

岐阜県魚道カルテの評価軸の分析と 既設魚道の改善策

FUNCTIONAL EVALUATION OF FISHWAY USING CHECK-SHEET AND IMPROVEMENT OF THE EXISTING FISHWAY

和田 清¹・森 誠一²・遠藤協一³・藤井孝文⁴
Kiyoshi WADA, Seiichi MORI, Kyouichi ENDO and Takafumi FUJII

¹正会員 工博 (独)国立高専機構 岐阜工業高等専門学校 教授 (〒501-0495 岐阜県本巣市上真桑2236-2)

²非会員 博士(理学) 岐阜経済大学経済学部 教授 (〒503-0019 岐阜県大垣市北方町5-50)

³非会員 岐阜県県土整備部 河川課維持係 (〒500-8384 岐阜県岐阜市藪田南2-1-1)

⁴正会員 大日コンサルタント(株)コンサルタント事業部 (〒500-8384 岐阜県岐阜市藪田南3-1-21)

This study has analyzed factors for recovery of the fishway by cluster analysis and main component analysis using check-sheet data of fishway in Gifu prefecture. Directionality to connect with a repair method of construction using the result was examined. It is pointed out that the function of the fishway decreases, when the item of the damage of the structure, stream route, step of the flow, partial scour in a riverbed are one. In Ono fishway of the Yoshida River, the need of continuous flow quantity monitoring to connect it with the life cycle of fish was shown. All the fishways that an evaluation of the Yoshida River has worse are erosion control dams. The function of the fishway decreases by complex factors such as the sedimentation of riverbed material and the drifting wood. It is clarified that the function of Futamate fishway was restored by simple repair, and the improvement of the maintenance system.

Key Words : Fishway design, evaluation of fishway, habitat, fish migration, monitoring

1. はじめに

魚道は、ダムや堰などの高低差が生じる場所において、魚類の遡上や降下を目的として設置される構造物である。しかしながら、経年的にその機能が失われ、十分に機能していない魚道が数多く存在している¹⁾²⁾。岐阜県では「清流の国ぎふづくり」に向けた取り組みとして、県内魚道における魚類等の遡上・降下環境を確保するために、魚道点検による効率的・効果的な魚道の機能を評価し、維持管理に向けた基礎資料の蓄積が2012年度から進められている³⁾⁴⁾。魚道は流域における生態系ネットワーク支援構造物であり、水系の連続性や外来種などを考慮して総合的に整備されるものである⁵⁾⁶⁾⁷⁾。その整備目的を達成するために、この魚道カルテは、魚道の現状を根拠に基づき把握する方法として、台帳整備(施設台帳)と概略点検(定期点検)を実施し、魚道施設を効率的に機能面から評価するものである³⁾⁴⁾。

本研究では、岐阜県管理河川及び砂防施設(672箇所)

の魚道カルテ調査結果(2012, 2013, 2014年)の分析および再評価を行うとともに、魚道カルテの評価方法の見直しと改定を目的としている。さらに、魚道機能低下の要因分析によって得られた結果を活用し、長良川の支川吉田川を対象として、生態系ネットワークの観点から魚道の機能回復の具体策を試みようとするものである。

2. 魚道カルテによる点検評価の概要

岐阜県の魚道カルテは、横断工作物や魚道の整備・改善履歴を記入した魚道の施設台帳が作成され、年1回の定期点検、洪水後などの臨時点検を経て、魚道本体の個別評価および河道地形や魚道などの移動性を考慮した総合評価から構成されている。定期点検はフィッシュウェイサポーター制度により年1回、3名以上、1魚道当たり20分程度が基本とされ、機能低下した魚道は維持管理作業が一部行われている⁴⁾。このように魚道の機能回復と維持管理を強く意識したPDCAの試みは全国的にも珍し

く、既設魚道の改善・再生の継続的な取り組みの事例である。

魚道カルテの評価項目は、表-1のようであり、大項目として、(1)横断施設、(2)魚道内流況、(3)魚道施設、(4)魚類・鳥類の4つに分類されている。大項目の中に細分類(24)の評価項目が存在している。細分類(24項目)では0～3までの簡略的な評価がされている。0：評価不能、1：問題なし、2：要観察、3：改善必要である。分析を行うにあたって、これらの評価に最大値(100)の点数付けを行った。0については評価対象から除外した。また、これらの評価項目を総評して、横断施設ごとに総合評価(ABC)が付けられているが、今回は総合評価との直接的な関係を見るために、横断施設に複数の魚道施設が存在している場所については評価対象から除外した。

表-1 魚道カルテの評価項目

大項目	中項目	細分類
(1)	横断施設 上流	①魚道出入口付近の滞筋の有無
		②土砂、流木等の堆積の有無
		③河床の洗掘状況
	横断施設 下流	④魚道出入口付近の滞筋の有無
		⑤土砂、流木等の堆積の有無
		⑥河床の洗掘状況
	横断施設 全体	⑦横断施設の越流状況
		⑧横断施設の魚の移動経路
		⑨河川構造物の破損および魚道の異常状況
(2)	魚道内 流況	⑩魚道内の水量
		⑪魚道内の流況
		⑫プール間落差/魚道の勾配
		⑬越流水の状況
(3)	魚道施設 上流	⑭土砂、流木等の堆積の有無
		⑮魚道への過剰な水量の流入の有無
	魚道本体	⑯魚道の破損箇所の有無
		⑰土砂、流木等の堆積の有無
	魚道施設 下流	⑱魚道の破損箇所の有無
		⑲土砂、流木等の堆積の有無
		⑳魚道出入口の落差の有無
(4)	魚類・鳥類 の確認	㉑魚道周辺の集魚状況
		㉒魚道内の遡上状況
		㉓鳥類の確認状況

