

二次循環流を伴う吹送流の乱流特性

九州大学大学院総理工 学生員 ○ 草場 浩平
九州大学大学院総理工 正 員 松永 信博

九州大学大学院総理工 学生員 鶴崎 賢一
日本文理大学工学部 正 員 樋田 操

1. はじめに

海面に風応力が作用する際に形成される吹送流中には、Langmuir 循環流が存在することが知られている。Mizuno.S et al.¹⁾は、風洞水槽を用いて吹送流中に形成される二次循環流の計測を行い、Langmuir 循環流とは異なる形成機構を示した。松永ら²⁾は可視化実験および流速計測実験に基づいて、二次循環流の形成される個数と位置が水深の影響を強く受けることを明らかにした。しかしながら、流れの平均量による定性的な検討は行っているものの、二次循環流の形成機構および吹送流の乱流特性についてはまだ十分明らかにされていない。本研究はその乱流特性を定量的に明らかにすることを目的として行われたものである。

2. 実験概要

図-1に実験装置の概略図を示す。実験には、長さ6.2m、高さ0.46m、幅0.15mの二次元風洞水槽を用いた。水表面に作用する風応力を等しくするため、風洞部の高さを0.26mに固定した。水深hは、水平床を挿入することにより、0.05m～0.20mの間で変えられた。従って水深と水路幅の比は1/3～4/3であった。計測は吸い込み口から風下側3.5mの断面において、図に示すように奥行き方向に7本の鉛直測線に沿って行われた。各測線上9～13の測点において、水平流速成分と鉛直流速成分をレーザードップラー流速計を用いて測定した。座標系として風下方向にx軸、鉛直上向きにz軸がとられている。平均風速の鉛直分布と波高の計測は、レーザードップラー流速計と容量式波高計を用いて水槽中央において行われた。流速、風速および波高のデータは、それぞれサンプリング周波数100Hz、100Hzおよび50Hzで取得された。風速を3種類、水深を4種類変えることにより合計12種類の実験を行ったが、ここでは断面平均風速9.97m/s、水深0.20mにおける条件で行われた実験の結果について報告する。この実験ケースでは、水の摩擦速度 u_* は2.76cm/s、風波の卓越波高、波長、波速はそれぞれ2.93cm、0.281m、0.720m/sであった。

3. 解析概要

図-2はpos.1の $z/h=0.15$ における水平方向の変動流速 u のパワースペクトルである。波のスペクトルが $f=2.5\text{Hz}$ において卓越することから、図-2で見ら

れる $f=1.5\sim 3.5\text{Hz}$ の範囲で卓越するスペクトルは波動による流速変動であることが推測される。それより低周波領域で卓越するエネルギーは乱れによるものと考えられる。従って、このスペクトルに高周波数カットオフフィルターを掛けることにより、低周波側の乱れ成分と卓越周波数付近の波動成分とに分離した。図-3はpos.1の $z/h=0.15$ における変動流速 u と w のコスペクトルである。同様に、低周波領域では乱れ、高周波領域では波に起因したレイノルズ応力と判断し、乱れおよび波によるレイノルズ応力を算定した。

4. 結果および考察

図4～6は、それぞれ水平方向の全流速変動強度 $\sqrt{u^2}/u_*$ 、波動による変動強度 $\sqrt{u^2}/u_*$ 、乱れによる変動強度 $\sqrt{u^2}/u_*$ の鉛直分布を示したものである。全変動成分のうちのはほとんどを波動成分が占めていることが分かる。乱れによる強度は二次流れの影響で奥行き方向に大きく変化することが分かる。図-5の実線は波のデータから微小振幅波理論を用いて計算された理論曲線である。波動による変動強度は微小振幅波理論とはほぼ一致し、波動成分をうまく分離できたと考えられる。

図7～9は、それぞれ全レイノルズ応力 $-\overline{uw}/u_*^2$ 、波動によるレイノルズ応力 $-\overline{uw}/u_*^2$ 、乱れによるレイノルズ応力 $-\overline{uw}/u_*^2$ の鉛直分布を示したものである。全レイノルズ応力分布は奥行き方向に変化し、3次元性を示している。波によるレイノルズ応力は水表面付近を除くとどの位置でも小さく、微小振幅波理論と一致することが分かる。乱れによるレイノルズ応力は中心付近のpos.1及びpos.2&2'で小さく、側壁付近のpos.3&3'及びpos.4&4'で大きくなっている。これは、レイノルズ応力の小さな流体塊が二次循環流の上昇流によって上方に輸送されるためである。側壁付近では二次循環流は下降流となる。このため水面付近の高レイノルズ応力をもった流体塊は下方に輸送されることになる。このようなプロセスにより乱れによるレイノルズ応力は奥行き方向に大きく変化するものと考えられる。

5. おわりに

本研究では吹送流の乱流特性が風波による波動成分と吹送流のシアーによって形成される乱れ成分とに分離することによって検討された。

波動により流速変動は吹送流のシアアの卓越した水表面付近を除いて、微小振幅波理論から導かれる結果とよく一致した、しかしながらシアアによる乱れは二次循環流の影響を強く受け、3次元性を示

すことが明らかとなった。

[参考文献]

- 1) Mizuno, S et al. (1998): J. Oceanography, Vol54, pp77-100.
- 2) 松永信博 他(1998): 海岸工学論文集, 第45巻, pp.426-430.

