

魚にやさしい床止工形式についての試案

研究第一部 次 長 高橋 定雄

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床止工についても、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、粗石付斜路式といった新しいタイプの床止工が全国で設置されつつある。

従来型の床止工については、河川砂技術基準（案）や河川管理施設構造令により、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床止工に関しては、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。

これらの新しいタイプの床止工に関して今年度は、昨年度行われた全国の河川横断施設の点検結果により集めた事例や、新たに都道府県からの事例の収集により実態の整理を第一に行った。

また、魚ののぼりしやすさからみた現行基準による床止工構造の問題点を踏まえて、現行基準を準用し、水叩き部分を下げ、魚道を付加するタイプと多段式など本体構造そのものを改良するタイプについて案を示した。

さらに、それらのタイプについて、設計法、魚の遡上のしやすさ、降下魚に対する配慮、治水安全性、施工性、維持管理などの項目について比較検討を行ない、型式ごとの特徴の整理をした。

これらについては、川幅、流出特性などの外的な条件によって適するものがないか、一般的な適用条件の整理を試みた。

また、本体構造の安定計算の考え方など問題点を整理した。

以上、今年度は文献等により概略の整理検討を行い、来年度以降さらに詳しく、必要に応じ模型実験等も交えながら検討していくものである。

2. 事例調査及び整理

昨年度行った河川横断施設の調査により全国で1800か所を超える堰等の点検結果を収集することができたが、点検の対象が1級河川の本川に関わる部分であったため、床止めの事例が少なく、特に魚に配慮した型式のものは、ほとんど見られなかった。

そこで、都道府県で河川事業を行っている中小河川に対し、調査を実施したところ、代表例に限定したにも関わらず、全国で北海道から沖縄までほとんどの県で実施あるいは計画されており、127例もの多段式床止工などの事例を集めることができた。

