## 空気混入射流による減勢池内の流速低減効果

日本大学	理工学部	正会員	安田	陽一	日本大学	理工学部	学生員	小林	純
日本大学	理工学部	正会員	大津	岩夫	日本大学	理工学部	学生員	大黒	真希
					日本大学	理丁学部	正会員	高橋	正行

<u>1.はじめに</u>跳水内部の流速特性および跳水 長について様々な研究<sup>1)~3)</sup>がなされているが、 流入射流が空気混入された場合の跳水の特性に ついては十分に検討されていない。空気混入し た射流が流入することにより、跳水を形成させ る減勢池内での流況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。

本研究では、傾斜水路における跳水を対象と して、跳水始端から流入する射流が空気混入し た場合と空気混入しない場合との違いを跳水内 部の流速特性、空気混入特性および跳水長から 実験的に示した。

2.実験方法 表 - 1 に示す実験条件のもとで跳水の内部特性について検討を行った。空気混入した流入射流(aerated inflow)を形成させるために階段状水路を用いた。また、階段状水路による形状の効果が跳水内部の流速に影響を及ぼさないように、跳水始端直上流側から水路を滑面水路とした(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、常に空気混入しない流入射流(non-aerated inflow)となる。水路傾斜角 および流入する射流のフルード数  $F_1$  [ $F_{1}=v_1/(gd_1cos)^{1/2}$ ]を同一にして、aerated inflow と non-aerated inflow との間で流況を比較した。ただし、跳水始端水深  $d_1$ の水深評価については、空気混入率 C[空気の量/(水の量 + 空気の量)]を測定し、水のみの水深に換算した射流水深を求めた[ $d_1=Y_{90}(1 C_{mean});Y_{90}$ は C=0.9となる水深、 $C_{mean}$ は断面平均された空気混入率]。

流速の計測については2成分電磁流速計を用いた(採取時間60s採取 間隔50ms)。また、水路床付近の流速についてはピトー管を用いて計 測した。

<u>3.流況の説明</u>傾斜水路における跳水の流況を図 - 2 に示す。ただし、水路傾斜角度 が 23<sup>°</sup> 以上の流況 <sup>1)</sup>を対象とした。図中 a ) ~ c ) は流入射流が non-aerated inflow の場合を示し、d) ~ f )は aerated inflow の場合を示す。

流入射流が non-aerated inflow の場合、跳水始端からの高速流が水路 接合部に衝突し、跳水内部の流速が流線の曲がりの影響を大きく受け る。また、下流水深の増加に伴い表面渦の形成領域が大きくなる。さ らに、下流水深を大きくすると高速流が下流側遠方まで水路床近くを 沿って流れ、逆流域が広範囲にわたって形成されるようになる。すな わち、大きな循還流を伴った潜流が形成される。

一方、流入射流が aerated inflow となっている場合、跳水内部にお いて多量の空気混入が認められる。下流水深が増加すると、空気混入 の影響によって気泡による浮力効果が大きく短区間で主流が水路床か ら水面に向かって上昇し易くなる。また、下流水深が変化しても表面 渦の形成領域の変化は小さい。なお、水路接合部直下流側で跳水が形 成される場合、逆流の形成されている領域では気泡が水面に向かって 上昇するものの、主流が水路床近くに位置している。

表 - 1 実験条件

		d	Ц				
流入条件	(deg)	(cm)	(cm)	s/d <sub>c</sub>	$C_{mean}$	$F_1$	$h_d/h_2$
aerated inflow	30	6.10	152.5	0.982	0.391	5.66	1.09
non-aerated inflow	30	8.01	41.0	0	0	5.20	1.06
aerated inflow	30	4.00	152.5	0.625	0.379	5.80	3.20
non-aerated inflow	30	4.00	47.6	0	0	5.80	3.20
aerated inflow	55	4.05	153.0	0.618	0.434	8.83	3.24
non-aerated inlow	55	4.04	60.8	0	0	8.83	3.24



図 - 1 aerated inflow を形成 させるために用いた模型



図-2 流況図



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

|跳水内部の流速減衰状況を知るために式(1)に基づき実験値を整理した一例を図-3、4に示す。

 $U_m/v_1=f(x/d_1, F_1,h_d/h_2, C_{mean})$  (1) ただし、 $U_m$ は任意の断面における最大流速、 $v_1$ は跳水始端における断面平均流速、xは跳水始端から水路床に沿った距離、 は水路傾斜角度、 $h_d$ は下流水深、 $h_2 \, dh_2 = d_1((8F_1^2 cos + 1)^{1/2} 1)/2 \, e_{\overline{x}}$ す。また、図 - 3の一点鎖線は Free jumpの減衰状況<sup>2)</sup>を示し、図 - 3および図 - 4の実線は wall jetの減衰状況<sup>1)</sup>を示す。さらに図 - 4 破線は衝突噴流による wall jetの減衰状況<sup>1)</sup>を示している。

