

粗度急変流部における流れの遷移過程に関する研究

京都大学工学部 正 員 中川 博次 京都大学工学部 正 員 福津 家久
 近畿日本鉄道 正 員 鈴木 康弘 京都大学大学院 学生員 村瀬 勝彦

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、流れは新たな粗度に応答して遷移していく。本研究では、粗面から滑面、および滑面から粗面へ粗度が急変する場合のそれぞれのケースについて、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およ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の勾配可変水路である。粗度急変点は水路上流端から4.7mの位置に設けられた。粗度としては粒径が2mmおよび4mmおよび12mmの均一粒径のガラスビーズが用いられた。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流量を変化させ、下流端において水深が約5cmになるように流れを調節し2成分レーザー流速計を用いて高精度な計測がおこなわれた。計測区間は、粗度急変点を $x=0$ とし $x=-10$ cmから $x=200$ cmまでの全長210cmであり、計測断面数は約20で、特に粗度急変部付近は密に計測された。

3. 実験結果および考察 図1に片対数表示された流速分布の流下方向変化を示す(h_{max} は計測区間内の最大水深)。粗面→滑面および滑面→粗面に急変するケースとも、粗度急変直後、流速分布形が壁面側から折れ曲がり、流れが下流側に進むにつれてそのノードが水面側に移動していく様子がみられる。すなわち、このノードより壁面側の流れは新たな粗度に応答している(内部境界層)と考えられ、流れが進むにつれてこの層が発達していくことを示している。一方、そのノードより水面側部分の勾配はほとんど変化がなく、粗度急変前の履歴特性(Flow History)が残留している(外部境界層)ことが分かる。さらに、滑面→粗面のケースにだけ、粗度急変後しばらくしてから第2のノードが現れ、また、このノードも流れが進むにつれて水面側へ移動していく様子がみられる。これは、壁面側から新たな粗度に対する応答が落ちていく様子を示しているものと考えられる。すなわち、内部境界層内は、この第2のノードより水面側の、新たな粗度である粗面に対して即応し遷移状態にある中間領域と、これより壁面側の、新たな粗度に対する応答がほぼ完了した部分(ここでは擬似安定領域と呼ぶ)に分けられる(図2)。

次に流速分布よりその壁面側の勾配を読み取り、カルマン定数 $\kappa=0.41^{11)}$ として対数則から壁面摩擦速度 U_τ を求め、さらに $\tau=\rho U_\tau^2$ の関係から壁面せん断応力 τ を求めた。

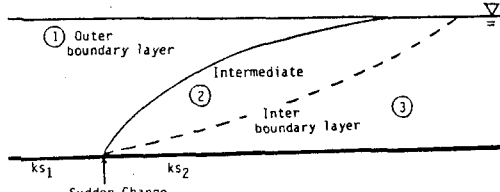


図2 内部境界層の発達過程の模式図

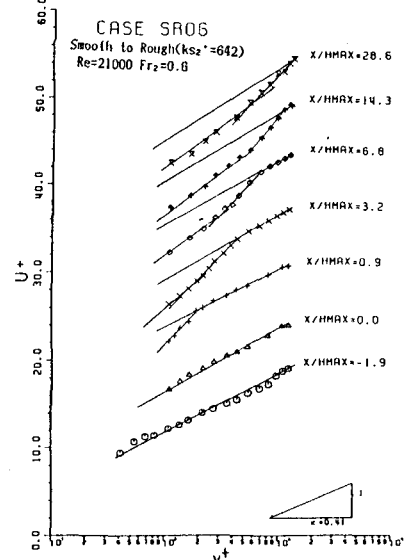


図1 流速分布 (滑面→粗面)

