

川上ダム管理用水力発電の設計検討

後 雄貴

独立行政法人水資源機構 川上ダム建設所 機械課 (〒518-0294三重県伊賀市阿保251)

川上ダム建設に伴い、ダムから平常時に放流される河川維持流量及び利水補給量を利用した管理用水力発電の導入を検討した。川上ダムにおける水力発電の条件として、ダム地点からの取水に加え、ダム上流地点からの流入水バイパスによる取水が行われることから、異落差、異流量の2つの利水放流を使って最適な水力発電を検討する必要がある。また、水力発電所建屋の敷地面積が非常に狭く、省スペースでいかに効率良く発電が行えるかの検討も行った。

本論文では、管理用水力発電の設計にあたり、各種条件から最も適切な水力発電の方式や水車タイプの採用に加え、災害時での非常電源としての活用等について報告するものである。

キーワード 水力発電, 両掛水車, 再生可能エネルギー, 省スペース化

1. はじめに

川上ダムは、淀川水系木津川の支川である前深瀬川に建設中の重力式コンクリートダムで、洪水調節、新規利水、流水の正常な機能の維持を目的としている。2019年（令和元年）9月より堤体コンクリート打設を開始し、2023年（令和5年）4月からの管理開始に向けて、現在、堤体コンクリート打設や基礎処理等の施工、ゲート設備の据付を行っている。今後は管理棟や電気通信設備の工事も予定されている。川上ダムではダムの建設に合わせて、管理費縮減と地球環境の保全に寄与することを目的として、利水従属による管理用水力発電設備を新設する。川上ダムでの管理用水力発電において、最適水車型式の選定、発電規模の選定等を行い、経済的かつ合理的な設備設計を検討した。また、東日本大震災で発生した長期停電を想定し、非常電源として水力発電によるダム管理所の電源供給を行えるように検討を行った。今回検討した管理用水力発電の設計内容について取り纏めたので、報告するものである。

2. 設計諸元

(1) 発電使用用水の基本条件

発電に使用可能な用水は、川上川上流の取水堰から取水し、バイパス管を利用する「流入水バイパス系統」とダム直上流の選択取水設備から取水し、利水放流管を利用する「利水放流系統」がある。

水力発電系統図を図-1に示す。設計時における発電使

用用水の基本条件は次のとおりとする。

- ・流入水バイパス系統、利水放流系統の両設備より取水した用水を活用して発電するものとする。
- ・両設備から取水した用水は混合することなく、それぞれの水車にて放流することとする。

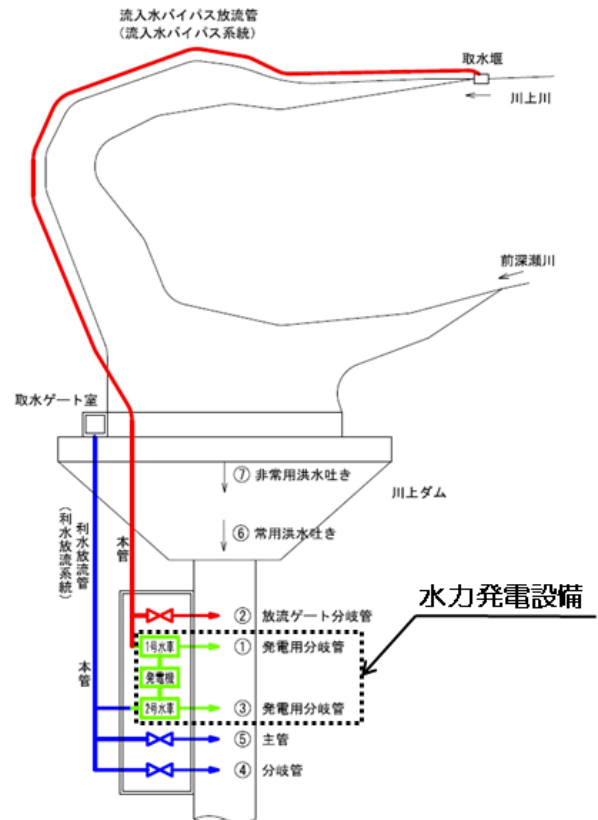


図-1 水力発電系統図

(2) 基本諸元

各系統の基本諸元は次のとおりである。

a) 流入水バイパス系統

最高取水位 EL.276.90m
 最低取水位 EL.275.55m
 水車口径 φ400mm

b) 利水放流系統

最高取水位 EL.262.00m (常時満水位)
 最低取水位 EL.249.54m (10年間の最低水位)
 水車口径 φ600mm

3. 最大使用水量と水車型式の検討

(1) 発電使用水量の検討

2003年(平成15年)～2012年(平成24年)までの10年間の流況曲線から、年間で使用できる発電範囲を考慮し、比較検討する最大使用水量を選定する。「最大使用水量は、水路式発電ならば平水量程度、ダム式ならば豊水量程度をとる。」^りとの条件より、

a) 流入水バイパス系統 (図-2)

