

魚類往来へ配慮した 樋門水路の調査検討結果について

(独) 土木研究所寒地土木研究所 道央支所 ○桃枝 英幸
数馬田 貢
磯田 卓也

魚類往来へ配慮した樋門水路を検討するにあたり、魚類往来に支障があると思われる落差を持つ樋門水路の詳細調査を実施した。その結果、落差パターンに傾向があることが判明し、同時に吐口水路全断面を用い落差を分散させる等の工夫により、魚類遡上へ配慮した改修を行っている樋門も見受けられた。

しかし、全断面による改修は多額の費用を要するため、簡易な施設改良で、どこまで魚類遡上に有効なものができるか水理模型実験を行い効果の検証・整理を行った。

キーワード：魚類、落差、樋門水路、施設改良

1. はじめに

一昨年、(独) 土木研究所寒地土木研究所道央支所では、担当の札建、室建、小樽建管内にある49樋門において、樋門水路内にどのような落差があるかを把握するため詳細調査を実施した。その結果、魚類遡上に支障があると思われる落差を有した樋門が数多く存在することが判明した。主な落差成因として、護岸と素堀部境界に生じる水路中間部落差、樋門水路と本・支川交点に生じる合流部落差、函体出口に吐き口スロープ落差があることがわかった。このような樋門落差により、河川の縦断的な連続性が途絶えているところでは、樋門上流の河川への魚類遡上の制限、落差が発生する以前の魚類構成に影響を与えた可能性がある。踏査の際、落差がある樋門が確認されたと同時に、帯工や石組工により落差を分散させ魚類遡上へ配慮した樋門水路があるのも確認できた。既存文献¹⁾には、『取付河川までの間で段差等が生じており、魚類等の移動のため必要があるときは、当該河川及びその接続する水路の状況等（必要な場合は関係者の意見を含む）を踏まえ、段差等の緩傾斜化、水深の確保等を実施することとしている。』との記載がある。これらを踏まえ、落差を有する樋門から上流に魚類を遡上させたいというニーズがあった際、前例と同じように改良する方法もあるが、これらは多額の費用を要し、特に石組工の場合は材料と知識を持った指導者の確保等の問題がある。そこで本研究では、簡易な施設改良案として、詳細調査で確認された代表的な落差パターンである

樋門水路部、樋門水路本・支川合流部、樋門吐き口スロープ落差毎に対応する隔壁モデルを提案した。本研究では提案した隔壁モデルの有効性を検証するため、水理模型実験を実施し、現象の目視確認、維持管理上の問題点の抽出を行った。

2. 方法

水理模型実験は、図-1に示した実験装置を用いて実施した。本実験装置内の実験水槽にそれぞれ、図-2に示した樋門水路部、樋門水路本・支川合流部、樋門吐き口スロープを再現した水路模型を装着し、小型ポンプで水を循環させ流出状況を再現する。また、土砂流出を再現するため、土砂の代わりに珪砂を使用した。隔壁モデルについては、乾燥すると防水機能を持つ粘土を使用して製作した。

