

跳水内部の空気混入特性に対する流入射流の影響

日本大学大学院理工学研究科 学生会員 ○松澤 貴士
 日本大学理工学部 正 会 員 高橋 正行
 日本大学理工学部 フェロー 大津 岩夫

1. はじめに

跳水は流入射流の乱流境界層の発達状態によって、乱流境界層が未発達の場合の跳水[Undeveloped inflow(以下UDと略す)], 発達中の場合の跳水[Partially developed inflow(PDと略す)], および十分発達した場合の跳水[Fully developed inflow(FDと略す)]がある.

Resch and Leutheusser¹⁾は、UDとFDとで跳水内部の空気混入率および流速特性が異なることを示したが、熱線流速計での測定値のため測定精度上検討の余地がある. Chanson and Gualtieri²⁾は点電極型ボイド率計を用いてPDの跳水を対象に跳水内部の空気混入特性を示しているが、UDとFDの跳水についての検討はなされていない. 著者ら^{3)~6)}は、UDとPD($\delta/h_1 \leq 0.5$)の跳水内部の空気混入率 C の値がほぼ等しいこと、FDはUDとPD($\delta/h_1 \leq 0.5$)よりもadvective diffusion region内(図-1参照)での空気混入率 C の値が大きいことを示した(図-2参照). また、advective diffusion region内の空気混入率 C はimpingement point(図-3参照)付近から跳水中に取り込まれた空気であることを示した. しかしながら、流入射流の乱流境界層の発達状態が跳水内部の空気混入率 C の大きさに与える影響については不明である.

そこで本研究では、跳水への流入射流の乱流境界層の発達状態が跳水内の空気混入率 C に与える影響について実験的に検討した.

2. 実験

長方形断面水平水路の自由跳水への流入射流の乱れ強さを知るため、表-1に示す条件で水路中央断面の射流の乱れ強さをレーザー流速計(採取間隔40ms, 採取時間160sec)を用いて測定した. 表-1中の F_1 は跳水始端のフルード数、 R_e はレイノルズ数、 x_l は縮流部から跳水始端までの距離、 x_{cp} は縮流部から乱流境界層が水面に到達するcritical pointまでの距離、 V_1 は跳水始端断面の断面平均流速($V_1=q/h_1$), g は重力加速度、 δ は乱流境界層厚さ、 h_1 は跳水始端水深、 q は単位幅流量、 ν は動粘性係数である. また、流入射流の水面の観察に高速ビデオカメラ(露光時間1/2000s, 撮影速度1000fps)を使用した. なお、射流の乱流境界層の発達状態はOhtsu and Yasudaの方法⁷⁾を用いて求めている.

3. 流入射流の乱れ強さ

与えられた $F_1=7.2$ および $R_e=6.2 \times 10^4$ のもとで、流入射流の乱流境界層の発達状態を変化させた場合(FD,PD,およびUD)の流入射流の乱れ強さの分布を図-4に示す. ここに、 u は x 方向の流速、 U は乱流境界層外縁流速である. なお、図中の点線は急勾配水路等流のフルード数2.45,レイノルズ数62000の場合の傾向線⁸⁾である. 図-4に示されるように、UDとPD($\delta/h_1 \leq 0.5$)の $y/h_1 \geq 0.5$ の乱れ強さは等しい値を示す. また、FDの水面近くの乱れ強さはUD, PD($\delta/h_1 \leq 0.5$)に比べて大きく、十分に発達し、等流の乱れ強さと同程度の大きさとなる.

