

田瀬ダムの高圧放流設備 (一社) 日本機械学会 2019 年機械遺産認定

齋藤清見・前川茂

国土交通省東北地方整備局が管理する田瀬ダムは、国内で初めて堤体下部に高圧放流設備が設置されたダムである。このことにより、ダム貯水位の調節が可能となり、洪水調節、発電及びかんがい用水などに最大限に活用ができるようになり多目的ダムの機能が飛躍的に拡大し、その技術は現在のダム建設の普及に大きく寄与した。

その功績が認められ令和元年8月7日(一社)日本機械学会から機械遺産として認定された。

本稿では田瀬ダムの高圧放流設備の導入計画、技術的特徴について述べる。

キーワード：高圧放流設備、高圧スライドゲート、高圧放流管、多目的ダム、機械遺産

1. 高圧放流設備の計画まで

田瀬ダムは岩手県花巻市東和町に位置し、現在の国土交通省で最初の重力式コンクリートダムとして昭和16年に着工したが、第二次世界大戦激化のため昭和19年に工事が中断された。

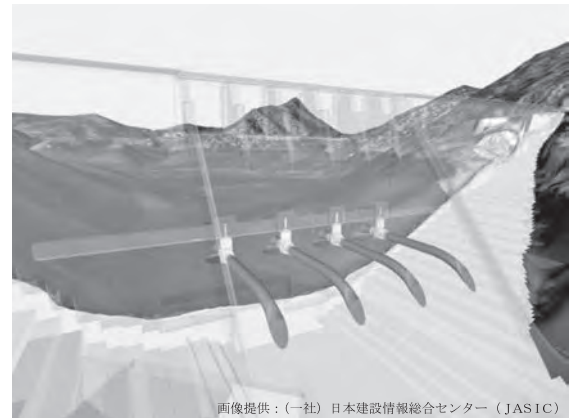
そして、戦後間もない昭和22年にカスリン台風、昭和23年にアイオン台風が立て続けに襲い北上川沿川が甚大な被害を受けたことで、北上川上流改修計画が改定され、ダム堤体の嵩上げが決定した。

昭和25年10月北上川特定地域総合開発事業としてダムの建設工事が再開され、総事業費31億5,100万円(当時)で昭和29年10月に竣工した。

昭和16年の着工時点では洪水調節はダム堤体上部のクレストゲート(テンターゲート)でのみ行う計画であったが、北上川上流改修計画の改定で堤体の嵩上げとともに洪水調節として使うダムの貯水容量を大きくするため、国内で初めてダム堤体下部への高圧放流設備の設置が計画された。

2. 高圧放流設備の導入

昭和25年当時、国内では多目的ダム建設の機会が多くなってきており、堤体積当たりの貯水容量が少なく流域面積当たりの洪水時降水量が諸外国に比べ多いという日本固有の事情から、ダムでより効果的な洪水調節を行うには、洪水調節容量を確保することが重要と考えられ、ダムの貯水位をかなりの水深まで下げることのできる高圧放流設備の必要性が認識されるようになっていた。



画像提供：(一社)日本建設情報総合センター(JASIC)

図一 田瀬ダム高圧放流設備鳥瞰図



写真一 高圧放流設備による放流

しかし、高水圧下で使用できる放流管と確実に操作できるゲート又はバルブ設備が求められたが、国内での実績がなかった。

田瀬ダムでは国内で初めて高水圧下に設置される設備(高圧放流管と高圧スライドゲート)であったため導入にあたっては様々な検討がなされている。

(1) 高圧スライドゲートの導入

高圧放流管内に設置される高圧ゲートは、放流管内の流速が 30 m/s 以上で水理的に極めて厳しい条件下となり、高圧ゲートには開閉作動が確実であること、水密が完全であること、耐久性があることが求められたが、国内には高水圧・高流速下でゲートを安全に開閉する技術がなかったため、ダム建設先進国であった米国より輸入することとなった。

