

生態系保全と治山・治水との

調和のとれた河川環境

—えん堤周辺の連続性に考慮した河川技術—

この原稿は2014年9月19日に開催された森林部門技術士会 研究例会（森林環境部会）にて講演した「治山堰堤における魚道の取り組み及び今後の展望」に基づいて取りまとめたものを以下に示す。

1. はじめに

扇状地より上流側に見られる河川形態を対象に水生生物の移動環境・生息環境・産卵環境の確保という視点から河川横断構造物（砂防えん堤・治山えん堤・床止め工）に注目すると、魚道整備が行われているものの、魚道に繋がる河道の状況に様々な課題があることに直面する。具体的には、構造物下流側の局所洗掘および河床低下、魚道周辺の堆積、河道内の樹林化、露岩した河床、動的平衡を失ったことによる浮石の喪失・粗粒化・アーマー化の問題なのである。

魚道は河川横断構造物の補助構造物として位置づけられ、魚道およびその周辺に形成される局所流について数値解析および単純な水理計算からの推定が困難であることや魚道前後の河道整備の重要性が認識されていないため、魚道整備に伴う計画・設計・施工・調査に必要な技術に課題が山積している。すなわち、渇水時・平水時・豊水時・中小洪水の魚道前後（500m 前後）の河川の状況が魚道機能とその維持管理に大きく影響されているにも関わらず、魚道整備における河川流況の検討がなされていない^{1),2),3)}。これは、計画・設計の段階で平水時の流量、計画最大流量に基づいて検討していることが多いためと考えられる。また、魚道内の構造において、魚道形式の選定、魚道ではない一様な水路で検討した遊泳速度・突進速度を指標にした検討、魚道内に流入する越流水深の

安田陽一

日本大学理工学部土木工学科
教授



評価、プール内の断面平均流速の評価がなされている^{4),5),6)}が、流量規模による魚道内および魚道周辺の流況の推定、魚道内の溯上経路とその流れの推定、河川流量と溯上行動との関係などが検討されず、施工された魚道が短期間で機能を失うことがある。ここでは、扇状地より上流側の河床形態を対象とした河川に生息する水生生物の生態系保全と治水・治山のための洪水対策との調和がとれた河道の在り方および河川横断構造物に設置される魚道と河川との関わりを中心とした検討内容を取りまとめたものを示す。

2. 河道の現状と今後の展望

2.1 河床低下が認められない河道の状態

写真1は平水時の溪流河川の河道の状態を示す。溪流河川では洪水時に射流の流れが形成されやすく、掃流力が大きくなることが推定されるが、写真2に示されるように、洪水の流れによって河床の礫同士が組まれた状態になると、掃流されにくくなる。様々な溪流河川を現地観測すると、河道断面が拘束されることなく、中小洪水に至るまで



写真1 河床低下が生じない状態が維持される溪流河川

頻繁に冠水する断面形状を有し、河道幅が平水時の水面幅の2~3倍程度確保される場合、河床低下が生じない河道の状態が維持できる。現時点では経験に基づいた検討結果となっているが、科学的に裏付ける試みとして室内実験を行った。その検討結果については2.3で記述することにする。

2.2 河床低下が認められる河道の状態

写真3~5は河床低下した河道の状態を示す。写真3に示されるように、橋脚周辺の侵食対策として巨礫による護岸が整備され、河道断面が狭くなり、平水時と中小洪水時の冠水幅の違いが小さくなっている。このため、中小洪水流の流速が増大し、掃流力が大きくなり、砂礫が掃流され、橋梁設置箇所から上流側の河床が低下し露岩した状態となっている。すなわち、露岩された箇所の摩擦抵抗が小さくなり、洪水によって輸送された礫が堆積せず、水生昆虫を含む水生生物が生息しにくい環境を造り出している。また、中小洪水流中の水生生物の避難環境についても喪失される。写真4に示す河道の場合、平水時の水面幅の1.2~1.3倍程度の通水幅を確保した状態で護岸が設置されている。このため、中小洪水時に冠水幅が広がらず流速が増大し、掃流力が大きくなり、砂礫が掃流され、一部露岩した箇所が現れるほど河床低下が生じている。写真5に示す河道の場合は、高水敷と低水路からなる複断面として整備された箇所であり、高水敷上では樹林化、低水路内の平坦箇所では堆積が進行し、中小洪水の流れが分散することなく集中して流れるようになったため、6m以上の河床低下が生じている。このことによって、河床に堆積された砂礫が掃流され、露岩した箇所が現れている。本来、湧水としての役割となる地下水が、写真6に示されるように、侵食された河岸の途中から滝のように落下している。すなわち、河川の水温調整機能を失った状態となっているため、水生生物の生息環境・産卵環境・洪水時の避難環境の確保が厳しい状態となっている。

写真7は本川の河床低下によって、支川との合



写真2 礫同士が組み合わさっている状態



写真3 橋脚の過剰な保護によって河道が狭くなって生じた河床低下



写真4 中小洪水流の通水断面が確保されていないことによって生じた河床低下



写真5 高水敷の樹林化および低水路内の平坦箇所の砂礫の堆積によって生じた河床低下



写真 6 河床低下に伴い地下水が滝のように流れている様子（河川の水温調整機能を失った状態）



写真 7 本川の河床低下に伴う支川との合流点での段差（支川としての機能障害を受けた状態）

流箇所で 2m 以上の段差が生じた場合を示す。支川は洪水流中の避難場所、生息・産卵場所として水生生物の生態系に重要な役割を果たすが、本川との段差によってその機能を失っている。

