

連続サイフォン式取水設備について

※山下 裕司¹

¹山口県 土木建築部 河川課 (〒753-8501 山口市滝町1-1)



黒杭川上流生活貯水池整備事業は、黒杭川ダムの再開発として黒杭川上流ダムの建設、黒杭川ダムの貯水容量再編及び新運用のための施設改造を行う事業である。2ダムを連携して運用するため、常時利水容量を持つ黒杭川上流ダムに冷濁水対策として選択取水設備を設置する計画である。管理コストの低減が求められる時代であり黒杭川上流ダムの選択取水設備は、建設費だけではなく維持管理費にも注目し、コスト削減の新たな試みとして新技術、新工法の連続サイフォン式取水設備を採用した。

本稿では、連続サイフォン式取水設備の採用経緯と概要、施工状況について中間報告を行う。

キーワード 新工法、連続サイフォン式取水設備、コスト削減、維持管理費の低減

1. 概要

(1) 事業の概要

黒杭川上流生活貯水池整備事業は、山口県東部にある柳井市の市街地を流れる二級河川柳井川の右支川黒杭川に、黒杭川ダムの再開発として黒杭川上流ダム（以下「上流ダム」という。）の建設、黒杭川ダム貯水容量の再編及び新運用のための施設改造を行う事業である。

事業の目的は、洪水調節、黒杭川ダムの予備放流の解消・洪水調節方式の変更、流水の正常な機能の維持を目的としている。

なお、事業完了後は、黒杭川ダム管理所において2ダムを1ダムとして統合管理運用することから、黒杭川ダムが主に洪水調節を、上流ダムが主に利水管理を行う計画である。

また、容量再編により常時利水容量を確保する上流ダムにおいて、冷濁水対策として選択取水設備を設置する計画である。

(2) 黒杭川上流ダムの概要

上流ダムは、黒杭川ダム貯水池の上流端、黒杭川ダムから約900m上流に建設中の治水ダムで、洪水調節、流水の正常な機能の維持を目的とする、堤高48.0m、堤頂長253.0m、堤体積101,300m³の重力式コンクリートダムである。

(3) 工事の進捗状況

上流ダムは、平成3年度に生活貯水池整備事業として建設事業採択され、調査設計、用地買収及び付替道路工事を進めて、平成18年12月ダム本体工事に着手した。

その後、平成20年2月から取水放流設備工事に着手、平成21年8月からダム管理設備工事に着手している。

現在、ダム本体は閉塞工を残すのみとなり、取水放流設備は制御機器の据付・調整を実施中、管理設備は管理棟の完成を受け各種機器の据付・調整を実施しており、平成22年11月からの試験湛水開始に向け、工事の完成を急いでいるところである。

