

段落ち部の流況特性

鳥取大学 大学院 学生員 ○ 石賀 祐二
鳥取大学 工学部 正 員 道上 正規
鳥取大学 工学部 正 員 鈴木 幸一
鳥取大学 工学部 正 員 檜谷 治

1. はじめに 段落ち直下流部の局所洗掘現象を論じるには、まずその流況を的確に把握しておく必要がある。段落ち部での局所洗掘は主に図-1に示すように主流水脈が鉛直下向きに流れるいわゆる潜り噴流によるものであるが、その流況も段落ち高さ、流量および下流水深等により異なり、ある水理学的条件において図-2に示すように主流水脈が水面に移り波状となるいわゆる波状跳水へ移行する。波状跳水状態では河床に作用する掃流力が小さく河床が洗掘される心配はない。本研究では、このように落差工などの設計上工学的に非常に意味のある流況

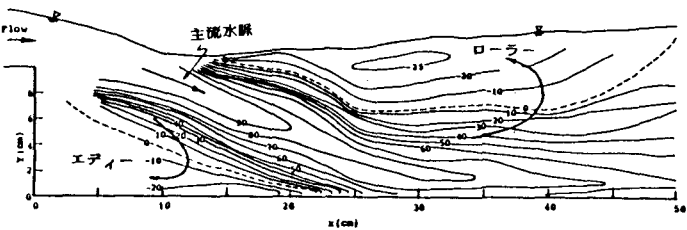


図-1 潜り噴流

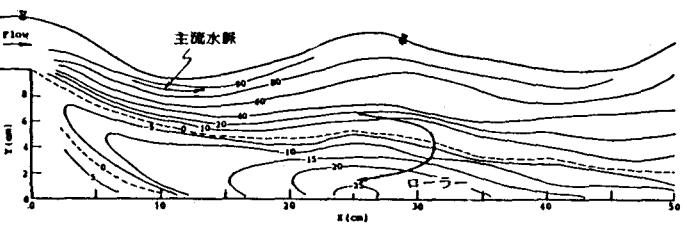


図-2 波状跳水

の特性を実験的に明らかにするとともに潜り噴流から波状跳水、またその逆の移行条件についての実験の考察を行なう。

2. 実験の概要 実験は幅30cm、深さ30cmの水路に図-3に示すように長さ1.5mの塩化ビニール製の段落ちを設け表-1に示す実験条件で行なった。流況の移行条件に関する実験は、潜り噴流状態から徐々に下流水深 h_t を上げていき流れが波状跳水に移行する条件を見い出すことと、逆に、波状跳水から下流水深 h_t を下げていき潜り噴流に移行する条件を見い出すことによって決定する。また、流速分布の測定は鉛直面内の二次元流が測定できる電磁流速計を用いて測定した。

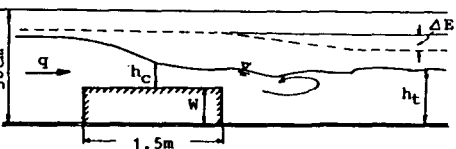


図-3 実験水路

表-1 実験条件

段落ち高さ W (cm)	5, 10, 15, 20
単位幅流量 q (cm ² /s)	100~400
フルード数 Fr _t	0.05~0.44

3. 流況の移行条件 潜り噴流時(図-1)および波状跳水時(図-2)には、逆流領域が形成されるためにエネルギーの損失がおこるが波状跳水時にはローラーが比較的穏やかであるためエネルギーの損失は小さくなる。すなわち、流れが潜り噴流から波状跳水にかわるとエネルギー損失は急激に小さくなり、逆の場合、急増する。したがって、移行条件を決める一つの要因としてこのエネルギーの損失を考えることにする。段落ち上下流部でのエネルギー水頭の差 ΔE は図-3の記号を用いると

$$\Delta E = \left\{ w + \left(\frac{3}{2} \right) h_c \right\} - \left\{ h_t + \frac{q^2}{h_t^3} / 2g \right\} \quad (1)$$

ここで、下流側のフルード数 $Fr_t = (q/h_t) / \sqrt{gh_t}$ を代入し、下流水深 h_t で無次元化すると

$$\Delta E / h_t = w / h_t - 1 + \left(\frac{3}{2} \right) Fr_t^{(2/3)} - \left(\frac{1}{2} \right) Fr_t^2 \quad (2)$$

となる。図-4は w/h_t をパラメーターとして、移行限界状態での $\Delta E/h_t$ と F_{rt} との関係を示している。ここで、図中の破線はそれぞれの移行の限界の傾向を表す実験曲線である。図において ($w \rightarrow s$) 曲線より上の領域は常に潜り噴流であり ($s \rightarrow w$) 曲線より下の領域は常に波状跳水である。また、両曲線の間の領域は流れの移行方向によって流況が決まる領域であり、さらに、両曲線が近づく領域は非常に不安定で微妙な水理条件によって変化する領域である。したがって、この図よりある水理量を与えるとそのときの流況を推定できることがわかる。

