

小型水力発電用噴流型クロスフロー水車の改良と流れの可視化

Key Words : Cross Flow Turbine, Hydro-Power, Alternator, Exciting Current, Absorption Torque, Efficiency

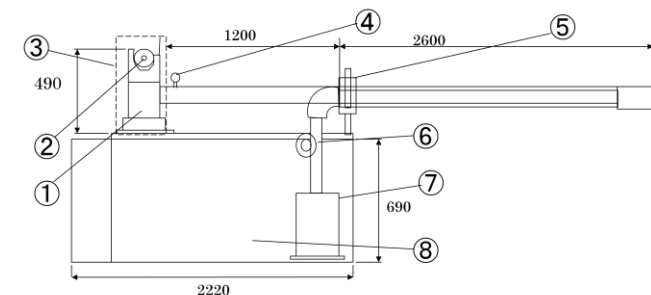
1. 緒言

エネルギーを供給する主な発電方法としては、原子力発電、火力発電、水力発電などがあげられる。中でも水力発電は、環境問題の点から二酸化炭素の排出量が少ない発電方法として見直されている^{(1),(2),(3)}。本研究では、工事が容易で農業用や工業用の用水路での発電が可能な小規模発電用噴流型クロスフロー水車、及び発電システムを構築した。今回、噴流の流入方向の違いによる水車の性能試験、及び透明モデル水車を使った流れの可視化を行い、水車特性について調べたので報告する。

2. 実験装置

本研究では Fig.1 のような発電実験装置を用い、水力発電システムの性能実験を行った。本研究では、ポンプによって水をくみ上げることで水車に水を流す方法をとる。発電機は中古のオルタネータを用いた。実験では、システムの発電量と水車回転数、トルク、流量、ヘッドなどを測定した。流量は 100l/min~480l/min、ヘッドは 1m~8m、圧力は 0.01MPa~0.08MPa の範囲で実験を行った。

本研究ではクロスフロー水車を用いる。水車の羽根数は 12 枚、羽根車の直径は $\phi 150\text{mm}$ である。従来のクロスフロー水車はガイドベーンに沿った水を羽根の間に流入させる方法が用いられているが、本機はノズルによって作られた噴流が羽根の間を通るタイプである。Fig.2 にノズルの形状を示す。ノズルは入り口が横 90mm、縦 74mm の長方形であり、出口は横 90mm、縦（口厚）は 5mm~10mm に変化させることが出来る。



- ①水車 ②発電機 ③発電器具 ④圧力計
⑤流量計 ⑥バルブ ⑦ポンプ ⑧水槽

Fig.1 発電実験装置

さらに本研究では Fig.2 の (a), (b) のように噴流の流入する角度が異なるように設定した。(a) に示した改良前の場合、噴流は水平方向に噴出するが、改良後は噴流が水平方向に対して約 19° の傾きを持って噴出される。

可視化実験では、水車内部の流れについて写真を撮って調べた。その結果、水車内の水の流れがいくつかの状態に分かれていることがわかった。そこで本研究では、水流が主軸付近を通るタイプの流れを反動型、水が羽根に乗りそのまま流出するタイプの流れを衝動型と定義する。後述するように、Fig.2 の (a) は衝動型、(b) は反動型の流れになりやすかった。

可視化実験装置は、Fig.3 のような実験装置を用いた。図中の①がアクリル板で製作されており、水車の回転を観察することができる。また、スライド映写機を光源とし、負荷を掛けて水車回転数を調整した。本研究では、ケーシング中のアクリル水車の中を通る水の流れをデジタルカメラ（OLYMPUS 製 C-70, 1/1000）および高速ビデオカメラ（朋栄製 VFC-300, 1/300）で撮影した。

