

二股発電所放流設備における リンクスリーブバルブ試運転報告

Trial Flow Test of Link Sleeve Valve at Futamata Power Plant Discharge Facility

和田太門* 松原圭佑* 丸田康平*

Tamon Wada Keisuke Matsubara Kohei Maruta

近年、CO₂フリー電源の利用拡大に向け水力発電の価値の見直し並びに水害防止のための治水需要増加によるダム設備の改修が活発に行われている。それに伴いダム放流設備の1つである放流弁の需要も増加している。当社バルブシステム事業部では、電力中央研究所殿、同志社大学殿との共同研究を行い、水道用の流量調整弁を放流弁として使用可能としたリンクスリーブバルブを開発した。今回、リンクスリーブバルブを採用頂いた中部電力株式会社殿／二股発電所では、2019年からの一括改修にて最大使用水量の増加を検討され、それに伴う余水路への放流能力超過分を当社リンクスリーブバルブにて放流する。2023年12月に当該バルブの現地試運転を行い、異常な騒音や振動は確認されず、無事施工が完了したため、その概要を報告する。

In recent years, the value of hydroelectric power generation has been reviewed in order to expand the use of CO₂-free power sources, and dam facilities have been actively renovated due to the increasing demand for flood control to prevent flood damage. As a result, demand for discharge valves, a type of dam discharge equipment, is also increasing. The valve system division of our company conducted joint research with the Central Research Institute of Electric Power Industry and Doshisha University and developed a link sleeve valve that allows a water flow rate adjustment valve to be used as a discharge valve. Chubu Electric Power Co., Ltd./Futamata Power Plant, where the link sleeve valve is adopted, has been considering to increase the maximum usage amount of water by the comprehensive dam renovation from 2019, and the excess water into the spillway is discharged using our link sleeve valve. We conducted a field test run of the valve in December 2023, and no abnormal noise or vibration was found, so that the construction has been successfully completed. We report the outline of the filed test result.

1 はじめに

2050年のカーボンニュートラル達成に向け、CO₂フリー電源の利用拡大が重要視されている。CO₂フリー電源の中でも発電の安定性に優れる水力発電は、近年の大規模水害増加に伴う治水の必要性も相まって、利用価値が見直されている。しかしながら、現在の日本では大規模ダムの新設が難しくなっているため、既存の発電専用ダムと治水専用ダムを発電・治水の両方の役割を担わせる多目的ダムに改修することで、既存ダムの価値を最大限活かす工夫が求められる。二股発電所も設備の見直しにより、放流弁の需要がある一方で、水力発電所が活発に建設された時代と比べ、現在は放流弁のサプライヤーが減少している。このことからダム設備の更新並びに増強に伴う放流弁の需要増加に対応するべく、当社バルブシステム事業部は電力中央研究所殿、同志社大学殿との共同研究を行い、水道用バルブであるリンクスリーブバルブを用途開発し、放流弁として使用可能とした¹⁾。

この度、中部電力殿より二股発電所における放流弁用のリンクスリーブバルブを受注し、試運転を行った結果、問題なく運用できることをご確認頂いたため、ここに試運転の概要を報告する。

2 放流弁の役割と要求性能

一般的に求められる放流弁の役割と要求性能について記載する。

(1) 放流弁の役割

ダムに必要とされる主な機能を以下に示す。

- ①計画規模以内の洪水時にて、ダムへの流入量に対し下流河川への流出量を絞り、下流河川の安全を守るための洪水放流
- ②平常時において、洪水時期に備え予め貯水池の水位を維持、低下させ、洪水調節容量を確保するための放流
- ③次の目的のために用水を補給するための放流
 - a) 下流河川の正常な機能を維持するための放流
 - b) 発電用水、都市用水、灌漑用水等の利水計画により必要とされる放流
- ④ダム堤体や貯水池の点検などのために貯水池水位を低下させるための放流
- ⑤計画規模を超える洪水時にて、ダムへの流入量と下流河川への流出量が同量となるよう制御し、ダムの安全を確保するための洪水放流

