

開水路段上り・段落ち部における流れの内部構造について

京都大学防災研究所 正員 今本博健
 兵庫県 正員 ○藤井良啓
 京都大学大学院 学生員 藤井義文

1. はじめに

著者らは、従来より、開水路断面変化部における流れの水利特性を明らかにするため、種々の断面変化部周辺における流れを対象として実験的検討を加えてきたが、^{1),2)} 路床高変化部においては流線が鉛直方向にも変化するため、本報告では2成分ホットフィルム流速計を用いた2方向の速度計測より、平均および乱れ速度場の特性について実験的検討を加えたものである。

実験は、2.1 cmの段差をもつ段上り部および段落ち部を対象とし、データ処理におけるサンプリング周波数 $f_s = 3.2 \text{ Hz}$ 、データ数 $N = 80$ 個である。

2. 平均および乱れ速度分布

図-1は、路床勾配 $I = 1/400$ とし、流量 $Q = 1.63 \text{ l/sec}$ で下流端のせきあげにより水深 $h = 5 \text{ cm}$ とした場合の平均および乱れ速度分布を示したものである。図中、平均速度 U および W については、縮尺の異なった合成ベクトルで示されているが、段上り部では流線の曲率が大きく、段上り部エッジ付近に速度の大きい部分が生じているのに対し、段落ち部では速度の大きさ、方向とも変化が緩やかで、段落ち部下流側の大きな離域の存在がうかがわれる。一方、乱れ速度について考察すると次のようである。すなわち、段上り部では、 $x = 0 \text{ cm}$ の断面を除き、いずれの断面においても u' が w' に比し大きな値となっており、また、その分布形は、 u' が総じて路床付近ほど大きいのに対し、 w' は段上り部下流側で同様の傾向が見られるものの、上流側では断面内ではほぼ一様である。段落ち部の場合でも $u' > w'$ となっているが、とくに、段落ち部エッジの下流側で両者ともその値が大きくなっている。これは、このような部分で平均速度勾配が大きいためと考えられるが、下流にいくに従い断面内で一様な分布形となっていくことが知れる。

以上のように、変化部周辺では大きな乱れ速度が生じるが、このような乱れ速度成分のもつエネルギーの大きさを検討したものが表-1である。表中、 E_t および E_m は別報³⁾ に示された式に従い計算されたものであるが、これより平均流のエネルギーに占める乱れエネルギーの割合は、段上り部では、 $x = 0 \text{ cm}$ の断面で最小値をとった後、直下流で急激に増加し、ほぼ一定値となるが、その値はただか1%程度であるのに対し、段落ち部では、段落ち部付近から増加しはじめ、かなり下流側で再び減少していくが、最大値は数%にも達することが知れる。これと同様の特性は、水路幅を変化させた急拡部あるいは急縮部について行なわれた実験においても見られ、断面の拡大部あるいは縮小部における流れの普遍的特性と考えられる。

表-1 エネルギー比 E_t/E_m (%)

$x \text{ (cm)}$	-40	-20	-10	0	10	20	40	80
段上り部	0.86	0.76	0.89	0.38	1.03	0.87	0.99	1.03
段落ち部	0.89	1.00	0.89	1.01	2.19	3.07	3.81	2.55

