360 サボニウス形水車の性能実験

Performance of a Savonius Type Hydro Turbine

○ 日下部 佳香 (信州大院) 池田 拓史 (朝日新聞) 正 飯尾 昭一郎 (信州大)

正 池田 敏彦 (信州大) 正 長澤 忠延 (長野県短大)

Keika KUSAKABE, Shinshu University, Wakasato 4-17-1, Nagano

Takuji IKEDA, Asahi Shimbun, Chuo-ku, Tsukiji 5-3-2, Tokyo

Shouchiro IIO, Shinshu University

Toshihiko IKEDA, Shinshu University

Tadanobu NAGASAWA, Nagano junior college, miwa 8-49-7, Nagano

Key Words: Savonius Hydro Turbine, Water tunnel, Power performance, Flow visualization

1. 緒言

地球温暖化等の環境問題が顕著になりエネルギー源として自然エネルギーの有効利用が期待されている。

ダムに代表される大規模集中型水力発電では発電施設の建設適地の減少、環境変化による生態系への影響等が挙げられ、その建設は困難な状況になっている。そこで、これまで未利用であった小規模水力の活用が活発になってきた。現在利用されているクロスフロー水車、ポンプ逆転水車等は設置に際し、小規模とはいえ導水管等の付帯設備を必要とする。本研究では付帯設備を必要とせず、河川に容易に設置できる環境負荷低減型水車の開発を目標とし、サボニウス形ロータをもつ水車に着目した。サボニウス形は安価・堅牢、高トルクである等の利点から主に風車⁽¹⁾⁽²⁾に用いられてきた。その他にも波力タービン⁽³⁾として用いようとする研究も報告されている。しかし、河川用の水車としての利用は見当たらない。

そこで、本研究では回流水槽を用いて、サボニウス形水車の出力特性を求めるとともに、水車周りの流れを可視化し、両者の関係を調べることを目的とする。

2. 実験装置と方法

実験で使用する回流水槽の概略を図1に示す。回流水槽は回転数をインバータ制御した軸流ポンプ①、整流ノズル⑧(絞り比4)、自由表面を有した測定部⑨(長さ3000mm、幅600mm、高さ500mm)からなり、最大流速は2.0m/sである。

実験装置を図2に示す。水車の回転はベルトを介し、上部に設置したトルク計、回転数検出器、発電機に伝わる。発電機に接続する抵抗の値を変化させることで負荷を変化させた。水車はステンレス製で直径 $D_R=142\text{mm}$ 、幅 $L_R=210\text{mm}$ であり、直径 $D=89.1\text{mm}$ の半円筒形ブレード2枚とその両端に取り付けた端板からなる。中心に $\phi 10$ の軸が通っており、2枚のブレードのクリアランスは21.8mmである。

水車設置時の測定部を図3に示す。座標系はノズル出口に原点を、回流水槽の底面に沿って流れ方向を x 軸、鉛直方向を z 軸とした。水車は $x=1500\text{mm}$ に設置した。実験は主流流速 $U_0=0.8\text{m/s}$ で行なった。 $x=500\text{mm}$ の断面における流速分布は測定部底面と側板付近を除き、ほぼ一様である。このとき D_R に基づくレイノルズ数は $Re=1.12 \times 10^5$ である。水車回転方向は、時計回りに回転する場合を“CW”、反時計回りに回転する場合を“CCW”と定義した。図はCWを表している。回流水槽停止時の水位は $H_0=400\text{mm}$ とした。 θ は水車の回転角度であり、流れ方向とブレードの弦が一

致した場合を $\theta=0^\circ$ とし、水車回転方向を正とした。図に示す $\theta=90^\circ$ の時の水車ブレード下部と底面との距離を H_c とする。実験ではCW, CCW, H_c (15, 30, 55, 105, 155mm)を変化させて出力特性を測定した。また、静トルク分布の測定、色素注入法による水車周りの流れの可視化も行なった。

可視化実験には撮影装置にデジタルビデオカメラ、照明にハロゲンライト、色素に比重1.0のインクを用いた。色素は $x=1300\text{mm}$ から $\phi 3$ の管を通して挿入した。可視化は水車効率 C_p が最大となる周速比 λ で行ない、特性実験と同寸法のアクリル製水車を用いた。

なお、 C_p , λ は以下の式で定義する。

$$C_p = P / (1/2) \rho A U_0^3$$

$$\lambda = V_t / U_0$$

ここで、 $P (= \omega \cdot T)$: 出力, ρ : 密度, A : 受水面積, V_t : 周速, ω : 角速度, T : トルクである。

3. 実験結果と考察

H_c を変化させた場合の出力特性を図4に示す。

CWの場合、いずれの H_c においても C_p は $\lambda=1.0$ 付近でピークとなる。 $H_c=155\text{mm}$ で C_p の最大値 $C_{pmax}=0.20$ が得られた。 C_p の値は $H_c=55\text{mm}$ から 155mm ではほぼ同じであるが、 $H_c=15\text{mm}$, 30mm では減少する。

CCWの場合、 H_c による C_p の変化はCWと比べ顕著ではない。 C_{pmax} をとる λ は H_c により変化する。 $H_c=105\text{mm}$ で $C_{pmax}=0.145$ が得られた。

同じ H_c でCWとCCWを比較すると全ての H_c においてCWの C_p 値が大きい。これはトルクに起因する。例えば、 $H_c=105\text{mm}$ でトルクを比較すると $\lambda=1.0$ で約3割大きい。水車設置により上流と下流で水位差 ΔH が生じる。CWとCCWで ΔH の値はほぼ同じであるが、自由表面の形状が異なる。CCWの場合、 ΔH により生じる流れの方向と戻りブレードの回転方向は逆になるのに対して、CWでは ΔH による流れの方向と進みブレードの回転方向が一致する。このことが自由表面の形状が異なり、トルクに差が生じる一因であると考えられる。

図5にCWでの $H_c=15\text{mm}$, 155mm の可視化結果を示す。色素の挿入位置は戻りブレード中心にしてある。図は $\theta=90^\circ$ の場合である。 $H_c=15\text{mm}$ の場合、戻りブレード上流側で淀みが生じており、回転が妨げられていることがわかる。一方、 $H_c=155\text{mm}$ の場合には淀みはなく、戻りブ

レード下部へ避けるような流れが確認された。

4. 結言

回流水槽を用いて、サボニウス形水車の出力特性を求めるとともに、水車周りの流れを可視化し、以下の結果を得た。

- (1) CCWよりもCWの方が C_p の値は大きく、 $C_{pmax}=0.20$ を得た。
- (2) 水車周りの流れの可視化を行ない、 H_c の変化による流れの違いを明らかにした。

今後は PTV により水車周りの流速分布を測定する予定である。

5. 参考文献

- (1) 牛山 泉・他 2 名, 機論(B), 52-480(1986), 2973.
- (2) 藤沢延行・他 2 名, 機論(B), 56-531(1990), 3403.
- (3) 丹 省一・他 2 名, 機論(B), 63-611(1997), 2356.

①Pump ②③④Diffuser ⑤⑥Corner
⑦Stagnation chamber ⑧Nozzle
⑨Test section ⑩Corner ⑪Contraction

Fig.1 Water tunnel

Fig.2 Experimental apparatus

Fig.3 Test section

Fig.4 Power performance

Fig.5 Flow visualization (CW)