

豊平峡ダムの常用放流に向けた凍結防止対策効果検証

Effect inspection of Preventive measures against freeze for the Discharge in common use of the Hoheikyo dam

水工事業本部 水工第2部 齊藤 聖哉
水工事業本部 水工第2部 河合 敦

豊平峡ダムは、札幌市南区定山溪の一級河川石狩川水系豊平川の上流部に、豊平川の治水や水力発電、札幌市の水源として建設された国土交通省が管理する多目的ダムであるが、冬期においても常用放流設備（ハウエルバンガーバブル）から維持管理等のために緊急的な放流が必要となる場合がある。過去の実績では、噴霧上状態の放流水がバルブ及び周辺施設に大規模に結氷し、正常な放流への影響や施設の損傷が懸念されてきたため、改善策として凍結防止対策を検討の上、対策設備を仮設置した放流試験を実施し、効果検証してきた経緯がある。

本稿は、これらの経緯を経て平成 28、29 年度工事で設置された凍結防止対策設備の効果検証を目的として、平成 30 年度に行った冬期放流試験の計画、放流時の観測結果、その結果に基づく効果検証を踏まえた改善策の概要について紹介する。

1 はじめに

豊平峡ダムの常用放流設備はハウエルバンガーバブルφ2.1m×2門（写真 1.1）であり、噴霧状に放流して水勢を減勢する特徴を有している。

平成 23 年度の冬期放流試験では、バルブから放流水が上昇気流により噴霧状態となり、バルブ室周辺に着氷、開閉操作や安全管理への支障が確認された。これらを踏まえ、平成 27 年度に凍結防止対策設備の試験（写真 1.2）及び設計が行われ、平成 28、29 年度に No.1 バルブ室の対策工事が完了している。

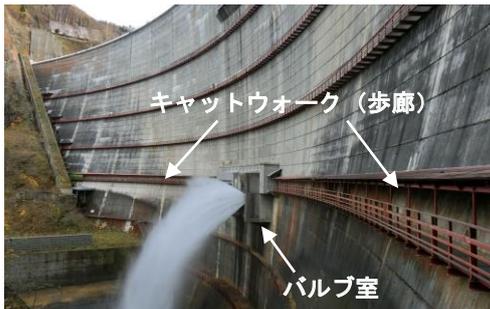


写真 1.1 豊平峡ダム（観光放流時）



写真 1.2 バルブ室周辺の結氷状況（H27 試験後）

2 凍結防止対策設備

冬期放流時に結氷の影響を受ける設備と放流時の懸念事項及び対策工の実施状況は表 2.1、写真 2.1 に示す通りであり、放流試験を行い、これらの効果を検証した。

表 2.1 No.1 バルブ室の対策工実施状況

対策箇所	放流時の懸念事項	対策工	
バルブ室内	開口部	室内に霧状の放流水進入による室内全体の凍結 防水シート+骨組材、遮水板の設置	
	床面	床面の氷柱が発達・放流障害	ヒーター設置
	シャッター戸溝	シャッター開閉不能	
バルブ室外	バルブスリーブ・スピンドルシャフト	着氷によるバルブ開閉操作への支障	ヒーター設置
	バルブ室屋根	バルブ正面外壁に氷柱が発達・放流障害	
	バルブ室屋根下流面		
操作室外	側壁下流面	大規模な結氷による操作室荷重の増大	※未施工
	操作室屋根		ヒーター設置

※操作室屋根はヒーター設置の必要性を検証

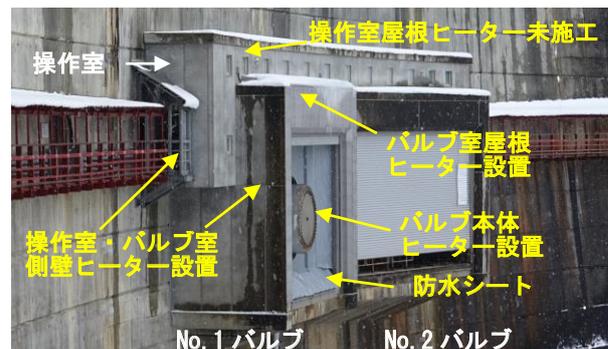


写真 2.1 対策工の設置状況

3 冬期放流試験計画の立案

試験の目的は、凍結防止対策設備の設置により、厳冬期放流時に結氷によるバルブ操作への支障や、ダム本体及び附帯設備に維持管理面への著しい影響が抑制出来ることを検証するものである。