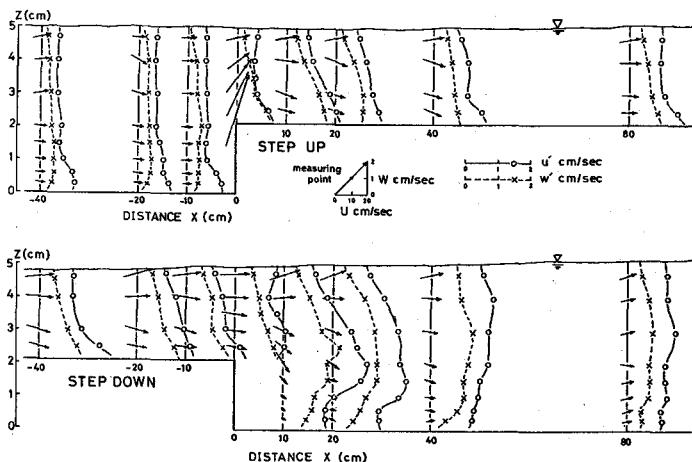


図-1 平均および乱れ速度分布

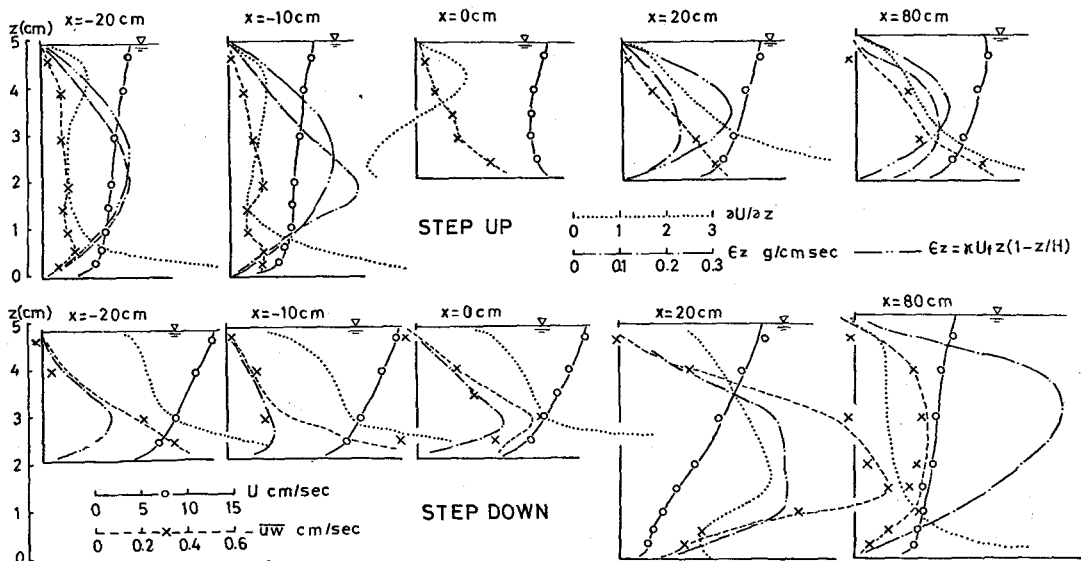


図-2 レイノルズ応力および渦動粘性係数の鉛直分布

3. レイノルズ応力および渦動粘性係数

図-2 は変化部周辺のレイノルズ応力 $-\overline{u'w'}$ およびレイノルズ応力と平均速度分布とから求められた渦動粘性係数 ϵ_z の鉛直分布を示したものである。図より、段上り部では、 $-\overline{u'w'}$ の値は路床付近ほど大きく、とくに、段上り部下流側では平均速度勾配が大きいので、その傾向が強い。また、 ϵ_z は段上り部の断面を除き、2次元流れでの $\epsilon_z = \kappa U \tau z (1 - z/H)$ と定性的には比較的良好一致しており、段上り部近傍を除き、ほぼ2次元流れに近い状態であるといえよう。なお、段上り部の $x = 0 \text{ cm}$ の断面では、 $-\overline{u'w'}$ と U との分布特性が適合していないが、これは平均速度の鉛直成分が無視できないためと考えられる。一方、段落ち部では、 $-\overline{u'w'}$ は段落ち部上流側で路床付近ほど大きいのにに対し、下流側では、段落ち高さ付近で最大値をとりその値は非常に大きい。また、 $x = 20 \text{ cm}$ の断面では、半水深付近に ϵ_z がほぼ一様分布となる部分も見られ、このような傾向は段落ち部下流の流れに対する物体後流理論適用の可能性を示唆するものと考えられる。

4. 段落ち部下流の平均速度分布特性

以上の結果より、段落ち部下流の平均速度分布について、後流理論適用の可能性を検討するため、一例として平均速度分布の相似性を検討したものが図-3である。図中、欠損速度は、断落ち部の断面において計測された最大速度を接近速度 U_∞ と仮定して求められたものである。また、このようにして得られた欠損速度の鉛直分布より、最大欠損速度 $(U_\infty - U)_{\max}$ が推定され、さらに、半値幅 $b_{1/2}$ が求められるが、以上のような仮定により得られた欠損速度分布は、いずれの断面においても、後流での $(U_\infty - U)/(U_\infty - U)_{\max} = \exp[-0.693(z/b_{1/2})^2]$ と比較的良好一致しており、段落ち部下流の流れに対する後流理論適用の可能性をうかがうことができる。

5. おわりに

以上のように、段上り・段落ち部における流れについて実験的検討を行なった結果、いくつかの興味ある結果が得られたが、とくに、4.での検討については、接近流の速度仮定の他に、接近流の速度分布の非一様性や自由表面および路床面の存在による運動量の保存など多くの問題が残されており、今後さらに広範な実験的検討が必要である。

参考文献 1) 今本ら：開水路断面変化部における流れの水理特性について、関西支部年講、昭50。

2) 今本ら：開水路断面急拡部における流れの内部構造について、土木学会年講、昭51。3) 今本ら：開水路断面急縮部における流れの内部構造について、関西支部年講、昭52。