

三重用水の溪流取水工の改良について

－冷川取水工の設計・施工および河内谷川取水工の設計上の留意点－

○小野 真¹・汲田 義一²・北出 幸哉³

概要：

三重用水の溪流取水工は、水源計画画、約60%を占める重要な施設であり、建設当時に様々な検討を重ね、全国でも先進的な4つのタイプを採用して施工されており、管理開始以来約20年を経過している。

この時間経過の中で、実管理面においては、施設上流の河川流域の保全状況の劣化もあり、バースクリーンの目詰まり及び土砂堆積による通水阻害等により、通常の維持管理の負担が増え、所期の取水がままならない状況となっている。

これらの状況を改善すべく、冷川取水工(バックストリーム型)において、平成17年度に改良工事を行ったことから、その設計・施工概要と、引き続き実施予定の河内谷川取水工の設計上の留意点について報告するものである。

キーワード：溪流取水、施設改良、冷川取水工、改良工事、河内谷川取水工

1. はじめに

三重県北勢地方の農業用水は、安定して取水できる大河川が無く、急峻な中小河川水や天水、また「マンボ」と呼ばれるこの地方独特の灌漑施設に依存してきたが、これらは水量が乏しく、かつ不安定であったため、絶えず干ばつの被害を受けてきた。このような慢性的な水不足の解消と、地域の発展に伴う都市用水の確保を目的として三重用水事業が昭和39年に計画され平成5年3月に完成した。

三重用水の水源である8つの取水工の計画地点は、**図-1**に示すように、いずれも山間部から平野部への移行部の溪流に位置し、この付近の河床勾配は急で、増水時には大量の砂礫や転石・流木等が流下する。この大量の砂礫が流下する溪流で安定的に取水するには、溪流取水工の設計に高度の技術が必要となり、実態調査、水理模型実験等を繰り返し、「河川流況・地形・地質・取水量」に応じた溪流取水工の型式として、『チロルタイプ』『バックストリームタイプ』『自然取水タイプ』『固定堰タイプ』の4タイプが選定された。また、昭和59年4月より暫定通水を開始し、「チロルタイプ」

と「バックストリームタイプ」を採用した4ヶ所の溪流取水工の維持管理の経験から「自然取水タイプ」「固定堰タイプ」を除く後発の2ヶ所の取水工では、スクリーンの「目詰まり」を改良した『チロルⅡタイプ』が採用されている。

本報文は、平成17年度に改良した冷川取水工の施工及びその効果と平成18年度に施工予定の河内谷川取水工の設計上の留意点について報告するものである。



図-1 三重用水施設配置概要図

1. 三重用水管理所 水源管理支所 管理班
2. 三重用水管理所 水源管理支所 支所長

3. 三重用水管理所 水源管理支所 管理班長

2. 溪流取水工の概要

2.1 三重用水における取水工の概要

取水工地点の流域は、牧田川を除き2.8km²~11.1km²と小さく、河床勾配も1/10~1/50と急峻で、洪水時には、急激に増水するとともに多量の砂礫や転石・流木等が流出する。また、取水にあたっては、各河川の取水地点より下流の既得利水者の権利を侵害しないよう、夏期、冬期それぞれに取水制限流量が設定され、**図-2**のように、これらの流量を優先的、かつ、確実に

流下させ、また最大取水量を自動的に規制できることを基本としている。

これらのことから、三重用水の取水工は、急流河川での安定取水を実現するために、以下の要素を取り入れ、取水工の構築を行った。

- ①整流逆勾配区間の設置とその上流での取水制限流量の河川への返還
- ②無動力計量分水装置（ディストリビュータ）と横越流堰による最大取水量の規制
- ③溪流取水工での河川流量減少時の掃流力の活用