水路式発電のため、最大使用水量は平水量0.6m³/sを挟む、0.5～1.2m³/sまで0.1m³/s間隔で検討を行った。

b) 利水放流系統 (図-3)

ダム式発電のため、最大使用水量は豊水量1.3m³/sを挟む、0.8～1.7m³/sまで0.1m³/s間隔で検討を行った。

(2) 適用水車型式の検討

使用水量、有効落差より適用可能な水車型式を選定する。適用可能な水車は、①横軸フランシス水車、②クロスフロー水車、③ターゴインパルス水車となるが、ターゴインパルス水車は、予定している発電建屋内での配管切り回しが困難であり、外形寸法が大きくスペース的に設置が困難なため、検討対象からは除外した。

(3) 最大使用水量と水車型式の選定

3. (1)で検討した流量毎に横軸フランシス水車とクロスフロー水車採用時の損失落差を計算し、総落差より損失落差を差し引いて、有効落差を算出した。

管理水力発電を設置する場合の判断基準は、妥当投資額(B)が発電施設建設コスト(C)を上回っていることが前提となるため、積み上げた工事費用と想定される発生電力量を用いて経済比較を行った。

各ケースにおける単位発電量当たりの建設単価が最も安価になるケースを選定する。

a) 流入水バイパス系統

図-4のとおり、建設単価が最も低くなる「横軸フランシス水車、最大使用水量 = 0.8m³/s」を選定する。

b) 利水放流系統

図-5のとおり、建設単価が最も低くなる「横軸フランシス水車、最大使用水量 = 1.1m³/s」を選定する。

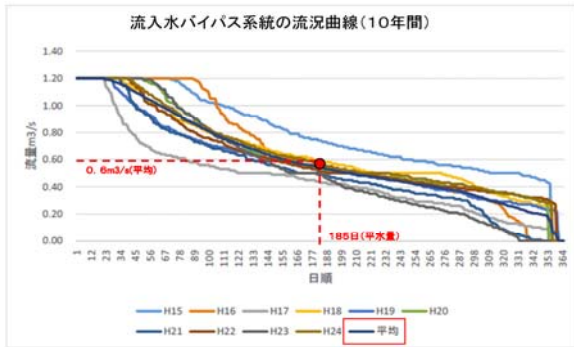


図-2 流入水バイパス系統の流況曲線(10年間)

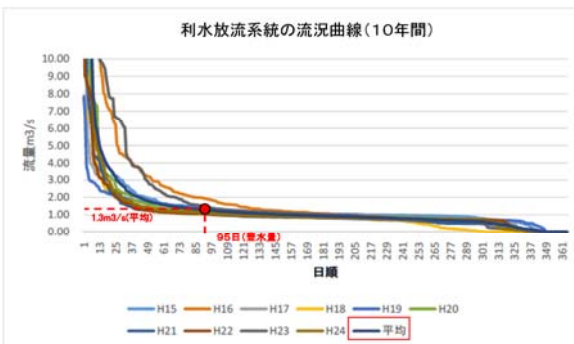


図-3 利水放流系統の流況曲線(10年間)