<u>・ダム直下水路水平部で跳水が形成される場合(図 - 2(a),(d))</u>最大流速の減衰状況に関して、図 - 3に示されるように跳水始端での空気混入の有無に関わらず、流速が wall jet の場合より短区間で減衰される。また、non-aerated inflow との間で最大流速の減衰状況の違いは見られない。このことから、主流の減衰に対する気泡の浮力効果の影響が小さいものと考えられる。

・傾斜面と水平面とにまたがって跳水が形成される場合(図 - 2(c),(f)) non-aerated inflowの場合、下流水深が大きくなると、図 - 4に示されるように、傾斜面上の減衰状況は wall jet の場合 <sup>1)</sup>と同様となる。また、接合部下流側の減衰状況は衝突噴流による壁面噴流の場合 <sup>1)</sup>と同様となる。一方、aerated inflowにおいて下流水深が大きい場合、図 - 4に示されるように最大流速が短区間で減衰されるようになる。このことから、主流とともに気泡が連行され、気泡の浮力が跳水内部における流速の減衰に影響を及ぼしているものと考えられる。



図 - 5 流速ベクトル図

## <u>5.跳水内部の特性</u>

=30°で傾斜面と水平面とにまたがって跳水が形成される場合の non-aerated inflow および aerated inflow における跳水内部の流速ベクトル図を図 - 5 に示す。図に示されるように、流入射流が空気混入されたことによって主流の巻き上がりに対する気泡の浮力効果が大きく、跳水長が約 60%短縮された。aerated inflow における跳水内部の特性について、流速および空気混入率の分布を図 - 6 に示す。同一な、F1 および  $x/L_j$  に対して、傾斜面と水平面とにまたがって跳水が形成される場合(図 6 - a)とダム直下水路水平部で跳水が形成される場合(図 6 - b)との比較を行う。

傾斜面と水平面とにまたがって跳水が形成される場合、図 6 - a に示されるように噴流幅Y(u/Um=0.5となるyの値) までの間で空気混入率が最大となっている。このことから、 空気混入量が傾斜面上でことにより、気泡の浮力効果によっ て、短区間で主流が上昇しやすくなるものと考えられる。

一方、ダム直下水路水平部で跳水が形成される場合、図 6 - bに示されるように噴流幅より上方で空気混入率が最大と なる。このことから、主流に多量の空気が含まれず、主流の 巻き上がりおよび流速の減衰に対する気泡の浮力の影響が 小さいものと考えられる。

<u>6</u>.<u>まとめ</u> 流入射流に空気が混入された場合、跳水内部の 流速減衰状況および空気混入特性を検討した結果、以下のよ うな知見が得られた。ダム直下流部で跳水が形成させる場合、 流速減衰状況および跳水長については主流の巻き上がりに 対する気泡の浮力の影響が小さく、空気混入の有無に関わら ず同様な結果が得られた。傾斜面と水平面とにまたがって跳 水が形成される場合、特に aerated inflow で下流水深が大 きい場合、空気混入したことによる主流の巻き上がりに対す る気泡の浮力の影響が大きく、最大流速が短区間で減衰され、 大幅な跳水長の短縮が見られた。 b) aerated inflow  $C_{mean}=0.379 L_j/d_c=15.0$ 







a) 傾斜面と水平面とにまたがって跳水が形成される場合 =30 ° F<sub>1</sub>=5.80 h<sub>d</sub>/h<sub>2</sub>=3.20



## <u>参考文献</u>

- 1) I.Ohtsu and Y.Yasuda (1991)., "Hydraulic Jump in Sloping Channels", Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 117(7), pp.905-921.
- I. Ohtsu , Y. Yasuda and S. Awazu (1990)., "Free and Submerged Hydraulic Jumps in Rectangular Channels", Rep. No.35, Inst. of Sci. and Technol. Res., Nihon Univ., Tokyo, Japan, pp.1-50.
- Chanson.H and Brattberg.T.(2000).," Experiment study of the air-water shear flow in a hydraulic jump", International Journal of Multiphase Flow, 26 pp.583-607.
- 4) Hager, W. H.(1988). "B-jump in sloping channel.," Journal of Hydraulic Res., IAHR, 26(5),pp.539-558.