

階段状水路における Nappe flow のエネルギー評価方法

日本大学理工学部

正会員 ○高橋正行

日本大学大学院理工学研究科

学生員 中村敏弥

日本大学理工学部

正会員 安田陽一

日本大学理工学部

フェロー会員 大津岩夫

階段状水路は急傾斜水路で生じる高速流を減勢させる方法として有効である。一般的に階段状水路での流れは空気混入流として特徴づけられる¹⁾。階段状水路の水工設計のためには空気混入流のエネルギーの大きさを見積もることが重要である。

著者は Skimming flow を対象に空気混入率 C および空気混入射流の時間平均流速 $\bar{u}$ を考慮してエネルギー E を評価する方法を提案した^{1)~3)}。しかし、Nappe flow のエネルギー評価方法については確立されていない。ここでは、Nappe flow について空気混入率 C と空気混入流の時間平均流速 $\bar{u}$ を考慮にいてエネルギー E を評価する方法を提案した。また、 E と水のみに換算した水深 d_w から得られるエネルギー $E_w (=d_w + V_w^2/2g; V_w (=q_w/d_w; q_w: 単位幅流量))$ 、および階段状水路直下に形成された跳水を利用して評価したエネルギー E_j ⁴⁾ との対応を明らかにした。

実験方法

実験はステップ高さ 20cm、水路傾斜角度 19° の階段状水路を用いて相対ステップ高さ $1.7 \leq S/d_c \leq 5.4$ 、相対落差 $21 \leq H_s/d_c \leq 70$ の条件の下で実施した。空気混入率 C [=空気量/(空気量+水の量)] と空気混入流の流速測定については二点電極型ボイド率計を用いた(採取間隔 20 μ sec、採取時間 20sec)。なお、測定は擬似等流状態⁴⁾を対象に、図1の(a)~(c)に示す断面に行った。

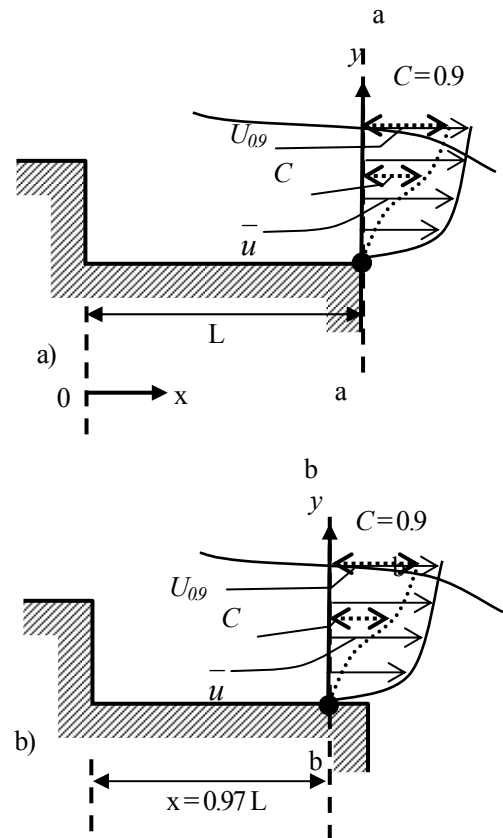


図-1 空気混入率および流速の測定断面

Nappe flow における空気混入射流の全水頭

著者は階段状水路における空気混入流のエネルギー評価法を提案している^{1),2)}。

流れがステップ水平面と平行に流下しているとみなせる場合(図-1(a),(b))、ステップ面上の空気混入流のエネルギー E は次式で示される。

$$E = C_p d_w + C_v \frac{V_w^2}{2g} \quad (1)$$

$$d_w = \int_0^{y_{0.9}} (1-C) dy \quad (2)$$

$$V_w = \frac{q_w}{d_w} = \frac{\int_0^{y_{0.9}} (1-C) \bar{u} dy}{d_w} \quad (3)$$

ここに、 C_p と C_v とは補正係数である³⁾。また、水のみに換算した水深 d_w は測定された空気混入率 C を用いて(2)式から求められる。さらに、水のみに換算した水深 d_w と水のみの単位幅流量 q_w を用いると、(3)式より断面平均流速 V_w が求められる。

キーワード：階段状水路、Nappe flow、空気混入射流、エネルギー

連絡先：〒101-8308 東京都千代田区神田駿河台 1-8 Tel. & Fax. 03-3259-0668 e-mail: masayuki@civil.cst.nihon-u.ac.jp

