

階段状水路における跳水の形成条件

日大院・理工 学 藤本 秀昭
 日 大・理工 正 後藤 浩
 日 大・理工 正 安田 陽一
 日 大・理工 正 大津 岩夫

はじめに

階段状水路における流れは、流量、ステップ高、水路の勾配などによって、様々な流況を呈する。階段状水路は射流のエネルギー減勢¹²⁾を目的として、さらに最近では美的景観・親水性¹⁾・水質浄化を目的として利用されている。また、河床勾配が急な所では連続的に落差工が施され、階段状の水路となっている。従来の研究では、ステップ上で跳水が形成されるための水理条件については不明な点が多い。本研究では、ステップ上で跳水が形成されるための水理条件について検討を加えた。

ステップ上で形成される跳水の流況

本研究では、水路の勾配 $\tan \alpha$ を $0.344 (\alpha = 19^\circ)$, $0.577 (\alpha = 30^\circ)$ および $1.00 (\alpha = 45^\circ)$ に変えて行った。また、ステップの勾配 $\tan \theta = 0$ の場合（ステップの踊り場が水平である場合）、流量を非常に小さくしないとステップ上で跳水が形成されないことからステップに勾配を持たせること（ここでは $\tan \theta = 0.0875 \sim 1.00$ ）に着目し、ステップ上に形成される跳水の流況を検討した。階段状水路における跳水の流況は、水路の勾配 $\tan \alpha$ 、ステップの勾配 $\tan \theta$ および相対ステップ高 dc/S （図1）によって種々変化する。また、各ステップ上で跳水が形成される場合の流況は、図2に示されるように与えられた $\tan \alpha$ に対し、ステップの勾配 $\tan \theta$ および相対ステップ高 dc/S によって大別される³⁾。

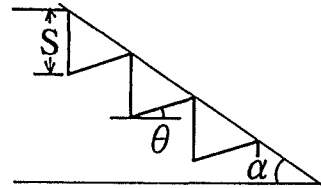


図1 記号説明

流況 A

ステップから越流した流れが次のステップに衝突し、水路下流端近くで限界流が生じている。このとき、流速は十分に減勢され、越流水脈は乱れることなく次のステップに流下する。

流況 B

ステップから越流した流れが、次のステップの下流端近くに衝突し、部分的に表面渦が形成されるものの、流速は十分減勢されることなく流下する。すなわち、越流水脈は大きく乱れた状態で、次のステップに流下する。

流況 C

この場合、流況Aと流況Bの中間的な流況となる。

Flow Patternの説明

相対ステップ高 dc/S の変化に伴う流れのフローパターンは、水路の勾配 $\tan \alpha$ 、ステップの勾配 $\tan \theta$ によって異なり、図3に示されるように3つに区分される。

CASE 1

各ステップ上での流れが射流の状態（跳水が形成されてない状態）から、 dc/S を小さくする（流量を小さくする）とある段階で、各ステップ上に跳水が形成されるようになる。一方、各ステップ上で跳水が形成されている状態から dc/S を大きくすると、ある段階で階段上の流れが全て射流になる（図3-a）。

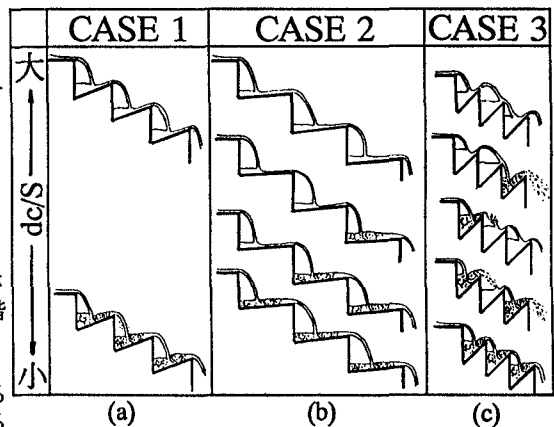
CASE 2

ステップ上の流れが射流の状態から dc/S を小さくすると、下流側のステップから規則的に跳水が形成されるようになる。一方、各ステップ上で跳水が形成されている状態から大きくすると、上流側のステップから開水路・階段状水路・跳水・減勢工・落差工・水環境

	$0 \leq \tan \theta \leq 0.132$	$0.132 \leq \tan \theta \leq 0.573$	$0.573 \leq \tan \theta \leq 1$
大			
小			

$$0.344 \leq \tan \alpha \leq 1$$

図2 跳水の流況

図3 dc/S の変化に伴う流れのフローパターン

規則的に射流へ変化していく（図 3-b）。

CASE 3

ステップ上の流れが射流の状態から dc/S を小さくすると、不規則的にステップ上に跳水が形成され、ついには全てのステップ上で跳水が形成されるようになる。この場合、ステップの勾配 $\tan \theta$ が大きいため、ステップから越流する流れが水路下流端近くに位置するようになり、ステップを通過する越流水脈が大きく乱れるようになる。このため、階段上の流れが射流から跳水へ変化するとき不規則的に跳水が形成されるものと考えられる（図 3-c）。

