

風波下の乱流構造に関する基礎的研究

東京都立大学大学院工学研究科 正会員 新谷哲也
 熊谷組 中出朝夫
 東京都立大学大学院工学研究科 正会員 梅山元彦

1. まえがき

大気と海洋の相互作用に係わる問題としては、風波の発達理論が多くの研究者の関心を集めてきたが、近年では特に環境問題の観点から二酸化炭素の海洋への蓄積に関して注目されてきている。しかし、風の強度や吹送時間によって水面付近の様子が異なってくるのが知られており、これによって大気から海洋への化学物質の輸送機構が複雑化するものと予想されるので、風に起因する水面付近の物理現象を詳細に調査する必要がある。そこで、本研究では風波下の流れの構造に関して、先ず2次元風洞水層を用いて実験的に流れの鉛直速度成分を求め、次に混合距離理論に基づいて導き出した流速公式から得た結果とそれを比較し、大気と海洋の境界で起こる複雑な物理現象を理解することを目的とする。

2. 実験法

実験は、図1に示すような長さ25m、幅0.5m、深さ0.8mの2次元風洞水槽を用い、水深は50cmに固定した。風速、流速及び波高の測定は、風の吹き出し口から5.0mの地点で行った。風速および流速は水面より1cmの間隔で連続的に測定した。流速測定は、電磁流速計を用いて水平方向と鉛直方向の速度分布を求め、風速測定はピトー管式風速計を用いて鉛直風速分布を求めた。なお、実験風速は2.5m/s、5.0m/s、10.0m/s、15.0m/sの4種類とした(図2)。また、水面下の流れの構造を視覚的にとらえるために、水素気泡発生装置を用いた。

3. 理論的考察

実験結果から水中の $-\rho u'v'$ の分布を求めたものが図3に示されている。風速2.5m/sと5.0m/sのケースではほぼ深さ方向に変化がないことから、層流の状態であると考えられる。風速10.0m/sと15.0m/sのケースでは、水面付近でこの値が大きく水深が増すにつれて一定値に近づいていることから、水面下では乱流層になっているものと考えられる。各ケースでレイノルズ数を計算した結果を表1に示す。(ただし、代表長として水平流速が0になるまでの水深 δ 、代表速度として水面での水平流速 u をとった)。

流れが乱流である場合の鉛直速度分布を求める式を導いてみることにする。先ず、せん断応力分布は実験結果から次式のように仮定する。

$$\frac{\tau}{\tau_0} = \frac{1 - \frac{y}{\delta}}{1 + y} \dots \dots \dots (1)$$

ここで、 τ_0 は、水面でのせん断応力である。

また、プラントルの運動量輸送の理論が適用できるとすると、せん断応力 τ は以下のような式で表現できる。

$$\tau = \rho \ell^2 \left| \frac{du}{dy} \right| \frac{du}{dy} \dots \dots \dots (2)$$

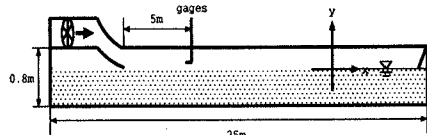


図1 風洞水槽

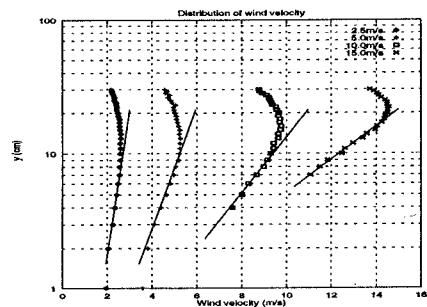


図2 風速分布

風速	レイノルズ数
2.5m/s	800
5.0m/s	1200
10.0m/s	3500
15.0m/s	7200

表1 レイノルズ数

Keywords: 風波、乱流、混合距離

〒193-03 東京都八王子市南大沢1丁目1番地 Tel. (0426)77-1111, Fax. (0426)77-2772

ここで、 l は混合距離と呼ばれるもので今回は次式で定義した。

$$l = \kappa y \exp\left(-\frac{y}{a}\right) \dots\dots\dots (3)$$

ここで、 κ はカルマン定数であり、 $\kappa = 0.4$ である。また、式中の a は水面付近で l が最大になる水深であり、実験結果から決定しなければならない定数である。

