

連続サイフォン式取水設備によるコスト縮減について
 —新たな構造型式によるコスト縮減方策—

北海道開発局 石狩川開発建設部 夕張シューパロダム総合建設事業所
 長原 寛

まえがき

夕張シューパロダム（図-1、表-1）は、石狩川水系夕張川上流に位置する大夕張ダムの再開発事業として、その直下 155 m地点に建設される多目的ダムである。本ダムは、従来からのかんがい用水の補給・発電の他、新たに洪水調節・流水の正常な機能の維持・水道用水の供給という目的が加わることから、国土交通省、農林水産省、石狩東部水道企業団及び北海道企業局の4者による共同事業として事業が進められており、現在、基礎掘削などダム本体工事を鋭意促進しているところである。当初、本ダムでは、円形多段式取水設備を採用する予定としていたが、実施設計の段階でコスト縮減の可能性についてさらに検討した結果、連続サイフォン式取水設備を採用することとした。本報告は、本型式の採用に至る経緯について取りまとめたものである。



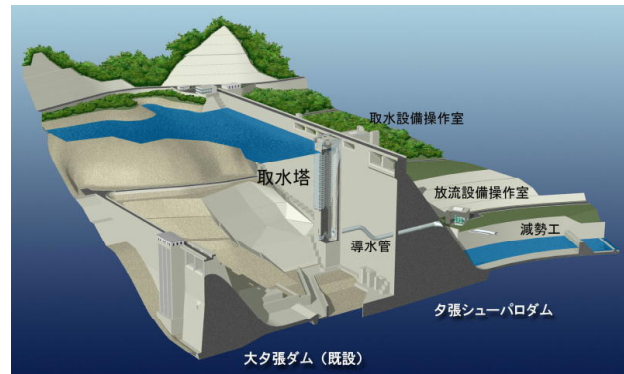
図-1 位置図

表-1 夕張シューパロダム諸元

目的	洪水調節、流水の正常な機能の維持、かんがい、水道、発電
型式	重力式コンクリートダム
堤高	110.6m
堤頂長	390.0m
堤体積	940 千m ³
集水面積	433 km ²
湛水面積	15.0 km ²
総貯水容量	427,000 千m ³
有効貯水量	367,000 千m ³

1 取水設備

本ダムは、目的の一部に利水が含まれることから、下流への冷水・濁水の放流による農業や河川環境への影響を軽減するため、水深により水温や濁度が異なるという貯水池の特性を踏まえ、貯水位の変動に応じ、任意の位置から取水可能な選択取水設備を採用することとした。なお、最大取水量が 83m³/s となる本ダムの選択取水設備は、国内最大級の規模となる見込みである。



夕張シューパロダム取水放流設備配置図

2 連続サイフォン式取水設備の開発経緯

従来の選択取水設備は、主としてゲート部とそれを支える取水塔により構成される型式が一般的であり、この型式は、鋼製ゲートや巻上機等関連機器の設置による重量増加に対応するため、取水塔の上流側に張り出した大きな基礎コンクリートが必要となる。また、機器が多いことから維持管理にかかる経費にも留意する必要がある。このため、昨今のコスト縮減要求に対応する新技術として、ゲートを使用しない連続サイフォン式取水設備が開発された。

サイフォン式取水設備の原型は、イギリスにおいて 1960 年代に開発されたバルブレス取水

設備である。これは、逆U字管の頂部に給排気することにより通水と遮断を行うもので、国内では、平成13年度に沖縄総合事務局が建設した羽地ダムでの実績が唯一となる。このダムでは、海外の実績を調査し、種々の改良を施すことによって、建設コストの低減や維持管理の省力化が図られたものとなっている。これまでのサイフォン式取水設備は、取水管の間隔が空いている多孔式タイプのものであるが、これに、貯水位の変動に応じた連続的な表層取水や任意の水深で取水が可能な従来の多段式ゲートと同様の取水性能を確保するため、同一形状の逆V字型取水管を連続的に配置した連続サイフォン式取水設備が考案された。この取水設備は、現在施工中の志津見ダム・尾原ダム（共に中国地方整備局）に続き、全国3番目の採用事例となるが、積雪寒冷地での採用は初の試みである。

3 他型式との比較

連続サイフォン式取水設備は、水中に可動部を持つ鋼製ゲートに代わり、空気による通水制御を行うことから、維持管理が容易でかつ、経済性にも優れる等様々な利点を持つため、今後、選択取水設備として広く普及する可能性のある型式として考えられる。

