

# 湯西川ダム選択取水設備

小林 誠

関東地方整備局 鬼怒川ダム統合管理事務所 管理課（〒321-0905 栃木県宇都宮市平出工業団地14-3）

湯西川ダムに設置した選択取水設備は、サイフォン式という新しい形式です。これは、関東地整では初採用であり、施設規模が国内最大級になります。この取水設備の形式選定から設計時におけるコスト縮減、設備の機能確認の方法とその結果に関して、今後、選択取水設備を選定する際の参考となるようとりまとめました。

キーワード ゲートレス取水設備、サイフォン、コスト縮減、機能確認

## 1. 湯西川ダムの選択取水設備

湯西川ダムは、水環境への影響予測結果から、直下流の五十里ダムおよびその下流の鬼怒川等に対して、冷水放流や温水放流の発生、あるいは洪水後には高い濁度の放流が長期化することが懸念されました。これらの水環境への影響を低減・解消するために取水設備を設置することとし、水理機能上「取水形態：表面取水、選択取水」「取水範囲：常時満水位（EL.684.0m）～最低水位（EL.613.0m）」「取水量：30m<sup>3</sup>/s」を要求する条件としました。この要求機能を満足する取水設備の方式として「直線多段式」「側壁付円形多段式」「フロート多段式」「サイフォン式」を抽出し、ライフサイクルコストに優れる「サイフォン式」を採用しました。

低コストな設備の建設費用を一層、縮減するために選択取水設備として連続配置する取水管を部分的に断続配

置にしています。

サイフォン式選択取水設備は、近年開発された技術であり、採用された実績が少なく、試験湛水中という期間内で機能確認を実施するという制約がありました。

湯西川ダムに設置した選択取水設備に関する「形式選定」「コスト縮減」「実施した機能確認」「今後の課題」について報告します。

## 2. ダムおよび取水設備の諸元

### (1) 湯西川ダムについて

湯西川ダム（写真-1）は、栃木県日光市に五十里ダム、川俣ダム、川治ダムについて4番目の直轄ダムとして利根川水系鬼怒川の支川、湯西川に建設され、洪水調節、かんがい用水、上水、工業用水、流水の正常な機能の維持、といった機能を持つ多目的ダムです。

湯西川ダムの諸元を表-1に示します。

表-1 湯西川ダムの諸元

型 式	重力式コンクリートダム
堤 高	119.0 m
堤 頂 長	320.0 m
堤 体 積	1,060,000 m <sup>3</sup>
非越流部標高	EL. 690.0 m
洪水調節方式	自然調節方式
集水面積	102.0 km <sup>2</sup>
湛水面積	1.98 km <sup>2</sup>
総貯水容量	75,000,000 m <sup>3</sup>
有効貯水容量	72,000,000 m <sup>3</sup>



