

# 水生生物の環境保全に配慮した副ダム下流側の減勢工の提案 Proposal of Energy Dissipator at Downstream of Sub-Dam in consideration of Environmental Preservation for Aquatic Animals

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		池間	裕輝
日本大学理工学部土木工学科	学生会員	石井	啓介
日本大学理工学部土木工学科	学生会員	佐藤	麻衣
北海道開発局旭川開発建設部		秋山	泰祐

## 1. まえがき

多様な水生生物が生息する河川にダムが建設される場合には生態系保全を踏まえたダムの建設が絶対条件となっている。ダム設置による多様な水生生物の遡上・降河の阻害要因を最小限にとどめるために、効果的な魚道を整備する必要がある。落差が大きく、ダムによって湛水湖が形成される場合には、魚道形式として、バイパス魚道を採用することがある。これは、ダム下流の溪流に生息する遊泳魚等を速やかに湛水（常時満水位のときの湛水）の影響を受けない箇所まで導くとともに、ダム上流で成長した降河魚等を速やかにダム下流に導くためである。バイパス魚道の場合、魚道上流端では毎年起き得る流量変動に対して降河魚がダム湖に迷入せずに魚道を通して降河できる分水施設を設けること<sup>1)</sup>が重要である。また、ダム直下で魚道下流端が位置する場合、発電放水口が下流側遠方に位置し、魚道から発電放水口までの区間が減水区間である環境、または発電放水口が魚道下流端近くにあっても誤って放水口に迷入する可能性のある環境は望ましくない。魚道下流端での迷入対策として、通常時の流れを基本として対策を講じることが多いが、洪水時の流れの影響を考慮していない場合がほとんどである。

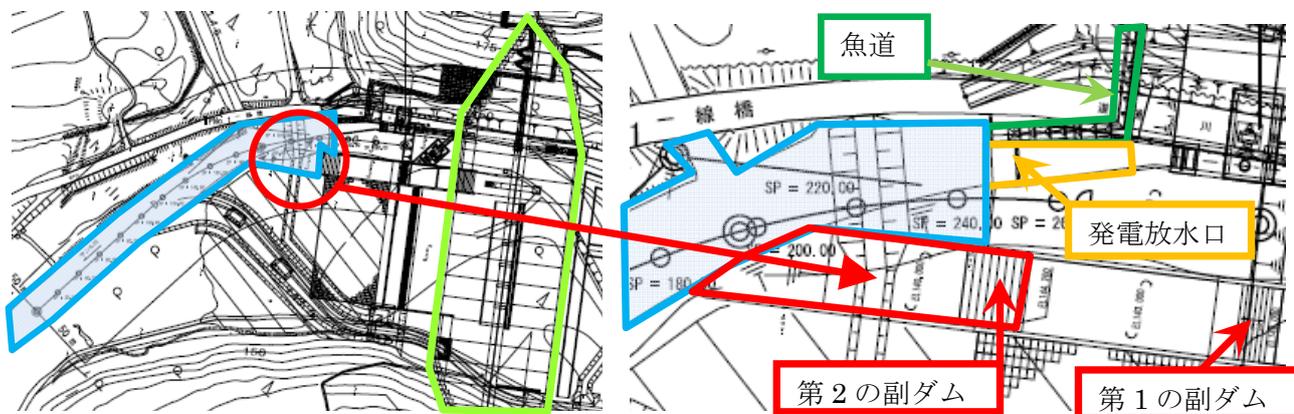
常用洪水吐きからの高速流を減勢するために跳水の形成を利用するのが一般的であり、その跳水必要水深を確保するために副ダムが設けられている場合が多い。副ダム下流側では通常、水叩きおよび護床ブロックが設置されている。しかしながら、副ダム下流側で護岸の侵食や河床低下などが発生し、水生生物の生息・移動・産卵環境が乱される場合がある。これは、副ダム下流部の流況が十分推定できていないこと、水生生物の生態環境に配慮した設計ではないことが挙げられる。

ここでは、常用洪水吐き下流側に設置される副ダムが魚道下流端および発電放水口に隣接する状態を想定したときの水生生物の環境保全に配慮した副ダム下流側の減勢工を提案し、実験によって、様々な洪水規模に応じた副ダム下流側の流況を把握し、流況を特徴づけた。