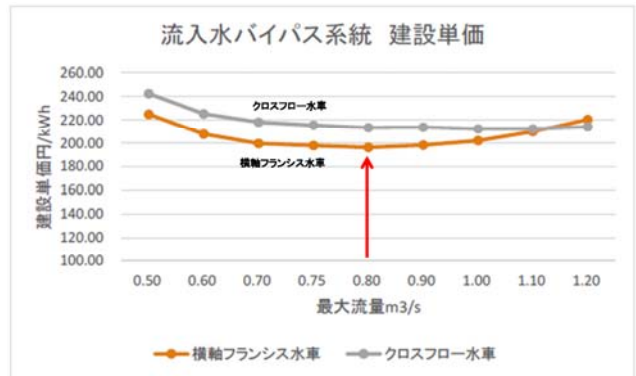


図-4 流入水バイパス系統 建設単価

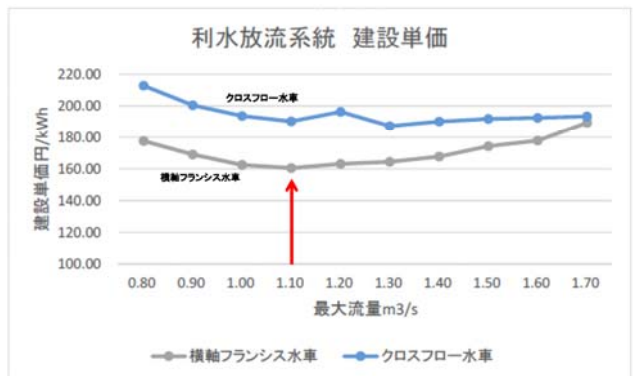


図-5 利水放流系統 建設単価

4. 水車・発電機構成の検討

川上ダムでは水車を2台設置する計画であるが、発電機構成は2台設置する構成の他に発電機1台を共有する両掛水車が考えられるため、水車・発電機の構成について検討する。

(1) 発電機の形式検討

発電機には、①同期発電機、②誘導発電機、③永久磁石発電機の3種類がある。

本設備の発電機は停電時に自立運転が容易に行え、低コストである同期発電機を選定する。

(2) 両掛水車の特徴

両掛水車の長所と短所は次のとおりである。

a) 長所

- ・ 流況に応じて、片輪又は両輪での運転が可能。
- ・ 両輪運転時の異落差、異流量に対しても適応性が高く、広い運転領域のため、効率良く発電が可能。
- ・ 発電機が1台で済むため設置スペースが縮小でき、建設費コストが安価(発電機2台構成時と比較し約7%程度縮減可)となる。

b) 短所

- ・ 空転側の水車の温度上昇を防止するため、冷却水供給部が必要となる。
- ・ 水車と発電機が共通の軸で接続されているため、水車及び発電機の点検時は両系統とも発電が行えず、保守時の停止期間が長くなる。
- ・ 片輪運転時は風損のため、両輪運転時よりも約2.5%程度効率が低下する。

(3) 両掛水車の採用

発電機を2台設置する構成の場合、発電建屋のスペース確保がかなり厳しく、水車1台に対して発電機1台の構成とし発電機の配置を検討した結果、2系統で計画していた水力発電のうち、片方をあきらめざるを得ないことが判明した。今回、両掛水車により発電機を1台構成とすることで、設置スペースの縮小を図り、2系統での発電を実現することが出来る。

両掛水車は通常水車手前で1条の水圧管を2条に分岐し運用するタイプが多く、川上ダムのような異落差、異流量の両掛水車の導入例は少ないが、他ダムの管理用発電設備として実績があることがわかった。

設置スペースの制約条件から2系統での発電を実現させるためには、両掛水車による省スペース化が不可欠であり、建設コストも若干縮減できることから、両掛水車による発電方式を採用することとした。

5. 川上ダム管理用水力発電設計結果

これまでの設計検討により決定した最終的な川上ダム管理用水力発電の諸元を表-1に示す。

6. 経済性評価

経済性の評価として、水資源機構内の統一した考え方である費用対効果=B(妥当投資額)/C(建設コスト)は、約1.2となりB/Cが1を超えていることが確認できた。これは売電単価を電力会社からの買電単価とした場合の計算結果である。川上ダムの水力発電は固定価格買取制度(以下、「FIT」という)を適用予定であるため、当初20年間の余剰電力の売電単価は29.00円/kWhとなる予定であり、FIT単価で試算した場合のB/Cは更に有利となり、十分な経済性が見込まれることが確認できた。

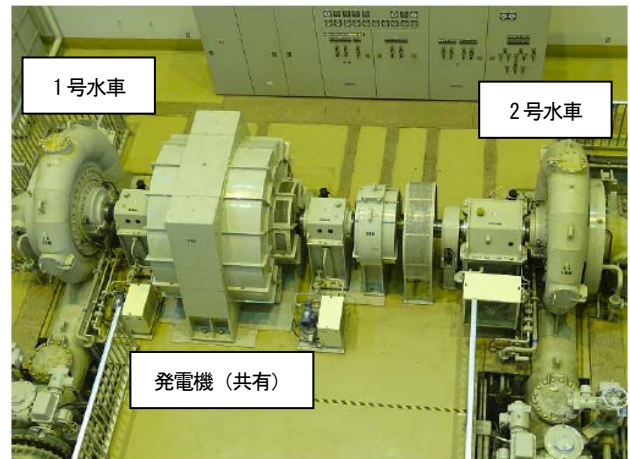


写真-1 両掛水車 (奥木曾発電所)

