

研究種目：若手研究 (B)

研究期間：2007～2008

課題番号：19760346

研究課題名 (和文) 階段状水路における Nappe flow の空気混入流特性

研究課題名 (英文) Aerated Flow Characteristics of Nappe flow on Stepped Channels.

研究代表者

高橋 正行 (TAKAHASHI, MASAYUKI)

日本大学・理工学部・講師

研究者番号：10318363

研究成果の概要：

階段状水路は急傾斜地に設置された水路，ダムや堰などの落差を伴う河川構造物から流出する高速流を減勢させるための方法として有効である。また、越流面が平坦な傾斜水路よりも階段状水路の方が高速流の減勢効果が高いことを直感的に理解できるが、その減勢効果を定量的に評価することはできなかった。なぜならば、階段状水路では空気混入流が形成され、目視による水面の決定が困難であり、水深・流速の評価が不可能であったためである。本研究では、階段状水路での空気混入流の水深、流速、およびエネルギー評価法を開発し、水路傾斜角度  $\theta = 19^\circ$ 、 $30^\circ$  の Nappe flow の空気混入率と流速分布の特性、およびエネルギーの大きさを解明した。この成果は、階段状水路の水利設計法を発展させるものである。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	700,000	0	700,000
2008 年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
年度			
総計	1,300,000	180,000	1480,000

研究分野：水工水理学

科研費の分科・細目：土木工学・水工水理学

キーワード：階段状水路，空気混入流，Nappe flow，流速特性，空気混入率

## 1. 研究開始当初の背景

階段状水路は急傾斜地に設置された水路 (図-1 参照)，およびダムや堰などの落差を伴う河川構造物から流出する高速流を減勢させるための方法 (図-2 参照) として有効である。また、魚道などの生態環境に配慮した水路として、あるいは景観上すぐれた水路として有効である。傾斜水路の越流面を階段にすることで、高速流の運動エネルギーを階段状水路上で減勢できることは直感的に理解

でき、古くはローマ時代から用いられている。しかしながら、階段状水路では空気混入流が形成され、目視による水面の決定は困難であり、水深・流速評価が不可能であったために、階段状水路によるエネルギー減勢効果については不明であった。

階段状水路の水利設計法を発展させるためには、階段状水路における空気混入流そのものの特性を解明する必要がある。研究代表者は階段状水路上で形成される Skimming



図—1 急傾斜地の階段状水路



図—2 ダム越流面を階段状水路にしている場合

flow (図—3(a)参照) を対象に空気混入流の水深、流速、およびエネルギー評価法の開発に成功していた。しかしながら、Nappe flow (図—3(c)参照) を対象にした空気混入流の空気混入率、エネルギーおよび断面平均流速の大きさについての検討は国内・国外の研究者を含めて全く検討なされていなかった。

## 2. 研究の目的

Nappe flow (図—3(c)) を中心として、階段状水路の空気混入流の流速および空気混入率の測定を実施することで、階段状水路における空気混入流の特性を解明することを目的としている。

## 3. 研究の方法

Nappe flow の空気混入流のエネルギーを解明するため、相対的なステップ高さ  $S/dc$  ( $dc$ : 限界水深) と水路傾斜角度  $\theta$  が全水頭におよぼす影響について検討した。空気混入率  $C$  と

