

## 固定波面上の開水路乱流特性

九州大学 学生員 ◯ 竹原 幸生

九州大学 正 員 松永 信博

九州大学 正 員 小松 利光

九州大学 正 員 栗谷 陽一

1. はじめに 河床波は、河川における底質の浮遊砂量に影響を与える1つの重要な因子であり、その発生原因を解明することは流体力学上大変興味深い問題でもある。このため、多くの研究者達によって、理論的あるいは実験的に固定波面上の流れや乱れの特性が調べられてきた。松永・並川・小松<sup>1)</sup>は、二次元波状境界面をもつ開水路流(dune, anti-dune, chute & poolの3つのタイプの流れ)において乱流特性を調べ、anti-dune typeの流れにおいては峰の背後から谷にかけてレイノルズ応力の鉛直分布に極小値が見られることを指摘した。この特性は、Hsu & Kennedy<sup>2)</sup>によって得られた波状境界をもつ管路流におけるレイノルズ応力分布にも観察される。松永らは、その発生原因を波峰の背後から発生する組織的構造を持った流れの流下によるものと結論づけた。前回 dune type 流れの組織的乱流構造について報告を行ったが、今回は anti-dune type の流れにおいて2点同時測定を行うことによりレイノルズ応力の鉛直分布が極小値をとる原因について詳しく調べることを目的としている。

2. 実験方法および実験条件 実験に用いた水路は、全長 12m、幅 15cm、深さ 30cm で水路床勾配を 8/1000 に固定して行った。上流側 6m の区間は助走区間とし、平坦固定床を設置した。一方、下流側には波長 22cm、波高 1.0cm の正弦波を 24 波設置した。今回の実験では断面平均流速  $U=88.8\text{cm/s}$ 、平均摩擦速度  $u=4.16\text{cm/s}$ 、波状部平均水深  $h=3.43\text{cm}$ 、フルード数  $Fr=1.53$ 、レイノルズ数  $Re=3.31 \times 10^4$  であった。フルード数  $Fr$  とレイノルズ数  $Re$  は断面平均流速と平均水深を用いて定義されている。テストセクションは水面勾配が水路床勾配とほぼ等しくなる区間を選び、流速測定は、テストセクションの固定床1波長間にわたって行われた。

図-1に、測定位置を示す。流速測定には1方向x型2方向ホットフィルム流速計と1方向L.D.V.を用いた。L.D.V.は測定位置3の底面から0.3cmの高さに固定し、水平方向の流速測定に用いられた。流速の鉛直分布を得

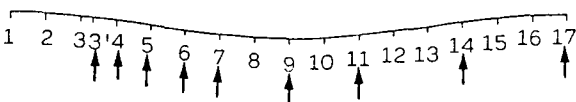


図-1 測定位置

るために2方向ホットフィルムを矢印で示した位置にセットした。L.D.V.の信号とホットフィルム流速計の信号は同時にデータレコーダに収録された。流速信号のA/D変換においてサンプリングタイムは8/1000秒、サンプリング個数は16384個であった。

3. 実験結果 図-2はレイノルズ応力の鉛直分布である。今回の実験では松永ら<sup>1)</sup>による結果のように明瞭ではないが、峰背後から谷にかけて極小値が存在することがわかる。これらを連ねた線が実線である。

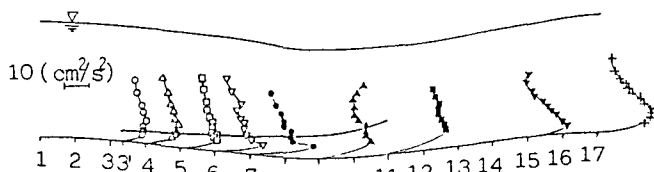


図-2 レイノルズ応力の鉛直分布

極小値をもつ点における $u'$ のスペクトルと、 $-\overline{u'v'}$ のコヒーレンスを示したものがそ

れぞれ図-3、4である。図-3より各測定点では0.6Hz付近に乱れエネルギーのピークが認められる。また、図-4よりその卓越周波数に対応して $u'$ と $v'$ のコヒーレンスにピークが見られる。つまりその卓

