

棧型粗面開水路流の乱れについて

名古屋工業大学 正 員 ○富永晃宏
群馬大学大学院 学生員 根岸邦明

1. まえがき 粗面流れの抵抗則に関しては様々な粗度要素に対して実験的研究が行われているが、粗面上の乱れの構造に関してはまだ不明な点が多い。また、基本的な点でも粗面乱流を特徴付けるパラメータ、仮想底面の位置、壁面粗度の影響領域など多くの問題点が残されている。棧型粗面流れについては、その粗度間隔と粗度高さの比に応じて孤立粗度流、後流干渉流、疑似滑面といった区別^{1), 2)}、あるいはdタイプ、kタイプといった分類がなされている^{3), 4)}。本研究は、前報⁵⁾の円柱棧粗度に引き続き正方形断面の棧粗度を用い、棧間隔の系統的変化させ、粗度の流れ全体の乱流構造に及ぼす効果について検討したものである。

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に示すように一辺の長さ $k=5\text{mm}$ の正方形棧粗度を間隔 L で、相対棧間隔 L/k を16, 8, 4, 2と変化させて行った。また相対水深 h/k 、Reynolds数($Re=U_m h/\nu$)、Froude数($Fr=U_m/\sqrt{gh}$)は前報と同じく $h/k=10$ 、 $Re=1.5 \times 10^4$ 程度、 $Fr=0.3$ 程度に設定した。計測は上流から7.5mの1粗度区間で、ファイバ・レーザー・ドップラー流速計を用いて行った。

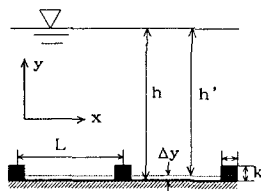


図1 粗度要素と座標

3. 実験結果及び考察

(1) 相対棧間隔の乱れに及ぼす影響 粗度間平均されたレイノルズ応力及び平均流速の鉛直分布の相対棧間隔 L/k による変化を図2、3に示す。値はそれぞれ平均流速 U_m 及び最大流速 U_{max} で無次元化されている。レイノルズ応力はいずれもほぼ直線分布し、 $L/k=8$ のときに最も大きな値を示し、以下 $L/k=16, 4, 2$ の順で小さくなっている。このことから粗面の抵抗係数はこの順で変化することがわかり、これは円柱棧粗度の場合と一致する。一方平均流速は $L/k=4$ のときに最も速度欠損が大きく、 $L/k=16, 8$ がほぼ同じで $L/k=2$ のときに速度欠損が最も小さい。したがって乱れと平均流速では粗度間隔の及ぼす影響にズレがみられることがわかる。

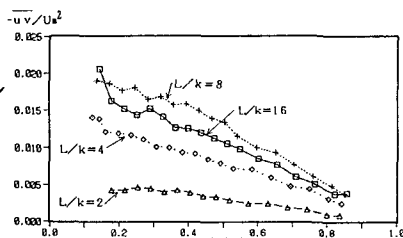


図2 レイノルズ応力への L/k の影響

(2) 摩擦速度の評価と乱れ強度の普遍表示 粗度間平均されたレイノルズ応力分布が直線分布することが図2より確認されたので、外層のレイノルズ応力勾配を用いて次のように平均の摩擦速度が得られる。

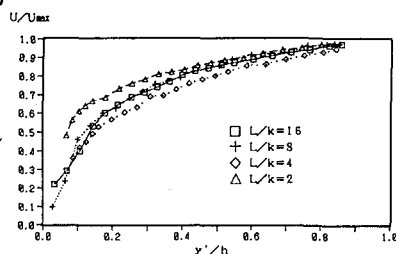


図3 流速分布への L/k の影響

$$U_{*0}^2 = gh' I = (\partial [-\overline{u'v'}] / \partial y) \cdot h', \quad h' = h - k^2/L \quad (1)$$

ただし、 h' は幾何的

底面（粗度要素断面積を粗度間隔で除した高さだけかさ上げた底面）からの水深である。図4、5は各粗度間隔における粗度間の平均のレイノルズ応力と乱れ強度の分布をまとめ

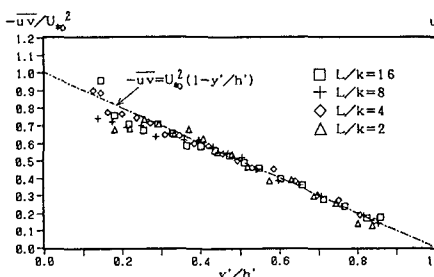


図4 レイノルズ応力分布特性

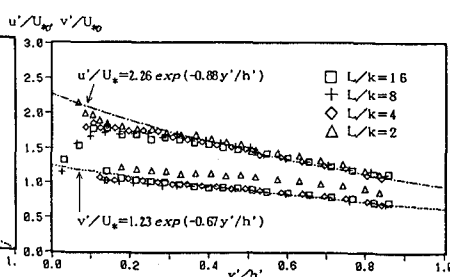


図5 乱れ強度の普遍分布特性

たものである。レイノルズ応力はすべてのケースで、 $y/h > 0.3$ ではほぼ直線分布とみなされ、これは前報の円柱
 粗度の場合よりも粗度の局所的影響領域が小さくなっているといえる。 $y/h < 0.3$ では直線分布から若干減
 少し粗度近傍で急増する傾向は弱いながらも認められる。乱れ強度 u' も $y/h > 0.3$ で滑面の普遍分布式⁶⁾によ
 く一致しており、乱れ強度分布の普遍性が保たれていることがわかる。 $y/h < 0.3$ では普遍分布より若干減少す
 る。さらに粗度高さ付近から下になるところで $L/k \geq 4$ では急激
 に減少する。一方、 v' は $L/k \geq 4$ では全体に普遍分布式に一致し、
 粗度近傍でも粗度の局所的影響が認められない。ただし、 $L/k =$
 2の場合だけ全体に大きな値となった。この傾向は、これほど
 顕著ではないが円柱粗度においても認められた。

