## 空気混入射流の跳水特性への影響

日本大学 大学院	学〇	)小林	純
日本大学理工学部	Æ	安田	陽一
日本大学理工学部	Æ	高橋	正行
日本大学理工学部	正	大津	岩夫

1. はじめに

**-** 堰やダム等落差を伴う構造物から流下する高速流を減勢させる方法として、一般的に跳水式減勢工が用いられている。跳水現象については従来から流速特性および遷移長について様々な研究<sup>1)</sup>が行われているものの、それらはいずれも流入射流の空気混入の影響が考慮されていない。実構造物において流入射流が空気混入されている場合が多く見うけられるため、流入射流に空気が混入された場合、跳水内部の特性がどのように変化するかを知ることは水工設計上重要である。これまでは水路傾斜角度θ=30°の傾斜水路における跳水を対象として流入射流における空気混入量の変化によるフローパターン、遷移長、流速特性などの実験的比較・検討を行った<sup>2),3)</sup>。本報では水路傾斜角度θ=30°、55°の場合における傾斜水路の跳水を対象として流入射流の空気混入の有無による遷移長、流速特性および乱れ特性について実験的に比較・検討を行った。

## 2. <u>実験方法</u>

2. 天歌力伝 本実験では、 $\theta = 30^{\circ}$ 、55°における傾斜水路の跳水を対象とした。遷移部始端での流入射流のフルード数 F<sub>1</sub>、 相対下流水深 h<sub>d</sub>/h<sub>2</sub>を同一にした状態で流入射流の空気混入量の変化により遷移長および遷移部内部の流速特性 がどのように変化するかを表-1の実験条件のもとで検討を行った。流入射流に空気が混入された場合を aerated inflow、空気が混入されていない場合を non-aerated inflow とする。aerated inflow を形成させるために階段状 水路  $^{a}$ を用いた(図-1)。なお、階段状水路を用いず滑面傾斜水路を用いて実験を行った場合、常に non-aerated inflow となる。流速測定においては 2 成分電磁流速計を用いた(採取時間 120s 採取間隔 50ms)。水路床付近に おいてはピトー管を併用した。流入射流における断面平均された空気混入率および遷移部内部の空気混入率の測 定は点電極型ボイド率計を用いた(採取時間 60s 採取間隔 5ms)。



図-1 空気混入射流の状況

表-1 実験条件

		1	
non-aerated inflow	non-aerated inflow	aerated inflow	aerated inflow
$\theta$ (deg)=30	$\theta$ (deg)=55	$\theta$ (deg)=30	$\theta$ (deg)=55
C <sub>mean</sub> =0	C <sub>mean</sub> =0	$0.21 \le C_{mean} \le 0.39$	$0.52 {\leq} C_{\text{mean}} {\leq} 0.55$
$5.9 \le F_1 \le 6.5$	F <sub>1</sub> =8.8	$5.4 \le F_1 \le 8.5$	$12 \le F_1 \le 14$
$1.09 \leq h_d/h_2 \leq 3.7$	$h_{d}/h_{2}=5.1$	$0.98 \leq h_d/h_2 \leq 4.2$	$1.1 \le h_d/h_2 \le 5.3$
$4.4 \leq d_c(cm) \leq 9.0$	$d_{c}(cm) = 4.38$	$4.0 \leq d_c(cm) \leq 6.1$	$4.3 \leq d_{\rm c}(\rm cm) \leq 5.9$
$41 \leq H_{dam}(cm) \leq 63$	$H_{dam}(cm) = 82.5$	H <sub>dam</sub> (cm)=152.5	H <sub>dam</sub> (cm)=247.3
S/dc=0	S/dc=0	$0.12 \leq S/d_c \leq 0.82$	$0.91 \leq S/d_c \leq 1.2$

 $C_{mean}$ :断面平均された空気混入率、 $d_c$ :限界水深、 $H_{dam}$ :ダム高、S:ステップ高

## 3. 遷移長

<u>図-2</u>は、non-aerated inflow と aerated inflow にお ける相対下流水深( $h_d/h_2$ )の変化に対する遷移長( $L_i/h_2$ )の変 化を示す。ここに示される遷移長とは始端流入部から終端 断面までの水平長であり、遷移部終端断面では、流速が十 分に減衰され、最大流速の流下方向への変化が小さくなり 始めた断面として定めている。

**non-aerated** inflow の場合、下流水深を増加させ跳水が 傾斜面と水平面とにまたがって形成されると遷移長が増加 10 する<sup>5)</sup>。

aerated inflow の場合、流入射流に十分空気が混入されると (例えば空気混入率が 38%以上) 水路傾斜角度  $\theta$  = 30° および 55° ともに下流水深の変化に対する遷移長の変化 は小さい。

なお、水路接合部直下流側で跳水が形成される場合 (h<sub>d</sub>/h<sub>2</sub>=1.0 の場合)は流入射流の空気混入の有無に関わ らず遷移長は変化しない。



キーワード: 洪水吐 エネルギー減勢工 減勢池 跳水 空気混入 射流 〒101-8303 東京都千代田区神田駿河台 1-8 TEL. 03-3259-0668 FAX. 03-3259-0409

4.