各フローパターンが形成されるための水理条件は図 4 に示されるように、実験的に $\tan \alpha$ および $\tan \theta$ によって定められる。なお、図中 CASE4 は dc/S の変化方法（流量の変化方法）によって、CASE1、CASE2 または CASE3 が混在するフローパターンを示す。

跳水の形成範囲

各ステップ上で跳水が形成される場合と階段上の流れが全て射流の状態で流下する場合との境界は、流量 q (or $dc=(q^2/g)^{1/3}$)、ステップ高 S 、ステップ長 l 、および水路の勾配 $\tan \alpha$ によって決定されるものと考えられ、次元解析的考察から次の関係が得られる。

$$dc/S = f(\tan \alpha, \tan \theta) \quad (1)$$

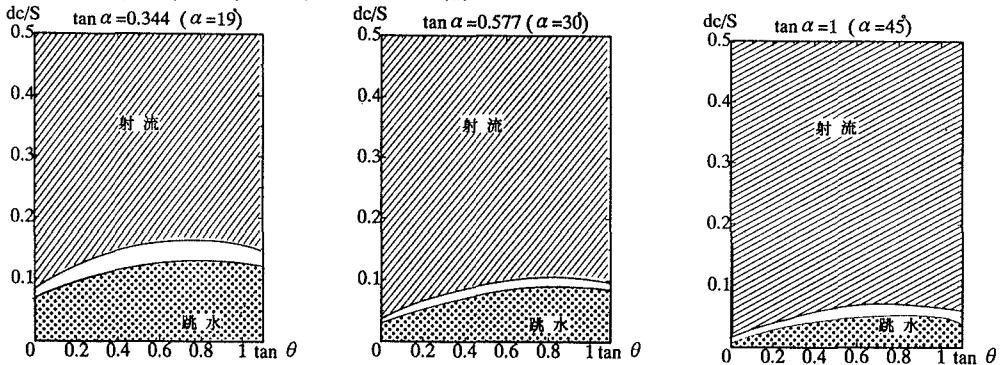


図 5 跳水の形成範囲

(1) 式の関係を用いて実験値を整理した結果を図 5 に示す。図中斜線で示されている領域は、全てのステップ上で射流が形成されている領域を示し、点で示されている領域は全てのステップ上で常に跳水が形成される領域を示す。図 5 に示されるように、ステップの勾配 $\tan \theta$ を一定にして考えたとき、水路の勾配 $\tan \alpha$ が大きくなるにしたがって跳水が形成される領域が狭くなることが認められる。これは、水路の勾配 $\tan \alpha$ が大きくなるに従って相対ステップ長さが短くなるためnappeの衝突位置が下流側に近づき表面渦が形成される領域が小さくなり dc/S が小さくても、流況が跳水から射流へ遷移しやすくなるためと考えられる。

結 論

階段状水路を流下する流れについて系統的に検討した結果、ステップ上に形成される跳水の流況をステップの勾配 $\tan \theta$ 、水路の勾配 $\tan \alpha$ および相対ステップ高 dc/S によって特徴づけフローパターンを三つに区分した。また、階段状水路における跳水の形成条件を明らかにし、各ステップ上に跳水が形成される領域と全ての段で射流が形成される領域を示した。

付 記

本研究は日本大学総長指定研究費補助を受け実施したものである。

謝 辞

本研究を遂行する上で、土木 4 年 高坂保孝君、高橋正行君、村井貞斉君より協力を得たので、記して謝意を表する。

記号説明

S : ステップ高さ, dc : 限界水深, $\tan \alpha$: 水路の勾配, $\tan \theta$: ステップの勾配, q : 単位幅流量, g : 重力加速度

参考文献

- CHINSON, H. (1994). Hydraulics of Stepped Spillways and Cascades. Conf. on Hydraulics in Civ. Engrg., Brisbane, Queensland., The Inst. of Engrs., Australia Conference Preprints pp 217 - 222.
- I. T. S. Essery and H. W. Horner (1978) "The Hydraulic Design of Stepped Spillways", CIRIA Report No. 33, 2nd edition, London, UK.
- 村井、高橋、高坂、藤本、後藤、安田、大津(1997), 階段状水路における跳水の形成条件, 第24回 関東支部技術研究発表会 pp 190-191