以下にこの127例について、データを整理したものを示す。

これが、直接、適用範囲を示すものでないが、おのずとある範囲に多く存在していることに注意を払う必要があるのではないだろうか。

ここでハイブリッド式というのは、例えば、斜曲面式の中央部に魚道を配置したもののように、機能の異なるものを組み合わせた複合タイプのことを言う。

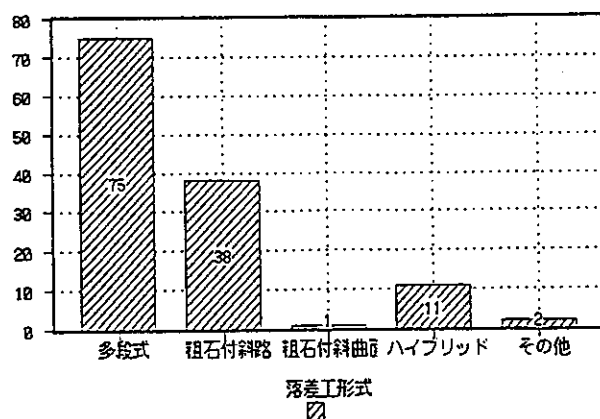


図-2.1 落差工形式別件数

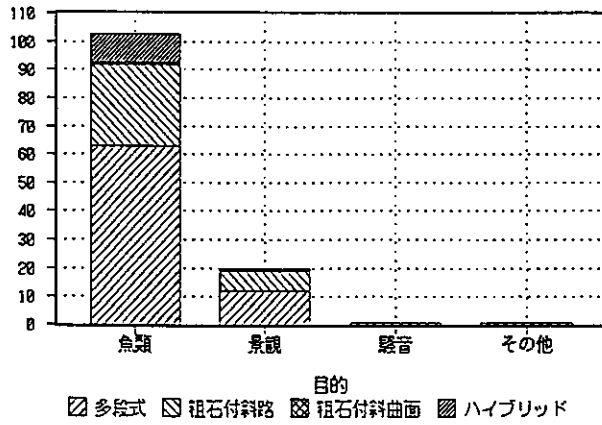


図-2.2 目的別件数

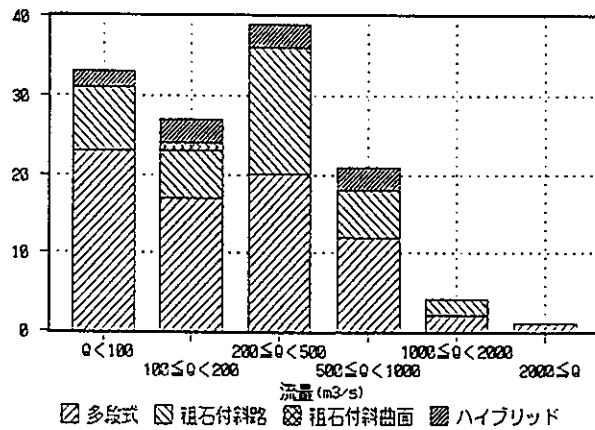


図-2.3 落差工の流量別件数

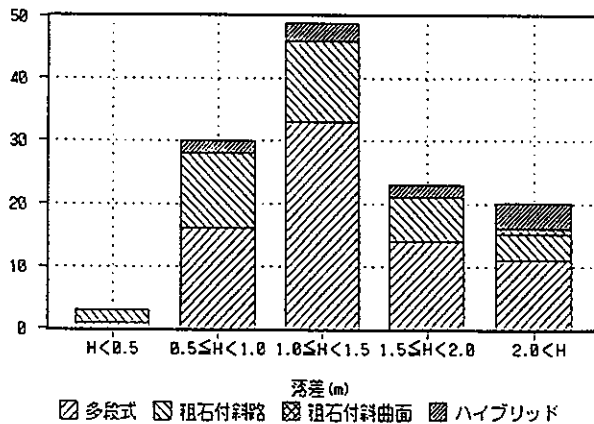


図-2.4 落差工の落差別件数

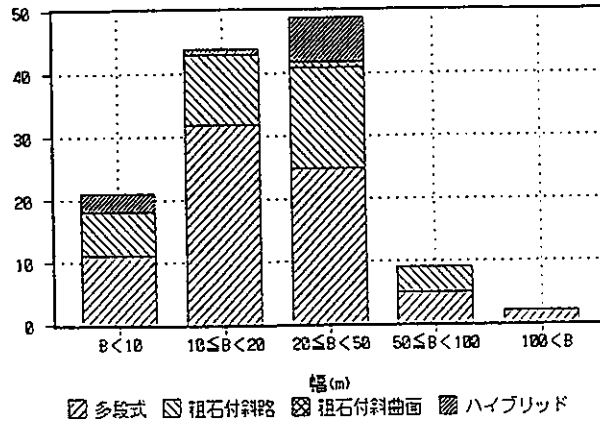


図-2.5 落差工の幅別件数

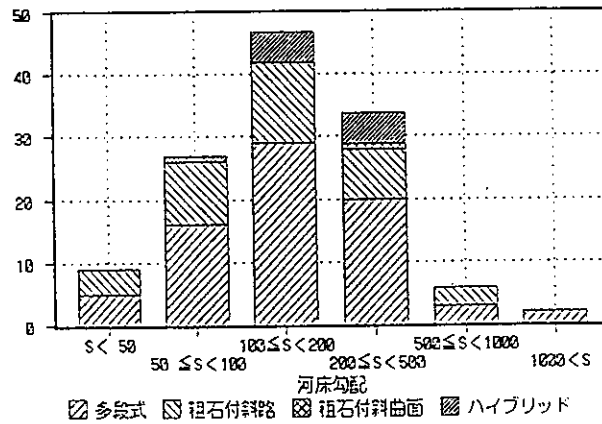


図-2.6 落差工の河床勾配別件数

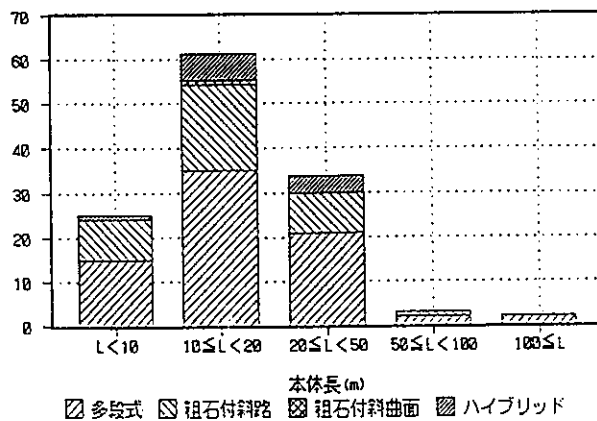
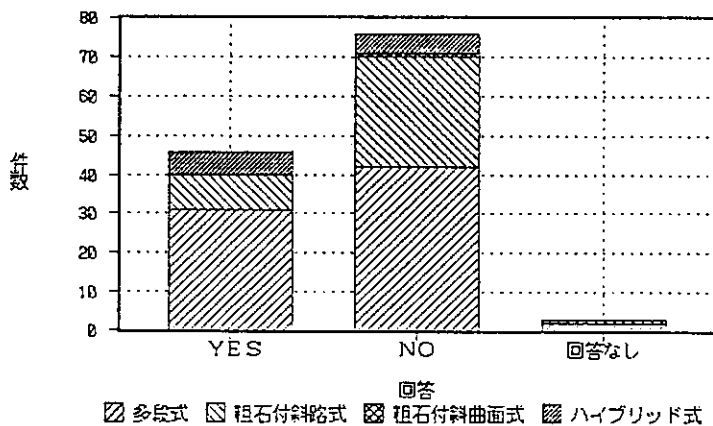