上記ダム機能の内、既存の放流弁であるジェットフローゲートや今回報告するリンクスリーブバルブが使用

*バルブシステム事業部 バルブ技術部

される小容量放流設備は、主に上記②③の機能を担うものである。

(2) 放流弁の要求性能

放流弁は2(1)で挙げた役割のために流量の調整を行う必要があることから、一種の流量調整弁と言える。一方で、一般的な流量調整弁とは異なる部分も多いため、放流弁の要求性能を水道用の流量調整弁と対比することで説明する。

① 対キャビテーション性能

a) バルブ前後の圧力水頭差（水頭差）の違い

水道用の流量調整弁では一般的に10～50 mAq程度となる。一方、放流弁では150 mAqを超えるものもあり、運用時の水頭差に大きな違いがある。これにより、特にバルブの絞り部下流側におけるキャビテーションへの要求性能が大きく異なる。

b) 流速の違い

水道用の流量調整弁は水道規格により最大管内平均流速が6 m/sと規定されている。一方で、放流弁では場合により30 m/s程度を要求されることもあり、平均管内流速が大きく異なる。管内の流速が高速となる場合、バルブ内の境界層剥離箇所における局所的な圧力降下により発生したキャビテーションがバルブや配管に損傷を与える可能性がある。このため、放流弁のように高流速環境で使用する場合は、過度な局所圧力降下が生じないよう形状を工夫する必要がある。

② 塵芥物の有無

水道用の流量調整弁では流体は上水であり、塵芥物が含まれていない。そのため、キャビテーション抑制性能に優れた図1のような多孔部材を採用しやすい。一方

で、放流弁においては流体がダム貯水池の河川水であるため、一般的には塵芥物の懸念があり多孔部材を用いないキャビテーション抑制方法を検討する必要がある。但し、塵芥物の懸念が少ない案件においては多孔部材を採用することもできる。

③ 弁座材質

水道用の流量調整弁では、機種にもよるが一般的に片側の弁座をゴム製にすることで止水している。一方で、放流弁においては前述の通り水頭差が大きいこと、高流速であること、流体中に塵芥物が存在することから、ゴム弁座は損傷やゴムのはく離が考えられるため使用せず、金属同士の弁座で止水する必要がある。

上記の通り、水道用の流量調整弁と放流弁では使用環境が大きく異なることから、要求される性能も異なる。水道用の流量調整弁を放流弁として採用することも条件によっては不可能ではないが、実験等を行い、検証する必要がある。

3 リンクスリーブバルブの特徴

リンクスリーブバルブの概略図を図2に示す。従来は多孔スリーブを備えた水道用バルブとしての使用が主だったが、スリーブの変更や空气管の追加によりダムの小容量放流設備向けのバルブとして使用可能なものとなっている。開閉の機構は、クランクとコンロッドからなるリンク機構により、スリーブを水平移動させることで流量を制御する。ここで、小容量放流設備に一般的に用いられるジェットフローゲートと比較した際の特徴を記載する。



