

開水路粗面乱流の三次元構造に関する研究

京都大学工学部 正員 中川 博次 京都大学工学部 正員 福井 家久
 建設省 正員 〇光成 政和 京都大学大学院 学生員 川島 伸哉
 京都大学大学院 学生員 瀬谷 和彦

1. まえがき 主流域での大規模渦運動¹⁾は、流量、流砂量、河床形状に密接に関係しているにもかかわらず、不明な点が多い。この原因として、流れが三次元的であることがあげられる。すなわち、主流に対して2次流が存在し、現象を語る際に決して無視できなくなる点である。本研究では、実験水路に固定床を設け、二成分レーザー流速計を用いて、三次元流れを詳細に計測し、粗度、アスペクト比（水路幅/水深）の効果を考慮する。さらにホット・フィルム流速計の併用により、流速の三成分同時計測を行ない、主流速、2次流、乱れ強度に対する考察を行なう。

2. 実験方法 実験条件を表1に示す。実験水路は、全長10m、幅40cm、側壁ガラス張りであり、水路床に区間8mにわたって粗度を設けた。レーザーは開水路乱流が十分発達したと考えられる粗度上流端から8.3mの位置に設置され、 $\overline{U}(t)$ （流下方向）、 $\overline{V}(t)$ （鉛直方向）を計測した。計測断面は側壁から水路中央までの半断面である。ケースP4では、レーザーにホット・フィルムセンサの後流の影響が現れないレーザー計測位置より1mm下流にX型ホット・フィルム流速計を設置し、流速 $\overline{U}(t)$ 、 $\overline{W}(t)$ （横断方向）を計測した。P4でのレーザーとホットフィルムのデータの信頼性は、図1に示す通り、非常に良好であり、両流速計間の誤差は小さい。また粗度の特性より、Y軸の座標原点は場所により異なるはずであるから、対数則に一致するよう最小自乗法により横断方向の各位置で増分 ΔY 、相当砂粒粗度 K_s 及び摩擦速度 U_τ が、決定された。

3. 実験結果及び考察 図2に、 U のコンタ図を示す。これより、アスペクト比が6のものでは、粗度により、横断方向の等値線の波状化が進むことがわかる。側壁近くでは、底面、側壁と同様、自由水面も、固定境界に近い働きを示す。このため、全てのケースで、 $0.0 \leq Z/H \leq 1.0 \sim 1.2$ で、最大流速点の降下が生じる。図3に2次流（ V, W ）のベクトル図を示す。これより、M2では水面渦が大きく卓越し、底面渦が抑制されているが、M6では両者の格差が減少し、 $1.0 \leq Z/H \leq 2.0$ には、水深規模の渦がみられ図2との比較から下降流部では高速流、上昇流部では低速流となり、水深規模の渦が U の等値線の波状化の原因と考えられる²⁾³⁾。図3での W 成分は連続式を用い V より求めたものである。図4は直接計測された V, W によるベクトル図であるが、水面渦、底面渦とも、その向き、規模が計算によるものと、良く一致していることから、計測精度の高さが認められる。図5は対数則より得られた摩擦速度 U_τ の横断方向の分布図で、 U_τ の増減の周期は U のコンタ図のそれと一致し、下降流部では大きく上昇流部では小さくなる。粗度の増加により、 U_τ は大きくなり、最大値と最小値の格差も広がる。図6は u' の分布図である。これより、 u' は河床で最大、河床から離れるに従い減少する傾向がみられるが、最大流速点の降下する領域での u' は水面近くで増加する。M2はその特徴が顕著である。これは水面渦の存在する領域と重なるが、M6の $1.0 \leq Z/H \leq 2.0$ では見られない現象であることから、渦による特性ではないと思われる。上昇流部に比べて下降流部では u' の値が小さく減少勾配も大きい。図7に v' の分布図を示す。 v' は河床で最大、河床から離れるに従い単調に減少するが、最大流速点の降下する領域ではさらにその減少度が大きくなる。また u' と同様下降流部では値が小さく、減少勾配も大きい。図8は w' の分布図である。全体的な特徴は v' に似ているが最大流速点の降下領域でも一様に減少し、分布形状は u' と v' の中間的なものとなる。図9は $-\overline{uv}$ の分布図、図10はコンタ図であるが、最大流速点の降下領域に負域が生じ、 $Z/H = 1.3 \sim 1.5$ で消滅する三角形分布となる。図9より上昇流部に比べて、下降流部で $-\overline{uv}$ が小さくなっている。 u', v' の挙動も考慮し、下降流部では乱流運動が抑制され、上昇流部では促進されていることがわかる。図11は $-\overline{uw}$ のコンタであり、 $-\overline{uv}$ に比べ、負域がより広い範囲に発生していることがわかる。また、全体的な強度は $-\overline{uv}$ に比べおよそ1/3である。

Hiroji NAKAGAWA, Iehisa NEZU, Masakazu MITSUNARI, Nobuya KAWASHIMA & Kazuhiko SEYA (Kyoto UNIV.)