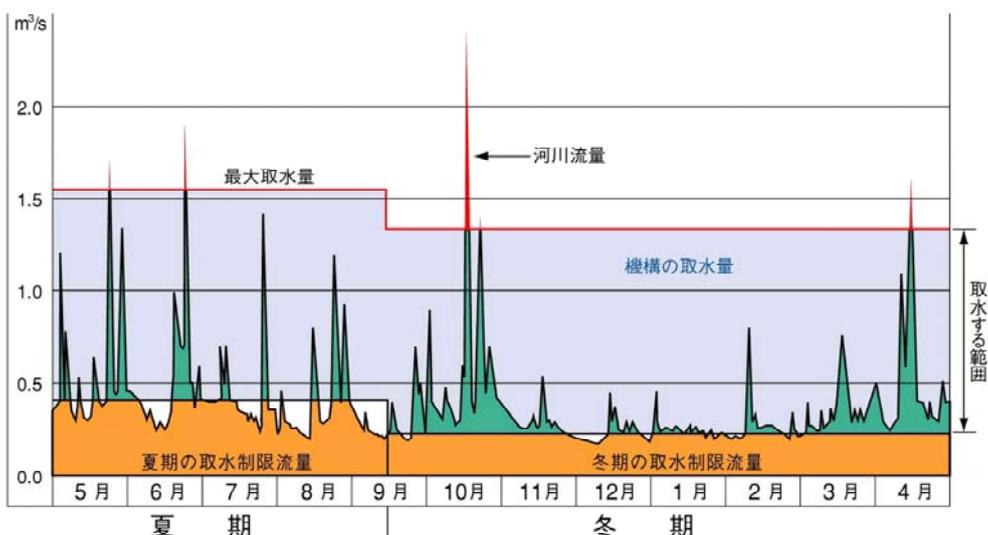


図-2 河川流量・取水制限流量と取水量の関係

2.2 西部三溪流の役割

員弁川・河内谷川・冷川の3つの河川に設けられた取水工を総称して西部三溪流と呼んでおり、取水した水は、導水路を経由し中里ダムに貯留される。

中里ダムは、三重用水事業の主水源であり、三重用水全体の年間計画補給量(5,005万m³)の約75%を生み出す施設である。貯留水は、自己流域の他、岐阜県にある牧田川流域から打上調整池を経由した中里ダムへの注水および西部三溪流からの導水によって賄われている。

牧田川流域の取水は、年間取水量が制限されている

うえに、揖斐川の流況に大きく左右されるため、確実な取水が出来るとは言えない。

これに対し、西部三溪流は、中里ダム貯留量の約20%ではあるものの、既得利水者の権利を除けば、制限されることのない取水工であり、確実に取水することが求められる重要な施設である。

2.3 溪流取水工のタイプ

三重用水の溪流取水工は、建設当時に設計基準がなかったため、山間溪流部での施工事例や水理模型実験をもとに、所要の取水機能を満足するよう河川別に**表-1**のようにタイプを決定している。

表-1 溪流取水工のタイプ一覧表¹⁾

取水工名	流域面積 (km ²)	計画取水量 (m ³ /s)	制限放流量(m ³ /s)		竣工年月	取水工のタイプ	
			夏期	冬季		当初	改良後
員弁川取水工	5.9	1.20	0.29	0.11	S61.6	チロル	(チロルⅡに改良予定)
河内谷川取水工	6.6	2.60	0.43	0.23	S61.8	バックストリーム	(チロルⅡに改良予定)
冷川取水工	2.8	0.50	0.13	0.05	S61.8	バックストリーム	チロルⅡ
田光川取水工	6.6	1.40	0.26	0.13	H4.9	チロルⅡ	
三滝川取水工	11.1	2.70	0.46	0.29	H3.10	チロルⅡ	
内部川取水工	7.1	1.50	0.25	0.14	H1.8	チロル	

2.4 溪流取水工の特徴²⁾

ここでは、各溪流取水工の特徴について説明する。

(1) チロルタイプ

このタイプは、「バースクリーン下方取水方式」とも呼ばれる(図-3)。オーストリアのチロル地方に古くから見られるタイプで、我が国でも施工事例が多い。床止工の天端下流傾斜部に、バースクリーンを適切な傾斜角・長さおよび隙間幅で取付け、石礫、枯れ葉等を除去しながらこのバーの隙間からの落下水を集水路に受けて取水する型式である。