昭和 27 年 4 月、輸入について米国メーカと交渉を始め、ゲート形式（リングフォロアゲート、リングシールゲートなど）について、技術的・経済的な検討



写真—2 高圧スライドゲート開閉装置梱包状況



写真—3 高圧スライドゲート扉体仮置き状況



写真—4 高圧スライドゲート搬入状況

表—1 田瀬ダムの高圧放流設備 主要諸元

項目	諸元
ゲート形式	高圧スライドゲート
門数	4 門
有効径間×有効高	2.59 m × 2.59 m
設計水深	41.3 m
水密方式	後面 4 方金属水密（青銅）
開閉方式	油圧シリンダ式
開閉速度	0.254 m/分
ゲート開閉	全開または全閉



写真—5 フィリップス・アンド・デビス社の銘板

を行った結果、フィリップス・アンド・デビス社が推奨した高圧スライドゲートに決定した。

昭和 27 年 12 月に契約を結び、米国で製作された高圧スライドゲートは、昭和 28 年 12 月と昭和 29 年 1 月に横浜港に入荷し直ちに鉄道輸送され据付けられた。据付けは昭和 29 年 4 月に完了している。

(2) 高圧放流管の設計

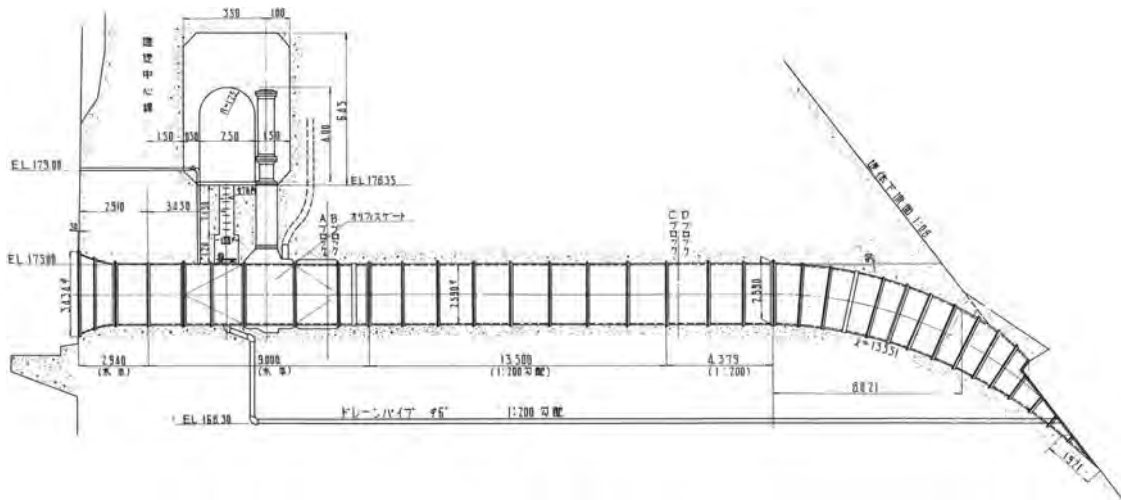
当時、国内の放流管は排砂管や非常用放流管として設置されたものがあったが、実際に使用された例はほとんどなく、大水深に設置される洪水調節用の高圧放流管の設置は田瀬ダムが初めてであった。

水深 30 m を超えるとゲート戸溝付近にキャビテーション損傷が発生することが知られていたため、設計水深が 41.3 m となる田瀬ダムでは十分な対策が必要と考えられ、水理模型実験を当時の建設省土木研究所に依頼し設計を進めた。

土木研究所の村・荒木の各氏による水理模型実験を用いた研究で得られた設計基準値や設計式などの一連の研究成果は実物設計に活用され、その後、高圧放流管の設計手法を確立していくとともに高圧放流設備の技術発展に大きく寄与した。