写真-1 湯西川ダム（試験湛水中）

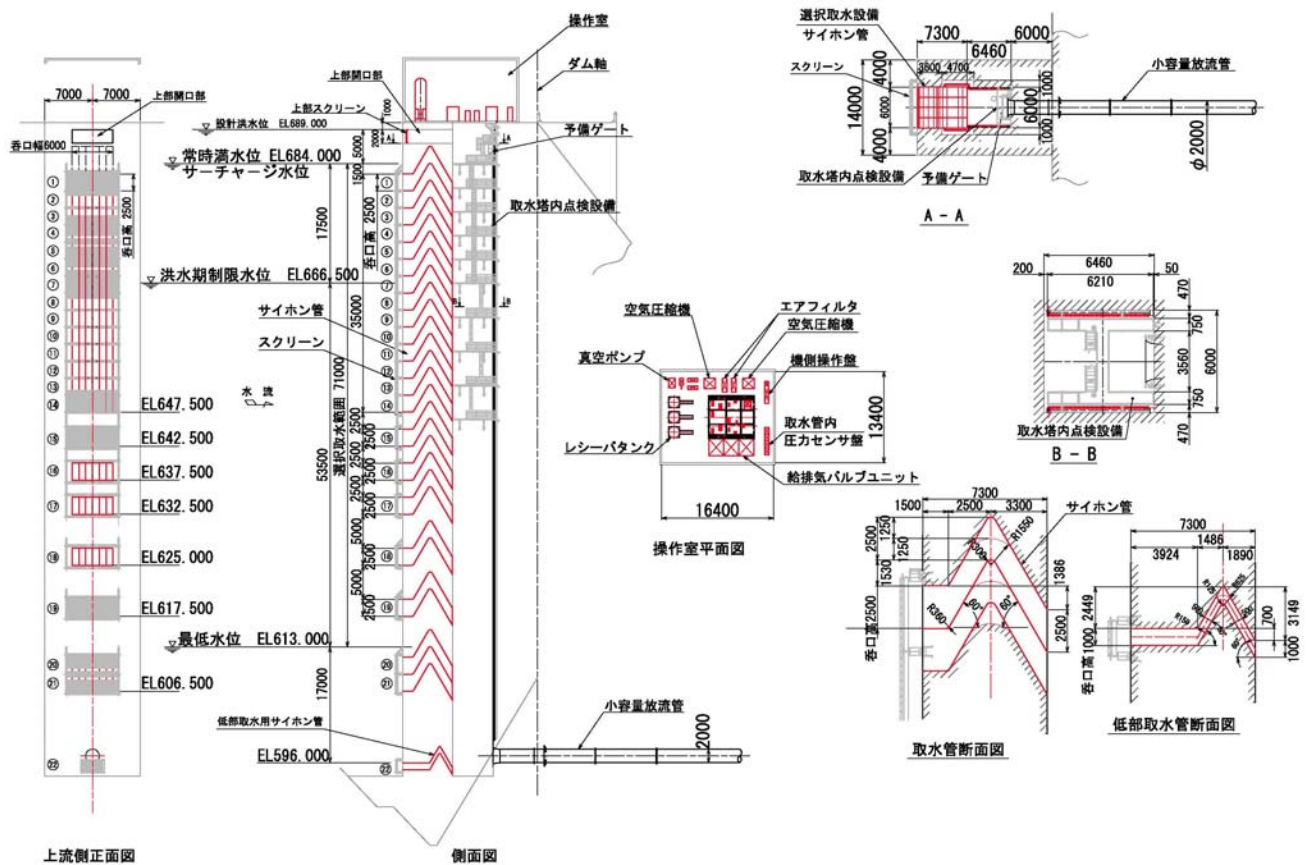


図-1 湯西川ダム選択取水設備

表-2 選択取水設備の諸元

数量	21条
数量 (低部)	1条
呑口寸法	径間60×高2.5 [m]
呑口寸法 (低部)	径間1.5×高1.0 [m]
1条当り取水量	15.0 m <sup>3</sup> /s
取水量 (低部)	1.0 m <sup>3</sup> /s
空気槽容量	10m <sup>3</sup> ×3基
空気槽貯圧力	3.0MPa
開閉方式	サイフォン式
水密方式	空気ロック式

## (2) サイフォン式取水設備について

選択取水設備 (図-1) の諸元を表-2に示します。

取水管は、上から14条を連続して、次の14～15番目、15～16番目、16～17番目の取水管の間を1条分、17～18番目、18～19番目、19～20番目の取水管の間は2条分を間引いた断続的な配置で、最後に20、21番目を連続して設置しています。

サイフォン式取水設備は、「ダム湖水が取水塔内へ流れるサイフォン管 (逆V字型の取水管) 頂部に空気塊を形成し、止水すること」であるため「ダム湖水位の変動によって空気塊を保持すること」が重要です。