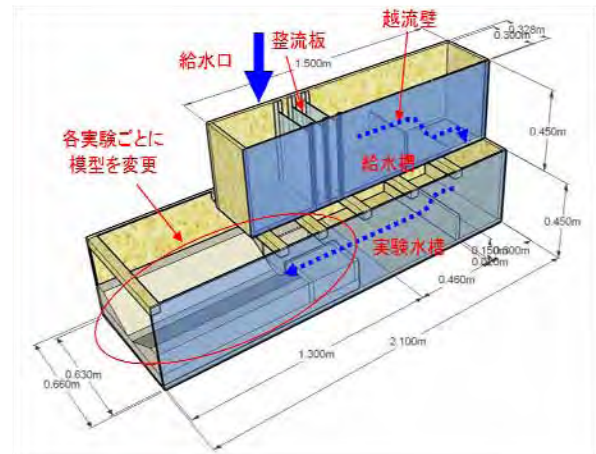


図-1 模型実験装置

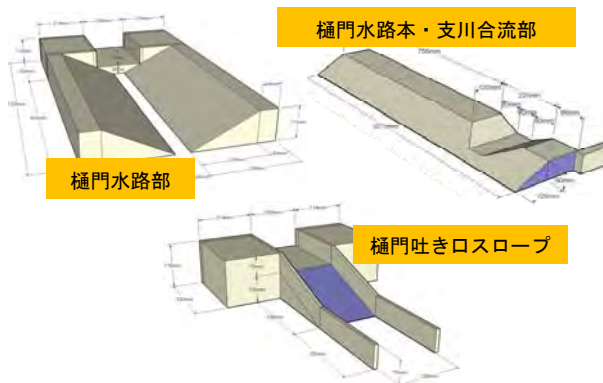


図-2 水路模型イメージ

(1) 樋門水路部

本モデルは、素掘境界との護岸端部より上流側に隔壁を置くことによる減勢効果で、素掘部に土砂が堆積するようであれば、境界部の落差発生を抑制出来ると考え、それらの現象が再現されるかを観察する目的で実験を行う。模型縮尺は1/20であり、実規模では勾配1/1000、水路幅1.0m、土砂は3mm粒径となる。法勾配は実態に合わせて2割とした。隔壁は場所打ちを想定した。形状については、直線型・下流アーチ（下流に張り出し）型・上流アーチ（上流に張り出し）型（写真-1）の3案を用い、形状の違いによる土砂堆積・土砂移動状況の違いを検証した。



写真-1 上流アーチ型隔壁モデル

また、流量は土砂が移動する最低量として約1.1m³/s、中小洪水量を想定として約5.4m³/s、中間量として約3.0m³/sの3パターンを再現し、それぞれの違いを検証した。

(2) 樋門水路本・支川合流部

本モデルは、樋門水路と本・支川の交点である合流部に箱型隔壁を置き、プールを数段造成することで、魚類が円滑に遡上できる経路が確保されるか、また、隔壁に流水が直接当たることでの洗掘が懸念されるため、隔壁の上流側に水制を置くことで隔壁が洗掘から守られるかを観察する目的で実験を行う。模型縮尺は1/50であり、実規模では勾配1/1000、水路幅はそれぞれ13.0m（本・支川）、3.0m（樋門水路）、土砂は3mm粒径となる。プールは2段とし、1段目プ

ール（以下、「プール1」とする）の上流隔壁天端高は樋門敷高より高くし、下流側は樋門敷高と同じとした。2段目プール（以下、「プール2」とする）の下流隔壁の天端高さは、上段2段より低く設定した。また、プール2の上・下流隔壁には、越流部として台形状の切り欠きを設けた。隔壁の上流に設置する水制工の張り出し長さは、隔壁の張り出し長さと同じにした（写真-2）。流量（本・支川）は通常量として約11m³/s、中小洪水量として約21m³/s、洪水量として約55m³/sを再現し、各流況毎の現象の違いを検証した。



写真-2 箱型隔壁モデル

ただし、樋門水路内の流量は本・支川流量増に伴って増えるが、溢れるまでは増やしていない。土砂流出状況については、中小洪水量（水制工を越流しない）と洪水量（水制工を越流する）について検証した。また、上流水制工が無い時の通常量・洪水量の流況毎の現象の違いを検証した。合わせて、隔壁を置くことで、本・支川内にどのような影響を及ぼすか本実験全般を通して観察した。

(3) 樋門吐きロスロープ部

本モデルは、隔壁によりプールが造成されることで水面が連続し、魚類が円滑に遡上できる経路が確保されているかを観察する目的で実験を行う。

水路模型は縮尺1/20であり、実規模では勾配3割、水路幅4.0m、土砂は7mm粒径となる。

隔壁モデルはコンクリート場所打ちを想定した。隔壁モデルは3案とし、1案（写真-3）は隔壁越流部・非越流部と通水部、2案は隔壁非越流部と通水部、3案は隔壁非越流部のみで通水部は無いものとした。3案とも側壁側の両端部の隔壁は、流水が緩やかに越流するよう台形型とした。流量は、隔壁を越流しない流量として約0.7 m³/s、隔壁を越流する流量として約2.4m³/sを再現し、それぞれの違いを検証した。また、土砂流入・堆積による機能低下が生じないかを確認するため珪砂を流し、現象を検証した。