2.3 河道の断面形状による流速場の違い

河道断面形状の違いにより、流量規模の変化に伴い河道断面内の流速がどのように異なるのかを明らかにするために、本学理工学部船橋校舎内の環境水理実験室にある矩形断面水路[長さ 15 m, 水路幅 80 cm, 水路高さ（下流部の高さ）60 cm]に粒径 1cm~3cm の混合粒径を用いた河道模型（写真 8,9 参照）を設置して実験を行った。模型のスケールを 20 分の 1 として想定し、フルードの相似則に基づいて検討を行った。なお、実験で用いた礫径が相対粗度に換算すると大きいものとなるが、実河川の微地形を考慮した河道断面形状



写真 8 緩傾斜型の河道模型（1/20 scale）



写真 9 複断面型の河道模型（1/20 scale）

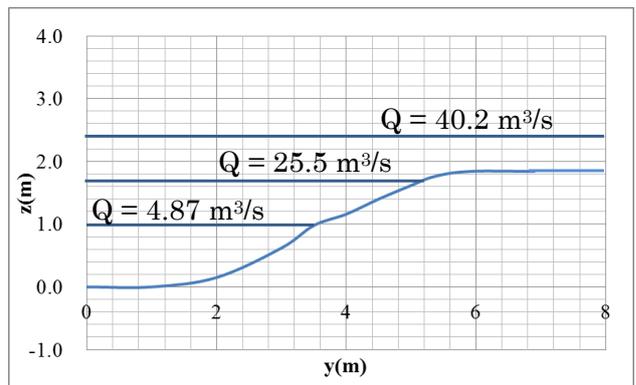


図 1 原型換算した複断面型の河道形状と寸法（半断面のみ表示）

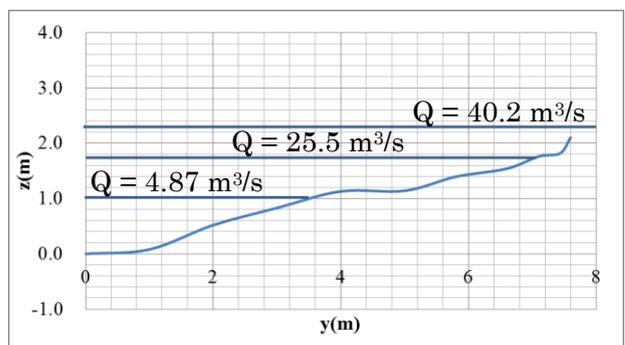


図 2 原型換算した緩傾斜型の河道断面形状と寸法（半断面のみ表示）

(図 1,2 参照) を整形しやすくするために砂利を用いている。水路勾配は 1/272 とした。

流速測定にはケネック社製のプロペラ流速計を用いた (時間平均 30 秒)。河床形状・水深測定については、ポイントゲージを用いている。

断面形状の比較の前提として、平水時の冠水幅、断面形状をほぼ同じ状態とし、緩傾斜型の場合、中小洪水までの流量変動に伴う冠水幅の変化を大きくし、複断面型の場合には、中小洪水時においても平水時の冠水幅と大差が生じない状態とし、その後、中水敷で平坦な箇所では冠水幅が急に広がる状態とした。図 1,2 に示されるように、流量規模による水深の変化については、緩傾斜型断面の方が複断面の場合に比べ、同一の流量に対して、水深が幾分大きくなる。これは河道断面内の断面形状の違いによるものと考えられる。

原型換算した流量規模が $4.6 \text{ m}^3/\text{s}$ (平水時を想定) の流速分布の比較を図 3,4 に示す。図に示されるように、断面形状による流速の違いは小さい。

原型換算した流量規模が $25.5 \text{ m}^3/\text{s}$, $40.2 \text{ m}^3/\text{s}$ のときの複断面型の河道断面内の流速分布を図 5,6 に示し、緩傾斜型の河道断面内の流速分布を図 7,8 に示す。複断面型の場合、流量変化に伴い、流速が最も大きい箇所で 3.0 m/s から約 3.5 m/s と増大し、最深部の水深の 47%~50%の位置で流速が最大を示す。また、流量規模が $40.2 \text{ m}^3/\text{s}$ のときの中水敷に該当する平坦箇所 ($y = 7 \text{ m}$) の流速は 0.5 m/s となる。このことから、洪水時に輸送される土砂が平坦箇所に堆積しやすいことが推定される。また、堆積の進行に伴い、冠水頻度が減少し、堆積中の土砂に含まれる種子が萌芽し、経年的には樹林化が進み洪水流が分散されずに集中した状態で流れ、河床低下が進行する可能性が懸念される。緩傾斜型断面の場合、流速が最も大きい箇所で 2.8 m/s から約 3.0 m/s と増大し、最深部の水深の 57%~82%の位置で流速が最大を示す。緩傾斜型断面の場合、中水敷に該当する平坦箇所がないため、流量規模が $40.2 \text{ m}^3/\text{s}$ のときの $y = 7 \text{ m}$ での流速は $0.9\sim 1.3 \text{ m/s}$ となる。このことから、中小洪水時において、流量規模の増加に伴う流速

