開放型貫流水車の水制御方法の検討

Investigation of Flow Direction Control Method applied to Open Cross-Flow Hydro Turbine

○ 大池 真悟 (信州大・学) 山崎 正浩 (信州大・学)
正 飯尾昭一郎 (信州大) 正 池田 敏彦 (信州大)

Shingo OOIKE, Graduate School of Shinshu University, 4-17-1 Wakasato, Nagano, JAPAN 380-8553

Masahiro YAMAZAKI, Student of Shinshu University, 4-17-1 Wakasato, Nagano, JAPAN 380-8553

Shouchiro IIO, Faculty of Engineering, Shnshu University, 4-17-1 Wakasato, Nagano, JAPAN 380-8553

Toshihiko IKEDA, Faculty of Engineering, Shnshu University, 4-17-1 Wakasato, Nagano, JAPAN 380-8553

1. はじめに

再生可能エネルギーの一つである水力発電は、長きにわたり日本における電力の安定供給を支える主要電源として利用されてきた。水力発電の更なる利用拡大は、エネルギー分野における「環境貢献」と「安定供給」という二つの使命を果たすうえで、今後更に重要性が増すと考える。国内では、これまでの大規模水力発電から、上下水道や農工業用水といった、インフラに潜在する未利用水力エネルギーを活用した水力発電の取り組みが始まっている。「新たな水利用」としてインフラの持つ水力エネルギーを活用した発電への期待は高い。未利用落差発電包蔵力調査^[1]によると、日本の未利用包蔵水力エネルギーは約 1400 地点、合計 33 万 kW 存在するとされている。この調査は 10kW 以上を対象としており、調査対象外となるいわゆるナノ/ピコ規模といわれる 10 kW 未満の地点を含めると、更に多くの未開発包蔵水力があることになる。ナノ/ピコ規模の水力エネルギーは市内を流れる用水路や山間部の溪流や滝などが対象となる。身近にある水の利用に適した水力機器開発を求める声は多い。ナノ/ピコ規模地点の開発をいかに促進させるかが、水力利用の拡大において重要となる。

ナノ/ピコ規模の水力開発に求められるのは経済性である。そこで著者らは、開放型貫流式ランナを用いた流れに置くだけで発電できる滝用水車を開発してきた。設置および維持管理のコストが安く、メンテナンス性に優れる。流量変動に対する調整機構を持たないため、設置箇所における流量変化による水路での摩擦損失の影響や、滝の水車への流入角度の変化によって生じる水車効率低下に対する改善策が必要となる。

この滝用水車に関し、過去に行われた池田らによる研究^[2,3]では、流量変化に対して滝とランナの相対位置を調整することが最も水車効率に影響することが明らかとなっている。滝の流量変化に合わせて水車の位置を制御することは経済性の面で得策ではない。そこで、滝の流量変化時でも水流の落下位置を固定する方法として (1) 平板による制御、(2) 曲面流路による制御の二種類についての実験結果を報告する。

2. 実験装置

実験装置の概略を図 1 に示す。実験には室内に設置した人工の滝を用いた。貯水槽の水を装置上部にある幅 250mm の開放型水路へ汲み上げ、水路の一端から落下させる。水流の流量は $Q=1.0\sim3.5\times10^{-3}\text{m}^3/\text{s}$ まで $0.5\times10^{-3}\text{m}^3/\text{s}$ 刻みで変化させた。 Q は配管途中に設けた手動バルブで調整し、電磁流量計で計測した。座標系は流路出口底面の中央に原点をとり、水平方向に x 軸、幅方向に y 軸、鉛直方向に z 軸とする。水車は落差が $H_T=610\text{mm}$ となる高さに設置した。原点から水車軸までの距離を L_T とした。

図 2 に使用した貫流式ランナの仕様を示す。ランナはステンレス製で、直径 $D_R=200\text{mm}$ 、幅 $L_R=250\text{mm}$ 、ブレ

ード枚数は 20 枚であり、曲率半径 33mm、弦長 $L_B=42\text{mm}$ とした。図 3 に測定部の概略を示す。(a) が平板による制御、(b) が曲面流路による制御である。平板による制御は流量増加時にランナ上部に設置した平板に水流が衝突することで落下位置を一定とする。曲面流路による制御はコアンダ効果を利用し、水流を流路に沿わせることで落下位置を一定とする。曲面流路は 1/4 円弧と、その延長に鉛直に取り付けた平板とを滑らかに接続する構造とした。なお、曲面流路の曲率半径 R_c 、曲面流路と水車軸との距離 L_c 、曲面流路の高さ H_c 、曲面流路平板部の高さ H_{pl} は図のように定義する。 $R_c=30\text{mm}$ 、 $H_c=242\text{mm}$ 、 $H_{pl}=212\text{mm}$ で固定し L_T/D_R を変化させた。水車出力はランナ回転軸に直結したトルク計、回転数計の測定結果から算出した。発電効率 C_P と周速比 λ は以下の式で定義した。

