

往復気流発生装置における風速制御の基礎検討 —波浪の統計的性質を用いた不規則波により発生する風速測定— Basic Study on Wind Speed Control in Reciprocating Airflow Generator

- Measurement of Wind Speed Generated by Irregular Waves Using the Statistical Properties of Sea Waves -

○桑原悠輔¹, 辻健太郎², 直井和久², 吉川将洋², 吉田和範³, 嶋俊雄³, 槻舘悦弘³, 塩野光弘²
*Yusuke Kuwabara¹, Kentaro Tsuji², Kazuhisa Naoi², Masahiro Yoshikawa²,
Kazunori Yoshida³, Toshio Shima³, Etsuhiro Tsukidate³, Mitsuhiro Shiono²

Abstract: Previous study conducted to generate a sinusoidal reciprocating airflow using a reciprocating airflow generator that simulates the oscillating water column type wave power generator. However, the wave height and period of sea waves become irregular, and the reciprocating airflow generated by the oscillating water column type wave power generator also become an irregular wave. Therefore, in this paper, using the Rayleigh distribution from the statistical properties of sea waves is used to generate a reciprocating airflow that becomes an irregular wave in the reciprocating airflow generator.

1. はじめに

これまでに振動水柱(Oscillating Water Column)型波力発電装置を模擬した往復気流発生装置を用いて、正弦波の往復気流を発生させ実験を行ってきた^[1]。しかし、実際の波浪は波高や周期が不規則となり、OWC型波力発電装置で発生する往復気流も不規則波となる。また、波浪の波高や周期は統計量として有義波高や有義周期等が用いられ、確率密度関数等で表される。

本稿では、波浪の統計的性質からレイリー分布を用いて、往復気流発生装置に不規則波となる往復気流を発生させ、その際の風速を測定したので報告する。

2. 波浪の統計的性質

波浪の波別解析法は、不規則波の連続した記録を1周期ごとに切り離して行う。この時、主に用いられる方法はゼロアップクロス法である。この方法から求められる波浪の波高の確率分布はLonguet-Higginsによりレイリー分布に従うことが報告されている^[2]。波高の確率密度関数 $p(H)$ は波高を H 、平均波高を \bar{H} とすると(1)式で示される。

$$p(H) = \frac{\pi}{2\bar{H}^2} \exp\left[-\frac{\pi}{4}\left(\frac{H}{\bar{H}}\right)^2\right] \quad (1)$$

また、波浪の周期の確率分布はBretschneiderにより周期の2乗がレイリー分布に従うことが報告されている^[3]。周期の確率密度関数 $p(T)$ は周期を T 、平均周期を \bar{T} とすると(2)式で示される。

$$p(T) = 2.7 \frac{T^3}{\bar{T}^4} \exp\left[-0.675\left(\frac{T}{\bar{T}}\right)^4\right] \quad (2)$$

本稿では、気象庁の波浪観測累年表より石廊崎の平均波高と平均周期^[4]を用いた。

3. 往復気流発生装置

図1に往復気流発生装置の概要図を示す。往復気流発生装置のピストン部は長さ1.5m、一辺1.25mの正方形、測定部は2.0m、一辺0.4mの正方形となり、ピストン部と測定部は長さ1.0mの縮流部で繋がれている。また、ピストンの動作範囲であるボールネジの長さは1.0mである。さらに、風速計は、縮流部側から0.5mの位置に風速計 α を、開放部側から0.5mの位置に風速計 β をそれぞれ測定部断面の中央に設置する。

往復気流発生装置は、モーターの回転運動からギアを介してピストンを往復運動させることにより、波浪から発生する往復気流を再現する。ピストンを測定部へ押し込んだ時、装置内の空気はピストン部から押し出され、この気流は開放部から外へ放出される。反対にピストンを引いた場合、空気が装置の開放部から吸い込まれ装置内に流入してくる。以上の動作でピストンを往復運動させ、測定部に往復気流を発生させる。

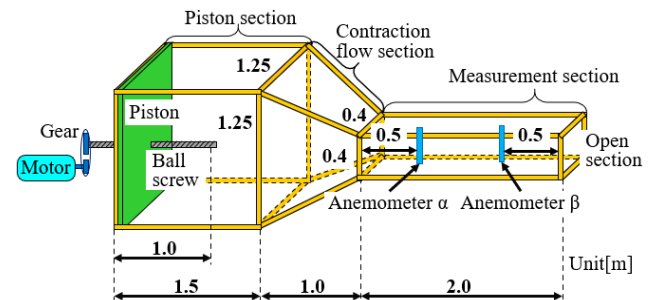


Figure 1. Reciprocating airflow generator

4. 往復気流の制御方法

往復気流発生装置はモーターの回転速度と周期を制御することで不規則波となる往復気流を発生させる。OWC型波力発電装置の空気室内に相当するピスト

ン部の風速 $W_p(t)$ は波高を H , 周期を T , 時間を t とすると(3)式で示される.

$$W_p(t) = \frac{2H}{T} \sin\left(\frac{2\pi}{T}t\right) \quad (3)$$

往復気流発生装置のモーターの回転速度 $N(t)$ は, ボールネジの回転速度を $N_B(t)$, ギヤ比を a とすると(4)式で示される.

