

低落差構造物下流側の掘り込み型減勢工に関する実験

Experiments on Energy Dissipater with Excavated Stilling Basin below Low Drop Structures

日本大学理工学部土木工学科 正会員 安田 陽一
 日本大学理工学部土木工学科 正会員 高橋 直己
 日本大学大学院理工学研究科土木工学専攻 学生会員 ○青木一繁

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えん堤・砂防えん堤、河床低下や洗掘を防ぎ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。これらの落差構造物下流側では、洪水時における減勢対策として、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、落差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)}。

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することによりブロック底面側の砂礫が吸い出され、ブロックが不等沈下することで、ブロックに過剰な流体力が作用し、ブロックが流出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⁾。

本研究では、洪水流による落差構造物下流側の跳水の位置を安定させて河床低下を防ぎ、平常時の落差構造物における水生生物の降河環境の安全性を高めることを目的として提案された落差構造物直下流の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減勢池内の流況について検討を行い、掘り込み深さ、減勢池下流部の階段工、および落差部の越流面角度が減勢池内の跳水の形成条件に与える影響を明らかにした。

表1 実験条件

dc (m)	0.030 ≤ dc ≤ 0.231	Lu (m)	0.05, 0.10, 0.20, 0.40
H (m)	0.10, 0.20	Ld (m)	0.05, 0.10, 0.20, 0.40
t (m)	0.01, 0.02	t/Lu	1/5, 1/10, 1/20
S	2t, 3t	t/Ld	1/5, 1/10, 1/20
$\theta = 45^\circ$		$\theta = 90^\circ$	
La (m)	0.125, 0.180, 0.250 0.375, 0.500, 0.750	La (m)	0.125, 0.225, 0.250, 0.350 0.450, 0.475, 0.700, 0.950
La/(H - S)	1.79, 2.27, 3.27, 3.57, 4.55, 5.36, 6.82	La/(H - S)	1.79, 2.27, 3.21, 4.09, 5.00, 6.36, 6.79, 8.64

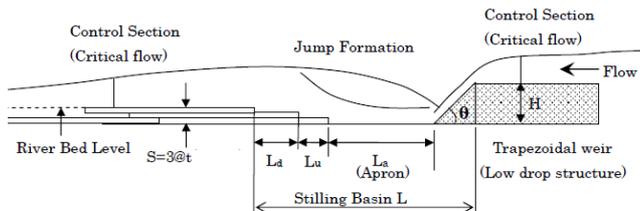


図1 提案した掘り込み型減勢工

2. 実験

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。

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)の影響を受けない場合を想定し、減勢池直下流側で支配断面(限界流が形成される断面)が生じる状態(図1参照)で検討している。また、減勢池下流部のステップ高さおよびステップ勾配、および相対掘り込み深さを変化させて検討を行った。

流量については装置の都合で0.231 m³/sを上限とし、流量変化の方向(増加・減少)を変えて減勢池内で形成される流況の遷移過程を検討した。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)、越流水脈下面側が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、両岸側に袖が設置されているため、越流水脈の下面側が大気圧となる場合が多いことによる。

水深の測定にはポイントゲージを用いた。流況の記録には、デジタルカメラを用い、流況の静止画および動画を撮影した。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。

減勢池内での流況

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=0.30 および S/H=0.45 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、減勢池内での流況は射流, 不安定跳水, 安定跳水に大別される。減勢池内で射流(SF)の状態から安定跳水(SJ)に遷移する場合と SJ から SF に遷移する場合では遷移するときの流量規模が異なる。すなわち、履歴効果が生じ、流量の変化する方向によって異なる。なお、不安定跳水(UJ)は履歴が生じる遷移過程で形成される。