図1 多孔部材

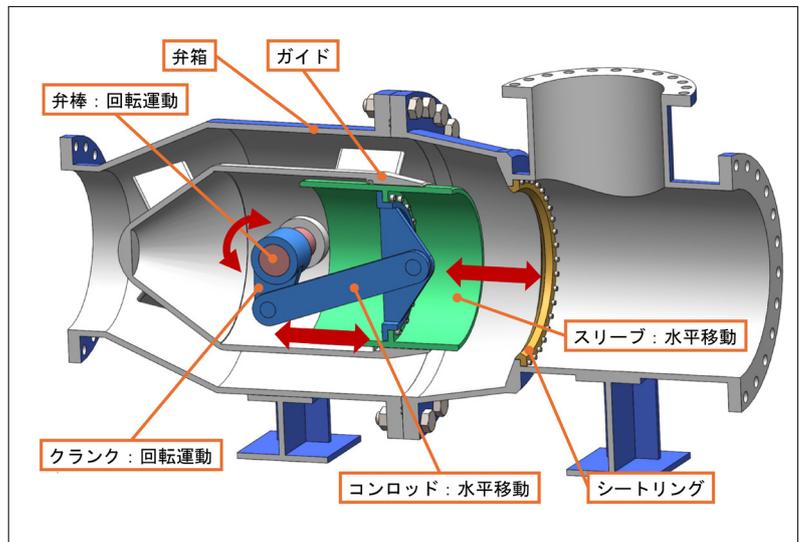


図2 リンクスリーブバルブ概略図

(1) 鋼材使用量の低減が可能

圧力容器として有利な円筒断面のため、リブや板厚を小さくでき、製缶コストの低減が可能である。

(2) 電動機の小容量化が可能

リンク機構により電動操作機の必要トルクが小さくなるため、モーター容量の低減が可能である。

(3) 幅広い条件で電動対応可能

電動操作機の容量が小さいため、通常油圧操作機が必要となる大口径や高圧力の条件でも電動操作機の選定が可能である。

(4) 開閉時間の設定自由度が高い

リンク機構により全開から全閉の操作機出力軸の回転数を小さくすることができ、開閉時間を短くすることが可能である。また、操作機内の電気回路を調整することにより、開閉時間を長くすることも可能である。そのため、開閉時間を他の設備と合わせることでスムーズな維持放流が可能となる。

(5) 機器高さが低い

ゲートタイプに比べ高さが低いため、弁室高さに制限がある場合においてもバルブの設置が可能となる。



図3 二股発電所水圧鉄管



図4 二股発電所／リンクスリーブバルブ

4 二股発電所放流設備の概要

前述の通り CO₂ フリー電源として水力発電所が見直されている一方で、発電に適した土地は既に開発済みであるため、新設の余地が少ない。このため既設の水力発電所の発電量を増加させる例があり、二股発電所はこれにあたる。二股発電所水圧鉄管を図3に示す。水力発電所の能力増強に伴い、水車に流入する水の量は増加するが、同時に既設余水路の放流能力を超過してしまうことが予測された。従って、中部電力殿では土木設備である余水路拡幅工事と機械設備（放流弁）新設による放流を保守性や経済性の観点から比較検討され、最終的に当社リンクスリーブバルブによる余水路超過分流量の放流を選定頂いた。

5 設計条件

本放流設備の設計条件を表1、機器仕様を表2に示す。

また、今回納入したリンクスリーブバルブおよび放流設備の全景を図4、5に示す。

設計条件より、リンクスリーブバルブの口径をφ250とこの種の設備としては小口径のものを選定したが、静水圧は165 mAq、平均管内流速は15 m/s(最高16.3 m/s)となり、2(2)に記載の通り、一般的な水道弁では対応困難な設計条件となっている。

表1 設計条件

静水圧水頭	165 mAq
最大放流量	0.8 m ³ /sec
規定放流量	0.736 m ³ /sec
規定放流量達成開閉時間	8秒以内
放流形式	放流弁

表2 機器仕様

形式	リンクスリーブバルブ
数量	1台
口径	φ250
最高流速	16.3 m/sec
駆動方式	電動

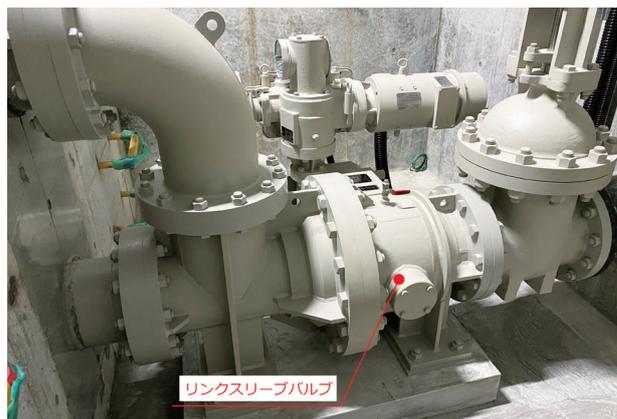


図5 二股発電所／放流設備

また本設備の放流操作は、水車のガイドベーン閉鎖と連動した操作を行うため、全閉から規定放流量に達する開度まで8秒間という非常に短い時間で開動作を完了する必要があります。一般的な放流弁であるジェットフローゲートやホーজেットバルブは、動作機構にスピンドルを用いているため、開閉時間が長く対応が難しい。油圧シリンダーを用いることで、開閉時間を満たす可能性もあるが、油圧ユニット等が必要となり、経済性やメンテナンス性の面で不利となる。以上の設計条件より、リンクスリーブバルブは本設備に適したバルブであることが言える。

