

低流速下における垂直軸揚力型水車の水理特性

Hydraulic characteristic of vertical axis lift type hydro turbine under low flow condition

○中矢哲郎* 桐 博英* 安瀬地 一作* 成岡 道男* 丹治 肇*
 NAKAYA Tetsuo KIRI Hirohide AZECHI Issaku NARUOKA Michio TANJI Hajime

1. はじめに

農村地域における有力な再生可能エネルギー源として、わが国で開発が進められている小水力発電は、2～3m程度の落差が必要なため適地が限定される。そこで、施設の改変を伴わず、導入が簡便な流水発電を利用することを検討した。現在、風力発電の分野では構造が簡単で高度な技術を要しないなどの利点を有する垂直軸型の発電装置の開発が進んでおり、水力においても潮流を対象に開発が進んでいる。そこで本研究では、農業用水路で想定される流速1m/s程度の発電用としては低流速下での垂直軸水車の利用における、水理特性、発電特性を水理模型実験より検討した。

2. 垂直軸水車の概要

垂直軸水車には、サボニウス型などの抗力型水車とダリウス型などの揚力型水車に大きく分けられる。揚力型水車は、抗力型水車よりトルク係数（流水から得られるトルクの割合）は低いが、パワー係数（流水から取り出すことのできるパワーの割合）は大きく、発電用に適する高回転、低トルクの水車である。よって今回は流水を利用した小水力発電水車にダリウス型を選定した。

3. 流水エネルギー取得方法

流水のエネルギーを直接利用する場合、例えば、農業用水路で多い1m/sでは有効落差は3cm程度にしかない。よって、流水から効率的にエネルギーを得る方法として、図2に示すように水車前面に水制を設置し、せき上げを生じさせることで流速エネルギーの他に圧力エネルギーを取り出すことを試みた。ここで、有効落差 H_e は図2より圧力エネルギーの差と速度エネルギーの差の合計となる。よって水車の出力 P (W) は次式で求まる。

$$H_e = \frac{Pr_1}{\rho g} - \frac{Pr_2}{\rho g} + \frac{V_1^2}{2g} - \frac{V_2^2}{2g} \quad (1)$$

