

掘り込み型減勢工に関する実験的検討

Experimental Investigation on Energy Dissipaters with Excavated Basin

日本大学理工学部土木工学科 正会員 安田 陽一
 日本大学大学院理工学研究科土木工学専攻 学生会員 ○植松 翼

1. はじめに

河川には、山脚固定および土砂の流出制御を目的とした治山堰堤・砂防堰堤、河床の安定化を目的とした床固め工・床止め工、利水のための取水堰など様々な落差を伴う河川横断構造物が設置されている。

洪水時における落差構造物下流側の減勢対策として、構造物下流側に水叩きや護床ブロックを設置し、跳水の形成によって、構造物下流側の河床を保護する減勢工の設計基準が示されている^{1),2)}。

写真1に示されるように、条件によっては落差構造物下流側で洪水時の減勢機能が発揮されておらず、護床ブロックの流出や局所洗掘による河床低下が生じている。これはブロック設置区間において、洪水時に跳水が形成されず、落差構造物を越えた流れが射流で流下したことが主な原因と考えられる。

最近、河川に生息する水生生物が降河するときに水叩きに直接衝突することなく安全に降河できる環境を確保する手段として、落差構造物直下流側にウォータークッションを設けることなどが提唱されている³⁾。

落差構造物下流側の河床低下を防ぎ、水生生物が安全に降河可能な環境を確保し、構造物周辺の河川環境を保全することを目的として落差構造物直下流の掘り込み型減勢工を提案した^{4),5)}。

ここでは、掘り込み型減勢工の水理特性を明らかにするために、表1に示す実験条件のもとで減勢池内に形成される流況を明らかにし、跳水が形成されるための水理条件を示したことを報告する。

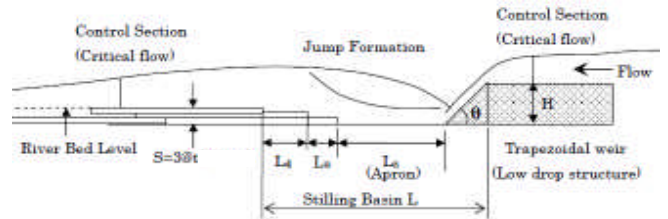


図1 掘り込み型減勢工

表1 実験条件

dc(cm)	$3.1 \leq dc \leq 11.5$	Lu(cm)	5, 10, 20, 40
H(cm)	20, 10	Ld(cm)	5, 10, 20, 40
t(cm)	2, 1	Lu/t	5, 10, 20
S	2t, 3t	Ld/t	5, 10, 20
$\theta=45^\circ$		$\theta=90^\circ$	
La(cm)	12.5, 25, 37.5, 50, 75	La(cm)	12.5, 22.5, 25, 35, 45, 47.5, 70, 95
La/H	1.25, 2.5, 3.75	La/H	1.25, 2.25, 3.5, 4.75

3. 減勢池内の流況

減勢池内での流況を検討するにあたり、ここでは相対掘り込み深さ $S/H=0.3$ の場合を対象とした。図1に示す減勢池内に形成される流況は越流面角度 θ 、相対落差 H/dc 、相対水叩き長さ La/H 、ステップ勾配 t/Lu 、 t/Ld 、および相対ステップ高さ t/H などによって変化するものと推論される。表1に示す実験条件のもとで検討した結果、流況は次の様に区分される。

- 跳水が形成されず、射流が形成される流況 (SF) (写真2)。
- 落差構造物から越流した流れが段上がりによる流線の曲がりの影響を受け不安定となり、周期的な変動を伴う跳水が形成される流況 (UJ) (写真3)。
- 跳水が減勢池内で常に形成され、跳水中の主流がステップ段上がり部の影響を受けて、短区間に水面に向かって上昇していく。この場合、減勢池直下流側では主流(各断面の最大流速を中心とした流れ)によって河床低下の原因に繋がらない流況(写真4)となる。この流況をSJ(安定跳水)とする。



写真1 発電用堰直下流側での浸食状況

2. 実験条件

図1に示す掘り込み型減勢工の模型を長方形断面水平水路(幅0.8m、長さ15m、底部の高さ0.6m)に設置し、表1に示す実験条件のもとで実験を行った。実験はフルードの相似則に基づいて行った。実河川では落差構造物下流側の水位は条件によって異なるため、ここでは、堰上げ(バック・ウォーター)の影響がないように、減勢池直下流側で支配断面(限界流が形成される断面)が生じる条件(図1参照)で検討している。流量設定について $0.0995 \text{ m}^3/\text{s}$ を上限とし、流量変化の方向を変えて(増加・減少)減勢池内で形成される流況の変化過程を検討した。越流面角度が 90° で、越流水脈下面に空洞が生じる場合、鉛直面の上部からベンチレートし(通気し)、大気圧となるように調整した。この調整は、床固工やえん堤では、兩岸側に袖が設置されており越流水脈の下面側が大気圧となっている場合が多いことによる。流況把握のため、デジタルカメラを用い、流況の静止画および動画を記録した。流量測定には、水路下流端に設置された全幅刃型せきを用いた。



