

魚にやさしい落差工型式についての試案

研究第一部 主任研究員 名 取 哲 哉

1. はじめに

最近多自然型川づくりが全国各地で推進されるようになってきた。

これに伴い、河床の安定を目的として設置される落差工についても、従来の画一的な形状のものではなく、魚ののぼりおりしやすさ、景観などに配慮した多段式、粗石付斜路式といった新しいタイプの落差工が全国で設置されつつある。

従来型の落差工（床止め工）は、「建設省河川砂防技術基準（案）」及び「河川管理施設等構造令」で設置基準が定められている。しかしながら、魚に関する記述としては、河川砂防技術基準（案）設計編の床止めの箇所に、「必要に応じて魚道を設置する」という記述があるにとどまり、本体構造について設計上配慮する記述はない。

一般に落差50cm以上あるものについては魚道が必要となる（河川砂防施設の点検マニュアル）が、落差50cm未満であっても、現行基準では、水叩き工部分の水深が十分確保されていないことにより、ジャンプするための十分な助走が取れず、魚の遡上という観点からは問題があると思われる。

水叩き工部分に水深がないことは、降下魚に対しても問題があると思われ、水叩き工部分での落下衝撃が魚族の減耗につながっていると考えられる。これは、コンクリートの水叩き工が普及したことよるとの説もある。

現行基準の本体構造に魚道を外付けした場合であっても、魚道が落差工下流に突出するため、魚が入口を見つけにくいという問題がある。また、みお筋の安定していない河川では、魚道の入口が土砂で埋まってしまう、魚が遡上できなくなるといった問題も生じやすい。降下

魚に対しても、一般には増水時に流されて降下することから、魚道以外の所から落下する事が多く、これも水叩き工部分の問題に帰着してしまう。

したがって、魚がのぼりおりしやすくするためには、現行基準を準用し水叩き部を下げ適切な魚道を付加するタイプや落差工の本体構造そのものを多段式や斜路式といった新しいタイプに改良する型式について検討する必要がある。

しかしながら、このような新しいタイプの落差工の設計には、現行の設計基準や構造令の適用が困難であったり、あるいは新しく検討しなければならない事項も生ずるものと考えられ、新しい考えに基づく設計法の検討が必要であると考えられる。

前年度までは、これらの新しい落差工に関する事例収集を行うとともに実態の整理も行い、魚にやさしい落差工として、現行基準を準用して水叩きを下げ魚道を付加するタイプと多段式など本体内そのものを改良するタイプについて提案した。今年度は、これらの落差工に対し、構造上、水理上の問題点を抽出するとともに、洪水時の減勢計算や本体構造を改良する場合の安定計算の手法について検討した。

2. 研究会における問題点や課題の提案

「魚にやさしい落差工研究会」が今年度2回開催され、落差工に関する問題点や課題などについて様々な意見が提案された。以下にその主なものを挙げる。

① 一般的な落差工について

- ・何のために落差工を設けるのかという設置目的を明確にしておく必要がある。
- ・落差工を設置する河川や箇所がどのような河道特性を持つか、あるいはどのような河川

形態に属し、そこにはどのような魚種が一般に生息するのかを把握する必要がある。

- ② 魚道付加型、全断面式の適用範囲について
 - ・適用範囲としては、落差工がみお筋を固定できるか否かで決まるのではないか。
 - ・落差工の天端にわずかにテーパーを設けただけで、みお筋を形成している例もあることから、どのような河川でみお筋ができるかの整理が必要である。
- ③ 魚道付加型（引き込み式）について
 - ・河道中央に設けられた引き込み式の魚道は洪水時において、構造的に危ないのではないか。
 - ・魚道位置は、洪水時に負荷が集中しない側岸部にすべきである。
- ④ 魚がのぼりやすい落差工構造の検討手順について
 - ・魚から見て移動の障害となる要素としては、落差が大きいこと、平滑化した河床であること、薄層流化したコンクリートの水叩きがあることの3点があげられる。
 - ・全断面の議論をする前に、現行標準型の問題を整理し、標準型の構造そのものを変形させて対応出来ないかなど専門家を交えて議論する必要がある。
- ⑤ 設計流量について
 - ・設計流量は「渇水流量～豊水流量」とすべきである。

3. 設計流量の検討

落差工に魚道を設置するに際しての設計流量は、「魚が遡上するときの流量」にする必要がある。したがって、設計流量は魚がいつ遡上するか（時期）どのような状況下（水温、にごり、流量流速）でよく遡上するかといった魚の移動特性を考慮したものにすべきである。

