

農業用排水路を用いたマイクロ水力発電 Micro hydro-power at agricultural irrigation and drainage canal

○大江慎哉*, 小林晃*
○S.Ooe and A.Kobayasi

1 はじめに

農業用排水路にてマイクロ水力発電を行うことで、低炭素社会の実現に貢献できる^{[1][2]}。本研究では、螺旋水車の回転数を最大にする設計及び設置法に関して、模型実験及び数値計算により検討を行った。また、複数個設置した際の相互作用に関して実験的に調べた。

2 模型実験

螺旋水車の羽根の半径Rを3cmと定め、羽根の間隔Pを1.80cm, 2.25cm, 2.70cm, 3.00cm, 3.30cm, 3.60cmの6種類設定し、模型を作製した。模型はアクリル製である。幅20cm, 距離40cm, 深さ20cm, 流速V=0.3m/sの水路にて、水流方向の傾斜角θを10度ずつ0度から90度まで傾け、1分間の回転数(rpm)を計測した。θ=0°の場合は回転軸が水流に対し垂直に、θ=90°の場合は回転軸が平行になっている状態を表す。

図1はP/R毎の傾斜角θに対する回転数の変化(計測結果)を示したものである。P/R ≤ 1.00の場合、P/Rが大きくなると全体的に回転数が増え、最大回転数及び最大回転数を得る傾斜角θが大きくなっていくことが分かる。P/R ≥ 1.00の場合、P/Rが大きくなると最大回転数を得る傾斜角θは大きくなるが、最大回転数は変化しない。

3 数値計算

水流は羽根に揚力を作用させる。螺旋水車を三角形板によりモデル化し、翼素運動量理論を用いて各要素のトルクを算出した^[3]。さらに回転運動の運動方程式を利用して、収束計算により角速度を求め、回転数を求めた。

図2はP/R毎の傾斜角θに対する回転数の変化(計算結果)を示したものである。P/R ≥ 1.00の場合、計算結果は実験結果と似た変化をしている。P/R ≤ 1.00の場合、計算結果はP/Rが小さいほど実験結果から乖離していき、傾斜角θが90°に近くなるほど差が大きくなった。

表1はP/R毎の最大回転数及びその時の傾斜角(E:実験結果, C:計算結果)を示している。いずれのP/Rにおいても、螺旋水車を水流方向から見た際の負荷面積が最大値となるような傾斜角近辺において、回転数が最大値を得た。

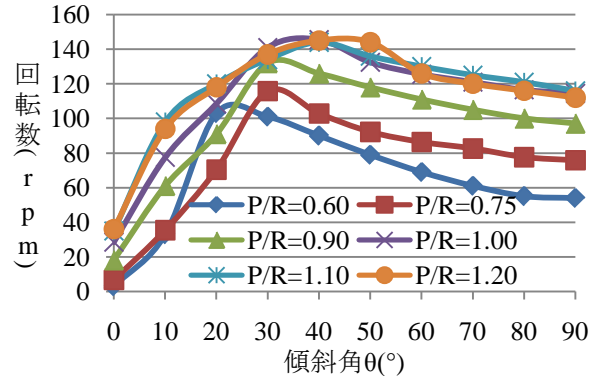


図 1: P/R 毎の傾斜角 θ による回転数の変化 (実験結果)

Figure1: Change of rotational number with change of angle of each P/R (experimental result)

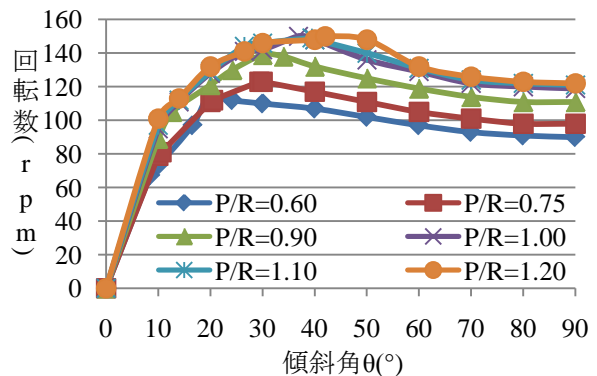


図 2: P/R 毎の傾斜角 θ による回転数の変化 (計算結果)

Figure2: Change of rotational number with change of angle of each P/R (numerical result)

表 1: P/R 毎の最大回転数及び傾斜角

Table1: Maximum rotational number and angle at that time of each P/R

	$\theta_E(^{\circ})$	$\theta_C(^{\circ})$	$N_E(\text{rpm})$	$N_C(\text{rpm})$
P/R=0.60	20	20	103	116
P/R=0.75	30	29.4	116	123
P/R=0.90	30	30	134	139
P/R=1.00	40	36.9	146	150
P/R=1.10	40	39.5	144	149
P/R=1.20	40	42	145	150

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

4 複数個設置した場合の相互作用

水車の回転方向の流速が大きくなることを利用して(図3(1)), 回転数が最大になるような2台目の水車の位置を実験的に検討した. 水車2台を水流に対し垂直に並べて設置すると, 回転数はほぼ同じである. この状態から一方の位置を変えることで, 固定された水車の回転数の変化を調べる. 固定水車の回転軸の位置を原点とし, 水流に対し直角にX軸を, 反対方向にY軸をとる. 図3(2)中に座標軸を示す. 実験には $P/R=0.75$, 1.00 の模型を用い, 1cm 毎に計測する. 移動水車の回転軸の座標に, 固定水車の回転数を配置したコンター図を示す. 図4は $P/R=0.75$ の固定水車の回転数の分布であり, 図5は $P/R=1.00$ の固定水車の回転数の分布である.

