

II-202 開水路粗度急変流れの乱流構造に関する研究

京都大学大学院 学生員 鈴木 康弘
 京都大学工学部 正 員 中川 博次
 京都大学工学部 正 員 禰津 家久

1. まえがき

開水路乱流場において底面粗度を急変させると、急変後、流れは新たな粗度に対応して遷移していく。本研究では、粗面から滑面へ粗度が急変する場合に、その粗度急変点から発達する内部境界層の乱流構造を平均流及び乱れ特性から解明しようとするものである。

2. 実験方法

実験水路は長さ10m、幅40cmの勾配可変型水路である。粗度急変点は水路上流端から約5mの位置に設けられた。粗度としては粒径が0.4cm、および1.2cmの均一粒径のビー玉を用いた。鉛直方向の座標 y の原点は粒径の1/4だけ頂部から下方にずらした点にとられ、滑面での座標原点($y=0$)と一致させた。また、それぞれの粗度に対し、水深 $h=6$ cmに保ちながらフルード数が0.2、および0.4の流れについてそれぞれ2成分レーザー流速計を用いて高精度に計測された。計測点数は230~300であり、1測点あたり200Hzで10000個A/D変換された後電算処理され、各種の乱流統計値が計算された。粗度急変点を $x=0$ とし、計測区間は $x=-50$ cmから $x=175$ cmまでの全長225cmであり、計測断面数は16~18断面で、特に粗度急変部付近は密に計測された。

3. 実験結果及び考察

粗度急変後の計測断面における流速分布を片対数表示したものを粗度急変後の計測断面について図1に表示した。個々のグラフを見るとほぼ折れ線となっており、この折れた点の位置を矢印で示す。この「折点」より下方にある部分（本研究では内部境界層とよぶ）には、急変した粗度の影響が及んでいる。一方、「折点」より上方にある部分（本研究では外部境界層とよぶ）は、急変後も急変前とほとんど分布状態が変わらず、Townsend¹⁾のいうself-preserving特性が保持されていることがわかる。また、流下方向に流れが進むにつれて「折点」が徐々に上方に上がっていく。これは、流れが底面から徐々に新たな粗度に対して応答して変化していくことを示している。この部分を内部境界層と定義する。流速分布図で、この内部境界層に対応する部分が対数則分布に従うから、カルマン定数 $\kappa=0.41$ ²⁾を用いてこのグラフの勾配から摩擦速度 U_* が評価された。さらに、 $\tau=\rho U_*^2$ より底面せん断応力が求められた。計測の初期断面における底面せん断応力を τ_1 とし、 τ_1 を用いて無次元化された底面せん断応力分布を図2に示す。なお、 U_{*1} を計