この設備は、逆V字の形をした取水管、給気用の空気

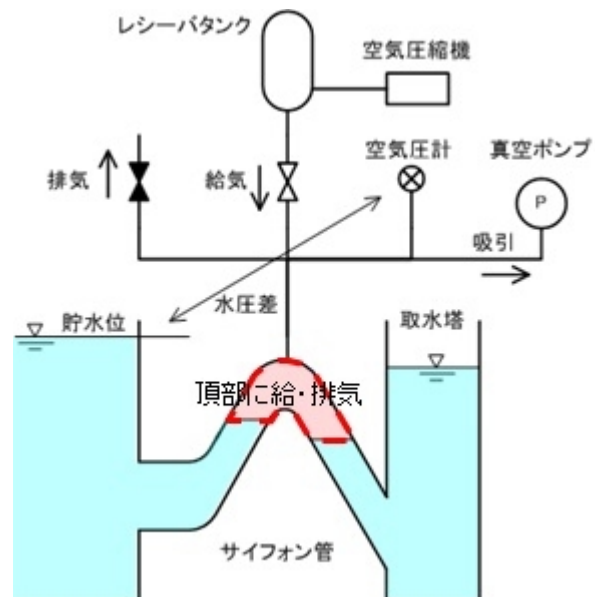


図-2 給・排気のイメージ

槽、空気槽と各取水管をつなぐ配管とバルブ・配管・センサからなる空気制御設備で構成され、その動作は取水管の頂部に給・排気し、空気塊を形成・解除することによって取水管内の止水・通水を行います (図-2)。

本設備は、取水量が15m<sup>3</sup>/sを超えると上下連続する2条の取水管を使用して取水します。

表-3 取水形式の比較表

	A方式	B方式	C方式	D方式
取水機能	○	○	○	△
取水制約	○	△	○	○
水密性能	○	○	△	◎
土木構造	○	○	×	○
維持管理	○	○	△	◎
景 観	○	○	◎	◎
大容量実績	◎	○	△	△
経 済 性	○	◎	◎	◎

凡例

- A式：直線多段式                      B式：側壁付円形多段式  
 C式：フロート多段式                D式：サイフォン式  
 ◎：他案に比べ優れている    ○：他案と同等（標準的）  
 △：他案に比べ劣っている

### 3. 経緯

#### (1) 形式選定

要求機能を満足する方式から選定するため「取水機能」「取水制約」「水密性能」「土木構造」「維持管理」「景観」「大容量実績」「経済性」を評価しました。サイフォン式は、他の方式に対して実績が少ないため、「取水機能」「実績」が劣りましたが、「水密性能」や

「維持管理」「経済性」に優れていました（表-3）。

サイフォン式は「経済性」が他の形式と比較して、特に優れていたことから採用することとしました。低コストな要因として、ゲートレス設備として扉体や機械式の開閉装置、戸当りや水密部などが不要となるためです。

サイフォン式は、動作するものがバルブの開閉や配管内の空気の流れであり、重量物が動くものではありません。そして、水密は取水管内の空気塊によって確保・保持されるため水密部が磨耗や変形などで劣化することがありません（図-3）。

多孔式を除く他の形式では、図-4に示すように機械式の開閉装置を動作させてワイヤロープで吊る扉体を上下させます。扉体が上下運動をするため稼動範囲に戸当りを設け、扉体一戸当り間の水密を確保しなければ、意図した水位以外から漏水が発生してしまいます。重量物である扉体が、戸当り部を摺動するため水密部に磨耗や経年劣化等を起こしていないか維持管理を行う必要があります。

