

非平衡風波場における気流変化の可視化実験

Visualization experiment of airflow change in non-equilibrium wind field

北海道大学工学部 4 年 ○学生員 杉村一直 (Kazunao Sugimura)
 北海道大学院工学研究院 正員 渡部靖憲 (Yasunori Watanabe)

1. はじめに

大気海洋境界面近傍の流れ及び海面過程は、平衡風波場を仮定した粗面上の乱流境界層流れのバルク式を基本として評価されてきた。この時、粗度は海洋波の波高、波形勾配あるいは波速と風速の比（波齢）によって経験的に見積もられ、もっとも簡単なものは摩擦速度のみの経験関数である Charnock(1955)の式として知られている。しかしながら、こうして得られた粗度で見積もられたバルク定数（例えば海面抵抗係数）は、風速、水面波の状況、風波場の変動に依存して大きくばらつき、観測、実験において一意に決定できない。特に台風等の低気圧に伴う風波場では、時間的に増減する風速、低気圧との相対位置に依存して変化する風向、それらに応答して変化発達する波浪によって非定常非平衡風波場が形成され、平衡状態を前提とするバルクモデルがそもそも適用できない可能性がある。近年、ハリケーンの強風速下で海面抵抗係数の飽和あるいは減少を表す観測結果（例えば Pawell 2003）について様々な研究が行われてきた一方（例えば Donelan 1992）、風波場の非平衡性の影響が不明なため、抵抗係数の変動機構を決定することは困難と考える。

本研究は非平衡風波場を風洞水槽において再現し、風によって発達を継続する波浪によって変動する風場の特長並びにその統計量の発達を高速高解像度動画画像計測によって評価しようとするものである。

2. 実験方法

本実験は図 1 のように W100mm × H340mm × L2000mm の風洞水槽を用いて行う。風洞水槽は送風機、水槽、発煙機からなる。

風洞上部の送風機から風を送り込み、風が赤の矢印の方向に沿って風洞装置全体を循環する。風洞内の曲部によって生じる風の乱れを軽減するため、水槽入口付近に整流板が備え付けられている。

風の流れを可視化するため、風洞に備え付けた発煙機からスモークを風洞内に排出する。レーザーを水面に向けてシート状に照射し、水槽側面から高速度カメラで約 5cm × 5cm の Field-Of-View(FOV)のレーザーシート面上のスモーク粒子の流れと水面形状の変化が撮影され、較正画像を基に線形変換された解像度 0.088mm/pixel の画像に対して解析が行われる。

水槽入口付近を原点 O とし、鉛直方向を Z 軸、水平方向を X 軸とする。水槽内の静水位(η)を制御し、風速分布ならびに風速波浪の発達度合いを調整する。

なお、風洞内の風場の基本特性を調査する予備実験において、熱線式のスティック風速計を用い任意の水位に

対する水槽入口付近 ($X=0(\text{cm})$) の風速分布を計測した。

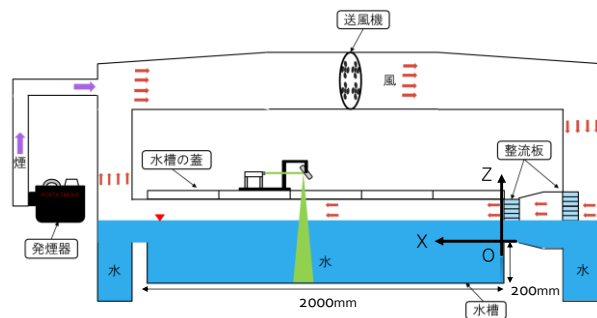


図 1：風洞水槽の概略

3. 解析方法

キャリブレーションを行い高速度カメラで撮影した画像の実際の大きさを決定する。格子の大きさが 1cm × 1cm のボードを 1024 × 1024pixel の解像度で撮影する。スモーク粒子の流速を計測するため PIV（粒子画像流速測定法）を行う。PIV は流れ場における多点の瞬時速度を非接触で得ることができる流体計測法であるので、スモーク粒子をトレーサにして風速を計測する本実験に適している。

