/s)	目詰まり	調査日
1	0.54	0.468	無し	'91/6/11
2	3.67	0.658	少し有り	'91/6/28
3	1.31	1.004	少し有り	'91/8/16
4	0.447	0.447	少し有り	'92/1/27

文献40) から一部抜粋

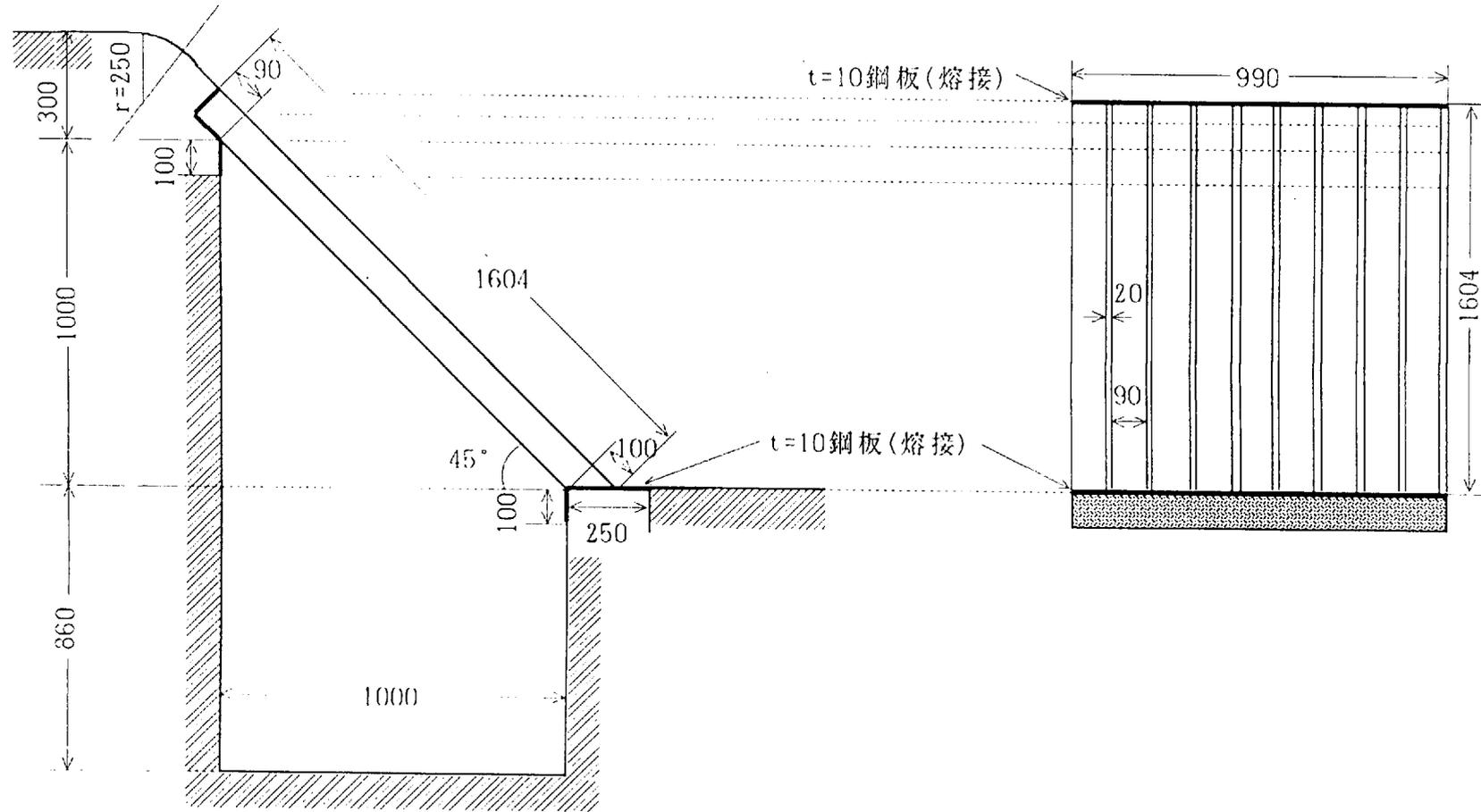


Fig.7·1 Hydraulic design of Kantoukei bar screen compound type torrent intake (unit:mm)



Photo.7.1 Kantoukei Bar Screen Compound Type Torrent Intake

当初は、No.1のように溪流流量が少なく計画取水量以下になるときは別としても、No.2に示されるように溪流流量 $3.67\text{m}^3/\text{s}$ に対して、バースクリーンの枝葉による目詰まりが多少発生してるとはいえ、取水量が $0.658\text{m}^3/\text{s}$ であり、あまりにも取水量が小さすぎた。このことについて検討したところ、バースクリーン取付け固定堰の下流側ノリ面の施工が不十分なために、流下水脈がバースクリーンから離れて飛んでしまっていることが分かった。そこで、急速、コンクリートの打ち直しを行った結果、No.3に示すように、取水量を満足することができた。