他の形式と比較してサイフォン式は、水密の確保や機器構成の単純さから、維持管理費においてもコストが低減されることが期待されます。

#### (2) 設計段階

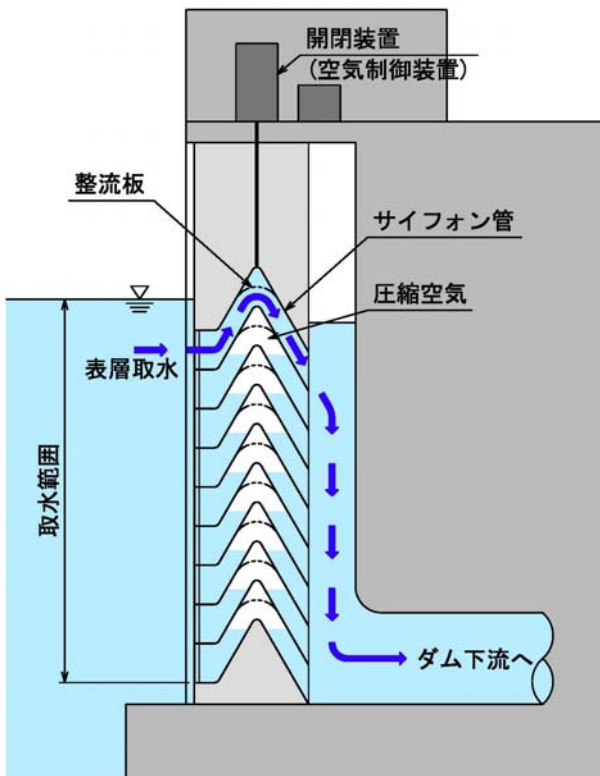


図-3 サイフォン式取水設備概略図

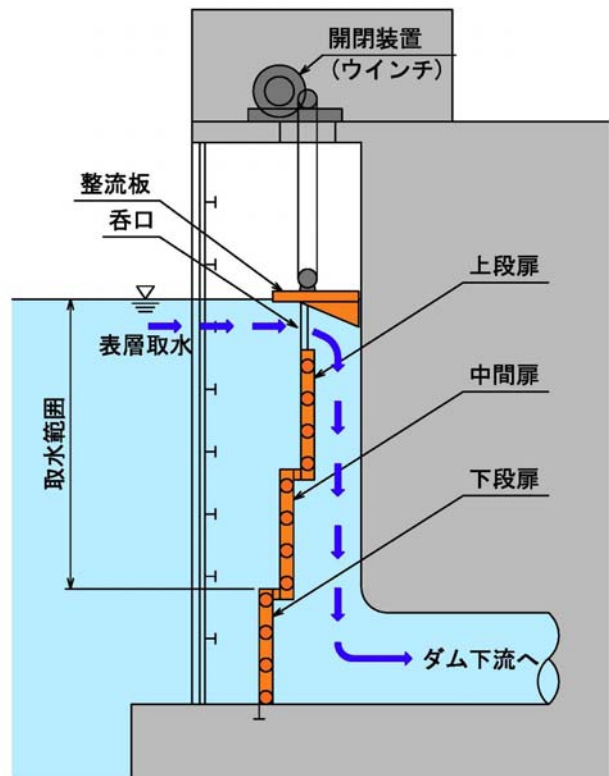


図-4 多段式取水設備概略図



写真-2 模型実験

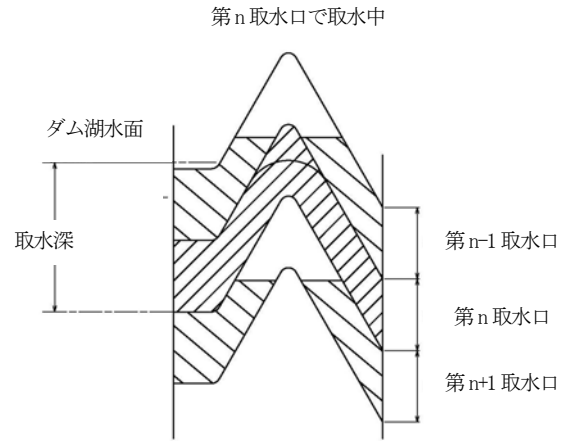


図-5 取水深

2006年設計時においてサイフォン式取水設備を実運用した実績は、小規模な施設を含めても極めて少ないものでした。そのため、設備の大型化や運用時の影響に関する懸案事項に対して他の事例から類推できないため模型実験（写真-2）を行い、その結果から得られた知見を設