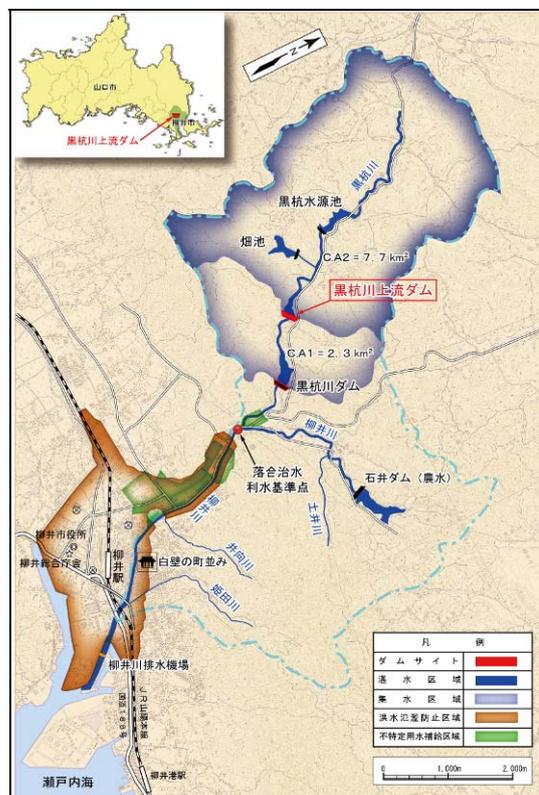


図-1 柳井川水系流域図

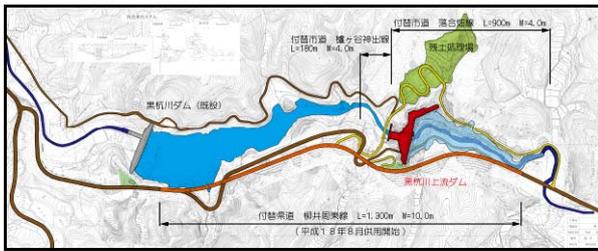


図-2 黒杭川ダム及び黒杭川上流ダム平面図

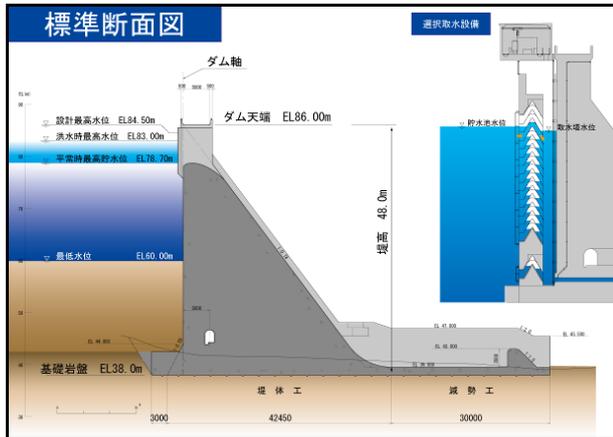


図-3 越流部標準断面図及び選択取水設備断面図

表-1 黒杭川上流ダムの諸元

ダムの位置		貯水池の諸元	
河川名	二級河川 柳井川水系黒杭川	集水面積	7.7km ²
位置	柳井市柳井黒杭地先	湛水面積	0.03km ²
ダムの諸元		設計最高水位	EL.84.5m
型式	重力式コンクリートダム	洪水時最高水位	EL.83.0m
堤高	48.0m	平常時最高貯水位	EL.78.7m
堤頂長	253.0m	最低水位	EL.60.0m
堤体積	101,300m ³	総貯水容量	450,000m ³
堤頂標高	EL.86.0m	有効貯水容量	410,000m ³
基礎岩盤標高	EL.38.0m	洪水調節容量	130,000m ³
上流面勾配	鉛直(フルット)0.5)	利水容量	280,000m ³
下流面勾配	1:0.74	堆砂容量	40,000m ³
取水放流設備の諸元			
常用洪水吐	クレスト自由越流 H4.3m×B5.8m×1門		
非常用洪水吐	クレスト自由越流 H1.5m×B10.9m×2門		
利水放流管	φ600mm×1条		
利水放流設備	JFGφ200×2門		
選択取水設備	連続サイフォン式		



写真-1 黒杭川上流ダム施工状況 (平成22年8月)

2. 取水設備の設計について

(1) 黒杭川上流ダムの選択取水設備について

黒杭川ダムと上流ダムは連携して運用するため、常時利水容量を持つ上流ダムに冷濁水対策として、選択取水設備を設置する計画である。

ダム管理費の節減が求められる時代であり建設費だけではなく維持管理費にも注目して、コスト削減の新たな試みとして新技術形式である連続サイフォン式取水設備を採用した。

この取水設備形式は、鋼製ゲートやロープ巻上機等の開閉装置が存在せず、空気によって止水・通水を行う新しいタイプの取水設備であり、エアーロック式取水設備とも呼ばれている。連続して配置された逆V字管の頂部に空気を出し入れすることで開閉を行い、任意の取水管から取水することが可能である。

(2) 選択取水設備の選定

上流ダムの選択取水設備の設計条件は、以下のとおりである。

- (a) 取水目的：河川維持用水、既得用水の供給（水位低下放流設備と兼用）
- (b) 取水範囲：常時満水位 EL.78.7m～最低水位 EL.60.0m間の18.7m（冷濁水対策を目的として任意の水位から取水可能であること）
- (c) 最大取水量： $Q=0.579\text{m}^3/\text{s}$ （最小取水量： $Q=0.036\text{m}^3/\text{s}$ ）

選択取水設備形式については、設計条件を基に行った従前の検討では側壁付円形多段式取水設備が有力であったが、建設コスト削減と維持管理の省力化を目的として新技術形式の連続サイフォン式取水設備が開発されたことから、この形式を加えて改めて比較検討を行った。

その結果、必要な取水性能を満足し、建設費と維持管理費を合わせたトータルコストにおいて経済性に優れた連続サイフォン式取水設備を、国土交通省所管補助ダムで初めて採用した。以下に選定の概要を示す。