その後、取水上の大きなトラブルもなく、順調に所期の取水量を確保していたのだが、1993年に大洪水があり、このとき、取水量確保の目的でPhoto.7・1にもみられるように、水平水路底床の下流に高さ50cm程度のエンドシルが設けられた。しかし、エンドシル設置をする前でも、溪流流量が十分にあれば、計画取水量が確保されていたので、水クッション部の土砂堆積を考えると必要ない。むしろ、バースクリーンの清掃を適宜行うことが必要で、1994年3月の調査でも、スクリーンに嵌入した石礫や枝葉を除去しただけで、水クッション内に存在した水溜まりがなくなる様子が観察できた。

したがって、適正な維持管理が行われれば、支障なく計画取水量の確保は可能である。

また、本溪流取水工は、1994年8月には、大洪水に見舞われて、土砂吐水路の損壊、取水工下流側河床の洗堀などの被害も生じたが、バースクリーン部分には全く支障がなく取水を継続している。

第8章 まとめ

バースクリーン複合型溪流取水工においては、バーの外径 ϕ 、バースクリーン隙間幅 a が等しく、バースクリーン水平長（集水路幅）が一定の場合には、バースクリーン取付け角度 θ_1 が大きくなるほど取水量は増加する傾向にある。また、バースクリーン下流側にデフレクターを設置すると、バースクリーン隙間からの下方落下水に、水クッション部からの流入水が加わるために、バースクリーン流下水が自由落下するだけの場合に比べて、取水量は増大する。この場合の取水量はデフレクターの這い上がり高さ D に影響される。単位幅当りの取水量は、バースクリーン取付け角度 $\theta_1=45^\circ$ で、バー有効長 $L_0=1\text{m}$ 、バースクリーン開度 $\psi=15\%$ のとき、 250 l/s/m 程度となる。このことは、従来のバースクリーン後方取水型溪流取水工と比べて、同一の段落斜面高さに対して、およそ2倍の取水が可能であることを示している。

バースクリーン複合型溪流取水工の集水路末端に、取入れ角落し堰を設置すると、バースクリーン後方取水型溪流取水工の場合と同様に堰高によって、取水量を調整することができる。また、浮遊流下物による目詰まり防止効果が現れ、その効果は、バースクリーン取付け角度が、 $\theta_1=45\sim 50^\circ$ と大きいほど顕著になる。

また、計画取水量より必要なバーの長さを決定するに当たっては、(4.2)式を使用しても支障のないことを確かめた。このときバースクリーン取付け角度 $\theta_1=45\sim 50^\circ$ に対して、流量係数 $\mu=0.5\sim 0.55$ とする。さらに、取水量の確保には、バースクリーンに沿って、流下水を滑らかに流下させる必要があるので、バースクリーン上流側に越流堰を設置する必要がある。

次に、バースクリーン複合型溪流取水工の取水量の規定要因としては、バースクリーンの諸元はもちろんであるが、集水路断面の大きさが、より大きく影響することが明らかになった。よって、十分な集水路断面が確保できれば、洪水時の大量の取水が可能になる。

この場合、集水路断面の決定には、等流水深と速度水頭による方法が、簡便で妥当な方法であり、この方法に準じて、上記のような溪流取水工の設計を行ったところ、所期の取水量が確保できることを確認した。

さらに、バースクリーン複合型溪流取水工を単一で設置する場合には、溪流河川地形、流況によっては段落固定堰上流側に土砂礫が堆積してバースクリーン流下水通水幅が狭小になり取水機能が低下し易いので、この問題を解決するために、バースクリーン複合型溪流取水工を連続して複列に設置した。その結果、平水時に溪流流量の少ないときには、上段部取水工の集水路を堰上げ、下段部取水工へ十分な水量を流下させることによって、十分な取水が確保でき、洪水時には、上段部・下段部両取水工によって、大量の取水が可能であることが明らかになった。

また、バースクリーン複合型溪流取水工を複列に設置しても、単一で設置した場合と同様の取水傾向が確認された。その取水特性は、まず、全量取水状態が継続し、その後、基幹水路流量の増加に伴い、バースクリーン取付け角度 θ_1 とバースクリーン開度 ψ が等しければ、同一の割合で取水量が増加する。そして、集水路の規模によって限界が決められ、そこでほぼ一定になる、ということが分かった。

以上の実験結果及び施工事例から、バースクリーン複合型溪流取水工は、溪流河川地形、取水量に応じた水理構造諸元を決めることにより、適正な維持管理が行われれば、平水時から洪水時まで、汎用性の高い溪流取水工とすることができる。

