

平成29年度

留萌ダム管理用水力発電設備の運用について

留萌開発建設部 留萌開発事務所 留萌ダム管理支所 ○西東 伸
大西 公彦
藤田 勇

留萌ダムの管理用水力発電設備は既設ダムの完成後に設備を整備し、平成29年7月より本運用を開始している。

本発表は試験及び運用段階に発生・判明した事象についてとりまとめ、同様に既設ダムに管理用水力発電設備を後付け施工する際の設計・施工に資することを目的とするものである。

キーワード：設計・施工、事業評価

1. はじめに

留萌ダム（以下「本ダム」という。）は平成22年4月に管理開始した治水、利水機能を有する特定多目的ダムである。当初利水放流ではダムの落差エネルギーは未利用のまま放流していたが、その後管理用水力発電設備について導入検討・設計¹⁾²⁾及び施工³⁾を経て整備し、有水試験を経て平成29年7月より本運用を開始している。

一般には、管理用水力発電設備についてはダム本体の設計段階で費用便益（以下「B/C」という。）を評価の上で導入検討し、整備が有効と判断された場合ダム本体と一括整備するものであるが、本ダムでは経済産業省の再生可能エネルギーの買取制度の成立後に再度導入判断を行いダム本体の運用開始後に整備したため、本体と同時施工の場合は発生しない問題が生じた。

本発表は試験及び運用段階に発生・判明した事象についてとりまとめ、同様に既設ダムに管理用水力発電設備を後付け施工する際の設計・施工に資することを目的とするものである。



写真1 管理用水力発電設備

管理用水力発電設備として、発電電力量からダム管理支所での消費電力量を除いた余剰分を北海道電力株式会社（以下「北電」と記載する。）へ売電している。また、既設の非常用予備発電設備（ディーゼル）に加えて整備することで、非常用電源の二重化にも寄与している。

2. 管理用水力発電設備の概要

本ダムの管理用水力発電設備の概要は、以下の通りである。

表 1 管理用水力発電設備 概要

発電出力：最大194kW(有効落差 18.40m)
使用水量：最大1.4m ³ /s
水車形式：横軸フランシス水車
発電機形式：同期型発電機
導水管：SUS304 φ900
発電制水設備：高圧スライドゲート 1門

3. 試験・運用段階で生じた事象と考察

(1) 有水試験時期の設定

水力発電設備の試験段階では、複数の使用水量の条件で試験運転を行い、想定通りの発電が行えるか試験する必要がある、これを有水試験という。一般にダム本体と同時施工で水力発電設備を整備する場合、発電機設置の工期を竣工時期から余裕を持ってとれていればダム本体の湛水期間に合わせて水力発電設備の試運転が可能である。

一方、本ダムは既に運用中のダムであるため、貯水位や放流量を制約なしに自由に設定することは出来ない。今回の試験段階においては、事前に例年の流入データを元に貯水位を想定し工程を策定していたものの、想定よ

り融雪時の出水による水位上昇が急だったため特定使用水量での試運転が出来ず、結果として融雪期終了後の運用開始となった。具体的には、3月から5月までの水位変動内を見込んで試験期間としていたところ、基準水位の有水試験は延期せざるを得なかった。

以下に当初の想定水位と実際の水位変動、試験実施時期を示す。

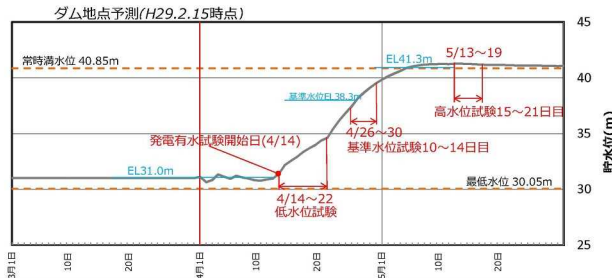


図1 当初想定水位

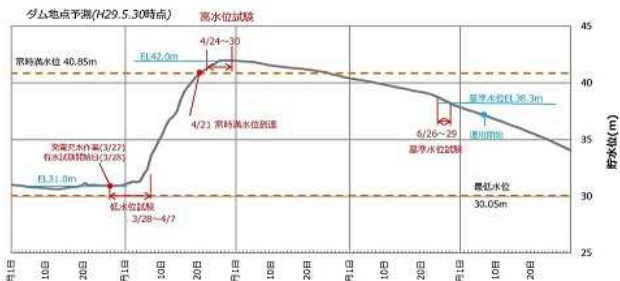


図2 5月30日時点の実水位(以降は予測値)