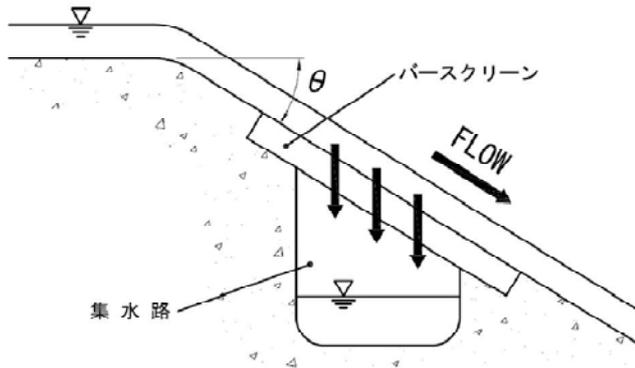


図-3 チロルタイプ模式断面図

このタイプは、上流側に砂防堰堤が整備されているなど、流出土砂礫が比較的少ない河川に適用される。また、河道および滞筋が安定している所でなければ適さない。

特徴として、バースクリーンの取付角度 θ が小さく隙間幅が大きく、バーの長さが長いほど単位幅当たりの取水量は多くなる。しかし、土砂礫等の浮遊流下物が多い溪流河川では、バースクリーンの取付角度を小さくした場合には、隙間が小さいと目詰まりが起りやすく、隙間を大きくすると砂礫等の流入が多くなる。また、バーの長さが長くなると巨石、流木等によって変形・損傷が起りやすい。管理実態をみると、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れ葉やバーの隙間に嵌入した石礫の除去・清掃が不可欠である。

(2) バックストリームタイプ

このタイプは、「バースクリーン後方取水方式」とも呼ばれる(図-4)。主要構造は、床止工の下流傾斜部にバーを一定隙間幅に配列した段落斜面部(W)と水クッション部(L)からなっており、この隙間からの落下水および水クッション部の背水を集水路に受けて取水する型式である。

バースクリーンの取付角度 θ は 60° 前後にして、摩擦・損壊に強く補強しやすい構造となっている。

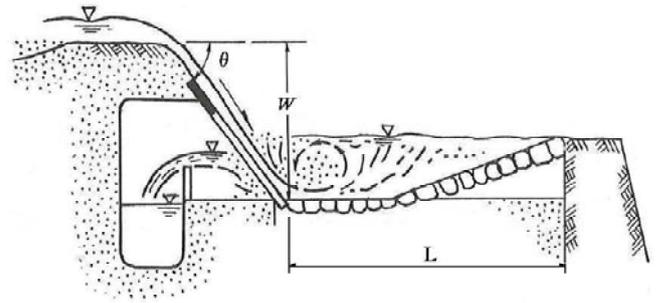


図-4 バックストリームタイプ模式断面図

このタイプは流出土砂の多い河川でも採用可能とされ、山間部で河道および滞筋が不安定な所に設けても、取水上の大きな障害にはならないとされた。

特徴として、チロルタイプで難点であった石礫・浮遊流下物によるバーの目詰まりが生じにくく、バースクリーンも堅牢にでき、設定した条件に応じて安定した計画取水が可能となるが、単位幅当たりの取水量を大きくするためには、相応の段落斜面高さを必要とする。また、チロルタイプに比べて集水路や水クッション部など構造がやや複雑で、工事費も少しかさむ。

(3) チロルⅡタイプ

このタイプは、前述した「チロル」と「バックストリーム」両タイプの優れた特性を活かした複合型の構造となっている。図-5に示すように、バースクリーン後方取水型の集水路をチロルタイプに近づけて簡単な構造とし、チロルタイプのバー取付角度 θ を $45\sim 50^\circ$ と大きくし、バースクリーンの下流側を水平の床とし、さらに水クッション部を付し両者の優れた特性を活かしているタイプである。よって、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、チロルタイプに比べて取水量は増大する。