## 2. 実験

第1段階として、2次元的に取り扱った状態で副ダム下流に設置される提案減勢工の減勢機能を検討するため、水路幅 B = 80cm, 水路長 15m を有する長方形断面水平水路に 18.8 分の 1 の縮尺模型を設置して実験を行った（水路下流側に設置された全幅堰で流量測定を行った）。第2段階では、図1に示すダムと副ダムと魚道と発電放水口との位置関係の中で提案減勢工の減勢機能を検討することとなる。この場合、行政機関との協議の中で実験を行うことになり、減勢工の向きや3次元性の影響などを検討する。

水深測定にはポイント・ゲージを用い、流況の記録にはデジタルカメラを用いた。実験条件として、常用洪



(a) ダム本体と副ダムとの位置関係

(b) 第2副ダムと発電放水口と魚道との位置関係

図1 想定しているダムと副ダムと魚道と発電放水口との位置関係

キーワード 減勢工, 跳水, 迷入防止, 副ダム, 階段工

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

水吐きからの計画最大流量  $150\text{m}^3/\text{s}$  が生じるまでの流量を変化させ、ここでは、11 ケース (原型規模 150, 139, 125, 106, 81, 61, 45, 36, 28, 17,  $10\text{m}^3/\text{s}$ ) の実験を行った。なお、実験はフルードの相似則に従う。

### 3. 減勢工の提案と減勢工の特徴

副ダム (図 1 に示す第 2 副ダム) 下流側に設置する提案減勢工を図 2 に示し、減勢工模型を写真 1 に示す。副ダム下流側の減勢工を提案するときの制約条件は、副ダムの位置、副ダム天端、減勢工の幅 (15 m)、河川との接続位置、河床のレベル、通常時の河川水位、 $150\text{m}^3/\text{s}$  時の河川水位が定められていること、である。提案減勢工の特徴を以下に示す。

- 副ダムの越流面の形状を階段工とし、同一の相対ステップ高さ (ステップ高さと限界水深との比) に対して疑似等流状態での流水抵抗係数が最も大きくなる勾配<sup>2)</sup>とする。すなわち、階段工の勾配は3分の1とする。また、ステップ高さを 52.5cm とし、小流量時に誤って副ダムから遡上しないようにする。
- 様々な流量変化に対して、常に副ダム直下で減勢機能が発揮できるように、副ダムからの流れを跳水現象によって減勢する。そのため、 $150\text{m}^3/\text{s}$  時には跳水が副ダム直下に形成されるように減勢池の底面を下げて跳水必要水深<sup>3,4)</sup>を確保する。
- 跳水の位置を安定させ、跳水部内の主流の位置が下流側遠方まで底面近くにならないために、段上がり部を設ける。なお、副ダム下流端から段上がりまでの水平距離は常用洪水吐きからの計画最大流量時に形成される跳水の遷移長 (限界水深の 12.5 倍<sup>4)</sup>) とする。
- 段上がり部から河川までの遷移区間では、逆勾配とし、逆勾配区間終端部で限界流が生じるようにする。この場合、勾配変化に伴う流速の急激な加速を避けるため、逆勾配を 1/20 以下とする (ここでは 1/21 勾配とした)。これに伴い、段上がり部の高さを 1m とする。
- 右岸側に位置する河川と減勢工との接続環境が 3 次的であることから、逆勾配区間にその点を配慮する。