$$N(t) = aN_B(t) \quad (4)$$

ここで, ピストンはボールネジが一回転するごとに $x_B[\text{m}]$ 移動するため, $W_p(t)$ と $N_B(t)$ の関係は(5)式となる.

$$x_B N_B(t) = 60W_p(t) \quad (5)$$

往復気流発生装置のモーターを制御するサーボンプへの電圧指令値 $V(t)$ はモーターの回転速度 $N(t)$ に比例する. ここで, サーボンプへの電圧指令値 $V(t)$ は, 往復気流発生装置のモーターの定格回転速度が N_R , サーボンプへの電圧指令値の定格電圧が V_R とすると(6)式で示される.

$$V(t) = \frac{V_R}{N_R} N_B(t) \quad (6)$$

さらに, (6)式に(5)式を代入するとサーボンプへの電圧指令値 $V(t)$ は(7)式で示される.

$$V(t) = \frac{60V_R}{x_B N_R} W_p(t) \quad (7)$$

本稿は, 気象庁の波浪観測累年表より石廊崎の平均波高と平均周期^[4]を用いて確率密度関数 $p(H)$ と $p(T)$ を求め, これらの分布から不規則波の生成を行う. 往復気流発生装置において, n 周期分の波を発生させる場合, サーボンプへの k 周期目の電圧指令値を $V_k(t)$ とすれば, (8)式で示される.

$$V_k(t) = \frac{120V_R H_k}{x_B N_R T_k} \sin\left(\frac{2\pi}{T_k}t\right) \quad (k=1,2,3,\dots,n) \quad (8)$$

ただし, H_k と T_k は k 番目の波高, 周期であり, H_k と T_k は乱数発生器 G により決定する. レイリー分布および T^2 レイリー分布の乱数発生器 G は, ワイブル分布を逆関数法により求めると(9)式で示される^[5].

$$G = \varphi(-\ln U)^{\frac{1}{\gamma}} \quad (9)$$

ただし, φ は尺度パラメータ, γ は形状パラメータ, U は0から1までの一様分布である. ここで, 波高 H_k の乱数発生器は尺度パラメータ φ が \bar{H} , 形状パラメータ γ が2とした. また, 周期 T_k の乱数発生器は尺度パラメータ φ が \bar{T} , 形状パラメータ γ が4とした. 従って, (9)式より波高 H_k の乱数発生器は(10)式, 周期 T_k の乱数発生器は(11)式で

示される.

$$H_k = \bar{H}(-\ln U)^{\frac{1}{2}} \quad (10)$$

$$T_k = \bar{T}(-\ln U)^{\frac{1}{4}} \quad (11)$$

5. 風速試験方法および結果

図2に往復気流の制御システムを示す. 往復気流の制御は, LabVIEWを用いてPCからD/Aコンバータを介してサーボンプに電圧指令値を印加し, モーターの回転速度と周期を制御することで往復気流を発生させる. また, 本稿では20周期分($n=20$)の波を発生させた.



Figure 2. Reciprocating airflow control system

図3に往復気流 W の測定結果を示す. ここで, ピストンを押し込む時の風速を風速計 α , ピストンを引き込む時の風速を風速計 β でそれぞれ測定した. その結果, 往復気流の波形は個々の波に分割すると波の振幅, 周期が変化しており, 不規則波となることを確認した.

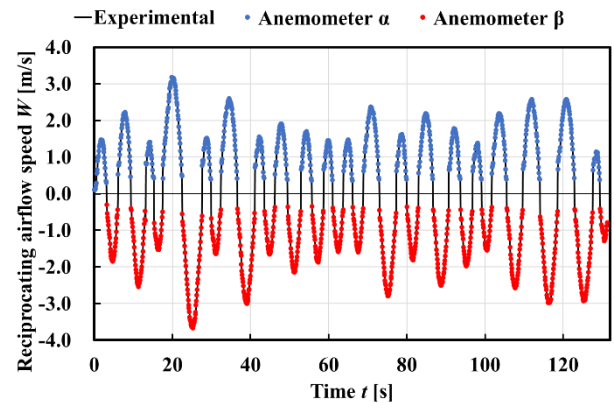


Figure 3. Experimental result

6. まとめ

本稿では, 波浪の統計的性質からレイリー分布を用いて, 往復気流発生装置に不規則波となる往復気流を発生させ, その際の風速を測定した. その結果, 風速の波形は不規則波となることを確認した. 今後は, より現実に近い不規則波の生成を行うため, 波浪のスペクトルを用いて往復気流を生成していく.

参考文献

- [1]高橋ほか:「風向版を用いた往復気流中の垂直軸タービン-ソリディティが起動に及ぼす影響」,平成31年電気学会全国大会 p.78 (2019)
- [2]M.S.Longuet-Higgins:“On the statistical distribution of the heights of sea waves”*Jour of Marine Res*,Vol.XI,No.3,pp.245-266 (1952)
- [3]C.L.Bretschneider:“Wave variability and wavespectra for wind-generated gravity waves”, U.S.Army Corps of Engineers,Beach Erosion Board,Tech.Memo.No.113 (1959)
- [4]気象庁:波浪観測累年表, 2010-2018, 石廊崎, <https://www.data.jma.go.jp/kaiyou/data/db/wave/stat/pdf/47656s.pdf>
- [5]藪谷千風彦:「統計分布ハンドブック (増補版)」, 朝倉書店, p.694 (2010)