3. 高圧放流設備の技術的特徴

田瀬ダムの高圧放流設備は全閉・全開しかできない未成熟な設計・製作技術であったが、その技術的特徴は受け継がれ、その後の国内での研究や改良により任



図一2 田瀬ダムの高圧放流管

意の開度でも放流できるように進展し、現在の技術基準へと繋がっている。

(1) 高圧スライドゲート

当時の国内メーカーは、高水圧・高流速に対応した高圧スライドゲートを設計・製作した実績がなかったことから、(a) キャビテーションを防止する扉体下端形状（切り上げ角やリップ形状、剥離点の処理）、(b) 高速流の抵抗となる戸溝の形状、(c) 高水圧を受けながら摺動（しゅうどう）可能な水密方法（水密金属の材料等）、(d) 精度を確保した加工が可能な全体構造（ボンネットとフレームの構造）など、様々な技術的な課題を抱えていた。

田瀬ダムに導入されたフィリップス・アンド・デビス社の高圧スライドゲートは以下の構造を有していた。

(a) 扉体の構造

扉体の構造は、H型鋼を積み重ねた方式となっており、板厚約 42.86 mm (1-11/16 in) のフランジと板厚約 26.99 mm (1-1/16 in) のウェブの H型鋼を積み上げて、フランジ端部を連続溶接した構造になっており最下部の横桁は上流側へ 45 度の切り上げ角を持たせ

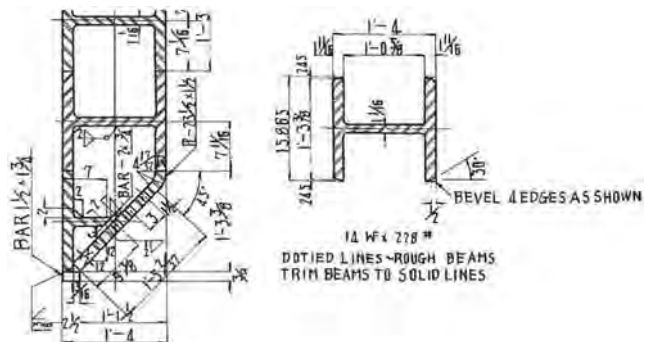
たナイフエッジ形状となっている。

なお、現在の技術基準で示されている標準的な考え方は、高水深のもとで開閉操作をした場合、リップ厚が厚いとゲートの開度によっては噴流水脈がリップ底面に付着し扉体の振動を誘発する危険があるため、リップ厚は可能な限り薄くして、剥離点を明確にするためリップ上流端は直角にするのが好ましいこと、また、ゲートリップからの噴流を完全に剥離させるため、ゲート下端は上流側に 45 度に切り上げたナイフエッジ形状とされている。

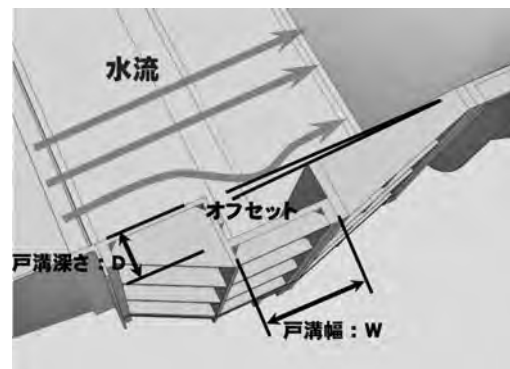
(b) 戸溝の形状

高圧スライドゲートは、扉体に作用する水圧荷重を支持するため、フレーム部に戸溝を有する構造となっている。この戸溝は連続した水路の平滑さを損なう形状となるため局所的な圧力の低下を招き、高速流にさらされる環境ではキャビテーション発生の危険性が重要な課題となる。

本ゲートの戸溝形状は、戸溝下流面がオフセットされており、当時の資料からオフセットに関する記述は発見できなかったが、その重要性は理解されていたのではないと思われる。



図一3 高圧スライドゲートの扉体下端形状



図一4 戸溝のオフセット

現在の技術基準の標準的な考え方では、戸溝幅は可能なかぎり狭くし下流側には戸溝幅の0.075～0.1倍のオフセットを設けるとされている。また、戸溝幅Wと戸溝深さDの関係は $W/D \leq 1.0$ とされている。