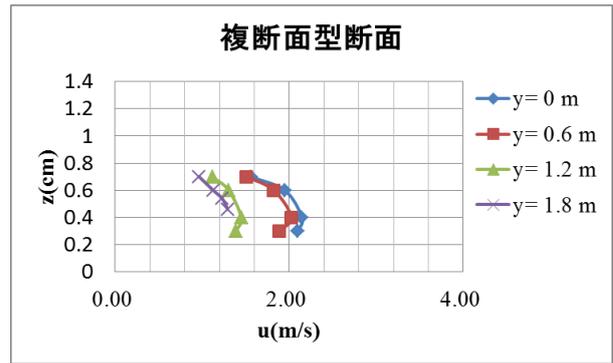


図 3 $Q = 4.6 \text{ m}^3/\text{s}$ の流速分布 (複断面型の場合)

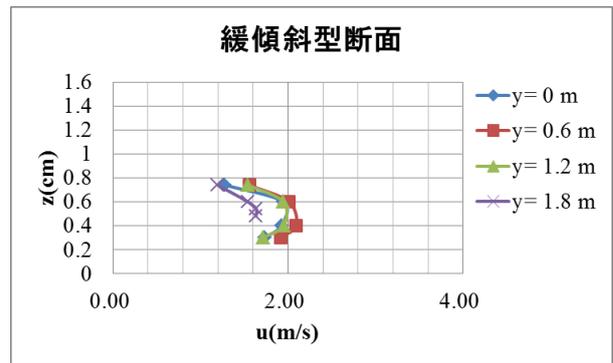


図 4 $Q = 4.6 \text{ m}^3/\text{s}$ の流速分布 (緩傾斜型の場合)

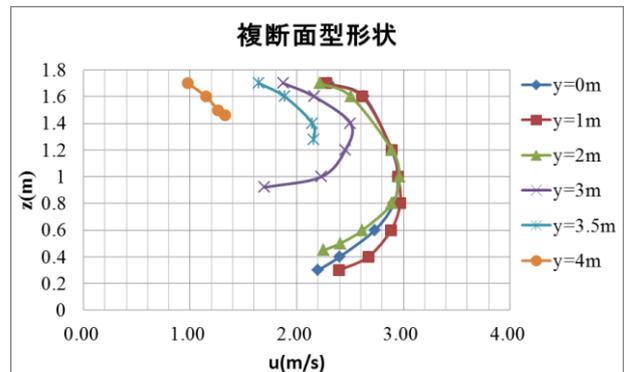


図 5 $Q = 25.5 \text{ m}^3/\text{s}$ の流速分布 (複断面型の場合)

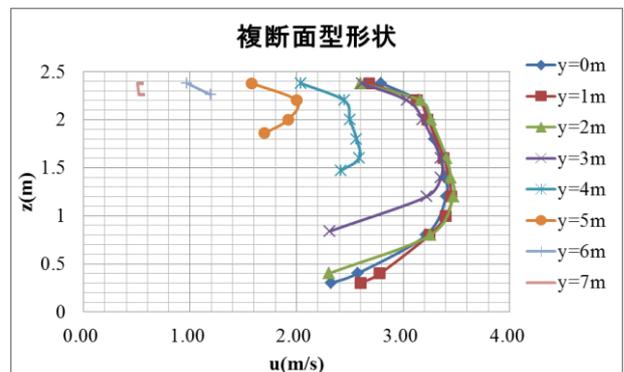


図 6 $Q = 40.2 \text{ m}^3/\text{s}$ の流速分布 (複断面型の場合)

の増大を最小限にとどめることが可能となり、河道中央部の上方に洪水流の主な流れを位置させることが期待される。また、年間に生じる洪水流の流量規模に応じた冠水幅が変化しやすく、輸送される土砂・砂礫の過剰な堆積を最小限にとどめ、輸送される土砂に含まれる種子の萌芽を最小限に抑えることが期待できる。

断面形状による流速分布の違いに関する実験は定性的な傾向と改善の方向性を見出すために行ったものであることから、実河川に適用する場合には、当該河川の河床形態、粒度分布、ハイドログラフに応じて更なる検討を進めていく必要がある。

2.4 河川蛇行部の現状と課題

河川に見られる蛇行部の現状を写真 10~14 に示す。写真 10, 11 に示されるように、洪水時に流れが集中し、河岸侵食および河床低下が生じている。写真 10 の場合は、下流側で接続する本川の河床低下の影響を受けたため河床低下し、写真 11 の場合は、人工的な造成による河道狭窄のため河床低下したものである。

写真 12, 13 に示されるように、常水の少ない河川において、洪水時の流れによって河床低下・河岸侵食が生じない状態になっている。これは、流量規模に応じて冠水幅が変化し、中小洪水時の冠水幅が平水時の 2, 3 倍まで広がるため、河道が動的平衡状態を保たれたものと推定される。写真 13 は淵の形成が認められる場合であり、洪水の増水時に淵に堆積した砂礫が排出され、減水時に輸送された礫が堆積する状態を繰り返している。

