

開水路における粗度急変による流れの遷移機構

豊橋技術科学大学○学生員 神田 佳一
 豊橋技術科学大学 正員 四倉 信弘
 豊橋技術科学大学 正員 中村 俊六
 豊橋技術科学大学 小田嶋 日出美

1. はじめに: 底面粗度が変化する粗度急変流においては、粗度変化点より新たに内部境界層が発達することが明らかに確認されているが、その内部機構は複雑であり、各底面粗度間の相対的な粗さによっても異なった発達特性を示している。本研究では、粗度急変流に関して稜粗度を用いた実験を行ない、その内部特性を明らかにするとともに、K~εモデルを適用して解析を行なった。

2. 実験概要: 実験水路は巾40cm、深さ20cm、長さ14.4mの鋼製矩形断面水路であり、水路床勾配は、 2×10^{-3} である。用いた稜は、高さ $a = 1\text{cm}$ 、巾 $b = 1\text{cm}$ の角材を流れに直角に等間隔に設置したもので、稜間隔 S は、2.5, 5, 10cmの3種である。実験は、これらの粗度を組み合わせて3つの粗度急変状態を作り(図1参照)、下流粗面上を等流状態として粗度変化点近傍における流れ状態を知ろうとするもの。流速測定にはアロバ流速計を用いた。各実験における流量条件、および粗度条件を表1に示す。

表1 実験条件

流量	下流部 等流水深 h (1/s)	粗度間隔 上流部 S_1 (cm)	粗度高さ 下流部 S_2 (cm)
TSR-1-1	5.173	5.38	2.5
TSR-1-2	9.943	8.71	2.5
TSR-2-1	5.708	6.65	2.5
TSR-2-2	7.334	7.41	2.5
TSR-3-1	5.031	6.06	5
TSR-3-2	9.697	8.70	5

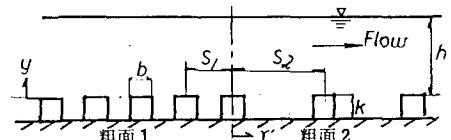


図1 粗度配置図

3. K~εモデルによる解析: 鉛直2次元定常流における流れ方向の運動方程式、乱れエネルギー-K、および遷散率εの輸送方程式はそれぞれ次のように書ける。xは流れ方向の座標である。

$$u \frac{\partial u}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial y} \left\{ (u + \nu) \frac{\partial u}{\partial y} \right\} + g(1 - \frac{\partial h}{\partial x}) \quad (1)$$

$$u \frac{\partial K}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial y} \left\{ (u + \nu) \frac{\partial K}{\partial y} \right\} + u \left(\frac{\partial u}{\partial y} \right)^2 - \epsilon \quad (2)$$

$$u \frac{\partial \epsilon}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial y} \left\{ (u + \nu) \frac{\partial \epsilon}{\partial y} \right\} + C_{1\epsilon} K u \left(\frac{\partial u}{\partial y} \right)^2 - C_{2\epsilon} \frac{\epsilon^2}{K} \quad (3)$$

ここに、 u は速度、 ν は動粘性係数、 ϵ は渦動粘性係数($= C_{\mu} \frac{K^2}{\epsilon}$)、 g は重力加速度、 1 は河床勾配、 $\frac{\partial h}{\partial x}$ は水面勾配、 $\sigma_K = 1.0$ 、 $\sigma_\epsilon = 1.3$ 、 $C_{1\epsilon} = 1.44$ 、 $C_{2\epsilon} = 1.92$ 、および $C_{\mu} = 0.09$ は、Spaldingが与えた実験定数である。境界条件は、水面で $\frac{\partial u}{\partial y} = 0$ 、 $K = \epsilon = 0$ とし、底面では、各粗面における相当砂粒粗度 k を与えて計算した。水面勾配は、粗度変化点近傍でのみ実験値を用いた。

4. 結果および考察: ①粗度変化を構成する各稜粗度について、その流水抵抗を知るため、等流状態で予備実験を行なった結果、相当砂粒粗度について図2、および(4)式を得た。ただし、粗度

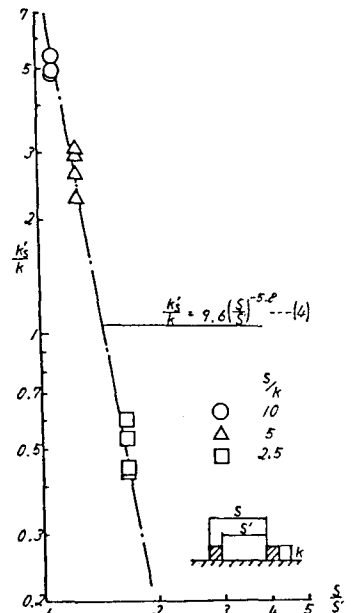


図2 稜粗面の相当砂粒粗度

基面はいずれの場合も、遷移実験同様稜頂部としている。

②鉛直流速分布、および乱れ強度分布の遷移特性について実験および(1)~(4)式を用いた計算結果を示せば、図3,4のようである。xは粗度変化点からの流下方向距離、yは稜頂部からの鉛直距離、 u_h は下流等流部における摩擦速度である。