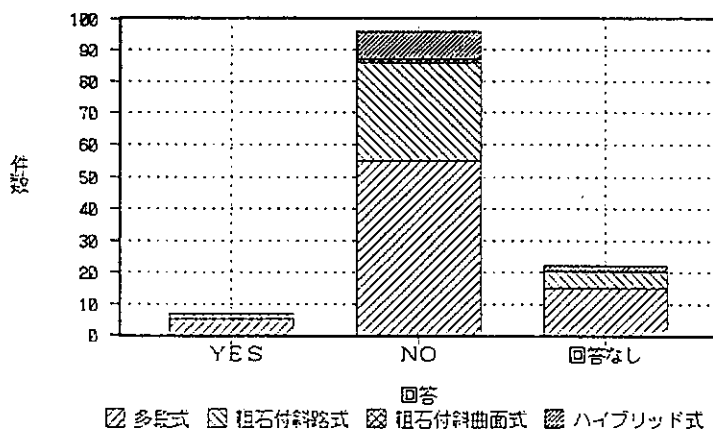
図-2.7 落差工の本体長別件数

また、本堤や水叩工の安定計算、断面計算などの取扱いや、減勢効果について次に示す。

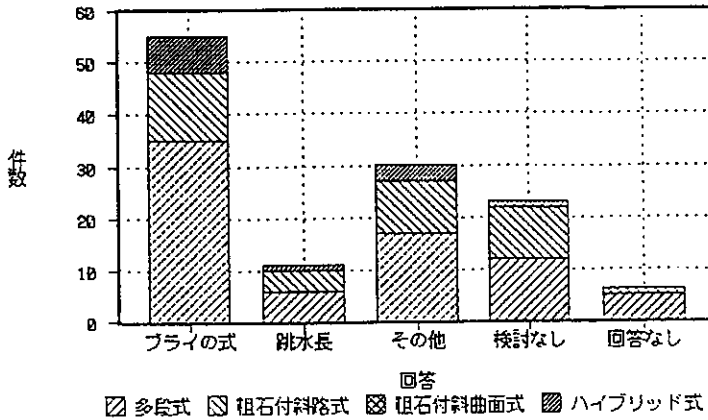
本体の安定計算を行ったか？



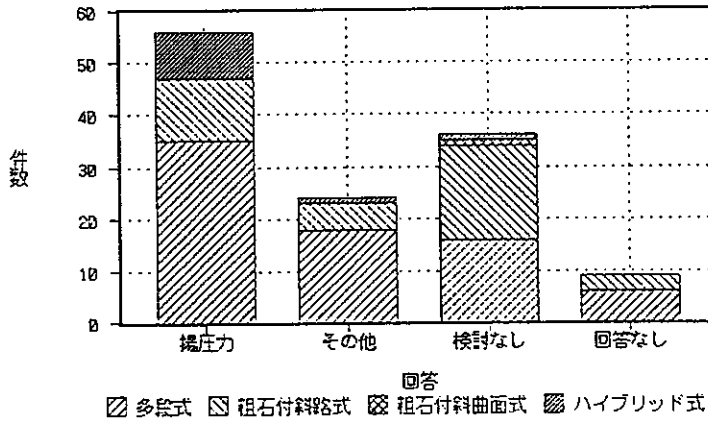
本体の断面計算を行ったか？



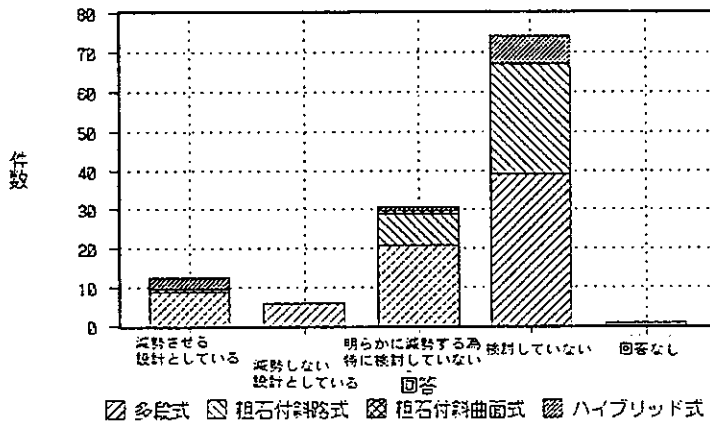
水叩き長の計算方法は？



水叩き厚の計算方法は？



減勢する設計としているか？



2.1 調査結果における課題など

調査の中で設計上の課題や、維持管理上の課題、工夫した点、改善すべき点などについてアンケート方式で設問した結果、様々な回答が得られたので紹介する。

本体、水叩工の設計方法が従来の基準にのらないためいろいろな考え方をしているが、大きく分類すると以下のとおりである。

- ・多段式や斜路の部分を本体として扱っている。
- ・一段一段をユニットとして考えその集合体として扱っている。
- ・本体と水叩工を一体構造として扱っている。
- ・本体と水叩工を別に扱い、水叩工下げたり、斜めにしてその上に隔壁や、粗石をのせ、多段式や斜路の部分を水叩工の変形として扱っている。
- ・駒止め擁壁と、短い水叩工の連続体（構造上は切れている）として扱っている。

いずれも、設計法が確立されていないため、本体の安定設計を特にしていないものが多い。

また、疑問点として次のようなものがあげられた。

河川計画上として、

- ・遡上する魚の出口として、あるいは、降下する魚の入口として、床止工本体の一部を切り下げしたり、中央部を下げて湾曲させることによる縦断的影響はないか。

水理として

- ・斜路や多段式にした場合、水の勢いが弱まらず減勢効果が失われる事やこのことにより、下流に河床洗掘が生じる事。

設計として

- ・段差や、水深、勾配などの考え方。
- ・隔壁等の最小部材厚の考え方。

全般として

- ・河床規模と床止工のタイプの適用範囲

