

群馬大学大学院 学生員 根岸 邦明
名古屋工業大学 正 員 富永 晃宏
群馬大学工学部 阿部 敬幸

1. まえがき 従来、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、抵抗評価の指針が得られている^{1), 2)}が、乱れの構造に関してはまだ不明な点が多く残されている。本研究は、粗度間隔と粗度高さの比がその抵抗特性に対して重要なパラメータとなることが明らかにされている槽型粗面において、乱流構造を明らかにしようとするものである。著者らはすでに円柱槽型粗度上の流れの乱流構造を検討している^{3), 4)}が、今回は正方形槽型粗度を用いた流れにおける粗度の乱流構造に及ぼす効果について検討する。

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 $k=5\text{mm}$ の正方形断面の槽型粗度を間隔 L で設置して行った。粗面流れでは y 座標原点の補正 Δy が問題となるが、ここでは幾何的補正 ($\Delta y=k^2/L$) を用いる。表1に示すように相対槽間隔 L/k を粗度が一本だけの ∞ から16, 8, 4, 2とし、各々について粗度水深比 h/k を16, 10と系統的に変化させ、レーザー・ドップラー流速計を用いて、水路中央の一粗度区間を水深間約20点、粗度間4~13断面に渡って計測した。

3. 実験結果及び考察 (1) 流下方向変化特性 図2(a), (b)に $L/k=\infty$ のときの主流速 U 、乱れ強度 u' の鉛直分布の流下方向の変化を示す。 U は $y/k \leq 6$ で、 u' は $y/k \leq 4$ で粗度の局所的な影響が認められるが、それより上層ではほとんど変化していない。また、 $L/k=16$ のときもこれと同様の傾向が見られるが、 $L/k=8$ になるとこのような粗度の影響は小さくなり、 $L/k \leq 4$ になるとほぼ一様の分布となる。図3(a), (b)はレイノルズ応力 $-\overline{uv}$ の鉛直分布が極大となる点を流下方向に連ねた図で、 L/k の違いによって渦の流下方向への移動の違いが見られる。 $L/k=16$ の場合、粗度要素で生じた渦は $x/k=10$ 程度まで水路床に平行に移動した後、次の粗度の前で角度を変えて斜め上方へと移動し始める。 $L/k=8$ では、水路床に平行な移動は認められず、粗度要素で生じた渦は直ちに斜め上方に移動していくようである。これは粗度要素で生じた後流が、次の粗度要素によって干渉されていることを示している。

(2) L/k の影響 図4(a), (b)は $U/U_{\max}$ と $-\overline{uv}/U_{\max}^2$ ($L/k \geq 8$ では $x/k=4$, それ以下では $x/k=0$ 。ここで、 $U_{\max}$ は平均流速)の鉛直分布を比較したものである。 U については水面近くと粗度近傍で $L/k=\infty$

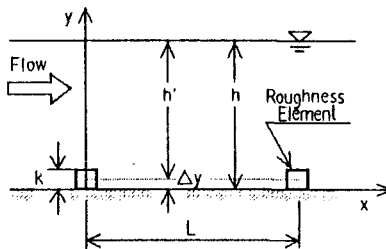
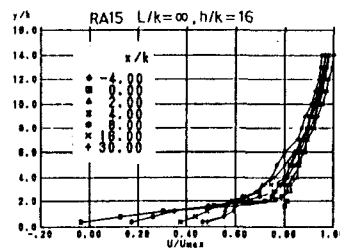


図1. 定義図

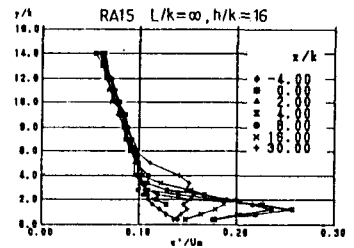
Case	L/k	h/k	$U_{\max}(\text{cm/s})$	Re	Fr
RA03	16	16	27.29	23100	0.31
RA04	16	10	23.77	14100	0.33
RA05	16	8	17.81	14700	0.20
RA06	8	16	26.37	21900	0.30
RA07	8	10	23.20	12800	0.32
RA08	8	8	18.87	15800	0.21
RA09	4	16	26.82	21900	0.30
RA10	4	10	26.73	16000	0.39
RA11	4	8	18.12	14900	0.20
RA12	2	16	27.26	21400	0.31
RA13	2	10	26.14	14800	0.39
RA14	2	8	18.98	14700	0.22
RA15	∞	16	26.70	23400	0.32
RA16	∞	10	20.92	17000	0.24

表1. 実験条件

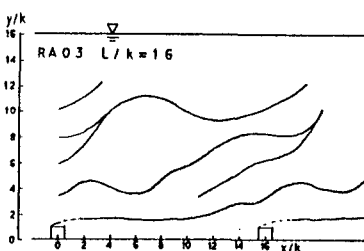
(a)



(b)

図2. 流下方向変化 ($L/k = \infty$)

(a)



(b)