また、図3にはNikuradseの粗面乱流公式、図4には荻津の普通関数も並記した。流速分布、乱れ強度分布ともに粗度変化点では、上流粗度に対応する分布形を示しているが、流下するに従い底面より下流粗度による新しい分布形が発達している。その領域は、各断面で流速と乱れ強度とでほぼ一致しており、村重らが示した内部境界層に対応するものと思われるが、乱れ強度においては内部境界層が水面に達してもなお遷移は完全に終りしておらず、流速分布より長い遷移区間が必要である。計算結果の実験との対応を見れば、両図ともに壁面近傍を除いてよく適合しており、流水の遷移に対する内部機構の予測手法としてその有効性が評価できよう。最後に、内部境界層厚(図3,4中の δ_m, δ_s)を各粗面変化に対して示せば、図5のようである。同図より、内部境界層の発達、粗度変化点・下流間の相対的な粗さ k_2/k_1 が小さい程長い距離が必要であると言えよう。

参考文献: 1)村重池;土木学会論文報告集, 第369号, (1986), 2)荻津;土木学会論文報告集, 第261号, (1977)

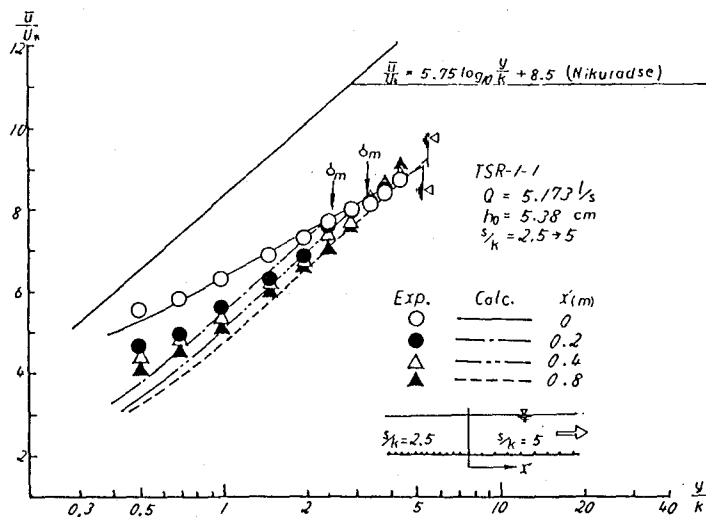


図3 流速分布の遷移

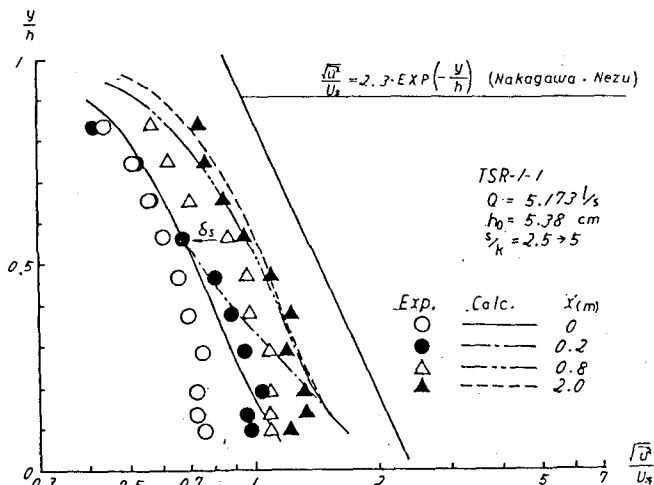


図4 乱れ強度分布の遷移

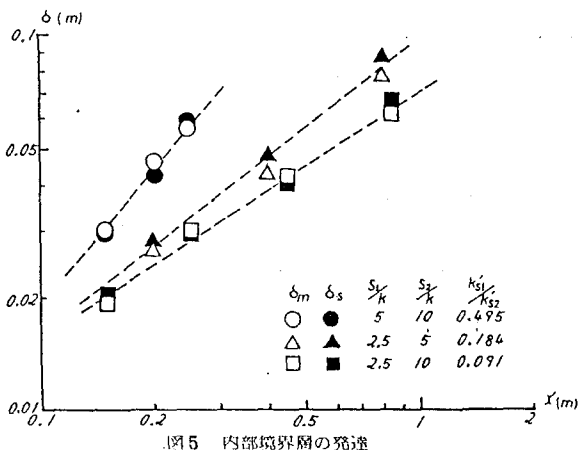


図5 内部境界層の発達