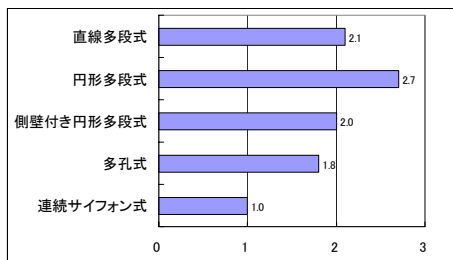


図-2 経済比較（工事費）※連続サイフォン式を1とした最大取水量 16m³/s、取水範囲 31m の場合

表-2 円形多段式と連続サイフォン式取水設備の比較表

	円形多段式(堤体付鋼製取水塔方式)	連続サイフォン式
概要図		
施工性	<ul style="list-style-type: none"> 工場製作では精度を要する設備が多い 据付工事では、堤体とは別途に単独施工が可能であるが堤体打設後の作業量が多い アンカー金物は堤体同時埋設となるが、堤体打設スケジュールに与える影響は少ない 	<ul style="list-style-type: none"> 工場製作では、精度確保も比較的容易 据付工事では、取水管が同時埋設であり、堤体打設スケジュールとの調整が必要 堤体打設後の作業量が少なく全体工期の短縮が可能
維持管理	<ul style="list-style-type: none"> 作業項目が多く(水密ゴムやワイヤロープの取替、ローラの分解整備、開閉装置の整備、操作盤の設備更新など)、大がかりな作業となる 取水ゲート扉体は、点検・整備時には全縮状態にしても常時満水位以上に引き上げることが不可能 	<ul style="list-style-type: none"> 水中に可動部がないため作業項目が少なく(空気制御設備の分解整備、操作盤の整備更新)、操作室内での作業に限られるため作業性がよい
土木構造	<ul style="list-style-type: none"> 堤体上流面の下部に鋼製取水塔の基礎コンクリートが必要 基礎コンクリートは、高さが低く、構造も比較的単純であるが、張り出し寸法が大きい 	<ul style="list-style-type: none"> 堤体上流面のダム底から堤頂までの範囲にコンクリート製取水塔が必要 取水塔は、円形多段式より高さは高いが、張り出し長さが小さい
景観	<ul style="list-style-type: none"> 取水塔が堤体上流面に大きく張り出し、操作室が堤頂上に突き出すので景観面で劣る 	<ul style="list-style-type: none"> 取水塔の張り出し長さは円形多段式より小さく、操作室は堤頂上に突き出さないので景観面で有利

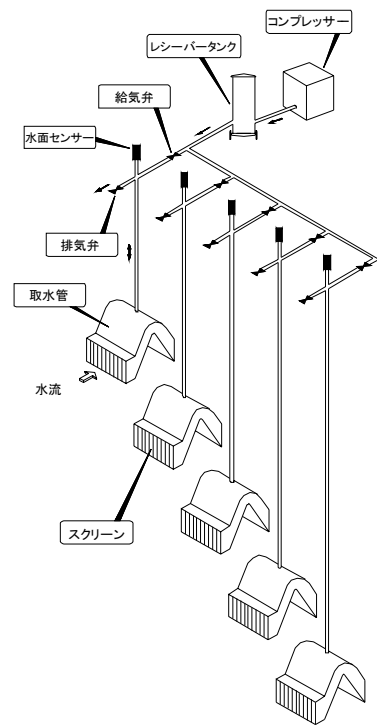


図-3 配管系統図

表-3 空気制御装置の構成

スクリーン	取水管呑口に配置し、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管であり、頂部の空気の出し入れにより通水制御を行い、任意の取水管から取水を行う。
空気制御装置	操作室内に配置され、コンプレッサー、レシーバタンク、給気弁、排気弁、真空ポンプにより構成される。取水管内の給排気を行う。
水面センサー	給排気管と接続され、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センサーである。
操作制御盤	所定の取水より取水を行うために、給気弁や排気弁、コンプレッサーなどの操作や制御を行う。

本ダムでは、連続サイフォン式取水設備とゲート式取水設備（直線多段式、円形多段式、側壁付き円形多段式、多孔式）との経済比較（図-2）を行うとともに、本ダムの取水量規模により一般的に適用される円形多段式ゲートと施工性等について比較した（表-2）。その結果、連続サイフォン式取水設備は、円形多段式取水設備に比べ、取水性能に遜色ない上、維持管理・経済性の面で有利であることがわかった。