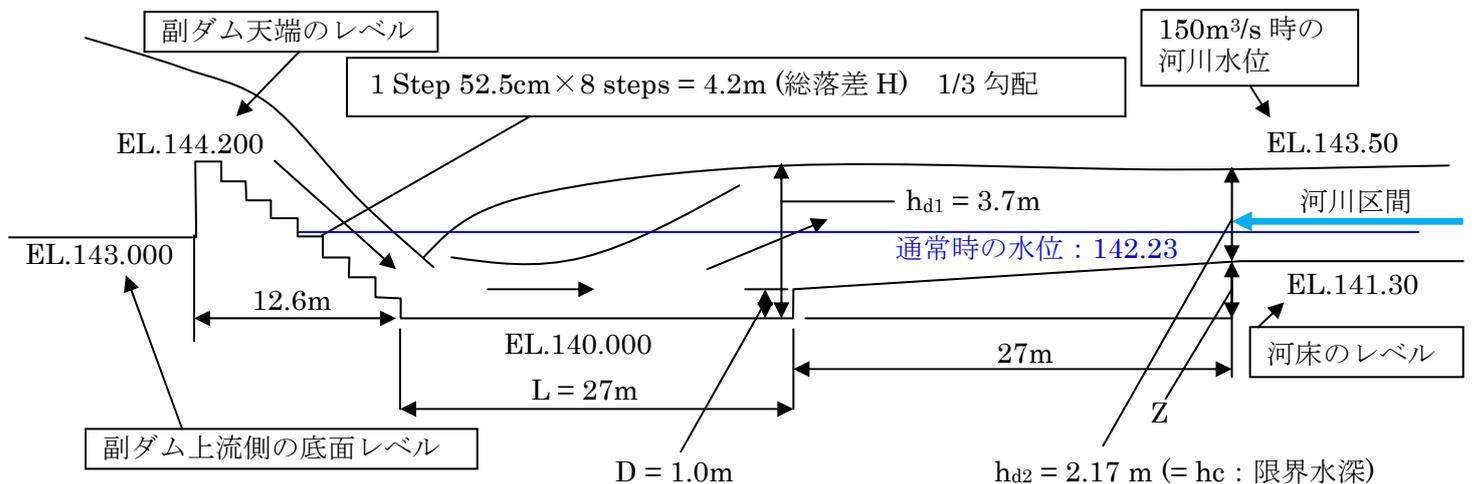


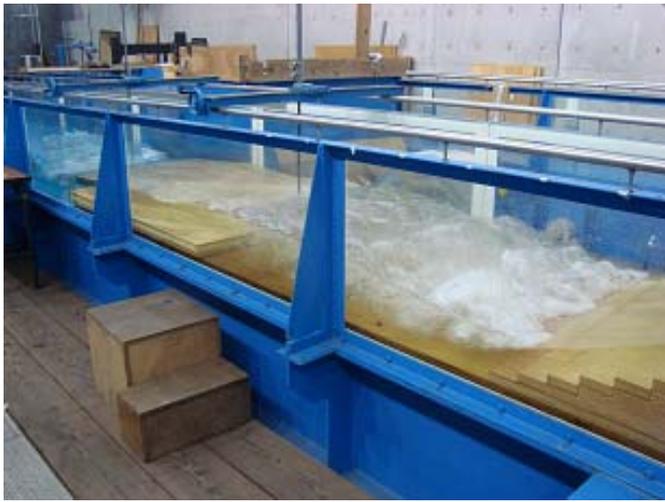
図 2 提案減勢工の概略と  $150\text{m}^3/\text{s}$  時の推定流況図 (記号の定義を含む)