表-1 設計した諸元

項目	1号水車 (流入水パイプ系)	2号水車 (利水放流系)
発電方式	水路式	ダム式
水車形式	横軸二輪単流渦巻両掛フランス水車	
最大発電使用水量	0.80m ³ /s	1.10m ³ /s
最小運転可能水量	0.28m ³ /s	0.46m ³ /s
有効落差	58.90m	53.00m
発電機形式	三相同期発電機	
発電機出力	910kVA	
年間発電量	約4,700 MWh(一般家庭 約1,300世帯相当)	

7. 自立運転の検討

自立運転とは、災害時等において商用電源が長時間停電する場合、ダム管理用電源を自ら確保する目的で発電設備を運用するものである。発電機負荷の変動に対応するため、発生電力を調整する機能又は負荷調整を行う設備を設ける必要があり、次の方法がある。

・ダミー負荷設置

発電機出力と負荷容量の差を可変制御可能なダミー負荷で吸収する方式。ダミー負荷装置は装置内の疑似負荷抵抗器（ダミーロード）により余剰電力を熱エネルギーに変換する。

・フライホイール設置

発電機のはずみ車効果を増強し、負荷変動に対する周波数変動を抑制する方式。

・ガイドベーン調整

ガイドベーンを早く動かすことにより、流量を制御する方式。

ガイドベーン調節により自立運転を行う場合、大きな負荷を投入すると電圧変動が数秒間続き、保護装置が作動してしまう場合が水資源機構内の他ダムの事例としてある。

フライホイール設置では、設置スペースを広く取る必要があり、川上ダムの発電建屋では設置が困難である。

ダミー負荷であれば、発電建屋の屋外への設置が可能である。また負荷追従性、制御応答性に優れ、放流量の維持が可能であることから、ダミー負荷による自立運転方法を採用する。想定される最低放流量時の発電量から、ダミー負荷容量は150kWを選定した。



写真2 ダミー負荷設備（布目ダム管理所）

8. 今後の予定

(1) 各種申請手続き

水力発電の新設時には多くの申請手続きが必要となる。中部電力の系統へ川上ダムの水力発電設備を系統連係するにあたり、中部電力側の系統容量に空きがあるか、変電所側でバンク逆潮流（受電能力を超える電力が事業者等の余剰電力として変電所に流れ込み支障をきたすこと）が発生するかなど事前に検討してもらう必要がある。現在、これらの検討は終わり「接続契約」を結び、中部電力施設の対策工事にとりかかる段階である。今後、中部電力に電気を売電するための「特定契約」を進めている。

経済産業省に対しては、電気事業法に基づき工事開始前に「工事計画書」の提出が必要であるが、ダム本体工事で行う放流路基礎部のコンクリート施工併せて2019年（令和元年）12月に提出をしており、今後は保安規定や主任技術者選任の申請を予定している。また、FITの設備として認定を受けるための「事業計画認定」の申請準備についても今後進めていく。

(2) 工事工程

川上ダム理用水力発電工事は、2019年6月に契約し、工期は2023年3月末までを予定している。今後、機器承諾や製作を行い、2019年下半年から始まる試験湛水において有水試験を行い運転開始となる予定である。

9. おわりに

川上ダムでは2系統の利水放流に対して最適な水力発電設備を検討した結果、ダム下流側の地形的な問題から敷地及び発電建屋内のスペースに限りがあり、今回両掛水車を選定した。両掛水車は水資源機構内では初めて採用される形式の水車であり、管理移行後には運用をしながら実績と管理のノウハウを積み上げていくことになる。

水力発電は、二酸化炭素を排出しないクリーンエネルギーとして地球温暖化対策にも貢献するものであり、管理費の負担軽減にも寄与することに加え、今回自立運転が可能なることから、将来発生が予想されている南海トラフ地震のような震災による長期停電発生時にも確実にダム管理所の電源確保を行えるようになり、水力発電導入の効果は多岐に渡る。

川上ダムではこれから本体工事が本格化し、土木工事と電気工事の調整が増えていくが、遅滞なく水力発電設備工事を進めていけるように努めたい。

参考文献

- 1) 千秋信一(1967),「発電水力演習」P25,学献社