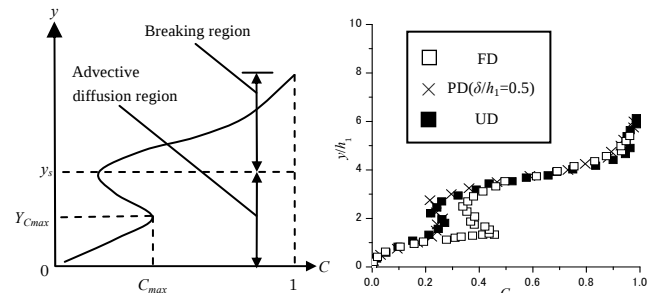


図-1 空気混入率分布概念図 図-2 空気混入率分布

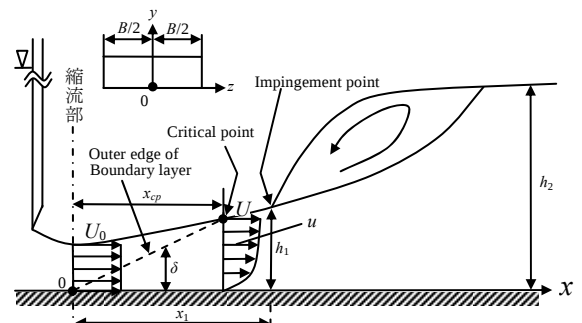


図-3 定義図

表-1 実験条件

乱流境界層の発達状態	δ/h_1	F_1	R_e	x_l [m]	x_{cp} [m]
Undeveloped inflow	0	7.2	62000	0	1.55
Partially developed inflow	0.5	7.2	62000	0.43	1.12
Fully developed inflow	1.0	7.2	62000	1.74	1.00

$$F_1 = \frac{V_1}{\sqrt{gh_1}}, R_e = \frac{q}{\nu}, B = 40\text{cm}$$

キーワード 跳水, 乱流境界層, 空気混入特性, 乱れ強さ

連絡先: 〒101-8308 東京都千代田区神田駿河台 1-8-14, Tel. & Fax. 03-3259-0668

高速ビデオカメラを用いて撮影した射流の水面を図-5に示す。図-5に示されるようにFDの場合の射流には水面変動が在り、UDとPD($\delta/h_1=0.5$)の場合の射流には水面変動がない。これは、FDの場合は乱流境界層の発達に伴い乱れも水面まで十分に発達しているため、水面変動を誘起したものと考えられる。しかし、PD($\delta/h_1=0.5$)の場合、 $y/h_1 \leq 0.5$ の領域で乱れ強さが大きいものの流入射流の水面変動を誘起していない(図-5(b)参照)。すなわち、流入射流の水面変動の有無によってadvective diffusion region内の空気混入率 C の大きさが異なることから(図-2参照)、水面変動の大きさがimpingement point(図-3参照)付近から取り込む空気混入量を変化させ、advective diffusion region内の空気混入率に影響を与えているものと考えられる。

4. まとめ

流入射流の乱流境界層の発達状態がimpingement point付近から跳水内の空気混入率 C に与える影響について実験的に検討した。結果を以下に示す。

1. FDの射流の場合は水面変動を有し、UDとPD($\delta/h_1=0.5$)の射流の場合は水面変動を有さない。
2. PD($\delta/h_1=0.5$)の場合、 $y/h_1 \leq 0.5$ の領域の乱れ強さは水面変動を生じさせない。
3. 流入射流の水面変動の大きさがimpingement point付近から取り込む空気混入量に影響を与えているものと考えられる。