$$P = \rho g Q H_e \quad (2)$$

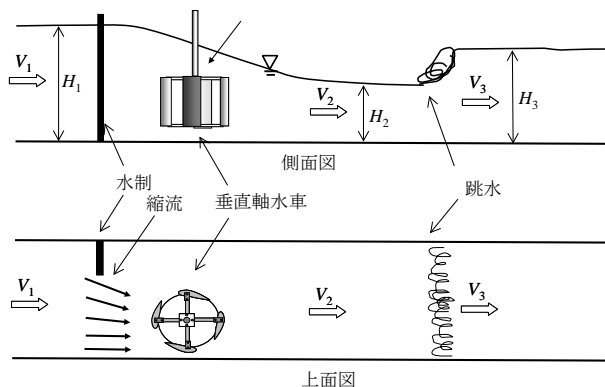


図1 ダリウス水車周辺の水面形
 Water surface profile around Darrieus-type hydro turbine

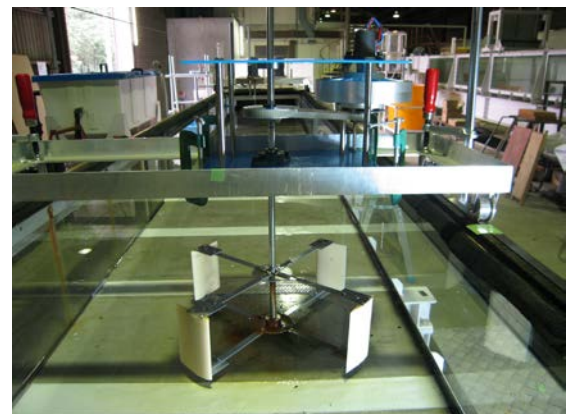


写真1 ダリウス水車装置の概要
 Outline of Darrieus-type hydro turbine

* (独) 農業・食品産業技術総合研究機構 農村工学研究所 National institute for rural engineering, NARO

キーワード：小水力，流水エネルギー，ダリウス水車

表1 実験結果一覧
Experimental results

CASE No.	実験条件			無負荷時		発電時	
	水車径 (m)	流速 (m/s)	障害物	回転数	出力	回転数	出力
1	0.3	0.6	無し	0	-	-	-
2		0.7		37	-	-	-
3		0.8		56	-	-	-
4		0.9		95	-	-	-
5	ソリディティ:0.25	1.0	無し	103	1.4	-	-
6			10cm	271	4.8	-	-
7			15cm	300	6.8	-	-
8	0.5	0.4	無し	0	-	-	-
9		0.5		30以下	-	-	-
10		0.6		30以下	-	-	-
11		0.7		30以下	-	-	-
12		0.8		37	-	-	-
13		ソリディティ:0.42		0.9	57	-	-
14	1.0	無し	340	6.4	280	3.0	
15		10cm	377	10.3	316	5.1	
16		15cm	396	13.7	300	6.4	

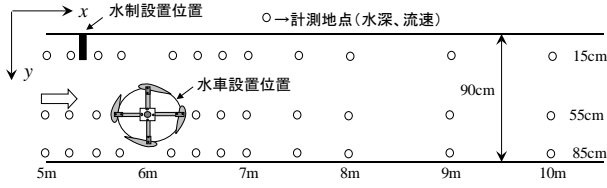


図2 計測点の概要
Outline of measure points

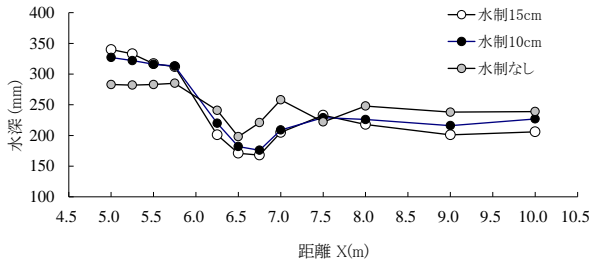


図3 水車周辺の水面形の分布
Distribution of water level around hydro turbine

ここで、 Q : 流量 ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$), ρ : 水の密度 ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$), Pr : 圧力 (Pa), V : 流速 (m/s), H_e : 有効落差 (m), である. 下流水位を H_3 とすると跳水によるエネルギー損失を有効落差として見積もり, 入力として過小評価することになるため, 下流水位を水車直下の H_2 とした.

4. 実験方法

実験には, 幅 90cm, 長さ 12m の設定流速の変更が可能な回流水槽を用い, 図2に示す水車周辺の地点で, 流速および水深を測定した後, 水車の回転数, 発電量を測定した. 設置する水制幅は 10cm と 15cm の二種類とした. 実験ケースは表1に示すように設定流速, および水車径を変えた 16 ケースとした. ダリウス水車は写真1に示すような4枚ブレードで, 弦長 10cm, 高さ 15cm で, 翼面形状は NACA0018 と呼ばれる航空機の翼面で使用されるものを用いた.

5. 実験結果及び考察

実験結果を表1に示す. 水制なしでは流速 0.7m/s で回転を始め, 1m/s で最大の回転数を得られた. 更に水制を設置することで高回転数を得られた. ソリディティ (水車の掃過面積に対するロータブレードの全投影面積の比) が大きい方が高回転を得られており, これまで言われているようにダリウス水車にとって重要なパラメータであることがわかった.

発電機の特性から, 100rpm 以上が最低の回転数であるため, 水車周辺の流況の計測は無負荷時で 100 回転以上を得られた CASE14~16 を重点的に行った. 各 CASE における水車位置の y-55cm ラインの水面形を図3に示す. どのケースも水車前面で堰上げし, その直下で水位が低下しさらに下流で跳水が発生するという形状になった. 水制幅が大きいほど堰上げ効果が大きくなり, 大きな圧力エネルギーを得られた. 流速は水車直下流で低下した後, 跳水を経て回復した. 式(2)より得られた無負荷時の出力は水車径が 0.5m でソリディティが 0.42 の CASE16 で最も大きくなった. 負荷を接続したときに得られる電力は, 最大で 6.4W となった. 低流速下であっても水制の設置による圧力エネルギーの増大や, ソリディティを適切に設定することで有効にエネルギーを得ることができることが明らかになった.