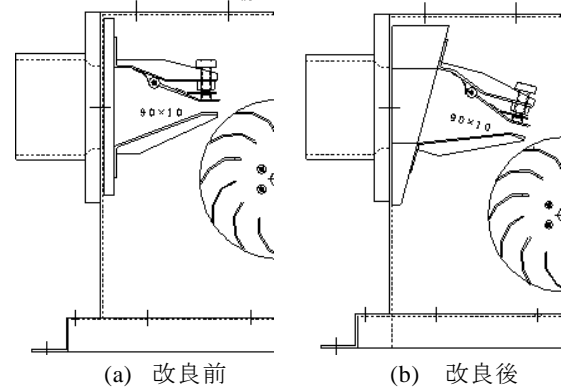
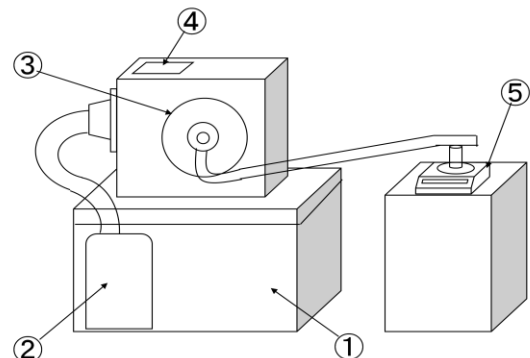


Fig.2 ケーシング形状の改良点



- ①水槽 ②ポンプ ③アクリル板
④ノズル調整用口 ⑤電子天秤

Fig.3 可視化実験装置

3. 発電実験

3.1 水車効率(水車動力/入力動力)について

Fig.4 は改良前および改良後それぞれにおいて、口厚 6mm で、圧力を 0.02MPa~0.08MPa に変化させた場合の速度比（噴流の速度/水車周速度）に対する本システムの水車効率を示したものである。Fig.4 より、改良前および改良後ともに各落差(入力動力)に対してほとんど同じような特性が見られることから、水車効率が速度比（噴流の速度/水車周速度）に依存していることがわかる。また、速度比（噴流の速度/水車周速度）が小さい所では改良前の方が高効率になっており、速度比が大きい所では改良後の方が高効率であるということがわかる。これは、速度比が小さいときは衝動型の流れになるので、より衝動型の流れになりやすい改良前の方が高効率になり、速度比が大きいときは反動型の流れになるので、より反動型の流れになりやすい改良後の方が高効率になると考えられる。

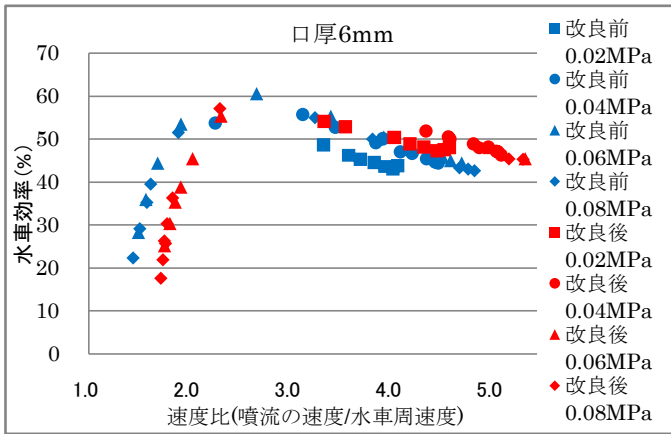


Fig. 4 口厚 6mm における水車効率の比較

3.2 オルタネータについて

Fig. 5 に口厚 6mm における発電機効率(発電量/水車動力)と抵抗値の関係を表したグラフを示す. Fig. 5 より, 異なる落差でも同じような発電機効率の特性が出ていることがわかる. よって, 発電機効率は抵抗値によって決まるといえる.

また, 発電機効率の特性が 2 つに分かれており, オルタネータへの入力動力(水車動力)が大きいときは高効率の特性, 入力動力が小さいときは低効率の特性がでていいるのがわかる. これは, オルタネータは自動車の発電用に作られているので, 入力動力が大きくなると高効率を出力するように設計されていると考えられる.

ここで Fig. 4 の結果と照らし合わせると, 圧力が 0.06MPa 以上のときは発電機効率が高効率を示しているのに対し, 水車効率は図左側の低効率(衝動型の流れ)になっている. そして, 圧力が 0.04MPa 以下においては, 水車効率は図右側の高効率(反動型の流れ)を示しているが, 発電機効率は低効率となっている. よってオルタネータは, 入力動力の小さな条件下において高効率となるクロスフロー水車には適していないと考えられる.