設計流量を「魚が遡上するときの流量」と考えた場合、回遊魚については「遡上期の流量」にある程度絞ることができるが、それ以外の魚がよく移動するとされている「日常的な出水

時」は、あらゆる流量（水位）レベルでも生じる。

したがって、魚が移動するための設計流量を定めることは非常に困難である。そのため、設計流量は魚が移動する機会をなるべく多く設定するため、出現率の高い流況で検討することが妥当であると考えられる。

流況ごとの出現日数は図-3.1に示すとおりであり、魚が「増水時の強い濁り」や「極端に水深（流量）が小さい」場合には移動しないという習性を考慮すると設計流量としては、豊水流量を超える流況と渇水流量を下回り流況を除いた「渇水流量～豊水流量」程度とすることが妥当であると考えられる。

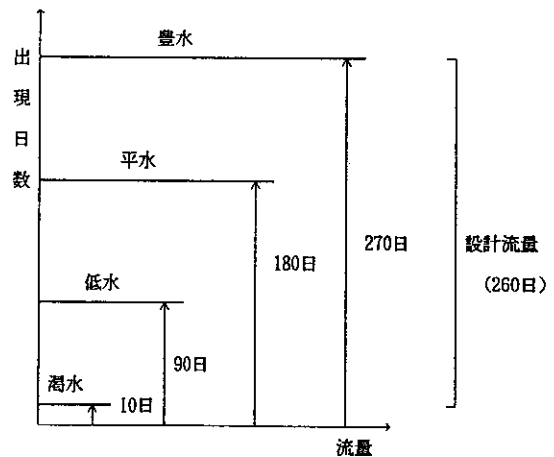


図-3.1 流況と出現日数

参考として、全国一級水系の主要観測所の流況データ（平成4年度）を整理した流量グラフを図-3.2に示す。

4. 魚にやさしい落差工構造の問題点の整理

4-1 構造上、水理上の問題点

(1) 魚道付加型

1) 構造の考え方

現行標準タイプの落差工に、上流側に突出した魚道を設ける場合の構造としては以下が考えられる。

流量グラフ

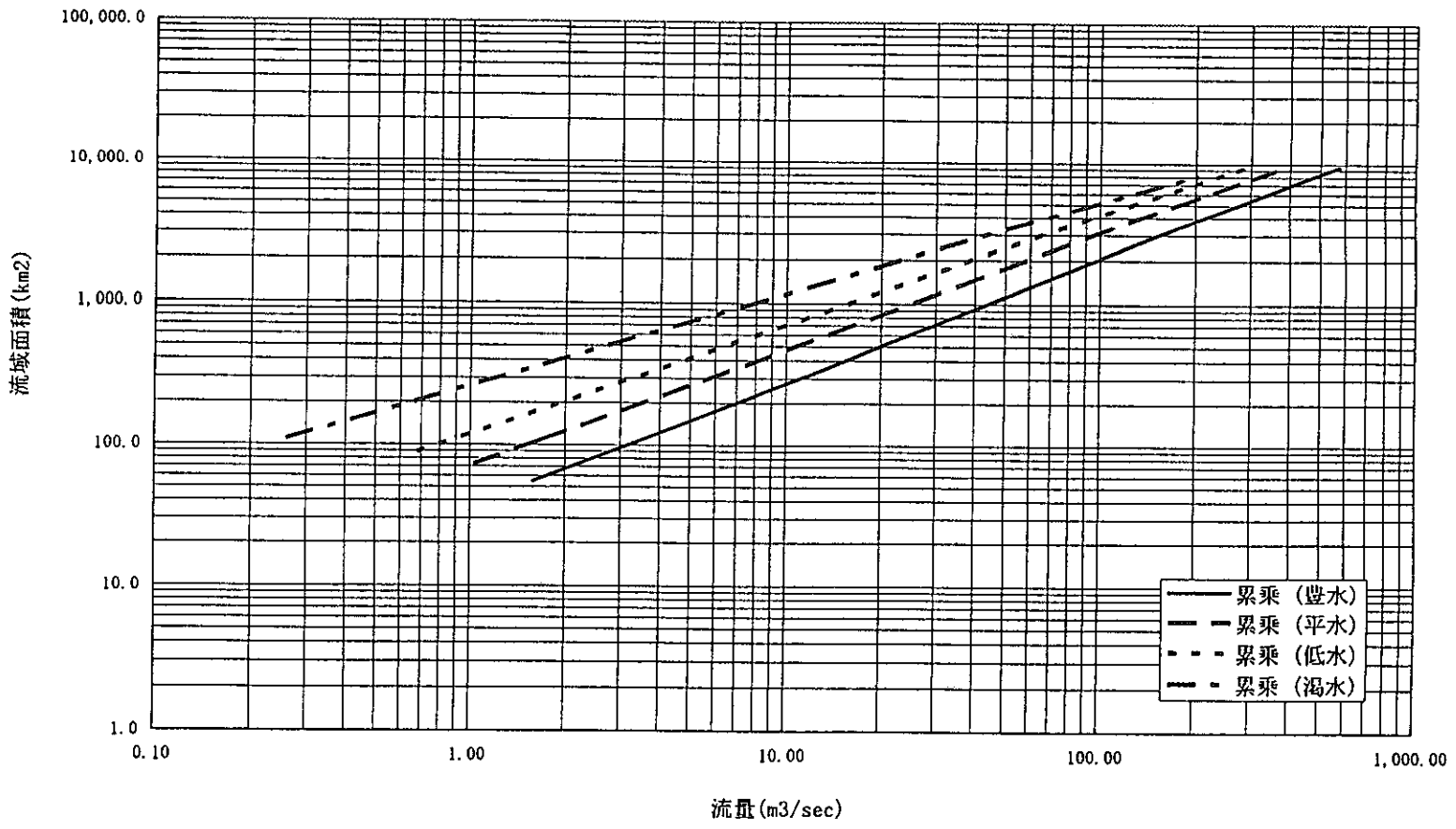
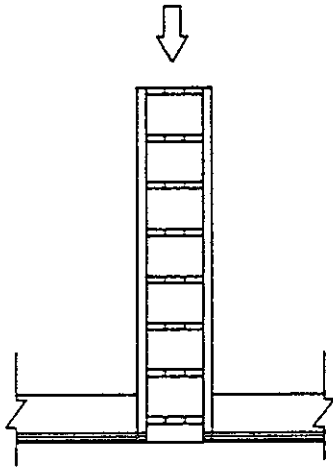