これらの対策工が、設計上の要求性能を満足しているかを検証するため、以下の項目について、計画を立案した。

(1) 試験放流期間

冬期放流試験は、厳冬期の気象条件での実施が望ましいことから、過去5カ年の厳冬期（1月～2月）における最低気温の中から1位～3位までを抽出し、最も密集する期間として、2019年1月21日～30日の10日間で計画した。

(2) 試験放流量

豊平峡ダムでは、ダム下流施設の水質保全のため、緊急的に冬期放流を行う必要があり、その際の必要放流量は最大5m³/s程度である。したがって、試験期間中にダムの必要確保水位が基準値を下回らないことに配慮し、試験放流量は5m³/sを基本とした。

(3) 試験時の観測位置・観測方法

観測位置は、放流時の着氷箇所や規模、結氷状況を多角的に把握するために、図3.1に示す複数箇所から観測のための撮影を行うこととし、過去の放流試験と比較が出来る撮影位置を選定した。全景は、定点カメラにより連続的に状況を把握するとともに、気温、風速、風向を計測する。尚、定点写真撮影及びスケッチを行う間の1時間程度はバルブ開度を最小とした。



図 3.1 観測位置図

4 冬期放流試験の観測結果

4.1 放流試験実績及び気象条件

放流試験は1月21日～1月25日までの計5日間で実施した。当初は10日間を想定していたが、後述するバルブ室内外の着氷状況と結氷発達から落下までの一連のサイクルや対策工の効果を確認できたことから試験期間を短縮した。

試験期間中の外気温は、ダム下流に配置した定

点カメラ位置で-10.8℃～-6.4℃と、当初想定した通り厳冬期の気候条件を満足していた。

4.2 結氷状況観測結果

(1) バルブ室内(本体)

放流試験期間中、バルブ本体に結氷は見られず、バルブヒーターは作動後30分で約30℃まで上昇、温度を保っていた。室内についても、顕著な結氷は確認されなかった(写真4.1)。



写真 4.1 バルブ本体(室内)結氷状況

(2) シャッター戸溝

シャッター戸溝は、全面にヒーターが設置されているが、図4.1に示す通り、2日目以降下端側から結氷が徐々に発達した。但し、既往試験よりも発達速度は遅く、規模も縮小した。



図 4.1 シャッター戸溝結氷状況

(3) 防水シート

防水シートの設置効果により、バルブ室内の結氷は概ね防止できたが、防水シート自体には放流時間に比例して板状の氷塊が形成され、5日間で厚さが10cm程度となった。試験終了時には、防水シートのマジックテープ接合部に、シート表面の氷塊が落下したが、シートに損傷等は確認されなかった。(写真4.2)

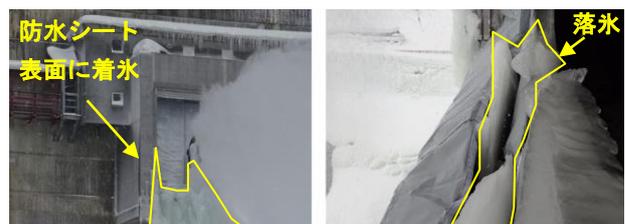


写真 4.2 防水シートに付着した結氷が落水した状況

(4) バルブ室外

バルブ室外下部の結氷は、放流時間経過とともに徐々に発達した。4日目で最大7m程度まで発達し、14時頃に先端部が落下、5日目9時頃に観測用にバルブ開度を操作した直後に下部の結氷全体が落下した。

バルブ室外上部は、前年度のクレストゲート補修以降、上部からの漏水が無くなり、ほとんど結氷が見られず、本試験時も同様であった。試験期間中の状況を写真 4.3 に示す。

(5) 壁体・キャットウォーク

壁体及びキャットウォークは、No.1 バルブの噴射方向が左側に向いており、施設左岸側のキャットウォークに満遍なく結氷する状況となった。

施設全景のスケッチ結果を図 4.2 に示す。

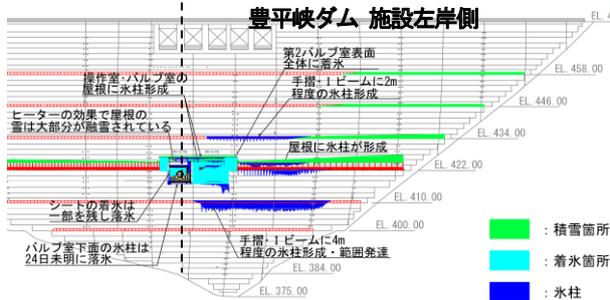


図 4.2 全景スケッチ

4.3 本試験における結氷メカニズム

ヒーター設置前の過年度試験では、バルブ室外の結氷の自然落下は生じなかったが、ヒーターを設置した本試験では、バルブ室外下部を中心に結氷の付着と発達が生じ、5日目には発達した氷柱が自然落下した。これは、ヒーター接着面の融解により氷柱と壁体の付着力が低下し、結氷が一定重量に達した時点で自重が付着力を上回り落下したと考えられる。

