

# 魚にやさしい落差工の設置事例と課題

Examples of Installation of Ground Sill  
Friendly to Fishes and Its Related Problems

田中 長光\*、片沼 弘明\*\*

by Nagamitsu TANAKA and Hiroaki KATANUMA

This paper describes the results of our study and analysis of some installation examples of ground sill friendly to fishes and also discusses the problems and preferable types of ground sill in terms of ease of ascend and descend for fishes.  
key words: new types of ground sill, fish way, friendly to fishes

## 1. はじめに

近年、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や景観などに配慮した多段式、粗石付斜路式など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。

従来型の落差工については、「建設省河川砂防技術基準（案）」及び「河川管理施設等構造令」により、ほぼ画一的に構造諸元が決定されていたが、これらの新しいタイプの落差工に関しては、現行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が生じたりしているものと思われ、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。

## 2. 魚にやさしい落差工の設置事例

### 2.1 事例調査の整理、分析

---

\* 財団法人リバーフロント整備センター 研究第一部次長  
(〒102 東京都千代田区三番町3番地8)

\*\* 財団法人リバーフロント整備センター 研究第一部主任研究員

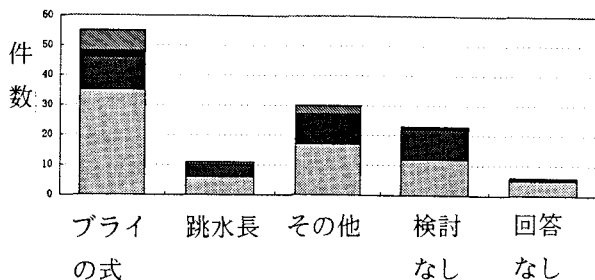


図-5 水叩き長の計算方法は？

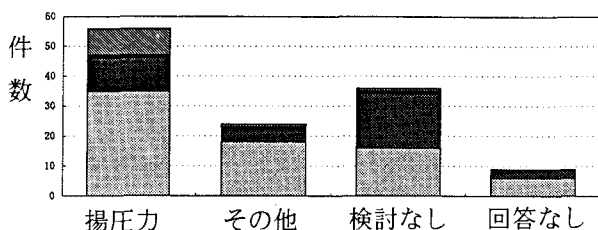


図-6 水叩き厚の計算方法は？

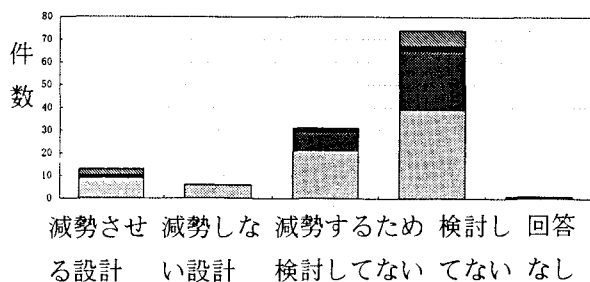


図-7 洪水時の減勢に対する検討は？

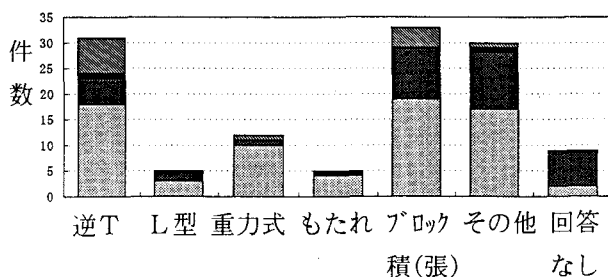


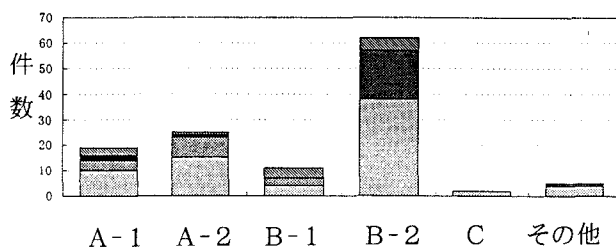
図-8 落差工型式別取付擁壁構造の事例件数

ら、護岸タイプの方が好ましいからと考えられる。

## 2.2 問題点の整理

今回収集した事例を落差工の構造タイプ別に分類すると、図-9に示すように本体、水叩きに対する考え方の違いから、様々なタイプに分類される。これらに現行基準の本体安定計算や水叩き厚の計算手法などを適用することは難しいものと考えられるため、多段式や斜路式として望ましい構造タイプや設計手法の検討が必要と思われる。