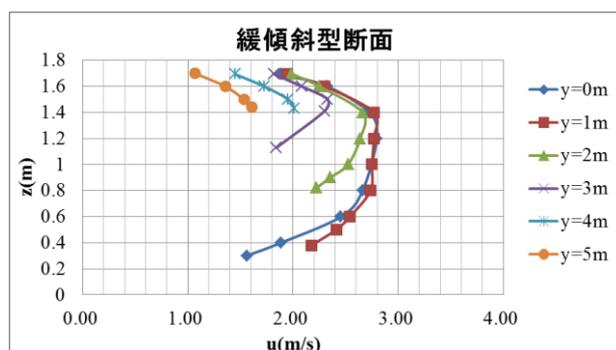


図 7 $Q = 25.5 \text{ m}^3/\text{s}$ の流速分布（緩傾斜の場合）

常水の多い箇所においても、写真 14 に示されるように、河道幅が平水時の冠水幅の 2, 3 倍程度確保され、流量規模に応じて冠水幅が変化する状態であるため、洪水時の流れによって河床低下・河岸侵食が生じていない。

平常時では冠水していない箇所で植生が繁茂し、写真 15, 16 に示されるように、中小洪水時に冠水

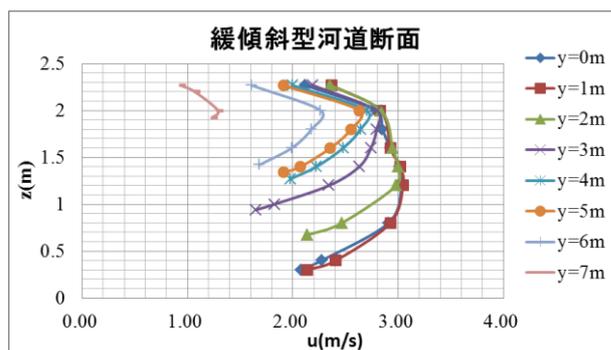


図 8 $Q = 40.2 \text{ m}^3/\text{s}$ の流速分布（緩傾斜の場合）



写真 10 河床低下および河岸侵食した蛇行部



写真 11 蛇行部で河床低下した状況

する状態が確保されることによって、植生内のSS（濁度）が軽減され、増水時の水生生物の避難場所になる。

以上のことから、平水時から中小洪水時にかけて冠水幅が変化する河道断面形状とし、平水時の冠水幅の2,3倍程度の河道幅を確保することが治水に影響することなく水生生物の生態系への配慮



写真 12 常水の少ない河川蛇行部



写真 13 常水の少ない河川における淵の形成を伴った蛇行部



写真 14 常水の多い河川蛇行部

が可能となる。

3. 砂防・治山施設前後の配慮事項

砂防および治山えん堤設置箇所の河道に着目すると、写真 17, 18, 19 に示されるように、河床低下が生じている箇所がある。写真 17 の場合、床固め工下流側で大規模な河床低下が生じている。また、落差部でブロックが設置されているが、流量規模によっては洪水時の流速の制御にはつながらない。写真 18 の場合は、洪水時のスリットからの流れによる局所洗掘と河道の河床低下がつながり、えん堤下流側の布団カゴから河床低下が生じた状態を示している。河道内の河床低下の原因については、前章で記述した通りであるが、局所洗掘については、布団カゴの前後で中小洪水時に水面の凹凸を有する流れとなり、そのため、布団カゴ直下流側の河床に局所洗掘を発生させたことによることが考えられる。写真 17, 18 に示す事例では、河床低下対策として、流量規模の変化に応



写真 15 洪水によって河道内に繁茂した植生内に冠水した状態



写真 16 河道内に繁茂した植生に出水時の流れが冠水した状態



写真 17 砂防施設下流側の河床低下（写真右上は同時期に記録した砂防施設直下流側の状況）



写真 18 スリット化された治山えん堤下流側の河床低下



写真 19 スリット化された治山えん堤前後の河床低下



写真 20 魚道（中央部）を伴う床固め工からの流れの状態

じて冠水幅が変化するように、河道幅を広げ、中小洪水の流れによって輸送される砂礫が補足できるように連続した帯工群を設け、河道の縦横断形状を再整備する必要がある。なお、落差が大きくなった箇所については、掘り込み型減勢工および魚道の整備が必要である。

写真 19 は複断面型スリットを有する治山えん堤の施工時に河道の両岸側（特に左岸側）に巨礫を含んだ現地発生材料で盛り立てた河道を狭めたことによって河床低下した状態を示す。写真に示されるように、河道をほぼ直線化し、かつ河道幅を狭くしたため、中小洪水の流れの流速が増大し、掃流力が大きくなったことから河床低下が生じている。その結果、露岩した箇所が見られるようになり、水生生物の生息環境が厳しくなった状態となっている。この場合、治山えん堤の施工時に整形される河道の縦横断形状に細心の注意を払い、中小洪水時の流れによる河床低下を防止する対策が必要である。また、写真に示されるように河床低下が発生した場合には、連続した巨礫の帯工群を設置することによって、河道の縦横断形状の改善を図る必要がある。

