

## Dean の流関数を用いた風波下流速分布からの波動成分分離の試み

近畿大学 学生員 寺澤 泰一 近畿大学 正員 竹原 幸生  
 近畿大学 正員 江藤 剛治 神戸高専 正員 辻本 剛三  
 大阪産業大学 正員 水谷 夏樹

## 1. はじめに

大気 - 海洋間での気体、運動量、および熱などの輸送現象は、地球環境を考える上で最も重要な因子の一つであり、海面を通じた収支量を正確に把握することは重要である。大気 - 海洋間での輸送現象は、主に海面上に作用する風によって引き起こされる。海面上に風が吹くことによって、吹送流が生じ、風波が発生する。風波が海面を乱すことにより、大気 - 海洋間の気体輸送を促進させる。

本研究では、風波下の気体輸送に関係する水表面近傍での水の動きに着目し、風洞水槽での画像計測により風波下の流速場を求めた。さらに、Dean の流関数によって求めた水面波動による流速成分を画像計測により求めた流速場から分離することによって、吹送流成分のみの抽出を試みた。

## 2. 実験装置および実験方法

実験には、国土技術政策総合研究所の風洞水槽（長さ 28m、高さ 1.3m、幅 1.5m）を用いた。水深は 0.53m に設定し、風の吹き出し口から 11.3m の位置において計測を行った。送風装置の周波数は、300 Hz（風速 10.2m/s）に固定して実験を行った。

PTV には、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）、トレーサーとしてナイロン 12 粒子（平均粒径 50 μm、比重 1.02）を用いた。また、水面位置の決定には、水溶性の蛍光塗料（フルオレセイン）を用いた。ダブルパルス Nd:YAG レーザーは、2 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状に広げた。

風波は、進行方向に長いいため拡大撮影しなければならない。拡大撮影すれば解像度が低下し、詳細な計測が行えない。水表面近傍の詳細な計測を行うために 2 台の CCD カメラを波の進行方向に水平に並べ、水表面近傍を拡大し、かつ広範囲に撮影を行った。風波は 3 次元であるため、手前の波が写り込まないように下方から見上げるように撮影した。撮影範囲は 1 台当り縦横 12cm 程度に設定した。左右の重複範囲 2.5 cm 程度にし、撮影範囲は進行方向に約 20cm である。

1 台の CCD カメラを水表面決定用に用いた。水面上方から少し下に向け設置し、撮影範囲は、水流計測範囲が全部入るように設置した。

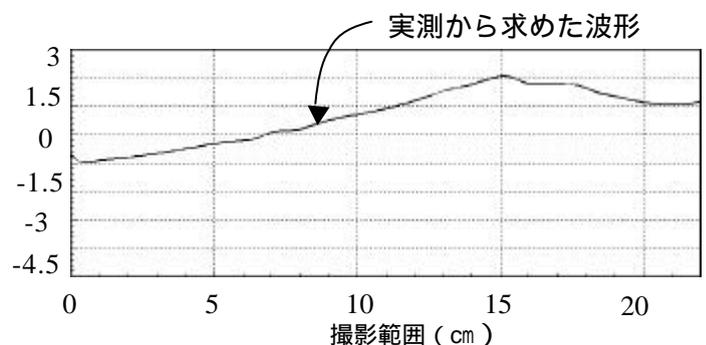


図-1 画像計測から得られた水面波形

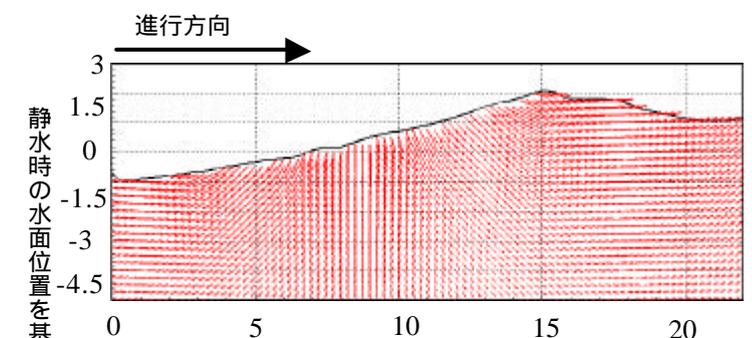


図-2 Dean の流関数理論より求めた波動成分の流速分布図

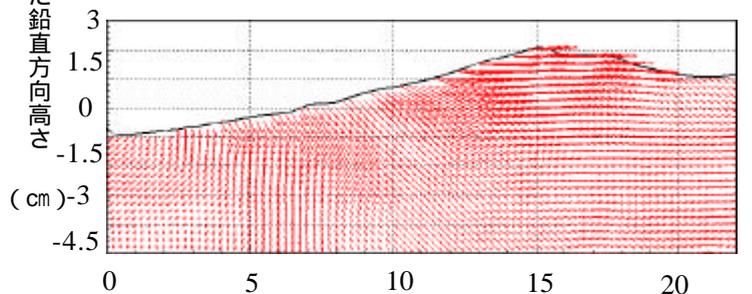


図-3 PTV により求めた流速分布図

撮影範囲 (cm)

キーワード PTV Dean の流関数理論 吹送流

連絡先 〒577-8502 大阪府東大阪市小若江 3-4-1 TEL06-6721-2332 FAX06-6730-1320

3 台の CCD カメラは、同期装置により、撮影タイミングが制御されており、完全同期撮影を行った。

3．吹送流成分の算出

3.1 Dean の流関数を用いた波動成分の算出方法 画像計測によって求めた波形および波速から波動による流速成分を、Dean の流関数を用いて求めた。画像計測から求めた波形に図-1 示す。図-1 の波形から Dean の流関数理論を用いて求めた波動成分の流速分布図を図-2 に示す。