最大流速の減衰状況 水路傾斜角度 θ =55° -相対下流水深 hd/h2=5.1~5.3 に おける最大流速の減衰状況について、式(1)に基づき実験 値を整理したものを図-3に示す。

$$U_{\rm m}/V_1 = f(x/h_2, F_1, h_d/h_2, \theta, C_{\rm mean}) \cdot \cdot \cdot (1)$$

ただし、Cmean は遷移部始端における流入射流の断面平均された空気混入率、d1は遷移部始端における水のみに 換算した水深、F1は遷移部始端における流入射流のフル ード数(F1=V<sub>1</sub>/(gd1cos $\theta$ )<sup>1/2</sup>)、h2はh2= d1((8 F1<sup>2</sup>cos $\theta$ +1)<sup>1/2</sup>-1)/2、hdは下流水深、Unt任意の断 面での最大流速、V<sub>1</sub>は遷移部始端での断面平均流速、x は遷移部始端から水路床に沿った流下距離、θ は水路傾斜 角度を示す。図由、左印は運移部始端地にするい間、 角度を示す。図中、矢印は遷移部終端断面の位置を示す。

<u>non-aerated inflow と aerated inflow との比較</u> 図-3 に示されるように、non-aerated inflow に比べ aerated inflow の場合、最大流速 Um は短区間で減衰され ている。これは、遷移部始端付近の主流に多量に連行され た気泡により主流が大きく乱され、また気泡の浮力により 主流が巻き上げられためだと考えられる。なお、 non-aerated inflow の場合、遷移部内部の気泡混入は認め られなかった

5. 遷移部内部の空気混入特性および乱れ特性  $\theta$ =30°において主流幅 Y(du/dy<0 かつ u=Um/2 となる y の値)内で平均化された空気混入率の値 Cy の流下距 離 x/l<sub>o</sub>(x: 遷移部始端からの流下距離、l<sub>o</sub>: 遷移部始端か ら終端までの水路床に沿った長さ)および相対下流水深 h<sub>d</sub>/h<sub>2</sub>による変化を図-4に示す。ここで、断面平均され た空気混入率 Cy は式(2)から算定している。

$$C_{Y} = \frac{1}{Y} \int_{0}^{Y} \overline{C} dy \quad \cdot \quad \cdot \quad (2)$$

Cmean=0.38、hd/h2=4.2の場合、0<x/lo<0.4の範囲で 多量の気泡が混入されているのに比べ、水路接合部直下 流側で跳水が形成される場合(hd/h2=0.98の場合)、Cy の値が小さいことがわかる。このことから、流入射流の 断面平均された空気混入率 Cmean が同一でも、下流水深 が大きくなるにつれて主流幅内に多くの気泡が残り、主 流の巻き上げに対する気泡の浮力の影響が大きくなる ものと考えられる。また、Cmean=0.21の場合 Cyの値は Cmean=0.38の場合より小さくなり、主流の巻上げに対す る気泡の浮力の影響が小さくなる。

h<sub>d</sub>/h<sub>2</sub>=5.1~5.3 における遷移部内部  $\theta = 55^{\circ}$ (x/lo=0.3) での乱れ強さについての鉛直方向の分布を -5に示す

aerated inflow の場合、non-aerated inflow よりも主 流幅内の乱れ強さの値が大きい。このことは aerated inflowの場合、主流幅内の気泡の混入によって乱れ強さ が大きくなり、non-aerated inflow よりも主流のエネル ギー減勢が大きくなるものと推定される。

まとめ 6.

水路傾斜角度θ=30°、55°を有する傾斜水路における跳水を対象として、流入射流の空気混入の有無によって 遷移長、遷移部の流速特性について実験的に比較・検討を行った。流入射流に空気が混入され下流水深が十分大 きい場合、x/l₀<0.4の主流幅内に気泡が混入されることによって乱れ強さが大きくなり、non-aerated inflow に 比べ最大流速が短区間で減衰され、遷移長が短縮されることを明らかにした。

1)W.H.Hager (1992), "Energy Dissipators and Hydraulic Jump," Water Science and Technology Library.vol.8, 参考文献 KLUWĔR.

2) 安田、高橋、 小林、大津 (2002). "傾斜水路の跳水特性に対する空気混入射流の影響."水工論文集.土木学会 第 46 巻,pp.601-605.

3) 小林、高橋、安田、大津 (2003), "跳水特性に対する流入射流の空気混入量の影響," 第 30 回土木学会関東支部 技術研究発表会講演概要集,CD-ROM 4)Y.Yasuda and I.Ohtsu (1999), "Flow Resistance of Skimming Flows in Stepped Channels," Proc.28th IAHR

Congress,Graz,Austria,Session B14 (CD-ROM). 5)I.Ohtsu and Y.Yasuda (1991), "Hydraulic Jump in Sloping Channels," Journal of Hydraulic Engineering,

ASCE,117(7),pp.905-921.