写真 20 は流路工（床固め工）に整備された魚道に通水していない事例を示す。これは、洪水時に輸送される礫が魚道内に堆積することによって魚道機能が低下することを回避するために、魚道上流部に巨礫を設置した事例である。この場合、巨礫を設置したことによって、洪水流に対する巨礫の抵抗が大きくなり、魚道直上流部に滞留した流れが形成され輸送された砂礫が堆積しやすくなっ

たため、通常時の滯筋が巨礫設置場所を避けるように形成され、魚道に通水しない状態が形成されている。すなわち、1年間に頻繁に発生する洪水の流況（流れの状況）を推定して、計画・設計・施工が行われていないことが推定される。

河道が広く、かつ洪水時に輸送される礫の量が多い河川では、滯筋が頻繁に変更する状態となることから、魚道整備する場合には、魚道内に常に通水できる状態とするために、滯筋をコントロールすることが重要である。すなわち、巨礫によって構成される水制を設置し、年に数回生じる程度の洪水では水制工の上を容易に乗り越える水制工の高さを設定し、流心方向に対して斜めに設置することが必要である（写真 21 参照）。

写真 22 は鋼製えん堤によって流木や礫が補足された状態を示す。一般的に、鋼製えん堤の場合、出水時に発生する不安定な砂礫や流木を補足し、土砂管理の観点から粒径の小さいものは下流側に流下させる機能を有している。また、鋼製えん堤としての機能を維持するために補足された砂礫や流木を撤去することが大前提とされているが、どの段階で堆積物を撤去するのか明確な基準が示されていないため、写真に示されるように、礫や流木が補足された状態となり、水生生物の移動を妨げていることになる。

4. 治山えん堤および砂防えん堤に求められる魚道の構造

治山および砂防えん堤の設置区間に魚道が整備される場合、洪水時に輸送される砂礫および流木の影響を無視することはできない。従来の対策として、できる限り魚道内に輸送される礫や流木が入らない仕組みが主流になっていた。この結果、魚道上流部で流れが滞留し砂礫等が堆積しやすい環境となるため、魚道の機能が失われる場合が多い。写真 23 に示すプール式台形断面魚道の場合、洪水時に輸送された巨礫がプール内の洪水流中に発生する乱れによって、排出されることが確認されている⁷⁾。中小洪水時に巨礫が頻繁に輸送される河川にある砂防施設に整備された台形断面魚道



写真 21 滯筋の流路を固定するための水制工



写真 22 鋼製えん堤によって補足された流木と巨石の隙間から通水される状態



写真 23 治山えん堤に設置された折り返し型プール式台形断面魚道



写真 24 片品川の砂防施設に整備された台形断面

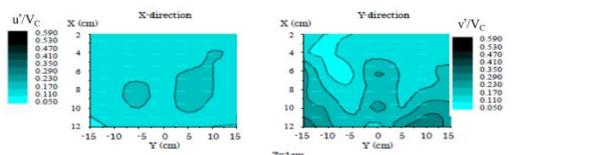
において（写真 24 参照），施工して 3 年目で隔壁の天端付近の摩耗によって 20 cm~30 cm の凹凸が生じている．さらに，3 年経過しても，写真 25 に示されるように，3 年前と大きな違いは見られなかった．これは，隔壁形状が縦断方向（流下方向）にも台形断面（下流面 1 割勾配，上流面鉛直を有する台形隔壁）となっているため，隔壁の耐久力が他と比べて高かったものと考えられる．

洪水時の台形断面魚道内の底面付近の乱れ強さの分布について矩形断面の場合と比較検討したものを図 9 に示す．図中， u' は流下方向の乱れ強さ， v' は横断方向の乱れ強さ， V_c は限界流の断面平均流速（限界流速）， X は流下方向の座標， Y は横断方向の座標である．図に示されるように，矩形断面に比べて乱れ強さは大きく，特に横断方向に揺さぶる流れが形成されるため，横断方向の乱れ強さが流下方向よりも大きくなる．なお，他の魚道

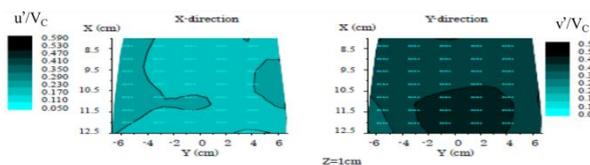
形式の魚道と比べても乱れ強さが最も大きい．以上のことから，プール式台形断面魚道は隔壁の摩耗に対して耐久力を有し洪水時の礫の排出能力が大きいことが推定される 7)．



