

既設管理ダムへの小水力発電計画について

仲村 喜広¹・平良 真順²

¹ 沖縄総合事務局 北部ダム統合管理事務所 電気通信課長 (〒905-0019 沖縄県名護市大北3-19-8)

² 沖縄総合事務局 北部ダム統合管理事務所 専門職 (〒905-0019 沖縄県名護市大北3-19-8)

地球温暖化の原因となっている温室効果ガス抑制対策に向けて、政府において、省エネ対策の強化に加え、再生可能エネルギーの活用等が重要な課題になっている中、北部ダム統合管理事務所においてもダムにおける未利用エネルギー活用の可能性の検討を行った結果、安波ダムにおいて費用対効果が認められた事から、低炭素循環型社会への推進を目的として、水力発電設備導入を検討し詳細設計を行ったものである。

今回、安波ダムに設置される小水力発電設備の検討結果について報告する。

キーワード 小水力発電ダム

1. はじめに

北部ダム統合管理事務所においては、福地ダムをはじめとして9ダムを管理している。その内、福地ダム及び大保ダムの2ダムは再生可能エネルギー（ダム放流水）を活用して発電を行っている。それ以外のダムについては、発電コストが高く費用対効果が得られなかつたことから再生可能エネルギーの有効活用が図られていなかつたが、近年、地球温暖化対策の一環として「再生可能エネルギー買取制度」が制定されたこと及び近年の技術革新により安価で効率的な発電設備の導入の可能性を検討したところ、費用対効果を満足することから以下を実施方針として詳細設計を行ったので報告するものである。

- ① LCCの低減
- ② 既設構造物への影響軽減
- ③ 施工性確保
- ④ 長期的信頼性確保
- ⑤ 危機管理を考慮



2. 実施方針

(1) LCCの低減

- ①建設費の縮減検討：安価な水車（バルブ水車、インライン水車、リング水車、ポンプ逆転水車及び新技術（NETIS 及び他事例調査））の採用検討。規格配管の採用。
- ②発生電力量の検討：流況及び河川維持用水量に対する水車形式・規模毎の発生電力量を算定する。
- ③維持管理費検討：水車発電機及び関係機器の整備・修繕費用の実績調査と試算を実施する。

④経済性検討：「再生エネルギーの固定価格買取制度」を考慮した全量売電、余剰電力売電の検討を実施する。ただし、固定価格買取制度の適用年数(20年)及び固定価格の契約時点の価格を考慮する。

(2) 施工性及び既設構造物への影響軽減

①導水管経路の検討：既設構造物の改変範囲を極力小さくすること、並びに既設設備の流用の検討を実施。

②施工性検討：堤体下流への発電所設置にあたり、資機材の搬入を考慮した施工計画、仮設計画検討を実施。

(3) 長期的信頼性確保

①将来の機器更新時や修繕等を行う場合の資機材の搬出入及び日常の維持管理の容易性を考慮した設計を実施。

②機器の信頼性や部品の調達性を考慮し、汎用性の高い機器の採用を検討する。

(4) 危機管理を考慮

商用電力停電時の単独運転可能な設計とする。そのため、所内負荷変動への対応方法の検討を行う。

3. 設計条件

(1) 使用する水の系統

安波ダムの水の系統は、図-1に示すように、取水については、利水放流設備系統と揚水設備系統の2系統があり、放流についても福地ダムへの放流（送水）と河川維持としての放流がある。放流（送水）を行うには一度、調整槽・減勢槽を経て福地ダムと河川維持へ放流している。

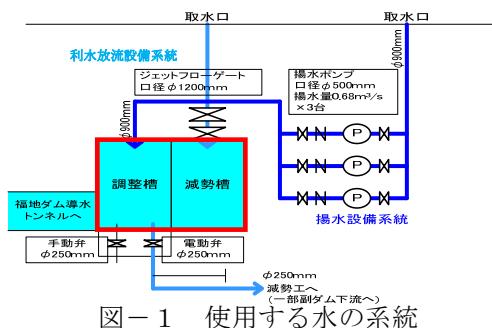


図-1 使用する水の系統

本検討にあたっては、上記の系統のうち、基本的には、利水放流設備系統を使用するものとするが、一部揚水設備系統を利用した検討も行うものとする。ただし、使用する水量は、河川維持用水を使用するものとする。