$y/y_{0g}=Y$ および $\bar{w} U_{0g}=U$ と置くと補正係数 C_p と C_v は次式で表される。

$$C_p = \frac{\int_0^1 \left[(1-C)Y + \int_{y^+}^1 (1-C)dY \right] U dY}{\left(1 - \int_0^1 C dY \right) \int_0^1 (1-C) U dY} \quad (4a)$$

$$C_v = \frac{\left(1 - \int_0^1 C dY \right)^2 \int_0^1 (1-C) U^3 dY}{\left[\int_0^1 (1-C) U dY \right]^3} \quad (4b)$$

式(4a)および(4b)から C_p と C_v の値については空気混入流の流速 U および空気混入率 C の大きさと分布に支配されることが理解される。

補正係数 C_p と C_v とを1と仮定すると、式(1)は次のように示される。

$$E_w = d_w + \frac{V_w^2}{2g} \quad (5)$$

図2に E/d_c と E_w/d_c の値の比較を示す。図に示されるように、 E と E_w との差は10%以内であり、 E/E_w は1.08～1.10となっている。

著者は階段状水路上での流れのエネルギーを階段状水路直下に形成させた跳水を利用して評価する方法を提案している⁴⁾。跳水を利用して評価した階段状水路上でのエネルギーを E_j とする。図3に水路傾斜角度 19° の場合の E_j/d_c 、 E/d_c 、および E_w/d_c の値を示す。図3に示されるように、 E_j/d_c と E_w/d_c の値はほぼ等しい。したがって、従来の研究で得られた E_j/d_c を予測するための実験式^{1,4)}を用いて E_j/d_c の値を求め、その値を1.08倍～1.10倍することで空気混入射流の相対全水頭 E/d_c の大きさを知ることができる。

$$E_w/d_c, E/d_c, E_j/d_c \quad \theta = 19^\circ, 15 \leq H_{\text{dam}}/d_c \leq 80$$

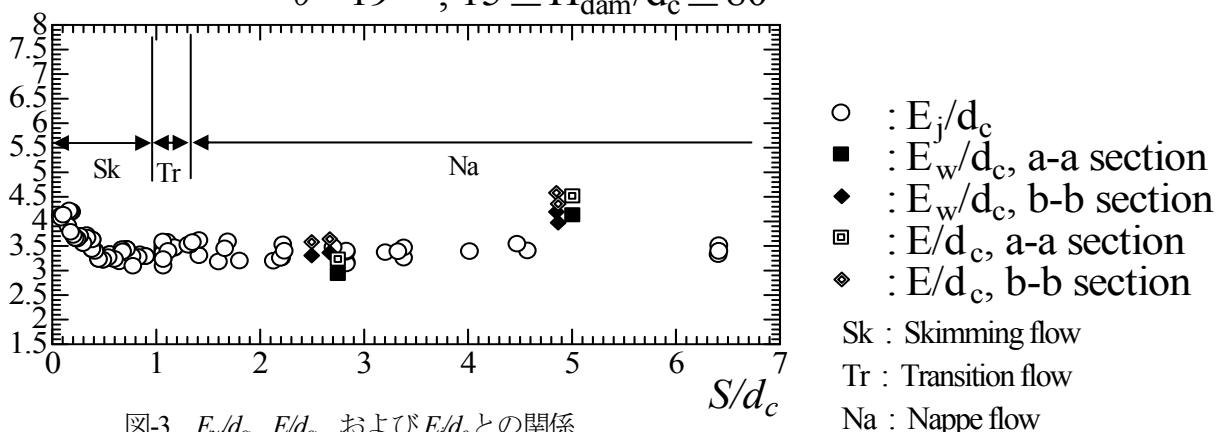


図-3 E_w/d_c 、 E/d_c 、および E_j/d_c との関係

参考文献

- 1) I. Ohtsu, Y. Yasuda, and M. Takahashi, 2004, Flow Characteristics of Skimming Flows in Stepped Channels, *J. Hydr. Engrg.*, ASCE, Vol.130, No.9, pp.860-869.
- 2) I. Ohtsu, Y. Yasuda, and M. Takahashi, 2005, Energy Head of Aerated Flows in Stepped Channels, Proc. of 31st IAHR Cong., IAHR, Seoul, Korea, pp.2880-2889.
- 3) 高橋正行、安田陽一、大津岩夫、2005、階段状水路における空気混入射流の特性、水工学論文集、土木学会、第49巻、pp.829-834.
- 4) 高橋正行、安田陽一、大津岩夫、2004、階段状水路における射流のエネルギー損失、水工学論文集、土木学会、48巻、pp.871-876.