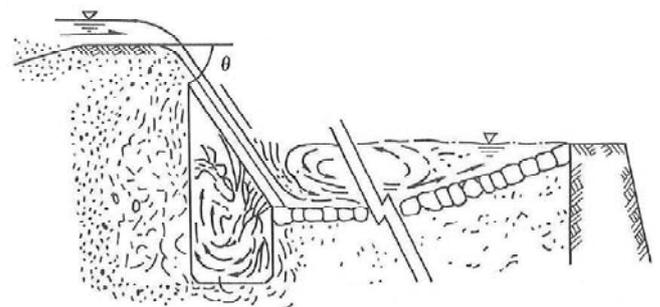


図-5 チロルⅡタイプ模式断面図

また、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生じにくい。このタイプは、平水時のみならず、洪水時の取水をも重視する場合に適する。

3. 冷川取水工の改良

3.1 改良に至る背景

西部三溪流が三重用水にとって、重要な施設であることは、前述のとおりであるが、管理開始から20年近くが経過し、河川流域の保全状況の劣化等により、各取水工においては、土砂の堆積やバースクリーンの目詰まり等により土砂やゴミの撤去が頻繁に発生し、時には所定の取水が困難な状況が発生することとなった。これらの課題について、各溪流取水タイプ毎に内容の検証を行った上で、順次改良を行うこととした。

3取水工の改良にあたり、規模の小さい冷川取水工の改良を先行して行い、改良工事の成果を踏まえて、員弁川・河内谷川取水工への施設改良を展開していく手順とした。

3.2 冷川取水工改良の概要³⁾

冷川取水工の改良点は、バックストリームタイプからチロルⅡタイプへの変更である。

これは、水クッション部を浅くすることにより、出水時の掃流力を高めることを意図したものであり、近年、上流域の山の荒廃に伴う出水時の流出土砂の増大を見通し、水クッション部に貯まった土砂の撤去作業を軽減し、取水効率の向上につなげるものと考えている。

具体的には、**図-6**のとおりであり、改良前後の状況は**写真-1・2**のとおりである。

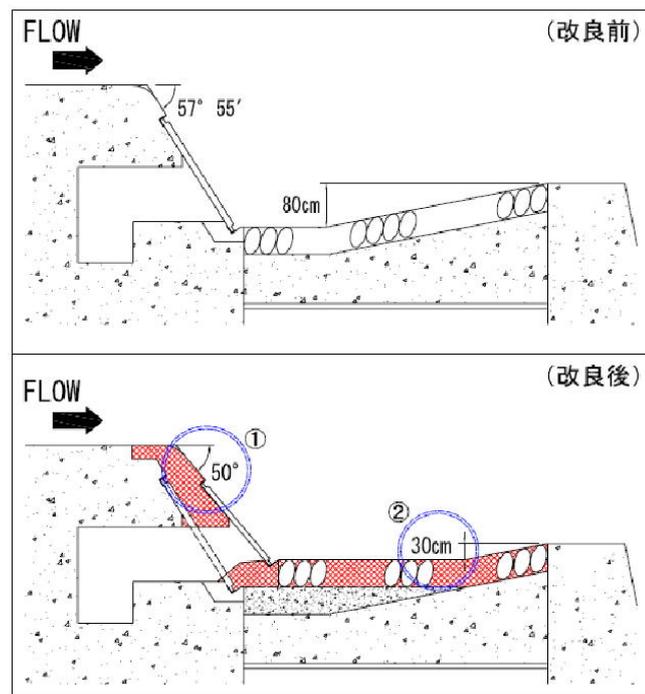


図-6 冷川取水工改良図

①バースクリーン取付角度 θ

取付角度 θ は、『 $57^\circ 55'$ → 50° 』と従来より緩くした。

②水クッション部の深さ

水クッション部の深さは、『 80cm → 30cm 』とし、従来に比べて 50cm 浅くした。



写真-1 改良前



写真-2 改良後

3.3 施工上取り組んだ問題点

施工に当たっては、以下の問題を解決した。

①既設構造物と一体化させる鉄筋アンカー削孔時の既設配筋との取り合い

改良工事の鉄筋の配置は、当初設計時の図面等を基にピッチ割を決定したが、当初施工時に配筋がずれていた箇所については、削孔機での掘削では、数十cmのところ、既設の鉄筋に当りそれ以上掘削が出来なかったため、何孔かずらすなどして実施した。