福地ダムへの放流（送水）する為の導水路トンネルへの水車・発電機設置については、福地ダムへの放流（送水）量が一定量に保てないため水力発電として稼働率が安定しないことから発電効率が著しく悪くなると考えられるため、今回の検討から除外する。

(2) 水位条件

本検討にあたっての水位条件を以下に示す。

常時満水位	EL. 103.50m
最低水位	EL. 65.00m
調整槽水位	EL. 89.00m
放水位	EL. 38.00m
最大総落差	65.50m

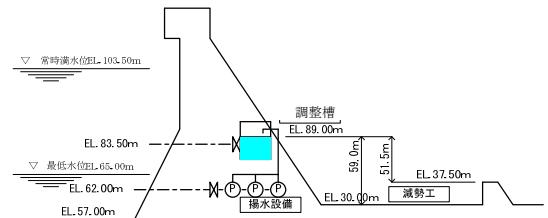


図-2 水位関係模式図

また、過去10年間（平成14年度～平成23年度）のダム管理データより、貯水池の水位変動を図-3に示す。

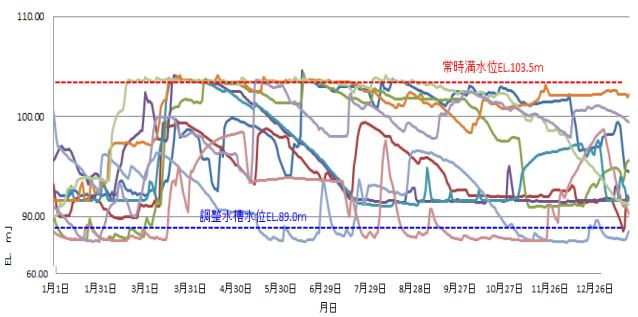


図-3 安波ダム貯水位の変動

本検討にあたっての水位関係条件は以下に示す水位によるものとする。

- ダムの貯水位は、図-3に示すように常時満水位 EL. 103.5m～EL. 90.0m程度の範囲

にあることから、発電用取水位としてダム貯水位を直接利用する場合の基準水位は、常時満水位 EL. 103.5mとする。

- 発電用取水位として調整槽水位を利用する場合の基準水位は、調整総水位 EL. 89.0mとする。
- 放水位は、河川に放流することから副ダム天端標高 (EL. 37.5m) に越流水位 (0.5m) を加えた EL. 38.0mとする。
- 運転範囲は、有効落差に対して 40%水位までとする。

(3) 流量条件

使用流量： 河川維持用水を利用する。

	豊水流量	平水流量	低水流量	渴水流量
発生日 [日]	95	185	275	355
流量 [m^3/s]	1.717	1.07	0.479	0.269

表-1 安波ダム流況データ

※平成 14 年度～平成 23 年度のデータを使用。

表-1 に示すように、過去の流況データにおいては、渴水流量においても $0.269 m^3/s (>0.25 m^3/s)$ であることから、H25 年以降の安波ダム運用上の最大の河川維持用水流量 $0.25 m^3/s$ を使用流量とする。

(4) 施設配置条件

発電設備は、減勢工脇に配置するものとする。

検討ケース①

整流槽より取水し、既設水路に放流し、減勢工および副ダム下流へ放流するものとする。このとき、取水位は、整流槽水位 EL. 89.0m～EL. 87.0m とする。放水庭水位は、既設水路へ放流することから、EL. 46.554m とする。