4 連続サイフォン式取水設備の概要

(1) 全体の機器構成

連続サイフォン式取水設備は、基本的には逆V字型の取水管、スクリーン、空気制御装置、水面センサー及び操作制御盤により構成され（図-3）、従来の取水設備にある巻上機は不要となる。各機器の役割は、表-3 に示す通りである。

(2) 取水管

取水管は、連続配置を考慮し逆V字型としている。各取水管頂部に空気を出し入れすることにより、通水と遮断を行い、任意の取水管から取水を行う。

通水の遮断は、操作室内の空気制御装置から取水管内に空気を送り、頂部に空気溜まりを発生させて行う（エアロック）。通水は管内の空気を排出しエアロックを解除して行う（図-4）。

取水管を連続配置しているため、ほぼ連続的な水位追従取水が可能である。

(3) 空気制御装置の系統

空気制御装置は、表-3 に示した機器で構成され、配管系統は、図-3 に示す通りである。

コンプレッサーにより圧縮された空気をレシーバタンクに蓄圧することにより、給気量を確保しながらコンプレッサーの小型化を図る。

取水管の水面位置は、エアロック状態を維持するために圧力計を用いた水面センサーにより常に監視を行う。図-5 に示すように、取水管内の圧力と給排気管内の圧力が同一であることを利用し、給排気管内の圧力水位との差により取水管内の水面位置を検知する。この方法は、水位計を操作室内に配置でき、取水塔を格段にスリム化できる画期的なものである。

5 取水設備の諸元

本ダム取水設備（図-6）の諸元を表-4 に示す。なお、取水範囲は、最低水位から常時満水位までとする。ダムの目的にかんがい（水田）を含むため、温水放流の要求が高いことから、取水管の形状については、水温の高い貯水池表層からの温水を得るため、可能な限り幅広な形状とすることとし、ダムのブロック幅から取水塔の側壁厚さを控除し、10m とした。取水管の呑

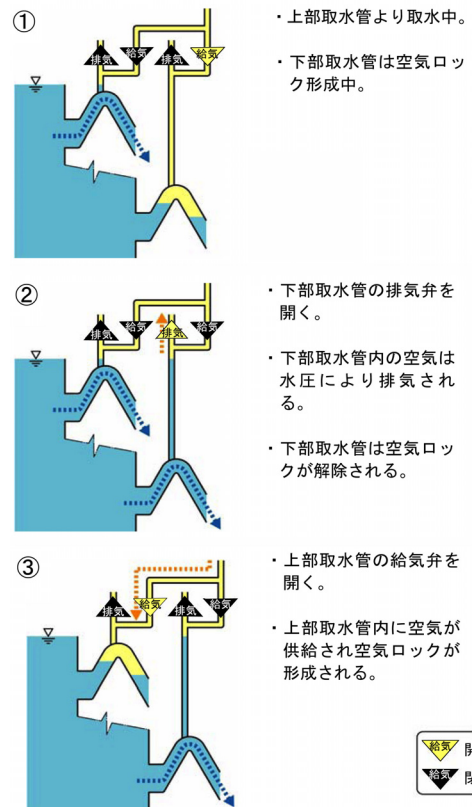


図-4 取水管の切替手順

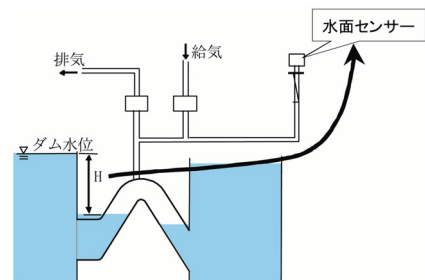


図-5 管内水面検出方法

口高さは、ダム・堰施設技術基準（案）により、呑口流速、流動層厚及び適切な放流水温を確保するため、1.5mとした。取水管の使用材質は、常時水没・取水の状態にあり、交換が困難であることからステンレス鋼を選定した。また、本ダムは、冬季の気温が-15℃から-20℃程度まで低下する寒冷地域であるため、北海道における他の選択取水設備同様、凍結防止装置を設置する。なお、凍結防止装置には、サイフォン管のエアロックに悪影響を与えない水中ミキサ式凍結防止装置を選定した。また、給排気管内の結露による凍結を防止するため、管内に電熱線を設置することとした。

