

開水路段落ち流れに関する実験的研究

京都大学防災研究所 正員 今本 博 健
大 阪 市 正員 西 尾 誠
京都大学大学院 学員 ○ 藤 澤 寛

1. はじめに：本報告は、常流遷移における段落ち部下流側の流れを対象とし、その内部構造について実験的検討を行なったものである。実験水路としては、長さ13m、幅40cmの長方形断面直線水路内に段落ち部として4mの区間にわたりアクリル板を設置したものが用いられ、また速度計測にはホットフィルム流速計が用いられている。

2. 高段落ち流れの水利特性：上流側水深に比し段落ち高さの大きい場合(高段落ち流れ)の一例として、流量 $Q=3.00\text{ L/s}$ 、路床勾配 $I=1/800$ 、段落ち高さ $\Delta z=3.19\text{ cm}$ 、上・下流側水深がそれぞれ $h_1=2.52\text{ cm}$ 、 $h_2=5.71\text{ cm}$ の場合を取り上げ実験的検討を行なう。

図-1は平均速度 U と流下距離 x との関係を示したものであって、 U_{s0} は段落ち部($x=0$)における表面流速、 z は路床面からの鉛直距離である。図より知れるように、水面付近の U/U_{s0} は $x/\Delta z \leq 4$ でほぼ一定となっており、ポテンシャル・コア領域に対応するものと考えられる。

また、 $x/\Delta z \geq 4$ では、 $z/h_2 = 0.46$ の U/U_{s0} が流下距離にかかわらずほぼ一定となるのに対し、これより水面側の U/U_{s0} は流下距離とともに減少し、路床側では逆に増加し、開水路一様流れへと漸近していく。この領域を混合領域と名づけ、水面を中心軸とする平面噴流との類似性について検討すると次のようである。図-2のように、表面流速を U_s 、 $U=U_s/2$ となるまでの深さを $b_{1/2}$ とし、 U_s 、 $U_{\max}$ 、 $\sqrt{u'w'_{\max}}$ および $b_{1/2}$ と流下距離 x との関係を示すと図-3および4のようになる。

ここに、 $U_{\max}$ および $\sqrt{u'w'_{\max}}$ はそれぞれ各流下距離の横断面内における u' および $\sqrt{u'w'}$ の最大値を表わす。噴流の場合、 $U_s \sim x^{-1/2}$ 、 $b_{1/2} \sim x$ となることが知られているが、図に示されたこれらはいずれも噴流の場合よりゆるやかに変化しており、また、 $U_{\max}$ および $\sqrt{u'w'_{\max}}$ はほぼ一定に保たれている。図-5は、種々の流下距離における U の鉛直分布を示したものであるが、 $\phi=(h_2-z)/b_{1/2} > 1.5$ の制離面近傍以外は、噴流の速度分布形(ガウス分布)とよ

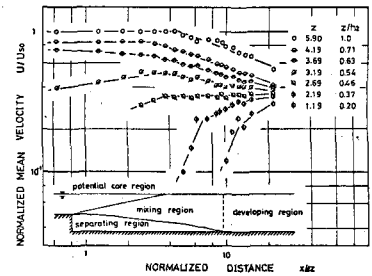


図-1

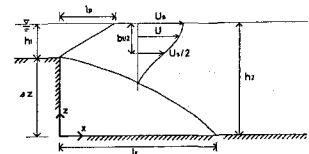


図-2

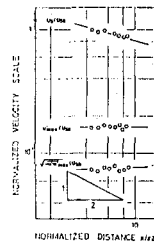


図-3

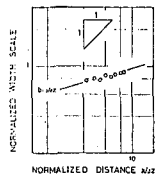


図-4

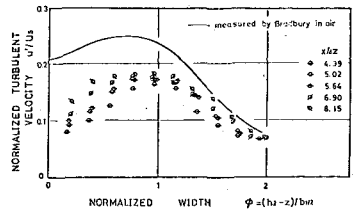


図-5

流の速度分布形(ガウス分布)とよ

く一致しており、混合領域内の平均速度場は噴流的挙動を示すことが知れる。一方、 u' の鉛直分布についてみると、図-6に示されるように、Bradbury¹⁾が気流において得た平面噴流の実験結果に比し、定性的形状は比較的類似しているものの、定量的にはかなり異なり、高段落ち流れにおける混合領域の速度場の特性を説明するには剣離域の特性を含めた詳細な実験的検討が必要である。

