

開水路段落ち流れの水理特性に関する研究

京都大学工学部 正 員 中川 博次

京都大学工学部 正 員 福津 家久

京都大学大学院 学生員○天野 邦彦

1、まえがき 実河川、人工水路の中には、その水路形状に急変部を持つものが多く存在する。本研究は、水路形状の急変のうちでも、最も単純かつ典型的で、また、古くから注目されてきた段落ち部における流れの構造を明らかにする。すなわち長方形断面を有する開水路に高さ 2 cm の段落ちを設け、レーザードップラー流速計によって水路中央線上の流速分布を測定して、流れの剥離現象の解明を図るものであり、従来のホットフィルム流速計では計測できなかった逆流域をも含むこのような高せん断層の水理特性を検討する。

2、実験装置および方法 長さ 8 cm 、幅 30 cm の長方形直線水路を用いて、上流から 6.8 m の所に段落ちを設けた。Bradshawら¹⁾ (1972) は、断面急変高 H_s と、剥離直前の境界層厚さ δ_0 との比 H_s/δ_0 によって流れの特性が3種類分類できることを提案したが、今回のものは、そのうちの弱い変化の部類に入ると考えられる。その範囲内でレイノルズ数 Re 、フルード数 Fr の変化による流れの変化を知るため、水深、水路勾配、流量を変化させた5ケースの点計測実験を行うと共に、染料注入による流れの可視化実験を合わせて行った。なお、実験条件は、表-1に示す通りである。

3、実験結果および考察 まず、流れのイメージをつかむために、図-1にCase2の流線および、速度ベクトルを示す。図中の破線上では、流下方向速度はゼロである。剥離域の形状がよく示されており、段落ち後、段落ち高さの約2.5倍程度の距離のところに、大規模渦の中心が存在し、段落ち高さの約1倍程度の距離のところで、巻き上げが起こっていることがわかる。また、分離流線が底面と交わる点は、再付着点と考えられ、可視化実験の結果より得られた Re と段落ちから再付着点までの距離 x_R との関係は、 Re の増大と共に、剥離域は漸減し、 $x_R = 5.3$ の一定値に収束するようである。一方、 Fr と x_R の関係は、本実験の範囲では Fr の増加と共に、 x_R は漸増する傾向がある。段落ち前で平均流速 $U(y)$ の分布は、図-2(a)に見られる様に対数則に一致する。再付着点までは、逆流速度の最大点より水面寄りの部分で、また、再付着点以降では、流速分布の底面からの最初の変曲点(ここまでを内部境界層と考えると、内部境界層内では、流速分布は、対数則に従う(図-3))より水面寄りの部分で、混合層で成立するガウス分布、参照(式-1)(ここに、 δ :境界層厚、 $b_{0.5}$:半値半幅、 $U_{\max}$: U の最大値、 U :境界層外縁での U 、 y :底面での高さ)に近似できるかを、検討した。その結果、段落ち直後では、かなり大きくずれるものの、徐々に一致し、混合層と類似の流れが形成されることがわかる。その後、また、ずれは大きくなる。これは、十分下流で対数則が成立するまでのガウス分布と対数則分布との遷移部分であると考えられる。この結果は、図-4を参照されたい。図-5はCase3のレイノルズ応力の等値線分布であるが、段落ち後の剥離流線

に沿って $-uv$ は急増し、再付着点以降で減少することがわかる。図-6はCase4の乱れ強度分布であるが、図-5、6と合わせ考えると、剥離流線にそって非常に強いせん断応力が働き、乱れエネルギーの発生が最大になると考えられる。結局、このエネルギーロスにより図-4の様な流速分布となる。図-7は、底面の摩擦係数 $C_f (=2(U_* / U_{max})^2)$ の変化を示している。 $x > x_R$ の増加と共に壁面せん断応力 $\tau_0 / \rho = U_*^2$ は増加し、この特性は、境界層の段落ち流れと同じであるが¹⁾、値自体は小さい。Case3,5は他に比べて C_f が大きくなったが、これは、図-8に示すように、内部境界層厚の発達が著しいからと考えられる。しかし、 C_f に及ぼす Re 及び Fr の影響は、本実験の範囲内では、はっきりせず、さらに検討を要する。

$$\frac{U_{max} - U}{U_{max} - U_0} = \exp(-0.693(\frac{x - x_0}{x_{0.5}})^2) \quad \text{式-1} \quad \text{ガウス分布}$$

4、あとがき 今回の実験では、段落ち後、混合流と類似の流れが形成されることがわかった。また、剥離流線に沿って強いレイノルズ応力が形成され、乱れエネルギーが発生することが示された。今後、運動量解析及び乱れエネルギーの収支関係を検討することによって、この剥離せん断層の内部構造を解明すると共に、 $\kappa - \epsilon$ モデルを用いて、この流れ場の水理挙動を説明して行きたい。

<参考文献> 1) Bradshaw & Wong (1972) J.F.M, vol 52, pp 113-135

