

落差構造物下流側に設置する掘り込み型減勢工の水力 Hydraulics of energy dissipater with excavated stilling basin downstream of drop structures

安田陽¹, ○青木一繁²
Youichi Yasuda¹, *Kazushige Aoki²

Abstract: This report presents the effect of excavated stilling basin on the velocity decay of flow passing over drop structure. The flow velocities just below a stilling basin for the formations of stable jump and supercritical flow were measured, and the comparison of the supercritical velocity on a horizontal apron without excavated stilling basin reveals that the existence of excavated pool is important for the velocity decay in stilling basin.

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。これら落差構造物下流側では大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)}。

水力条件によっては落差構造物下流側で超過洪水、または中小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、超過洪水時に跳水が形成されず、また中小洪水時に跳水が形成された場合であっても、河床付近を沿う高速流が射流で流下することによりブロック下部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、ブロックが流出する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、Table 1.に示す実験条件のもと、減勢池終端で流速について検討を行った。

流量規模の増減に伴い、減勢池内で射流、跳水が形成される場合、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。

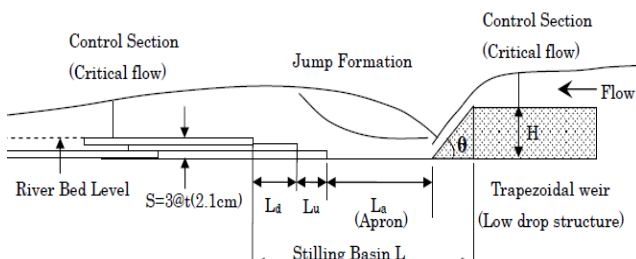


Figure 1. Energy Dissipater with Excavated Basin

Table 1. Experimental Condition

dc(m)	$0.030 \leq dc \leq 0.2310$	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
$\theta=45^\circ$		$\theta=90^\circ$	
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

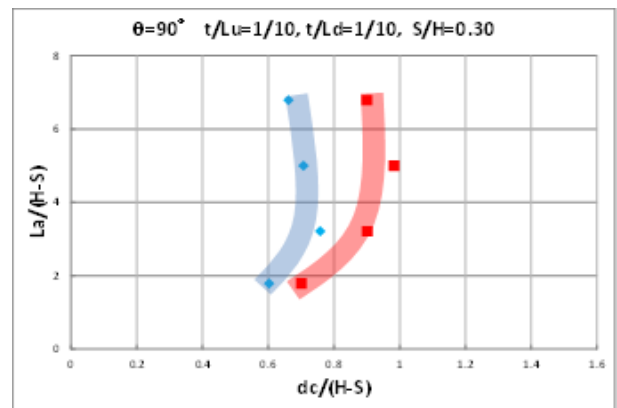


Figure 2. Hydraulic Conditions for the formation

(Case $\theta=90^\circ, t/Lu=1/10, t/Ld=1/10, S/H=0.30$)

2. 実験

Figure 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、Table 1.に示す実験条件のもとで、フルードの相似則に基づいて実験を行った。落差構造物下流側の水位は水力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(Table 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 $0.231 \text{ m}^3/\text{s}$ を上限とし、流量変化の方向(増加・減少)を変えて行った。越流水脈角度が 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兩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。

3. 掘り込み型減勢工による流速の制御

減勢池内での流況を検討するにあたり、相対掘り込み深さ $S/H=0.30$ の場合を対象とした。Figure 1. に示す減勢池内で形成される流況は越流面角度 θ 、相対落差 $dc/(H-S)$ 、水叩き相対長さ $La/(H-S)$ 、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。Table 1. に示す実験条件のもとで検討した結果、減勢池内で形成される流況は射流(SF)、不安定跳水(UJ)、安定跳水(SJ)に大別される^{4)~10)}。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。

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 $dc/(H-S)$ との関係で整理したグラフの一例を Figure 2. 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。青線と赤線の間では流量の変化方向(増加・減少)に伴って射流、不安定跳水、安定跳水が形成される遷移領域である。また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、各流況の境界は幅を持たせて表示した。

減勢池内を射流(SF)で流れている場合と減勢池内で安定跳水(SJ)が形成さ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。流速 V_d の測定は横断面中央部の河床付近、水面付近、その中間部分で行った。Figure 2. に示す常に射流となる領域、常に射流が形成される下限の境界線(赤の境界線)付近、遷移領域、および安定跳水が常に形成される上限の境界線(青の境界線)付近の流速を検討した。

