

階段状水路における Skimming flow の空気混入特性

日本大学理工学部 正会員 高橋 正行
日本大学理工学部 正会員 安田 陽一
日本大学理工学部 正会員 大津 岩夫

はじめに

急勾配水路を流下する高速流を減勢させる方法の一つとして階段状水路が用いられている¹⁾。また、景観・親水性を考慮した水路として階段状水路が利用される場合もある。一般的に階段状水路上の流れは、空気混入されることが知られている。従来、階段状水路における空気混入された流れは、空気混入率[空気の量/(水の量+空気の量)]の分布^{2),3)}などが示されているものの、不明な点が多い。ここでは、階段状水路の各ステップでエアポケットが生じることなく、常に隅角部近くで渦が形成される流況である Skimming flow⁴⁾(図 1)を対象とし、広範囲な水路傾斜角のもとで流れの空気混入特性について実験的検討を加えた。

実験方法

実験はクレストを有する階段状水路の傾斜角を変化させ($5.7^\circ \leq \theta \leq 55^\circ$)、Skimming flow の流況を対象に行われた。空気混入が始まる最初の断面は「水路横断方向に常に空気混入する最上流側の断面」と定義し、流れの観察によって決定した。また、階段状水路流れの空気混入率を知るため、点電極ボイド率計(カノマックス社製)を用いた(採取間隔 5s、採取時間 60s)。

Skimming flow における空気混入特性

1. 空気混入し始める断面

階段となる断面から水路横断方向に常に空気混入する最上流側の断面までの距離 L_i を(1)式の関係で整理したものを図3に示す。

$$L_i/K = f(Fr_*) \quad (1)$$

ただし、 K は粗度高さ($K = s \cos \theta$)、 Fr_* は $Fr_* = q/(g \sin \theta \cdot s^3)^{1/2}$ 、 s はステップ高さ、 θ は水路傾斜角、 g は重力加速度である。図3に示されるように L_i/K は水路の傾斜角によらず Fr_* によって定まることが理解できる。このことは、他の研究者^{3),5)}によって示された傾向とほぼ一致している。

2. 空気混入率の分布特性

擬似等流状態における水路中央部での空気混入率の分布の一例を図4に示す。図4に示されるように edge section (a-a 断面)と corner section (b-b 断面)とで空気混入率の分布形状が異なる。また、corner section における仮想底面近くの空気混入率は edge section と比べると大きな値を示している。この違いは水路の傾斜角が大きくなるにしたがって顕著となる。

与えられた水路傾斜角 θ に対して、断面平均された空気混入率 C_{mean} と相対流下距離 L/d_c との関係を図5に示す。なお、断面平均された空気混入率は(2)式を用いて求められる。

$$C_{mean} = \frac{1}{y_{0.9}} \int_0^{y_{0.9}} \bar{C} dy \quad (2)$$

ただし、 y は仮想底面からの垂直高さ、 $\bar{C}$ は $y=y$ での空気混入率、 $y_{0.9}$ は空気混入率が90%となる y の値(水面に対応)。図5に示されるように、断面平均された空気混入率 C_{mean} は流下方



