

マイクロ水力発電における螺旋水車の設置法に関する研究
Setting of Spiral Water Mill in Micro Hydro-power

○大江慎哉*, 小林晃*
○S.Ooe and A.Kobayasi

1. はじめに

マイクロ水力発電の中でもより低流量低落差にて適用できるとされる水車として螺旋水車が注目されている。しかし未だにその動力特性の理論的解明がなされていない。

本研究では軸を傾け、水流に対し角度を持たせて設置することで、2重目以降の羽根にもよりの確に動力を作用させることを考え、その最適な角度に関して検討を行った。

2. 三種の傾き角度の提案

2.1. 抵抗面を考慮した場合

図1(a)は回転軸を水流に対し鉛直に置いた螺旋水車を正面から見た図である。紙面鉛直方向から水が流れる場合、軸を中心に右側は運動エネルギーを反回転方向に受ける。この軸を紙面奥側に傾けることで抵抗面積を減らした様子が図1(b)に示される。このときの傾きを θ_1 と定義する。 θ_1 は、図1(c)のように考えることで求めることができる。このときPはピッチ(羽が一周するうちに軸方向にすすむ距離), rは半径である。

$$\tan \theta_1 = \frac{P}{4r} \quad (1)$$

2.2. 負荷面積を考慮した場合

図1(b)から更に軸を紙面奥側に傾けることで負荷面積を増加させることを考える。図1(d)に示すように正面の羽の端とその正反対側の羽の端が水平となるようにすれば、紙面垂直方向から見える羽根の面積は極力大きくなる。このときの傾きを θ_2 と定義する。 θ_2 に関しては図1(e)から次式(2)が成立する。

$$\tan \theta_2 = \frac{3P}{4r} \quad (2)$$

2.3. 円盤による簡易モデル

螺旋水車を図1(e)のように傾けた場合の作用面積を正確に求めることは困難なので、図1(f)に示すような円盤の連なりに螺旋面と見立てて簡易化したモデルを考える。円の半径をr, ピッチをP, 枚数をN, 傾きを θ , 面積をSとおくと、次式(3)が成立する。面積Sが最大となる傾きを θ_3 と定義する。

$$S = N\pi r^2 - 2(N-1)r^2 \left\{ \frac{\pi \sin \theta}{2} - \sin \theta \sin^{-1} \left(\frac{P \cos \theta}{2r \sin \theta} \right) \right\} + 2(N-1) \frac{P \cos \theta}{4 \sin \theta} \sqrt{(2r \sin \theta)^2 - (P \cos \theta)^2} \quad (3)$$

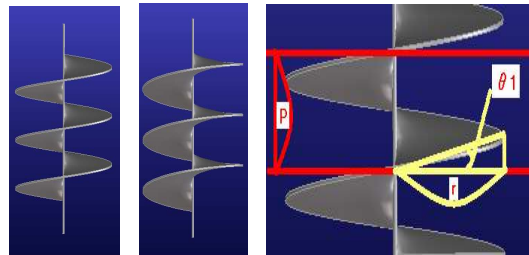


図1(a) 図1(b) 図1(c)

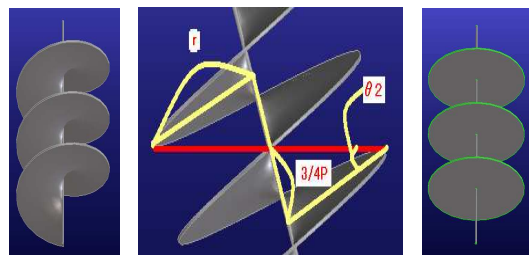


図1(d) 図1(e) 図1(f)

図1: 螺旋水車の軸の傾き角の考え方

Ideas of inclination of axis of spiral water mill

- (a) : 水流に対し鉛直に置いた螺旋水車
- (b) : 軸を紙面奥側に傾けた螺旋水車 (θ_1)
- (c) : θ_1 の詳細図
- (d) : 軸をさらに傾けた螺旋水車 (θ_2)
- (e) : θ_2 の詳細図
- (f) : 円板による螺旋水車の簡易モデル