4. あとがき 本研究は2次元流に着目して三次元流れの解明を試みた。以下に得られた知見を示す。

1. 開水路における最大流速点の降下は側壁が支配的であり、降下による諸特性量の分布はアスペクト比によらずほぼ一定となる。
2. 水面渦は最大流速点降下領域内に発生する。
3. 水深規模の渦の存在により主流速 U の分布は歪曲化し、下降流の生じる高速流部では、一般に乱流運動は抑制される。
4. 一般に乱れは、河床から、水面に向かって減少するが、最大流速点降下領域では、 u' は増加し v' はより減少することが特徴である。
5. 粗度、アスペクト比の増大により水深規模の渦が形成されやすくなる可能性がある。

参考文献: 1. Culbertson: Evidence of Secondary Circulation in an Alluvial Channel. *Geological Survey Research* 1214-218 1978

2. 藤沢久 中川博次: 一様開水路および管渠の三次元乱流構造に関する研究
土木学会論文集 第388号 II-5 1988年5月
土木学会論文集 第388号 II-5 1988年5月

3. 宮永実史: 直線開水路の三次元乱流構造に関する研究 京都大学学位論文 1988

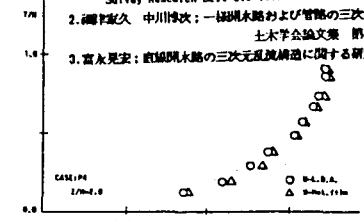


図1 レーザとホット・フィルムによる流速 U

CASE	I	Re (m/s)	H/L	Re (m/s)	Re (m/s)	Re (m/s)	Re (m/s)
A.2	0.000431	25.040	20.00	31.30	125200	0.2236	2.04
L.6	0.001270	0.390	6.70	31.31	62970	0.3864	2.51

粗度係数 $d=0.2581(\text{cm})$

CASE	I	Re (m/s)	H/L	Re (m/s)	Re (m/s)	Re (m/s)	Re (m/s)
M.2	0.000595	25.040	20.00	31.30	125200	0.2236	2.42
M.6	0.001906	0.390	6.70	31.31	62970	0.3864	3.00
N.2	0.000595	25.040	20.00	31.30	125200	0.2236	2.42
P.4	0.001190	12.520	10.00	31.30	62467	0.3162	2.79

粗度係数 $d=0.0181(\text{cm})$

表1 実験条件表

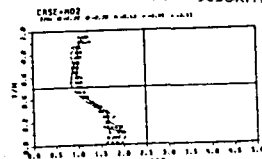


図6 u' の分布図 (A)

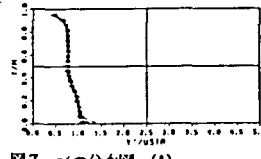


図7 v' の分布図 (A)

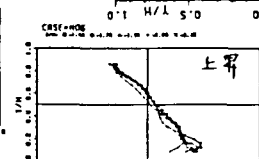


図9 $-u'$ の分布図 (A)

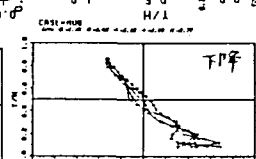


図9 $-v'$ の分布図 (B)

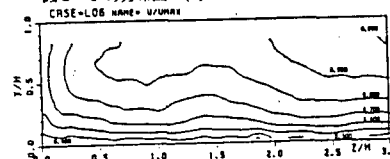


図2 U のコンタ図 (A)

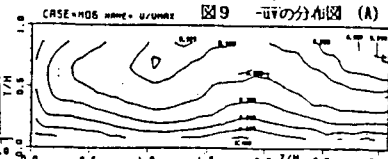


図2 U のコンタ図 (B)

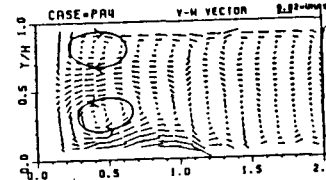


図3 (V, W) ベクトル図 (C)

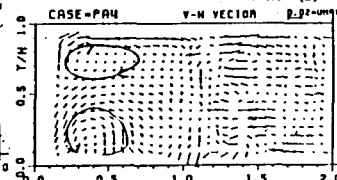


図4 (V, W) ベクトル図 直接計測

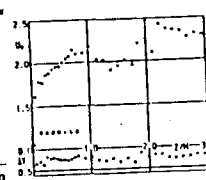


図5 U の横断方向の分布図 (A)

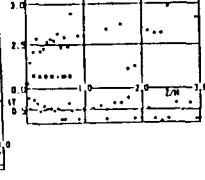


図5 U の横断方向の分布図 (B)