今回本運用開始時期を延期できたため問題とはならなかったが、対外説明等で開始時期が指定されている場合には、これらの水位変動リスクを充分に見込んだ試験期間を確保していなければならない。

(2) 取水口の異物流入防止対策の追加

本ダムの利水目的は当初は留萌市の上水道のみであり、管理用発電設備を設置する予定はなかったことからそれに見合った取水口の異物流入防止対策としていた。具体的には、取水口前には網場及びブスクリーンで流木等の異物を防ぐ構造である。大きな流木等は網場及びブスクリーンで防護するが、細かな枝等についてはそれらで止まらない場合は自然流下する構造である。



写真2 網場及びブスクリーン

しかし、管理用水力発電設備の設置に伴い従来は問題

とならなかった寸法の異物でも設備の稼働に支障となることが判明した。具体的には、従来のスクリーンは発電設備等の設置を考慮していなかったため、コスト削減のためスクリーンの間隔は88mmとなっていたところ、管理用水力発電設備の許容できる異物のサイズは20mm以下であるため、追加対策の必要が生じた。

これについては、本来はスクリーンの間隔を狭めて更新すべきであるが、多大な費用がかかり、また工事も大規模になることから、スクリーンの前に15mm間隔のポリエチレン製メッシュを追加することで対応する予定である。

今回は上記対応とするが、耐久性を考慮するとスクリーンの間隔を狭めた方が恒久的な対策となるため、更新時期に仕様を変更して製作する必要がある。ただ、ステンレス製の制水スクリーンであるため耐久性が高い分、更新時期はかなり長期経過後と見込まれ予定は立っていない。また追加するメッシュの劣化・損傷により施設に影響が生じる恐れがあるため、定期的な経過観測も必要と考えられる。

(3) 発電放流口の位置の設定

本ダムの管理用水力発電設備の発電放流口は、既設の利水バルブの放流口からは離れた位置にある。これは設計段階で下流側の現在の位置に設置することでより多くの発電が見込まれたためである。

しかし、この位置に設置したことで既設利水放流口からの距離が開いてしまい、この区間でも下流放流制限を守る運用とせざるを得なくなった。後述する既設ダムコンの課題と合わせて、効率的な発電の制約となっている。

(4) 既設ダムコンの追加改修と今後の課題

本ダムのダムコンはダム運用開始前から整備されているため設置後9年を経過し、更新時期が近づいている。制御・監視対象は当初から整備されている利水設備であり、水位が変動しても利水設備の放流量を一定に保つ機能はある。基本的に毎分ごとに収集される水位・放流量により放流量の再計算を行っている。

今回の管理用水力発電設備の整備に伴い、管理用水力発電設備の起動及び停止、稼働状況の監視や記録を行う監視端末装置を設置した。この端末は既設ダムコンと警報発報や発電使用水量等の通信を行っている。

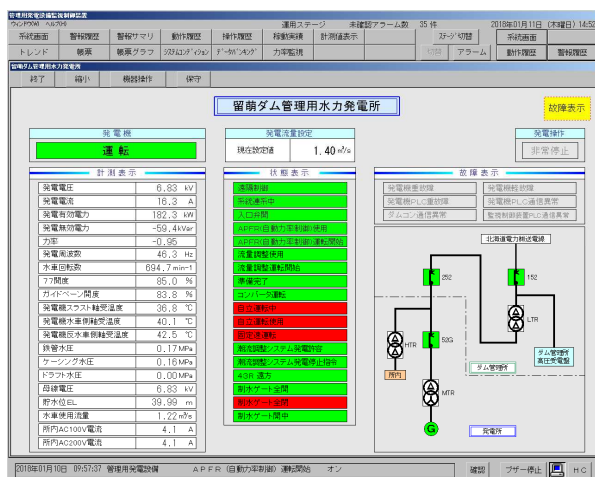


写真3 監視端末装置画面

既設ダムコン側としては、新たに利水放流する設備が増えたことになるため、それらを取り込むための改修が必要となった。ただ、ダムコンの制御のタイミングを考慮せずに稼働し、その動作により放流量が変化する管理用水力発電設備に対して、既設ダムコンの放流量再計算は管理用水力発電設備の稼働状況等を監視せずにあくまでも毎分ごとであるため、発電使用水量が発生してもただちに放流量の再計算を行うわけではない。これは、ダムコン側で自動放流量設定を行っていても管理用発電設備が稼働したタイミングによっては下流放流量制限を超過することが起きうるといことである。