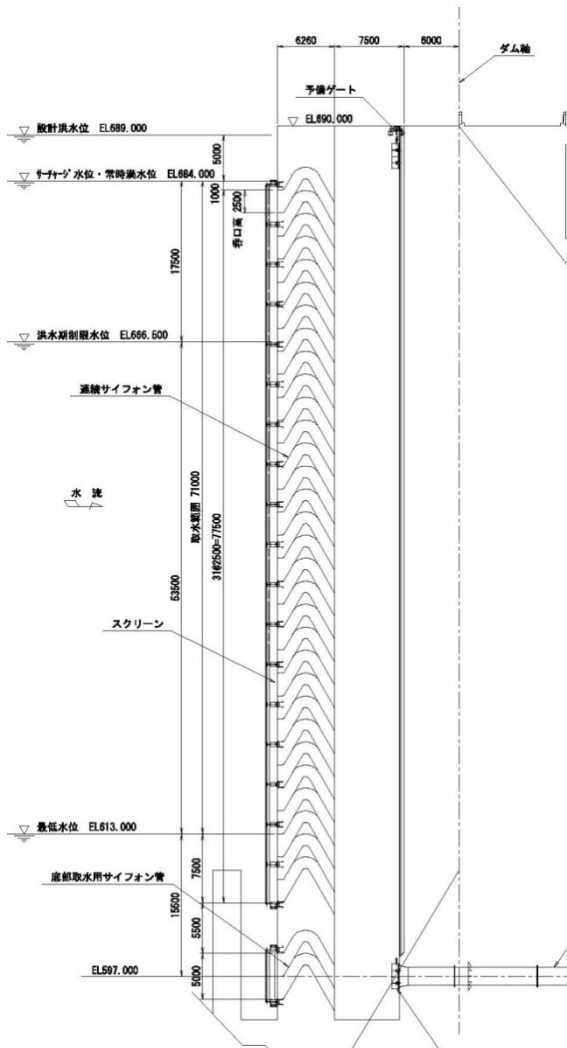


図-6-1 配置比較（連続サイフォン管）

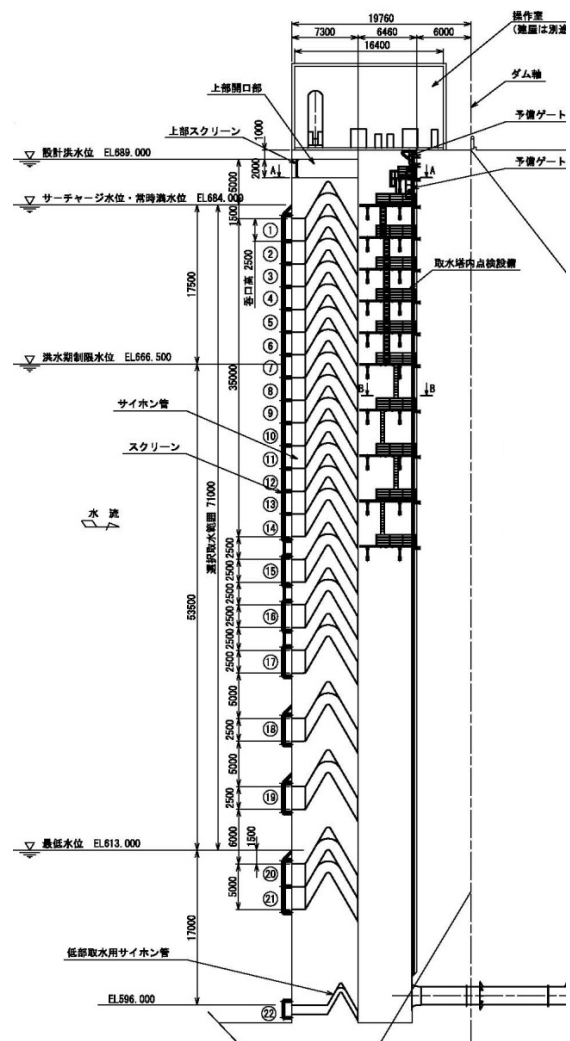


図-6-2 配置比較（一部不連続サイフォン管）

備設計に反映し、施工および運用面の信頼性の向上に努めました。具体的には、表層における取水深（図-5、ダム湖面から取水管の底面までの水深）を実験前は3.5mとじていましたが、空気連行の可能性から0.5m深くした4.0mとし、その他「取水口近傍の流況」「取水管内の流速や圧力分布」「損失水頭」については想定内の実験結果を得ることができました。

