

II-123 段落下流部の流況について(2)

日大理工正 栗津清蔵
日大理工正 大津岩夫
日大理工学 ○春日貴士

はじめに 従来、開水路段落部の水理特性に関する実験的研究としては、常流を対象とした二、三の研究が報告されている。⁽¹⁾⁽²⁾ 一方、段落部において常流から射流を経て常流へと遷移する場合(図-1)の水理特性に関してはRandの研究があるが、下流水深がナップ先端より跳水を生じる場合の跳水必要水深 h_2^* よりも大きい場合についての検討はなされていない。実際にはこのような流況になる場合が多いと考えられ、その水理特性を知ることは水工設計上必要と考えられる。ここでは、傾斜角付き段落(θ = 22°, 45°)、鉛直段落についてその水理特性を実験的に検討した。

流況 段落部において常流から射流を経て常流へ遷移する場合、段落下流部の流況は図-2に示すよう

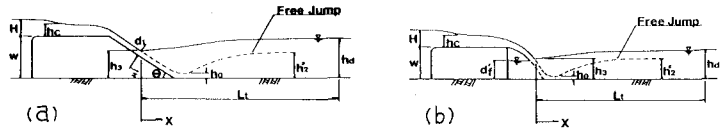


図-1

に下流水深によって変化し、TYPE 1 (最大流速 U_m が水路床近くにあり、水面に逆流が生じる)とTYPE 2 (U_m が水面にあり、底部に逆流が生じる)とに分けられる。⁽⁴⁾ 本研究で対象とするのはTYPE 1の流況である。

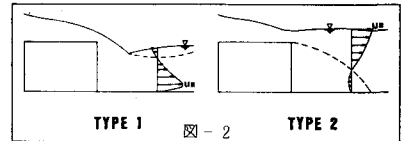


図-2

遷移領域の長さ 流速分布が一般開水路流の場合と同様となる最初の断面を $X = L_t$ とし、 L_t を遷移領域の長さとする。 L_t を式(1)の関係で整理し、図-3に示す。実線は式(2)、破線は式(3)を示したものである。実験値はθには影響されないことがわかる。

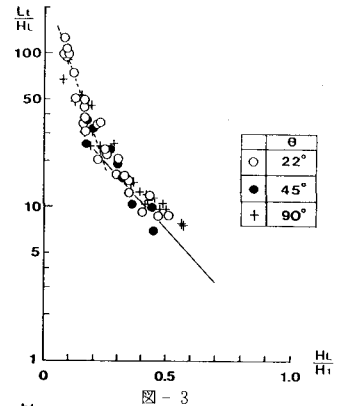


図-3

$$f(L_t/H_1, H_1/H_2) = 0 \quad (1)$$

$$\log(L_t/H_1) = -1.71(H_1/H_2) + 1.72 \quad (2)$$

$$\log(L_t/H_1) = -4.66(H_1/H_2) + 2.41 \quad (0.05 \leq H_1/H_2 \leq 0.25) \quad (3)$$

上下流端水深関係 遷移領域始端断面と終端断面($X = L_t$ の断面)の水深関係を支配する因子を次元解析的考察により求めると、傾斜角θのある場合、鉛直段落(θ = 90°)の場合についてそれぞれ、式(4)、(5)が得られる。

$$f(h_d/h_2^*, h_3/h_0, F_0, \theta) = 0 \quad (4)$$

$$f(h_d/h_2^*, h_3/h_0, F_0) = 0 \quad (5)$$

式(4)の関係でθ = 22°, 45°およびθ = 90°の場合の実験値を整理すると、図-4、5のようにθには無関係に式(5)の関係で示され、実験式(6)(図-4、5:各実線)が得られる*。

$$\log(h_d/h_2^*) = 0.155 \log F_0 + 0.214(h_3/h_0)/F_0^{1.299} - 0.128 \quad (6)$$