取付擁壁の構造や形状については、前述の現行基準のほか、河川構造令では「中小河川に設ける落差工にあたっては、必ずしも擁壁タイプの取付護岸とする必要はないが、上流からの落下水によって破損することのないよう取付護岸は堤防側へ後退させた位置に設けるとともに練石積等の強固な護岸としなければならない」となっている。しかしながら、今回の調査では取付擁壁が通常の護岸タイプで、かつ堤防側に後退させないタイプが全体の約半数にも及んだ(図-10)。これについて、多段式や斜路式といったタイプは「上流からの落下水」の影響が小さいと考えられ、このようなタイプの取付擁壁でも問題はないと考えられる。しかし、今後は被災事例の調査や水理的な検討が必要と思われる。



A-1: 本体 (自立)+水叩き A-2: 本体のみ  
B-1: 本体+ 水叩き B-2: 本堤、副堤+ 水叩き  
C: 連続する帯工+ 水叩き

図-9 落差工型式毎の基本構造

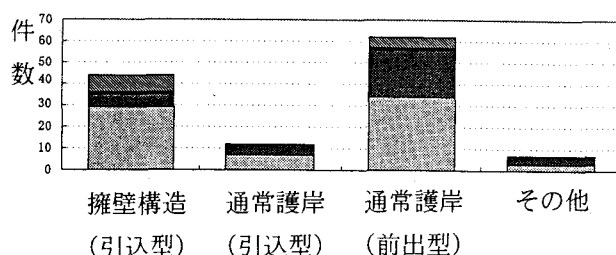
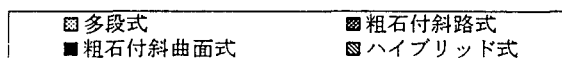


図-10 落差工型式毎の取付擁壁構造



## 3. 魚から見た現行基準や構造令の問題点

平成5年度に各都道府県の中小河川事業を対象に、魚にやさしい落差工の設置事例を調査したところ、代表事例に限定したにもかかわらず、全国各地から127例もの事例を集めることができた。

以下、この127例について、型式、目的別に整理したものや本堤・水叩工の安定計算、断面計算等の取扱いや減勢効果について整理したものを示す。

#### (a) 落差工型式別分類 (図-1)

多段式が最も多く、粗石付斜路式を含めると全体の9割にも及び、都道府県管理の中小河川においては全断面魚道式落差工が主流であると言える。

#### (b) 落差工目的別分類 (図-2)

近年の多自然型川づくりの推進を反映して、魚類の遡上を主たる目的としたものが大半を占めている。

#### (c) 本体の安定計算 (図-3)

6割以上も安定計算が行われていない。

これは、全断面魚道式落差工において、本体の縦断延長が長くなる傾向にあり、安定計算の必要性も含め、設計手法が無いためであると考えられる。

#### (d) 本体の断面計算 (図-4)

全断面魚道式とした場合、本体延長が長くなるため、RC構造となって断面計算が必要となってくるケースが多いと思われるが、断面計算を行っている事例はわずかしかな。

#### (e) 水叩き長の計算方法 (図-5)

標準タイプの落差工は落下水が跳水を起し減勢することを前提として、ブライの式により水叩き長を決定するが、全断面魚道式は洪水時に斜面流となるため、減勢しにくく、ブライの式による検討のみでは不十分であると考えられる。

それにも関わらず、6割以上がブライの式のみか、或いは、検討していないのが現状である。

#### (f) 水叩き厚の計算方法 (図-6)

水叩き厚を検討していない事例が多いのは、全断面魚道式の場合、本体と水叩きを区分することが難しいケースが多いことによると考えられる。

#### (g) 減勢に対する検討 (図-7)

全断面魚道式とした場合、洪水時に減勢しにくいという問題が生じやすく減勢するか否かの検討や減勢工の検討も必要であると考えられる。しかしながら、検討していない事例が8割以上もあるのが現状である。

#### (h) 取付擁壁の構造 (図-8)

取付擁壁の構造について、現行基準では「床止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」となっているが、張や積ブロックといった通常の護岸タイプの事例が半数を占めているのは、景観の観点か