各流況の形成領域

与えられた t/Lu, t/Ld, および S/H に対して、掘り込み部において安定跳水および射流が形成される領域について La/(H-S) と dc/(H-S) との関係で整理し、 $\theta=90^\circ$ の場合を図2に、 $\theta=45^\circ$ の場合を図3に示す。図中の実線より左側の領域は常に安定跳水(SJ)が形成され、破線より右側の領域は常に射流(SF)が形成される。掘り込み部における流況は、流量の時間変化の割合によって境界を示す dc/(H-S) の値に差があるため、ここでは流量変化による非定常性を最小限にとどめるように流量を変化させ、掘り込み部に形成される流況の遷移過程を検討した。また、各流況の境界は幅を持たせて表示した。相対掘り込み深さ S/H=0.30 の場合、掘り込み部で安定跳水 SJ が常に形成される dc/(H-S)

の上限値は0.6~0.8程度となる。また、 $\theta=90^\circ$ の場合、 $La/(H-S)=3$ 前後で $dc/(H-S)$ の極値を持つ。これは $La/(H-S)=3$ 前後で落差部からの流れが上流部のステップエッジに衝突するため、安定跳水が形成される流量規模が大きくなったものと考えられる。 $La/(H-S)$ が1.8付近ではSJからSFに遷移する $dc/(H-S)$ の値とSFからSJに遷移する $dc/(H-S)$ の値との差が $\theta=90^\circ$ の場合より $\theta=45^\circ$ の場合の方が大きい。落差部を越流する流れの衝突位置が段上がり部付近になると、主流の流線の曲がり方が段上がりの影響を受け小さくなりSFが形成される。 $\theta=90^\circ$ の場合、境界を示す $dc/(H-S)$ 付近では落差部を越流した流れが上流側のステップ上に衝突するが、 $\theta=45^\circ$ の場合、SJからSFに遷移する $dc/(H-S)$ の値では越流する流れが越流面に沿い水平水叩き部に衝突するため、より大きい流量規模で越流する流れの衝突位置が段上がり部付近となりSFに遷移する。 $La/(H-S)$ が大きくなり減勢池の長さが大きくなるとSJからSFに遷移する過程において掘り込み部に形成されている表面渦が下流側に移動し、減勢池終端断面における水面の変動が大きくなる。これを受けて掘り込み部逆勾配区間における主流の流線の曲がり方が不安定になりUJが形成されやすくなる。

S/Hが0.45の場合、S/H=0.30の場合に比べてSFからSJに遷移する境界を示す $dc/(H-S)$ の値およびSJからSFに遷移する境界を示す $dc/(H-S)$ の値が大きくなる。これは、掘り込み部の大きさが大きい方が主流の流線の曲がり方が大きくなるため、S/H=0.30の場合より大きい流量規模までSJが形成されたものと考えられる。

SJからSFへの遷移過程において、UJの形成される $dc/(H-S)$ の範囲がS/H=0.30の場合と比較して広がる。この場合、掘り込み深さが大きい方が、減勢池終端部における水面変動が大きく掘り込み下流部の階段工を通過する主流の流線の曲がり方が大きいため、 $dc/(H-S)$ の値が大きくなり、流線の曲がり方が小さくなることなく、SFに遷移しなかったものと考えられる。また、 $La/(H-S)$ が3.5より小さい範囲においては、越流水脈が上流側ステップに衝突したことによる影響が大きいため、SJの形成される $dc/(H-S)$ の上限値とSFの形成される $dc/(H-S)$ の下限値の差が小さくなったものと考えられる。なお、越流面角度による境界線の違いは小さい。