- ・連続サイフォン式取水設備は、製作上で高精度が要求されるゲート設備がほとんど無く、鋼構造物の重量が少ないことから、側壁付円形多段式取水設備に対して建設費で約30%（約70百万円）のコスト削減となる。（建設コストの削減）
- ・取水管本体はメンテナンスフリー化を考慮したステンレス鋼構造となっているため、維持管理は操作室内の設備に限られ、側壁付円形多段式取水設備で10～15年毎に必要なワイヤロープ交換や水密ゴム取替にかかるコストが不要となるので、維持管理費でも有利となる。（管理コストの削減）

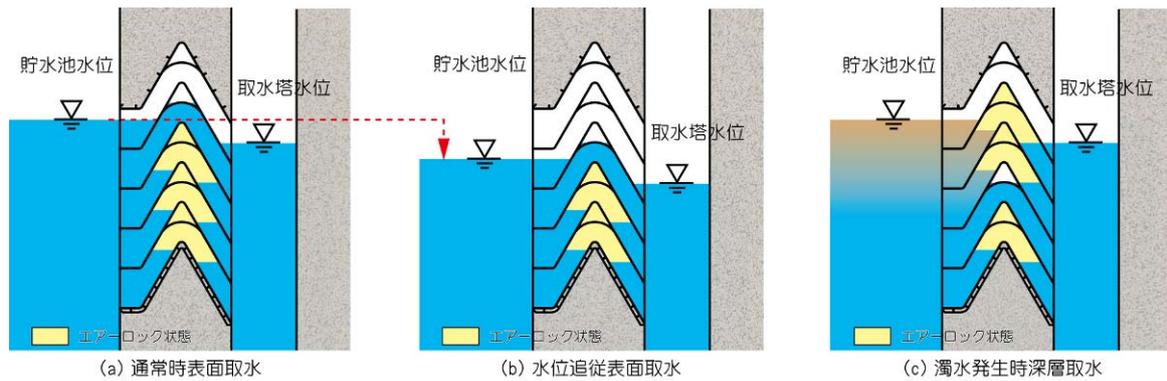


図-5 連続サイフォン式取水設備による取水状況図

(3) 連続サイフォン式取水設備の概要

連続サイフォン式取水設備は、「低コストで高い機能の取水設備及びこれに適用可能な連続サイホン」というシステム設計特許を利用して設計したものである。

現在までに本格運用した事例はないが、先行施工事例としては中国地方整備局管内の志津見ダム（試験湛水中）、尾原ダム（施工中）、殿ダム（施工中）などの他2ダムにおいて当形式が採用され施工中である。

上流ダムの連続サイフォン式取水設備は、施工6ダムの中で着工順で3例目であるが、最大取水量は最も小さい設備である。

連続サイフォン式取水設備の機器構成は、連続的に配置された逆V字型の取水管、空気制御装置、スクリーン、水面センサー、操作制御盤により構成される。

以下、図-5に連続サイフォン式取水設備の取水状況図を、機器構成の模式図と各機器の機能と役割について図-6と表-2に示す。

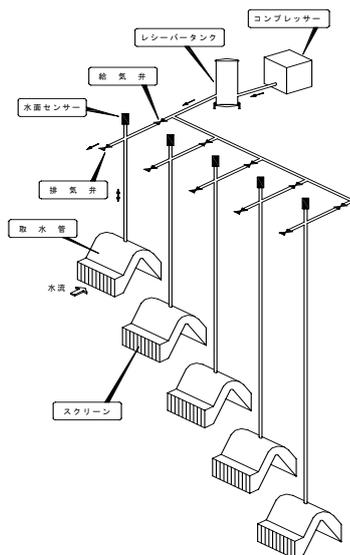


図-6 機器構成の模式図

表-2 各機器の機能と役割

機器	機能
スクリーン	取水管香口に設置して、流木や塵芥の流入を防止する。
取水管	逆V字形状の角形ステンレス鋼の取水管で、頂部への空気の出し入れにより止水と通水を行い、任意の標高から取水を行う。
空気制御装置	操作室内に設置するコンプレッサー、レシーバータンク、空気弁、排気弁、真空ポンプにより構成され、取水管内の給排気を行う。
水面センサー	給排気管と接続して、取水管内の圧力を検知することにより、取水管内の水面位置を検出する。
操作制御盤	所定の取水管より取水を行うために、給気弁排気弁、コンプレッサーなどの操作や制御を行う。