越周波数の乱れがレイノルズ応力に大きく寄与していることがわかる。これらのことからレイノルズ応力が極小値を取る点では周期的に大きなエネルギーを持った乱れ（以下、これを組織渦と呼ぶ）が通過しているものと考えられる。

図-5は、図-3、4より明かとなった卓越周波数が0~5.0Hzにあることを考慮して、L.D.Vの $u'$ とホットフィルム流速計からの信号 $u'$ に、との相互スペクトルを求め、0~5.0Hzのバンドパスフィルターをかけ、それをフーリエ逆変換することによって求めた相互相関係数の最大値について描いた等値線図である。レイノルズ応力の極小値を連ねた線（図中の破線）と等値線の分布形とはほぼ一致する。このことにより、周期的に発生した組織渦は破線に沿って流下することが裏付けされた。

図-6は、測定位置6における結果を例にとり、0~5.0Hz、5.0~15Hz、15Hz以上の周波数帯内の乱れによるレイノルズ応力を分離して示したものである。全周波数帯に於けるレイノルズ応力が極小値を取る現象に寄与している乱れは卓越周波数付近であり、むしろ卓越周波数から十分離れたタイムスケールを持つ乱れはこの現象にほとんど寄与しないことがわかる。

最後に、本研究において実験及びデータ整理に協力してくれた藤田和夫技官、大学院生高畑研君に感謝致します。

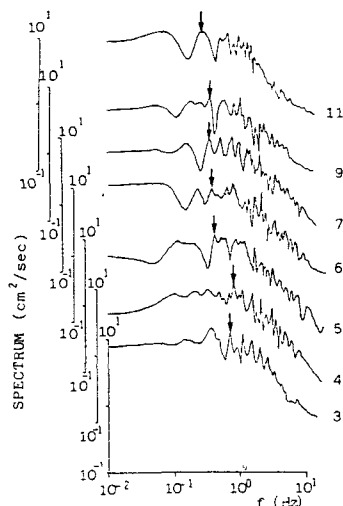


図-3  $u'$  のパワースペクトル

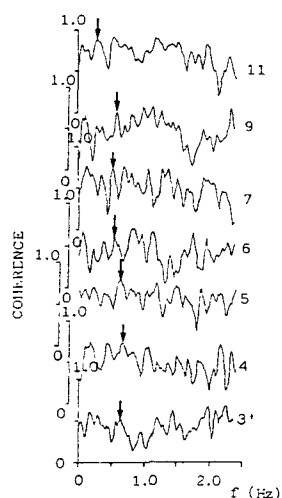


図-4  $u'$  と  $v'$  のコヒーレンス

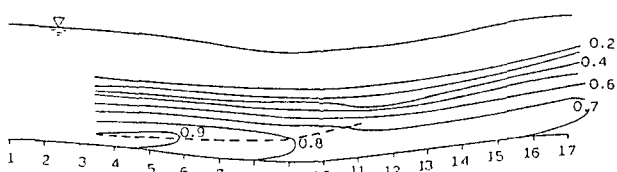


図-5 0~5.0Hzにおける相互相関係数の等値線図

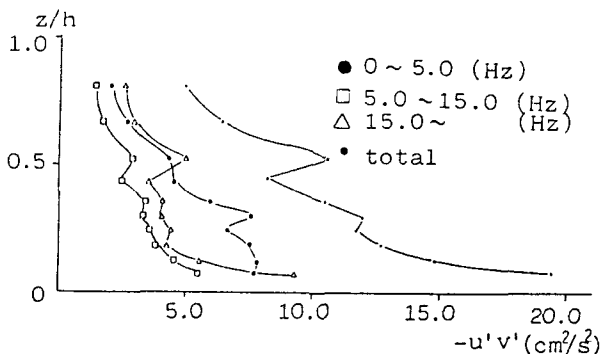


図-6 周波数帯別のレイノルズ応力

#### 参考文献

- 1) Matsunaga, N, T. Namikawa and T. Komatsu: Open-channel flow over a sinusoidal bed, 5th Cong. APRD-IAHR, 185-200, 1986.
- 2) Hsu S.T. and J.F. Kennedy: Turbulent flow in wavy pipes, J. Fluid Mech., 47, 481-502, 1977.