

落差構造物下流側に設置する掘り込み型減勢工の水理機能

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

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

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)}が、落差構造物下流側で洪水時の減勢機能が発揮されていないことが多い³⁾。

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⁾。

本研究室では、表1に示す実験条件のもとで、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を提案し⁴⁾⁻⁸⁾、掘り込み型減勢池内で跳水が形成されるための水理条件を明らかにした⁹⁾⁻¹¹⁾。しかしながら、減勢池内に射流が形成される場合の減勢効果については不明である。水工設計上、掘り込み型減勢池の水理機能を明確することは重要である。

ここでは、掘り込み型減勢池による減勢機能を明らかにするため、減勢池内で跳水が形成される場合ばかりでなく射流が形成される場合を含めて、減勢池直下流側の流速を測定し、落差構造物から落下した流れがどの程度制御できるのかについて実験的に検討を行った。

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水理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(表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 m³/sを上限とし、減勢池内で形成される流況(跳水・射流)を対象に検討した。

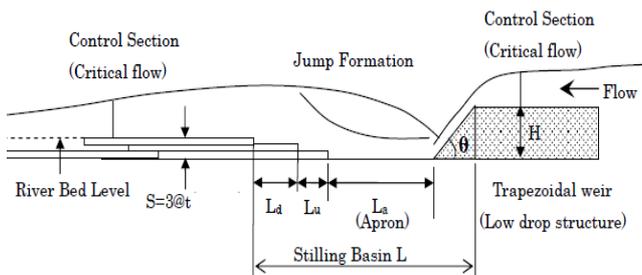


図1 提案された掘り込み型減勢工

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ベラ流速計を用いた。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。

表1 実験条件

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

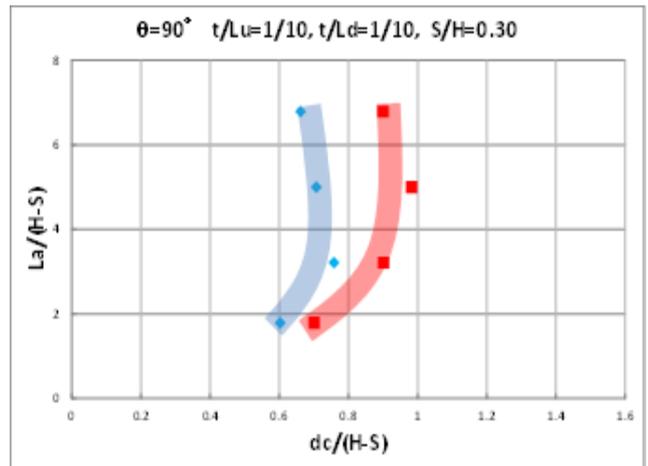


図2 射流・安定跳水の形成領域

(θ=90°, t/Lu=1/10, t/Ld=1/10, S/H=0.30 の場合)

3. 減勢池内での流況

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 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 などによって変化し、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、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。

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一例を図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

キーワード 減勢池・射流・跳水・等流流速・計画河床勾配

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

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。なお，各流況の境界は測定判定誤差を考慮して幅を持たせて表示している。

4. 掘り込み型減勢工による流速の制御

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横断面中央部の河床付近で行った。測定は図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。Vd/Voとdc/(H-S)との関係で整理したものを図3に示す。図3(a)は掘り込み減勢池下流端の河床付近での流速を示し，図3(b)は掘り込み部による減勢機能を示すために，比較検討材料として掘り込み部を無くした場合(この場合の流況は射流)の流速を示す。ここに，Voは等流状態の流速を示し，測定流速Vdと同一の流量規模で横断構造物による落差の影響がない状態で算定している。すなわち，計画河床勾配および原型と模型との縮尺をそれぞれi=1/30，縮尺1/10(H=20cmの場合)または1/20(H=10cmの場合)と想定し，また粗度係数をn=0.030としてマンニングの平均流速公式および連続の式から等流流速を算定した。

図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，Vd/Voの値は0.8~1.2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，0.4~0.8となる。すなわち，跳水が形成される場合には流速が十分減勢されていることが確認される。また，射流が形成された場合でもVd/Voの上限値で等流の断面平均流速の1.2程度と減勢機能が維持されることが推定される。また掘り込み部を無くした場合，図3(b)に示されるように，Vd/Voの値は1.1~1.6となり，特にdc/(H-S)が小さくなるほどVd/Voの値が大きくなることから，掘り込み型減勢工としての機能の重要性が確認できる。

5. 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，表1に示す実験条件のもとで，掘り込み型減勢工の水理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，計画河床勾配，原型と模型との縮尺，および粗度係数を想定し，構造物による落差の影響がない等流状態の断面平均流速Voと減勢池下流端の流速Vd(河床付近での流速)との比として検討した結果，跳水が形成される場合にはVd/Voの値は0.4~0.8の間となり，流速が掘り込み部で減勢されていることが確認される。また，射流が形成された場合でもVd/Voの上限値で等流の断面平均流速の最大で1.2程度となり，掘り込み型減勢工による減勢機能が維持されていることが分かった。さらに，局所洗掘防止として，減勢池直下での河床付近の高速流の制御ができていたことが分かった。なお，掘り込み部が無くした状態で流速を測定した結果，Vd/Voの値は1.1~1.6となり，検討した範囲のほとんどが1.2以上を示した。特にdc/(H-S)が小さくなるほど

凡例

●	安定跳水境界線付近
◆	遷移領域内(射流)
■	射流境界線付近
▲	常に射流が形成される領域

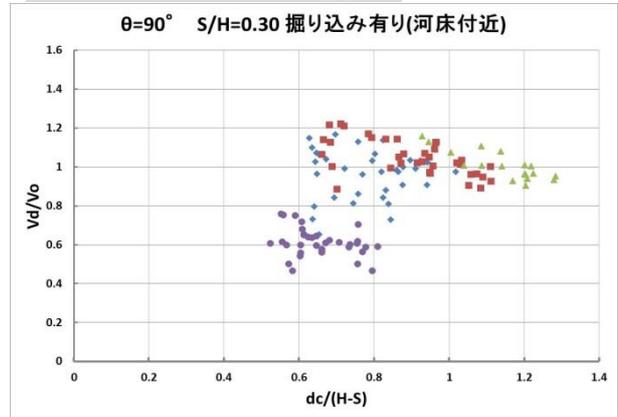


図3(a) 掘り込み型減勢池を設置した場合の流速比

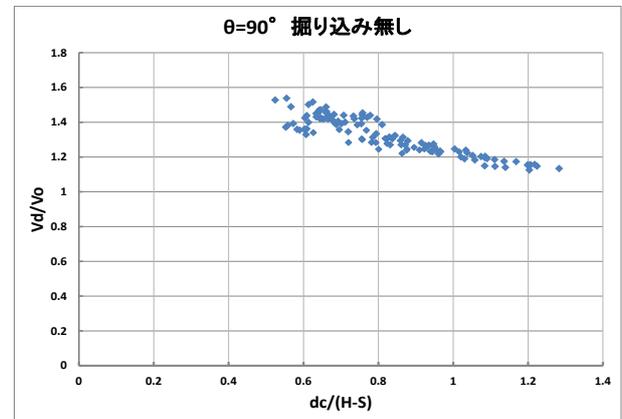


図3(b) 掘り込み部が無い場合の流速比

Vd/Voの値が大きくなることが示された。すなわち，掘り込み部を設けることによって高速流の制御に有効性であることを示した。

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，士-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.