3. 低段落ち流れの水理特性：上流側水深に比し段落ち高さの小さい場合(低段落ち流れ)の一例として、 $Q=2.57 \text{ l/s}$ 、 $I=1/400$ 、 $\Delta z=1.15 \text{ cm}$ 、 $h_1=4.11 \text{ cm}$ および $h_2=5.27 \text{ cm}$ の場合について検討を行なう。図-7は、 u と x との関係を示したものであるが、水面付近の u は x の増加とともに若干減少するものの、かなりの長区間にわたりほぼ一定とみなされ、ポテンシャルコア領域の存在が確かめられる。また、再付着点($x/\Delta z=6.5$)より下流の混合領域では、 x の増加につれて水面付近の u が減少するとともに路床付近の u は増加し、一様流れの場合へ漸近していく。石川²⁾は、この領域における速度場の特性と2次元円柱後流のものとの間に類似性があることを風洞実験により明らかにしているが、本実験結果について同様の比較を行なうと次のようである。ただし、ここに用いる記号は図-8に示されるようになって、混合領域の上縁 h_p は u'/u が上流側より大きくなる最低位置として求められ、また最大欠損速度 Δu_m は、欠損速度 Δu とその位置 z を対数・自乗表示し、 $z=0$ における Δu とした外挿法により推定されている。図-9および図-10は、このようにして得られた各線の速度および幅スケールと流下距離との関係を示したものであるが、前者は x の $-1/2$ 乗、後者は $1/2$ 乗に比例して変化しており、後流の特性とよく一致している。図-11は、 Δu の鉛直分布を示したものであって、円柱後流のもの(ガウス分布)とよく一致している。また、 u' についても、図-12に示されるように、Townsend³⁾が気流において得た2次元円柱後流の実験結果とよく一致しており、再付着後のポテンシャル・コア領域と接する混合領域の流れは円柱後流と類似した挙動を示すことが知れる。

参考文献

1. Bradbury: The structure of a self-preserving turbulent plane jet, J. Fluid Mech. vol. 33, 1965.
2. 石川: 断面急変に伴う剣離領域下流側の流れと底面せん断応力について, 土木学会論文集, 第257号, 1977.
3. Townsend: The structure of turbulent shear flow, Cambridge Univ. Press, 1965.

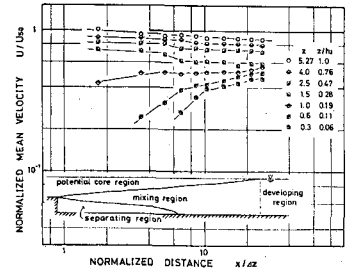


図-7

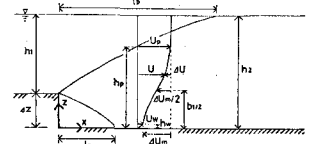


図-8

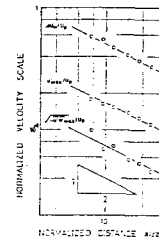


図-9

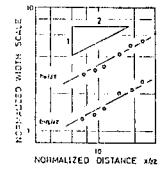


図-10

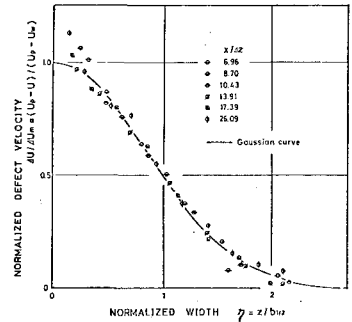


図-11

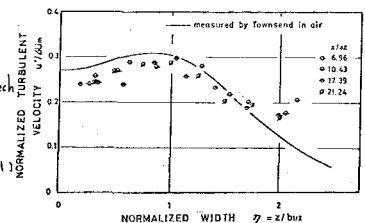


図-12