なお、田瀬ダムの高圧スライドゲートのオフセット量は、戸溝幅 $W=482.6$ mm (19 in), 戸溝深さ $D=0.44$ W に対して、オフセット量 $d=0.053$ W, $W/D=2.27$ であり、現在の技術基準と比較して、戸溝幅が大きくオフセット量も小さい構造である。

(c) 高圧水を受けながら摺動可能な水密方法

扉体側部と上部の水密は、扉体とフレームにそれぞれ皿ボルトで固定された、全幅約152.4 mm (6 in), 厚さ約38.1 mm (1-1/2 in) の特殊青銅板によって保持されており、約330 tの全水圧(単位荷重は最大約 51 kg/cm²)を扉体左右に取り付けられている2枚の水密板のみで受ける構造となっている。

扉体底部の水密は、フレーム底面に埋め込まれたバビットメタルと、扉体リップ底面の機械加工された面との間で保持される金属水密構造となっている。水密金属の材料は、米国開拓局による実験の結果から最も適しているとされる2種類の特殊青銅板が使用されている。

ここで使用されているバビットメタルに関して、現在では水密ゴムが開発されたことやフレーム底面及び扉体リップ底面の加工精度向上に伴い使用されなくなってきたが、現在も金属水密が採用されるケースでは、上記の特殊青銅板と同程度のものが採用されている。

(d) フレームとボンネットの構造

ボンネットとは、ゲートを全開で使用する際に扉体が引き上げられ格納される部分であり、上流側と下流側の二分割となっておりフランジ部分でボルト・ナットにより組み立てる構造となっている。

フレームは、ボンネットの下側にあり、上部フレーム、側部フレーム、下部フレームの上下流側に分割された構造となっており、放流管と接続される部分でボルトにより組み立てられる構造となっている。

この様に、フレームとボンネットが多くの部品に分割されているのは、フレームに取り付けられる金属製の水密板に用いられる特殊青銅板の取り付け面を精度良く仕上げるのに便利なことと、メタルタッチで接合された面も精度良く仕上げられることや、鉄道など、当時の輸送環境の制限によることが理由としてあげられる。

なお、高圧スライドゲートのフレームとボンネットは現代も同様の構造が用いられている。

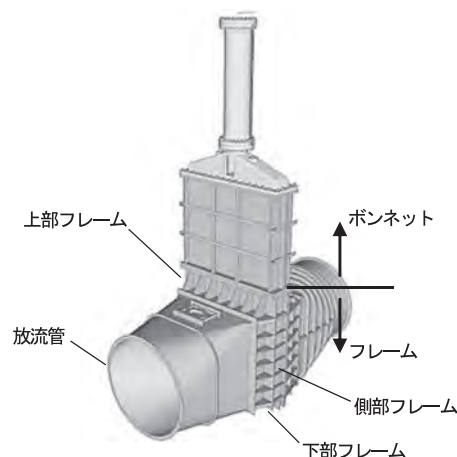


図-5 フレームとボンネットの構造

(2) 高圧スライドゲートの国産化へ

昭和31年に竣工した五十里(いかり)ダム(栃木県日光市)に国産第1号の高圧スライドゲートが設置された。

このゲートは水深が田瀬ダムより4.6 m深い45.9 mの位置に設置されることもあり、田瀬ダムの仕様や設計手法を踏襲して設計・製作された。

五十里ダムの高圧スライドゲートは、わずか2年で米国の技術をいち早く吸収して作り上げたもので、国産化に対する技術者の技術習得への意欲が見て取れる。

また、同年に、国内メーカーが製作した高圧スライドゲート(田瀬ダムと同規格)が七川ダム(和歌山県東牟婁郡古座川町)でも導入され、国内で設計技術が確立し展開していることが判る。