次に設計や施工する上で魚が上り下りしやすいように工夫した点について紹介する。

本体について

- ・切欠きをつけた。
- ・隔壁を非越流部や潜孔を設けた。
- ・中央部を下げて、低水時に水が集まりやすい構造とした。
- ・隔壁を下流に向けV字型に湾曲させ、低水時に水が集まりやすい構造とした。
- ・越流部分の角を丸くしたり、半割丸太をつけ水の剝離を防ぐなどディテールに配置した。
- ・粗石に下流に窪みをつけた。
- ・取付擁壁の前面に置き石をした。

本体上下流部分について

- ・上下流の護床工の一部を下げ通路を設けた。
- ・上下流の護床工の一部に魚溜り（プール）を設けた。
- ・上下流の河岸に魚巢ブロックを設けた。
- ・護岸工に空隙の多いブロックを使用した。

維持管理上の問題点

- ・土砂の堆積
- ・植石部分にゴミが付着する。
- ・護床工下流部の洗掘
- ・石の剝離、流失

今後改善すべき点として気が付いたこと。

- ・プール長を長くする必要がある。
- ・土砂吐の検討
- ・安定した水深の確保のため上下流に低水路を作る事や、本体を湾曲させる。
- ・多段式の場合、底生魚、甲殻類に対する配慮

・粗石付斜路式の場合、石の配置や間隔

改善すべき点については、工夫した点と一部重複しているものもある。

3. 魚からみた河川砂防技術基準（案）や河川管理施設構造令の問題点

現行の基準や構造令のなかには、河川砂防技術基準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。

アユの跳躍高は、流水中では30cmから70cmであるといわれているが（白石1955、小泉1965）、魚を疲労させないための落差は30cm以内である。

ここでは、白石（1955）のデータをもとに跳躍高の上限を50cmと考え、一般に落差が50cm以上あるものについては、魚道が必要となると判断した。

また、落差が50cm未満であっても、現行基準では、水叩工部分の水深が十分確保されてないことにより、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。