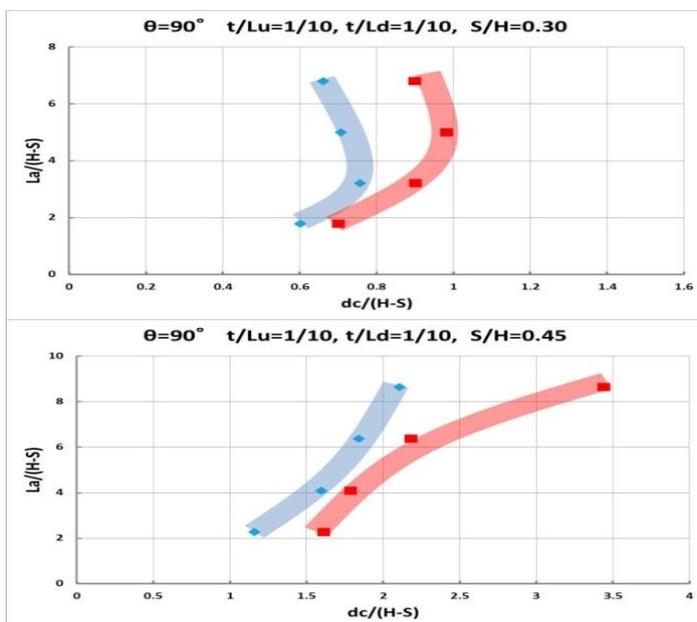


図2 $\theta=90^\circ$ の場合、流況の形成領域

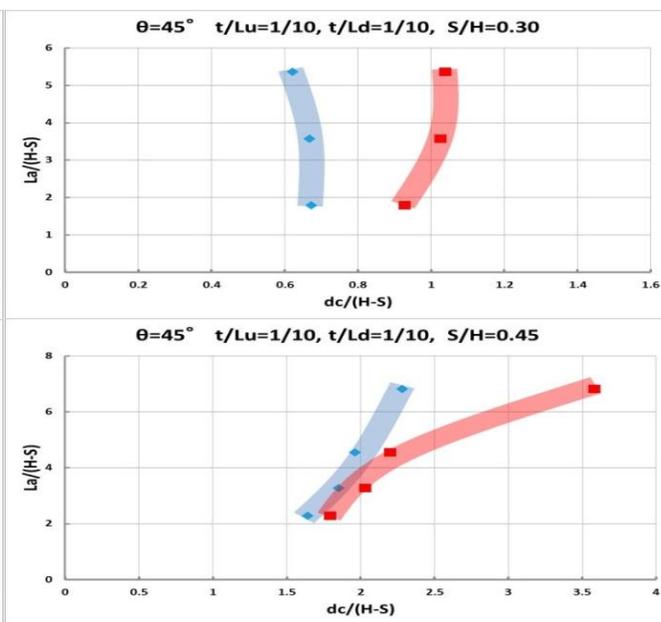


図3 $\theta=45^\circ$ の場合の流況の形成領域

まとめ

落差構造物下流側の河床の安定化および水生生物の降河環境を考慮した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、減勢池内の流況の形成に対する掘り込み深さ、減勢池内のステップ勾配、および落差部越流面の傾斜角度の影響を検討した。検討の結果、減勢池に形成される安定跳水(SJ)が形成される相対落差 $dc/(H-S)$ の値は相対掘り込み深さS/H、相対水平水叩き長さ $La/(H-S)$ 、越流面角度 θ によって異なることを示した。すなわち、S/H=0.30の場合、SJの境界を示す $dc/(H-S)$ の値は0.6~0.8程度となり、S/H=0.45の場合、相対水叩き長さ $La/(H-S)$ が大きくなるにつれてSJの境界を示す $dc/(H-S)$ の値は大きくなることを示した。また、越流面角度 θ が 45° でS/H=0.30の場合、 $La/(H-S)$ が1.8付近においてはSJに遷移する $dc/(H-S)$ の値が $\theta=90^\circ$ の場合と比較して大きくなることを示した。

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.
- 6) 安田, 植松, 第67回土木学会年次学術講演会, 第II部門, CD-ROM, 2012.09.
- 7) 安田, 植松, 第56回日本大学理工学部学術講演会, H3-3, CD-ROM, 2012.11.
- 8) 安田, 植松, 第55回日本大学工学部学術研究報告会, 土-2-7, 2012.12.
- 9) 青木, 植松, 安田, 第40回土木学会関東支部技術研究発表会, 第II部門, 2013.3