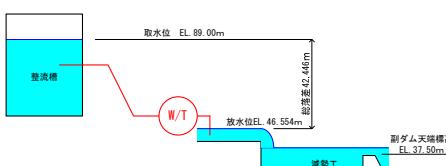


図-4 水位関係図

検討ケース②

整流槽より取水し、副ダム下流へ放流するものとする。このとき、取水位は、整流槽水

位 EL. 89.0m とする。放流庭は、副ダム下流より、EL. 30.00m とする。

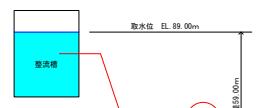
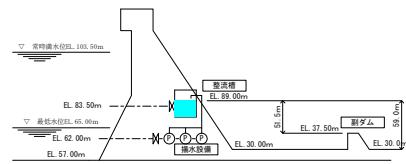


図-5 水位関係図

検討ケース③

利水放流設備空気管より分岐・取水し、減勢工へ放流するものとする。

このとき、取水位は、ダム貯水位（常時満水位）EL. 103.5m とする。

減勢工水位は、副ダム天端標高 EL. 37.50m + 越流水深 0.50m を見込んだ水位 EL. 38.00m とする。

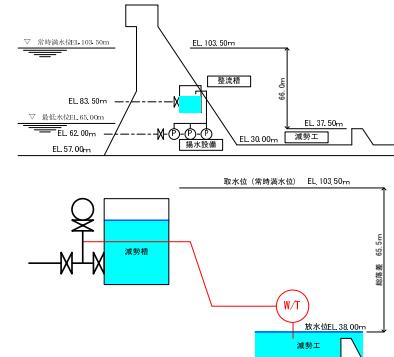


図-6 水位関係図

検討ケース④

揚水設備配管を利用し、減勢工へ放流するものとする。このとき、取水位は、整流槽水位 EL. 89.0m とする。減勢工水位は、副ダム天端標高 EL. 37.50m + 越流水深 0.50m を見込んだ水位 EL. 38.00m とする。

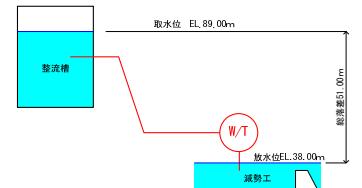


図-7 水位関係図

検討ケース⑤

取水は、減勢槽横壁を貫通配管し、減勢工へ放流するものとする。このとき、取水位は、整流槽水位EL. 89.0mとする。減勢工水位は、副ダム天端標高EL. 37.50m+越流水深0.50mを見込んだ水位EL. 38.00mとする。

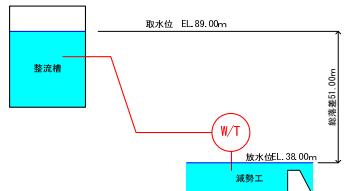


図-8 水位関係図

検討ケース⑥

取水は、揚水設備の取水管を直接利用し、減勢工へ放流するものとする。このとき、取水位は、ダム貯水位（常時満水位）EL. 103.5mとする。このとき、減勢工水位は、副ダム天端標高EL. 37.50m+越流水深0.50mを見込んだ水位EL. 38.00mとする。

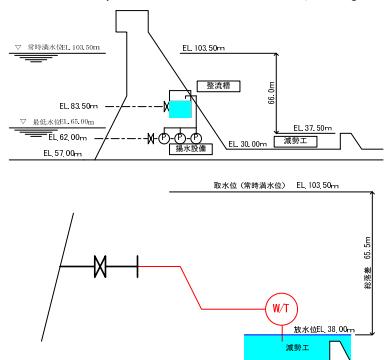


図-9 水位関係図

(5) 発電施設配置比較検討結果

ここでは、余剰電力は売電するものとし、「固定価格買取制度」を活用し、買電単価は、34円/kWh（税抜き）とする。

○経済性（妥当投資指標）；

妥当投資指標においては、ケース⑥>ケース④>ケース⑤

ただし、ケース⑥は、取水口部の水温や堆砂の巻き込み等を考慮した場合、下流河川への影響や水車に対し影響を及ぼす危険性があり、それらに対する対策が別途必要となる。

また、ケース④は、揚水設備の一部配管を流

用することから、同配管へ取水口を繋ぎ合わせの土木作業がやや困難な工事になること等を考慮する必要がある。

一方、ケース⑤では、上記内容を考慮した上で有利であるが、水車の設置位置が減勢工脇の平場（EL. 47.0m）を10m程度、掘り下げて設置する必要があることから、周辺構造物（法面対策法枠、導流壁）への影響や安全な掘削作業が困難と思われることから、ケース⑤の配管ルートを踏襲し、極力掘削を抑えたケース①を採用する。