最終的に当初予定の削孔数に比べ、3~4割程度の増加となった。

②既設石張の再利用

既設石張の撤去にあたっては、コスト縮減・耐水撃性の確保の観点から再利用することとした。

設置されていた石は、ほぼ三角錐状の形をしており、当初設計の胴込コンクリートの設計強度は、 $\sigma_{28}=21\text{N}$ であった。また、設置面はほぼ平坦でありコンクリートは石上面付近まで打ち込まれていた。石張の石を再利用するため、小型のバックホウに「削岩機」を設置して施工を行った。小型のバックホウは、上方からだけの施工では重機が浮いて危険であるため、石下面および側面を人力により撤去（写真-3）した後、機械により崩しながら撤去（写真-4）した。また、石は、再利用することもあり、破壊しないように細心の注意を払いながらの撤去となるため、1日に撤去できる範囲が少なく、かなりの工期を要することとなった。工程等を考慮し、施工方法の見直しを検討した結果、2機導入し施工した。



写真-3 石張撤去（人力）



写真-4 石張撤去（機械）

③ 膠石コンクリートによる越流部分の仕上げ

膠石コンクリートとは、耐摩耗性を考慮したコンクリートで、砂防ダムの越流部などに用いられる。コンクリート配合については、示方書等に明確な記載がないため、過去の事例等より表-2の配合とした。

膠石コンクリートの特徴は、耐摩耗性に長けているが流動性が悪いことといえる。また、セメント量が多

いことから発熱量が大きいので、収縮ひび割れも生じやすい。

施工箇所を、図-7に示すが、水が表面を洗うように流れることから、 $r=500$ の曲線になるような施工が求められる。

表-2 膠石コンクリート規格

粗骨材の最大粒径	セメント量	セメントの種類
40mm	600kg以上	BB

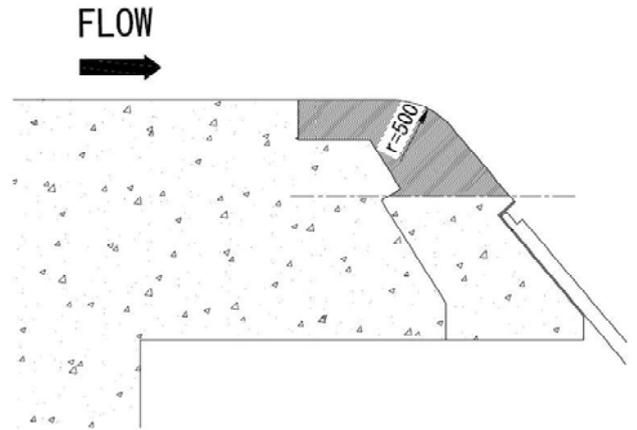


図-7 膠石コンクリート施工箇所

しかしながら、配合は細骨材が使用されておらず、セメントペーストに粗骨材が入っているとといったコンクリートで、粘着力が強く、小手仕上げでは、曲線を作るのに困難があった。施工は、河川横断方向に4m毎に行い（写真-5）、2回目からは、薄い合板を用いて、板の弾力性を利用して曲線になるよう施工した。

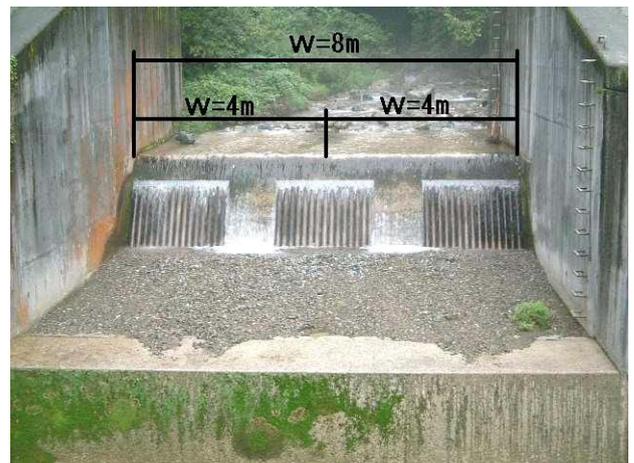


写真-5 施工範囲

④ 水クッション部の石張部の既設部分との取り合い

水クッション部の石張には、撤去した石を利用した（写真-6）。既設部分からの取付となることから、高さの確認等を行ったのち順に敷き並べたが、パイプレーターを掛けすぎると石材が沈下してしまうため、細心の注意を払って高さの管理をした。



