

頭首工における小水力発電のポテンシャルの検討

Review of small hydroelectric generation at head works

○三木昂史*・後藤真宏*・上田達己*・福田浩二*

MIKI Takashi, GOTO Masahiro, UEDA Tatsuki and FUKUDA Koji

1. 序論

再生可能エネルギーの中で比較的安定した電力を供給できる小水力発電は、近年施行された再生可能エネルギーの固定買取価格制度により太陽光や風力などとともに、注目されるようになった。小水力発電の導入場所として、発電に必要な流量や落差が得られるダムや落差工などの農業水利施設に設置される場合が多い。農業水利施設として頭首工は多く存在するものの、小水力発電を実施している例は少ない。そこで本報告は主に設計や水管理の視点から頭首工における小水力発電施設の導入ポテンシャルを既存の頭首工に設置したと仮定して、数値解析により検討する。

2. A 頭首工における事例分析

既存の頭首工に小水力発電施設を増設することを想定して、発電ポテンシャルを評価する。対象とした頭首工（以下、A 頭首工）は中部地方の一級河川の中流にある。A 頭首工における責任放流量、河川維持放流量および頭首工堤体分の落差を用いた発電と想定した。また、水車は発電規模の異なる水車を検討するため、らせん水車とチューブラ水車の2通りで検討し、発電ポテンシャルの算出方法は上田ら²⁾を参考にした。

第一に、大規模な工事を施工せず、河川維持流量 $1.0\text{m}^3/\text{s}$ が放流される舟通しにらせん水車を設置し、その全量のみで発電すると仮定した。有効落差は簡易に設定し、舟通しの落差 3.55m の 0.85 倍の高さで常に一定とする。また、水車の変落差効率と変流量効率は一定とした。

第二に、A 頭首工には舟通しからの河川維持放流量以外にも、一定の放流量が洪水吐や土砂吐からも見込まれるため、これらの水量も発電に使用できると仮定し、チューブラ水車を設置する場合も検討した。頭首工放流量から魚道放流量を控除した差分を下流への放流量と定義し、その全量を発電に利用できる流量と仮定した。なお、最大使用水量を上回る水は洪水吐などから放流する。有効落差は簡易に設定し、取水ゲートの扉高約 5.6m の 0.85 倍として、常に一定とする。水車の変落差効率は一定とし、変流量効率は中小水力発電ガイドブック³⁾に基づき、最大使用水量の 0.15 倍を下回る水量で発電が停止するとした。発電施設のコスト試算は、上田らに基づき、電気関係工事費については中小水力発電ガイドブックに従う。建設単価の定義及び設備利用率 e_{fp} は以下に示す。

$$C_{kW} = Y/P_{\max} \quad (1) \quad C_{kWh} = Y/E \quad (2) \quad e_{fp} = E/(P_{\max} \times 24 \times 365 \times 100) \quad (3)$$

$$E = \sum_i^{365} (P(i) \times 24) \quad , \quad P(i) = 9.8 \times Q \times h \times 0.7$$

ここに C_{kW} は kW あたりの建設単価、 C_{kWh} は kWh あたりの建設単価、 Y は総工事費、 P_{\max} は最大発電量、 E は年間可能発生電力量、 $P(i)$ は発電量、 Q は発電使用水量、 h は有効落差である。総工事費について、発電施設建物、機械装置及び電気関係工事費のみを計上する。設備利用率とは発電施設が有する最大発電能力のうち実際に利用された能力の割合である。

3. A 頭首工における発電ポテンシャルの評価

第一に、らせん水車を設置するケースでは、最大出力 18.2kW 、年間可能発生電力量 159.57MWh

*農研機構 農村工学研究部門 Institute for Rural Engineering, NARO
キーワード：小水力発電，発電ポテンシャル，頭首工，再生可能エネルギー

であった。河川維持流量 $1.0\text{m}^3/\text{s}$ の全量が発電に利用できるため設備利用率はほぼ 100%であり、発電規模は小さいながらも安定した電力を供給できる。