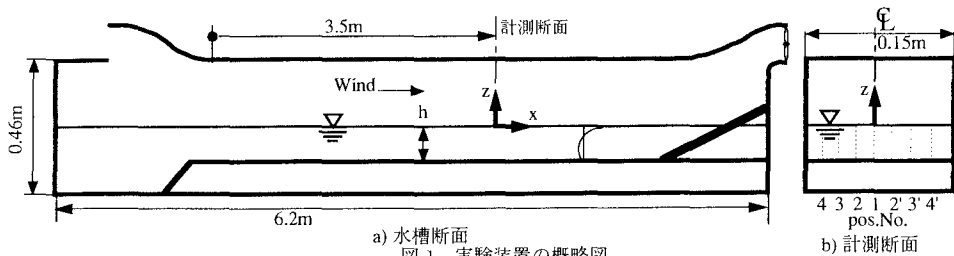


図-1 実験装置の概略図

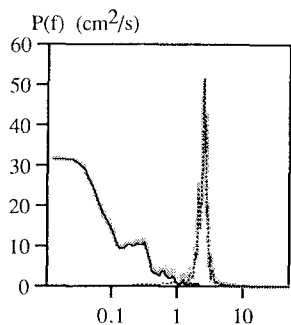


図-2 uのパワースペクトル

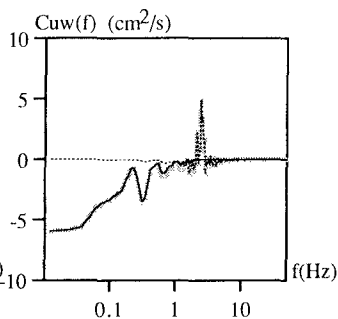


図-3 u,wのコスペクトル

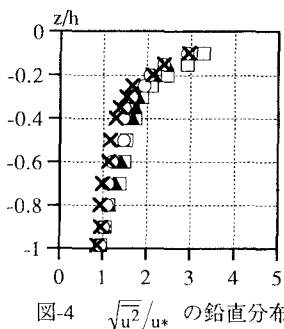
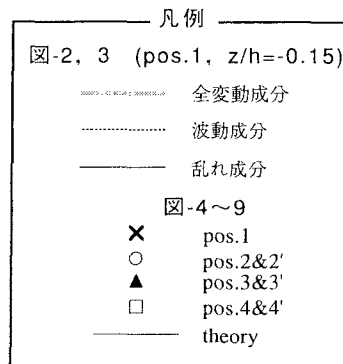


図-4 $\sqrt{u'^2}/u^*$ の鉛直分布

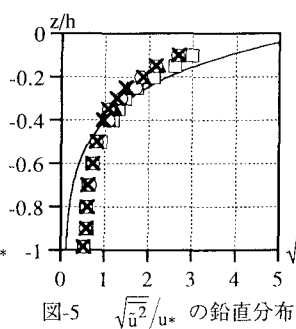


図-5 $\sqrt{u'^2}/u^*$ の鉛直分布

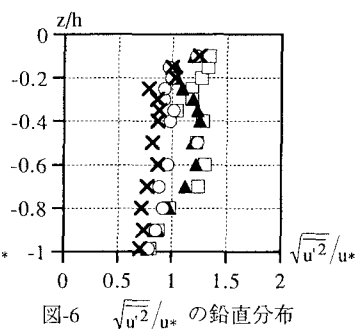


図-6 $\sqrt{u'^2}/u^*$ の鉛直分布

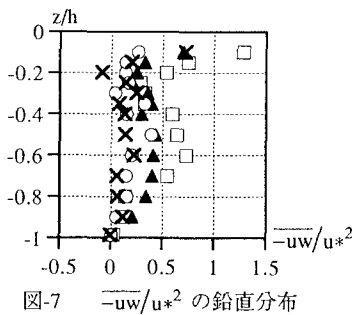


図-7 $\sqrt{u'^2}/u^*$ の鉛直分布

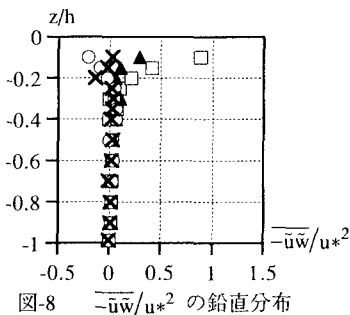


図-8 $\sqrt{u'^2}/u^*$ の鉛直分布

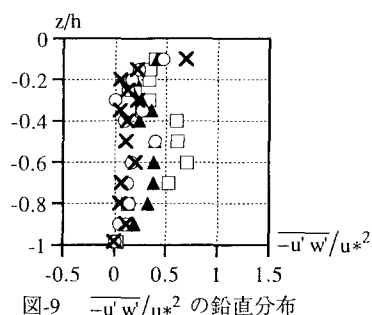


図-9 $\sqrt{u'^2}/u^*$ の鉛直分布