

H3-3 低落差構造物下流のプール式減勢工における跳水の形成条件

Hydraulic condition for jump formation in pool type stilling basin below low head drop structure

○植松 翼¹, 安田 陽一²*Tasuku Uematsu¹, Youichi Yasuda²

Abstract: This report presents experimental investigation on the flow conditions 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 discharge on the formations of supercritical flow and stable jump has been discussed. Also, the hydraulic condition required to form stable jump in stilling basin has been compared between trapezoidal and abrupt drops.

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。

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)}。

しかし Photo 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、落差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),6)}。

ここでは、Table 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、掘り込み型減勢工の掘り込み深さおよび落差部の越流面角度が減勢池内の跳水の形成に与える影響を明らかにした。



Photo 1. Local scour downstream of the weir at Power generation

2. 実験条件

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)が生じる状態(Figure 1 参照)で検討している。本報では、ステップ数を変化させず、ス

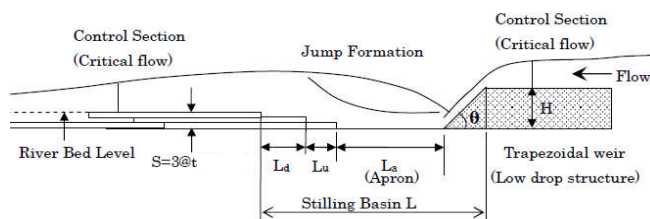


Figure 1. Energy Dissipaters with Excavated Basin

Table 1. Experimental Condition

dc(cm)	$3.1 \leq dc \leq 12.9$	Lu(cm)	5, 10, 20, 40
H(cm)	20, 10	Ld(cm)	5, 10, 20, 40
t(cm)	2, 1.5, 1	Lu/t	5, 10, 20
S	2t, 3t	Ld/t	5, 10, 20
$\theta=45^\circ$		$\theta=90^\circ$	
La(cm)	12.5, 18, 25, 37.5, 50, 75	La(cm)	12.5, 22.5, 25, 35, 45, 47.5, 70, 95
La/H	1.25, 1.8, 2.5, 3.75	La/H	1.25, 2.25, 3.5, 4.75

テップ高さを変化させ、相対掘り込み深さを大きくした。また、流量規模は $0.1168 \text{ m}^3/\text{s}$ 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)、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。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. 減勢池内での流況

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。

掘り込みプール部における流況は次のように区別される⁶⁾。

- 跳水が形成されず、射流が形成される流況 (SF)。
- 落差構造物から越流した流れが段上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)。
- 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流況。(SJ)

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)の形成はこの遷移過程で生じることがある。

4. 流況の形成

与えられた $t/Lu, t/Ld$ および S/H に対して, La/H と dc/H との関係で整理したものについて, $\theta = 45^\circ$ の場合を Fig. 2 に, $\theta = 90^\circ$ の場合を Fig. 3 に示す. 図中の点線は $S/H=0.30$ の場合における遷移領域 TR と安定跳水 SJ との境界, 実線は射流 SF と遷移領域 TR との境界を示す. 一点鎖線は $S/H=0.45$ の場合における遷移領域 TR と安定跳水 SJ との境界, 二点鎖線は射流 SF と遷移領域 TR との境界を示す. ここで示す遷移領域とは流量の変化方向によって跳水から射流へ, 射流から跳水へ遷移するときの dc/H が異なる. すなわち, 履歴効果が生じる. このことから, 点線および一点鎖線より左側はそれぞれ SJ の形成領域であり, 実線および二点鎖線より右側はそれぞれ SF の形成領域となる.

越流面角度 θ が $45^\circ, 90^\circ$ の場合において, 相対掘り込み深さ $S/H=0.30$ と $S/H=0.45$ の安定跳水 SJ の形成領域を比較すると, $S/H=0.45$ の場合, $S/H=0.30$ の場合と比べて dc/H が広い範囲で SJ が形成される. これは相対掘り込み深さ S/H が大きくなると落差部から潜り込んだことによって生じる表面渦の領域が大きくなるため, 流量規模が大きくても安定した跳水が形成されやすくなるものと考えられる.

越流面角度 θ が 45° の場合, Fig. 2 に示されるように, $S/H=0.30, La/H \geq 2.5$ の範囲では dc/H が約 0.4 以下で安定跳水(SJ)が形成される. $S/H=0.30$ と 0.45 の場合を比較すると, 履歴効果によって生じる遷移領域が $S/H=0.3$ の方が大きくなる. また, $t/Lu, t/Ld$ によって遷移領域が異なり, $S/H=0.3$ の場合にその遷移領域の違いが大きくなる. これは相対掘り込み深さ S/H が小さいため, 跳水中の表面渦の形成が減勢池下流部の階段の勾配に影響されやすくなり, 遷移領域が異なったものと考えられる.

越流面角度 θ が 90° の場合, Fig. 3 に示されるように, 相対水叩き長さ (La/H) が大きくなるにつれて遷移領域 TR の形成領域が大きくなる傾向がみられる. これは La/H が大きくなるにつれて, プール内に形成される跳水の表面渦の形成が dc/H によって異なり, 遷移領域が大きくなったものと考えられる. また, $S/H=0.30, La/H \geq 2.5$ の範囲では dc/H が約 0.4 以下で安定跳水 (SJ) が形成され, $\theta=45^\circ$ と同様の結果となる. また, $t/Lu, t/Ld$ による遷移領域の違いは $\theta=45^\circ$ の場合と比べて小さい. これは, 落差下流面が鉛直面であり, 落差部からの越流水脈の流線の曲率が越流面に拘束されなかったためと考えられる.