また、建設費用のより一層のコスト縮減を図るために利用頻度の低い取水管を設置せず、連続サイフォン管の一部を断続することとしました。取水管の配置は、常時満水位（EL. 684.0 m）から洪水期制限水位（EL. 666.5 m）までの区間に加え、雨量が少なくダム湖の水位が低下した場合でもダム湖の表層が取水できるように上から14条を連続としています。シミュレーションの結果、利用頻度の少ない区間は、疎に取水管を配置し、最低水位（EL. 613.0 m）においても最大取水量（30.0m<sup>3</sup>/s）が確保できるように20、21番目を連続配置して2条同時取水が可能になっています。取水管の条数を減ずることは、同時に使用する主要部材の重量減となり、部材費および製作工数、据付工数といった労務費が低減され、コスト縮減へとつながります（図-6）。

低部取水設備は、同様にサイフォン式とすることによって空気制御設備を共有し、別途、扉体や開閉装置、水密部などのコスト増が生じないようにしました。

### (3) 施工中

本設備を施工中、段階確認は「材料」「溶接」「寸法」「機能」「性能」「耐圧」「漏洩」についてダム・堰検査要領（案）にのっとり実施しました。この確認は、機器単体に対して工場製作、現地組立・据付において実施時期や実施内容が定められています。

当該設備を設置した工事は、低入札案件だったため、施工中、重点監督として段階確認を実施しました。

施工中は、ダム本体工事、電気設備工事との工程調整が重要でした。サイフォン式取水管のうち上から22番目（最下段）、20-21番目の連続部、19番目、18番目の据付は、ダム本体のリフトスケジュールに合わせて3日以内に施工することを義務付けました（写真-3）。その他の取水管（上から17番目、16番目、15番目、1-14番目の連続部）については、据付位置とダム本体スライド型枠の間を通すように施工しました（写真-4）。特に試験湛水開始の直前では、ダム堤頂部での作業がダム本体工事、電気設備工事と輻輳するため、各工事間との工程調整が詳細なものとなりました。

本設備の空気制御設備は、先行事例と比較して大型のため「配管レイアウトを見直すことによって、不等間隔に配置（管の左右方向に500mm等間隔だった一方を250mmに狭くする分、もう一方を750mmに拡張）し、点検空間の確保に努めたり」「空気制御設備のバルブには100kgを超えるものもあり、人力では搬出入できないため搬



写真-3 施工状況（1）



写真-4 施工状況（2）

出装置を設置する」など維持管理に配慮しました。

### (4) 機能確認

実負荷による取水設備の動作確認は、放流が伴い、効率よく短期間で行うために工事完成後、試験湛水におけるダム湖水位の低下と並行して取り組むこととしました。

常時満水位から最低水位までの水位条件において自動

表4 記録するデータ一覧

項目	内容	出力形式
時刻	時計情報	XXXX/XX/XX/XX
水位	取水塔内水位、取水塔外水位、水位差、設定取水深、取水管内水位	XXXXX
圧力	空気槽圧、取水管圧、真空圧	XX.XX
電流	空気圧縮機、真空ポンプ	XXXX
電圧	電源電圧	XXXX
運転状況	バルブ、空気圧縮機、ポンプ、自動制御状態	ON/OFF、 運転、停止
取水管状態	No. 1~22取水管状態 「ロック」「通水中」 「解除中」「ロック中」 「-」	数値によって記録し、変換

