

近畿大学大学院 学生員 ○二田 修志

近畿大学理工学部 正会員

竹原 幸生

近畿大学大学院 学生員 岩科 徹也

大阪産業大学 正会員

水谷 夏樹

近畿大学大学院 学生員 大塚 直

近畿大学理工学部 正会員

江藤 剛治

1. はじめに 大気-海洋間における気体輸送過程において主要な役割を担っている現象の1つに、風波による水表面の乱れがある。本研究では風波による水表面近傍での乱れを明らかにすることを目的としている。

著者らのこれまでの研究により、白波が発生しない風波下の水表面近傍での気体と水の動きを、PTVにより同時計測することに成功した。しかし風速を上げていくにつれて波動成分が卓越し、風波特有の吹送流などの詳細な流れを確認することが困難となった。

本研究では PTV で得られた流速ベクトル分布図から波動成分を取り除く手法について検討を加えた。

2. 実験装置及び実験方法 実験には長さ 28.5m, 幅 1.5m, 高さ 1.3m の風洞水槽を用いた。水深は 0.53m に設定し、送風装置により風速 10.2m/s の風を吹かせた。風の吹き出し口から 11.3m の位置において計測を行った。

撮影には高解像度かつ広範囲を撮影するために、高出力ダブルパルス Nd : YAG レーザー1台 (150mJ/Pulse), CCD カメラ3台 (1008×1018 pixels, Kodak 製), 制御用のパーソナルコンピュータ3台, 同期装置1台, カメラ用ストロボ1台を用いた。レーザー光は二次元の撮影断面を照射するため、シリンドリカルレンズを用いてシート光に広げた。なお、2台のレーザーの発光遅延間隔は 3msec に設定した。トレーサーとして、ナイロン 12 粒子を用いた。

図-1 に示すように、2台の CCD カメラを水平に並べ、水表面近傍を拡大し、広い範囲を撮影できるようにした。もう1台は水表面決定のために水面上方から少し下に向け設置した。

画像座標から実空間座標への変換のため、90cm×90cm の標定板を用いた。標定板には 2.5cm 間隔で格子線が描かれており、CCD カメラ間の相互の撮影領域を調節することができる。

同期装置によりレーザーと3台の CCD カメラを同期させ、ストロボを1回画像中に写し込むことにより、計測開始時点を合わせた。

3. 波動成分の分離方法 画像計測結果から波動流速成分を取り除くため、水面形状による波動流速成分が微小振幅波理論によって表されると仮定した。以下に具体的な方法を示す。

- 実験により得られた水面波形をフーリエ変換により $\sin$ および $\cos$ 波に分解する。
- 分離した波形に微小振幅波理論が適用できると仮定し、各波形に対して速度ポテンシャルを求める。
- 各波動成分に対して求めた流速成分を足し合わせる。
- 求めた流速成分を PTV より得られた流速ベクトル分布図から、差し引く。

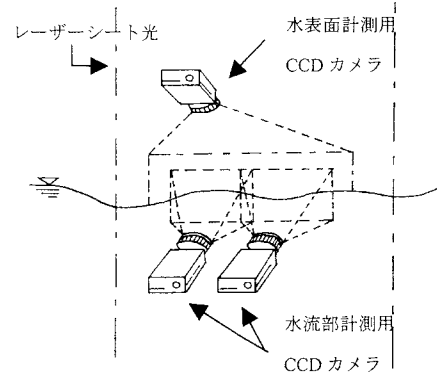


図-1 カメラの配置

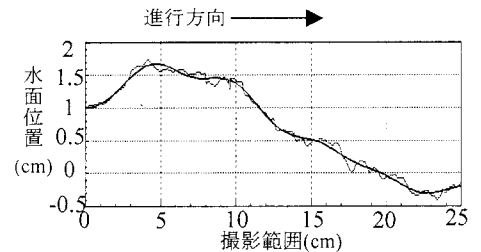


図-2 水面波形

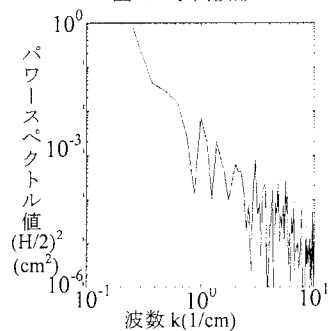


図-3 パワースペクトル図

4. 実測地を用いた解析

4.1 波形の分解

今回解析に用いた水面波形を図-2 に示す。
フーリエ変換により、水面波形のパワースペクトルを求めた(図-3)。波長が最も長い場合でパワースペクトル値の最大値を示した。今回は重力波が支配的と考え、波長の長いものから 10 個の成分を主要な成分と考えた。確認のため、1~10 個目までのフーリエ係数を用い、逆フーリエ変換によって水面波形を求めた結果を図-2 の太い実線に示す。およそ一致したことから抽出した 10 個の成分は元の波形を構成する主要な成分と言える。