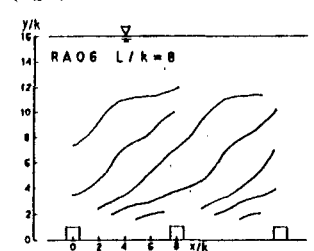


図3. 渦の移動

の分布に集束し、その間では L/k による変化が見られ、 $L/k=4$ のとき速度欠損が最大となる。 $-\overline{uv}$ は粗度近傍で $L/k=\infty$ の分布に一致し、外層の直線分布へ移行する位置が異なり、 $L/k=8$ のとき相対的な乱れの大きさが最大となることからわかる。

(3) 摩擦速度の評価 粗度近傍以外の外層ではレイノルズ応力は直線分布するので、レイノルズ応力より求めた摩擦速度 u_* を用いて乱れの普遍表示を行う。図5はケースRA03 ($L/k=16, h/k=16$)の代表位置におけるレイノルズ応力分布である。 $y'/h' \leq 0.5$ では位置によってばらつきが見られ、粗度直後では減少きみ、粗度から遠ざかると増大する傾向がある。これは、粗度間隔が広い場合、底面付近に鉛直方向平均流速 V による輸送すなわち UV の値が存在するためと考えられる。しかし、それより外層では直線分布にほぼ一致している。図6はこの外層のレイノルズ応力の直線回帰から得られた局所的 u_* の流下方向変化を示したもので、粗度直後で若干小さく、粗度直前で若干大きな値をとるが、その変化は小さくほぼ一様とみなしても差し支えないと考えられる。また、同様のことが他のケースについてもいえる。

(4) 粗度間平均値の乱れ特性 図7(a)、(b)は $h/k=16, 10$ において各点で計測したレイノルズ応力を粗度間平均し、その値より求めた平均の摩擦速度 u_{*0} で無次元化したものである。 $h/k=16$ では $y'/h' \geq 0.25$ の外層で、 $h/k=10$ では $y'/h' \geq 0.4$ の外層で直

線分布に一致し、それ以下の領域では粗度による影響が見られる。これらの位置はどちらも $y/k=4$ に相当し、粗度の影響領域は水深よりも粗度高さに依存すると考えられる。図8は $h/k=16$ における乱れ強度の粗度間平均値を u_{*0} で無次元化したものである。 u', v' とも外層では滑面の普遍分布式⁵⁾に一致しており、乱れの普遍性が保たれていることがわかる。 u' は $y'/h' \leq 0.25$ の領域では減少傾向にあり、特に $L/k \geq 8$ では底面近くで v' の値に近づき、等方化が顕著となる。逆に $L/k=2$ の場合は粗度に近づくにつれて一度減少した後、再び増大している。 v' については若干増大傾向にあるが、 L/k による大きな違いはあまり認められない。

4. あとがき 正方形棧型粗度上の流れの乱れ特性を検討した結果、円柱棧型粗度とほぼ変わらない特性を示し、外層のレイノルズ応力より求めた摩擦速度によって乱れ強度が外層では滑面と同様の普遍分布をすることがわかった。また、粗度の影響する領域は水深よりも粗度高さに大きく依存すると考えられる、今後は、乱れの発生機構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)根岸, 富永, 狩野; 第45回年講, 1990. 4)富永, 根岸; 第22回乱流シンポジウム講演論文集, 1990. 5)I. Nezu, W. Rodi; Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 1986.

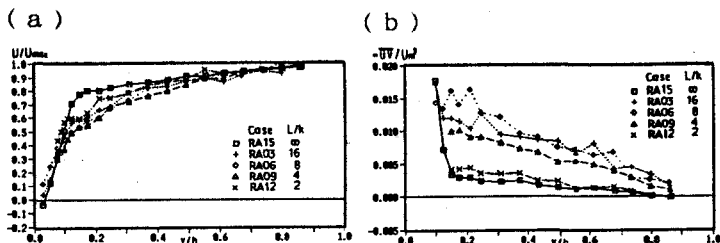


図4. L/k の影響

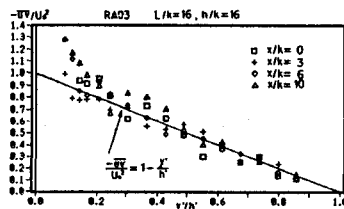


図5. レイノルズ応力分布

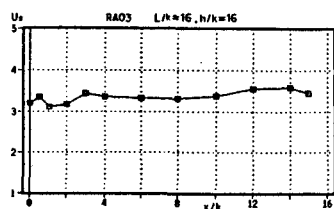


図6. 摩擦速度の流下方向変化

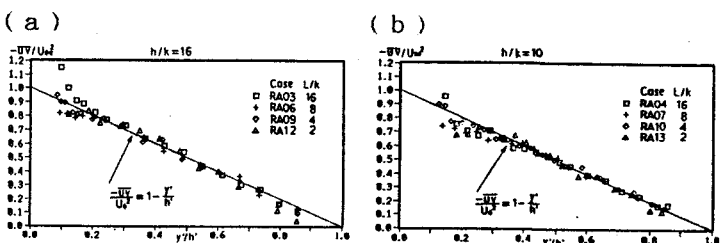


図7. 粗度間平均のレイノルズ応力分布

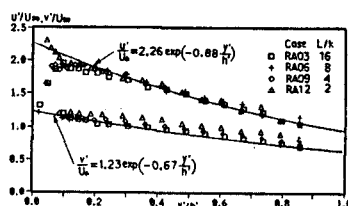


図8. 粗度間平均の乱れ強度分布