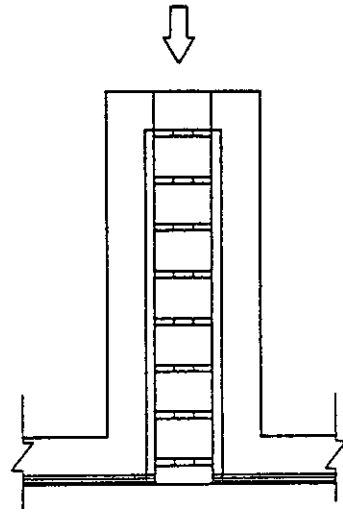
図-3.2

①案～落差工の一部を切り欠いて魚道（階段式等）を設置する案

②案～落差工自体を上流に突出させて魚道を設置する案



①案



②案

②案の方がより強固な構造となるが、魚道単独で安定させる設計を行えば①案で良いものと考えられる。

2) 魚道側壁について

上流突出型の魚道を設けた場合、魚道部より流水が流入しないように側壁は嵩上げする必要がある。嵩上げ高は、設計流量時の水深に若干の余裕（10cm～20cm程度）を見込む必要があるものと考えられる。

3) 魚道上流呑口について

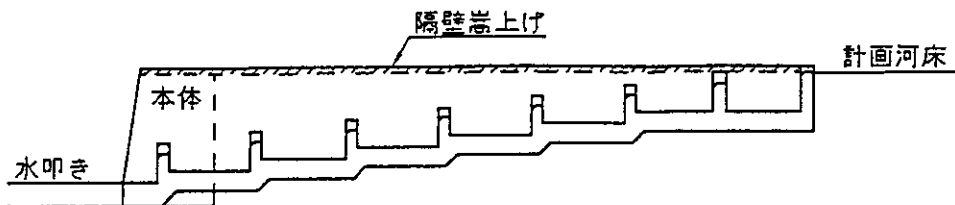
上流突出型の魚道を設けた場合、魚道への

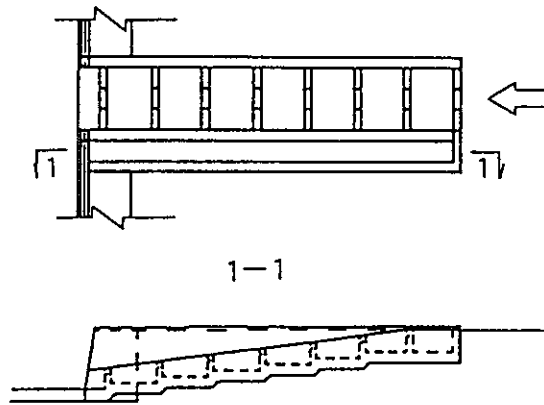
分流量の計算は計画河床高に対して行うと考えられる。

しかしながら、落差工上流側は一般に洗掘傾向にある場合が多く、この場合魚道に分流出来なくなることも予想されるため、護床工を設けるなど河床変動を押さえる必要がある。

4) 管理用通路について

落差の大きい落差工の場合は魚道が深くなり管理が難しくなるため、必要に応じて管理用の通路が必要となる。通路幅は1.0m程度とする。





5) 安定計算について

①案～魚道部については、これを単体と考えて転倒、滑動の計算を行えば良いものと考えられ、落差工部については、単位幅当たりの計算を行えば安全である。

②案～一般部と魚道部について各々単位幅当たりの計算を行えば安全である。

(2) 全断面魚道式

全断面魚道式としては「多段式」を標準タイプと考えて、以下の問題について示す。

1) 構造上の問題

- ・現行標準タイプ落差工は本体と水叩きを一体構造としている（ただし計算は分離）。しかしなら、多段式として本体の縦断延長が長くなる場合は水叩きと本体を分離するのが妥当であると考えられる。ただし、この場合は継手（ダウエルバー＋止水板）が必要である。
- ・本体（階段部）の安定性については、本体を一体構造として現行基準と同様の安定計算を行い、また、本体の縦断延長が長く構造を分離する場合は各ユニット毎に同様の安定計算を行えば良いものと考えられる。

2) 水理上の問題

多段式の様本体の勾配を緩くした場合、洪水時において安全跳水は起きにくく（減勢しにくく）流れが不安定となる事が予想され

る。したがって、水叩きを下げ水叩き下流端に段上りを設けたり（魚の助走空間も兼ねる）水叩き上にシルやバツフルピア等の減勢工を設ける検討も必要となる。

(3) 河川景観、経済性からの問題点

1) 河川景観からの問題点

現行基準では、取付け擁壁の構造はRC逆T擁壁等の直立した構造とすることを原則としているが、この直立したコンクリートの壁が河川景観を損ねる原因になることも考えられる。

全断面とした場合は落差工の縦断延長が長くなる傾向にあり、取付け擁壁の景観上の問題はより顕著になる。また、特に中小河川においては取付け擁壁の占める割合が大きいため、重要なポイントになるものと考えられる。これらの対策としては、取付け擁壁の勾配を緩くしたり、逆T擁壁の前面を自然石等で修景することなどが考えられる。

2) 経済性からの問題点

魚道付加型と全断面式（多段式）を比較した場合、多段式の方が縦断延長が長く、かつ構造的に複雑であり、建設費が高くなる傾向にある。したがって、落差工型式の選定に当たっても「魚ののぼりおりしやすさ」「景観」などと十分に検討すべき事項である。

