

開水路断面変化部における流れの水理特性について
段落ち部における実験的検討

京都大学防災研究所 正 員 今 本 博 健
京 都 大 学 大 学 院 学 生 員 ○池 野 秀 嗣

別報¹⁾に示したように、開水路段落ち部における流れの遷移特性は、きわめて単純化された仮定のもとでは段上り部と同様に取り扱われるが、段落ち高が大きくなるにしたがって自由落下としての特性が顕著となり、通常の1次元解析法は適用されなくなる。以下においては、段上り部についてと同様に、段落ち部周辺における流れの局所機構について若干の実験的検討を加える。

1. はく離域の特性

幅 40cm の実験水路において、路床勾配を $1/400$ とし、過マンガン酸カリウムをトレーサーとした可視化法による段落ち部下流側に形成されるはく離域の長さ l の計測結果を示すと図-1 および図-2 のようになるが、これらよりつぎの事項が知れる。すなわち、図-1 は下流側水位調節のなされない場合における l と段落ち高 $\Delta h (< 0)$ の絶対値との比 $l/|\Delta h|$ と下流側水深 h_3 と $|\Delta h|$ との比 $h_3/|\Delta h|$ 間の関係を示したものであって、計測値にはかなりのばらつきがあるものの流量 Q あるいは Δh に関係なく両者はほぼ一義的な関係で結びつけられ、 $l/|\Delta h|$ は $h_3/|\Delta h|$ の約 $1/2$ 乗に比例して減少する傾向がみられる。また、図-2 は下流側水位がせき上げられた場合のはく離長の変化を示したものであって、 $h_3/|\Delta h|$ が小さい領域での $l/|\Delta h|$ はせき上げ高の増加に伴い大きくなる傾向を示すが、ある程度以上せき上げ高が大きくなると逆に若干減少し一定値 $l/|\Delta h| \approx 6$ に漸近することが知れる。

2. 速度場の特性

開水路断面急変部周辺では上述のはく離域が形成されるとともに、流線の曲りあるいははく離域からの渦の離脱に伴う大きな乱れ速度の発生などがみられ、速度場の性状はかなり複雑なものとなる。以下においては、ホットフィルム流速計による速度計測にもとづき、段落ち部周辺の速度場の特性について検討する。

いま、 $Q=3.45$ l/sec, $\Delta h=-2.16$ cm とし、下流側水位調節のなされない場合の平均速度 U 、乱れ速度 u' およびエネルギー逸散率 ε の計測結果を示すと図-3 のようである。図に併示された水面形より知れるように対象とする流れは段落ち部近傍に支配断面をもち、上流側では常流、下流側では射流となっている。 ε については後述することにし、まず U の鉛直分布についてみると、段落ち部直上では路床面側ほど U が大きくなっているが、その他の計測断面では自由表面側ほど U は大きく、通常の2次元流れと同様に路床面近傍を徐いて対数則の適用が可能である。 u' についても同様であって、全般的に路床面側ほど u' は大きくなっているが、段落ち部近傍の u' はかなり大きな値を示し、はく離域からの渦の離脱に伴う乱れエネルギーの供給が活発におこなわれていることが理解される。また、 U の鉛直分布より各計測断面におけるエネルギー補正係数 α および運動量補正係数 β を求めると表-1 のようになり、顕著な変化は認められない。ただし、同表に併記