図4は, 移動水車の位置による固定水車の回転数の分布($P/R=0.75$)を示す. 時計回りの水車を固定し, 反時計回りの水車の位置を変えた. 固定水車の回転数は最大で 61rpm から 75rpm へとおよそ1.2倍に上昇した. 図5は, 移動水車の位置による固定水車の回転数の分布($P/R=1.00$)を示す. $P/R=0.75$ の場合と異なり, 反時計回りの水車を固定し, 時計回りの水車の位置を変えた. 固定水車の回転数は最大で 146rpm から 175rpm へとおよそ1.2倍に上昇した. 各図中に最大回転数を得た位置を示す.

5 まとめ

- 傾けて設置した螺旋水車の回転数を予測するために, 揚力を用いた計算モデルを開発した.
- 負荷面面積が最大になるように傾斜をつけた際に, 回転数が最大になる.
- $P/R \geq 1.00$ の場合に, 計算モデルの予測精度は高い. これは $P/R \leq 1.00$ の場合, 下流側の羽根に作用する動力の減衰が大きくなるためと考えられる. 計算モデルにおいて減衰については考慮していない.
- 2つの水車の相互作用により, 回転数の分布が水車の位置関係により異なることを示した. P/R に関わらず, その最大となる位置は同じであることが分かった. また, 一方の水車に注目すると, 最大で20%ほど回転数が上昇した.

引用文献

- [1] NEDO(2003): マイクロ水力発電導入ガイドブック.
- [2] 全国小水力利用推進協議会(2007): 小水力発電事例集2007
- [3] 牛山 泉 (2002): 風車工学入門, 基礎理論から風力発電技術まで, 森北出版.

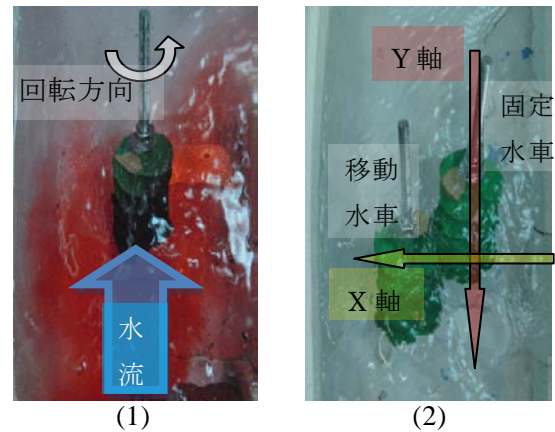


図3: 相互実験作用に関する説明
Figure3: Explanation concerning interaction experiment

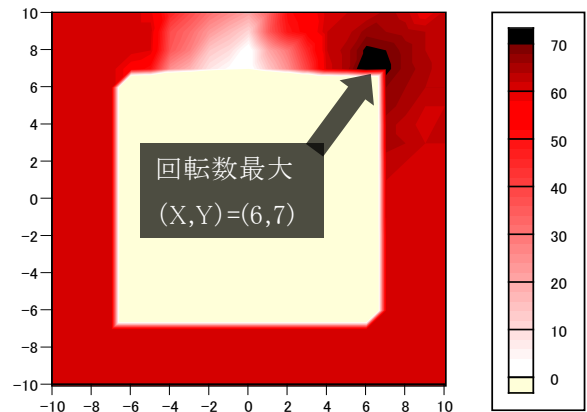


図4: 移動水車の位置による固定水車の回転数の分布($P/R=0.75$)

Figure4: Distribution of rotational number of fixed water mill by position of moving water mill ($P/R=0.75$)

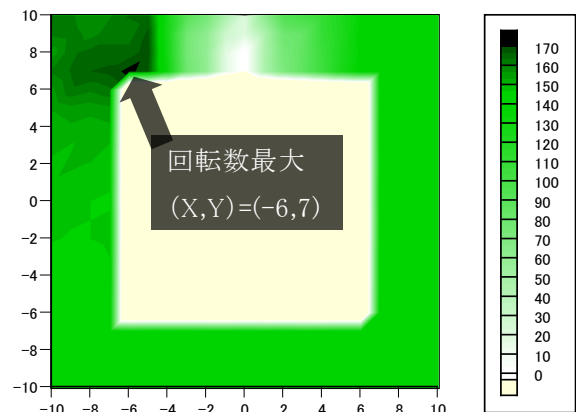


図5: 移動水車の位置による固定水車の回転数の分布($P/R=1.00$)

Figure5: Distribution of rotational number of fixed water mill by position of moving water mill ($P/R=1.00$)