写真2 射流(SF)



写真3 不安定跳水(UJ)



写真4 安定跳水(SJ)

キーワード 減勢工, 落差構造物, 跳水, 局所流, 河床低下対策

連絡先 〒101-8308 東京都千代田区神田駿河台 1-8, TEL:03-3259-0409, E-mail: yokyas@civil.cst.nihon-u.ac.jp

4. 流況の形成領域

与えられた $t/Lu, t/Ld$, および S/H に対して, La/H と dc/H の関係で整理したものについて, $\theta = 45^\circ$ の場合を図 2 に, $\theta = 90^\circ$ の場合を図 3 に示す. 図中の破線および実線はそれぞれ遷移領域 TR と安定跳水 SJ との境界, 射流 SF と遷移領域 TR との境界を示す. 境界の定め方については, 流況判定してプロットしたデータおよび $t/Lu, t/Ld$ の組み合わせによる流況の遷移過程を考慮し, SF, TR, および SJ の境界を定めている.

実線と破線との間の領域では, 同一の $\theta, La/H, t/Lu, t/Ld, dc/H$ に対して, 流量変化(増加・減少)の条件により射流 SF, 安定跳水 SJ のどちらかの流況が形成される. すなわち, 減勢池に形成される流況の履歴によって(流量変化の方向によって)跳水が形成されるための水理条件が異なる. なお, 遷移領域内の実線付近で, 条件によっては不安定な跳水 UJ が形成される.

与えられた $\theta, t/Lu, t/Ld, S/H$ に対して, La/H の値が大きくなると遷移領域が大きくなる傾向がある. これは, 水平水叩き上部に形成される表面渦の領域が大きくなると, 射流に遷移する為に必要な運動量が大きくなるため, 射流 SF から跳水 SJ に遷移する場合より大きい流量規模が必要になるものと考えられる. また, t/Ld を変化させた場合 ($t/Lu = \text{一定}$), t/Ld が小さくなるにつれて, La/H の増加に伴う遷移領域の増加が見られる. これは, 同一の $S/H (= 3t/H)$, t/Lu に対して t/Ld が小さくなるにつれて最下流端の段上がり部が相対的に遠ざかることになり, 流線の曲がりに対する最下流端の段上がりのエッジの影響が小さくなるため, 履歴効果が大きくなったものと考えられる. $t/Lu = 1/10$ の場合, $t/Ld = 1/5$ との組み合わせでは遷移領域が最も小さくなる.

$\theta = 45^\circ, S/H = 0.3$ の場合, $2.5 \leq La/H \leq 3.75$ の範囲では, La/H による遷移領域の範囲はあまり変化しない. この場合, dc/H の値が 0.7 程度より大きくなると常に射流となり, 0.5 程度より小さいと常に跳水が形成される. このことから, $S/H = 0.3$ の場合, $dc/H \leq 0.5$ の減勢対策として有効であることが推定される.

$\theta = 90^\circ, S/H = 0.3$ の場合, $2.25 \leq La/H \leq 4.75$ の範囲では, La/H による遷移領域の範囲はあまり変化しない. この場合, dc/H の値が 0.6 程度より大きくなると常に射流となり, 0.5 程度より小さいと常に跳水が形成される. このことから, $S/H = 0.3$ の場合, $dc/H \leq 0.5$ の減勢対策として有効であることが推定される.

$\theta = 45^\circ$ と 90° の比較から, $\theta = 45^\circ$ より $\theta = 90^\circ$ の方が遷移領域が小さくなる. $\theta = 90^\circ$ の場合, 落差部を通過する越流水脈の流線の曲がりによって異なり, 減勢池への衝突位置が異なるが, $\theta = 45^\circ$ の場合は斜面に沿うため, 衝突位置が流量規模によって変化しない. このことから遷移領域の範囲が異なったものと考えられる.

$S/H = 0.3$ の掘り込み型減勢工の場合, La/H を 2.5 以上にする事によって, $dc/H \leq 0.5$ で常に安定跳水が減勢池内で形成され, $t/Lu = 1/10, t/Ld = 1/5$ の組み合わせが, 遷移領域が小さくなり, 減勢対策として有効である.

6. まとめ

図 1 に示す掘り込み型減勢工について, 表 1 に示す実験条件のもとで実験的に検討した.

$S/H = 0.3$ の場合, 減勢池内を射流で通過する場合, 安定した跳水が形成される場合に大別され, 同一の水理条件でも流量変化の条件によって射流または跳水が形成される履歴効果が生じる. すなわち, 遷移領域が存在する.