(4) 黒杭川上流ダム連続サイフォン式取水設備の諸元

上流ダムで採用した連続サイフォン式取水設備について、取水設備一般図を図-7に、取水設備諸元を表-3に、取水管の基本寸法を図-8に示す。

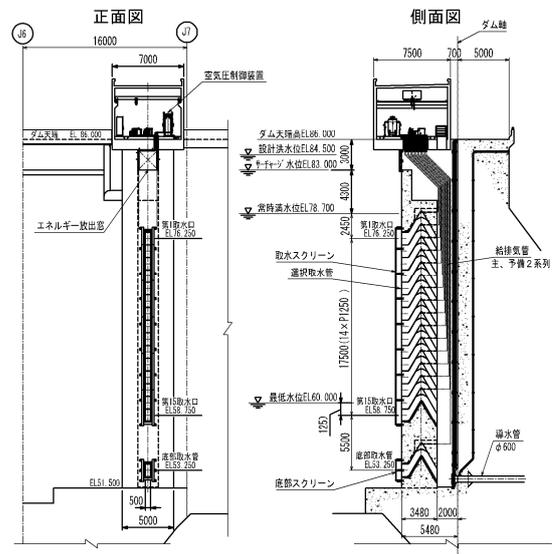


図-7 黒杭川上流ダム取水設備一般図

表-3 黒杭川上流ダム取水設備の諸元

形式	連続サイフォン式取水設備
呑口寸法	幅0.5m×高1.25m
呑口間隔	1.25m
段数	選択取水管 15段、底部取水管 1段
取水範囲	選択取水管 NWL78.7m～LWL60.0m 18.7m 底部取水管 NWL78.7m～EL. 54.7m 24.0m
取水量	0.6m ³ /s(1段使用時)
開閉方式	空気ロックの形成・解除による止水・通水
使用部材	主要部材SUS304(底面板PL12mm, 他8mm)
設備重量	選択取水管 15.6t 底部取水管 2.1t

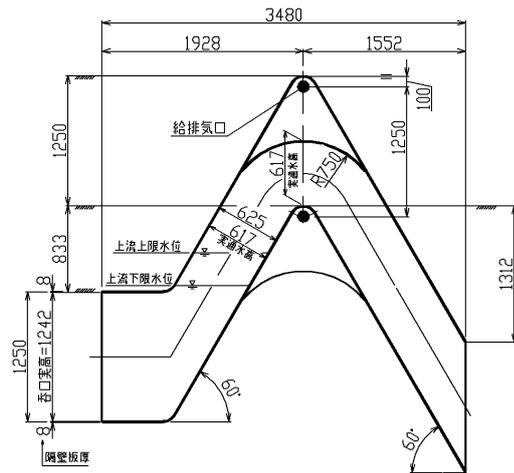


図-8 取水管基本寸法図



写真-2 底部取水管組立状況

3. 取水設備の施工上の注意点と工夫

(1) 選択取水管の工場製作

上流ダムの選択取水設備の取水管は、1段あたり幅0.5m×高1.25mの呑口寸法である。選択取水管全体は、これを15段重ねた構造となり、幅0.5m×高さ21.2m×奥行3.48mの細長いスレンダーな構造である。さらに、コンクリート打設リフトに合わせ順次据付を行う必要があるため、本体打設リフトスケジュールに極大影響を与えず、吊り込み時のクレーン制限重量以下となる分割数とすること、現地溶接作業、放射線及び気密検査を考慮した分割形状とする必要があった。

上流ダムでは、これらを考慮した結果、選択取水管を5ブロックに分割・施工を行った。

また、分割ブロックの据付時を考慮して、据付時のずれやひずみの防止、コンクリート打設時の安定と、打設バケットの衝突等による取水管本体への損傷を防ぐ対策として、最下段の取水管下部に据付架台を、取水管本体



写真-3 選択取水管工場仮組立状況

の左右両側には据付支柱を設置することとした。

側板と隔壁板の組合せは、取水管幅が500mmと狭いことより、両側の側板を優先し、隔壁板は側板にT字形にすみ肉溶接で接合し、製作施工性を向上させた。また、各分割ブロックの接合形状は、両側板の現地溶接箇所の全溶接線長にわたり気密検査が可能なようサイフォンの逆V字形に沿った分割形状とした。