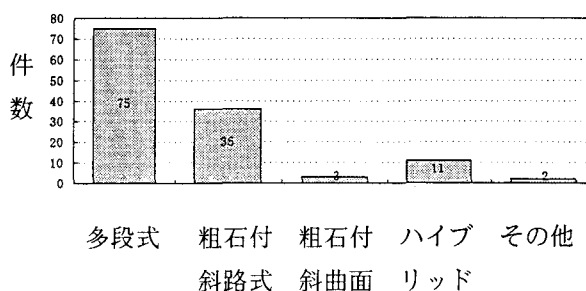


図-1 落差工型式別の事例件数

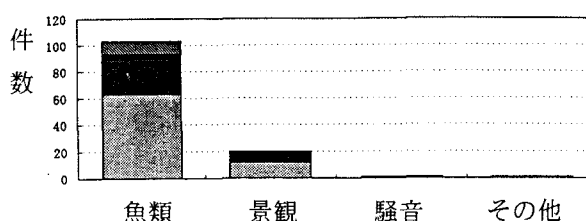


図-2 目的別の事例件数

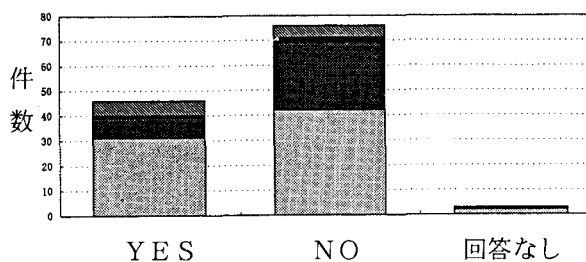


図-3 本体の安定計算を行ったか?

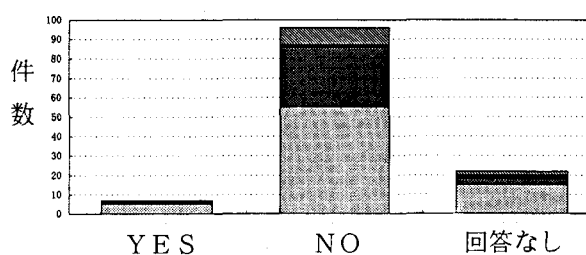
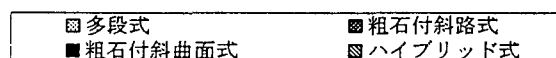


図-4 本体の断面計算を行ったか?



現行の基準や構造令では、基準の設置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。

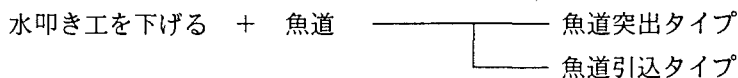
通常、アユの跳躍高は、流水中で30cmから70cmであると言われているが、魚を疲労させないための落差は30cm以内であるとも言われている。このことから、跳躍高の上限を50cmと考え、一般に落差が50cm以上あるものについては魚道が必要と判断している。また、落差が50cm未満であっても、現行基準では水叩き工部分の水深が十分に確保されていないことにより、ジャンプするための十分な助走が取れず、魚の遡上という観点からは問題があると思われる。水叩き工部分に水深がないことは、降下魚に対しても問題があり、水叩き工部分での落下衝撃が魚類の減耗にも繋がっていると考えられる。さらに、現行基準の本体構造に魚道を外付けした場合、魚道が落差工下流に突出するため、魚が入り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、魚道の入り口が土砂で埋まってしまい、魚が遡上できなくなるという問題も生じやすい。魚道がある場合であっても、一般に魚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ことが多く、結局は水叩き工部分の問題に帰着してしまう。

#### 4. 魚にやさしい落差工型式と問題点

前述のような現行基準における落差工型式の問題点を踏まえて、魚ののぼりおりしやすい落差工型式を検討すると次の2通りの考え方が挙げられる。

##### 4.1 魚道付加型

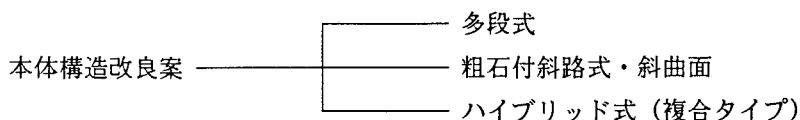
水叩き工部分に十分な水深を確保することにより魚の降下に配慮し、かつ魚道を設けることにより魚の遡上に配慮する方法としては以下のタイプが考えられる。



この場合の安定計算は、魚道は単体と考えて転倒や滑動の計算を行えば良いし、落差工部は単位幅当たりで計算を行えば安全である。また、魚道引込タイプの場合、魚道側壁部から流水が流入しないように側壁を嵩上げする必要があることと落差工上流側は、一般に先掘傾向にある場合が多く、この場合、魚道に分流できなくなることも予想されるため、護床工を魚道上流端まで設け、河床変動を押さえる必要がある。

