

開水路乱流れにおける主流流速の変動流速場

山口大学工学部 ○河元 信幸・斎藤 隆
山口大学大学院 倉本 和正

1. まえがき 開水路乱流れには種々な組織構造が存在し、それらの総合化された結果として、組織的な変動流速場が考えられる。前年度、粘性底層内の瞬間主流流速を平均流速と変動流速の強さを閾値にして定義した低流速域、高流速域それぞれの幅、中心間隔について調べた結果、低流速域はほぼ低流速域に対応することを明らかにした。本研究は、床面からの高さを変えて流速を測定し、低流速域、および高流速域の出現パターン、両流速域の幅ならびに中心間隔の水深方向の変化を調べたものである。

2. 実験装置と実験方法 実験用開水路、実験条件、測定方法は前年度の報告と同じである。図-1に平均流速の鉛直方向分布を示す。実験測点の縦軸方向の散乱はその高さにおける平均流速の横断方向の変化である。各高さにおける全平均流速値は対数分布則と一致している。

3. 実験結果とその検討 瞬間流速が $u < \bar{u} - u'$ ($\bar{u}$: 平均流速, u' : 変動流速強さ) である範囲を低流速域, $u > \bar{u} + u'$ である範囲を高流速域と定義し、それぞれを網掛けならびに黒塗りで示したものが図-2である。前年度示した粘性底層内 $y^+ = 3.5$ の場合には両流速域とも長く持続していたが、バッファ層内での両流速域の揺動は大きく、また持続時間も短く、両流速域での分岐・合体が行われて、両流速域の配列は著しく乱雑化されており、かつ高流速域においては塊状を呈する部分が多く見受けられる。

バッファ層外縁に相当する $y^+ = 40$ では、分岐・合体が見られるがバッファ層内に較べて小刻みでなく、揺動もゆっくりとしていて、両流速域の持続時間が長くなっており、バッファ層で顕著であった高流速域の塊状を呈する部分がバッファ層のものに較べて小規模であること、高流速域の幅がわずかに広がっていることから、塊状を呈する部分があり目立たなくなっている。

対数領域である $y^+ = 70$ では、低流速域、高流速域ともに幅ならびに中心間隔が広がっているが、幅の広がりに較べて中心間隔の広がりが著しい。バッファ層外縁における両流速域の配列は個々の流速域の揺動はあるが、大勢的にはほぼ水路と平行とみることができるが、対数領域における両流速域は水路の方向に斜行し、持続時間が明らかに長くなっており、微細な分岐・合体がなくなり、その数が明らかに少なくなっている。対数領域内ではこの様な特有な組織の変動流速場が形成されているとみれば、粘性底層内では比較的単純な変動流速場が形成されていて、その間にあるバッファ層内での変動流速場がきわめて乱雑化していることはバーストの発生領域であることの結果といえる。

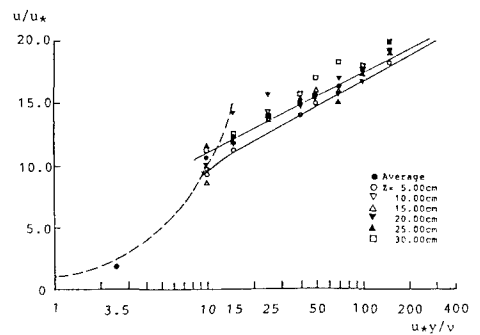


図-1 平均流速の鉛直方向分布

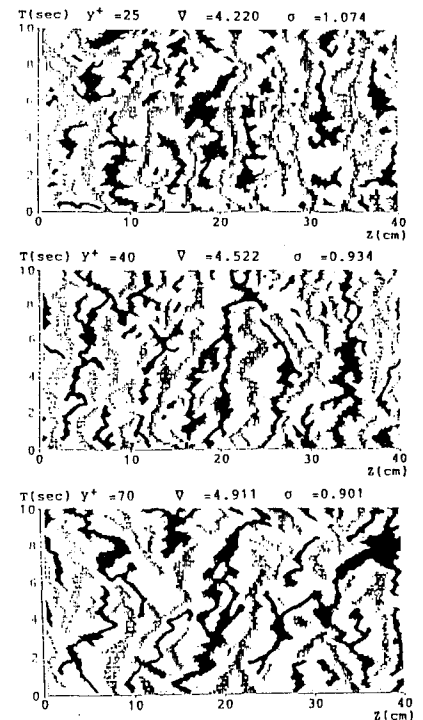


図-2 低流速域ならびに高流速域の出現状態

図-3は低・高流速域の幅と中心間隔の頻度分布図である。低流速域幅の頻度分布をみると、粘性底層内では最頻値は、 $B^+ = 10 \sim 20$ であるが、 $y^+ > 25$ での最頻値は $B^+ = 20 \sim 30$ と大きくなっており、 y^+ が大きくなるに伴い、狭い幅の頻度が減少していき、 $B^+ = 40 \sim 60$ での頻度が高くなっている。高流速域幅の頻度分布も同様な変化を示しているが、 $y^+ = 25$ において狭い幅の頻度が急減し、 $B^+ = 80 \sim 110$ の頻度がかなりあって、塊状を呈する部分の出現と変動流速場の乱雑化を表している。

