

京 都 大 学 大 学 院 学 生 員 浅 野 富 夫
 京 都 大 学 防 災 研 究 所 正 員 今 本 博 健
 京 都 大 学 大 学 院 学 生 員 石 垣 泰 輔

開水路の幾何的性状の特性は、一般に、水深および水路幅によって規定され、開水路乱流場はこれらの2量によって支配されるいわゆる多重構造的性を示すことが従来より知られている¹⁾。このような多重構造的の特性は実際の乱れ特性量の解析にあたって大きな障害となり、たとえば乱れの平均スケールを乱れ速度の自己相関係数の積分値として算定する方法あるいはエネルギー逸散率に対する Dryden の方法は単一構造的の乱れにおいて有効であるが、開水路流れにそのまま適用されるとは限らない。本報告は開水路流れの乱れ特性の解明において重要となる多重構造的性を実験的に検討したものであって、平均速度場の特性からの検討もなされている。なお、速度計測には円錐型あるいはX型プローブを用いたホットフィルム流速計が使用されており、データ処理においては計測精度を向上させるため繰り返し数を多くするという努力がなされている。

1. 平均速度分布とレイノルズ応力分布

水路幅・水深比 B/H が 10 程度以上の開水路流れは、一般に、2 次元的とみなされ²⁾、水路中央部における平均速度 U の鉛直分布は対数則にしたがうとともに、レイノルズ応力 $-\overline{uw}$ の鉛直分布もまた直線的となるが従来より知られている。

図-1 は H をほぼ一定に保ちながら B を変化させた場合の水路中央部における U および $-\overline{uw}$ の鉛直分布を示したものであるが、この図にみられるように U は B/H が小的时候自由表面上で最大値をとるとは限らず、 B/H の減少とともに最大流速点は自由表面から低下する傾向のあることが知れる。このような傾向の原因としては、自由表面上の空気の流れあるいは2次流の効果などが挙げられているが²⁾、詳細については不明の点が多い。

一方、 $-\overline{uw}$ についても B/H が小さい場合には自由表面近傍で負となる領域が現われ、 $-\overline{uw}=0$ となる相対水深は最大流速点とかなりよい一致を示しながらやはり自由表面上より低下する傾向がみられる。

すなわち、 B/H が 7 程度より小さくなると流れは 2 次元的とみなされず、側壁面の効果が水路中央部にまで及ぶことが知れる。したがって、このような場合には乱流構造も H の他に B によっても支配されることになり、2 次元流れを対象とする場合には水理条件の選定に十分の注意を払う必要がある。

2. エネルギー・スペクトルにおける多重構造的性

多重構造的の乱れにおけるエネルギー・スペクトル $S(k)$ は図-2 にみられるようにスケール L_1 ($1=1, 2, \dots$) に支配されるスペクトル $S_1(k)$ の和によって表現される。しかしながら、支配スケール L_1 に大きな差がない場合、 $S(k)$ より $S_1(k)$ を明確に分離することは容易でない。

いま、図-1 に示された水理条件における $S(k)$ の計測例として相対水深 $z/H=0.5$ のものを示すと図-3 のようになり、 B/H が大きい場合、 $k \cdot S(k)$ には 2 種のピークの存在が認められ