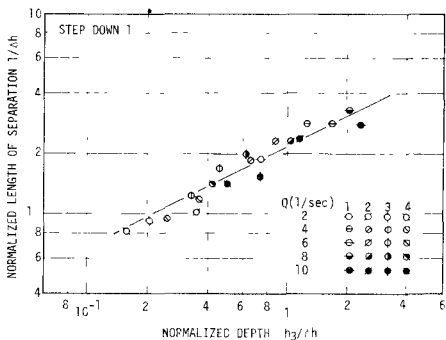


図-1 段落ち部周辺のはく離域の特性

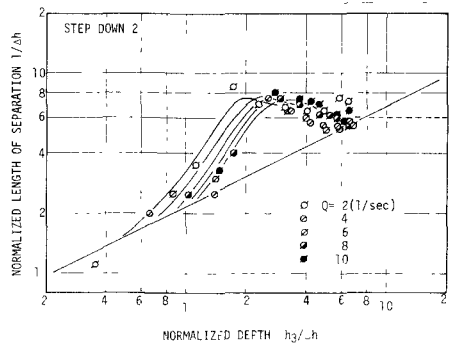


図-2 下流水位せき上げによるはく離長の変化

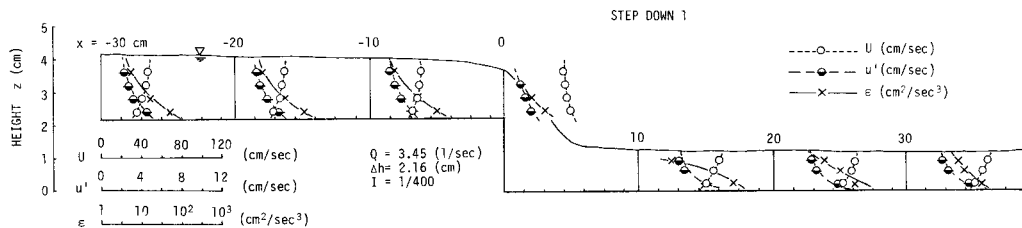


図-3 各計測断面におけるU, u'およびεの鉛直分布

表-1 各計測断面における補正係数

(1: せき上げなし, 2: せき上げあり)

x (cm)	-30	-20	-10	-5	0	5	10	20	30
1	α	1.04	1.03	1.03	1.01	1.13	1.04	1.02	1.02
	β	1.01	1.01	1.01	1.00	1.05	1.01	1.01	1.01
2	α	1.06	1.06	1.06	—	1.05	—	1.44	1.25
	β	1.02	1.02	1.02	—	1.02	—	1.20	1.09

された下流側水位のせき上げられた場合のαおよびβについてみると、段落ち部近傍でこれらは大きく変化しており、下流側水位調節の有無により異なった特性を示している。このように、開水路段落ち部周辺における速度場は段落ち部近傍でかなり複雑な性状を呈し下流側である程度はなれたところで2次元流れに相似なものに回復する。このような回復に要する距離は水理条件によって変化し、同一流量のもとでは下流側水位のせき上げに応じて大きくなる。

一方、乱れ速度の周波数成分ごとの特性をみるためサンプリング周波数として $f_B = 20$ および 160Hz の2種類、1連のデータ数 $N = 500$ 、繰返し数 $N_R = 3$ により計算されたスペクトル $S(f)$ の1例を示すと図-4のようである。図には、図-2に示されたと同じ流れについて、下流側路面からの高さ z 、断面位置 x における計測結果が示されている。図より知れるように、1 Hz以下の成分についての $S(f)$ は断面位置によってほとんど変化せず、かつほぼ一定とみなされるのに対し、それより高周波数の領域では断面位置による変化が大きく、 $x = 0\text{cm}$ における $S(f)$ は全体的に小さく、 $x = 20\text{cm}$ で大きくなっている。また、8 Hz付近で $f \cdot S(f)$ のピークがみられ、それより高周波数側で慣性領域および粘性領域のスペクトル相似則として知られる $-5/3$ 乗則および -3 乗則の成立性が認められる。このことは開水路段落ち部周辺の流れについても高周波数領域の成分は局所的等方性とみなしうることを示しており、 $-5/3$ 乗則の成立している領域に凍結乱流を仮定した相似則を適用するとエネルギー逸散率 ϵ が算定される。図-2に示された ϵ はこのようにして得られたものである。

なお、図-2の ϵ より知れるように、いずれの断面位置においても路面側ほど ϵ は大きくなっているが、大きさそのものは断面位置によって異なり、上流側から段落ち部に近づくにしたがって若干減少するとともに、段落ち部近傍で急激に増大し、さらに下流側では減少しある値に漸近する傾向がみられる。

以上は開水路段落ち部周辺における流れの局所機構のうち離域の特性と平均および乱れ速度場の特性について検討したものであるが、今後さらに広範囲の水理条件のもとでの実験的検討を行ない、普遍的特性の解明に努力していきたい。

参考文献： 1) 今本博健，藤井良啓：開水路段面変化部における流れの水理特性について——段上り部における実験的検討——，昭和50年度関西支部年講，昭和50年4月。

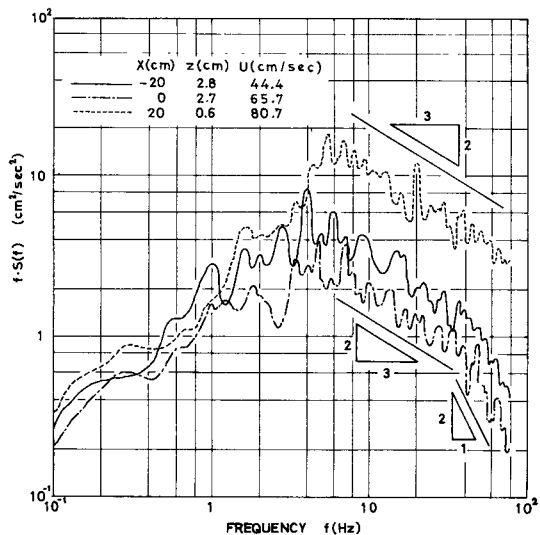


図-4 自己スペクトル計測例