写真-3 樋門吐きロスロープ隔壁モデル (1案)

3. 結果

(1) 樋門水路部

1) 最低量1.1m³/sの場合

- ①直線・下流アーチ・上流アーチ型に共通した現象
(写真-4)

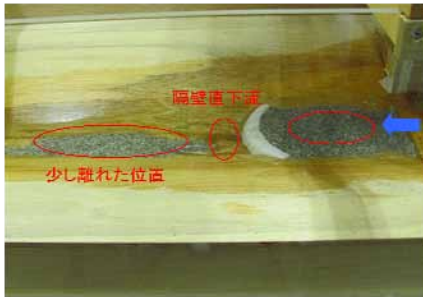


写真-4 3案に共通した現象

- ・隔壁上流は土砂が堆積。
- ・隔壁直下流は土砂が堆積しない。
- ・隔壁下流の少し離れた位置では、土砂が堆積。堆積量は3流量の中で1番少ない。土砂供給が無くなると土砂は排出。

2) 中間量3.0m³/sの場合

- ①直線・下流アーチ・上流アーチ型に共通した現象
- ・隔壁上流は、土砂が堆積する。
 - ・隔壁下流の少し離れた位置では、3流量の中で、1番多くの土砂が堆積する。土砂供給が無くなると土砂は排出。
- ②直線型にのみ確認された現象
- ・隔壁直下流は、土砂が堆積しない。
- ③下流アーチ型にのみ確認された現象
- ・隔壁直下流は、土砂の流出が隔壁中心から集中して排出し、隔壁の上流側と繋がるように土砂が堆積。土砂供給が無くなると土砂は排出。

④上流アーチ型にのみ確認された現象

- ・隔壁直下流は、土砂が堆積。

3) 中小洪水量5.4m³/sの場合

- ①直線・下流アーチ・上流アーチ型に共通した現象
- ・隔壁上流は、土砂があまり堆積しない。

- ・隔壁下流の少し離れた位置では、3流量の中で、2番目に多くの土砂が堆積。土砂供給が無くなると土砂は排出。

②直線・下流アーチ型に共通した現象

- ・隔壁直下流は、土砂が堆積しない。

③上流アーチ型にのみ確認された現象

- ・隔壁直下流は、湾曲に沿って土砂が堆積するが、土砂供給が無くなると土砂は排出。

(2) 樋門水路本・支川合流部

1) 水制工がある場合

①通常量11m³/sの場合

- ・プール1, 2の隔壁左岸摺付部から緩やかに越流。
(写真-5)



写真-5 プールからの越流状況

②中小洪水量21m³/sの場合

- ・プール1内の流れは穏やか。プール2内は、樋門水路とプール1からの越流により、渦が出来る。
- ・水制工は上流からの強い流れを受け、先端部で滞筋が対岸側に変化する。

③洪水量55m³/sの場合

- ・中小洪水時と同様、水制工は上流からの強い流れを受け、先端部で滞筋が対岸側に変化する。
- ・プール2内は、渦流が発生する。

2) 土砂流出状況 (水制工がある場合) (写真-6)

①中小洪水量 (水制工を越流しない) の場合

- ・水制工左岸摺付部からの越流水が、プール1背面の隅角部を洗掘する。
- ・水制工は上流からの強い流れを受け、水制先端部は洗掘を受ける。
- ・プール1から本・支川への越流水の影響で、プール2の背面は洗掘を受ける。
- ・水制工上流の土砂は排出されていない。また、水制工とプール隔壁間の土砂も堆積したまま。

②洪水量 (水制工を越流する) の場合

- ・水制工左岸摺付部からの越流水が、プール1背面の隅角部を洗掘する。
- ・プール1, 2の背面土砂は全て流出。



写真-6 流況・土砂流出状況

3) 土砂流出状況 (水制工が無い場合)

