日本大学大学院理工学研究	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	フェロー会員	大津 岩夫

<u>1.はじめに</u>

眺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。従来 の研究では流入射流の違い(UD,PD,および FD)が跳水 内部の流速特性や空気混入特性におよぼす影響につい て、不明な点が多い。

ここでは、跳水始端での乱流境界層の発達状態 (UD,PD,および FD)が跳水内部の流速特性と空気混入 特性におよぼす影響について実験的に検討した。

<u>2.実験</u>

長方形断面水平水路の自由跳水を対象とし、表-1に 示す条件で水路中央部の流速を二成分電磁流速計(採 取間隔 50ms、採取時間 100sec)とプラントル型ピトー 管(外径 3mm、内径 1.28mm)を用いて測定した。表-1 中の F_I は跳水始端のフルード数、 R_e はレイノルズ数、 x_I 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_I は跳水始端断面の断面平均流速($V_I = q / h_I$)、gは重 力加速度、 δ は乱流境界層厚さ、 h_I は跳水始端水深、qは単位幅流量、v は動粘性係数である。また、空気混 入率 C [C = 空気の体積/(空気の体積+水の体積)]は二 点電極型ボイド率計を用いて測定した。さらに、跳水 内部への空気混入状況の観察に、高速ビデオカメラを 使用した(露光時間 1/2000s,撮影速度 1000fps)。なお、射流の乱流境界層の発達状 態は Ohtsu and Yasuda(1994)の方法¹⁾を用いて判定している。

3.空気混入率

高速ビデオカメラを用いた跳水内部への空気混入状況の観察によると、流入射流の水面と跳水のローラー部(表面渦)先端との交点である impingement point(図-1参照)付近から空気が取り込まれている様子とローラー部の水表面の breaking によって空気が取り込まれている様子とが見られる。impingement point 付近で取り込まれた気泡は跳水中で移流・拡散し、空気混入率 C の値は水路底面からの鉛直高さ y の増加に伴い大きくなり、空気混入率の最大値 C_{max} を経て C の値は減少している(図-2参照)。図-2 における y≤y_sの領域を Chanson²) は advective diffusion region と呼

んでいる。一方、 $y > y_s$ の領域では、ローラー部(表面渦)の水面の breaking により空気が取り込まれ、yの増加に伴い Cの値は増加して1に近づく。

与えられた F₁, R_eおよび乱流境界層の発達状態のもとで C の実験値を整理した一例を図-3 に示す。図に示されるように、跳水始端断面近くの C の値が大きく、下流側に向かって C の値が小さくなっている。

流入射流の乱流境界層の発達状態による空気混入率分布の変化を知るため、与えられた(x-x₁)/h₂のもとで実験値 キーワード 跳水,乱流境界層,空気混入特性,流速特性

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

表-	1 美駒	家余件			
乱流境界層の発達状態	δ/h_1	F_1	R _e	$x_I[m]$	$x_{cp}[m]$
Undeveloped inflow	0	7.2	62000	0	1.36
Partially developed inflow	0.5	7.2	62000	0.43	1.04
Partially developed inflow	0.8	7.2	62000	0.75	1.00
Fully developed inflow	1.0	7.2	62000	1.30	0.97





を整理した一例を図-4 に示す。図に示されるように、UD の 場合と PD ($\delta/h_1 \leq 0.5$)の場合の空気混入率 C の値はほぼ等し い。また、FD の場合は PD ($\delta/h_1 \leq 0.5$ および $\delta/h_1=0.8$)と UD の場合よりも advective diffusion region 内での空気混入率 C の 値が大きい。さらに、PD ($\delta/h_1=0.8$)の場合は advective diffusion region 内での空気混入率 C の値は FD の場合と UD および PD ($\delta/h_1 \leq 0.5$)の場合の中間の値となっている。

Breaking region 内($y > y_s$)では流入射流の乱流境界層の発達 状態に関わらず空気混入率 Cの分布形状は同一となっている (図-4)。

水面近くの乱れ強さは Ohtsu and Yasuda¹⁾によると FD の場 合 $\sqrt{u'^2} / V_I = 6.9\%$, PD($\delta/h_I = 0.5$)の場合 $\sqrt{u'^2} / V_I = 1.8\%$, UD の場合 $\sqrt{u'^2} / V_I = 1.6\%$ となっている。すなわち、FD の場合、乱流境界 層が水面に到達しているため水面付近の乱れ強さは PD($\delta/h_I \leq 0.5$)および UD の場合よりも大きい。また、PD($\delta/h_I \leq 0.5$)と UD の水面近くの乱れ強さの大きさはほぼ等しい。これらのこ とから、跳水始端(impingement point, 図-1 参照)付近から取り込 まれる advective diffusion region 内($y \leq y_s$)の空気の混入量は流入 射流の水面付近の乱れ強さの影響を受けているものと考えら れる。

4.跳水内部の流速

与えられたフルード数 F_1 =7.2 およびレイノルズ数 R_e =6.2 ×10⁴ に対して、乱流境界層の発達状態を変化させた場合 (FD,PD,および UD)の眺水内部の流速ベクトルと空気混入率 分布を図-5 に示す。ここに、uはx方向の流速、vはy方向の 流速である。図-5 に示されるように、UD および PD ($\delta/h_1 \leq$ 0.5)の場合は眺水内部に流入した Jet が底面に沿って流れ、 Wall Jet 的である。また、FD の場合は Jet が上向きの速度成分 を持ち、拡がりながら上昇している。Jet が上向きとなってい る領域は advective diffusion region 内において UD および PD ($\delta/h_1 \leq 0.5$)の場合よりも FD の場合の C の値が大きい領域と ほぼ一致しており、気泡の浮力効果の影響を受けているもの と考えられる。なお、PD ($\delta/h_1 \leq 0.8$)の場合については Jet の流速分布と大きさは FD と UD および PD ($\delta/h_1 \leq 0.5$)の間 の特徴を有している。



2.Breaking region 内($y > y_s$)の空気混入率 Cの大きさは、乱流境界層の発達状態に関わらず同じである。

3.UD および PD ($\delta/h_1 \leq 0.5$)の場合は跳水内部に流入した Jet が底面に沿って流れ、Wall Jet 的であるのに対し、

FD の場合は advective diffusion region 内の *C* の値が大きい領域において Jet が上向きとなり、拡がりながら上昇している。これは、advective diffusion region 内で気泡の浮力効果の影響を受けたためと考えられる。

4.PD ($\delta/h_l=0.8$)の場合の advective diffusion region 内の *C* の値および Jet の流速分布と大きさについては FD と UD および PD ($\delta/h_l \leq 0.5$)の場合の間の特徴を有している。

参考文献

1) 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.

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.