この試験結果から、本試験の放流量及び外気温に起因するバルブ室壁体に付着した結氷発達に対し、対策工により付着力が抑制されることで、結氷が一定の重量に達すると自重で落下するというメカニズムが把握できた。

本試験における、氷柱長の形成予測を一次回帰式として図 4.3 に示す。

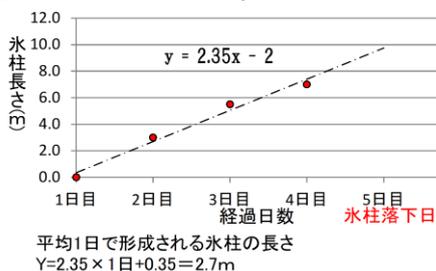


図 4.3 氷柱長の形成予測

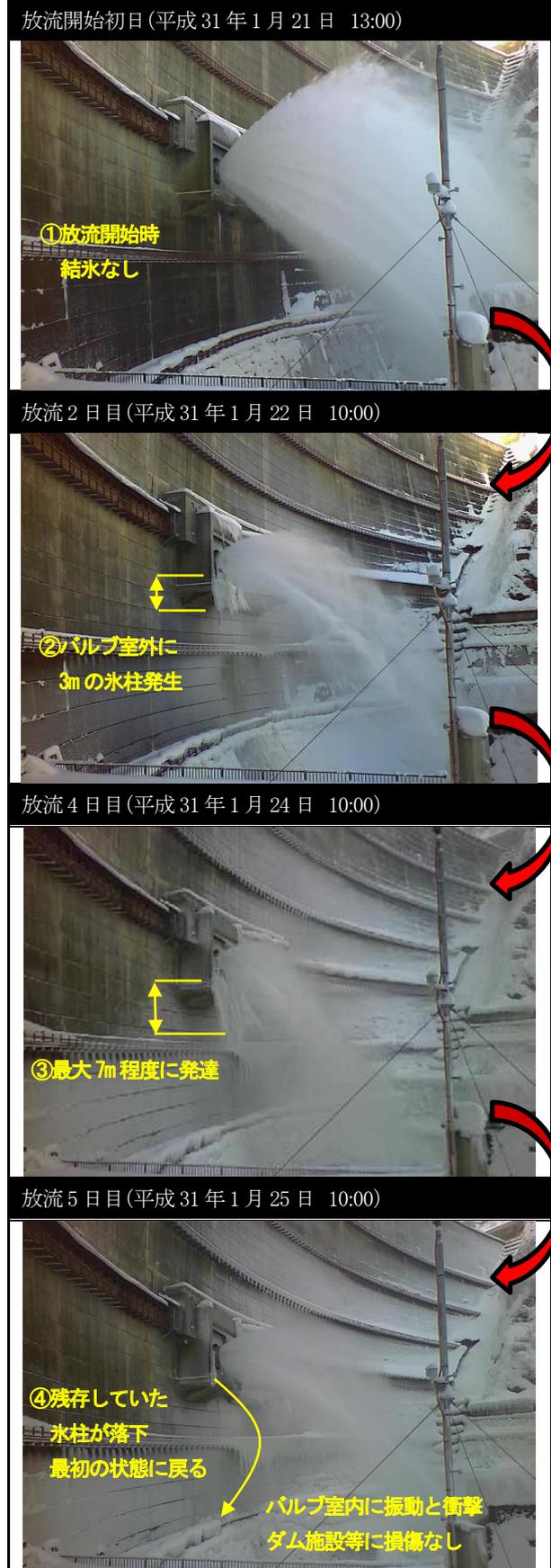


写真 4.3 放流期間中の結氷状況

5 凍結防止対策設備の効果検証及び改善策

5.1 凍結防止対策設備の効果検証

冬期放流試験の観測結果を踏まえて、対策効果について検証した(表 5.1)。

表 5.1 凍結防止対策設備の効果検証

対策箇所	対策工	効果検証
バルブ室内	開口部	<ul style="list-style-type: none"> 遮水シートの防水効果としては必要機能を満足。 上下部のシート接合部(マシニングテープ)に結氷が落ちると、破損等が生じるため、運用対策が必要
	床面	<ul style="list-style-type: none"> 操作室内床面の結氷は防止出来ている。 張出架台下面に水滴が流入し結氷が発生するが、移動式ジェットヒーターで除去は可能。
	シャッター戸溝	<ul style="list-style-type: none"> バルブ室外下部側からの結氷発達は見られたが、戸溝自体には付着しておらず、ヒーターの効果は発揮されている。 自然落下の発生及び残骸もジェットヒーターでの除氷が容易であることから、現状問題ないと判断する
	バルブスリーブ・スピンドルシャフト	<ul style="list-style-type: none"> 効果を発揮しており必要機能を満足。
バルブ室外	バルブ室屋根	<ul style="list-style-type: none"> 効果を発揮しており必要機能を満足。
	バルブ室屋根下流面	<ul style="list-style-type: none"> 効果を発揮しており必要機能を満足。
	側壁下流面	<ul style="list-style-type: none"> 効果を発揮しており必要機能を満足。
	下部	<ul style="list-style-type: none"> 時間経過とともに結氷は発達するが、自然落下するというメカニズムを確認できたことから、現状設備で冬期放流は可能である。 但し、氷柱は最大 7m 程度で重量も大きく、落下時の振動と衝撃は大きいので、施設保全及び職員の安全面で課題を有する。