5. まとめ

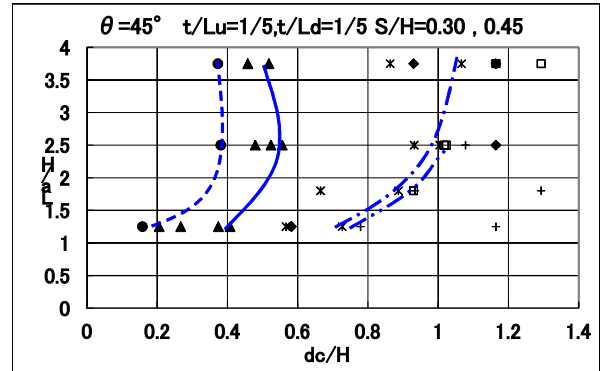
掘り込み型減勢工について, Table 1 に示す実験条件のもとで, 減勢池内の流況の形成に対する掘り込み深さおよび落差部下流面の傾斜角度の影響を検討した. $S/H=0.30, La/H \geq 2.5$ の範囲では dc/H が約 0.4 以下で安定跳水(SJ)が形成されることを示した. また, $S/H=0.45$ の場合, $S/H=0.30$ の場合と比べて dc/H が広い範囲で SJ が形成されることを示した. $\theta=45^\circ$ および 90° の場合の SJ の形成領域の違いを示した.

参考文献

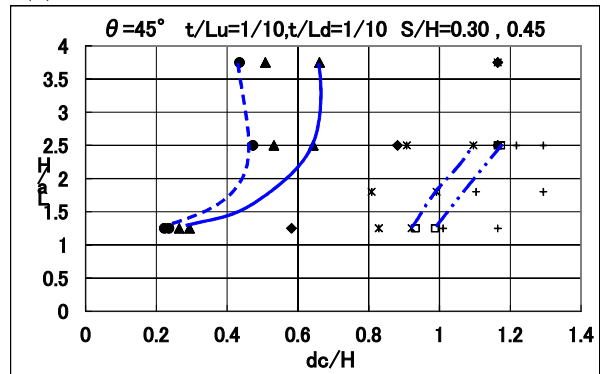
- 1) 建設省河川局監修, 改訂新版 建設省河川砂防技術基準(案)同解説・設計編[II], 技法堂出版, 1999.
- 2) 水理公式集(平成 11 年度版)財団法人土木学会水理委員会発行 pp. 272-273, 1999.
- 3) 安田陽一著, 技術者のための魚道ガイドライン—魚道構造と周辺の流れから分かること—, 北海道魚道研究会編, コロナ社, 144 pages, 2011.
- 4) 黒川, 植松, 安田, 第 55 回日本大学理工学部学術講演会, H3-19, CD-ROM, 2010.11.
- 5) 黒川・安田, 第 66 回土木学会年次学術講演会, 第 II 部門, CD-ROM,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

凡例

- :安定跳水SJ ($S/H=0.30$) ▲:遷移領域TR($S/H=0.30$)
- ◆:射流SF($S/H=0.30$)
- *:安定跳水SJ ($S/H=0.45$) □:遷移領域TR($S/H=0.45$)
- + :射流SF($S/H=0.45$)

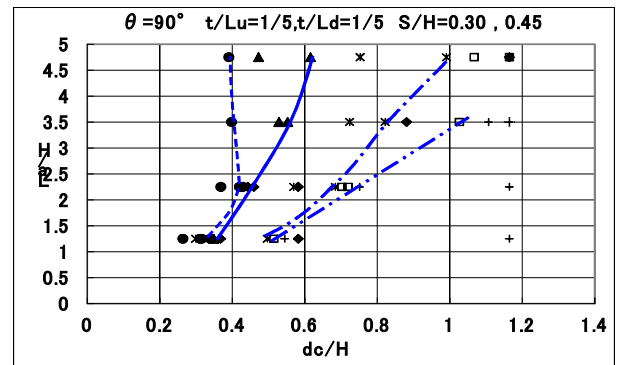


(a)

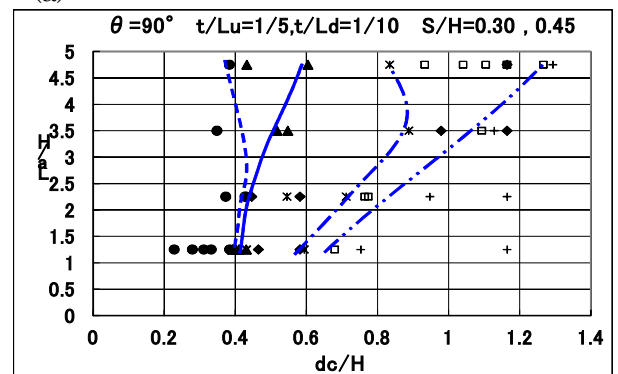


(b)

Figure 2. Hydraulic conditions for the formations of SJ and SF ($\theta = 45^\circ$)



(a)



(b)

Figure 3. Hydraulic conditions for the formations of SJ and SF ($\theta = 90^\circ$)