

H3-13

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

○青木 一繁¹, 安田 陽一², 高橋 直己²

※Kazushige Aoki¹, Youichi Yasuda², Naoki Takahashi³

Abstract: This report presents experimental investigation on the flow condition in pool type stilling basin below low head drop structure. The flow condition in stilling basin was classified into supercritical flow, unstable jump, and stable jump. The effect of the direction of change of change of discharge on the formations of supercritical flow and stable jump has been discussed. Also, the hydraulic conditions required to form supercritical flow in stilling basin has been compared the measurement flow velocity and uniform flow velocity.

1. まえがき

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、Table1 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、ステップ勾配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。また、洪水規模の増大に伴い、減勢池内で射流が形成される場合、掘り込み型減勢池による減勢機能を確認するため減勢池直下流側の流速を測定し、落差構造物による流れの加速の影響を最小限に制御できることを示した。

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 (Table1 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 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、流速の測定にはプロペラ流速計を用いた。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。

Table 1 Experimental Condition

dc(m)	0.030 ≤ dc ≤ 0.2310	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	3t	t/Ld	1/5, 1/10, 1/20
θ=45°		θ=90°	
La(m)	0.125, 0.180, 0.250, 0.375, 0.50, 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

3. 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。Figure 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。Table 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^{4)~10)}。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。

4. 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) との関係が整理し、θ=90°の場合を Figure 2 に、θ=45°の場合を Figure 3 に示す。図中の青線より左側の領域は常に安定跳水(SJ)が形成され、赤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

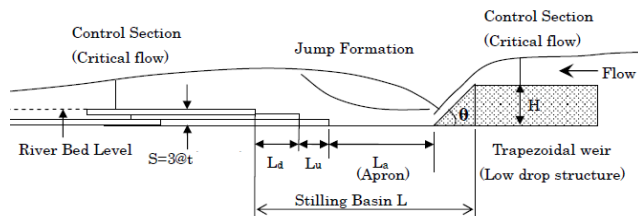


Figure1. Energy Dissipater with Excavated Basin

2. 実験

Figure1 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水理条件によって異なる

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 $0.6 \sim 0.8$ 程度となる。また、 $S/H=0.45$ の場合では検討した水叩き長さが長くなるほど安定跳水(SJ)の形成領域が広がるのがわかる。 $La/(H-S)$ 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角が段上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角が不安定になり UJ が形成されやすくなる。

5. 射流時の減勢池終端での流速

減勢池内を射流(SF)で流れている場合の減勢池終端での流速を測定し減勢機能について検討した。測定は横断面中央部の水面付近、中央部、河床付近で行った。Figures 2, 3 に示す遷移領域、赤線の境界線付近および常に射流となる領域を検討対象領域とした。測定流速 V を同一の流量規模でかつ横断構造物による落差の影響がない等流状態を想定したときの流速 V_0 で無次元化し、遷移領域内と射流境界線付近を検討した結果、 V/V_0 は 1.0 以下であった。また、常に射流が形成される領域では、 V/V_0 は 1.2 以下であった。すなわち、洪水規模が大きくなり、減勢池内で射流が形成されても、掘り込み型減勢工の機能が維持できていることが推定される。

6. 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を対象に、Table 1 に示す実験条件のもとで、相対的な掘り込み深さ、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を変化させ減勢池内の各流況の形成条件を示した。すなわち、減勢池内に安定跳水(SJ)が形成されるための水理条件は相対落差 $dc/(H-S)$ 、相対掘り込み深さ S/H 、相対水叩き長さ $La/(H-S)$ 、越流面角度 θ によって支配されることを示した。 $S/H=0.30$ の場合、 SJ の境界を示す $dc/(H-S)$ の値は $0.6 \sim 0.8$ 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。洪水規模の増加に伴い減勢池内を射流で流下する場合、減勢池直下の流速 V は同一の流量規模でかつ横断構造物による落差の影響がない等流状態を想定したときの流速 V_0 と同等程度となり、掘り込み型減勢工の設置によって落差構造物による流れの加速が最小限になるように制御できることを確認した。

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
 10) 青木, 安田, 高橋直己, 第 68 回土木学会年次学術講演会, 第 II 部門, CD-ROM, 2013.09.

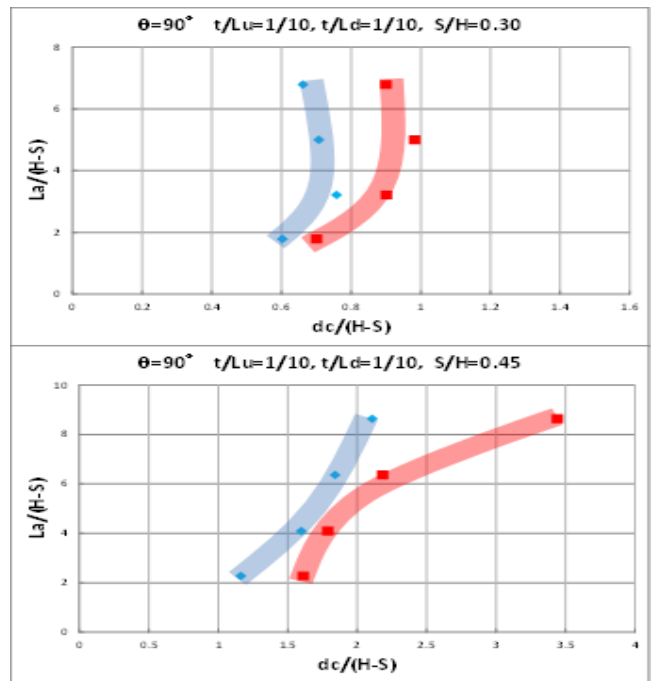


Figure 3 Hydraulic Conditions for the formations of SJ and SF

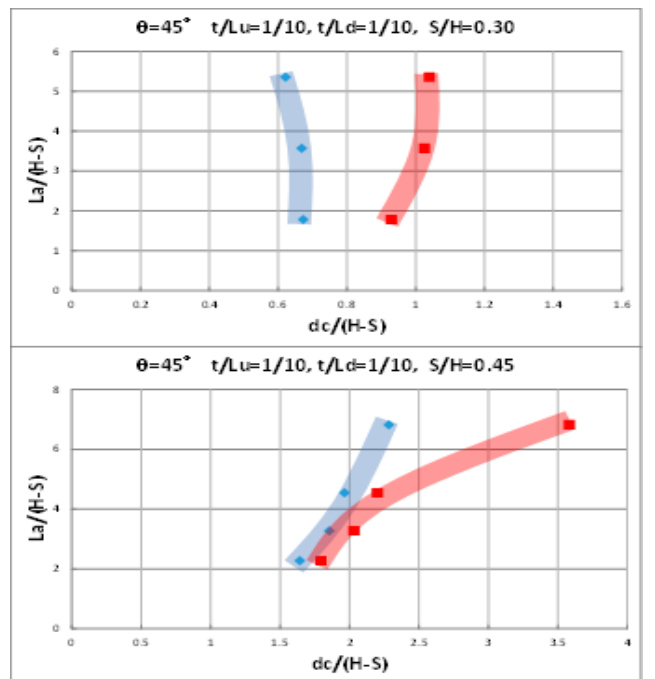


Figure 2 Hydraulic Conditions for the formations of SJ and SF