①通常量の場合

- ・プール1 隅角部から土砂が流出し始める。
- ・隔壁上流側の土砂は流出せず、堆積したまま。

②洪水量の場合

- ・プール1 隅角部から土砂が流出し始める。
- ・プール1 から本・支川への越流水の影響で、プール2の背面は洗掘を受け、勢いよく土砂が排出。
- ・隔壁上流側の土砂は流出せず、堆積したまま。

4) 本・支川への影響について

水制工があった場合、ここで受けた上流からの強い流れが水制工先端部で対岸の斜め下流方向に変化し、流れが当たった河岸部付近から土砂が流出。

水制工が無い場合では、隔壁上流端で受けた強い流れが、水制工先端部と同じように隔壁上流端角部から対岸の斜め下流方向に変化し、流れが当たった河床部から土砂が流出。(写真-6)

(3) 樋門吐き口スロープ部

1) 1 案

①隔壁を越流しない流量0.7m³/sの場合 (写真-7)

- ・隔壁の上流部にはプールが形成され、(※c)部も水深が確保されている。
- ・連続して水深を持った水面が確保されている。



写真-7 隔壁を越流しない流量での流況 (1案)

②隔壁を越流する流量2.4m³/sの場合 (写真-8)

- ・非越流部越流後に気泡が混入し、プール内で流況が乱れている。
- ・隔壁の越流部分の流況は安定している。

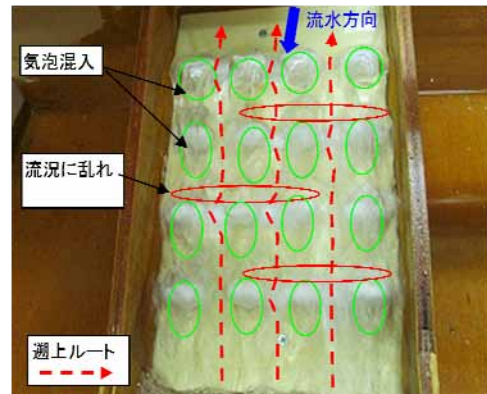


写真-8 隔壁を越流する流量での流況 (1案)

③隔壁を越流する流量での土砂流入・堆積状況

- ・土砂供給があれば隔壁上流側に溜まるが、土砂供給が無くなると、全て排出。

2) 2案

①隔壁を越流しない流量0.7m³/sの場合 (写真-9)

- ・隔壁の上流部にはプールが形成され、(※c)部も水深が確保されている。
- ・連続して水深を持った水面が確保されている。

②隔壁を越流する流量2.4m³/sの場合 (写真-10)

- ・非越流部越流後に気泡が混入し、プール内で流況が乱れている。
- ・下流側に行くほど流況が乱れる。ただし、水路側壁部の流況はやや安定している。

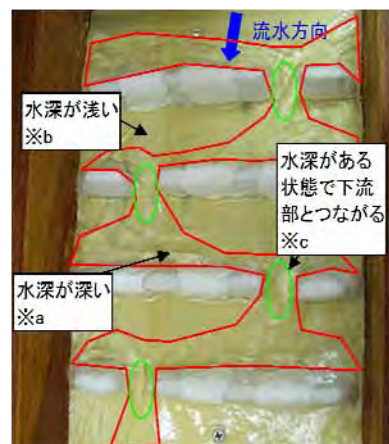


写真-9 隔壁を越流しない流量での流況 (2案)

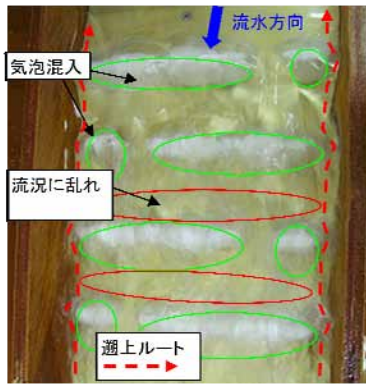


写真-10 隔壁を越流する流量での流況 (2案)