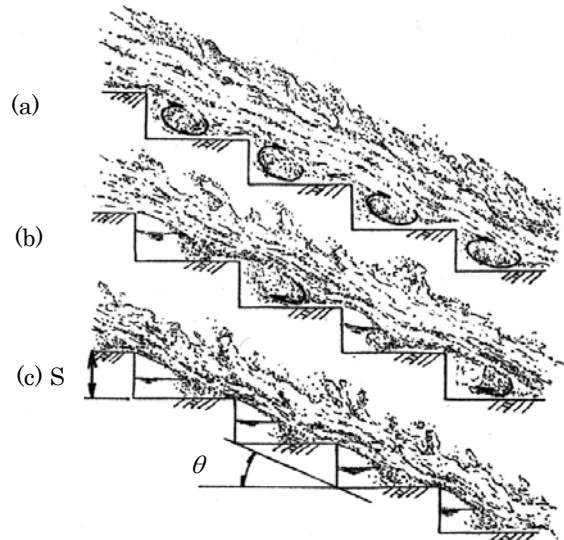


図-3 階段状水路に形成される流況  
(a) skimming flow; (b) transition flow; (c) nappe flow

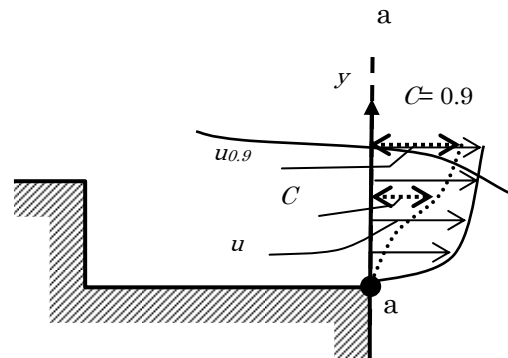


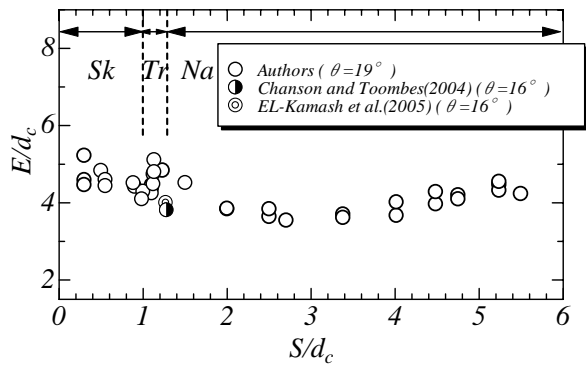
図-4 代表断面の定義図

流速  $u$  については、Nappe flow のエネルギー評価断面を図—4 の  $aa$  断面のように定め、2 点電極型ボイド率計を用いて測定を行った。また、Nappe flow の特性を考慮に入れて、プローブの改良を行い、測定精度の向上に努めた。

従来は階段状水路の空気混入流のエネルギーの大きさについてはほとんど明らかにされていないため、水路傾斜角度  $\theta = 19^\circ$  および  $30^\circ$  の階段状水路を対象に Skimming flow, Transition flow, および Nappe flow の各流況における  $C$  と  $u$  の測定値から空気混入流のエネルギーの大きさを求め、Nappe flow と Skimming flow および Transition flow とのエネルギーの大きさの比較を行った。

## 4. 研究成果

水路傾斜角度  $\theta = 19^\circ$  ,  $30^\circ$  における skimming flow, transition flow, および nappe flow の空気混入流の内部特性について検討した結果を以下に要約して示す。なお、図については水路傾斜角度  $\theta = 19^\circ$  の場合を一例として示す。



Sk:Skimming flow, Tr:Transition flow, Na:Nappe flow

図-5  $E/d_c$ と $S/d_c$ との関係

(1) Nappe flow と Transition flow の空気混入流のエネルギー水頭は Nappe flow と Transition flow のエネルギー評価断面を図-4 の aa 断面と定めると(1)式で評価されることを提示した。

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

ここに、 $d_w$ ,  $V_w$ ,  $C_p$ および $C_v$ は次式で示される。

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

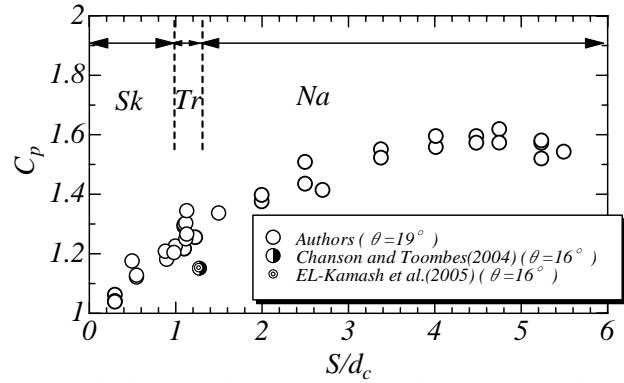
$$V_w = \frac{\int_0^{y_{0.9}} (1-C) u dy}{d_w} \quad (3)$$

$$C_p = \frac{\int_0^{y_{0.9}} \left[ (1-C)y + \int_y^{y_{0.9}} (1-C) dy \right] u dy}{\int_0^{y_{0.9}} (1-C) dy \int_0^{y_{0.9}} (1-C) u dy} \quad (4)$$

$$C_v = \frac{\int_0^{y_{0.9}} (1-C) u^3 dy}{\left\{ \int_0^{y_{0.9}} (1-C) u dy \right\}^3} \quad (5)$$

