

風波による懸濁物質の拡散に関する研究

筑波大学工学システム学類 学生会員 ○金子 公久
筑波大学理工学研究科 学生会員 辻村 太郎
筑波大学機能工学系 正会員 京藤 敏達

1. はじめに

風波は大気海洋間の熱、気体、エアロゾルの交換に対して重要な役割を担う。特に水中における熱、気泡の移流・拡散現象の解明はこれらのフラックスを見積もる上で必要となる。また、浅水湖沼における底泥の巻き上げおよび拡散にも風波は大きな影響を与えている、そこで本研究では、風洞水槽を用いて、風波下の拡散に関する実験を行った。

2. 実験方法

実験には風洞水槽（長さ 1700cm、高さ 86cm、幅 40cm）を用いた。実験では、戻り流れの影響を軽減するため底面から 11cm の位置に水平板(厚さ 2cm)を設置し二重構造とした。水深は 37cm に固定し、風速を変化させた、流速および水位変動の測定には、電磁流速計と容量式波高計を用いた、流速および波高データのサンプリング周波数はそれぞれ 50Hz、100Hz である。風速はピトー管を用いて計測した。また、吹走距離 6 m 付近で染料および懸濁物質を投入し、その拡散を画像計測した。また、同時に高速度ビデオカメラを用いて PIV による速度場の算出を行った。また本実験では風速を 4.8m/s に固定した。

3. 実験結果

3. 1. 水位の計測

吹走距離 $f=5.1\text{m}$, 6.9m における水位のスペクトルを図 1 に示す。スペクトルのピークは 5Hz 付近にあり、そこから算出したエネルギーは、 $4.48 \times 10^{-6} \text{ m}^2$ となる。また、周波数 20Hz 以上の成分は f^{-4} 則に従っており、既存の経験則にほぼ一致する。¹⁾

3. 2. 流速の計測

電磁流速計を用いて流速分布を計測した。流速は水深 2, 3, 4,...9, 10, 13, 15, 20, 25, 30 cm の各位置において 8192 データ（約 80 秒分）を取得した。流