$$C_P = P / \rho g Q H_T \quad (1)$$

$$\lambda = V_r / U_F \quad (2)$$

ここで、 P : 水車出力、 ρ : 密度、 g : 重力加速度、 V_r : ランナ周速、 U_F : 滝のランナ衝突時の速度である。制御なしでは各流量における水流落下位置に水車位置をあわせて出力特性を測定した。一方制御ありではランナの位置は固定した。平板による制御時には最小流量時の水流落下位置にランナを固定した。

Fig.1 Experimental setup

Fig.2 Cross-flow type runner

Fig.3 Test section

3. 実験結果と考察

図4に滝用水車の出力特性を示す。図4(a)は制御無しの場合の出力特性である。流量変化に対し滝とランナの相対位置を調整している。流量の増加とともに効率が增加している。 C_p の最大値 C_{pmax} は周速比が $0.49 \leq \lambda \leq 0.56$ の範囲で得られ、 $C_{pmax}=0.62 \sim 0.76$ である。

図4(b)に平板による制御結果を示す。最小流量時の水流落下位置にランナを固定するため、 $Q=1.0 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ では滝は平板と接触しない。図4(a)と比較すると無拘束運転時および C_{pmax} 時の回転数の低下が顕著である。これは、水流速度が平板に衝突時に低下するためと考えられる。 $C_{pmax}=0.56 \sim 0.58$ であり、平板制御時は非制御時と比較して20%程度の水車効率低下となった。

図4(c)に曲面流路を用いた場合の出力特性を示す。上述の(a)(b)と比較して、流量変化にともなう無拘束時回転数ならびに水車効率双方の変化が顕著である。 $Q \geq 2.0 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ では平板制御時よりも水車効率が高く、流量が大きい場合は非制御時とほぼ同様の出力特性が得られることがわかった。最大水車効率は $Q=3.5 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ のときに $C_{pmax}=0.69$ を得た。流量の増加とともに回転数が増加しており、ランナへの水流衝突速度の増加が伺える。非制御時の滝は鉛直方向には自由落下するため、水流衝突速度は流量にはほとんど依存しない。一方、曲面流路制御時には、水流はコアンダ効果で偏向するために流れ方向の流速も水流落下速度に影響する。つまり、流量増加によりランナへの水流衝突速度が増加したと考えられる。また、曲面流路に沿って流下する水流の流路壁面に発達する境界層は水流落下速度の低下を招く。この減速作用は水流厚さが大きくなるほど相対的に小さくなるため、このことが流量増加にともなうランナ回転数の増加と水車効率の増加の原因だと考えられる。

図5に Q に対する C_{pmax} の分布を示す。平板制御時には流量増加により水車効率が低下し、 $Q \geq 2.0 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ ではほぼ底打ちしている。反対に非制御時、曲面流路制御時には流量増加とともに水車効率が增加する。 $Q \geq 2.0 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ では平板制御よりも曲面流路制御の方が効率高い。流量によらず非制御時の水車効率が最大となっているが、曲面流路制御時の水車効率との差は流量増加とともに縮小する傾向が見て取れる。平板制御時と曲面流路時の水車効率の差は流量増加とともに大きくなる。 $Q=3.5 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ において、非制御時と比較して平板制御時は20%の効率低下であるのに対し、曲面流路制御時は7%の効率低下に抑えられることが明らかとなった。

4. まとめと今後の課題

曲面流路制御により、水車と滝の相対位置を固定したままで安定した発電が可能であることがわかった。今後

は曲面流路制御時における最適ランナ形状について調べ、効率向上を図る。

参考文献

- [1]財団法人新エネルギー財団「平成20年度中小水力開発促進指導事業基礎調査(未利用落差発電包蔵水力調査)」.
- [2] T. Ikeda, S. Iio and K. Tatsuno, "Performance of nano-hydraulic turbine utilizing waterfalls", Renewable Energy. 35, 2010, pp.293-300.
- [3] S.Iio, K.Tatsuno, M.Yamazaki, A.Tanaka and T.Ikeda, "Performance of open cross-flow hydroelectric turbine utilizing waterfalls", Proc. ISLCT- 2009, Beijing, China..

(a) Without flow direction control

(b) Flow direction control by flat plate

(c) Flow direction control by curved channel

Fig.4 Performance characteristics

Fig.5 Variation of C_{pmax} with Q