写真 25 施工竣工から 6 年経過後の状態



a) 矩形断面の場合



b) 台形断面の場合

図 9 同一流量規模の底面付近の乱れ強さの分布の比較



写真 26 台形断面魚道の斜めの側壁の水際に沿って溯上する横エビ



写真 27 溯上する横エビを拡大したもの



写真 28 台形断面魚道の隔壁周辺の水際を降河するモクズガニ



写真 29 台形断面魚道のプール内で確認された溯上するヤツメウナギ

魚道設置場所によって生息する水生生物の種類が異なるため、魚道には多様な水生生物の溯上・降河可能な構造にする必要がある。プール式台形断面魚道では、多様な水生生物の溯上が可能であり、主に水際付近の流れを利用することが確認されている。写真 26~29 は台形断面魚道の隔壁付近における横エビの溯上、モクズガニの降河、およびヤツメウナギの溯上の状況を示す。隔壁付近の遊泳魚の溯上経路として、小型魚から大型魚の様々な魚種の遊泳魚が水際付近の流れを利用することが確認されている⁸⁾(図 10 参照)。図 11 に示されるように、隔壁を越える水際付近の流速は測定箇所によって変化するが、越流水深が変化しても同一の測定箇所の流速はほぼ同程度となる²⁾。すなわち、水際付近の流れが溯上経路として安定していることが分かる。

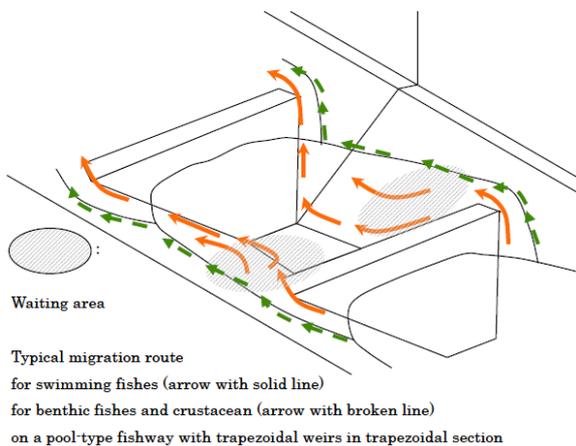


図 10 台形断面魚道における水生生物の溯上経路⁸⁾

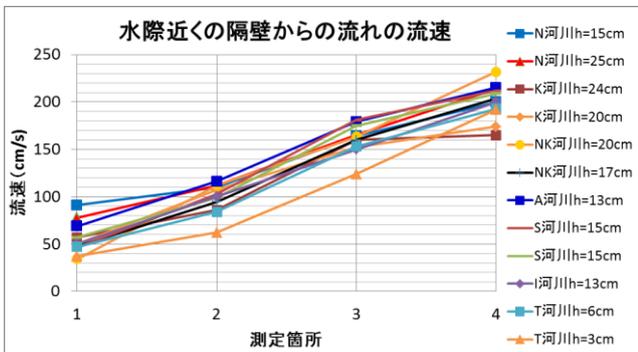


図 11 プール式台形断面魚道設置箇所を実測した隔壁を越える水際近くの流れの流速
測定箇所：1 は隔壁天端付近，2 は越流上流部，3 は越流下流部，4 は潜り込み付近

治山および砂防えん堤に整備する魚道において、河川とのつながりを計画・設計段階でどのように考えているのかが重要である。

写真 30, 31 は平水時に魚道およびえん堤の放水路（水通し）の両方から越流した場合を示す。豊水時では流量の増加に伴い、越流量が増え魚道からの流量に比べてえん堤からの流量が大きくなる。この場合、留意すべきことは、平水時から豊水時にかけて魚道からの流れを河川の上下流を移動する水生生物にどのように気付かせるのかである。

最近では、えん堤下流側でウォータークッション（減勢池）がない場合が見られるが、水生生物の移動を促す魚道施設が設置されている以上は魚道以外から降河できる環境にするために、落差にもよるが、少なくとも 2m 程度で 20cm~30cm, 5m 程度で 50 cm 前後, 10m 程度で 1m 前後のウォータークッション（減勢池）が必要不可欠である。



写真 30 魚道からの流量よりえん堤からの流量の方が大きい場合



写真 31 魚道からの流量の方がえん堤からの流量が大きい場合

水生生物の移動を考慮する場合はウォータークッション（減勢池）があることを前提に記述するが、魚道の最下流端の隔壁の天端のレベルが平水時のウォータークッションの水面のレベルとほぼ同程度となるように設定することが好ましい。また、魚道下流端の設置位置はえん堤からの流れによって形成される気泡混入の影響がなくなり始めた位置とする。すなわち、平水時には潜り込み流れが形成され、豊水時には半潜り込み状態または水面に沿う流れが形成されるようにすることによって、魚道からの流れとえん堤からの流れが合流し、その流れを下流側から溯上する水生生物に感知しやすい環境とする。また、えん堤本体からの流れに迷入した場合でも気泡混入の影響がなくなり始めた位置に魚道からの流れを感知できる状況にすることによって、速やかに魚道へ導くことができる²⁾。

写真 32 は鋼製えん堤に魚道を整備した事例を示す。写真に示されるように、鋼製えん堤下流側に深さ 60 cm 前後の減勢池を設置し、鋼製えん堤からの洪水時の流れによって河床低下防止対策を講じている。この減勢池は掘り込み型の減勢池として設けられ、減勢池下流端には径 1m 前後の巨石を用い空積みで石組みされた状態となっている（写真 33 参照）。また、鋼製えん堤上流側の河道については、建設中に水替えなど、大幅に河道を変えている。そこで、鋼製えん堤の右岸側に常時通水されるように、巨石で石組みが行われ、現地の砂や礫を混合することによって石組みされた巨石の安定化が図られた（写真 34 参照）。また、写真 35 に示されるように、鋼製えん堤に接近する流れが分散するように河道が整備されている。この魚道整備は 2014 年 5 月には竣工され、2014 年 10 月には台風の影響を受けて、現場では時間雨量 160 mm の豪雨となり、まとまった洪水流が発生した。写真に示されている状態はその後の流況であり、洪水後の状態としては、良好な状態が確保され、計画・設計・施工で十分な協議検討ができたことを裏付けるものとなっている。