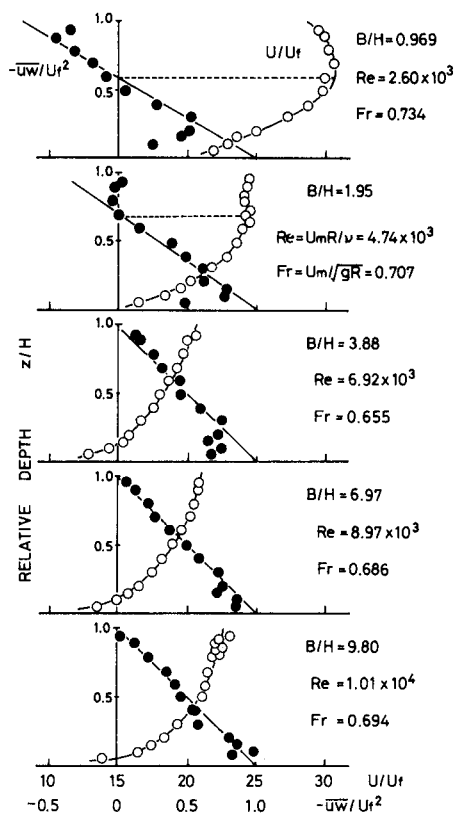


図-1

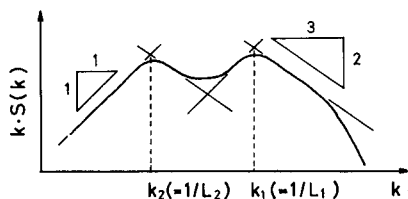


図-2

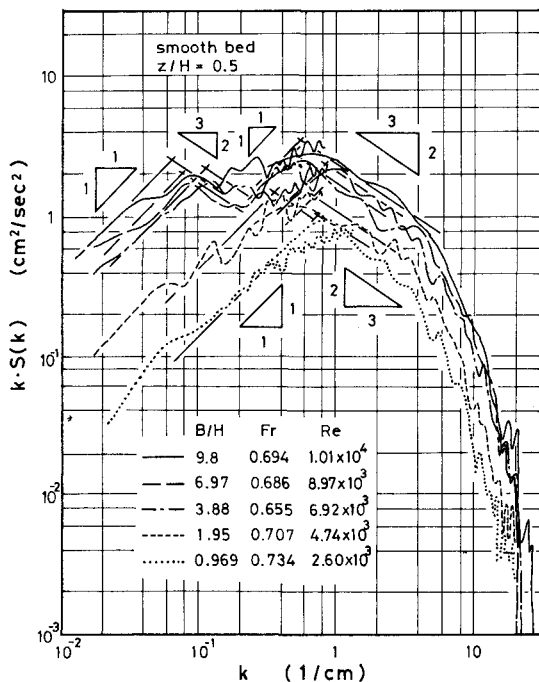


図-3

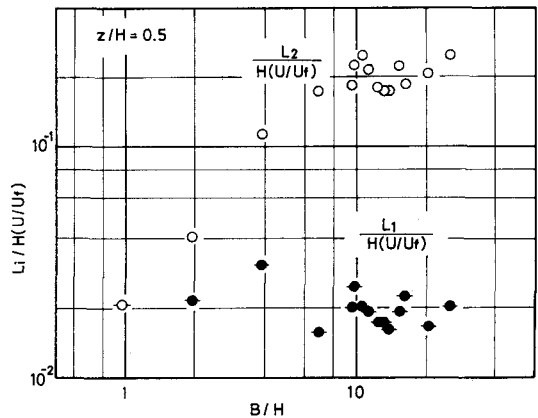


図-4

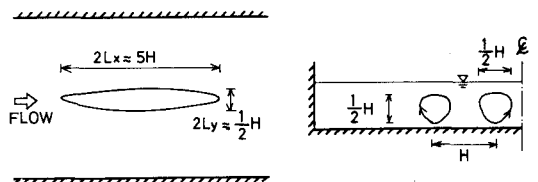


図-5

る。したがって、高波数側のスペクトルを $S_1(k)$ 、低波数側のそれを $S_2(k)$ とすると、 $S_1(k)$ における生成領域から慣性領域への遷移波数 k_1 は B/H にほとんど関係しないが、 $S_2(k)$ の遷移波数 k_2 は B/H の減少とともに増加して k_1 に近づき、 $B/H=1$ 程度となると両者の区別は困難となる傾向がみられる。

このような $S(k)$ の多重構造性について支配スケール $L_1 (= 1/k_1)$ と B/H との関係について検討すると図-4 のようになる。ただし、 L_1 は乱れの平均スケールに対する普遍関数表示法と同様に H 、 U および U_x によって無次元化されている。図-4 には B を一定に保ちながら H を変化させた場合（ただし、 $B/H > 10$ とされている）についても併示されている。図において $L_1/H(U/U_x)$ は B/H に関係なくほぼ一定値 0.02 をとり、乱れの時空間構造に関する実験結果³⁾ を考慮すると L_1 は乱れの水路幅方向の広がり L_y に対応するものと考えられる。なお、 L_y は 2 次流の水路幅方向の広がりによって規定されることを考慮すると、 L_1 もまた 2 次流によって規定されることになり、2 次流の特性の解明が多重構造性の解明に重要となることが知れる。一方、 $L_2/H(U/U_x)$ は $B/H < 7$ の場合 B/H にほぼ比例して増加しているが、流れが 2 次元のとみなせる $B/H > 10$ では一定値 0.2 に近づく傾向を示し、 L_2 は乱れの流れ方向の広がり L_x に対応するものと考えられる。

一方、本実験において B/H が大きい場合半水深付近では $U/U_x \approx 20$ であるから、既報³⁾ の実験定数を用いると $L_x \approx 2.5 H$ 、 $L_y \approx 0.25 H$ となり、2 次元的な流れにおける乱れの広がりおよび 2 次流について図-5 のような模式図が描ける。なお、 L_y は床路面近傍ほど小さいことを考慮すると、2 次流は円形ではなく自由表面近傍ほど広がった形状をしているものと考えられる。また、図-4 にみられたように B/H が変化しても $L_1/H(U/U_x)$ が変化しないことは 2 次流の個数が B/H に比例することを示しており、このような傾向は砂れき床上の流れにおける細砂の縦筋の本数と B/H との関係について検討した村本ら⁴⁾ の報告にもみられるようである。

以上のように、乱れの多重構造性と 2 次流との関係についていくつかの興味ある知見が得られたが、今後さらに広範囲の水路幅・水深比のもとでの乱れの広がりおよび 2 次流そのものについての計測を行っていきたいと考えている。

参考文献 1) 余越正一郎：河川の大規模乱れ，京都大学防災研究所年報，10B，pp.199~206，1967。 2) Rajaratnam, N. et al. : Boundary shear stress distribution in rectangular open channels, La Houille Blanche, 1969-6, pp. 603~609, 1969。 3) 今本ら：開水路流れにおける乱れの時空間構造について，土木学会第30回年報，II-200，1975。 4) 村本ら：砂れき床上の流砂に関する研究，土木学会関西支部年報，II-42，1976。