また管理用水力発電設備の起動・停止はあくまでも既設ダムコンではなく監視端末装置で行うが、発電使用水量の設定はダムコンで行い、またダムコンで誤って発電使用水量を大きく設定してしまった場合でも警報表示等ではなく発電使用水量で発電してしまうため、誤りを招きかねず制御や操作が煩雑となってしまっているほか、放流量増加制限を考慮した動作となっている既設ダムコンと違い、現状管理用水力発電設備の動作はそれらを考慮していないため、職員による細かな発電水量や利水放流量の設定変更が必要となっている。

具体的には、本ダムの全放流量は以下の通りとなる。

$$\begin{aligned} \text{全放流量} &= \text{利水主バルブ放流量 (ダムコンで制御)} \\ &+ \text{発電使用水量 (ダムコンで水量設定し、監視端末装置で起動・停止を制御)} \end{aligned}$$

ダムコンと管理用水力発電が一括整備されていた場合、たとえばダムコン側で利水放流量が一定になったあとで管理用水力発電を自動起動するような制御を作り込むことは可能であつたらうし、下流放流量制限を守りながら徐々に設定していた発電放流量へ増やしていくような制御も可能であつたものと考えられる。また、毎分単位の再計算によるゲート制御ではなく、管理用水力発電設備の放流量と連動したより細かな制御とすることで下流放流量制限を守りながら徐々に放流量を増加させることも

可能である。一方で、それらの機能を9年前のダムコンに追加実装することは荷が重く、それらを追加しても数年後にダムコン更新でそれらの機能を再度実装するなら余計な費用がかかり、B/Cを悪化させる原因となる。

本ダムでは既設のダムコンの一部機能改修(ダムコン側での最大発電放流量設定、発電放流量の取り込みと毎分ごと再計算による自動放流量設定機能の追加等)で対応し、下流放流量の制限を超えないよう職員の注意で運用をしており、将来的なダムコン更新の際に機能追加で発電放流量を増やしても下流放流量制限を犯さないよう放流量を調節するシステムを改修することを考えているが、管理用水力発電設備追加時にダムコンの更新も迫っている場合は、当初からダムコンの更新も合わせて行い、管理用水力発電設備を運用しても下流放流量制限や、発電可能範囲内での発電使用水量を常に守るような安全なシステムの構築をはかることが望ましい。

具体的な運用例を挙げる。本ダムの放流量増加制限は下記の通りである。

表2 留萌ダム 放流量増加制限表 (10分)

放流量 (m ³ /s)	放流量増加制限 (m ³ /s)
0m ³ /s~1m ³ /s	0.1m ³ /s
1m ³ /s~10m ³ /s	1m ³ /s
10m ³ /s~16m ³ /s	1.2m ³ /s
16m ³ /s~20m ³ /s	1.5m ³ /s

本ダムの管理用発電設備は、最小発電使用水量は0.3m³/sであり、これを10分で増やすためには事前に利水バルブで1m³/s以上を放流していなければならない。後述する北側発電停止信号からの発電設備再稼働の際は、これにより利水バルブの操作が伴うことからダム職員の操作が必要であり、再稼働には時間が必要な上に一時的に未活用の放流を行う必要が生じてしまう。

一方、ダムコンと高度に連動していれば、利水バルブからの放流が0.3m³/sを越えた時点で発電設備の自動稼働が可能になるものと考えられる。

(5) 再生可能エネルギーの固定価格買取制度終了後の管理用水力発電設備の更新検討

本ダムの管理用水力発電設備は通常の設計条件ではB/Cが見合わないため当初整備されなかったが、再生可能エネルギーの固定価格買取制度⁴⁾が施行されたことで整備されたものである。ただし、固定買取制度は適用期限があり、本ダムの場合受給開始後240ヶ月(20年)後の平成49年4月に固定買取価格の適用が終了となる。

また点検や予防保全を適切に行うことで実際にはそれ以上使用可能となる場合も多いが、基本的に電気事業用以外の水力発電設備は20年で耐用年数上の寿命を迎える⁵⁾ほか、付随する受変電設備も概ね類似する年数で更新時期となることから、固定価格買取の適用終了にあわせて大きな固定費の発生が懸念される。