$$(2 \sim 2.5 \leq F_0 \leq 4.5 \sim 5)$$

ナップ先端水深 h_0 h_c 断面 $\sim h_0$ 断面間でエネルギー損失を無視し、ベルヌーイの定理を適用すると式(7)が得られる。

$$W/h_c = \{1/(h_0/h_c)^2 + 2(h_0/h_c) - 3\}/2 \quad (7)$$

* 図中、一点鎖線はTYPE 1→2、破線はTYPE 2→1の移行を示す。

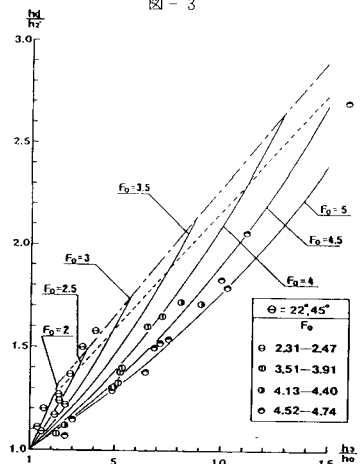


図-4

実験値と式(7)とを比較したものを図-6に示す。実験値は式(7)とは一致せず、Randの式 $h_2/w = 0.54(h_1/w)^{1.275}$ に適合する。実験値が式(7)と一致しないのはエネルギー損失を無視したためと考えられる。

ナツ下のアール水深 df および dt 図-1(b)の hc 断面～ hd 断面間をコントロール・ボリュームに選り、運動量方程式を適用すると式(8)が得られる。また、 dt と ho の関係についてはMooreにより式(9)が与えられている。

$$(df/hc)^2 = (hd/hc)^2 + 2/(hd/hc) - 3 \quad (8)$$

$$(dt/hc)^2 = (ho/hc)^2 + 2/(ho/hc) - 3 \quad (9)$$

式(8)、(9)と実験値とを比較すると(図-7)両者ともにほぼ一致している。

遷移領域内部の流速特性 最大流速 U_m は $\theta = 22^\circ, 45^\circ, 90^\circ$ の場合、全て $X \leq Lt$ で減衰する。また、図-8は $\theta = 90^\circ$ の場合に、ナツ下を通気した場合と通気しない場合の U_m の減衰状況を比べたものである。これよりナツ下の通気の有無は U_m の減衰にはあまり影響を及ぼさないと思われる。内部の流速分布については図-9で定義される Y と U_m を用いて $U/U_m = f(Y/Y)$ の関係で整理し、一例を図-10に示す。流速分布は F_0 、 α に無関係に $X \leq (0.6 \sim 0.7)Lt$ でほぼ相似な分布となる。また、 Y_1 、 Y (図-9)の変化については $Y_1 \propto X$ 、 $Y \propto X$ となり、 Y_1 、 Y とともに $X \leq (0.6 \sim 0.7)Lt$ で潜水跳水の近似式をほぼ満足する。

底面せん断力 τ_0 τ_0 は図-11に示されるように、 $X \leq (0.6 \sim 0.7)Lt$ において減少し、それ以後はほとんど一定となっている。

TYPE 1 となる条件 図-12の実線はそれぞれ鉛直段落ちの場合におけるTYPE 1 $\rightarrow$ 2(式(10))、TYPE 2 $\rightarrow$ 1(式(11))の移行を示したものである。したがって、TYPE 1 となるのはこれらの曲線の下側領域の場合である。また、 $\theta = 22^\circ$ の場合は $\theta = 90^\circ$ の場合よりもやや大きな値となっている。

$(hd)_m/hc = 9.03 \in^{0.121(W/H)} - 7.70 \quad (0.2 \leq W/H \leq 3.2) \quad (10)$

$(hd)_m/hc = 6.03 \in^{0.143(W/H)} - 4.66 \quad (0.2 \leq W/H \leq 3.2) \quad (11)$