尚、当設備のリンクスリーブバルブは、弁単体での減勢が行えず、下流河川の環境保護のため別途減勢工が必要となる。

今回、中部電力殿にてリンクスリーブバルブ下流側に衝撃型減熱工²⁾を設置頂いた。

6 工場内試験

当社住吉工場内にて実施した試験の概要を報告する。

(1) 作動試験

下限電圧～上限電圧における全閉から全開までの開閉時間の測定を行った。測定結果は約6秒～8秒であり、設計条件を満たすことを確認した。



図6 リンクスリーブバルブ実流試験状況

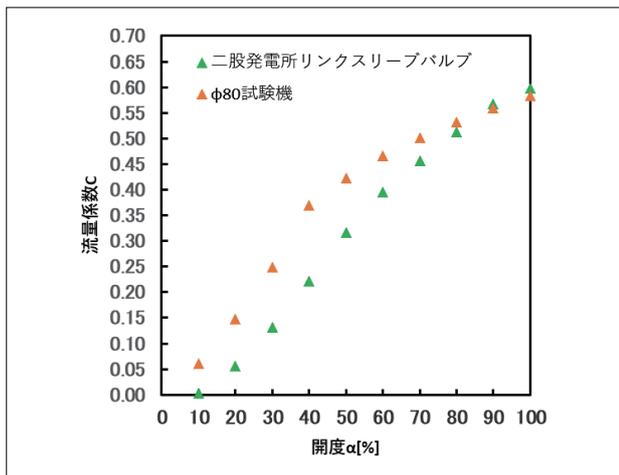


図10 流量係数測定結果

(2) 漏れ試験

現地最高使用圧力である水圧 1.62 MPa (165 mAq) を加圧し、全閉状態における弁座からの漏れ量を測定した。漏れ量は約 0.001 ℓ /sec であり、要求される許容漏れ量 0.138 ℓ /sec 以下を満たすことを確認した。

(3) 実流試験

本件のリンクスリーブバルブを用いて実流試験を行った。実流試験で空気管から観察できる下流側流況の確認と測定された水理条件から流量係数を算出した。下流側流況は、図6に示す流況観察位置より確認した。

① 流況確認

バルブ開度 100 %、70 %、40 % における下流側流況と既報にて実験を行ったφ80リンクスリーブバルブ試験機との流況比較を図7、8、9に示す。どの流況についても開度毎に直径の異なる中実円形の噴流が配管中心に沿って流れる様子が確認された。

② 流量係数

図10にφ80の試験機と本件にて製作を行ったバルブにおける流量係数の測定結果を示す。低开度域では、試験機と製品の流量係数に乖離はあるものの、本件にて使用する開度80%以降では、試験機に近い測定結果となっている。流量係数にこのような乖離が生じたのは、口径に対するシートリング径の比率が試験機に比べ、本件のバルブの方が小さいことが要因として挙げられる。

