

II-166 棧型粗面開水路流の乱流構造

群馬大学大学院 学生員 根岸 邦明
群馬大学工学部 正 員 富永 晃宏
群馬県庁 狩野 宏之

1. まえがき これまでに様々な粗面形態上における流れの特性量が計測されているが、その流れは粗度要素の大きさ、形状及び配列等によって複雑に影響を受けるため、多くの問題点が残されている。すなわち粗面乱流を特徴付けるパラメータ、河床底（ $y=0$ の座標原点）の位置、壁面粗度の影響領域、乱れの普遍表示の問題などが挙げられる。本研究は基本的でその抵抗特性が十分研究されている^{1)・2)} 棧型粗面において、特に乱流構造を明らかにし、これらの問題の解決を試みようとするものである。

2. 実験方法 実験は、長さ12.5m、幅40cmの矩形断面開水路の水路床に、図1に示すように直径 $k=8\text{mm}$ の円柱棧型粗度を設置し、表1に示したように相対棧間隔 L/k を変化させて行った。ここで、図1におけるsuffixは、 t が粗度頂部、 b が粗度底部を原点とする座標系を意味する。また、流れが2次元流れであることを確認し、流速計にはレーザー・ドップラー流速計を用いて、水深間を約20点、粗度間を4～14断面に渡って計測した。

3. 実験結果及び考察 図2、3に $L/k=16$ のケースにおける主流速及びレイノルズ応力の粗度間変化を示す。このケースのように L/k が大きい場合、粗度要素の局所的影響領域が大きく、 $y/k \leq 6$ の領域で流下方向の変化が顕著であるが、 L/k が小さくなるとその変化は小さくなり、分布はほぼ一様となる。ここでは粗度の平均流に対する影響を対象とするため、以下では粗度間で平均した値を用いて考察する。

(1) 摩擦速度の評価 乱れ特性量を表示する場合、摩擦速度 U_* は重要なパラメータである。ここでは、レイノルズ応力分布より U_{*0} を求める方法を用いる。レイノルズ方程式を水深間（ $y=y$ から h_s まで）、更に粗度間（ $x=0$ から L まで）で積分すると(1)式が得られる。

$$-\overline{uv} - UV = g I_e (h_s - y) \quad (1)$$

ここで、左辺上の“-”は粗度間平均を意味し、 $\overline{UV}$ は粗度近傍以外では無視できるから、摩擦速度 U_{*0} は、(2)式で得られる。

$$U_{*0} \equiv \sqrt{g h_s I_e} = \sqrt{-\overline{uv} / (1 - y/h_s)} \quad (2)$$

ただし、 I_e はエネルギー勾配、 h_s は仮想底面を便宜上 $\Delta y = \pi k^2/4 L$ （粗度要素断面積を粗度間に配分する方法）だけ粗度底部より上方に移動させたときの水深である。また、水面近くの流速分布は仮想底面の位置にあまり影響されないことから、速度欠損則に主流速分布が一致するように摩擦速度 U_{*d} が求められる。図4は主流速分布を粗度頂部を原点として速度欠損表示したものであり、 L/k の減少とともに対数則に一致する領域が底面近くにまで広がることがわかる。図5は、このように求めた2つの摩擦速度 U_{*0} と U_{*d} とを比較したもので、 $L/k \leq 4$ では両者は一致しなくなる。レイノルズ応力より U_* を求める方法は、経験定数を持つ対数則や速度欠損則とは独立であるから、より正確に摩擦速度を評価できると考えられる。以下、摩擦速度として U_{*0} を用いる。この U_{*0} を用いて得られる抵抗係数 $f (=8(U_{*0}/U_m)^2)$ を図6に示す。 L/k による抵抗係数の違いは従来の研究と同様で、 $L/k=8$ のとき最大

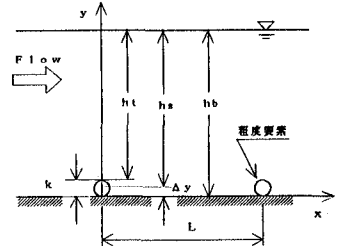


図1. 定義図

実験 Case	相対棧 間隔 L/k	水深 h (cm)	平均流速 U_m (cm/s)	y/h_s	$7b-t$
KK01	∞	8.01	27.40	14272	0.31
KK03	16	8.07	21.93	15606	0.25
KK05	8	8.05	19.98	14271	0.22
KK08	4	8.06	21.23	14997	0.24
KK10	2	7.95	26.05	19027	0.32
KK12	1	8.05	34.76	23875	0.39

表1. 実験条件

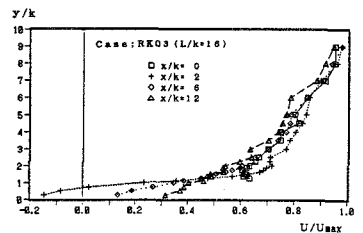


図2. 流速分布のx方向変化

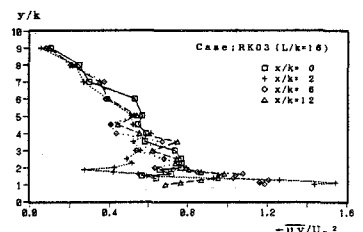


図3. レイノルズ応力のx方向変化

抵抗を示す。

(2) 乱れ特性量 図7、8、9は乱れ強度 u' 、 v' 及びレイノルズ応力 $-\overline{u'v'}$ の分布を原点を粗度頂部として U_{∞} で無次元表示したものであり、図中の点線は楠津の半経験式³⁾及び理論式である。 $y/h \geq 5$ では全てのケースが滑面開水路流での普遍分布式にほぼ一致しており、このような粗面においても乱れの普遍性が保たれているといえる。 $y/h < 5$ では L/k による違いが現れ、 $L/k \leq 4$ では u' は底面近くの値が減少しており、 v' は L/k が大きい場合粗度近傍で若干増大が見られるが全体として L/k による変化は小さい。 $-\overline{u'v'}$ は u' と同様に底面近くで減少するが、粗度近傍で再び増大している。