水叩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、モクズガニの減少の原因の一つとして、コンクリートの水叩工の普及によるとの説もある。

さらに、現行基準の本体構造に魚道を外付けした場合、魚道が床止工下流に突出するため、魚が入り口を見つけにくい問題がある。

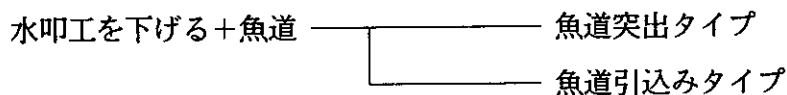
また、みお筋の安定していない河川では、魚道の入り口が土砂で埋まってしまい、魚が遡上できなくなる問題が生じやすい。

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事が多く、水叩工部分の問題に帰着する。

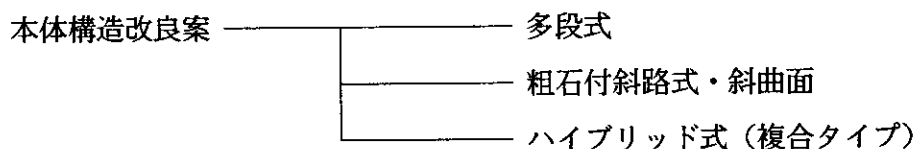
4. 魚にやさしい床止工型式の提案

3. で述べたような現行基準における床止工形式の問題点を踏まえて、魚ののぼりおりしやすい床止工形式を提案する場合、次の2通りの考え方がある。

水叩工部分に十分な水深を確保することで魚の降下に配慮し、かつ魚道を設け魚の遡上に配慮する方法として



また、同じく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う、魚の遡上が困難になるケースに対応して、床止工本体の形状そのものを変える方法として



以上6つのタイプについて、設計法、魚の遡上のしやすさ、降下魚に対する配慮、治水安全性（洪水時の水理）、景観性、構造・施工性、維持管理性の項目について比較検討を行い、型式ごとの整理を行った。（表-1）