4. 水車形式の検討

図-10より、使用流量 $0.25\text{m}^3/\text{s}$ 、最大有効落差39.3mより採用可能な水車形式は、①ポンプ逆転水車、②プロペラ水車（インライン式）、③クロスフロー水車である。なお、④横軸 Francis 水車についても、メーカーによっては、対応可能な場合もある為、上記、3形式に加えて検討対象とした。

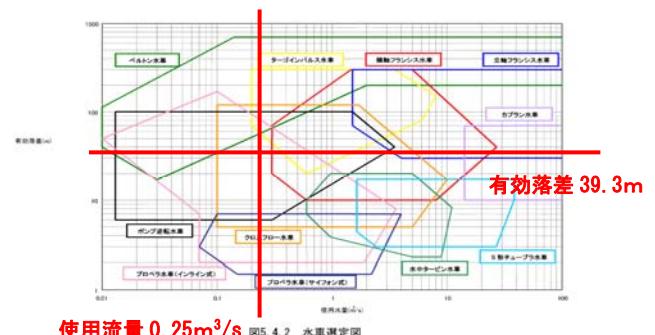


図-10 水車選定図（「ハイドロバレー計画ガイドブック」H17.3より）

ポンプ形式選定に当たっては、経済性に加えて操作性・制御性、維持管理性、施工性、調達性を比較検討に含めて行った。

結果、④横軸 Francis 水車が、最も費用

対効果が高く、操作性・制御性が優れているが、本水車を扱えるメーカーが1社しか無く調達性に難があることから①ポンプ逆転水車を選定する。

項目	単位	①ポンプ逆転水車	②ペペラ水車 (インライン式)	③クロスフロー水車	④フランク水車
1. 使用水量	[m³/s]	0.25	0.25	0.25	0.25
2. 有効落差	[m]	39.3	39.3	38.8	39.3
3. 水車理論出力	[kW]	96.29	96.29	95.06	96.29
4. 水車・発電機合成功率	[%]	73.0	76.0	73.1	80.0
5. 発電機出力	[kW]	72.5	75.5	71.7	79.5
発生電力量	[kWh]	617,100	643,405	611,254	677,493
自己消費電力量	[kWh]	229,000	229,000	229,000	229,000
余剰電力量	[kWh]	388,100	414,405	382,254	448,493
6. 年効用	発電単価	[円/kWh]	34.0	34.0	34.0
発電収益	[千円/年]	13,195	14,090	12,997	15,249
貢電節減額	[千円/年]	3,700	3,700	3,700	3,700
計	[千円/年]	16,895	17,790	16,697	18,949
7. 建設費	建築工事	[千円]	14,100	14,100	14,100
土木工事	[千円]	31,300	31,300	31,300	31,300
電気工事	[千円]	183,500	208,000	187,000	194,000
総経費	[千円]	22,900	25,300	23,200	23,900
計	[千円]	251,800	278,700	255,600	263,300
8. 年間経費	人件費	[千円/年]	0	0	0
維持修繕費	[千円/年]	260	270	250	280
諸費	[千円/年]	550	620	560	580
計	[千円/年]	810	890	810	860
9. 妥当投資額	年効用	[千円/年]	16,895	17,790	16,697
年経費	[千円/年]	810	890	810	860
年効用合計	[千円/年]	16,085	16,900	15,887	18,089
効用合計(20年)	[千円/20年]	321,700	338,000	317,740	361,780
10. 費用対効(20年計算)	[−]	1.28	1.21	1.24	1.37
11. 投資額回収年	[年]	15.7	16.5	16.1	14.6