なお、現場での側板接合部の溶接は、取水管幅が500mmと狭く隔壁勾配が60度あり、内面溶接作業は不可能であるため、取外し式裏当て材を内面に貼り付け、外面からの片面突合わせ溶接を採用した。

写真-3に、選択取水管工場仮組立状況を示す。

(2) 選択取水管の気密性

連続サイフォン式取水設備は、取水管上部に圧縮空気を送り込み、空気ロック状態を形成する止水機構であるため、高い気密性の確保が重要である。取水管溶接部の気密確認は、全溶接線長に対して発泡漏れ試験 (JIS Z 2329) と浸透探傷検査を工場にて実施し、現地溶接する



写真-4 溶接部発泡漏れ試験状況及び試験器具



写真-5 給排気管気密試験状況

箇所についても現地で同様の試験を行い、気密性の確保に努めた。

(3) 選択取水管の工場仮組立精度の再現

選択取水管は、堤体打設リフトに合わせて5分割で吊り込み、側板の現場溶接を行うが、工場仮組立時と同様の精度を再現するために、現場吊り込み時に、側板外面の垂直補剛材の接合部を組立材（エレクトロニクスピース）として併用することで、上下ブロックの現場溶接部ルート間隔の確保等が容易に行える構造とした。側板の溶接後に組立材を取り除き、本材材で連結溶接する。

(4) 給排気管の気密確保

空気ロックを保持させるためには、操作室から各取水管へ通じる給排気管の気密性を確保する必要があるため、空気配管の継ぎ手は、差し込み溶接継ぎ手を採用した。

ただし、取水管直近の継ぎ手は、将来の給排気管の取替を考慮して、フランジ継ぎ手を採用し、Oリングで気密を確保する構造とした。

給排気管本体の気密性に問題はないが、継ぎ手溶接部が弱点となるため、コンクリート埋設部は、工場出荷前に加圧放置法による漏れ試験(JIS Z 2332)を実施した。

また、給排気管敷設後の現場気密検査は、取水管上部の給排気口にねじ込み式閉止プラグを取付け、給排気管全管の接続後に上記方法で最終の気密試験を実施した。

(5) 空気圧制御機構

連続サイフォン式取水設備の止水、通水は、逆V字形の取水管頂部に圧縮空気を出し入れすることにより、空気ロック（止水）、空気ロック解除（通水）を行う。

空気圧制御機構については、運用面を考慮して採用した案について以下に示す。

- 取水口高さが1.25mであること、通常のゲート速度が0.3m/minであることより、空気ロック及び空気ロック解除の各所要時間は、貯水位が常時満水位状態において4分を標準時間とした。
- 給気、排気バルブの制御は、水面位置検出を目的とした給排気管の圧力センサで行うが、本連続サイフンの実稼働例がないことを鑑み、タイマー制御も可能なように、PLC回路を構築する。
- 空気ロック中の取水管内の水面（圧縮空気容積）は、貯水位、風波浪、貯水位、水温及び空気の水の中への溶け込み等で、日常的に変化する。従って一定時間間隔で、順次、全取水管内の圧力監視と水面制御を行う。

(6) 空圧制御ユニットの追加

空気ロック中は、取水管内の空気圧をモニタリングし、空気ロック圧力が低下した場合は、レシーバタンクからの自動供給を行う制御方法である。

レシーバタンク内の貯容量を有効に使用するため、空

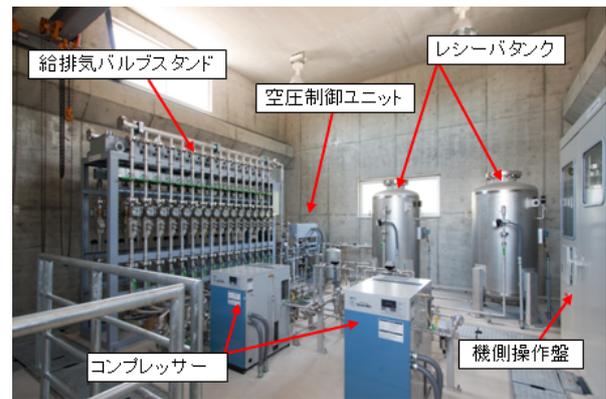


写真-6 取水操作室機器配置状況

気ロック供給圧としてレシーバタンクの貯留圧力0.8MPaGを、貯水位から演算した取水管必要空気ロック圧力に調整後、供給可能な空圧制御ユニットを介するシステムとした。これによりコンプレッサーの起動頻度を低減することが可能である。