表-1 落差工型式比較表

項目	① 水叩き部を下げる+魚道		② 全断面魚道式落差工				
	魚道突出型	魚道引き込み型	多段式	粗石付斜路式	粗石付斜曲面式	ハイブリッド式(粗石付斜曲面+魚道)	
適上し易さ	登り口の 見つけ易さ	・河川水が魚道のみを流れるのを見つけて登り口を床止工か床は容易であるが、床止工が直下で迷入する可能性がある。 ・水叩き部の堆砂で登り口が埋まり易い	・床止工の落ち口と魚道登り口が一致しているが、登り口が比較的に見つけやすく、また、増水時に、内流量が集中し、土砂が堆砂により埋まりにくい。	・全断面から越流する為、小流量時を除いて、見つけやすい。特に河川に対しては有効である。 ・小流量に対しては切り欠きを設けるなどして対応が可能である。	・特に流量が小さく水深が浅くなる場合を除けば、全断面から流下する為、筋が安定しない河川には有効である。	・床止工下流部で流れが中央に集中する為、魚が登り口を見出し易い。	同 左
	水理特性(適上し易さ)	・魚の適上しやすさは魚道形式に依存する。魚道形式に依るが、流速が増大し、魚道としての機能しなくなる可能性が高い。	同 左	・基本的に段階式魚道と同様の水理特性があるが、スリットなど非対称形状の流路を設けることで、流速を増大させ、魚の適上しやすさを高めることができる。 ・プール内に対処可能であるが、持続力に不足する。	・流量変化による流況の変化が激しい。 ・魚の遊泳能力に合わせ、勾配を緩くする必要がある。 ・水深が深くなると、流速が速くなるが、魚に採餌されやすい。 ・粗石が粗度として機能すればする程、流れが乱れる。	・増水時は流水は、中央部(最急勾配部)に集中し、その結果として周辺に緩流部が形成される。 ・周辺の緩流部は比較的水深のある部分で、比較的流速の遅い部分が生じ、色々な魚種に対応が可能である。 ・小流量時は流水が中央部に集中し、流速が速く、また、周辺の緩流部が薄く細くなる為、魚の適上は困難である。 ・休息場所は無い為、適上経路は短い程良いが勾配がきつく流速が速くなる。	・増水時は流水は、中央部(最急勾配部)に集中し、その結果として周辺に緩流部が形成される。 ・周辺の緩流部は比較的水深のある部分で、比較的流速の遅い部分が生じ、色々な魚種に対応が可能である。 ・小流量時は流水が中央部に集中し、流速が速く、また、周辺の緩流部が薄く細くなる為、魚の適上は困難である。 ・休息場所は無い為、適上経路は短い程良いが勾配がきつく流速が速くなる。
降下し易さ	・水叩き部に十分な水深を確保している為、基本的には問題ない。	同 左	・小落差の連続で落とす為、特に問題は無い。	・斜路上を流下させる為、問題は無い。	・斜面上を流下する為、問題は無い。	・魚道部についても斜曲面部についても問題は無い。	
治水安全性(洪水時の水理)	・現行基準の床止工と基本的な減勢に対する水理特性は良い。	・増水時魚道部に流水が集中する為、何らかの対策が必要。 ・洪水時の減勢に対する水理特性は左案同様に良い。	・洪水時には流水は斜面を落下する流れとなり、段階部における減勢は期待できない。下流部にエンドシール、バップルピア、水罅池等を設けて減勢する必要がある。	・洪水時の流況は斜面を落下する流れである為、減勢させるにはエンドシール、バップルピアが必要となる。	・洪水時の流況は斜面を落下する流れとなり、且つ下流部では中央部に水が集中して水面が盛り上がる事が予想される。 ・下流部の減勢は左案と同じであるが、中央に流れが集中する分、不安定化が懸念される。	同 左	
景観性	・床止工下流側に魚道が突出しており、バランスの良くない景観となる。	・魚道が突出していない分左案よりは良い。	・人工的な景観となるが、自然石を用いることなどによって改善はできる。	・全面に水が流れる為、早瀬状をなし景観は良い。	・流量が多い時は自然河川の早瀬に見せることもできる。 ・流量が少ない時は、両側にコンクリート面が広く表面に出る為、景観的に好ましくない。	・流量が多い時は自然河川の早瀬に見せることもできる。 ・流量が少ない時(特に魚道のみを流れる時)はコンクリート面が広く表面に出る為、景観的に好ましくない。	
魚道としての設計法	・通常の魚道設計であり、水理条件、対象魚種に適した設計が容易。 ・魚道位置に配慮が必要	同 左	・魚道(床止工)内の平水時の流量、流速は越流公式によって予測が可能であり、対象魚種に適した設計が容易。	・流速の計算は、等流計算によるが、粗石による粗度の評価が難しい。	・平水時の流速は斜曲面の形状、粗石の配置、形状に大きく左右される為、流量、流速の予想は困難であり、水理模型実験での検証が必要である。	・斜曲面部は左案と同様。	
構造・設計法	・構造的に簡易である。 ・基本的に床止工と魚道は構造上は切れており、床止工と魚道についてはそれぞれ設計法は確立されている。	・基本的な本体構造は設計法は確立されているが、魚道を引き込んだ部分に構造的な弱点となる可能性がある為、別途配慮が必要。 ・魚道内に三方から流入する可能性があり、魚道側壁を床止工天端より突出させるなどの工夫が必要となる。	・構造的に複雑である。 ・床止工としての設計法が確立されていない。	・基本的な構造は単純である。 ・床止工としての設計法が確立されていない。	同 左	同 左	
施工性	・施工性に優れる。	同 左	・構造が複雑な為、施工性は落ちる。	・粗石の張り付けが難しい。	・斜曲面、粗石の施工が難しい。	同 左	
維持管理性	・魚道部には、土砂やゴミが流木が集中しやすく定期的な維持管理が必要。 ・維持管理は魚道部のみであり、比較的容易にできる。	・左案より更に土砂、ゴミ、流木が魚道部に集中しやすいため、維持管理は魚道部のみであり比較的容易にできる。	・プール内に土砂が堆積しやすいため、維持管理の必要がある。 ・流速が弱まりづらいため、護床工下流部の河床洗掘が進む可能性がある。	・土砂の堆積やゴミ、流木が引掛かることは少ない為、基本的に維持管理は容易である。粗石の流失が生じる事がある。	・斜曲面内には砂の堆積はない。下流部にプール(水罅池)を設ける場合は、土砂堆積はあるが中央部では自然に水みちが出る為、維持管理面では容易である。 ・河道中央部への流水の集中により、河道中央部の河床洗掘が増大し、護床工の維持が困難である。	・斜曲面部、左案と同様に維持管理が容易である。 ・中央部の魚道は、土砂・ゴミ・流木等が集中しやすく、破損の可能性もある。 ・河道中央部への流水の集中により、河道中央部の河床洗掘が増大し、護床工の維持が困難である。	