写真 32 鋼製えん堤の右岸側に魚道が設置された事例



写真 33 減勢池下流側の河川への接続状況



写真 34 鋼製えん堤上流側の河道を整形した状態



写真 35 鋼製えん堤上流側の河道の様子

5. スリット化された治山えん堤の配慮事項

不透過製治山えん堤をスリット化した事例を以下に紹介する（写真 36~43）．ここで紹介する現場は、北海道北檜山振興局治山課管轄の現場であり、支川および本川に設置された治山えん堤を対象に水生生物の連続性、生息・産卵・避難環境の確保された事例である．また、スリット化することを決定した段階で北海道庁と本研究室との共同研究として取り組んでいる現場である．

スリット化するときの基本的な考え方として、平水時の冠水幅を基準にスリット幅を設定した．ここで紹介する治山えん堤では、スリットの断面形状が単一なものとなっているが、年最大の流量規模では、スリット部で流れが集中しないために、複断面（写真 41 参照）とし、水面幅を広げて流下させることが好ましい．また、スリット化された治山えん堤前後においては中小洪水時の流れが集中しないように、少なくとも平水時の冠水幅の3倍程度確保することが重要であり、竣工直後では少なくともえん堤下流側については平水時の冠水幅の3倍程度の河道幅を確保している．えん堤上流側については堆積土砂の影響を考慮し、スリット断面形状に基づいた盛土の整形が行われていた．本川に設置された治山えん堤（2か所）では、写真 37, 39 に示されるように、融雪出水などの洪水流によって治山えん堤上流側の河道が大きく変化し、施工後2年程度で平水時の冠水幅の3倍程度の河道となっている（写真 36, 38, 40）．その後の融雪・低気圧通過に伴う出水後も河道幅の拡大はあまり見られず、スリット化された治山えん堤によって、出水時の堰上げ効果によって不安定土砂の移動を制御し、周辺の山脚固定が維持されている．スリット化によって、治山えん堤上流側の水生生物の生息環境にも大きく変化した．すなわち、えん堤上流側に生息する水生生物の種類が広がり、生息密度が高く、サクラマス・サケの溯上・産卵が確認されている．洪水出水によって砂礫の移動が進み、異常堆積・侵食が見られることなく浮石となる河床が増えている．

支川に設置された治山えん堤をスリット化した



写真 36 スリット化した治山えん堤（スリット形状：底面幅 3m、側壁 1 割勾配の台形断面）



写真 37 スリット化が完了した翌年の河道の状況（写真 36 の場合と同じ場所）



写真 38 スリット化した治山えん堤（スリット形状：底面幅 3m、側壁 5 分勾配の台形断面）



写真 39 スリット化が完了した翌年の河道の状況（写真 38 の場合と同じ場所）



写真 40 スリット化された治山えん堤上流側の河道の状態（堆積土砂があった直線部）



写真 40 スリット化された治山えん堤上流側の河道の状態（堆積土砂があった蛇行部）（つづき）

状態を写真 41, 42, 43 に示す。写真 41, 42 に示されるように、河道幅が狭く、既設えん堤の高さが 4m 程度であるため、単一の台形断面スリットでは、中小洪水の流れが集中し、えん堤直下の局所洗掘による段差、河床低下、河岸侵食などの原因につながることから、複断面型スリットとして 2 か所の治山えん堤で施工が行われた。現場の河床勾配が急勾配であるため、えん堤直下に掘り込み型減勢工を設け、その下流側には連続した巨礫による帯工群を設置した。竣工して 1 年と半年が経過した状態であるが、写真 41, 42 に示されるように、上流側から輸送された砂礫の一部が減勢池および帯工周辺に堆積し、自然の溪流河川の状態となり、出水ごとに、礫の排出・堆積が繰り返されている。このように減勢池に礫の堆積が認められた状態でも、現時点では連続した帯工が乱されることなく河床が保護された状態となっている。

ここで紹介された事例は竣工から 5 年も経過していないものであることから、今後、治山えん堤としての本来の機能、流域の土砂管理としての土砂または砂礫の流出形態、砂礫の堆積と河道の侵食、植生分布、水生生物の生息・産卵・避難環境がどのように変化していくのか継続調査して検討する必要がある。また、ここで示した事例を他の現場に適用する場合には計画最大流量、年最大流量、ハイドログラフ、河川地形・河床形態・地質が異なることから、流量規模ごとにスリット化された治山えん堤周辺の河川流況を推定し、総合的に判断する必要がある。