そのため、更新時期が近づいた際に改めて発電量の実績なども勘案しつつ更新設計を行い、設備を廃止すべきか付随設備も更新しつつ運用を続けるか判断する必要がある。

(6) 発電量を増やすための貯水位の管理

本ダムの管理用水力発電設備において、貯水位から導かれる発電可能な範囲は下記の図で表される。

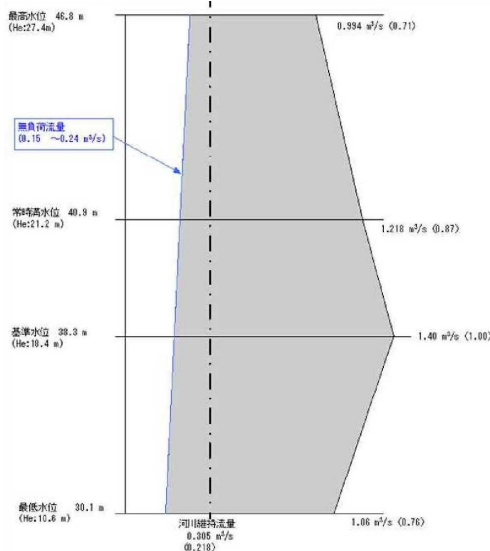


図3 貯水位-発電量相関図

水力発電は同じ使用水量でも有効落差が高い場合はより多くの発電を行うことができる。この図からは、貯水位の高い状態では1.4m³/sを使用しなくても最大出力で発電できること、逆に基準水位38.3mを境に、発電水量を上限まで使用しても最大出力は出せないことが読み取れる。低い水位の際に水力発電設備の発電範囲を超える発電水量を流すことは故障の恐れがあるためひかえる必要がある。

従来の本ダムのダム水位管理はかんがい目的等はなく主に治水を目的としたものであり、洪水期制限水位以外は制約が少なかった。今後効率的な発電を行うにあたり、可能な限り治水用途に影響がない範囲で貯水位を高く保つ運用が必要と考えられる。

(7) B/C算出時の注意点

本ダムの管理用水力発電設備は、残念ながら今年度は当初想定発電・売電を行えていない。これは平成29年の夏期に大洪水が発生したため、それにより大幅に流入量が低下し、貯水率が3%台となるまで悪化したことから貯水位を回復する必要があり、発電に使用できる水量が制限されたためである。しかしこれは運用予定期間の長期のスパンで考えれば起きうることで、設計段階でも10ヶ年分の流入量資料を整理して検討しており、ある程度見込んでいるものである。

一方で、設計段階の検討資料では考慮されていなかった

要素が運用にあたり発覚した。このことは類似の設備でB/Cを正確に算出するにあたり問題となるため注記する。

1) 発電停止期間の発生による発電・売電量の低下

本ダムの事業計画時に経済性評価のために使用した算出式は以下の通りとなる⁹⁾。

$$\text{妥当投資額} = (\text{年効用額} - \text{年経費}) \div (\text{資本還元率} \times (1 + 0.4 \times \text{建設中平均利率} \times \text{工期}))$$

また、費用便益法による算出式は以下の通りである。

$$\text{費用便益} = (\text{年効用額} - \text{年経費}) \times \text{設備運用期間} \div \text{総工費}$$

ここで、年効用額は発電に応じて得られる受益分で、

$$\text{年効用額} = \Sigma (\text{売電量} \times \text{売電単価} + \text{ダム電力消費量} \times \text{北電購入電力単価相当額})$$

である。これらは時期毎の発電使用水量や水位の変動による発電効率の低下などを見込んだ発電量を、時期毎のダム電力消費量と売電量に分けて算出するものである。

管理用水力発電設備で発生した電力は北電の配電線路を利用して売電を行っているが、この経路上の電力許容量を超える恐れがある場合や、経路内で事故が発生した場合に北電からの発電停止信号を受けて送電を停止する協定となっている。

これは協定上季節や本ダムの発電状況に関係なく年30日程度を見込むこととなっており、実際に7月の運用開始から12月末時点で発電停止信号は計61回発報されており、1日に複数回あることもありのべ日数としては計37日発生している。停止信号は場合によっては数時間程度で復旧することもあり、北電からの停止信号が有効な時間としては164時間（6日20時間）20分となっているものの、勤務時間外や休日に発電停止信号を受けた場合、発電設備の再起動は翌勤務日の始業時となる運用としているため、発電停止信号を受け、再度発電可能となる時間よりも実際に停止している期間は長くなる。発生状況としては荒天時に発電停止信号が多い傾向はあるが、事前に発生を予測することはできない。