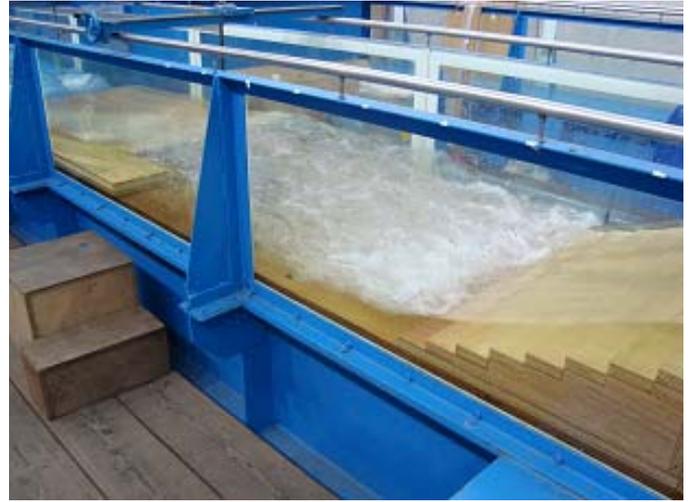
(a) 下流側から見た状態  
写真 1 提案減勢工模型



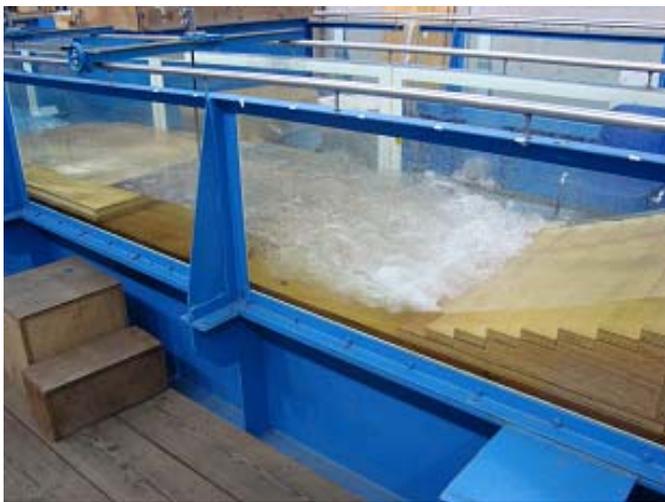
(b) 上流側から見た状態



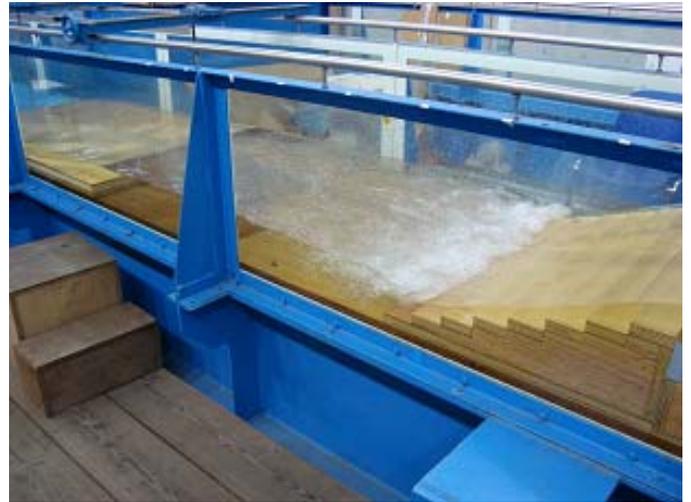
(a)  $Q = 150 \text{ m}^3/\text{s}$  時の流況



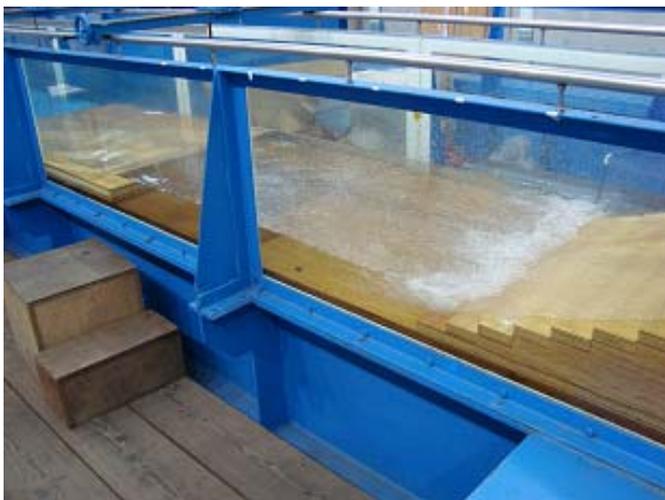
(b)  $Q = 125 \text{ m}^3/\text{s}$  時の流況



(c)  $Q = 81 \text{ m}^3/\text{s}$  時の流況



(d)  $Q = 45 \text{ m}^3/\text{s}$  時の流況



(e)  $Q = 28 \text{ m}^3/\text{s}$  時の流況



(f)  $Q = 10 \text{ m}^3/\text{s}$  時の流況

写真2 減勢工において形成される流況

#### 4. 減勢池内の流況

写真2に流量規模が  $150 \text{ m}^3/\text{s} \sim 10 \text{ m}^3/\text{s}$  まで変化したときの減勢工内の流況を示す。写真に示されるように、常に跳水が減勢池内に形成されることが確かめられる。写真2(a)に示されるように、流量規模が  $150 \text{ m}^3/\text{s}$  の場合でも、跳水始端が階段工の下から2段目に位置することが分かった。推定段階では、跳水始端が階段工直下に位置する状態で想定していたが、今後3次元的な流出の影響を考慮すると、下流水位が低下することが推