写真-6 石張施工状況

3.4 改良後の検証

取水状況の確認は、冷川取水工の改良前後のデータおよびチロルⅡタイプの田光川取水工のデータを基に行う(図-8, 図-9, 図-10)。ここで、冷川取水工の改良前のデータは、取水実績が記録として整理されている平成3年のデータである。また、冷川取水工改良工事の完了が3月であり非灌漑期のデータはほとんど取れていないため、灌漑期における1洪水時のデータでの確認である。なお、雨量については、雨量計の配置の関係上、冷川取水工は河内谷川取水工地点、田光川取

水工は宮川調整池地点のデータである。

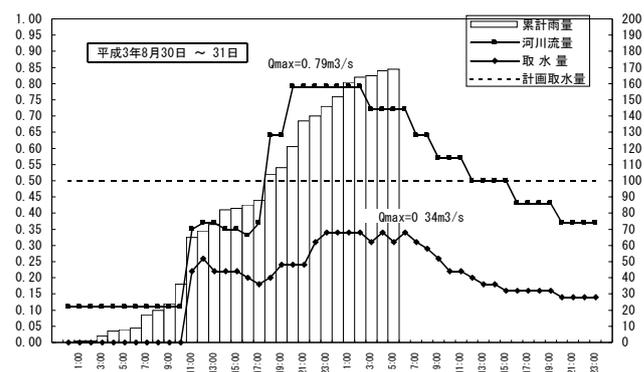


図-8 冷川取水工流況図(改良前)

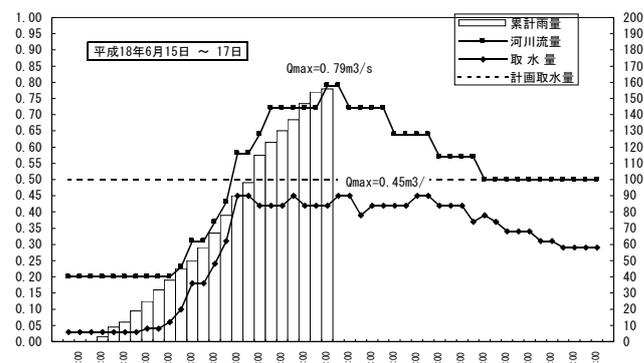


図-9 冷川取水工流況図(改良後)