(3) 主流速分布 底面近傍の主流速分布特性を明らかにするために、従来の方法と同様に U_{∞} を用いて主流速分布が対数分布になるように y 座標原点を粗度底部より上方に移動させたときの分布を図10に示す。また、このときの原点移動距離 λ を図11に示す。

$L/k \geq 8$ では水面近くで底面の対数則分布より減少し、切片の異なる直線に漸近している。 L/k が小さくなるにつれて水面近くの値が大きくなり、Wake領域が顕著となってくる。図12は実測値から求めた混合距離の分布であり、図中の点線は対数則が成立するとしたときの理論値を示す。 $L/k \geq 8$ でその分布に明確な不連続点が見られ、底面近くで理論値よりも大きくなる。 $L/k \leq 4$ では全体に理論値より小さいようである。

4. おわりに 以上、棧型粗面流の乱流構造を検討したが、粗度の影響は平均流速と乱れでは異なっていると考えられる。今後は、乱れの発生機構及び粗度の剥離流と平均流の相互作用等について検討していきたい。

(参考文献) 1)足立;京大防災研究所年報,第4号,1961. 2)Y.Furuya, M.Miyata,H.Fujita;Journal of Fluids Engineering,ASME,1976. 3)I.Nezu,W.Rodi;Journal of Hydraulic Engineering,ASCE,1986.

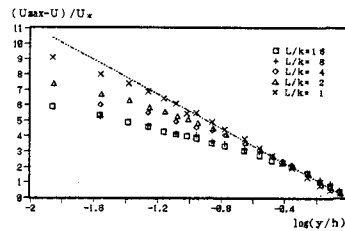


図4.速度欠損則

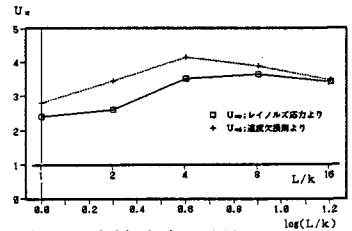


図5.摩擦速度の評価

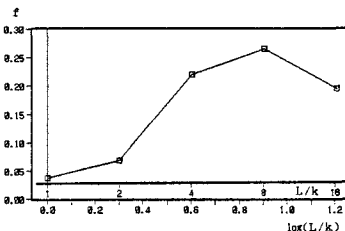


図6.抵抗係数

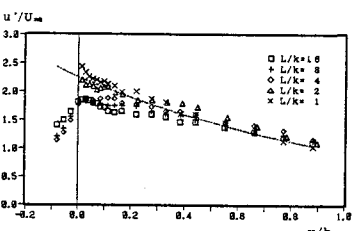
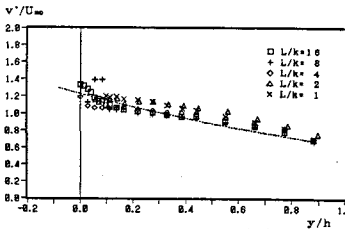
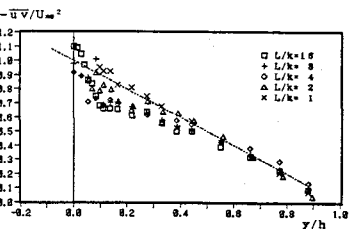
図7.乱れ強度 u' の分布図8.乱れ強度 v' の分布

図9.レイノルズ応力分布

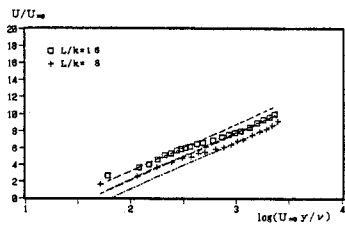


図10.流速の対数分布

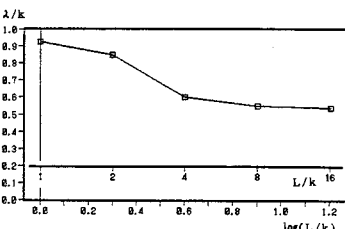
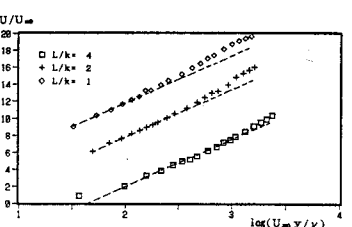
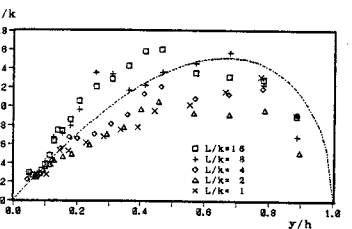
図11.原点移動距離 λ 

図12.混合距離分布