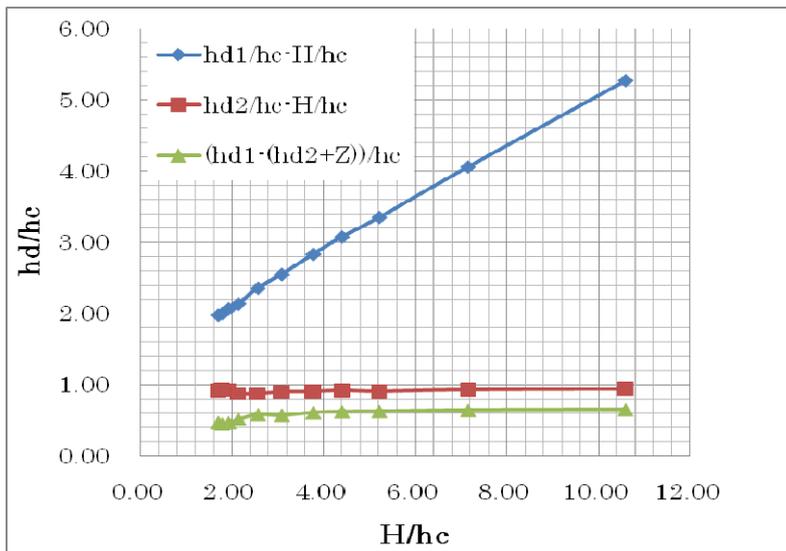


図2 流量規模による減勢工内の下流水深の変化

定されるため、2次元的に減勢工を流下する場合の跳水始端位置は妥当なものと考えられる。階段工下流端から段上がり部までの長さについては、跳水部に見られる気泡の連行状態および主流の位置から判断して、 $150 \text{ m}^3/\text{s}$  で形成される跳水長に相当する長さの1.1倍相当になることから、長さの設定についても妥当なもの判断することができる。

流量規模が小さくなると、表面渦が形成される領域が短くなり、 $100 \text{ m}^3/\text{s}$  未満では減勢池内の半分以下の領域で完了する。すなわち、減勢工から河川に接続する流れは安定した状態が得られやすく、河床低下の原因を軽減し、生態環境の保全ができるものと推定される。

跳水始端の位置については、流量規模にかかわらず階段工の下から2段目付近に位置する。このことから、副ダムから越える流れが射流となる区間が確保され、遊泳魚等が副ダムに誤って向かったとしても遡上は困難な状態となり、隣接する魚道に向かう環境が得られやすいものと考えられる。

### 5. 減勢工内の下流水深の変化

図2に流量規模によって減勢工内の2箇所の下流水深  $h_{d1}$ ,  $h_{d2}$  (図1参照) がどのように変化するかを、 $h_{d1}/hc = f(H/hc)$ ,  $h_{d2}/hc = f(H/hc)$ ,  $[h_{d1}-(h_{d2}+Z)]/hc = f(H/hc)$  の関係で整理したものを図2に示す。図2に示されるように、計画最大流量時の副ダムの相対落差  $H/hc = 1.69$  に対して文献(3,4)からの外装値(相対ステップ高さ  $s/hc \geq 0.5$  以上の擬似等流状態における跳水必要水深)として  $h_{d1}/hc = 1.7$  であるのに対して、相対ステップ高さは  $s/hc = 0.24$  であり、相対下流水深  $h_{d1}/hc = 1.98$  であった。このことから、従来の文献では相対総落差が小さい場合の情報がなく、正確な推定ではなかったが、安全側に評価できたものと考えられる。

相対総落差  $H/hc$  による相対下流水深  $h_{d1}/hc$  の変化については、ほぼ直線的であることが分かる。また、逆勾配下流端での相対下流水深  $h_{d2}/hc$  についてはほぼ1弱であり、常に限界流近い流れになっていることが分かる。2箇所の水位差  $h_{d1}-(h_{d2}+Z)$  を調べてみると、常に段上がり部の影響が認められ、相対総落差が大きくなるにつれて  $[h_{d1}-(h_{d2}+Z)]/hc$  の値がほぼ一定値を示すことがわかった。

### 6. まとめ

図1に示す常用洪水吐き下流側に設置される副ダムが魚道下流端および発電放水口に隣接する状態を想定したときの水生生物の環境保全に配慮した副ダム下流側の減勢工を提案し(図2, 写真1), その特徴を説明した。既存の文献に基づき、提案減勢工の寸法を決定し、実験によってその妥当性を検証した。また、実験によって、流量規模の変化に伴った副ダム下流側の流況を示し(写真2), 流況を特徴づけることができた。さらに、流量規模による減勢工内の下流水深の変化特性を示すことができた。今後、本実験結果に基づき3次元的な流出の影響を考慮した検討を進めていく予定である。

### 参考文献

- 1) Miyafuji.H. and Yasuda,Y., Proposal of total migration route systems bypassing a dam-lake installed in Sanru dam, 33<sup>rd</sup> IAHR Congress, Vancouver, Canada, Aug., 2009, C1, CD-ROM.
- 2) 高橋, 安田, 大津, 階段状水路の流水抵抗と水理設計法, 流体力の評価とその応用に関する講演集, 第4巻, 2006, pp.57-64.
- 3) Ohtsu.I., Yasuda,Y., and Takahashi,M., Flow characteristics of skimming flows in stepped channels, Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, Vol.130, No. 9, 2004, pp.860-869.
- 4) Yasuda,Y., Characteristics of plunging flows in stepped chutes, Fluvial, Environmental and Coastal Developments in Hydraulic Engineering, Taylor & Francis Group, London, 2004, pp.7-15.