5. 経済性の検討

経済性の評価方法については、「中小水力発電ガイドブック」において、費用便益法(C/V法)、建設単価法、限界単価法および妥当投資額等が示されているが、ここでは、FIT(固定価格買取制度)の利用を前提としていることから、FIT 対象期間(20年間)において建設費の回収が可能であるか否かについて評価する。売電方法は、余剰電力売電とする。

以下は、ポンプ逆転水車による評価を行ったものである。

(年効用一年間経費) × 20年／建設費

$$= (16,895 - 810) \times 20 / 251,800 \\ = 1.28 > 1.0$$

① 発生電力量

平成14年度～平成23年度の10カ年平均では、510,080(kWh/年)となる。

	平成14年度	平成15年度	平成16年度	平成17年度	平成18年度	平成19年度	平成20年度	平成21年度	平成22年度	平成23年度
4月	38,382.4	42,426.9	43,176.1	42,801.5	43,176.1	43,176.1	43,176.1	43,026.3	41,711.0	42,876.5
5月	43,416.6	43,416.6	44,615.4	44,615.4	44,615.4	44,615.4	44,615.4	44,382.0	30,587.5	44,301.4
6月	39,256.9	43,176.1	43,091.4	42,202.2	42,726.6	42,052.3	43,176.1	37,229.8	35,059.6	42,327.4
7月	37,871.0	44,615.4	44,240.7	44,540.4	44,615.4	44,315.7	43,416.6	42,204.2	44,126.1	44,380.8
8月	44,390.6	44,240.7	43,716.3	44,540.4	44,615.4	43,941.1	44,165.8	42,517.5	44,380.8	43,472.6
9月	42,876.5	42,726.6	41,932.1	43,176.1	43,176.1	42,202.2	38,827.8	40,928.5	42,426.9	43,176.1
10月	44,165.8	44,465.5	44,390.6	41,592.0	43,042.0	44,615.4	43,206.2	39,157.3	34,847.4	44,540.4
11月	43,101.2	43,176.1	41,527.9	40,833.5	41,902.5	43,176.1	41,499.3	41,082.2	43,026.3	43,176.1
12月	44,615.4	43,042.0	43,266.8	41,638.0	44,615.4	44,615.4	44,615.4	44,615.4	44,149.2	
1月	44,315.7	42,292.8	42,568.8	44,615.4	43,191.8	43,042.0	44,615.4	44,615.4	44,615.4	43,767.8
2月	38,874.2	39,938.8	39,398.7	39,773.3	38,199.9	41,587.1	39,024.1	29,038.6	38,858.5	41,482.7
3月	44,446.4	43,416.6	44,446.4	44,446.4	44,446.4	43,266.8	44,034.8	34,772.1	44,446.4	44,022.0
計	505,712.7	516,934.3	516,371.1	514,774.6	518,323.0	520,605.4	514,373.0	483,569.2	488,701.2	521,433.0

表-2 月別発生電力量

② 自己消費電力量

過去の実績より、229,000(kWh/年)とする。

③ 余剰電力

余剰電力は、上記発生電力から自己消費電力量を差し引いたもの、388,100(kWh/年)となる。

④ 年効用

・余剰電力による売電収益

$$\text{余剰電力による売電収益} = 388,100 \times 34.0 = 13,195 \text{ (千円/年)}$$

・自己消費電力料金の節減額

これまで支払ってきた電気料金の実績より、自己消費電力料金の節減額は、3,700(千円/年)とする。

年効用は、余剰電力による売電収益 + 自己消費電力料金の節減額

$$= 13,195 + 3,700 = 16,895 \text{ (千円/年)}$$

⑤ 年間経費

年間経費としては、減価償却費、人件費、借入金利息、維持修繕費、諸費を見込む必要があるが、今回計画では、既設直轄ダムを利用した発電計画であることから、減価償却費、人件費、借入金利息は除き、維持修繕費、諸費を見込むものとする。