次に河川維持流量以外に洪水吐と土砂吐放流量も発電に利用できると想定して、チューブラ水車を検討する。A 頭首工における 2012 年と 2013 年の下流への放流量とその平均値の流況曲線を Fig.1 に示す。最大放流量は天候により異なるものの、年間を通して下流への放流量はおおよそ等しい。発電規模の最適化をするため、放流量の平均値を算出し、超過放流量 20%から 90%まで 10%毎の最大使用水量の発電ポテンシャルを検討した。

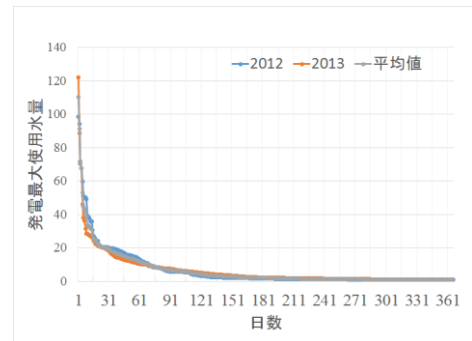


Fig.1 頭首工における流況曲線

Table 1 に A 頭首工における発電ポテンシャルの試算を表す。最大使用水量が増加するに伴い、最大出力も増加する。頭首工では、ダムにおける発電よりも水位が安定するためであると考えられる。また、最大使用水量が少なくなると、最大発電量が減少するものの、安定した発電ができる。つまり、最大使用水量を低く設定すると、①最大使用水量で通水できる期間が長くなり、使用水量の変化量も小さくなるため、水車の変流量効率が低い範囲で発電できること、②水車の停止日数が減少すること、に起因して、設備利用率が増加すると考察できる。

建設単価について、最大使用水量が大きいほど出力あたりは安くなり、発生電力量あたりは高くなる。後藤ら¹⁾による事業実施可能性目安（およそ <150 万円/kW、 <250 円/kWh）を参考に評価すると、50%超過確率流量付近であれば、事業として実施可能になると推察する。ゆえに、A 頭首工で河川維持流量に加えて、発電利用水量を増やすとチューブラ水車も設置可能と考える。「頭首工とともに一技術者の記録」⁴⁾に記載された 107 箇所の頭首工のうち、A 頭首工洪水吐の扉高と同程度以上の高さの頭首工は 2 割程度である。日本では河川や水路に約 2000 箇所の頭首工があり、それらの頭首工で発電に利用できる流量が存在すれば、本報告のように小水力発電が可能である。

4. 結論

本報告では、A 頭首工における発電ポテンシャルを評価した。落差や発電使用水量に制限があるものの、一定の条件下であれば、頭首工でも小水力発電施設を導入及び運営できる。また、河川維持流量に加えて、発電に利用できる流量があれば、チューブラ水車も設置可能と考える。

Table 1 A 頭首工におけるチューブラ水車導入時の確率流量ごとの発電ポテンシャル試算

超過確率流量	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%
確率流量(日)	73	110	146	183	219	256	292	329
最大使用水量(m^3/s)	10.41	7.05	4.925	3.64	2.68	1.735	1.415	1.185
最大出力(kW)	341	231	161	119	88	57	46	39
E (MWh)	1261	1111	930	777	630	461	393	337
設備利用率(%)	42.2	54.9	65.8	74.3	82.0	92.5	96.7	99.1
C_{kw} (千円/kW)	1,075	1,187	1,303	1,411	1,530	1,718	1,814	1,903
C_{kwh} (円/kWh)	2901	247	226	217	213	212	214	219

(参考文献)1) 後藤ら(2012)：土地改良施設を利用した小水力発電計画に関する一考察，農工研技報,212,127-135. 2) 上田ら(2012)：東北地方の農業用ダムを利用した小水力発電ポテンシャルの評価，農工研技報，212，137-156. 3) 新エネルギー財団(1997)：中小水力発電ハンドブック（新訂5版）. 4) 岩村勉(1992)：頭首工とともに一技術者の記録，177p