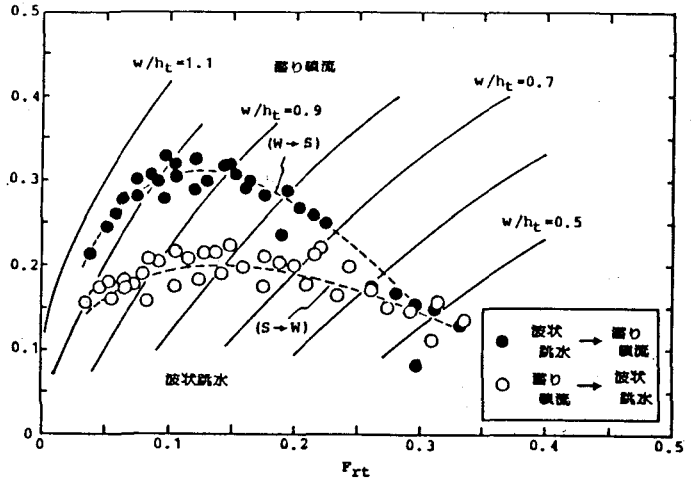


図-4 移行限界でのエネルギー損失と F_{rt} との関係

5. 流速分布 図-5は潜り噴流において噴出口を原点とする主流水脈中心線 x' に垂直な任意の無次元断面 (x'/h_c) について再接触点付近までの流速分布を示したものである。また、図中の曲線は二次元自由噴流の確立領域についてのGörtler⁹⁾の式

$$U/U_{\max} = 1 - \tanh^2 \eta_1 \quad (3)$$

である。ここで、 $\eta_1 = \sigma (y_1/x')$ 、 $U_{\max}$ は最大流速、 σ は拘束係数で、ここでは、 $\sigma = 7.87$ とする。図より主流水脈の流速は自由噴流の変形した形とみなせ、さらに、この領域は発達領域と流れが十分発達した確立領域に分かれることが考えられる。つぎに、図-6は主流水脈の最大流速 $U_{\max}$ を限界水深での流速 U_c で無次元化したものと x' の原点をA点の鉛直下方とした x'_1 を限界水深 h_c で無次元化したものとの関係を両対数で示したものである。図中の直線はGörtlerの式(3)を用いて求められる最大流速の逓減を表す式

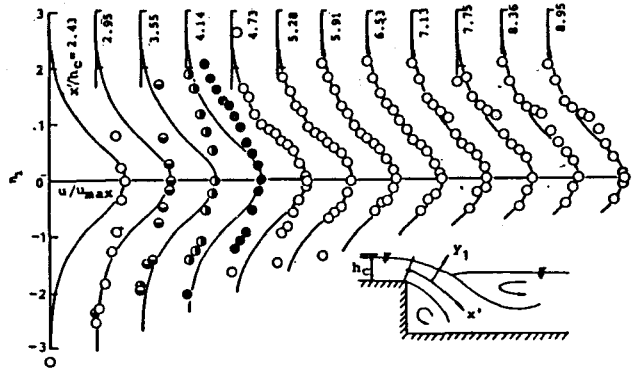


図-5 主流水脈の流速分布

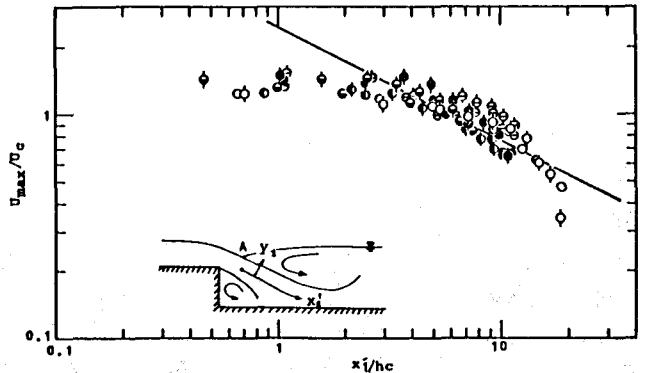


図-6 最大流速の逓減

$$U_{\max}/U_c = \sqrt{\frac{30}{4}} (x'_1/h_c)^{(4/2)} \quad (4)$$

である。図より噴出口を主流水脈全面が水中に入る位置であると仮定したとき、潜り噴流の最大流速の逓減もある程度、自由噴流での式(4)によって近似できると考えられる。

参考文献

- 1) Rajaratnam, N. : Hydraulic jumps and waves at abrupt drops, Porc, ASCE, HY4, 1977.