図1 Skimming flow

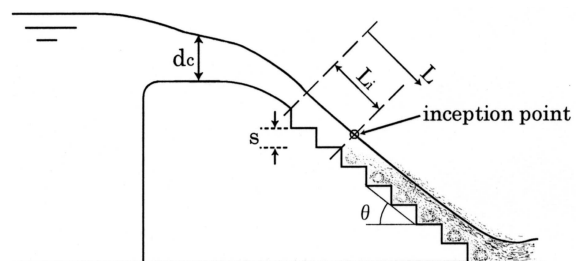


図2 定義図

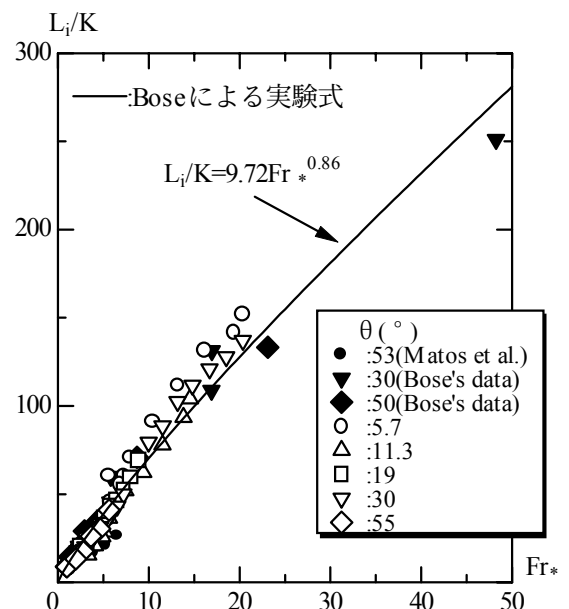


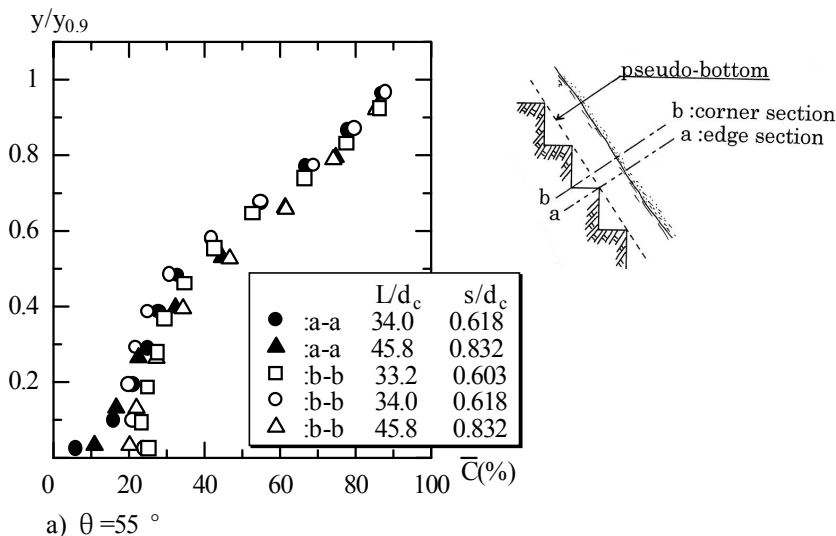
図3 空気混入され始める断面までの相対流下距離と Fr_* との関係

キーワード：空気混入特性、スキミングフロー、射流、階段状水路、洪水吐

連絡先：〒101-8308 東京都千代田区神田駿河台 1-8

Tel.03-3259-0683

Fax.03-3259-0409



向距離 L/d_c によって変化し、擬似等流状態に到達すると一定となる。また、水路傾斜角 θ が大きくなると擬似等流状態における断面平均された空気混入率 C_{mean} は大きな値を示す。

流下方向距離 L/d_c と空気混入率の分布形状との関係の一例を図6に示す。図6に示されるように、空気混入率の分布形状は擬似等流状態に到達するまで変化し、擬似等流状態に到達すると同一な形状を示す。

まとめ

Skimming flow における空気混入の特性について以下のことが実験的に明らかにされた。

1. クレストを有する階段状水路において空気混入し始める最初の断面までの流下距離が(1)式で示されることを明らかにした。
2. 空気混入率の分布形状が edge section と corner section との間で異なることを示した。また、仮想底面近くで両者の空気混入率を比較すると corner section の空気混入率が大きな値を示し、水路傾斜角が大きくなるにしたがい、この違いが顕著となる傾向を示した。
3. 与えられた水路傾斜角 θ および相対ステップの高さ s/d_c に対して相対流下距離 L/d_c と断面平均された空気混入率 C_{mean} との関係を示し、擬似等流状態に到達するまでの C_{mean} の変化傾向を明らかにした。また、相対流下距離による空気混入率の分布形状の違いを示した。