写真 41 複断面型スリット化した治山えん堤（スリット形状：下部は底面幅 2m、高さ 1m、側壁 5 分勾配の台形断面であり、上部は 5m 幅の矩形断面）



写真 42 複断面型スリット化した治山えん堤下流側の河道の状態



写真 43 スリットえん堤間の河道の状態

次に、北海道庁日高振興局治山課管轄の溪流河川で整備されたスリット化された治山えん堤（床固め工）および減勢工対策事例を紹介する。この事例も北海道庁と本研究室との共同研究として取り組んでいる現場である。

ここで紹介する事例では、掘り込み型減勢工に加えて連続した帯工の組み合わせによってえん堤下流の河川に円滑に遷移することができることを示すものである。

写真 44~47 はスリット化された治山えん堤に設けられた掘り込み型減勢池および連続した帯工における流況および河床の状態を示す。溪流河川に設置された治山えん堤の場合、河床勾配が急勾配となっていることが多く、下流水位が堰上がる度合が低いことが推定される。このことから、高速流を短区間で減勢させるために副ダムなどの突出物で水位を堰上げることなく、えん堤直下流側で安定した位置で跳水を形成させるために掘り込み型減勢工を採用している。また、スリットからの流れが減勢池を経て下流端で湧き上がることによって減勢池下流側で局所洗掘および河床低下が生じることがないように、連続した帯工を設置している。この場合、最下流端の帯工の高さを河床の高さに合わせるように遷移させ、帯工間に礫を設置し、中小洪水時に見られる水面のうねりが大きくなるように工夫している。写真に示される流況は、出水後の流量規模が減少した状態を示し、帯工下流側で河床低下することなく、えん堤からの流れが円滑に河川に遷移していることが確認される。また、減勢池の中に輸送された砂礫によって堆積した状態でも、帯工設置区間を含めた減勢区間で流速が減勢されている。連続した帯工群の配置や設置区間の定め方については、水理実験によって実験的に検討を行っている。現時点では実験結果を参考にして 2,3 の事例が行われている程度である。普遍性のある減勢工の設計指針、適用条件を示すためには、更なる検討が必要である。



写真 44 スリットえん堤下流側の流況



写真 45 掘り込み型減勢工と連続帯工



写真 46 えん堤下流側の流況（小規模洪水）



写真 47 掘り込み型減勢工および帯工群

6. おわりに

扇状地より上流側の河床形態を対象として、河道の実態から河床低下が水生生物の生態環境に大きな課題を残すことを指摘し、河床低下の発生原因を現地調査および模型実験から考察し、河川に生息する水生生物の生態系保全と治水・治山のための洪水対策との調和がとれた河道の在り方について、事例の紹介、ならびに模型実験からその方向性（河道断面形状、河道幅の提言など）を示した。治山・砂防施設前後の配慮事項として、中小洪水時の流れの減勢対策が水生生物の移動環境の維持に影響することを指摘した。また、えん堤に整備される魚道として、輸送される礫等の排出機能、摩耗に対する耐久性、多様な水生生物の移動環境の確保、魚道と河川との接続環境を考えた魚道が求められることを示した。なお、写真 48~50 に示されるように、川の滲筋を安定化させるための水制工の導入⁹⁾が重要であるが、水制工の高さによっては河道に負担を与えることに注意する。スリット化された治山・砂防えん堤における連続性確保のためには、えん堤前後の河川流況を整備し、えん堤下流側の減勢対策が必要不可欠であることを強調したい。

参考文献

- 1) 安田陽一：技術者のための魚道ガイドライン，コロナ社，2011，144 pages.
- 2) 安田陽一：水生生物の溯上行動からみた魚道からの流れ，ながれ，日本流体学会，第 33 巻，2014，pp.343-348.
- 3) Yasuda, Y. and Seo, Y. : What should civil engineers learn from failures in fishways?, 33rd IAHR Congress, 2009, CD-ROM.
- 4) 小山長雄：アユの生態，中央公論社，1978，pp.84-138.
- 5) 小山長雄：「魚道をめぐる諸問題Ⅱ．解説編」，木曾三川河口資源調査団（KST），1967，pp.1-96.
- 6) 国土交通省：魚がのぼりやすい川づくりの手引き，http://www.mlit.go.jp/river/shishin_guideline/kankyo/kankyou/sakana_tebiki/，（2014 年 7 月 1 日閲覧）.
- 7) Yasuda, Y. and Nakajima, T., *Flow Characteristics in Pool-type Fishways with Various Types of Weirs*

during Flood Stages, 8th International Symposium Eco-hydraulics 2010, IAHR, Seoul, Korea, September 12 – September 16, 2010, CD-ROM.

- 8) Yasuda, Y. and Ohnishi, T. : Relationship between migration route of swimming fishes and velocity characteristics in pool-type fishways with a trapezoidal section, 33rd IAHR Congress, 2009, CD-ROM.
- 9) 矢野雅昭，矢部浩規，森田茂雄，安田陽一，河川渓流域における水制工による魚道上流入り口の閉塞防止効果，河川技術論文，土木学会，第 18 巻，2012.



写真 48 木製枠の水制工を用いた滲筋の制御



写真 49 魚道流入部付近の巨礫の水制を用いた滲筋の制御



写真 50 巨礫の水制工を用いた滲筋の制御