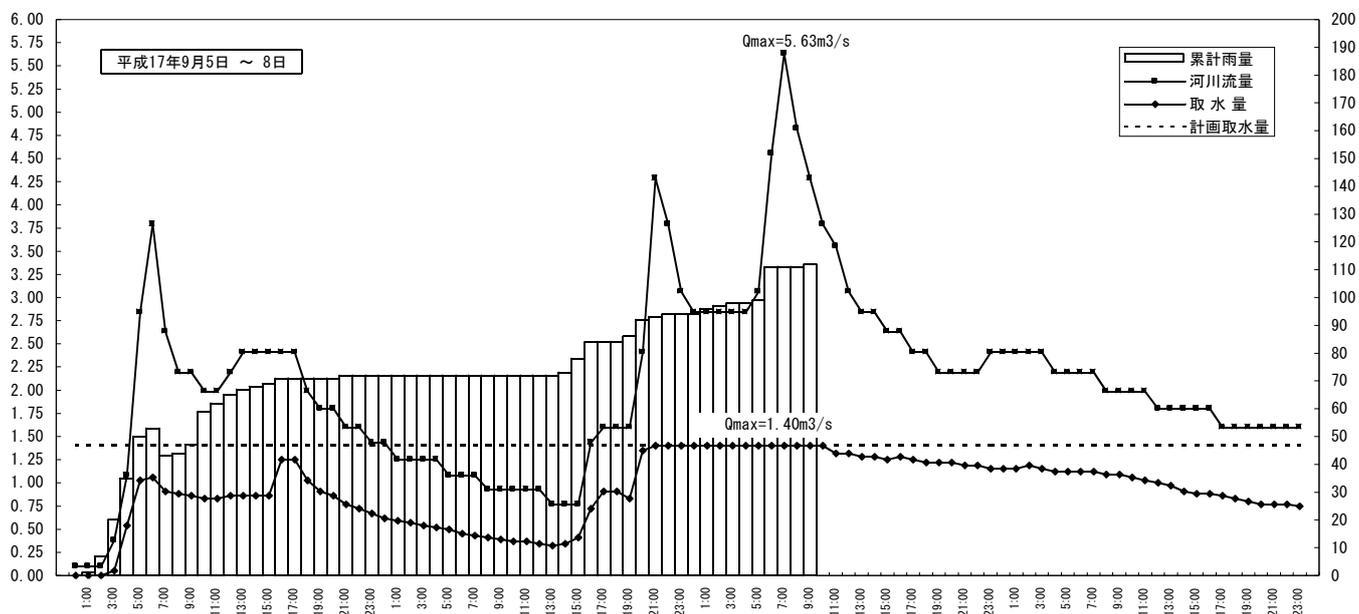


図-10 田光川取水工流況図

当初よりチロルⅡタイプで施工されている田光川取水工のデータを見ると、河川流量が約4.5m³/s時には計画取水量である1.4m³/sに達している。その後、数時間をかけて河川流量の減少に伴い取水量についても減少しており、既定の河川流量時に計画取水が可能となるといった設計理論に沿っていると考えらる。

一方、冷川取水工の改良前データでは、累加雨量と共に河川流量が増加し、それに伴い取水量も増加しているものの、河川流量がピークに達した時点の取水量は、計画取水量(0.50m³/s)に対して、6割程度の取水しかできていないことが分かる。これは、水クッション部に土砂が堆積(写真-1)しバックストリーム本来

の後方取水ができない状態にあったためと推測される。

これに対し、改良後のデータでは河川流量がピークに達した時点の取水は、計画取水量(0.50m³/s)に対し、9割の取水ができていることが分かる。河川土砂の掃流効果は、設計上1.00m³/s以上の流量で掃流されるようになっており、今回は、その流量まで達していないため、若干の土砂が堆積(写真-7)し取水に影響がでたものと考えらる。また、土砂は流量が1.00m³/sを下回るに連れて堆積しやすくなるものの、取水量も減少することから、影響は小さいと考えらる。



写真-7 冷川取水工出水後

これらのことから、現時点では、取水量が改良前に比べて、5割増加していることから、効率的に取水ができるようになったと考えられる。

3.5 今後の検証

今後の検証項目については、次のことを考えている。

- ①今回は、夏期の取水制限流量のみで検証したが、洪水発生時に毎回データを整理する必要がある。また、冬季の取水制限流量においては、河川流下量も少なくなるため低水時の検証についても実施する必要がある。
- ②検証の精度を高めるため、河川流量および取水量を得るための水位および流量観測により新たなH-Q曲線を作成する必要がある。
- ③土砂の掃流効果について、洪水毎にデータを記録し整理を行う。
- ④取水制限流量放流ゲートからの流下量について、既定の放流量と比較して確認するものとする。

4. 河内谷川取水工改良時の留意点

4.1 河内谷川取水工の構造諸元

河内谷川取水工の計画構造諸元について、表-3、図-11、図-12に示す。

表-3 河内谷川取水工諸元

水源計画諸元	
計画洪水量	233m ³ /s
計画最大取水量	2.60m ³ /s
制限流量	夏期:0.43m ³ /s 冬季:0.23m ³ /s
現況施設諸元	
取水型式	バックストリーム
取付水路(a)	L=23.58m i=1/800
トランジション(b)	L=7.0m i=1/10(整流逆勾配)
沈砂池(c)	L=34.0m i=1/65