##### 4.2 前断面魚道式

魚の降下への配慮のほか、みお筋の安定していない河川で魚道を設けても入り口が土砂で埋まってしまい魚の遡上が困難になるケースに対応して、落差工本体のそのものを変える方法としては以下が考えられる。



この場合の安定計算は、本体（階段部）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。

また、多段式のように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、流況が不安定となることが予想されるため、水叩きを下げ、水叩き下流端に段上がりや設けたり、水叩き上にシルやパッフルピア等の減勢工を設ける検討も必要となる。

##### 4.3 河川景観、経済性からの問題点

現行基準では、取付擁壁の構造はRC逆T式擁壁等の直立した擁壁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、落差工の延長が長くなる傾向にあり、取付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、取付擁壁の占める割合が大きい重要なポイントになるものと考えられる。そこで、これらの対策

として、取付擁壁の勾配を緩くしたり、逆T式擁壁の前面を自然石等で修景する検討が必要となる。

また、経済性の面では、魚道付加型と全断面式を比較した場合、多段式の方が全長が長く、かつ、構造的に複雑であり、建設費が高くなる傾向にある。

## 5. まとめ

これまでに示した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以下のようになる。

| 項<br>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<br>体<br>工 | <ul style="list-style-type: none"> <li>・本体工はコンクリート構造を標準とする。</li> <li>・下流側法面勾配は、1:0～1:0.5とする。（騒音防止の目的で、1:1.0 以下とする事もある）</li> <li>・水叩きを除く本体は転倒、滑動、支持力に対して安全な構造とする。</li> <li>・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事もある</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>・本体（水叩を除く）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ように設計する。</li> <li>・荷重としては自重、地震力、土圧、水圧、揚圧力を見込む。</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>・本体工はコンクリート構造を標準とする。</li> <li>・魚の遡上、降下に配慮する方法としては、本体工を全断面の階段式魚道とする方法（以下、多段式と呼ぶ）や現行技術基準の標準タイプの落差工本体を切欠き引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。</li> <li>・多段式の場合の本体下流側の勾配は、1/10 以下が目安となる。</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>・多段式の場合は、本体を一体として現行技術基準と同様の安定計算を行う。ただし、延長が長くなり構造的に分割する場合は、それぞれ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。</li> <li>・魚道付加型の場合は本体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ように同様の安定計算を行う</li> </ul> |
| 魚<br>道      |                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                        | <ul style="list-style-type: none"> <li>・魚道の型式は対象魚種、維持管理性等を考慮して選定する。</li> <li>・魚道付加型を採用する場合は上り口の見つけやすさに配慮し、引込み式を標準とする。この場合、魚道側壁は計画河床高よりも高く嵩上げて、魚道側部から流水が流入しないようにする必要がある</li> </ul>                                                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>・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。</li> <li>・設計流量は濁水流量～豊水流量程度を目安とする。</li> </ul>                                                                                                   |

| 項<br>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の試案                                                                                                             |                                                                                        |
|------------------|---------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|
|                  | 構 造 細 目                                                             | 設 計 細 目                                                                 | 構 造 細 目                                                                                                                     | 設 計 細 目                                                                                |
| 取<br>付<br>擁<br>壁 | ・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）                             |                                                                         | ・現行技術基準と同様<br>・ただし、水際に自然石を配置する等して魚の遡上に配慮することもある。                                                                            | ・水際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<br>叩<br>き      | ・水叩きはコンクリート構造を標準とする。<br>・本体と一体とし、本体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。 | ・水叩き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。<br>・水叩き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 | ・水叩きはコンクリート構造を標準とする。<br>・多段式の様に本体の延長が長くなる場合は本体と分離させ、適切な継手を設ける。<br>・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の落下水減勢のための水褥池とする。 | ・水叩き長さ、水叩き深さはブライの式、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。<br>・水叩き厚さの決定方法は、現行技術基準と同様。 |
| 護<br>床<br>工      | ・護床工は屈撓性を有する構造とする。                                                  | ・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。                                  | ・現行技術基準と同様                                                                                                                  | ・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。<br>・また、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。     |

## 6. 今後の課題

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と思われる。先ず第一には、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のかどうかについて検証する必要がある、次には、河川管理施設として最も肝心の、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の計算手法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。