4. 結果

予備実験において風速の簡易計測を行い水槽内の風速分布の特徴を調査した。図 2 は水槽内静水位 $\eta=0\sim 6\text{cm}$ に対する $X=0$ での水平風速の鉛直分布を表している。 $\eta \leq 2\text{cm}$ では、循環風洞内の流入部直前の曲部における気流の剥離により、水面近傍に最高風速が生じ、境界層流れの特徴を再現しない。一方、 $\eta \geq 4\text{cm}$ では、低高度風速ピークは発生せず、水面近傍でおおよそ鉛直軸に対して単調増加する分布を表す。以降、 $\eta=4\text{cm}$ の条件における計測結果を議論する。

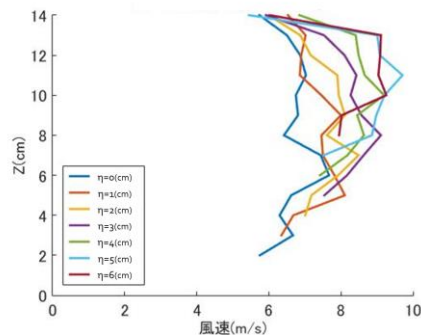


図 2：風速分布

図 3 は、 $X=0\text{cm}$, 100cm , 200cm における高速撮影画

像の一例を表す。海上風に駆動された初期水位攪乱が発達し軸対称な波へと変形していく過程を確認することが出来る。

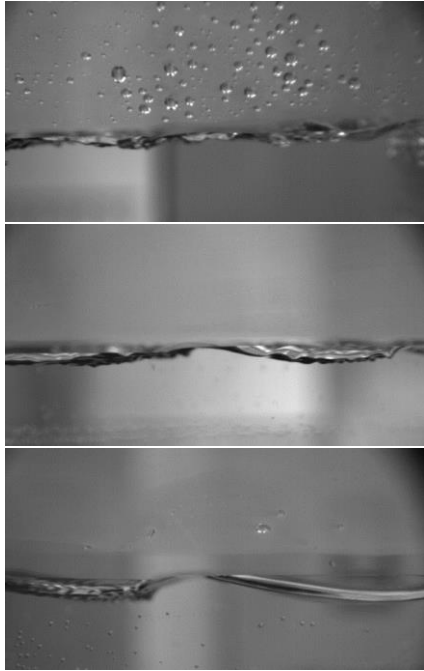


図 3：風波の高速撮影画像
(上から X=0cm, 100cm, 200cm)

図 4 は、PIV によって算出した X=100cm における平均風速分布の一例を示す。試行計測が十分でなく風速変動が強く現れており、統計評価を行うため今後さらなる計測を行う必要がある。

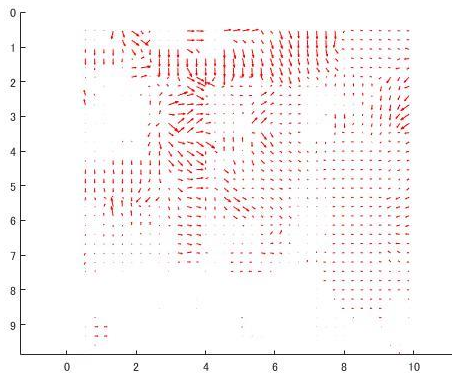


図 4：平均風速分布

5. おわりに

高速度カメラでスモーク粒子と水面を撮影し、PIV を用いて平均風速分布を求めた。試行計測が十分でなく風速変動が強く現れており、統計評価を行うため今後さらなる計測を行う必要がある。

6. 参考文献

Charnock, H. (1955), Wind stress on a water surface, Q. J. R. Meteorol. Soc., 81, 639–640, doi:10.1002/qj.49708135027.
Donelan, M. A., M. G. Skafel, H. Graber, P. Liu, D. Schwab,

and S. Venkatesh (1992), On the growth rate of wind-generated waves, Atmos. Ocean, 30(3), 457–478, doi:10.1080/07055900.1992.9649449.

Powell, M. D., P. J. Vickery, and T. A. Reinhold (2003), Reduced drag coefficient for high wind speeds in tropical cyclones, Nature, 422, 279–283, doi:10.1038/nature01481.