

第Ⅱ部門

一方向流場および波動場に設置されたサボニウス水車の回転性能の評価に関する研究

大阪市立大学 工学部

学生会員

○廣田 理織子

大阪市立大学大学院 工学研究科

フェロー会員

重松 孝昌

1. 研究背景・目的

エネルギー源に占める波力発電の割合は、ほとんどない。これは、沿岸に襲来する波浪エネルギーの時間変動が大きいこと、波浪エネルギーの獲得地と消費地間の送電コストやメンテナンスなどが多くの克服すべき課題を抱えているからである。このような背景のもと、中村ら¹⁾は、強潮流・高波浪場を対象とした波力発電の研究を行っている。しかし、エネルギー消費量の多い都市を抱える内湾を対象とした波力発電に関する研究例は、多くはない。そこで、本研究では、内湾環境下で発現する流れおよび波浪条件の下で、サボニウス水車を設置した場合の回転性能に関する実験を行い、その評価方法について検討した。

2. 研究内容

本研究では一方向流場及び波動場に水車を設置して実験を行った。実験には図-1に示すような二次元造波水槽を用い、水深 h を 0.4m と一定とし、図-2に示す3段構造のサボニウス水車を水槽のほぼ中央に設置した。水車の高さ H_w は 0.312m、水車径 $2r$ は 0.072m である。水面下 0.2m における流速 u は電磁流速計を、水位変動 η は容量式波高計を、水車の回転数 N は小型無線多機能センサーを用いて、サンプリング周波数 100Hz で 100 秒間計測した。実験条件を表-1に示す。

3. 実験結果

まず、一方向定常流場に水車を設置して実験を行った。水面下 0.2m で計測した流速の時間平均値を求め、流速分布が対数則に従うものとして水面における流速 u_0^c を求めた。森本ら²⁾に倣って、水車の回転周速度 $r\omega$ と求めた u_0^c の関係を図-3に示す。両者の間には良好な線形関係があり、 $r\omega = 1.58(u_0^c - 0.02)$ と表されることがわかる。森本ら²⁾は、縦スリット消波工のスリットを通過する最大流速（水面における速度振幅） V_0 と $r\omega$ との間に、 $r\omega = 0.65(V_0 - 0.11)$ なる関係を見出しているが、両者を比較すると、一方向流場に設置されたサボニウス水車のカットイン流速は 0.02m/s は、縦スリット消波工内に設置された場合のそれ 0.11m/s よりも小さく、流速に対する比例係数も

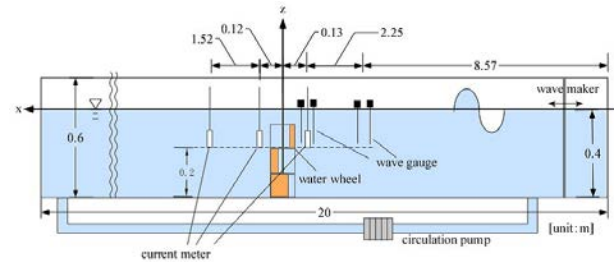


図-1 実験水槽

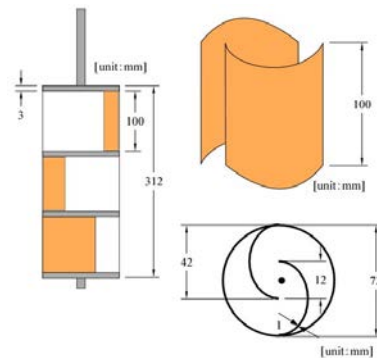


図-2 実験に用いた水車

表-1 実験条件

水深 h (m)	周期 T (s)	相対水深 h/L	波形勾配 H/L	波高 H (m)	流速 u (m/s)
0.4	0.70	0.525	0.01	0.0076	0.025
			0.02	0.0152	
			0.03	0.0229	
	0.80	0.405	0.01	0.0099	
			0.02	0.0197	
			0.03	0.0296	
	0.90	0.327	0.01	0.0122	0.040
			0.02	0.0245	
			0.03	0.0367	
	1.0	0.273	0.01	0.0146	0.10
			0.02	0.0293	
			0.03	0.0439	
	1.1	0.235	0.01	0.0170	0.18
			0.02	0.0340	
			0.03	0.0511	
	1.2	0.207	0.01	0.0194	0.20
			0.02	0.0387	
			0.03	0.0581	

2.5 倍程度大きいことがわかる。すなわち、低流速で水車は回転し始め、流速の増加に伴う周速度の増加の割合も大きく、サボニウス水車が消波工内に設置される場合と比較すると、一方向定常流場に設置される場合の回転性能は高いと評価される。

次に、波動場に水車を設置して実験を行った。森本ら²⁾に倣って、微小振幅波理論に基づいて水面における水粒子速度 u_0^w を算出し、これと $r\omega$ との関係を

求めた結果を図-4 に示す．本実験条件下においては，周期が短い場合には水車は回転することなく，周期が長くなると周速度 $r\omega$ が大きくなる傾向があることがわかる．前述したように，森本ら²⁾は，波周期に関わらず $r\omega$ と V_0 との間に線形関係を見出しているが，図-4 によれば，本実験結果からはこのような傾向を見出すことはできない．これは，森本ら²⁾の実験における水車に作用するスリット通過流速と比較すると，本実験条件下で水車に作用する流速は遅く，波動場における流速の鉛直分布の影響が顕著に現れたのではないかと考えられる．そこで，水車に作用する平均流速 $\bar{V}_w$ を式 (1) より求め，これと $r\omega$ との関係を求めた．

$$\bar{V}_w = \frac{1}{H_w} \int_{-h}^{-h+H_w} \frac{\pi H}{T} \cdot \frac{\cosh k(h+z)}{\sinh kh} dz \quad (1)$$