低流速域の中心間隔の頻度分布をみると、バッファ層内で $Z^+ = 150 \sim 250$ の頻度が急増し、 $y^+ = 40$ では $Z^+ = 50 \sim 200$ での頻度はほぼ一定となり、 $Z^+ \approx 250$ 付近での頻度が増し、対数領域では $Z^+ = 80$ と260で山をもつ双山の頻度分布となっており、 y^+ による頻度分布の変化は図-2の変動流速場とよく対応している。高流速域の中心間隔の頻度分布の y^+ による変化は低流速域のそれほど顕著な変化は認められず、生起する範囲が広がっている。

図-4は、変動流速の頻度分布とそれと同じ偏差値をもつ正規分布の頻度差を明示したものである。粘性底層内での変動速度の頻度分布が極端に正規分布と違っており、明確な組織的変動流速場が形成されている結果と解釈することが出来る。 y^+ による差の分布の変化をみると、 $y^+ = 40$ と100を境にして分布の波形が規則的に変化している。

実測した変動流速の頻度分布は、全く乱雑な変動速度場と組織的変動流速場が合体された結果として検討してみる。図-5は平均値が0で、偏差値が1の正規分布と図の上部に示した双山頻度分布とを合成して出来た頻度分布とを同じ平均値とを偏差値をもつ正規分布との差の分布を示したものである。図-4と5とを比較すると明らかに、双山の頻度分布の形状を適切に探ることで、図-4の分布形状を再現することが可能である。換言すれば、上記の観点から変動流速の頻度分布を検討することで組織的な変動流速場を明らかにすることが可能ではないかと考えられる。

4. むすび 主流方向の流速だけであるが、変動流速場の一つの表示方法として、低流速域と高流速域を定義して、両流速域から構成される変動流速場のパターン、両流速域の幅と中心間隔の水深方向の変化を実験的に検討し、粘性底層、バッファ層、対数領域で特徴をもつことを明らかにした。

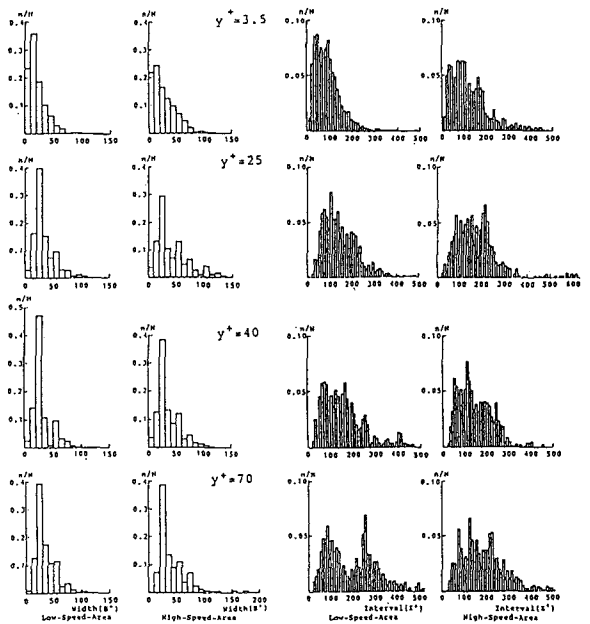


図-3 低・高流速域の幅と中心間隔の頻度分布

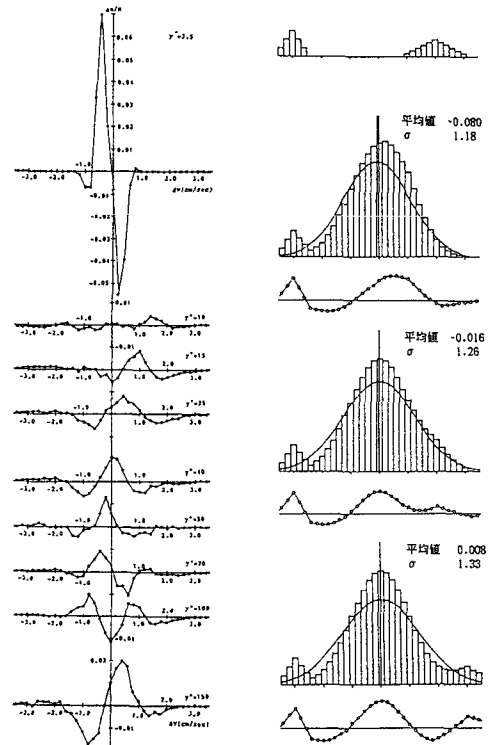


図-4 変動流速頻度分布と正規分布の差

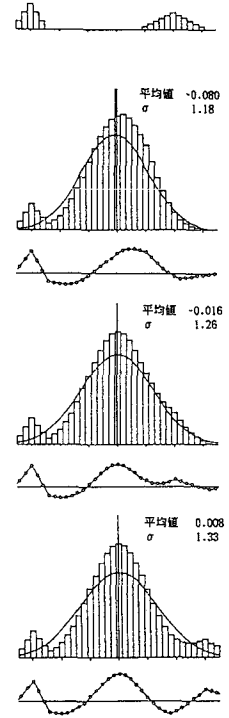


図-5 正規分布と双山分布との合成