参考文献

- 1) Yasuda, Y. and Ohtsu, I., "Flow Resistance of Skimming Flows in Stepped Channels", Proc. of X XVIII IAHR Cong., Graz, B14, 1999.
- 2) Chamani, M.R. and Rajaratnam, N., "Onset of skimming flow on stepped spillways", *J. Hydr. Engrg.*, ASCE, 125(9), pp.969-971, 1999.
- 3) J. Matos, et al., "Characteristic depth and pressure profiles in skimming flow over stepped spillway". Proc. of X XVIII IAHR Cong., Graz, B14, 1999.
- 4) Ohtsu, I. and Yasuda, Y., "Characteristics of flow conditions on stepped channels", The 27th Cong. of IAHR, Water Resources Engrg. Div/ASCE, Aug. San Francisco, USA, pp.583-588.
- 5) Robert M. Bose and Hans-Erwin Minor, "Guidelines for hydraulic design of stepped spillways", *Hydraulics of stepped spillways*, A.A. Balkema, Rotterdam, pp.53-60, 2000.
- 6) J. Matos et al., "Air entrainment and safety against cavitation damage in stepped spillways over RCC dams", *Hydraulics of stepped spillways*, A.A. Balkema, Rotterdam, pp.69-76, 2000.

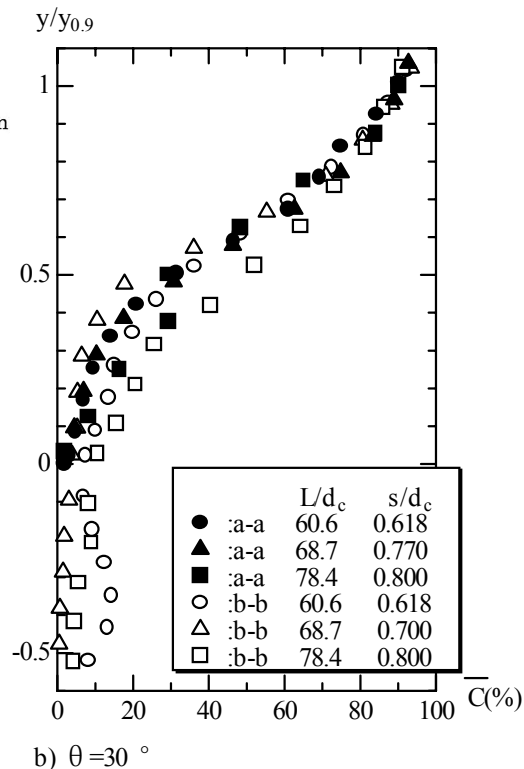


図4 edge section と corner section における空気混入率の分布形状

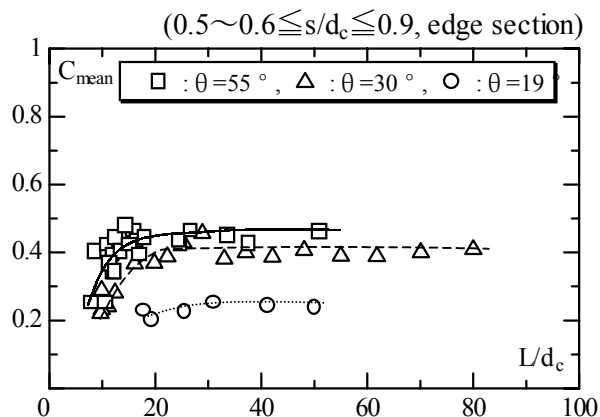


図5 流下方向距離と空気混入率との関係

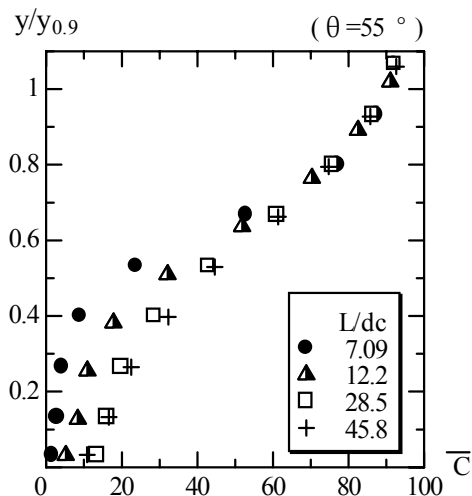


図6 相対流下距離と空気混入率の分布形状との関係