5. 床止工形式ごとの適用範囲

4. で比較検討を行った床止工型式については、川幅、流出特性など外的な条件により、適用範囲があると思われ、それについて以下に示す。

魚道付床止工

土砂流出や、流木等の多い河川は維持管理上不利である。

多段式床止工

構造的に複雑なため、また延長が長く必要なため、川幅の広い河川は、経済的に不利となる。

粗石付斜路式

勾配を緩くする必要があるため、延長が長くなり川幅の広い河川は、経済的に不利である。

水位変動の激しい河川や、平水時流量が少ない河川は不利である。

粗石付斜曲面式

川幅の小さすぎる河川は、斜曲面の水理特性からいって適さない。

川幅の大きな河川は、経済的に不利となる。

渇水時流量が小さな河川には適さない。

ハイブリッド式

川幅の小さすぎる河川は、斜曲面の水理特性からいって適さない。

川幅の大きな河川は、経済的に不利となる。

土砂流出や、流木等の多い河川は維持管理上不利である。

なお、定性的な整理は、今後の課題である。

6. 今後の課題

今年度は、既存の文献や専門家のヒヤリングなどを通じ魚ののぼりおりしやすい床止工について提案し、特徴、適用範囲をまとめてきたが、提案したタイプについては、今後さらに詳しい調査研究が必要である。

第一に魚道の眼から見て本当にのぼりやすい、或いは、安全に降りられる構造となっているかについて検証する必要がある。

次に河川管理施設としては、最も肝心な洪水時の安全性、減勢効果についてや特に本体構造を改良する場合の安定計算の手法などについての検証がある。

これらについては、必要に応じ模型実験などを行いながら今後調査研究していかなければならないと考えている。

ここでは、特に洪水時の減勢と、安定計算の課題について述べる。

現行基準の床止工は、下流の勾配を1：0～1：0.5として、洪水時に流れが完全跳水を起こし、減勢しやすい形状となっている。一方、魚に配慮した多段式や斜曲面式は本体下流の法勾配を1：5～1：10程度と緩くするため洪水時に減勢しにくいといった問題が生じる。

現行基準における水叩工、護床工の範囲の決定は、ブライの式によるが、これは、流れが落下直後に減勢することを前提としているため、多段式などの場合、ブライの式と跳水長の両方から検討する必要があると考えられる。

減勢の方法としては、段上がり（エンドシル）やバップルピアなどの減勢工によって強制的に跳水を起させ、減勢させる方法が考えられるが減勢工の諸言や水叩工の長さ、護床工長については、模型実験によって検証することが望ましい。特に斜曲面式や、多段式で隔壁を下流に向けV字型にしたものなどは、床止工下流において、流れが中央に集中することが予想されるため、実験による下流側の流況や減勢工の効果の検証が不可欠であると考えられる。

次に、安定計算の考え方については、現行基準では、重力式の擁壁構造のため転倒、滑動、基礎支持力に対する検証を行えば良いが、多段式や斜曲面とした場合、縦断方向に長い構造となり、2.の事例調査結果で述べたような種々の考え方が生じている。

大きく分けると、本体は現行基準と同様で多段式や斜路の部分は、水叩工の変形であるといった考え方、多段式や斜路の部分は本体そのものであるといった考え方、本体そのものであるがいくつかのユニットに分割して考える方法などについて設計法の合理性や簡便性などの観点から考察を加えていく。

7. おわりに

魚にやさしい床止工形式の試案については、試案という名の通り、まだ緒についたばかりである。今後さらに調査研究を続け、設計法を確立していくことを目標とするものである。

最後に、本研究にあたり、いろいろと助言をいただいた豊橋技術科学大学の中村俊六先生、また忙しい中調査に協力していただいた都道府県の担当の方にはここにお礼を申し上げます。今回は、この中間報告と言う事でご理解いただければ幸いです。