(1),(2),(3) 式より、速度勾配に関する式は次式のような形で得られる。

$$\frac{du}{dy} = \frac{u_*}{\kappa} \frac{\exp\left(\frac{y}{a}\right)}{y\sqrt{1+y}} \sqrt{1-\frac{y}{\delta}} \dots\dots\dots (4)$$

ここで、 u_* は、摩擦速度であり $u_* = \sqrt{\frac{\tau_0}{\rho}}$ である。もし、水面での水平速度がわかれば、(4) 式を用いることによって速度分布は数値的に計算することができる。

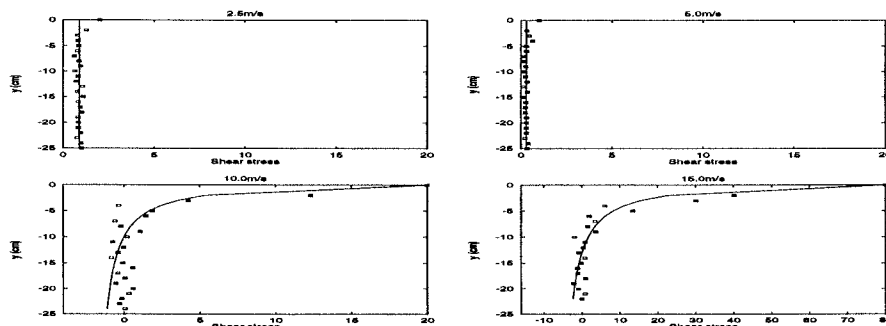


図3 せん断応力 $-\rho u'v'$ の分布

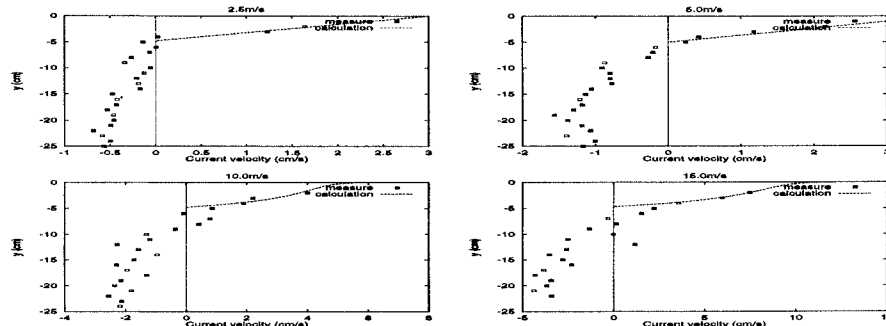


図4 水平流速 u の分布

4. まとめ

水面付近の風速分布は、一般に言われているように対数則に従っている。

実験結果より τ の関数形を仮定し、混合距離理論を基礎として導かれた公式を用いて計算した水平流速 u の値は水面近くの乱流層において実験値と良い一致を示した。このことは、風波下の乱流に対して与えたせん断応力分布と混合距離分布が適当であったことを示している。

また、各ケースで水素気泡を発生させて写真撮影を行った結果、風速 2.5m/s と 5.0m/s のケースに関しては水面下での顕著な鉛直方向の乱れは確認できなかったが、風速 10.0m/s のケースでは激しい乱れが見られ、また、風速 15.0m/s のケースでは波の運動と流れによる運動が互いに顕著になることが確認できた。

今後の課題として、より詳しい乱流構造を調べるために、より細かく風速を設定してより詳細な流速を測定する必要がある。また、今回循環流については無視して議論を進めてきたが、水槽の循環流の実験結果に与える影響についても考慮しなければならないと考えられる。