参考文献

- 1) Resch, F.J., and Leutheusser, H. J.: Le ressaut hydraulique: mesures de turbulence dans la region diphasique, La Houille Blanche, Vol.4, pp.279-293, 1972.
- 2) Chanson, H., and Gualtieri, C.: Similitude and scale effects of air entrainment in hydraulic jumps, Journal of Hydraulic Research, IAHR, Vol.46, No.1, pp.35-44, 2008.
- 3) Ohtsu, I., and Yasuda, Y., and Takahashi, M.: Discussion of "Similitude and scale effects of air entrainment in hydraulic jumps", J. Hydraul. Res., IAHR, Vol.47, No.2, pp.285-287, 2009.
- 4) 高橋正行, 大津岩夫: "跳水内部の空気混入特性に対する流入射流の影響", 水工学論文集, 土木学会, 第53巻, pp.985-990, 2009.
- 5) Takahashi, M., and Ohtsu, I.: Effect of Inflow Condition on Air Entrainment Characteristics in Hydraulic Jump, Proc. the 33rd IAHR Cong, IAHR, Vancouver, Canada, pp.4917-4924, 2009.
- 6) 松澤貴士, 高橋正行, 大津岩夫: "跳水内部の空気混入率分布および流速分布に対する流入射流の影響", 第64回年次学術講演会, 土木学会, II-068, CD-ROM, 2009.
- 7) Ohtsu, I., and Yasuda, Y.: Characteristics of supercritical flow below sluice gate, Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, Vol.120, No.3, pp.332-346, 1994.
- 8) Tominaga, A., and Nezu, I.: Velocity profiles in steep open-channel. Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, Vol.118, No.1, pp.73-90, 1992.

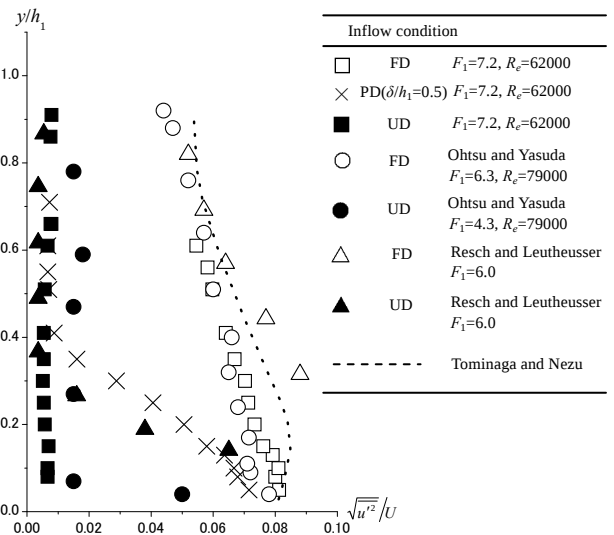
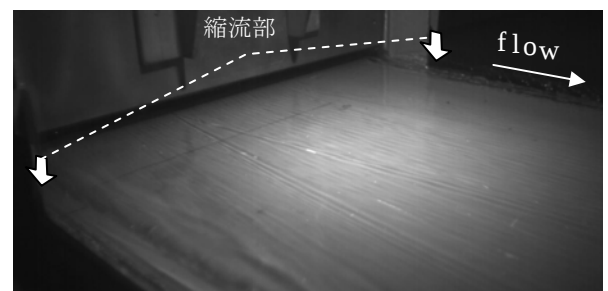
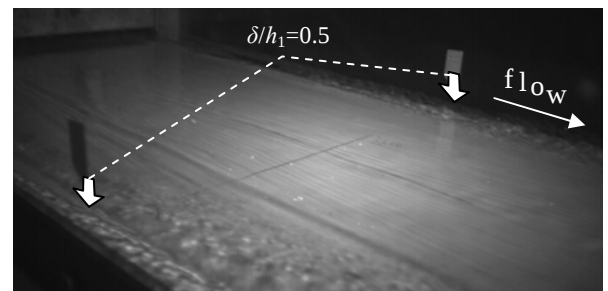


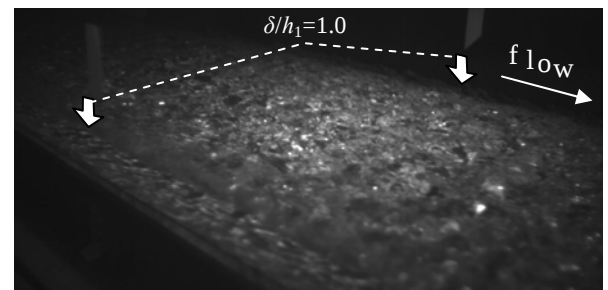
図-4 流入射流の乱れ強さ



(a) UD



(b) $\delta/h_1=0.5$



(c) FD

図-5 流入射流の水面の様子