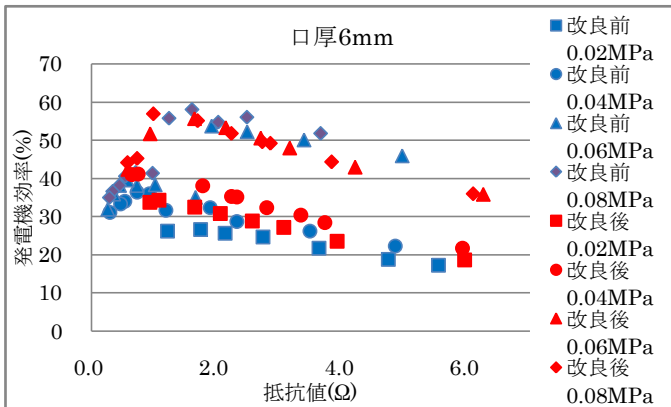


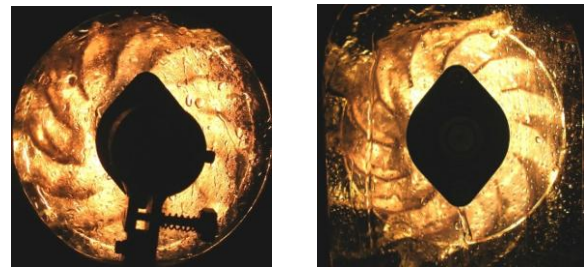
Fig. 5 発電機効率と抵抗値の関係

4. 可視化実験

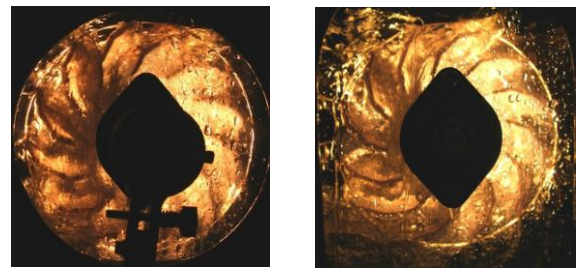
4.1 デジタルカメラによる可視化

Fig. 6 に口厚 10mm における可視化結果を示す. (a)の無負荷時において改良前は主軸付近に水がほとんど流れていないのに対して, 改良後は少量ではあるが流れているのがわかる. よって, 改良後の方がより反動型の流れになりやすくなったといえる. また, (a)(b)において改良後の方が改良前より回転数が低くなる結果となった. これは(a)の無負

荷時では衝動型の流れになり(b)の最大負荷時では反動型の流れになることから, (a)ではより衝動型の流れになりやすい改良前の方が高回転になり, (b)では反動型の流れになりやすい改良後の方が大きなトルクを出力するので低回転になったのだと考えられる.



(a)無負荷時(左が改良前, 右が改良後)



(b)最大負荷時(左が改良前, 右が改良後)

Fig. 6 口厚 10mm における可視化結果

4.2 高速度ビデオカメラによる可視化

本実験では, 無負荷時から徐々に負荷をかけていき, そのときの流れの変化を撮影した. 徐々に負荷をかけた理由は, ある速度比(噴流の速度/水車周速度)の値を持つ流れを知りたいときに, 水車周速度は水車が一周する間の撮影枚数から求めることができ, 噴流の速度は流量とスリット断面積から求まることから, どのような速度比の流れでも調べることができる考えたからである.

高速度ビデオカメラによる実験の詳細については講演にて説明を行う.

5. 結言

- ・クロスフロー水車において, 水車効率は速度比(噴流の速度/水車周速度)に依存している.
- ・オルタネータは, 入力動力の大きくなると高効率となる特性があり, 入力動力の小さな条件下において高効率となるクロスフロー水車には適していないと考えられる.
- ・すべての口厚において改良後の方が反動型の流れになりやすくなっていた.
- ・高速度ビデオカメラでの撮影では, 速度比に対応する流れの様子を調べることができた.

参考文献

- (1) 竹尾, 小型水力発電機製作ガイドブック, パワー社, (2005), pp2-9
- (2) 石田, 超小型(ピコ)水力発電装置製作ガイドブック, (2007), p1.
- (3) 清水, マイクロ水力発電ハンドブック, パワー社, (2001), pp3-6