③隔壁を越流する流量での土砂流入・堆積状況

- ・土砂供給があれば隔壁上流側に溜まるが、土砂供給が無くなると、全て排出。

3) 3案

①隔壁を越流しない流量0.7m³/sの場合 (写真-11)

- ・隔壁天端まで水位が上がり、プール間で水深が確保され、水深の浅い箇所がほぼ無い状態である。
- ・水路側壁部の流況は、安定している。

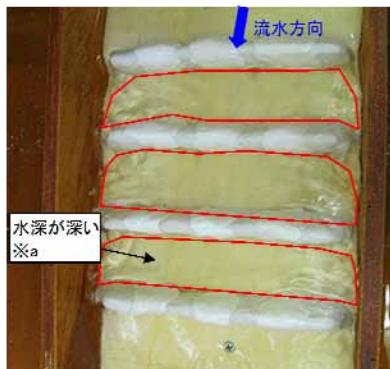


写真-11 隔壁を越流しない流量での流況 (3案)

②隔壁を越流する流量2.4m³/sの場合 (写真-12)

- ・非越流部越流後に気泡が混入し、プール内で流況が乱れている。
- ・水路側壁部の流況は、やや安定している。



写真-12 隔壁を越流する流量での流況 (3案)

③隔壁を越流する流量での土砂流入・堆積状況

- ・土砂供給時は、上流側1段目と2段目の隔壁下流側に土砂が溜まり、土砂供給が無くなっても同じ状況であった。土砂供給が無くなり流量を弱めると土砂はほぼ排出される。

4. 考察

(1) 樋門水路部

3案の隔壁モデルともに、隔壁の減勢効果による隔壁から少し離れた位置での土砂堆積が確認できたが、3つの流量ともに、隔壁上流は土砂が堆積しているのに直下流で土砂が堆積せず、少し下流の位置で土砂が堆積するのは、護岸が2割勾配のすり鉢状になっていることで隔壁直下流に水が集まることにより掃流力が上がり、流況が落ち着く位置に堆積すると考える。また、3案とも中間流量時に隔壁下流に堆積する土砂量が一番多くなったのは、流量が最低量だと、隔壁から越流する土砂量が少なく、中小洪水量になると隔壁から越流する土砂量は最も多く、隔壁直下流での掃流力も大きくなっている考える。また、特徴的な現象の違いとして、中間流量時、下流アーチ隔壁直下流は、土砂の流出が隔壁中心から集中して排出され、隔壁の上流側と繋がるように土砂が堆積したが、これは隔壁上流部中心に流量が集中することにより、越流量・掃流力が大きくなっていることが考えられる。また、中小洪水量時に上流アーチ隔壁直下流では、湾曲に沿って土砂が堆積したが、これは隔壁形状の影響で流向が両端に向かい、水面が広がった形で越流するため、中心部の越流量が少なくなり土砂が排出されにくくなっていると考えられる。また、直線・下流アーチ型については端部からの遡上が可能であると考えますが、上流アーチ型については、下流に向かって張り出す形で端部が摺付いているのと、越流量が多いことを踏まえると、魚類の遡上は困難と考える。

(2) 樋門水路本・支川合流部

通常時の流況では、隔壁河岸法面に摺付き箇所からの越流が緩やかで、ここから魚の遡上が可能と考える。プール2はプール1に比べ容量が小さいことから減勢しきれず渦流が発生し、掃流力が高まっていると考える。また、水制工が無い場合でも隔壁上流に堆積している土砂が流出しなかったのは、模型川幅(260mm)に対し、隔壁張り出し幅(110mm)で、占有率が1/2以下であることから、流水の衝撃を減衰できる幅があれば洗掘は受けないと考える。この結

果から、水制工の必要性は無いものと判断できる。水制がない場合でも、隔壁上流端角部から対岸の斜め下流方向に変化し、流れがあたった対岸河床から土砂が流出したが、同時に河岸も洗掘を受ける恐れがある。また、樋門水路内の流量が多くなった場合、プール1では本・支川へ越水し、プール2では渦流が発生することから、通常時に土砂が溜まっても、出水での排出が想定され、維持管理上支障ないと考える。以上を踏まえると、プール自体は流量変化に対応できずに流況が不安定になることも多いことから、魚類の遡上経路として利用される可能性は低いと考える。