第9章 あとがき

溪流河川からの取水に当たっては、溪流河川地形、取水目的並びに取水量に適した水理特性を有する溪流取水工の設置が必要である。

本研究で開発した、バースクリーン複合型溪流取水工は、溪流取水工の具備すべき要件を十分に満たし、汎用性を有するものであり、かつ、バースクリーン後方取水型溪流取水工に比べて構造が簡単で、低コストでの設置が可能であることを明らかにした。また、その取水特性より、平水時のみならず、洪水時の取水を目的とする溪流取水工としても適しているので、溪流取水工群とオフストリームダムあるいは調整池とからなる利水システムに適用できるものといえる。さらに、バースクリーン複合型溪流取水工は、慢性的に渇水に悩む離島における利水や、水源の不足する中山間地帯圃場の有力な水源としての利用、クリーンなエネルギーとして見直しの進む発電水力の溪流河川からの取水等にも応用され大きな効果が得られるものと考えられる。

なお、本研究の成果は、上記の台湾の卑南上圳、関刀溪のほか、水資源開発公団三重用水、インドネシア Bunta weir 等に適用され、その効果が確かめられている。

終わりに、終始懇切なご指導を戴いた山本光男教授に心より感謝の意を表します。また、台湾における現地調査のアレンジや貴重な実験データの提供を賜った張 耀澤氏をはじめ台湾省水利局の皆様、実験に協力して下さった、生産水利学研究室、大学院生の森岡昌昭さん、その他、ゼミ生の皆さん、そのほか、一方ならぬご協力、ご高配を賜った多くの方々に深くお礼を申し上げます。

<引用文献>

- 1) 山本光男 他：溪流取水工群と貯水池とからなる利水システムに関する研究，
文部省科学研究費研究報告書，p.33～62 (1990)
- 2) 農業土木学会：改訂3版 農業土木標準用語事典，p.114 (1983)
- 3) 農業土木学会：改訂4版 農業土木標準用語事典，p.71 (1992)
- 4) 山本光男：温帯モンスーン地域における溪流河川地形と取水方式の研究，
明治大学科学技術研究所紀要 29-8，pp.77～132 (1990)
- 5) 山本光男，細野正夫，笹沼昭司：水クッション型 SIDE STREAM INTAKE，
農業土木学会大会講演要旨集，pp.94～95 (1976)
- 6) E.B.Wilson, J.A.Stevenson: SIDE STREAM INTAKES FOR HYDRO POWER IN SCOT-
LAND, Proceedings of the A.S.C.E., Vol 92 No.P0 1, pp.1～14 (1966)
- 7) 内藤利貞，山本光男，細野正夫：BACK STREAM INTAKE TYPE 溪流取水工，
農業土木学会大会講演要旨集，pp.16～17 (1973)
- 8) 山本光男，小島信彦，森岡昌昭：水クッション後方取水型溪流取水工の実用化に
関する研究，農業土木学会関東支部大会講演要旨集，pp.29～31 (1992)
- 9) 秋吉康弘，田中宏平，四ヶ所四男美：水クッション内の跳水現象について，
農業土木学会論文集 125，pp.45～52 (1986)
- 10) たとえば，河合 亨，岩崎和巳：溪流における取水施設，水路 10(3)，pp.59～
66 (1969)
- 11) 山本光男，西田順一，吉田昌弘：BAR SCREEN BACK STREAM INTAKE 型溪流取水
工，土木学会大会講演要旨集，pp.548～549 (1977)
- 12) 小島信彦，山本光男：バースクリーン複合型溪流取水工に関する実験的研究，
農業土木学会論文集 171，pp.67～73 (1994)
- 13) 迎 辰男：わが社の溪流取水工について，チッソ(株)技術本部 pp.1～41 (1989)
- 14) 石田 拓：溪流取水の一方法，発電水力 125，pp.72～75，(1973)
- 15) 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がり高
さ，農業土木学会論文集 67，pp.45～50 (1977)
- 16) 山本光男，角谷和一郎：BAR SCREEN 後方取水型溪流取水工 SCREEN 開度諸元
及び水クッション諸元と取水特性，農業土木学会大会講演要旨集，pp.66～67
(1988)
- 17) 山本光男，細野正夫，内山直治：BACK STREAM 型定比率分水工，農業土木学会
論文集 62， pp.16～21 (1976)
- 18) 土木学会：水理公式集，p.294 (1985)
- 19) VEN TE CHOW: OPEN-CHANNEL HYDRAULICS, McGRAW-HILL, p.337～339 (1959)
- 20) 河合 亨，加藤 敬：溪流取水工の水理設計について，水と土 22，pp.50～56
(1975)
- 21) 農林水産省構造改善局：土地改良事業計画設計基準，設計，水路工(その1)，
p.176～177 (1986)
- 22) J.Hinds (1926)：前掲 19)，p.341～346 から引用