各流況が形成されるための水理条件を明らかにし, $S/H = 0.3, dc/H \leq 0.5$ で安定跳水が減勢池内で形成され, $t/Lu = 1/10, t/Ld = 1/5$ の組み合わせが減勢対策として有効であることを見いだした.

落差部の減勢工として水理設計を確立するために, $S/H > 0.3$ を含めた系統的な検討が必要である.

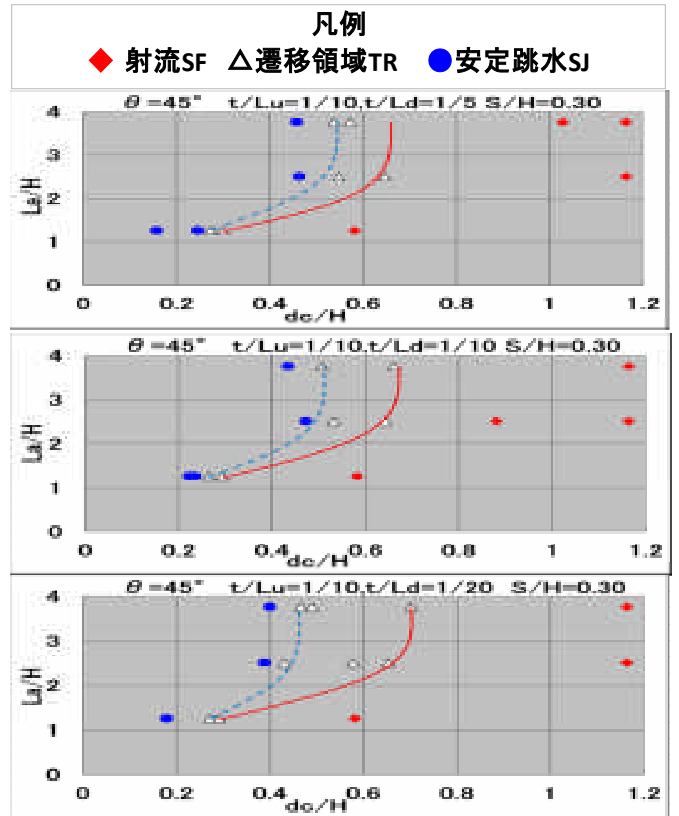


図 2 $\theta = 45^\circ$ における La/H と dc/H の関係

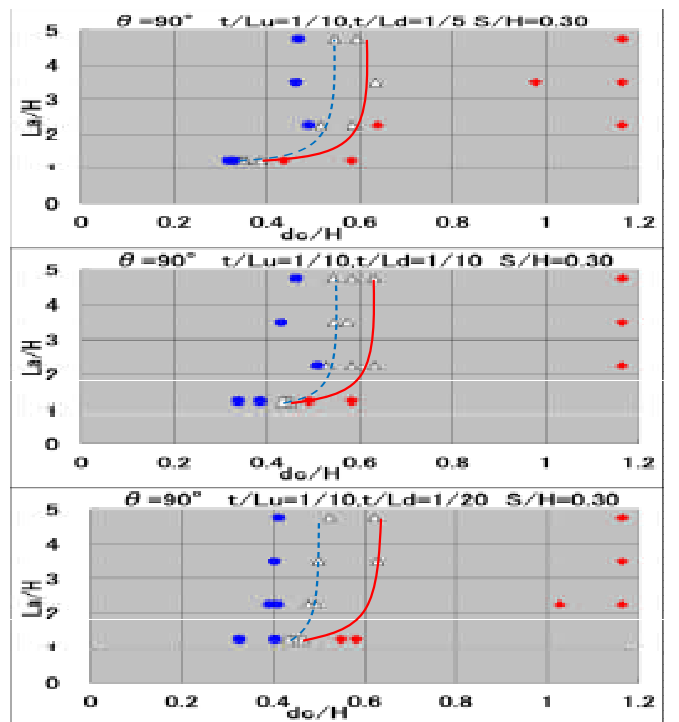


図 3 $\theta = 90^\circ$ における La/H と dc/H の関係

参考文献

- 1) 建設省河川局監修, 改訂新版 建設省河川砂防技術基準(案)同解説・設計編[II], 技法堂出版, 1999.
- 2) 水理公式集(平成 11 年度版)財団法人土木学会水理委員会発行 pp. 272-273, 1999.
- 3) 安田陽一著, 技術者のための魚道ガイドライン—魚道構造と周辺の流れから分かること—, 北海道魚道研究会編, コロナ社, 144 pages, 2011.
- 4) 黒川, 植松, 安田, 第 55 回日本大学理工学部学術講演会, H3-19, CD-ROM, 2010.11.
- 5) 黒川・安田, 第 66 回土木学会年次学術講演会, 第 II 部門, CD-ROM, 2011.09.