3.2 風波からの波動成分分離の手法

風洞水槽を用いた画像計測によって求められた風波下の流速場から、Dean の流関数により水面波動から求めた流速成分を差し引く。その手順を以下に示す。

撮影された時刻の 2 枚の画像を用いて、PTV( Particle Tracking Velocimetry:粒子追跡速度計測法)により水流部の流速分布図を算出する。PTV には、Super-Resolution KC 法を用いた。

水流部の撮影と同期し、同時刻に撮影された水面画像から水面の波形を求める。水面位置は、画像上の輝度が最も大きく変化する位置として決定する。さらに連続する 2 枚の画像から波速を求めた。画像計測によって求めた水面波形に流関数を適用し、水面波形下における波動成分の流速分布を求める。

画像計測によって得られた風波下の流速場から Dean の流関数によって得られた波動成分の流速を差し引き、水粒子の動きを抽出する（図-4 参照）。

4．結果および考察

PTV により得られた流速分布から流関数により得られた流速分布を差し引いた流速分布図を図-4 に示す。図-4 中の の部分に右回りのベクトルが表われた。これは、波動による成分を取り除くことにより、風波下、つまり PTV により得られた流速分布では見られなかった小さな乱れが表われたと思われる。

PTV による結果から求めた水表面に対する法線方向の流速勾配を図-5 に示す。流関数より求めた波動成分を差し引いた流速分布を図-6 に示す。波動成分を分離していない流速分布（図-5）に比べて、波動成分を分離することで、水深が深くなるに連れて流速が 0 に近づいていることが分かる。この結果より良好に波動成分を分離できていると考えられる。

図-5、図-6 の流速分布から水表面でのせん断応力を求めた。その結果を図-7 に示す。結果より風波表面に作用するせん断力は、波峰先端後方 2.5cm で最大約 5 割が波動成分によるせん断力であることが分かる。

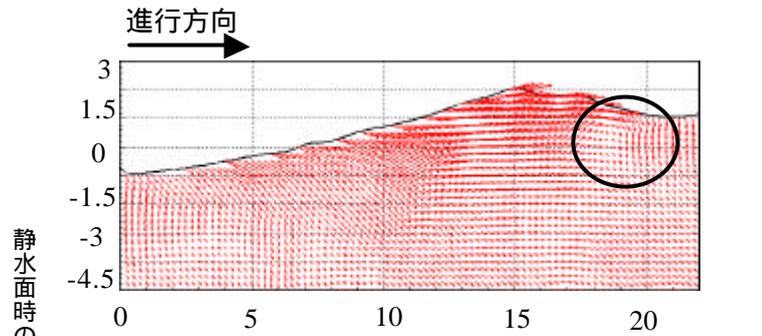


図-4 PTV 結果から流関数によって求めた波動成分を差し引いた流速分布図

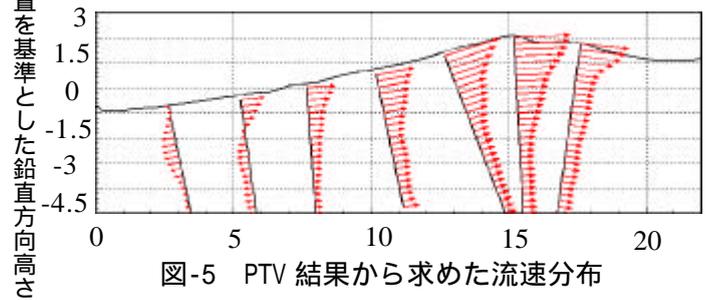


図-5 PTV 結果から求めた流速分布

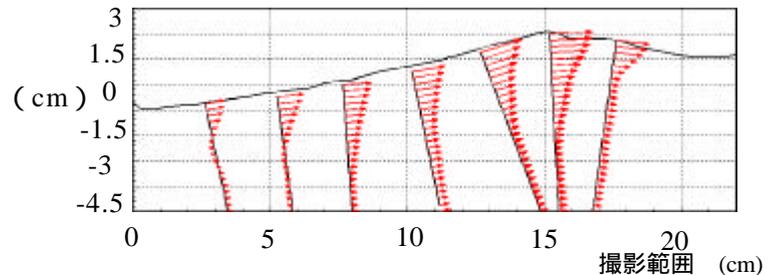


図-6 PTV 結果から流関数によって求めた波動成分を差し引いた流速分布

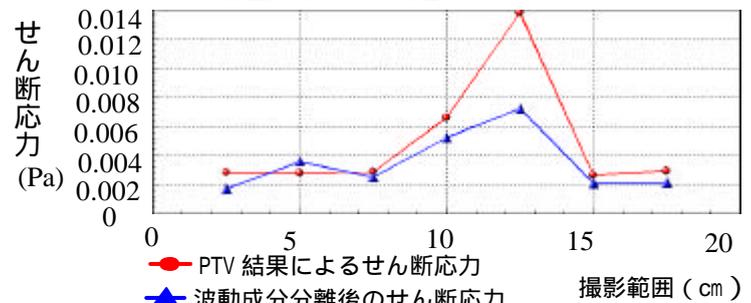


図-7 せん断応力の比較