(3)主流速の対数則分布特性 粗度間平均値による対数則分
 布を図6に示す。 $L/k \leq 4$ では原点補正を行っており、全体とし
 て対数則によく一致しカルマン定数に変化がないことが確認さ
 れるが、外層でのwake現象は円柱粗度ほど顕著でない。 $L/k \geq$
 8では幾何的の原点補正のみを行ったが、外層の分布が若干下にずれ
 るような傾向を示し、粗度間隔によって粗度の外層に及ぼす影響が
 異なることが示唆される。図7に原点補正值及び先にレイノルズ応
 力分布から得られた摩擦損失係数 $f = 8(U_x/U_m)^2$ を、円柱粗度の
 場合とともに示す。原点補正值は両者でほぼ等しいが、摩擦損失係
 数は角柱粗度の方が若干小さくなった。

(4)大規模渦構造について 図8は $L/k = 16$ の代表的位置におけ
 るレイノルズ応力の鉛直分布を示したものであるが、分布はかなり
 脈動しており、単なる計測誤差とは考えにくい。またこの脈動は円
 柱粗度の場合よりも大きいようである。このレイノルズ応力分布の
 ピークの位置を連ねてプロットしたものが図9である。これらの線
 は粗度近傍から水平に流下し、中間点付近から上昇しているようで
 あり、粗度によって発生した大規模渦の通過軌跡を示すものと考え
 られ、これがある程度固定された軌跡をたどるものと推測される。

4. あとがき 角柱粗度上の開水路流れの乱流構造を検討し、
 円柱粗度の場合とほぼ同じく、乱れ強度分布の普遍性が確認され
 たが、両者で若干の相違も認められた。今後は、大規模渦構造に着
 目して、乱れの発生機構及び粗度後流と平均流の相互作用について
 検討したい。

- (参考文献) 1) Morris, H.M., Proc of ASCE, vol.85, HY7, 1959,
 2) 足立; 京大防災研究所年報, 第4号, 1961.
 3) Perry, A.E., Shofield, W.H. and Joubert, P.N.; JFM, vol.37-2,
 1969.,

- 4) Antonia, R.A. and
 Luxton, R.E.; JFM,
 vol.48-4, 1971.,
 5) 根岸、富永、狩野; 土木
 学会第45回年講, 1990
 6) Nezu, I. and Rodi, W.;
 J. Hydraulic Eng.,
 ASCE, vol.112-5, 1986.

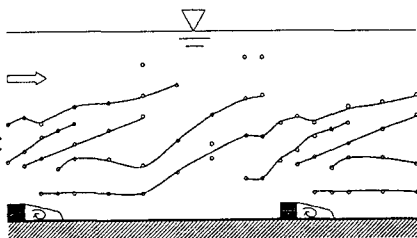


図9 レイノルズ応力のピークの軌跡

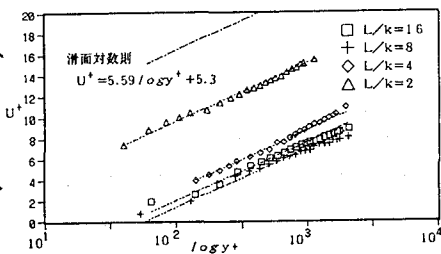


図6 対数則分布特性

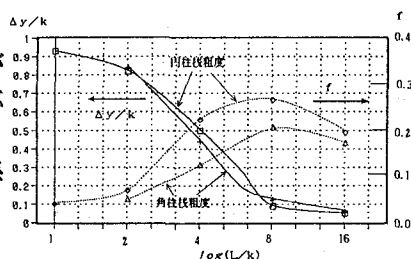


図7 原点補正距離と摩擦損失係数

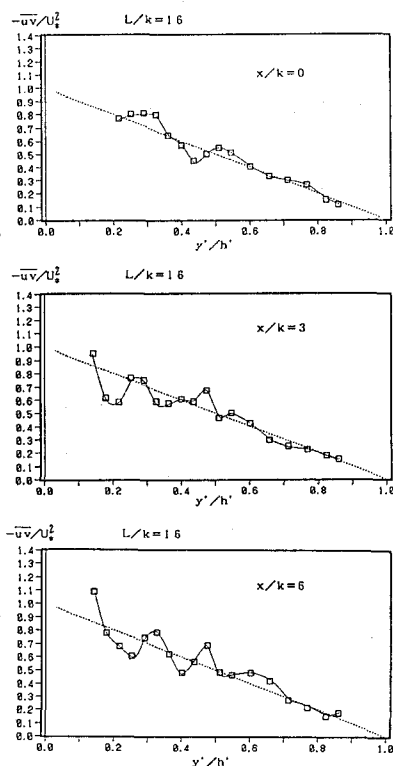


図8 局所的レイノルズ応力分布