ここに， k は波数である．結果を図-5 に示す．同図によれば，周期は波形勾配に関わらず， $r\omega$ は $\bar{V}_w$ の $1/2$ 乗で表されることがわかる．すなわち，水車設置水深における流速分布の影響が水車の回転性能に影響を及ぼしていることを示唆していると考えられる．

前述の一方向流場における場合についても，流速分布が対数則に従うものとして水車に作用する平均流速 $\bar{V}_c$ を求め， $r\omega$ と $\bar{V}_c$ との関係について検討した．結果を図-6 に示す．同図より，両者の関係はほぼ線形関係として表されることがわかる．すなわち，一方向流場および波動場に設置されたサゴニウス水車の回転性能は，水車に作用する平均流速を用いて評価できることが明らかになった．

4. 結論

本研究によって得られた結論を要約すると，以下のとおりである．

- 1) 一方向定常流場においては，水車の回転周速度は，対数分布を仮定した水表面流速と線形関係にあること，また，同分布を仮定して求められる水車に作用する平均流速との間にも，線形関係が成立する．
- 2) 波動場においては，水車の回転周速度は，既往研究のような水面における速度振幅との線形関係は成立せず，周期および波形勾配に依存する．この回転周速度は，微小振幅波理論に基づいて求められる水車に作用する平均流速との間には $1/2$ 乗の関係があり，静穏条件下の水車の回転性能の評価には，流速の鉛直分布を考慮することが必要である．

参考文献

- 1) 中村ら：波と流れを受ける直立型水車のエネルギー交換効率に関する研究，土木学会論文集 B2（海洋開発），2013.

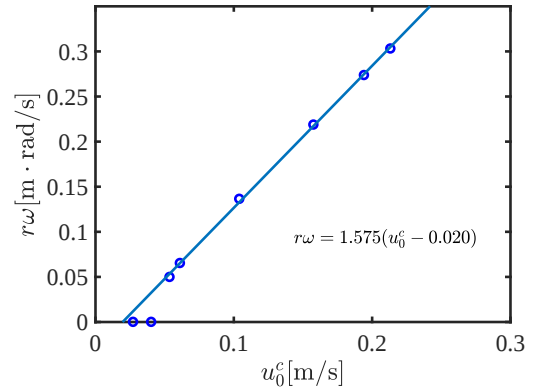


図-3 $r\omega$ と u_0^c の関係

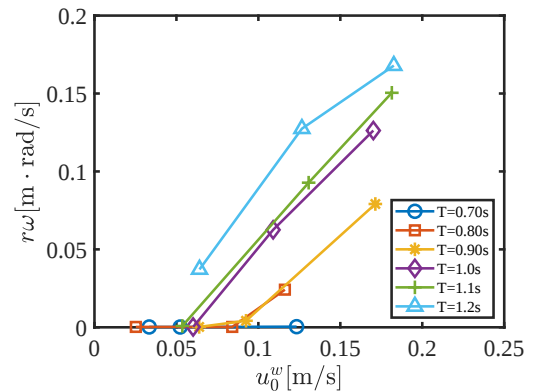


図-4 $r\omega$ と u_0^w の関係

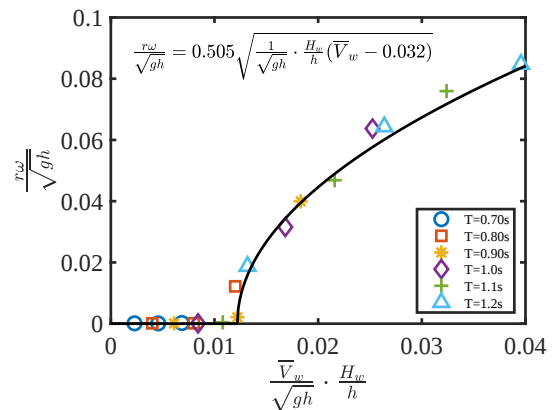


図-5 $r\omega$ と $\bar{V}_w$ の関係

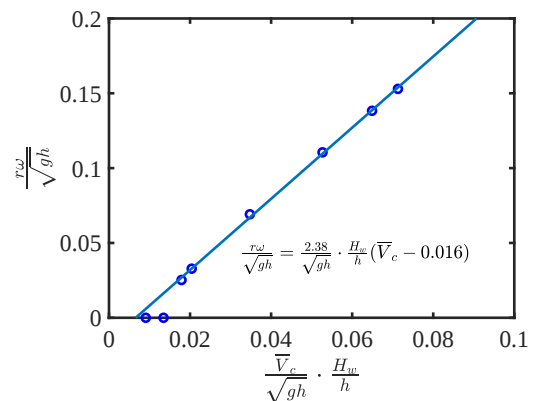


図-6 $r\omega$ と $\bar{V}_c$ の関係

- 2) 森本ら：縦スリット式直立消波工の遊水室内に設置した水車の獲得動力の推定法に関する研究，土木学会論文集 B2（海岸工学），Vol. 71, 2015.