4.2 速度場の推定

4.1 で得られた主要な波のフーリエ係数を用いて、分解した個々の波について流速成分 u , v を微小振幅波理論により求めた。
今回は得られた 10 個の流速成分を足し合わせることでより得られた水面形状に対する重力波流速成分を求めた。重ね合わせた流速ベクトル分布の和は、 $0.25\text{cm} \times 0.25\text{cm}$ の格子点上で表されている(図-4)。

4.3 波動成分の分離

PTV によって得られた流速ベクトル分布図を図-5 に示す。図-5 から 4.2 で求めた流速成分を差し引くには、流速ベクトル分布図を $0.25\text{cm} \times 0.25\text{cm}$ の格子点上に変換する必要がある。今回は、ガウシアン(高斯)の重み付き平均操作を用いて格子点上に流速を変換した(図-6)。この操作により、図-4 と図-6 の格子点座標は等しくなり、流速成分 u , v を差し引くことが可能となった。

5. 結果および考察

風波の観測結果(図-6)から微小振幅波理論により求めた流速分布(図-4)を差し引いた結果を図-7 に示す。図-6 中の実線□(a)で囲んだ範囲を図-8 に、図-7 中の実線□(b)で囲んだ範囲を図-9 に示す。結果より以下の特徴が見られた。

図-6 中の実線○で囲んだ範囲で、風向きとは逆向きの波動による戻り流れと考えられる流れが見られた。差し引いた結果である図-7 中の実線○で囲んだ範囲では、風向きと同じ方向の流れが確認できた。これは吹送流成分と考えられ、波動成分が取り除かれたために確認することができたものである。

図-8 の水表面近傍で見られた水面から飛び出すような流れが、差し引きを行うことにより図-9 では風に引っぱられるような水表面に沿った流れとして表された。水表面付近は風による吹送流成分が大きいので、波動成分を差し引くことにより、顕著に表れたと考えられる。

図-7 中には、まだ多くの波動成分が残っている。今回は画像計測によって得られた水面波形によって引き起こされる流速場が重力波による流速場の重ね合わせと考え、波動成分の分離を行った。そのため、風によって駆動されている波動成分については考慮していない。よって、重力波の重ね合わせだけでは表せない波動成分が残っている。今後風によって誘起される波動成分を分離する手法を検討し、風から波への運動量輸送と風から流れへの運動量輸送を見積ることが必要である。

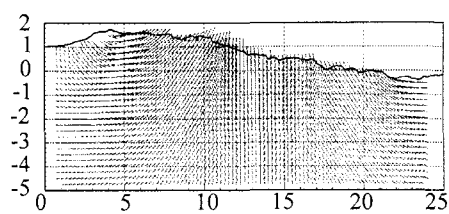


図-4 微小振幅波理論から求めた

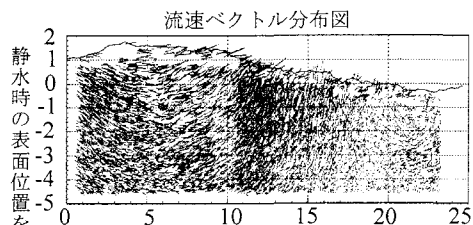


図-5 PTV より求めた流速ベクトル分布図

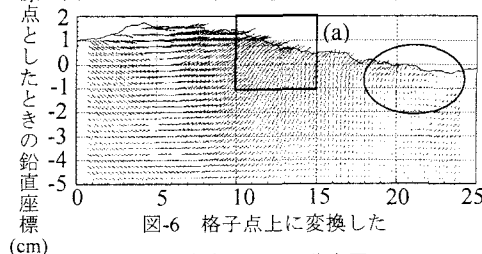


図-6 格子点上に変換した

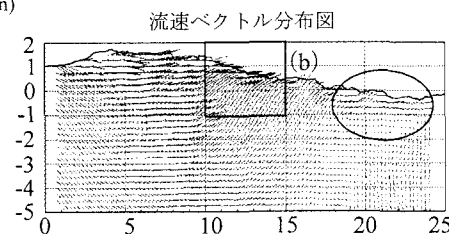


図-7 差し引いた後の流速ベクトル分布図

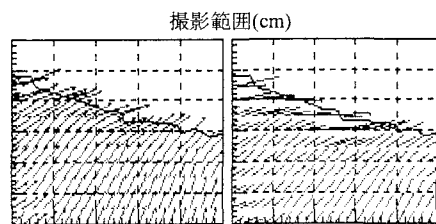


図-8 (a)の拡大図

図-9 (b)の拡大図