

## 螺旋式マイクロ水車における水理特性と発電効率に関する実験的研究

(独法) 国立高専機構 岐阜工業高等専門学校 正会員 ○和田 清

(独法) 国立高専機構 岐阜工業高等専門学校 村橋由利子

### 1. はじめに

水力発電に恵まれたわが国において、包蔵水力が日本一である岐阜県は、そのポテンシャルが特に高い地域である。水力発電は従来、ダムのような高落差で大規模な発電が主流であったが、近年、小流量・低落差でも発電可能なマイクロ水力発電が注目されている。これは、地域分散性が高く適応可能な場所が多く存在し、環境負荷が少ないというような数多くの特徴がある。しかしながら、小流量・低落差における発電構造形式は設置数やデータが少ないために未知なことが多く、あまり普及していないのが現状である。

そこで本研究では、この小流量・低落差に適応可能な螺旋式水車を対象として、実物模型実験による水理特性および発電効率を明らかにすることを目的とする。具体的には、その制約条件となる流量、水路勾配などを変化させた場合の出力、回転速度、水位などを計測して、岐阜県郡上市に設置された螺旋式マイクロ水車の実機の実機特性と比較検討するための基礎資料にしようとするものである。

### 2. 基本原理 (螺旋水車の力学モデル)

螺旋水車は、アルキメデスの揚水ポンプを応用したもので、ポンプとは逆に上部からの流入水を螺旋水車の羽根に沿って、水の流下(位置)エネルギーを羽根面積および捻り角度で受け、水車軸を回転させて動力を得るものである。また、螺旋水車の中で、水塊は羽根と羽根に挟まれて分断されていると仮定した力学モデルでは、羽根にかかる水塊の重力方向成分、水車上部に溜まる水圧、水塊にかかる粘性摩擦による抵抗力、水塊が羽を押した距離から回転軸による仕事、トルクが求められている<sup>1)</sup>。回転軸によるトルク $N$ は式(1)：

$$N = \sin\phi \frac{lp}{2\pi g} (\bar{V}\rho \sin\psi - \gamma qv_j) + F_p \quad \dots\dots (1)$$

で求められる。ここで、 $\phi$ :軸に対する羽の角度、 $lp$ :羽が軸を一周するまでの軸に平行な距離(ピッチ)、 $\bar{V}$ :水車内の水体积、 $\rho$ :水密度、 $\psi$ :傾斜角度、 $\gamma$ :抵抗係数、 $q$ :水の触れる樋の長さ、 $v$ :水塊の軸に平行な速度、 $j$ :水塊の数、 $F_p$ :水車上部に溜まる水圧による力である。このモデルによれば、水が螺旋水車の容量を超えて溢れ出すまでは、低速であるほど抵抗力が小さく、水車上部に溜まる水が大きくなるため出力が高くなること、出力ピークの回転速度を決める水車の最大容量は、その回転速度での水車内の水塊の状態によって左右されることなどが明らかにされている<sup>1)</sup>。

### 3. 実験方法

実物模型の大きさは、直径0.185m、羽根の全長1.0m、ピッチ0.4mの4枚羽根であり、可変勾配水路(0°~45°:5°間隔で10段階変化)に設置された(図-1参照)。水路勾配( $\theta$ )は15~45°の範囲で7パターン、流量( $Q$ )は勾配ごとに8~10段階変化させた。螺旋水車の回転によって得られるエネルギーは、回路を通し、AD変換によってパソコン上に電圧データとして取り込むと同時に、水車の上流・下流水位も測定した。さらに、レーザー回転計を用いて主軸と増速箇所(2箇所)で測定し、各勾配につき電気抵抗値( $R$ )を10 $\Omega$ 間隔で10~70 $\Omega$ および $\infty$ (無負荷)を加えた8パターンを設定した。なお、電圧は抵抗値との関係からオームの法則で出力に換算する。製作した螺旋水車の形状にあたっては、事前に抵抗値と回転速度における出力、ピッチや増速率を変化させた時のピーク出力の中で最適条件を算定して発電量を推定して決定した。螺旋水車と発電機の接続方法は、チェーン・ベルト方式および同軸増速器、下流端の軸受は、通常のボールベアリングおよびピロー型を取り上げて、維持管理などの点からも検討した。また発電機は、風力用多極発電機を比較し、径の大きい高定格のものの方が効率は向上するが、コストなどを考慮して定格200W(スカイ電子HR-200, 32極)を採用した。



(螺旋構造)

(上：室内実験・下：郡上市石徹白)