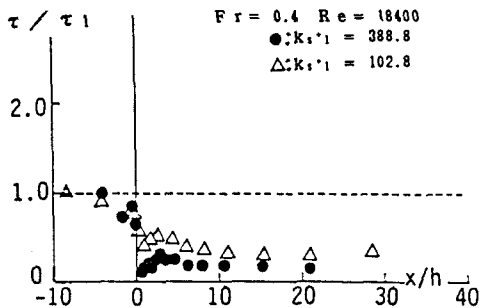


図2 底面せん断応力分布

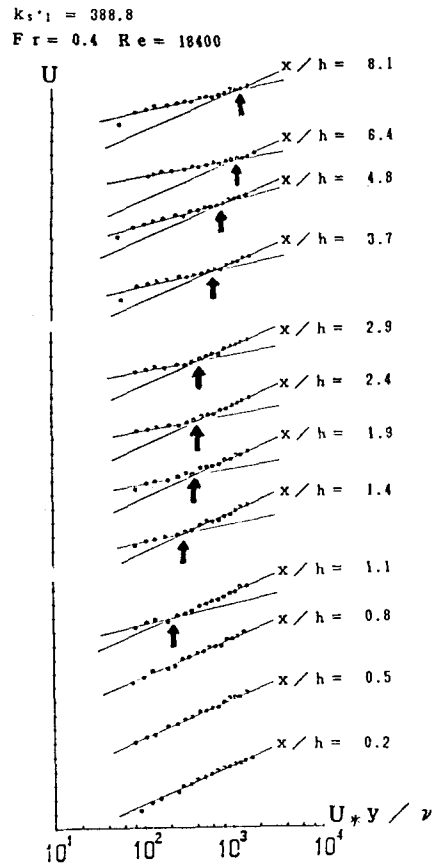


図1 流速分布

測の初期断面における摩擦速度とし、 $k_s^+ s_1$ は $k_s^+ s_1 = k_s U_* / \nu$ より求めた。図2から、 $k_s^+ s_1$ の値が大きいものは粗度急変直後の底面せん断応力が急減し、 $k_s^+ s_1$ が小さいとその変化が滑らかになっている。つぎに、レイノルズ応力分布を図3に示す。図から明らかなように、レイノルズ応力分布は粗度急変前に直線分布していたものが、急変後、底面より徐々に内側に折れ出し、上方から下方に向かって減少あるいは一様分布になっている。これは、急変後、底面せん断応力が減少したためと考えられる。また、レイノルズ応力分布についても、「折点」より上方では分布状態にほぼ変化がみられずself-preserving特性が認められる。さらに、図4に示された乱れ強度分布から内部境界層を同様にして求められた。粗度急変後、底面より徐々に下方へ折れだし、滑面に対応した分布へと遷移することがわかる。つまり、この場合についても「折点」より上方にself-preserving特性が見られるわけである。以上のようにして、流速分布、レイノルズ応力分布、乱れ強度分布よりそれぞれ内部境界層厚 δ を定義することができる。流速分布より求めた内部境界層の発達の様子を図5に示すが、 $k_s^+ s_1$ の値が大きいものほど遷移区間が長くなる傾向が認められる。このことは、他のケースから求めたものについても同様であった。これは、粗面乱流が滑面乱流へ遷移するとき、粗度が大きいほうが滑面に対する応答が遅くなることを示している。次に、これらの内部境界層分布線を適当に延長してそれぞれ遷移区間長を求めると、同じ実験ケースでも流速分布により求められる遷移区間長が、レイノルズ応力分布や乱れ強度分布より求められる遷移区間長に比べ大きな値をとっている。

4. あとがき

本研究は、底面粗度が粗面から滑面へと急変する流れの乱流構造を検討した。平均流速、乱れ強度及びレイノルズ応力のいずれの分布にも底面粗度の影響が現れる内部境界層が発達する特性が認められた。今後、計測区間を長くとり、また、滑面から粗面へ粗度急変するケースや、さらに、不完全粗面などを含めたケースなどについても実験を行い、これらの乱流構造を解明していきたい。

参考文献

- 1) Townsend, A. A: The Response of a Turbulent Boundary Layer to Abrupt Change in Surface Condition. J. Fluid. Mech, Vol. 22, pp. 799-pp. 822. (1965)
- 2) Nezu, I and W. Rodi; Open-Channel Flow Measurements with a Laser Doppler Anemometer, J. Hydraulic Eng, ASCE, Vol. 112, (1986)

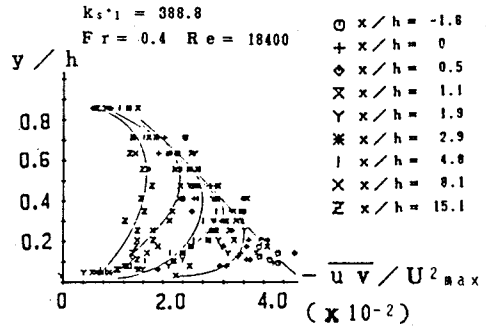


図3 レイノルズ応力分布

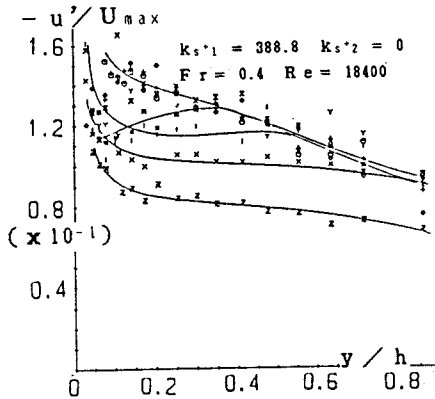


図4 乱れ強度分布

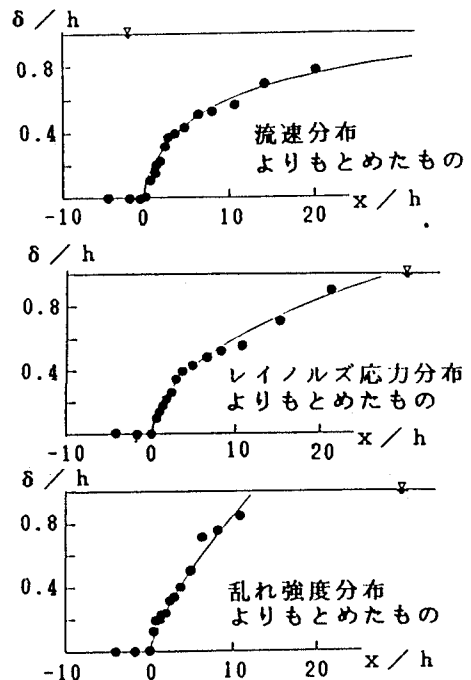


図5 内部境界層厚分布