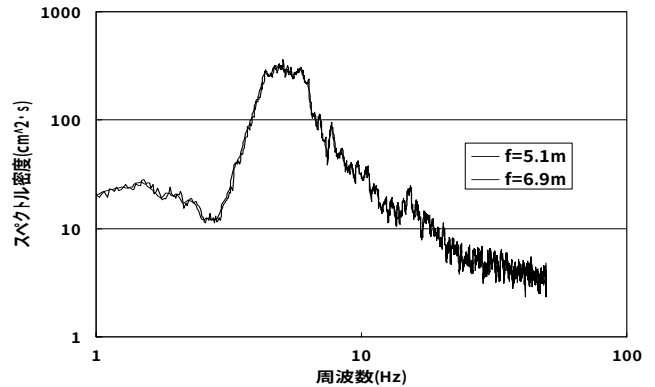


図 1. 水位変動のスペクトル

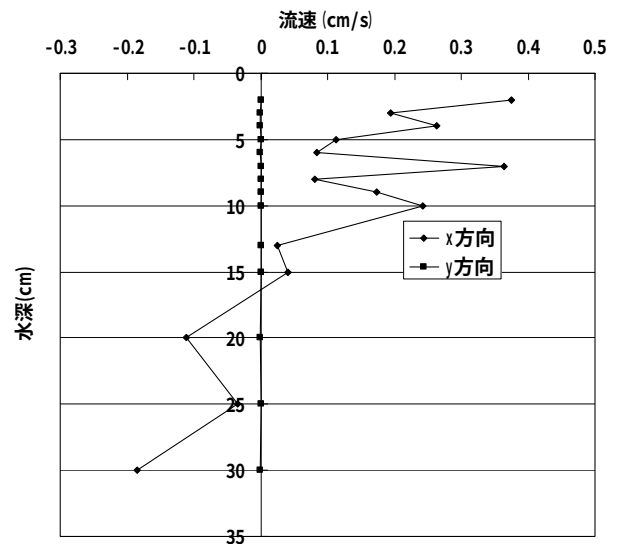


図 2. 電磁流速計による流速分布

速分布を図 2 に示す。水深 5~15cm の位置で平均流速分布はノコギリ状となり、何らかの物理現象が関与していると考えられる。

3. 3. 可視化実験

トレーサーはナイロン粒子(比重 1.02)を用い、高速度ビデオカメラ(30Hz)で撮影し、相関法により速度場を求めた(図 3)。

3. 4. 拡散係数の評価

拡散係数の評価を行うために、流速の相関時間 τ_c

キーワード 風波, 拡散, 渦, 乱流

連絡先 〒305-8573 茨城県つくば市天王台 1-1-1 筑波大学機能工学系水圏環境研究グループ TEL 029-853-5486

E-mail : kaneko@surface.kz.tsukuba.ac.jp

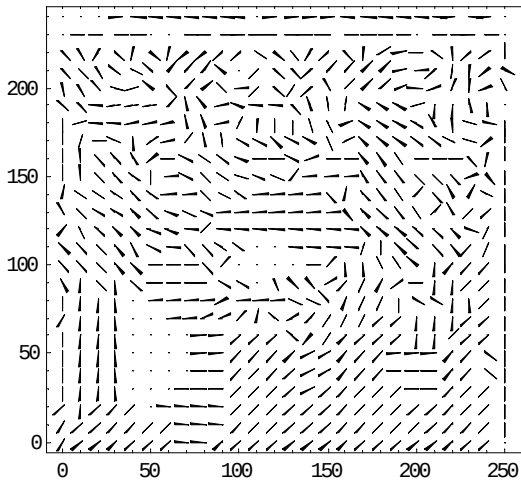


図3. 可視化画像による速度場

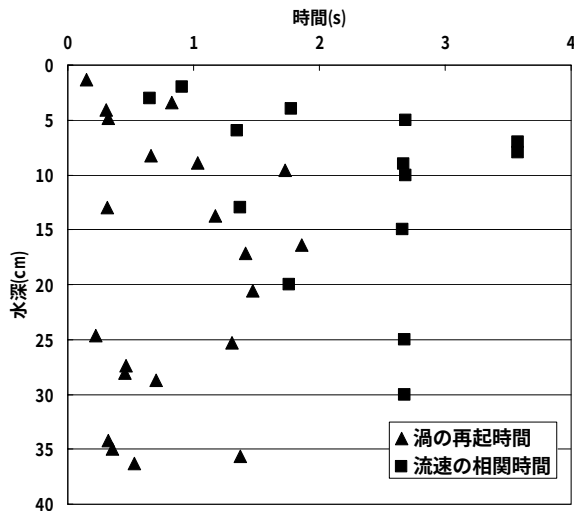


図4. τ_c と τ_{ed} の水深依存性

と渦の再起時間 τ_{ed} を算定し、どちらの現象が拡散に効いているかを議論する²⁾。流速の相関時間は、電磁流速計のデータを用い、渦の再起時間はPIVの流速場を用いて算出した(図4)。図4からこれらの時間スケールはかなりばらついているが、全体を通して流速の相関時間が大きい。そこで拡散係数 β を以下の式

$$\frac{1}{3} \int \overline{\vec{v}(t) \cdot \vec{v}(t')} dt' \nabla^2 \bar{C} = \beta \nabla^2 \bar{C}, \quad \beta \equiv \frac{1}{3} \overline{\vec{v}(t) \cdot \vec{v}(t)} \cdot \tau_c$$

により評価した。ここで $\vec{v}(t)$ は流速変動、 $\bar{C}$ は平均密度である。流速の自己相関係数は、表層では大きく下層では小さくなる傾向があった。一方、水深20cm以下では流速が非常に小さく層流となっており、相関値は大きい。図5は乱れエネルギーおよび相関時間から算定した拡散係数を示す。拡散係数は上層で大きく、下層で減少する。しかし、水深12cm付近で一度増加している。この

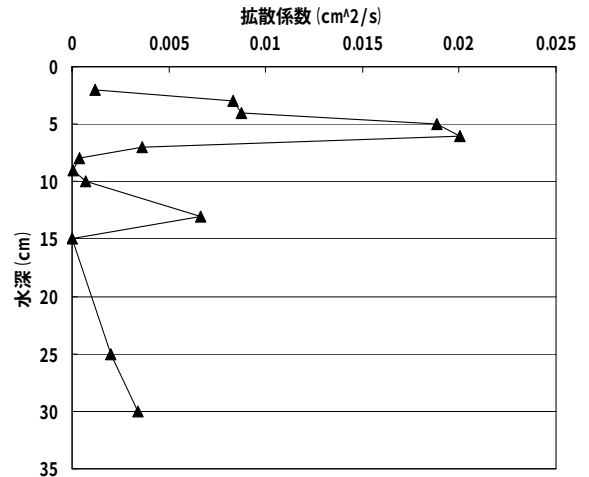


図5. 拡散係数の算出

理由は12cm付近に戻り流れ成分と上層の吹走流成分の境界があるためと考えられる。

3.4. 染料、懸濁物質の拡散に関する実験

染料(ウォーターブルー1g/500cc)、懸濁物質(ポリスチレン45g/450cc)を水深2, 7, 12, ... 32cmの位置にノズルから連続的に投入した。画像はビデオカメラを用いてサンプリング周波数10Hzで計測した。図6(左)から渦の大きさは数センチ、混合が流れの伸縮と折りたたみというカオス的混合によることが理解される。また、図6(右)から放物線状に拡散が進行していることがわかる。

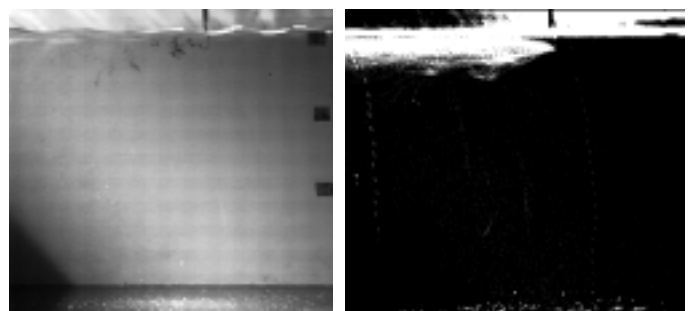


図6. 染料の拡散画像と重ね合わせた画像

4. まとめ

- ・ 流速の時間相関および渦の再起時間から風波下の拡散係数を算定した。

参考文献

- 1) 光易 恒: 海洋波の物理, 岩波書店, 210p., 1995.
- 2) E. G. Blackman and G. B. Field: A new approach to turbulent transport of mean scalar, PHYSICS OF FLUIDS, Vol 15, pp.73 - 76, 2003.