

剝離流の再付着点の変動特性について

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 流れの剝離に関する研究は従来より数多く、最近では、計測方法、実験装置の高精度化と共に、剝離流れの非定常構造を明らかにする試みがなされており、剝離泡の中には低周波運動が存在し、これが組織渦の発生原因であろうという推測が得られている。¹⁾ 本研究は、2次元開水路に $H_s=2\text{cm}$ 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を詳細に計測し、再付着点や剝離泡の変動特性を検討したものである。

2. 実験装置および方法 長さ8m、幅30cmの長方形断面直線水路を用い、2成分レーザ流速計で再付着点周辺を詳細に計測した。図-1に座標系を示す。実験条件の詳細は、既報²⁾を参照されたい。

3. 実験結果および考察 主流方向の流速 $u(t)$ が負となる時間割合を逆流率 I_r と定義する。図-2は同一高さ y/H_s での逆流率の流下方向分布である。河床のごく近傍の $y/H_s=0.05$ の高さでの逆流率が0.5となる位置は、時間平均的な再付着点と考えられる。平均流速より求めた流線(図-3)と比較すると、分離流線が再付着する点で逆流率は確かに約0.5となっており、逆流率が0.3~0.7の部分を見ると、この幅は段落ち高さの1.5~2倍程度であり、再付着点の瞬間的位置は、かなり変動していることがわかる。図-4は u 、 v の歪み率 S_u 、 S_v 、また図-5はレイノルズ応力の分布である。レイノルズ応力が y 方向において極大値を示す場所と歪み率が0となる場所は、かなり相関がある様であり、それより河床側で $S_u>0$ 、 $S_v<0$ 、水面側で $S_u<0$ 、 $S_v>0$ であることから、段落ち頂上から周期的に発生する剝離渦が最大せん断力線に沿って移流し、径が大きくなりながら、やがてその下端が河床に達するものと推測される。また、河床の剝離泡($x<x_R$)の中にも $S_u=0$ となる部分があるが、これは段落ち直下の剝離泡の大規模な準定常的低周波変動によるものであろう。図-6は、平均流速と乱れ強度との比 U/u' と逆流率 I_r との関係を示すものである。図中の実線は式(1)で表わされるが、これは瞬間流速の確率密度関数が、ガウス分布に従うと仮定した時の理論曲線である。

$$I_r = \frac{1}{2} (1 - \text{erf}(u/\sqrt{2}u')) \quad (1)$$

佐佐木ら³⁾は、空気ダクト内の前縁剝離泡において式(1)が妥当であるとし、これを適用して逆流率の x 方向分布および再付着点の低周波変動をモデル化した。 $y/H_s=0.05$ の点での U/u' の値がほぼ直線的に変化することより、 $-4<(x-x_R)/H_s<5$ の区間を直線回帰することによって式(2)を求め、(図-7参照)これを式(1)に代入して計算された式(3)と実測値との比較が図-8である。多少のずれがあるが、この結果は流速変動の確率密度関数がガウス分布と若干ずれを示す(図-9)ことに起因する。しかし式(3)が河床近傍の逆流率を表わす近似式になることがわかった。

$$u/u' = 0.35(x-xR) \quad (2)$$

$$Ir = \frac{1}{2}(1 - \text{erf}(0.25(x-xR))) \quad (3)$$

4. あとがき 今回の実験計測は一点ずつの計測であったため、組織渦に関して言明する結果は得られないが、瞬間的な再付着点は、かなりの範囲にわたり変動している様である。また、段落ち頂上から発生する周期的な渦が高せん断層に沿って移流され、低流速の剝離泡内と高流速の主流との乱流拡散を促進するものと推測される。今後、流速の時間、空間相関および流速変動の確率密度関数を研究し、また可視化手法を併用して段落ち下流に形成される大規模な準定常的な渦および段落ち頂上より形成される高せん断層の水理特性を解明したい。

5. 参考文献 1)Cherryら(1984)J.F.M.vol.144,pp.13-46 2)禰津ら(1986)水理講演会論文集, pp.601-606 3)たとえば佐佐木ら 機械学会論文集50巻485号

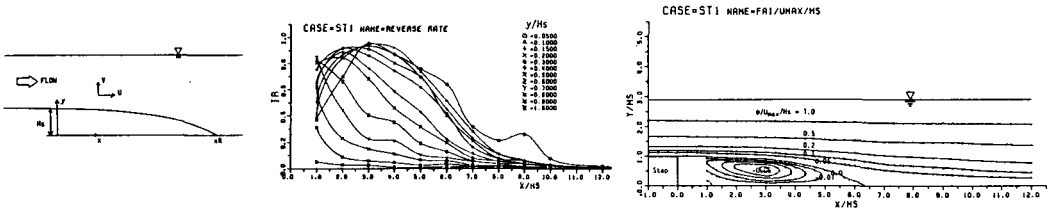


図-1 座標系

図-2 逆流率の流下方向分布

図-3 流線

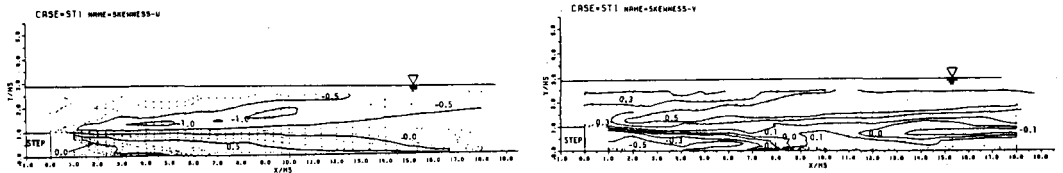


図-4 歪み率 S_u, S_v

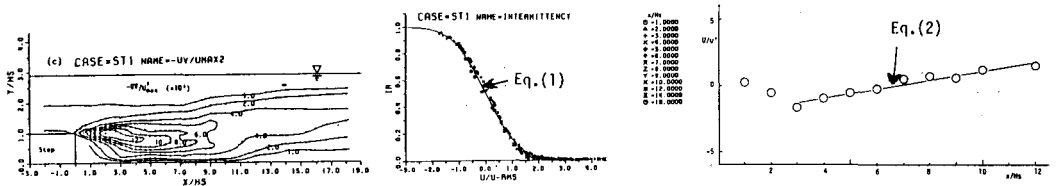


図-5 レイノルズ応力

図-6 逆流率

図-7 U/u' の変化

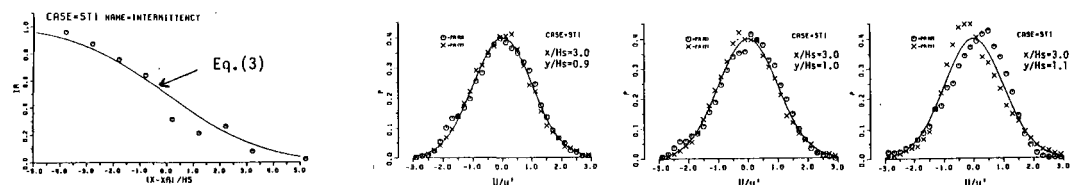


図-8 逆流率の流下方向分布

図-9 流速の確率密度関数