・維持修繕費

維持修繕費は、設備の維持・修繕に係わる年間経費であり、「公営電気事業者」の標準修繕費より、

$$\begin{aligned} \text{維持修繕費} &= \text{最大出力} \times 1,182 \text{ (円/kW)} \times 3.0 \text{ (補正係数)} \\ &= 72.5 \text{ (kW)} \times 1,182 \text{ (円/kW)} \times 3.0 \\ &= 260 \text{ (千円/年)} \end{aligned}$$

・諸費

諸費は、通信回線使用料、損害保険料、消耗品などとして、設備費(電気工事費)の0.3%程度を計上するものとする。

$$\text{諸費} = \text{電気工事費} \times 0.3 \text{ (%)}$$

$$= 183,500 \text{ (千円)} \times 0.3 \text{ (%)}$$

$$= 550 \text{ (千円)}$$

⑥ 建設費

建設費は、建築工事、土木工事、電気工事、経費より算定する。

建設費計 251,800 (千円)

6. 水圧管路設計

- (1) 減勢槽側壁から引水し、ダム堤体前面に沿って、減勢工脇の水力発電設備まで導水する経路とする。
- (2) 施工性を考慮してフランジ接合露出配管とする。
- (3) 水圧管路材としては、施工性、維持管理性、信頼性、経済性の観点から下記の管種を比較検討した。

- ①配管用炭素鋼钢管
- ②配管用ステンレス钢管
- ③F R P (M) 管

施工性の面でフランジ接合が可能であり、維持管理性の面で塗装が不用である。また、信頼性の面で多数の実績がある優位性から②ステンレス管を採用する。

7. 建築設計

経済性、施工性の観点から、下記の構造形式を比較検討する。

- ① 鉄筋コンクリート造
- ② プレハブ工法（軽量鉄骨造）
- ③ 在来工法（重量鉄骨造）

規格化・工業化され、かつ安価に資材確保等が図られるプレハブ工法を採用する。

8. 既設ダム制御処理設備の改造設計

既設ダム制御処理設備等の改造方法について、諸条件、経済性の観点から最も妥当性のある改造方法を選定する。安波ダムの河川維持放流操作方式を整理すると図-6のようになる。現行の河川維持流量操作は、下流の基準地点流量を受けて河川維持用バルブを操作する。

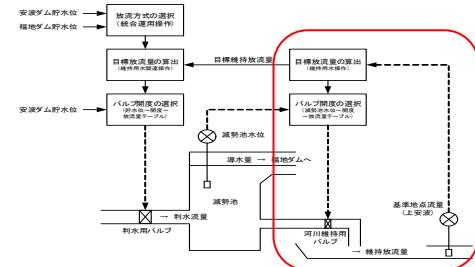


図-6 河川維持放流操作の概要図（現行方式）

基本的にダムコンの制御処理プログラムは改造せず、図-7のようにダムコンの目標維持放流量と同じ流量を水力発電設備から放流する。ただし、水力発電設備に不測の事態が生じた場合、バックアップ放流の為、既設河川維持用バルブを手動操作で行う。ダムコンを改造して水力発電設備の状態監視を行わせ自動制御を行わせる方法もあるが、設備改造コストが多分にかかるため経済性の観点から下記の方法を採用する。

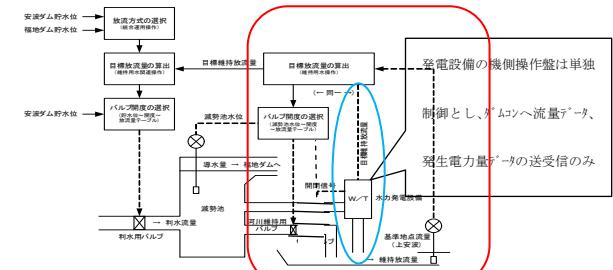


図-7 河川維持放流操作の概要図

9. 今後の課題

施工現場は、狭隘で高低差があり、又、下流からの進入路も無い為、資材搬入搬出には、重機（クレーン等）に頼らざる得ない状況である。施工に当たっては、設備、土木、建築工事の作業工程調整により効率的な重機使用が仮設費に大きく影響するため綿密な工程調整が必要となってくる。