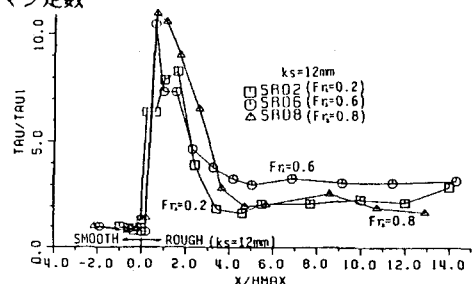


図3 壁面せん断応力分布

Hiroji NAKAGAWA, Iehisa NEZU, Yasuhiro SUZUKI, Masahiko MURASE

そこで、最上流側の計測断面における壁面せん断応力 τ_1 により無次元化された τ の流下方向分布を図3に示す。この図から滑面→粗面のケースでは粗度急変直後の τ/τ_1 の値が突出し、いわゆるovershoot現象がみられるが、粗面→滑面のケースでは見られない。これは、後者のケースと違い前者のケースでは流速分布に第2のノードが存在することによって起こる。そして、このovershoot現象は流速分布の遷移領域部分の勾配と擬似安定領域部分のそれとの差異そのものであり、遷移領域の存在が壁面せん断応力をovershootさせているといえる。ここで、このovershoot現象を定量的評価するため、overshootしている壁面せん断応力の最大値 τ_{max} の、下流側のほぼ安定した τ の値（これを τ_2 とする）に対する比をovershoot比 τ_{max}/τ_2 と定義し、これを下流端におけるフルード数 Fr_2 および ks_2^* に対してプロットする（図4）

これらからovershoot比の値は、流れが速くなると大きくなり、さらに射流近くになると急増することが分かる。また、粗度要素が大きいほど大きくなる傾向もみられる。

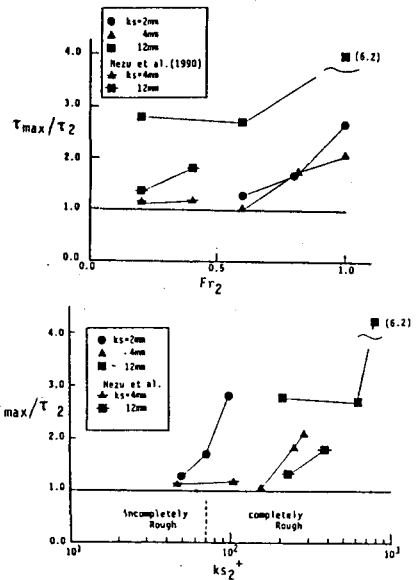


図4 overshoot比のケース間比較

また、流速分布と同様に乱れ強度分布（図5）およびレイノルズ応力分布（図6）についても、それぞれ粗度急変後、壁面側から新たな粗度に応答して分布形が湾曲していく様子がみられる。また、その変曲点が内部境界層の上端であると考えられ、流れが進むに連れて内部境界層が発達する様子がみられる。さらに、これらの乱れ特性値においても、滑面→粗面のケースにのみ粗度急変直後にovershoot現象が現れている。

次に内部境界層の発達をその水面到達距離についてみると、滑面→粗面のケースでは粗度急変点付近で跳水の起こるケース以外は $x/h_{max}=20$ と粗度によらずほぼ一定であることが分かる。しかし、跳水の起こるケースではその距離が短くなっているが、これは粗度急変点付近の波立ちにより内部境界層の発達が促進されるためであると考えられる。

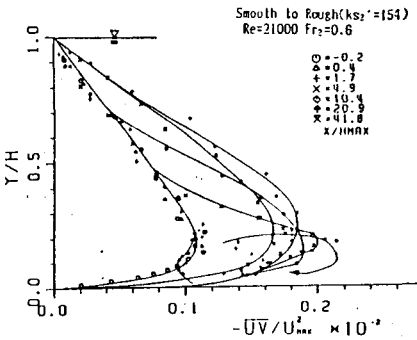


図6 レイノルズ応力分布

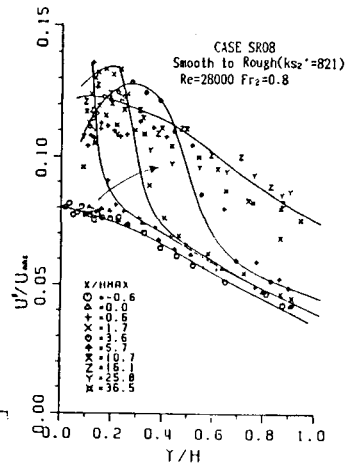


図5 乱れ強度分布

また、粗面→滑面のケースで

は、この水面到達距離は $x/h_{max}=25$ となり、滑面→粗面のケースよりも長くなることが分かる。

4. あとがき 本研究では、滑面→粗面のケースにおいて各特性値でovershoot現象が見られ、粗面→滑面のケースでは見られなかった。この構造を明らかにするために乱れエネルギー収支の各項を計算するなど、今後詳細な実験および解析を行う必要がある。

参考文献 1) I. Nezu & W. Rody ; Open-Channel Flow Measurements With A Laser Doppler Anemometer, ASCE, Journal of Hydraulic Engineering, Vol.112, (1986)