Rand による落差部を越えた流れの水利条件をもとに算定した流速 V_R を用いて、 V_d/V_R と $dc/(H-S)$ との関係で整理したものを Figure 3. に示す¹²⁾。Figure 3. a) は掘り込み減勢池下流端の流速比を示し、Figure 3. b) は掘り込み部を無くした場合の流速比を示す。ここに V_R は Rand によって提案された実験式⁷⁾を用い算定した流速を示し、測定流速 V_d と同一の流量規模で落差構造物から水平水叩きに落下したことによる流速の加速の影響を評価するために適用している。

Figure 3. a) に示されるように、常に射流となる領域、および常に射流が形成される下限の境界線(赤の境界線)付近、遷移領域(射流が形成された状態)では、 V_d/V_R の値は 0.5~0.8 程度となり、安定跳水が常に形成される上限の境界線(青の境界線)付近では、 V_d/V_R は 0.4 を下回っている。また、射流が形成された場合でも V_d/V_R の上限値で Rand の式⁷⁾より算定した平均流速 V_R の 0.8 倍程度と減勢機能が維持されることが確認される。なお、掘り込み部を無くした場合、Figure 3. b) に示されるように、 V_d/V_R の値は 0.9 となる、これは、衝突点より下流側での流速を測定したことによる。Figure 3. a), b) の比較から、掘り込み型減勢池の存在が減勢機能として重要であることが確認できる。

4. 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、掘り込み型減勢工の水利特性について実験的に検討を行った。

減勢池内を射流(SF)で流れている場合と減勢池内で安定跳水(SJ)が形成されている場合について掘り込み型減勢工による流速の減勢機能について検討するため、Rand による落差部直下の流速評価式を用いて構造物による落下の影響を加味した流速 V_R と減勢池下流端の流速 V_d との比 V_d/V_R として検討した結果、跳水が形成される場合には V_d/V_R の値は 0.4 程度とな

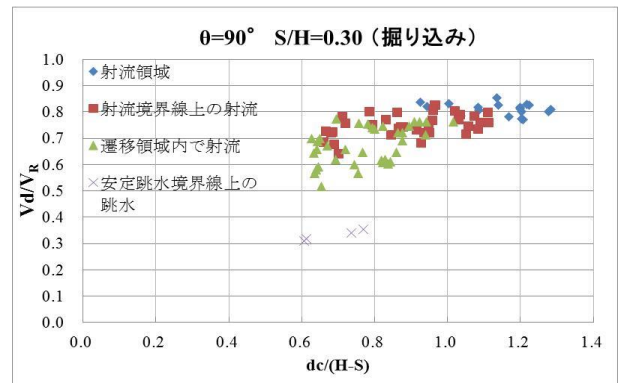


Figure 3. a) Case Velocity Ratio of Installed Excavated Stilling Basin

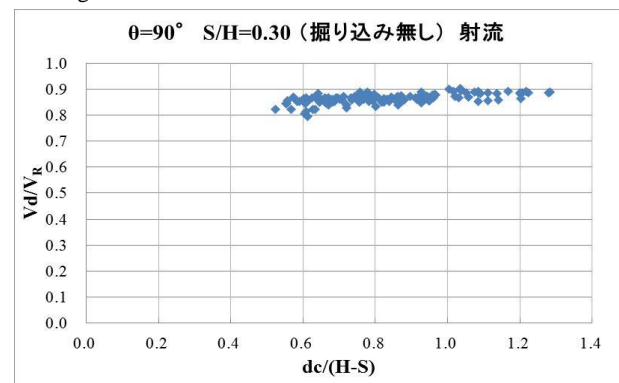


Figure 3. b) Case Velocity Ratio of Not Installed Excavated Stilling Basin

り、流速が掘り込み部で減勢されていることが確認された。また射流が形成された場合でも V_d/V_R の上限値で V_R の 0.8 倍を下回り、掘り込み型減勢池の存在によって流速の減勢機能が維持されていることが分かった。なお、掘り込み部が無い状態を想定して流速を測定した結果、 V_d/V_R の値は 0.9 倍程度となることが示された。

5. 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, 第 68 回土木学会年次学術講演会, 第 II 部門, CD-ROM, 2013.09.
- [11] 青木, 安田, 高橋, 第 57 回日本大学理工学部学術講演会, H3-13, CD-ROM, 2013.12.
- [12] Rand, W., Flow geometry at straight drop spillways, Journal of Hydraulic Division, Proc. ASCE, Vol.81, No791, pp.1-5, 1955.