(3) 吐きロスロープ部

1案は、隔壁を越流しない流量時には通水部、隔壁非越流部を越流する流量では隔壁越流部が魚類の有効な遡上経路になると考える。

2案は、隔壁を越流しない流量時には通水部、隔壁非越流部を越流する流量では側壁部が魚類の有効な遡上経路になると考えられる。

3案は、流水が隔壁を越流するしないにかかわらず、魚類の有効な遡上経路になると考えられる経路は側壁部のみだが、隔壁を越えない流量でも、水深の浅い箇所はほぼ存在せず、水深を持った水面が連続して確保される面で有力と考える。また、全ての案で、隔壁を越流する流量になると、隔壁越流後に気泡が混入し、プール間で流況が乱れるのは、越流水がプールの下に潜り込み、それを前面の隔壁が減勢しきれず、プール内で乱流が起きると考える。また、3案とも土砂が溜まらず排出することが検証され、維持管理上支障ないものとする。

5. 結論

本研究で得られた結果を要約すると以下のようになる。

(1) 樋門水路部

①直線・下流アーチ・上流アーチ型とも、隔壁直下流に土砂は溜まらず、流況が安定した場所に土砂堆積し、土砂堆積量は、流量が中間の時に最も多い。
②下流アーチ型は隔壁中心部からの越流量が多い。
③上流アーチ型は隔壁端部からの越流量が多い。魚類遡上は困難。

ただし、土砂供給が無くなると、堆積していた土砂は全て排出するため、樋門に接続している河川からの土砂供給状況を把握しておく必要がある。また、堆積した土砂が流出しないように護岸河床ブロック

を凸型にして粗度を上げておく等の事前対策も重要と考える。

(2) 樋門水路本・支川合流部

①隔壁が河岸法面に摺り付いた箇所から、魚が遡上可能。
②プール自体は魚類の遡上経路として利用されない。
③プール内の土砂は中小洪水量で排出される可能性が高く、維持管理上問題ない。
④水制工は必要無い。
⑤対岸下流河床が洗掘を受ける。

対岸河床が洗掘を受けたということは、河岸も浸食を受ける可能性が高く、護岸等の副次的な対策が必要となり、簡易ではなくなると同時に安価ではなくなる。隔壁が河岸法面に摺り付いた箇所からの越流が緩やかで、ここからの魚類遡上の有効性を活かした上で、張り出しを少なくし、縦断方向に伸ばす等、構造の見直しが必要であるとする。

(3) 樋門水路吐きロスロープ部

①1案については、流況により経路は異なるが、通水部、隔壁越流部、側壁部が魚類遡上経路となる。
②2案についても、流況により経路は異なるが、通水部、側壁部が魚類遡上経路となる。
③3案については、流況にかかわらず、側壁部のみが魚類遡上経路となる。また、水深を持った水面が連続して確保される。
④3案とも、流量が多いとプール内の流況が乱れる。
⑤土砂は溜まることなく排出されるため、維持管理上支障ない。これらを踏まえた結果、隔壁を跳躍せずに魚が遡上可能で、ある程度の流量変化に対応できる3案が最も適していると考えられる。

また、本案については水路内の護岸素掘部境界に既に落差がある樋門水路にも適用可能と考える。

最後になるが、今後は、行政の意見を取り入れつつ、数値解析での裏付けを含め、大きいモデルを用いた実験を行う等、精度向上を図ったうえでの検証を行い、少しでも実用可能なものにしていきたいと考える。

謝辞：北海道開発局札幌開発建設部・小樽開発建設部・室蘭開発建設部には現地調査フィールド・資料を提供していただいた。また、奈良理事をはじめとする北海道魚道研究会の方々からは、会合という貴重な機会を与えていただき本案を練る上で、有益な助言をしていただいた。ここに記して謝意を表す。

参考文献

1) 社団法人日本河川協会：解説・河川管理施設等構造令,pp240,2000