河川砂防技術基準（案）と魚にやさしい落差工設計法の試案

項目	建設省河川砂防技術基準（案）設計編		魚にやさしい落差工設計法試案	
	構造細目	設計細目	構造細目	設計細目
本體工	<ul style="list-style-type: none"> ・本體工はコンクリート構造を標準とする。 ・下流側法面勾配は 1:0~1:0.5 とする。（騒音防止の目的で 1:1以下とする事もある。） ・水叩きを除く本體は転倒、滑動、支持力に対して安全な構造とする。 ・掘込河道においては両端を河岸に嵌入する事で対応することもある。 	<ul style="list-style-type: none"> ・本體（水叩きを除く）は転倒、滑動、基礎支持力に対する所要の安全率が確保される様に設計する。 ・荷重としては①自重②地震力③土圧④水圧⑤揚圧力を見込む。 	<ul style="list-style-type: none"> ・本體工はコンクリート構造を標準とする。 ・魚の遡上、降下に配慮する方法としては①本體工を全断面の階段式魚道とする方法（以下“多段式”と呼ぶ）②現行技術基準の標準タイプの落差工本體を切欠き引き込み式の魚道を設置する方法（以下“魚道付加型”と呼ぶ）等がある。 ・①の多段式の場合の本體下流側の勾配は、1/10以下が目安となる。 	<ul style="list-style-type: none"> ・①多段式の場合 本體（階段部分）を一体とした現行技術基準と同様の安定計算を行う。ただし、縦断延長が長くなり、構造的に分割する場合はそれぞれのユニットについて安定計算を行う。 魚道としての設計については、“魚道”の項を参照の事。 ・②魚道付加型の場合 本體（標準タイプ）については、現行技術基準と同様の計算を行う。 魚道についても、単独で安定する様に同様の安定計算を行う。
魚道	_____	_____	<ul style="list-style-type: none"> ・魚道の型式は対象魚類、維持管理性等を考慮して選定する。 ・魚道付加型を採用する場合はのぼり口の見つけやすさに配慮し、引き込み式（上流突出）を標準とする。この場合、魚道側壁は計画河床高よりも高くかさ上げして、魚道側部から流水が流入しない様にする必要がある。 	<ul style="list-style-type: none"> ・対象魚道により、設計流速を設定し、設計流量に対して遡上可能な構造とする。 ・設計流量は、濁水流量～豊水流量程度を目安とする（年間260日カバー）
取付擁壁	<ul style="list-style-type: none"> ・床止め取付部の上下流を擁壁構造の護岸とすることを原則とする（RC逆T型擁壁） 	_____	<ul style="list-style-type: none"> ・現行技術基準と同様。 ・ただし、水際部に自然石を配置するなどして、魚の遡上に配慮することも必要である。 	<ul style="list-style-type: none"> ・水際部に自然石等を採用する場合の石の径は、洪水時の流速に対抗し得るものとする。
水叩き	<ul style="list-style-type: none"> ・水叩きはコンクリート構造を標準とする。 ・本體と一体とし、本體を越流する水の浸食作用及び下面から働く揚圧力に耐える構造とする。 	<ul style="list-style-type: none"> ・水叩きの長さはブライの式のほか、過去の事例等から総合的に検討して決定する。 ・水叩きの厚さは下面からの揚圧力に対し浮き上がらない厚さとする。 	<ul style="list-style-type: none"> ・水叩きはコンクリート構造を標準とする。 ・多段式の様に本體の延長が長くなる場合は本體と分離させ、適切な継手（ダウエルバー+止水板）を設ける。 ・水叩きの敷高は計画河床より50cm以上下げ、魚の遡上、降下に配慮すると共に洪水時に落水水を減勢させるものとする。 	<ul style="list-style-type: none"> ・水叩き長、水叩きの深さはブライの式、洪水時の減勢計算（跳水の計算）のほか、過去の事例等から総合的に検討して決定する。 ・水叩きの厚さの決定方法は、現行技術基準と同様。
護床工	<ul style="list-style-type: none"> ・護床工は屈撓性を有する構造とする。 	<ul style="list-style-type: none"> ・護床工の範囲はブライの式のほか、過去の事例等から総合的に検討して決定する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・現行技術基準と同様。 	<ul style="list-style-type: none"> ・護床工の範囲はブライの式のほか、過去の事例等から総合的に検討して決定する。 ・又、落差工の上流側に魚道を付加した場合、護床工の範囲は魚道上流端までとする。
基礎工	<ul style="list-style-type: none"> ・上部荷重を良質な地盤に安全に伝達する構造として設計する。 ・常時、洪水時、地震時及び竣工時の荷重に対して安全な構造とする。 	_____	_____	_____
遮水工	<ul style="list-style-type: none"> ・遮水工はコンクリートのカットオフ又は鋼矢板とし、上・下流の水位差で生じる揚圧力の低減、パイピング作用を減殺しうる構造とする。 	<ul style="list-style-type: none"> ・遮水工の根入れ長はレインの式のほか過去の事例等から総合的に決定するものとする。 	_____	_____
護岸	<ul style="list-style-type: none"> ・護岸工は流水の作用より堤防又は河岸を保護しうる構造として設計する。 	_____	_____	_____
高水敷	<ul style="list-style-type: none"> ・高水敷保護工は流水の作用による高水敷の洗掘を防止しうる構造とする。 	_____	_____	_____

5. 魚にやさしい落差工設計法の試案

これまでに示した魚にやさしい落差工の型式や問題点から落差工設計法の試案を示すと前頁のようになる。

6. おわりに

魚がのぼりやすい落差工として提案した型式や設計法について、今後さらに詳しい調査研究が必要であるが、魚の目から見て本当にのぼりやすく、安全に降りられる構造となっているかどうかについて検証し、かつ河川管理施設として最も肝心な、洪水時の安全性や減勢効果が得られるかどうかについても検証する必要がある。併せて、本体構造を改良する場合の安定計算の手法や各種付帯施設の構造諸元などについても検証する必要がある。これらについては、今後、模型実験などを行いながら調査研究をしていかなければならないと考えられる。