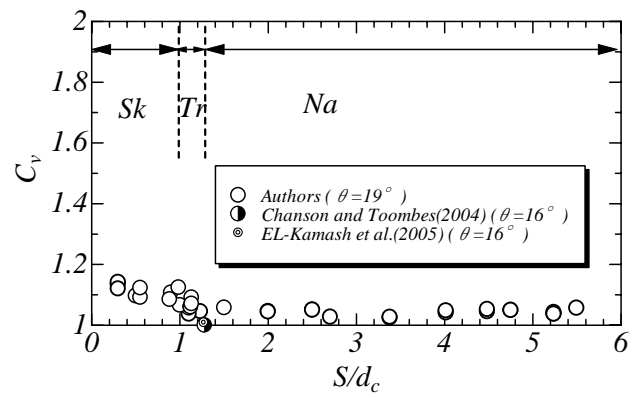
(2)エネルギー評価断面 (図-4aa断面) の空気混入率 $C$ と流速 $u$ の測定値から空気混入流のエネルギー水頭 $E/d_c$ を明らかにした (図-5参照)。

(3)補正係数 $C_p$ は断面を通過する空気混入流のポテンシャルエネルギーと圧力のなす仕事の和とclear water flowのそれらの和



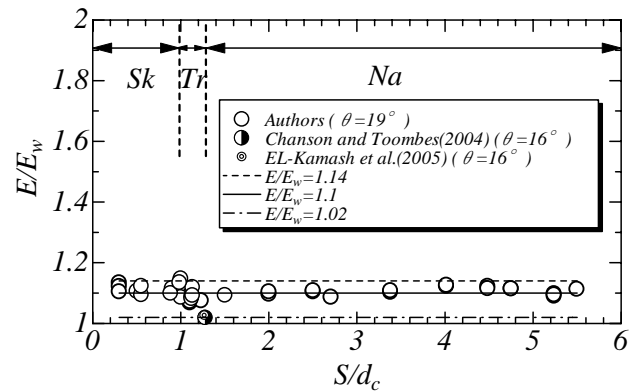
Sk:Skimming flow, Tr:Transition flow, Na:Nappe flow

図-6 補正係数 $C_p$ と $S/d_c$ との関係



Sk:Skimming flow, Tr:Transition flow, Na:Nappe flow

図-7 補正係数 $C_v$ と $S/d_c$ との関係



Sk:Skimming flow, Tr:Transition flow, Na:Nappe flow

図-8  $E/E_w$ と $S/d_c$ との関係

の比と解釈され、 $C_w$ は断面を通過する空気混入流の運動エネルギーとclear waterの運動エネルギーの比と解釈されることを示した。また、 $C_p$ と $C_v$ の値を示した (図-6, 7)。

(4)空気混入流のエネルギー水頭 $E$ とclear

water depthから求められるエネルギー水頭 $E_w$ との関係を示した（図-8 参照）。

#### 5. 主な発表論文等

（研究代表者，研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕（計 1 件）

高橋正行，安田陽一，大津岩夫，階段状水路における空気混入流特性，水工学論文集，第52巻，pp.787-792，2008年，査読有り

〔学会発表〕（計 2 件）

笠原政人，高橋正行，大津岩夫，Skimming flowの空気混入特性に対する水路傾斜角度の影響，土木学会第63回年次学術講演会，2008年9月10日

笠原政人，高橋正行，大津岩夫，階段状水路の空気混入流特性に対する水路傾斜角度の影響，第51回日本大学工学部学術研究報告会，2008年12月6日

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

高橋 正行 (TAKAHASHI, Masayuki)

日本大学・理工学部・講師

研究者番号：10318363

##### (2) 研究分担者

なし

##### (3) 連携研究者

なし