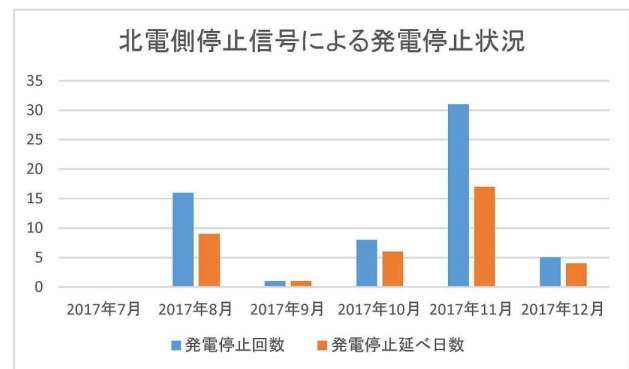


図4 北電側停止信号による発電停止状況

また、設備の保守点検を行う際も、点検項目によっては発電設備を停止させた上で行う必要があるため、これを見込む必要がある。これは制水ゲート・発電設備双方に発生するため、点検日を可能なら調整することで短縮できるが、停止日を0にすることはできない。

これらを考慮すると、概ね年30日から36日程度は発電設備の停止が発生することが想定され、これは年効用額を1/12から1/10程度悪化させる要因となる。発電可能日数の算出では自己都合による発電不可日数や設備点検等は考慮するよう記載はあるが、電力会社側からの売電不可という状況は想定されていないため、今後同様の協定を結ぶ設備では必ず発生するものとして見込むべき項目であり、導入検討の際は適切に考慮されているか注意を要する。

2) 年経費の適切な算出のための点検費の考慮

運用コストを見込むに当たり、設備の点検費は毎年発生するものであり適切に算出することは重要である。しかし、水力発電設備は設備規模や方式ごとに点検内容及びそれに伴う費用が異なり、また全省的に標準歩掛を算定するための設備数がないため、国土交通省の電気通信関係の設備点検基準及び標準歩掛⁷⁾では水力発電設備は現在策定されていない。また、ダム技術の論文⁸⁾では年経費のうち修繕費の算出式の記載はあるが、点検費の記載はない。しかし設計・運用時には必要経費として適切な額を見込む必要がある。

また、水力発電設備に限らず発電設備は、通常の年点検の他に数年に1度精密点検としてより詳細な点検を行うことで設備を安全に保っている。これは数年ごとに点検費の多い年が発生するということである。

これらについては、国土交通省の標準歩掛がない以上実際に保守点検を発注する際においても見積による策定を行う必要があるため、設計時に設備の規模及び水車形式が決定された時点で、製作実績のある製造会社に設備費と共に年点検・定期点検費も見積算出依頼をした上で、運用想定期間(3.(5)で前述の通り、例えば20年間を想定等)に見込まれる額の総和から1年分として割り戻した値を年経費として適正に見込むべきである。また、それとは別に発電取水ゲートの機械的な点検費用も計上する必要があり、これらが漏れなく成果品の年経費に含まれているかの確認を行わなければならない。

4. おわりに

本発表は留萌ダムの管理用水力発電設備の試験及び運用段階に発生・判明した事象についてとりまとめ、考察した。管理用水力発電設備のみならず、運用中のダムに追加で利水設備等を整備する際には同様の問題が生じると考えられるため、事前に十分な検討を行うことで手戻りや高価な追加費用などの生じない効果的な設計・施工が行えることを祈念して本発表を終える。

参考文献

- 1) 第58回北海道技術研究発表会発表文
「留萌ダム管理用小水力発電設備導入について
—検討から設計まで—」(平成26年度)
- 2) (株)ドーコン
留萌ダム管理用小水力発電設備設計業務
業務成果品(平成25年度)
- 3) 第59回北海道技術研究発表会発表文
「留萌ダム管理用小水力発電設備工事について
—機械設備製作から据付まで—」(平成27年度)
- 4) 経済産業省 資源エネルギー庁 Web ページ
なっとく！再生可能エネルギー 固定価格買取制度
http://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saiene/kaitori/
- 5) 国税庁 Web ページ
耐用年数の適用等に関する取扱通達の付表
付表10 機械及び装置の耐用年数表
<https://www.nta.go.jp/shiraberu/zeiho-kaishaku/tsutatsu/kobetsu/sonota/700525/fuhyou/10.htm>
- 6) 新エネルギー財団
中小水力発電ガイドブック p.212
- 7) 国土交通省 Web ページ
電気通信関係積算基準等
<http://www.mlit.go.jp/tec/it/denki/densekisanki.jun.html>
- 8) ダム技術センター
「ダム管理用水力発電計画を作成する場合の基本的な考え方について(建設省河川局開発課)」
ダム技術 No.100(1995年) p.90-92