※※ 壁面摩擦力を無視し、各断面で静水圧分布が成るとし、運動量係数 β は1とした。

記号 hc : 障壁水深、 H : 越流水深、 α : 水路床に於いた座標、 Q_0 : ナツ先端の平均流速、 h_2 : 遷移領域始端水深、 hd : 遷移領域終端水深、 $F_0 = 16/\sqrt{g h_0}$ 、 $h_2 = hc(\sqrt{8F_0^2 + 1} - 1)/2$ 、 $(hd)_m$: TYPE 1 $\rightarrow$ 2 のときの hd 、 $(hd)_m$: TYPE 2 $\rightarrow$ 1 のときの hd 、 df : 射流で流下した場合のナツ下のアール水深

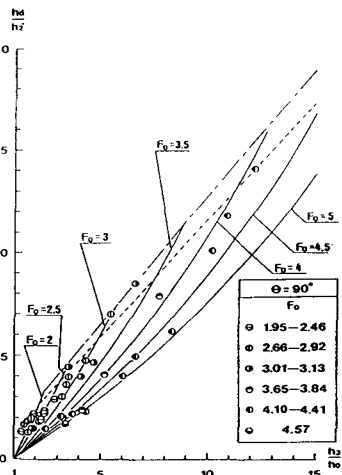


図-5

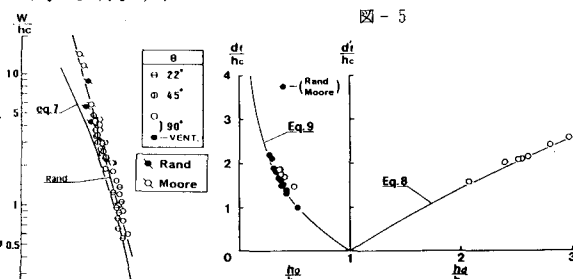


図-7

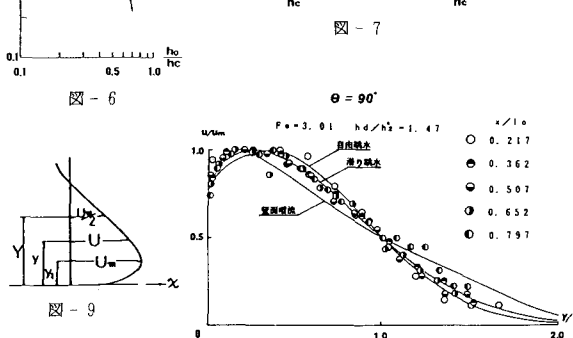


図-10

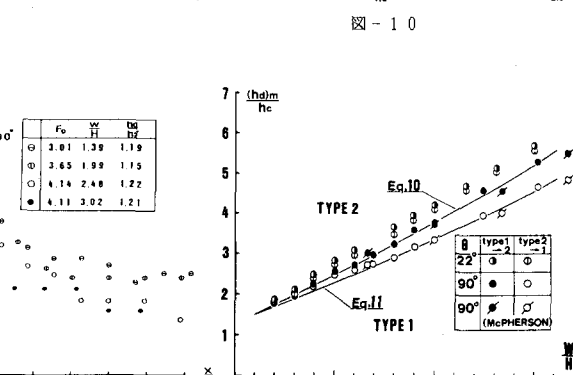


図-12

参考文献

- 1) 芦田和男, 土研報告, 246号, 1960, 2) 橋・平野, 九大集報, 1970, 3) Rand, W., Proc. ASCE, Vol. 81, 1955, 4) 栗澤・大津・丸山, 31回年報, II-129, 1976, 5) 大津秀夫, 土木学会論文集, 246号, 1976, 6) 大津秀夫, 土木学会論文集, 311号, 1981, 7) 春日・栗田・大津, 39回年報, II-267, 1984, 8) Moore, W.L., Trans. ASCE, Vol. 108, 1943, 9) Mepherston, M.B., Discussion of "Seven Exploratory Studies in Hydraulics" by Rouse, ASCE, 1957,