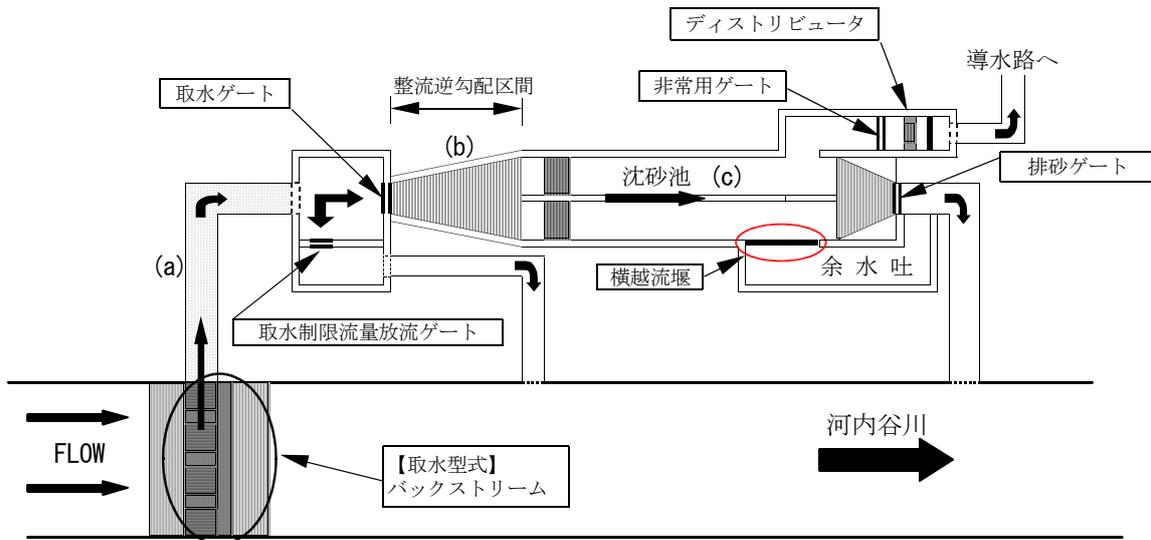


図-11 河内谷川取水工模式平面図

これらのうち①～③の課題が発生する要因については次のように考えられる。

本取水工では、水クッション部の深さが1.0mと深い。

水クッション部での掃流力は越流堰上の掃流力の4倍程度になることから、流量が大きい時は、石礫が流下してきても掃流力により下流へと押し流すが、洪水終息時には、洪水流量は減少し掃流力も減少する。この時、水クッション部が深すぎて掃流できない上、砂礫がそのまま堆積するような状態になる。

一方、常時は、河川流下量が少なく現況の深い水クッション部では、砂礫を掃流するような作用が期待できないためと考えられる。

また、④・⑤の課題については、施設の適切かつ効果的な管理の観点から別途、検討を進めているところである。

4.3 河内谷川取水工改良設計での留意点

河内谷川取水工の改良では、4.2にあげた問題点の解決策として、堆積土砂の軽減策および土砂の排出方法等を検討し、維持管理の容易性を確保するように構造設計を行うものとする。

また、施工計画立案にあたっては、3.2の施工時に取り組んだ問題点等への解決策の改良についても検討する必要がある。

5. おわりに

平成17年度実施した冷川取水工改良の成果としては、改良前に比べて河川流量ピーク時の取水量が5割増加したことから、現時点においては、効率的な取水が出来るようになったと考えられる。

検証については、現在作業を進めているところであり、引き続き実施していく予定である。このデータを活かし河内谷川取水工の改良に役立て、また、改良後には、冷川取水工と同様の手法により検証を行い、員弁川取水工の改良に展開していく必要がある。

西部三溪流(冷川取水工・河内谷川取水工・員弁川取水工)の検証結果等については、実績等を踏まえ別途報告したいと考えている。

参考文献

1) 三重用水溪流取水工-調査・計画編-. 水資源開発公団(現水資源機構) 三重水管理所. 昭和57年3月

2) 土地改良事業計画設計基準・設計「頭首工」. 農林水産省構造改善局(現農村振興局). 平成7年7月

3) 小野 真, 名和 勝則, 佐藤 高史. 「三重用水の溪流取水工の改良について(中間報告)」平成17年度. 中部ブロック技術研究発表会資料集. 平成17年9月