図-1 螺旋式マイクロ水車

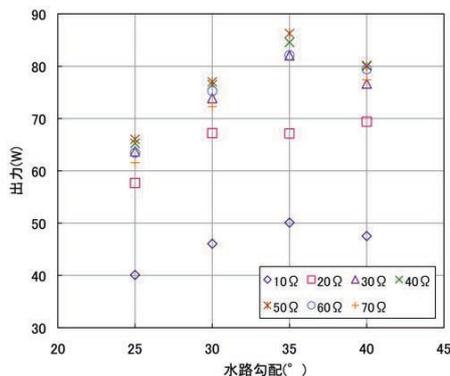


図-2 水路勾配と抵抗値 (Q=43.8L/s)

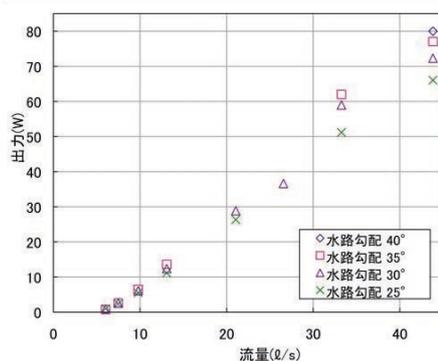


図-4 流量と出力 (抵抗値=50Ω)

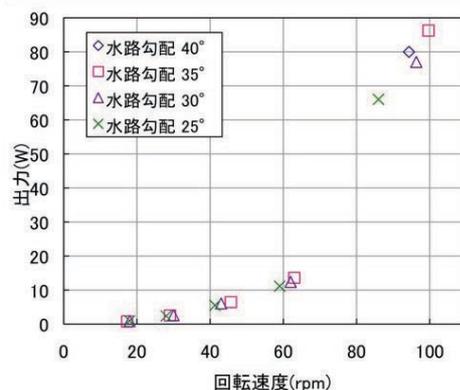


図-3 主軸の回転速度と出力

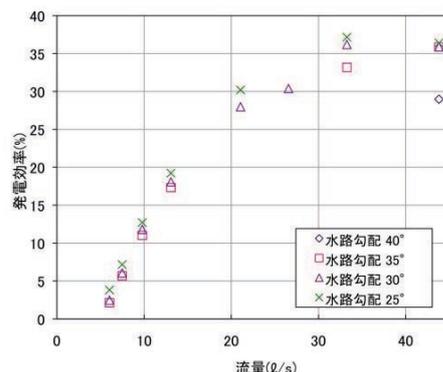


図-5 流量と発電効率 (抵抗値=50Ω)

#### 4. 結果および考察

発電量(出力)に及ぼす水路勾配および抵抗値の影響を把握するために、流量が比較的多い場合(Q=43.8L/s)について示したものが図-2である。同図から、抵抗値 30Ω 以上ではほとんど変化しないが、それ以下では極端に出力が小さくなっていること、同流量においては、水路勾配 35°、抵抗値 50Ω において最大出力が得られていることがわかり、流量に応じて最適な水路勾配と抵抗値が存在することを示している。図-3は、流量が少ない場合を含めた主軸の回転速度と出力の関係を示したものである。同図から、回転速度 60rpm を超えるあたりから急激に出力が増大しており、流量が少ない場合には樋と回転羽根のクリアランスから流水が漏れるため初期損失が大きいこと、流量増加によって式(1)の回転トルクが大きくなることと対応している。したがって、小流量では出力のピークが現れにくく出力形状が平坦化するもので、樋と水車のクリアランスからの流出水の損失、発電機の特長などの影響を事前に考慮することが必要である。図-4および図-5は、抵抗値 50Ω において水路勾配を変数とした流量と出力、効率の関係を示したものである。なお、効率の算定は水塊の位置エネルギーを基本とした。両図から、水路勾配の影響を多少受けるものの流量が出力に与える度合いがきわめて大きい。小流量の効率はきわめて悪く、流量の増加とともに効率が上昇すること、流量が増えると回転主軸の高さから樋を溢れるまでの水位において最適条件が存在することなどが明らかにされた。

#### 5. おわりに

以上、螺旋式マイクロ水車の基本的な水理特性を、流量、水路勾配、主軸回転数、発電機の特長などと関係づけながら考察した。同程度のスケールの実機は、水車軸受、増速機、材質(FRP)などの改良を加えながら郡上市石徹白(図-1参照)において稼働している。今後、更なる改善と現地実験を進める所存である。

【謝辞】 本実験の遂行に際して、(財)小川科学技術財団の研究助成および(株)篠田製作所 岡村鉄兵氏の丁寧な指導と助言をいただいた。末尾ながら記して謝意を表します。

(参考文献) 1) 岡村鉄兵：名古屋大学大学院環境学研究科修士論文，53p.，2007.