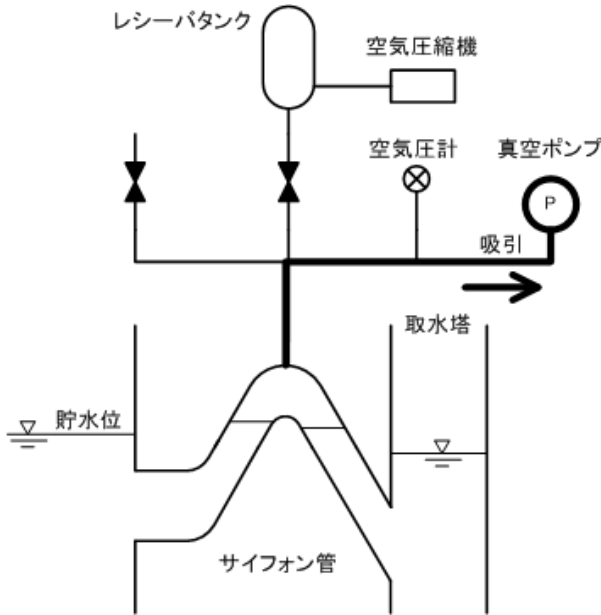


図-7 強制排気

制御（水位追従）運転、手動（取水管固定）運転、特殊な状況での制御等が計画どおり機能するか確認しました。

a) 水位追従取水

試験湛水中、約1 m/日の水位低下に対して取水するサイフォン管が追従して切り替わることを確認しました。水位低下中、実際に水位上昇を実現することはできません。そのため、水位と取水管の位置関係を利用してみかけ上の水位上昇にサイフォン管が追従するか確認しました。この操作の流れは「①自動から手動へ制御方法を切替え」「②本来より1つ下の取水管を手動操作によって選択し、通水」「③本来の取水管を止水」「④手動から自動へ制御方法を戻す」になります。この手順の後、自動制御によって1つ下の取水管から本来の取水管へ切替え動作が行われました。

b) 表層取水

サイフォン式取水設備は、通水をするために取水管内の空気塊を「表層取水では真空ポンプを利用して強制的に」「表層取水以外ではダム湖の水圧によって」排気します。

表層取水が真空ポンプにより強制的に排気する理由は、取水管内の空気塊の位置がダム湖面より高いためにダム湖水の水圧によって排気できないためです（図-7）。

サイフォン式取水設備における表層取水は、手動の給油ポンプで油タンクからストーブへ給油するときと同じ状態です。給油ポンプが僅かな空気給油が停止してしまうように取水管内を真空引きした状態を保たなければ取水が継続できません。機能確認において短期間での表層取水は、問題が生じないことを確認しました。

4. 結果と課題

(1) 確認結果

本設備が所定の機能を発揮することは、取水＝放流中という実負荷において確認することができました。

(2) 今後の課題

a) 継続的な気密性の保持

この設備の機能は、継続的に気密性が確保されていなければ発揮できません。そのため、弱点となる「溶接箇所」「配管接合部」「バルブ等のシール部」に関する管理及び維持方法について確立していく必要があります。「溶接箇所」「配管接合部」の一部は、常に水中にあり、かつ、水深が50mを超える箇所に設置されています。このような箇所が被災等によって損傷した場合、漏洩した空気は、水面へ浮上する気泡として確認することができます。しかし、箇所の特定や復旧には「潜水作業」を要するなど、容易ではありません。

b) 点検作業の効率化

取水管の切り替え、バルブ開閉や空気圧縮機の運転頻度などを運転記録装置にデータ（表4）として蓄積していくため、このデータを検証することによって点検項目を軽減ができないか、検討したいと考えています。直接、点検することとの相関性がある項目が抽出できるかが鍵になります。

c) 経年変化の傾向管理

サイフォン式取水設備は、維持管理に関するノウハウが蓄積されていません。そのため構成する機器の状態を把握する傾向管理に適した計測内容・箇所など、その方法を確立することが、今後の課題です。

謝辞：最後に、ご指導いただきました関係各位へ感謝の意を表すとともに今後の取組にご理解とご協力をお願いいたします。