日本大学大学院理工学研究	帘科 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>

跳水は、その形成位置によって跳水始端の乱流境 界層が発達していない場合[Undeveloped inflow(以 下 UD と略す)(図-1(a))]と十分発達した場合[Fully developed inflow(FD と略す)(図-1(b))]とがある。従 来の研究では流入射流の違い(UD, FD)による跳水 内部の流速特性や空気混入特性の影響については不 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, 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  $F_1$ は跳水始端のフルード数、 $R_e$ はレ イノルズ数、V1は跳水始端断面の断面平均流速(V1= q/h1)、gは重力加速度、h1は跳水始端水深、gは単 率 C [C = 空気の体積/(空気の体積+水の体積)]を二 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)。 図-1の $h_0$ は縮流部の水深、 $h_2$ はBélanger equation る。なお、射流の乱流境界層の発達状態は Ohtsu and Yasuda(1994)の方法<sup>1)</sup>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)から空気が取り込まれている様 子とローラー部の水面の breaking によって空気が

乱流境界層の発達状態	$F_1$	$R_{e}$
Undeveloped inflow	7.2	62000
Fully developed inflow	7.2	62000
$F = \frac{V_1}{R} - \frac{q}{R}$		



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

取り込まれている様子とがある。

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  $y \leq y_s$ の領域を Chanson<sup>2</sup>)は advective diffusion layer 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、Cの値は増加し て1に近づく。

与えられた *F1*, *Re*,および乱流境界層の発達状態 のもとで実験値を整理すると、図-3 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  $x/h_2$ のもとで 実験値を整理した一例を図-4 に示す。図に示される ように、FD の場合は UD の場合よりも advective diffusion layer 内での空気混入率 Cの値が大きい。 なお、跳水の上部( $y > y_s$ )では流入射流の乱流境界層 の発達状態による空気混入率 Cの値の違いはみられ ない。

流入射流の乱流境界層の発達状態による advective diffusion layer 内の空気混入率の最大値 *Cmax の*変化を図・5 に示す。図・5 に示されるように *x/h2*の値が大きくなると *Cmax*の値は小さくなる。ま た、与えられた *x/h2*に対して、FD の場合は UD の 場合よりも *Cmax*の値が大きい。これは、FD の場合 は流入射流の乱流境界層が水面まで到達しているた め、UD の場合と比べて水面付近の乱れが大きくな り、impingement point 近くで取り込まれる空気の 量が多くなったためと考えられる。写真・1 に示され るように、高速ビデオカメラを用いた観察によると、 FD の場合は水面近くの乱れの存在によって跳水内 部に多くの空気が取り込まれている様子を見ること ができる。

Ervine and Falvey<sup>3)</sup>は pool に突入する water jet の乱れ強さが大きくなると pool に混入する空気の 量が大きくなることを示している。このことは、流 入射流の乱れが跳水内部の空気混入率に影響をおよ ぼすことと類似な現象であると考えられる。



図-5 Cmaxの変化



(a) UD の場合

(b) FD の場合





図-6 時間平均の流速ベクトル

## 4.跳水内部の流速

与えられたフルード数 Fr=7.2 およびレイノルズ数 Re=6.2×10<sup>4</sup>に対して、乱流境界層の発達状態を変化させた場合(FD,UD)の跳水内部の流速ベクトルと空気混入率分布を図-6 に示す。ここに、x は跳水始端から流

下方向への距離、*u*は*x*方向の流速、*v*は*y*方向の 流速である。図-6に示されるように、UDの場合は 跳水内部のJet が底面近くに位置するのに対し、FD の場合はUDの場合よりもJet が短区間で拡がりな がら上昇している。

図-7に示すように  $u=u_m(u_m: 最大流速)$  となる yを  $y_1, u=u_m/2$  となる yを Yと定義する。 $y_1$ と Yの 流下方向の変化を図-8,9 に示す。図に示されるよう に、FD の場合は UD の場合よりも  $y_1$ 、 Y共に大き い。さらに、図-6 に示されるように FD の場合は UD の場合よりも advective diffusion layer( $y \leq y_3$ ) 内での空気混入率 Cの値が大きく、気泡の浮力効果 も大きい。このため、FD の場合は UD の場合より も流れが上向きとなり、短区間( $x/h_2 \leq 5.5$ )で流れが 上昇した要因となっているものと考えられる。 まとめ

跳水始端での乱流境界層の発達状態(UD,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以下のことを明らかにした。

1. FD の場合は UD の場合よりも advective diffusion layer 内での空気混入率 Cの値が大きい。これは、跳水始端から取り込まれる空気の混入量が 流入射流の水面付近の乱れの影響を受けたためと考 えられる。

2. UD の場合と比べると、FD の場合は Jet が拡が りながら上昇している。これは気泡の浮力効果の影 響を受けたためと考えられる。

## 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.

3) Ervine, D. A., and Falvey, H. T.: Behaviour of turbulent water jets in the atmosphere and in plunge pools, /Proc. Instn. Civ. Engrg./, Part 2, Vol. 83, pp.295-314, 1987.