操作室外	操作室屋根	<ul style="list-style-type: none"> 設計ではヒーター設置が計画されていたが、クレストゲート止水工により結氷防止効果が出ており、対策工の必要性は低いと判断する。
	操作室側壁下流面	<ul style="list-style-type: none"> 下部結氷発達に伴い、側壁下流面側にも結氷が徐々に発達したが、側壁部の結氷は防止可能。

5.2 結氷発達に関する課題

今回の試験により、結氷が正常な放流を妨げることはなく、氷柱の落下地点にある防護柵の損傷もなく、一定期間で冬期放流が継続できることを確認した。但し、氷塊が大きくなるほど落下の衝撃が増大し、防護柵やキャットウォークの損傷や安全面への影響も懸念されることから、発達する早い段階で氷柱を落下させるための改善策が必要と考えられる。

5.3 効果検証を踏まえた改善策の提案

(1)ゲート室下部壁面のヒーター追加設置

現状の設備では、結氷発生自体の抑制が出来なかったことから、結氷が最も発達したバルブ室外下部のコンクリートにヒーターを増設することにより、結氷の発達抑制が期待できる。

当初計画していた操作室屋根へのヒーター

の設置は、本試験結果から必要性が低いと判断し、その余剰電力内でバルブ室前面ヒーター設置案及びバルブ室前面+下面ヒーター設置案(写真 5.1)を検討した。

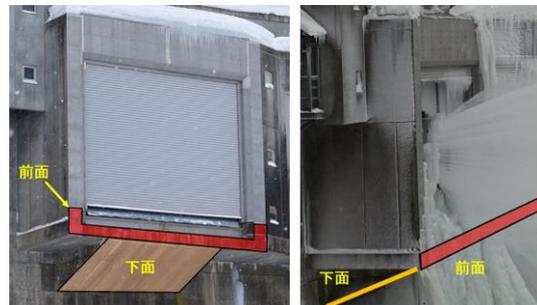


写真 5.1 ヒーター設置箇所

(2)下部シート改善策

現状の設備は、バルブ室内の床面ヒーター上に防水シートを設置することとしているが、床面ヒーターと結氷の間にシートが挟まることで、熱の伝達率が低下した可能性がある。

したがって、床面パネルとヒーターとの隙間を塞ぐとともに、床面パネルを露出させるような下部シートに改造することが改善策として考えられる。(写真 5.2)



写真 5.2 下部シート改良イメージ

6 今後に向けて

今回の試験は、No.1 バルブにヒーターを設置してから初めての冬期放流であったが、対策工の効果により設置前と比較するとバルブ室周辺に結氷の影響を受けない状態で冬期放流が可能であることが確認できた。一方、結氷発生自体は抑制できず、結氷が 7m 程度まで発達した時点で落下するというメカニズムが把握できたことにより、この結氷が下部の防護柵等のダム施設や職員の安全面へ影響を与える可能性が考えられる。

No.2 バルブにもヒーターを設置し同時放流を行う場合は、結氷発達の抑制に有効と考えられる改善提案についても、冬期放流試験の実施が望ましいと考える。今後もモニタリングを行い、対策工による結氷やバルブへの影響等を検証する上で、データを蓄積していくことが重要である。