- 23) 農林水産省構造改善局：土地改良事業計画設計基準，設計，ダム，pp.310～314 (1981)
- 24) 工藤 明，川越信清：横越流型余水吐に関する研究，弘前大学農学部研究報告 No.33，pp.28～ 40 (1980)
- 25) 松下 玄，田中久二：側水路型洪水吐，側水路断面形の流況への影響，農業土木学会誌 52(12)，pp.21～26 (1984)
- 26) 植田昌明，常住直人：旋回らせん流の流水構造に関する実験的研究（I），農業土木学会関東支部大会講演要旨集，pp.28～30 (1989)
- 27) 山本光男，小島信彦，王 如意：バースクリーン複合型溪流取水工集水路の諸元について，農業土木学会大会講演要旨集，pp.230～231 (1991)
- 28) 台湾省水利局：卑南上 欄河堰取水改善方案試験研究（八十年年度研究報告），水工模型研究報告 36，pp.45 (1991)
- 29) 小島信彦：バースクリーン複合型溪流取水工の水理特性に関する研究，明治大学大学院研究論集 1，pp.1～25 (1994)
- 30) 前掲 28) pp.141～142，147～151
- 31) 前掲 28) pp.157～160
- 32) 山本光男，小島信彦，張 耀澤：複列式バースクリーン複合型溪流取水工について，農業土木学会大会講演要旨集，pp.52～53 (1992)
- 33) 山本光男，小島信彦：複列式バースクリーン複合型溪流取水工の設計，農業土木学会関東支部大会講演要旨集，pp.27～28 (1992)
- 34) 山本光男，小島信彦：複列式バースクリーン複合型溪流取水工の取水特性，農業土木学会大会講演要旨集，pp.504～505 (1993)
- 35) W.Rand：Flow Geometry at Straight Drop Spillways, Proceedings of the A.S.C.E., Vol.81 Paper 791, pp.1～13 (1955)
- 36) 山本光男，小島信彦：バースクリーン複合型溪流取水工、水クッション内の流速分布，農業土木学会関東支部大会講演要旨集，pp.125～127 (1993)
- 37) 前掲 19) p.382
- 38) 前掲 15)
- 39) 前掲 9)
- 40) 前掲 28) pp.91

<論文・口頭発表>

<論文>

- 1)小島信彦, 山本光男: バースクリーン複合型溪流取水工に関する実験的研究, 農業土木学会論文集 171 pp.67~73 1994年6月
- 2)小島信彦: バースクリーン複合型溪流取水工の水理特性に関する研究, 明治大学大学院研究論集 1, pp.1~25 1994年10月

<口頭発表>

- 1)山本光男, 小島信彦: 複合式バースクリーンタイプ溪流取水工の水理特性, 第40回農業土木学会関東支部大会講演要旨集, pp.57~59 1989年10月
- 2)山本光男, 小島信彦: バースクリーン複合型溪流取水工の水理特性, 平成2年度農業土木学会大会講演要旨集, pp.534~535 1990年7月
- 3)山本光男, 小島信彦, 王 如意: バースクリーン複合型溪流取水工集水路の諸元について, 平成3年度農業土木学会大会講演要旨集, pp.230~231 1991年7月
- 4)山本光男, 小島信彦: 高水時の取水を目的とした溪流取水工の水理特性, 平成3年度農業土木学会大会講演要旨集, pp.232~233 1991年7月
- 5)山本光男, 小島信彦, 張 耀澤: 複列式バースクリーン複合型溪流取水工について, 平成4年度農業土木学会大会講演要旨集, pp.52~53 1992年8月
- 6)山本光男, 小島信彦: 複列式バースクリーン複合型溪流取水工の設計, 第43回農業土木学会関東支部大会講演要旨集, pp.27~28 1992年10月
- 7)山本光男, 小島信彦, 森岡昌昭: 水クッション後方取水型溪流取水工の実用化に関する研究, 第43回農業土木学会関東支部大会講演要旨集, pp.29~31 1992年10月
- 8)山本光男, 小島信彦: 複列式バースクリーン複合型溪流取水工の取水特性, 平成5年度農業土木学会大会講演要旨集, pp.504~505 1993年7月
- 9)山本光男, 小島信彦: バースクリーン複合型溪流取水工、水クッション内の流速分布, 第44回農業土木学会関東支部大会講演要旨集, pp.125~127 1993年11月
- 10) 山本光男, 秋吉康弘, 小島信彦: トラップダム方式バースクリーン複合型溪流取水工について, 平成6年度農業土木学会大会講演要旨集, pp.246~247 1994年7月
- 11) 山本光男, 小島信彦: バースクリーン複合型溪流取水工の水クッション内の流況について, 平成6年度農業土木学会大会講演要旨集, pp.248~249 1994年7月