(3) 開閉装置の構造

設置された当時は1台の油圧ユニットで4門を操作する構造であり、1門ずつバルブを切り替えて操作を行っていた。

また、開閉装置の設計にあたり、当時の設計計算書では摩擦係数は0.13, 0.6, 1.0の3ケースで検討して最大値の1.0が採用されている。

現在の技術基準では水密部における金属同士の摩擦係数は0.4であり、十分余裕のある値であることがわかる。

設備の老朽化から、油圧ユニットは昭和61年に更新されゲート1門につき1台の油圧ユニットが設けられ、その後、平成19～20年にも更新されている。

油圧シリンダとボンネットカバーは平成22～24年に更新されている。

(4) 高圧放流管の構造

前述のとおり、田瀬ダムでは高圧放流管の設計にあたり水理模型実験を実施して形状を決定している。

高圧放流管の呑口形状はベルマウス曲線が用いられるが、田瀬ダムでは、円形管の設計水深とベルマウス形状の関係についての実験で決定した楕円曲線を採用している。

全管路型放流管では放流水をダム堤体下流面に沿わせる場合に管路に曲がりが生じる。管路内側の流線の曲がりによる圧力降下が許容限界を超えるとキャビテーションとなり管路の破壊につながることから、圧力降下を基準値内にするよう吐出口の断面絞り率を決定する必要があり、これらの基礎式も実験値から誘導されており、田瀬ダムでは絞り率を15%としている。また、戸溝幅が大きくオフセット量が小さいため戸溝直下流の圧力低下によるキャビテーション発生の可能性があることから、下流端付近より断面を絞り、流れの支配断面を下流側に置くことによって、ゲート戸溝とその直下流の圧力を高め、安全に操作が行えるよう配慮した構造である。

4. 田瀬ダムの高圧放流設備が「機械遺産」に認定

田瀬ダムでは、高圧放流設備の設置により、ダム貯水位のコントロールが可能となり、約101,800千 m^3 の貯水容量を洪水調節、発電及びかんがいなどに最大限に活用できるようになったことで多目的ダムとしての機能が飛躍的に拡大した。

田瀬ダムにおいてこの高圧放流設備を全国に先駆けて導入したことが、以降の多目的ダム建設における高圧放流設備の設計技術の確立・進展に寄与し、高圧ゲートの国産化へと繋がり、国民に大きな恩恵をもたらす多目的ダムの普及に繋がったとして令和元年8月7日に(一社)日本機械学会より「機械遺産」に認定された。



写真—6 「機械遺産」認定証

5. おわりに

本稿で紹介した田瀬ダムの高圧放流設備は設置後65年(令和元年現在)が経過し、油圧シリンダや油圧ユニットなどの開閉装置は更新されたが、扉体や高圧放流管は当時のままで現在も田瀬ダムの常用放流設備として使用されている。

戦後の状況のなか何もかもが手探りの状態で、ダム建設のプロセスを作り上げ、現在に繋がる技術を確立していったことに先人の先見性や計画性に驚かされるとともに、並々ならぬご苦労に、ただただ敬意を抱かざるを得ない。

今回の認定を記念した施設カード配布(今年度末まで)、更新時に撤去した実機の屋外展示や、ものしり館での特別展示などを実施しているので、近くにお越しの際は、田瀬ダムを見学頂ければ幸いです。



写真—7 実機の屋外展示

JCMIA

《参考文献》

- 1) ゲート総覧Ⅰ, (社)ダム・堰施設技術協会, 昭和62年
- 2) ゲート総覧Ⅱ, (社)ダム・堰施設技術協会, 平成2年
- 3) 田瀬ダム建設の記録, 東北地方整備局北上川ダム統合管理事務所, 昭和63年
- 4) 堰堤放水管に関する研究(1), 村・荒木, 土研報告, 昭和28年
- 5) 堰堤放水管に関する研究(2), 村・荒木・飯田, 土研報告, 昭和29年
- 6) 堰堤放水管に関する研究(3), 村・荒木, 土研報告, 昭和30年

【筆者紹介】

齋藤 清見 (さいとう きよみ)
国土交通省
東北地方整備局 北上川ダム統合管理事務所
副所長



前川 茂 (まえかわ しげる)
国土交通省
東北地方整備局 北上川ダム統合管理事務所
保全対策官