(7) シリンダ駆動弁による間断制御の追加

空気ロック、ロック解除は、取水管内の空気圧を高精度圧力センサで検知して、演算値と比較しながら制御を行う。空気ロック、ロック解除共に取水管内の圧力変動による影響を抑える目的で、主充填、主排気の後に、制御停止までの間は、シリンダ駆動弁による間断操作を行う制御とした。

(8) 試験湛水中の試運転・調整

本年11月からの試験湛水に合わせて、連続サイフォン式取水設備の有水状態での試運転・調整を行う計画である。主な計画内容は以下のとおり。

a) 空気ロック、ロック解除の実現象の確認

取水管呑口部にポータブル式流向流速計を固定し、流向で空気ロック、空気ロック解除状態を確認する。流速は、呑口部（呑口有効高1.242m×呑口幅0.5m）の平均流速とし、通水流量の確認を行う。

b) 空気ロック水位の確認

制御で停止させた空気ロック水位と、取水管内の実水位を潜水作業で確認して、制御精度の確認と補正を行うことを目的とする。

具体的には、制御は高精度圧力センサーの検出圧を基本値として行うが、取水管内、空気配管内の空気温度差による圧力変化の影響、貯水池の波浪の影響を受けるため、制御水位と実水位が異なることが予測される。そのため、取水管内実水位を潜水作業（空気ロックの止水時のみ）で確認し、空気ロック制御上の上下限設定水位の見直しを行う。

空気ロック解除（通水状態）は、空気ロック時の結果を基に反映させる。

4. 取水設備の現地据付状況

(1) 取水管の現地据付工程

底部取水管は本体EL51.50m打設完了後に、選択取水管は本体EL56.75m打設完了後に据付を開始する等、打設リフトスケジュールに合わせて現地据付を行った。

選択取水管の分割ブロック間の現地溶接接合には8日を要した。その内訳は、吊り込み、仮固定に2日、両側板の現地溶接作業、放射線及び気密検査に4日、組立材取り外し、垂直補剛材の溶接取付及び清掃に2日という工程であった。

写真-7に選択取水管の吊り込み状況、写真-8に選択取水管の据付状況、写真-9に現地溶接作業の写真を示す。



写真-7 選択取水管吊り込み状況

5. 今後の検討課題

連続サイフォン式取水設備は、実際に運用実績がないため、各設備の耐久性や故障の頻度等が不明である。上流ダムの取水設備は、故障等の対策として以下のとおり主要設備の二重化等を行っている。運用実績により安全性が確認され、設備が簡略化または廃止できる可能性が十分あり、更なるコスト縮減が期待される。

- ・各取水管への給排気管に異常が発生した場合を想定して、主副2系統の給排気管を設置。
- ・圧力センサーが故障した場合のバックアップのため、主副2台の圧力センサーを設置。
- ・不測の事態が起きた場合の対応として、取水管前面に修理用ゲート戸当りを設置。

特に圧力センサーについては、かなりの高精度を要求し、高価で、保管方法や機能維持の検定が必要な取扱いが難しい機器である。また、取水管1段につき、主副の2台を設置しているため、建設コストや管理コストを上げる要因となっている。

今後、運用事例の検証等により以下の検討を進めることで、更なるコスト縮減が可能と思われる。

- ・機器仕様を満足する耐久性のある廉価版圧力センサーの開発や機器仕様の条件緩和
- ・圧力センサーに頼らない水位把握や操作方法の研究

上流ダムでは、水面位置検出の代替対策として、運用後に、季節、温度、水位等の各条件毎に、所定の水面位置にするのに必要な空気送出量（時間）と圧力センサーの関係を整理し、水面位置管理をタイマー制御で行うことが可能なら、更新時に圧力センサーが不要となる事を考慮して、今後検討を進める予定である。



写真-8 据付・溶接準備状況



写真-9 現場溶接状況

6. まとめ

連続サイフォン式取水設備の採用は増えているが、施工及び運用実績が少ないことが問題点であり、今後採用するダムの参考となるように、先行事例の一つとして、施工中の状況や試験湛水中の運用試験、運用開始後の問題点及び対策等を取りまとめる予定である。