6 コスト縮減効果

連続サイフォン式取水設備は、他の型式より機械設備が少なく、また、鋼製ゲートがないことや取水塔がコンクリート製であることから、「3 他型式との比較」で比較検討した同規模の円形多段式取水設備と比べた場合、鋼構造物の重量が半分以下となり、建設費が6割程度となる。

また、ゲートを使用しないため水中に可動部がなく、維持管理についても大幅な省力化が図られる。整備・補修、機器更新にかかる費用は、ほぼ同じであるが、特にゲートの扉体や開閉装置の部品等取替にかかる費用を縮減できるため、円形多段式取水設備に比べ維持管理費が6割程度となる。このことから、建設費と維持管理費を合わせて4割程度のコスト縮減は見込めるものと判断した（表-5）。

あとがき

近年、公共事業に対するコスト縮減への社会的要請が強まる中、特に大規模事業であるダム事業においても、徹底したコスト縮減による建設費や維持管理費の低減が求められている。夕張シューパロダムでは、本体の設計段階で、基礎掘削量の低減や低品質骨材の有効利用など、コスト縮減の検討をしてきたが、付属設備においても同様にコスト縮減の検討を進めてきた。その結果、近年国土交通省で導入事例のある連続サイフォン式取水設備を採用することで大幅なコスト縮減を見込めることとなった。

本ダムでは、ダム堤体工事の進捗に合わせ、取水設備工事に着手する予定であるが、本型式の採用にあたって検討した他形式との比較結果のうち施工性などについては、今後の工事施工の段階で検証していきたい。

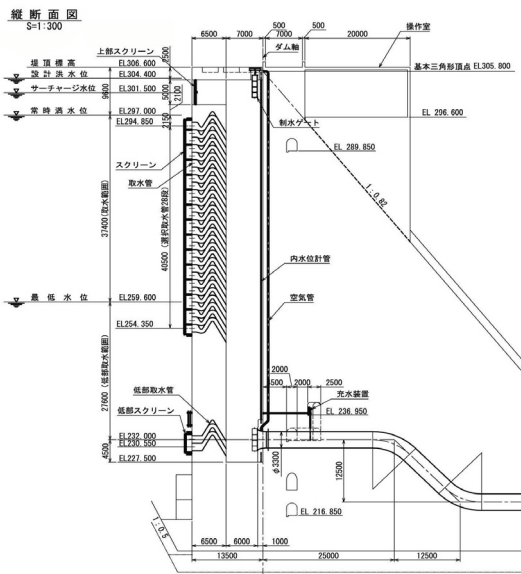


図-6 夕張シューパロダム取水設備構造図

表-4 夕張シューパロダム取水設備諸元

設計条件および設計仕様		
取水設備	取水設備型式	連続サイフォン式
	取水方式	選択取水
	取水範囲	NWL 297.000m~LWL 259.600m (37.4m)
	最大取水量	83.0m ³ /s
	設計水位	NWL 297.000m+風波浪高
	操作水位	NWL 297.000m+風波浪高
	止水方式	空気ロック方式
	取水口選択方式	空気制御方式(空気ロックの形成および解除)
	開閉速度	0.3m/min程度(1段の空気ロックを約5分)
	空気制御装置	コンプレッサ(2台)、レシーバタンク(4台)、給排気バルブ(1式)、給排気管(1式、予備配管含む)、真空ポンプ(1台)
取水管内圧計測装置	圧力測定モジュール	
	操作方式	機械操作、水位追従自動操作および遠方操作
取水管	管型式	ステンレス鋼製逆V字連続サイフォン管
	数量	28段
付属設備	取水口寸法	幅10.000m、高さ1.500m
	取水管寸法	幅10.000m、高さ0.750m
	取水塔内外用凍結防止装置	形式 水中ミキサ方式
	空気配管用凍結防止装置	形式 昇降装置 電動式
	空気配管用凍結防止装置	形式 電熱線管内設置方式
	凍結防止装置	設置範囲 取水塔埋設部空気配管鉛直部
	水位計管	形式 露出管
呑口空気管	口径	150A
	形式	埋設管
	口径	300A

表-5 連続サイフォン式取水設備のコスト
(円形多段式を1とした場合)

建設費	0.6
維持管理費(100年)	0.6
整備・補修	0.9
部品取替	0.2
機器更新	1.1
建設費・維持管理費計	0.6