* 京都大学 Kyoto University マイクロ水力発電, 螺旋水車, 設置法, 数値解析

3. 室内実験

室内で 1/10 型模型実験を行った。

半径 $r=3\text{cm}$ ，ピッチ $P=2.25\text{cm}$ と設定し螺旋水車の模型を三体作製した。P/r 比は実存し得る螺旋水車から推測した。このとき各傾き角度は表 1 に示すとおりである。水車模型はアクリル中空棒の回りにアクリル板で作成した羽を取り付け、角度の固定された木片に取り付けたものである。また片面がアクリル板で他面が木板で構成される $25\times 15\times 160\text{cm}$ の水路を作成し、流速 0.142m/s とし、それぞれの角度において三体の模型の 1 分間の回転数を計測した。図 7 に螺旋水車の模型の様子を、図 8 に水路の様子を、表 2 に計測結果を示す。

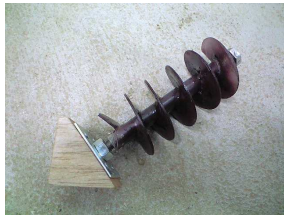


図 7：螺旋水車の模型

図 8：水路

Model of spiral water mill

Waterway

表 1：P/r=0.75 時における各傾き角度

Each inclination degree at P/r=0.75

	θ_1 (°)	θ_2	θ_3
P/r=0.75	10.6 (°)	29.4	20.6

表 2：3 模型の 1 分当り回転数の平均値 (rpm)

Average rotational numbers of one minute of three models when each angle is inclined (rpm)

	1 号機	2 号機	3 号機
0 (°)	4.4 (rpm)	5.0	3.2
10	30.6	31.0	27.2
20	39.0	40.2	37.8
30	48.8	46.8	44.2
40	40.2	39.4	38.6
50	32.4	31.8	29.6
60	26.4	25.6	24.8
70	22.6	20.6	19.6
80	19.0	17.2	15.8
90	14.8	13.0	12.2

4. 考察

P/r 比 = 0.75 の時、表 1 より各傾きは $\theta_1=10.6^\circ$ ， $\theta_2=29.4^\circ$ ， $\theta_3=20.6^\circ$ である。それぞれ $\theta_1 \doteq 10^\circ$ ， $\theta_2 \doteq 30^\circ$ ， $\theta_3 \doteq 20^\circ$ と近似して考えると、表 2 より回転数は θ_2 に近い値で最大となることが分かる。

また既往の研究¹⁾をもとに、P/r=0.75 の時半径 $r=0.1$ (m)，0.2，0.3 において流速 1m/s の水流が螺旋水車に与える付加 (kN) を計算した。表 3 に結果を示す。表 3 より、羽根にかかる作用力は θ_3 の時に最大値を得ることが分かる。

計測結果と計算結果の違いは、回転には羽への作用力だけでなく、回転し易さ等といった他の要素が影響するためであると考えられる。特に一重目の羽と流水との接点が回転に影響を及ぼすようである。

表 3：計算結果

Numerical result

	θ_1 (°)	θ_2	θ_3
半径 $r=0.1$ (m)	1.81 (kN)	1.80	1.86
半径 $r=0.2$	10.98	10.97	11.32
半径 $r=0.3$	21.55	28.03	31.18

本研究により、螺旋水車の軸を水流に対し θ_2 だけ傾けて設置した場合に最も螺旋水車が回転するという結果が得られた。

ただ実験の過程において、水路幅が狭いほどより回転しやすい様子が観察された。これは、水流が螺旋水車を避けて流れていることを表しており、今後は螺旋水車の形状、設置法に加えて導水法についても研究する必要がある。また低トルク低回転数でも効率の高い発電機の開発も重要である。

参考文献

1) 大江慎哉：「マイクロ水力発電における螺旋水車の挙動解析に関する研究」農業農村工学会，2008

2) 新エネルギー・産業技術総合開発機構：マイクロ水力発電導入ガイドブック，2003