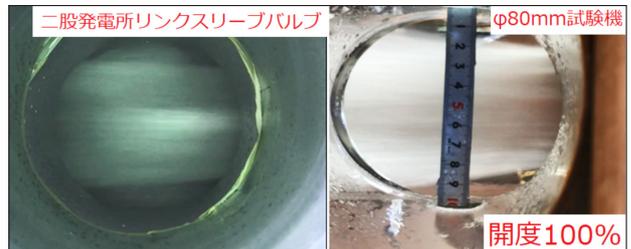


図7 流況比較－開度100%

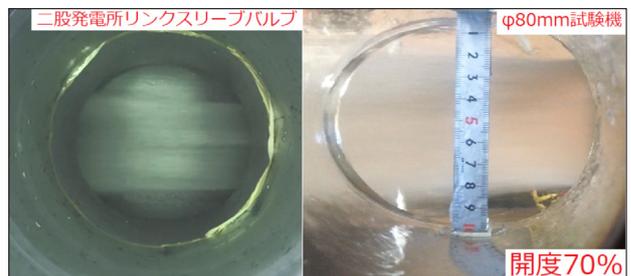


図8 流況比較－開度70%

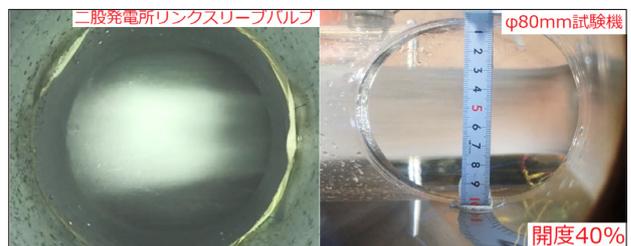


図9 流況比較－40%

本件のバルブは新設される配管径φ 250に合わせて弁箱の設計を行っているが、放流量はシートリング径φ 180で条件を満たすことから、口径よりもシートリング径を小さく選定している。これにより、通常のシートリング径φ 250でバルブを設計した場合よりも必要トルクが低下し、電動機の小容量化並びに内部部品における使用鋼材の低減を実現している。

シートリング径の比率を小さくした場合、シート直前で流路が試験機に比べより狭まり、弁の損失が大きくなることから、低開度での流量係数は低下する。一方で全開付近では、流路が狭まることによる損失の増加よりも、弁箱を配管径φ 250に合わせて設計したことによる弁内流速低下での損失の低下により、流量係数が試験機よりも上昇する結果となった。

7 現地試運転

2023年12月に実施した現地試運転の結果を以下に示す。

(1) 有水作動試験

①弁全開後、直ちに閉操作を実施

②弁全開後、数分保持した後、閉操作を実施

上記2パターンの動作試験において、いずれも異常な振動や騒音は確認されなかった。また、空気管からの水の吹き出しもなく、問題なく給気が行えていることを確認した。

(2) 開閉時間測定

現地有水条件下でのバルブ開閉時間を測定し、全閉から規定放流量に達するまでの時間が約6.7秒、全閉から全開までの時間が約7.4秒であることを確認した。特に設計条件である規定放流量達成時の開閉時間では、弁の発生トルクや使用圧力から算定した当社設計値が6.8秒であるのに対し、実測値は6.7秒と、ほぼ一致する結果となった。

(3) 運用確認

水車ガイドベーンとの連動した運用では、噴流が減勢工に衝突した際の微小な振動および騒音が確認されたが、弁本体については7(1) 有水作動試験の結果と同様に異常な振動・騒音は確認されず、良好であった。また、以下の通り放流量の測定を行い、規定放流量および最大放流量を満足することを確認した。

①規定放流量達成開度

弁開度 : 87 %

上流側圧力 : 1.61 MPa

放流量 : 0.785 m³/sec

②全開

弁開度 : 100 %

上流側圧力 : 1.61 MPa

放流量 : 0.897m³/sec

8 まとめ

当社にて開発したリンクスリーブバルブについて、二股発電所での試運転の結果を報告した。二股発電所における設計条件は、圧力・流速共に一般的な水道弁では対応困難なものとなっており、且つ素早い開閉動作を求められる点から、当該バルブの使用が適していた。現地試運転では、異常な振動および騒音は確認されず、放流性能等が良好であることを確認した。

また今回、二股発電所における水車入口弁も当社製のものを納入させて頂いている。更に当社では、放流弁よりも上流に設置される弁である鉄管弁にも力を入れていることから、今後水力発電バルブのトータルサプライヤーを目指すともに安心・安定したダム設備の操業への貢献を目指す。

参考文献：

- 1) 松原圭佑、永瀬敦史、佐藤隆宏、米澤宏一、下田賢文、野口尚史、平田勝哉：クリモト技報71号 リンクスリーブ弁の放流特性に関する実験的研究
- 2) 社団法人 土木学会：水理公式集
社団法人 土木学会（1985）pp.319

執筆者：

和田太門

2020年入社

バルブ設計に従事



松原圭佑

2015年入社

バルブ設計・開発に従事



丸田康平

2002年入社

バルブ設計・開発に従事