3. 魚道カルテのデータ分析

(1)各評価における総合評価の相関

図-1は、全魚道における主要な各評価項目の評価ポイントと総合評価の関係を示したものである(2012年度)。図中に描かれている斜線は、総合評価(C)における平均値の相関関係を示している。同図から、(1)横断施設、(2)魚道内流況、(3)魚道施設では変動幅は大きいものの、平均値については右下がりの相関関係が想定できる。(2)魚道内流況については、平均値の傾きが緩く、他の2つの項目に比べて標準偏差が大きい。(2)魚道内流況については、現地観測時やそれ以前の気象条件に大きく左右されるため、項目(1)と(3)に比べて、継続的なモニタリングの必要性を示唆している。さらに、(4)魚類・鳥類の確

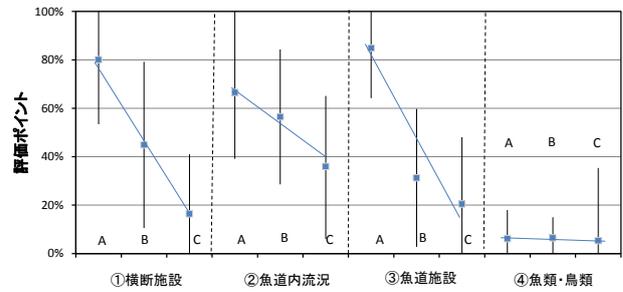


図-1 総合評価ABCと評価ポイント(2012年度)

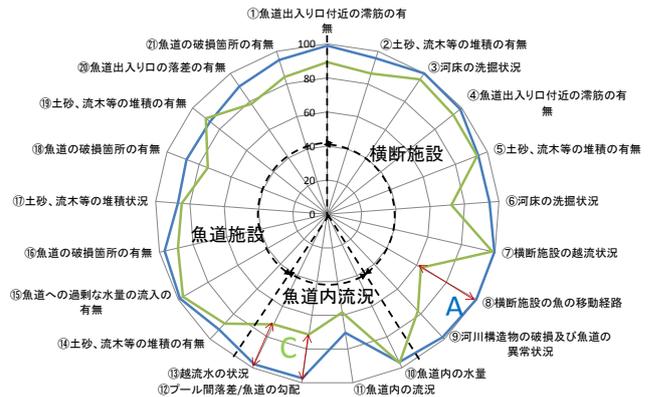


図-2 総合評価レーダーチャート(2012年度)

認状況は重要な指標であるが、現地調査時の条件に大きく左右されるため、平均値の傾きから相関性は見出せない。したがって、総合評価(ABC)に与える評価項目は、(1)≧(3)≧(2)の順に大きくなっていることがわかるこれらのことから、要因分析に当たって、(4)魚類・鳥類の確認状況は変動が大きく相関関係が見出せないため評価項目から除外し、大分類:(1)~(3)、細分類:①~㉑を用いることとした⁸⁾。

(2) 総合評価と各評価項目の関係

図-2は、総合評価AとCにおいて各評価項目における全魚道の平均値を示したレーダーチャートである(2012年度)。基本的にA評価がC評価の値を上回る形となっているが、⑲土砂・流木等の堆積の有無(魚道施設下流)や⑩魚道内流況においては、A評価とC評価の平均値が逆転する場合が見られた。前者は下流における土砂の堆積は、過剰な量でなければ魚道機能に対しての影響は少ないものであると考えられる。後者は、魚道カルテの点検時の気象条件等に大きく左右されるものであると考えられる。したがって、現状の点検頻度では、この2つの指標は他に比べて、A評価とC評価を反映できない評価項目となっている。

図-3は、図-2のレーダーチャートの細分類21項目に対して、横軸にA評価のポイント、縦軸に評価AとCの差を示したものである。グラフ右上に位置するA評価の値が100%に近く、評価Cとの差が大きい項目となり、A評価とC評価の影響を反映した指標である。同図より、最も

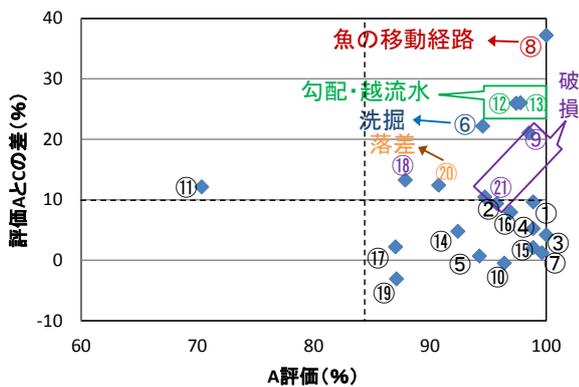


図-3 評価項目AおよびCの偏差 (2012年度)

総合評価に影響を及ぼす項目は、⑧横断施設の魚の移動経路である。また、⑪魚道内の流況のように、A評価の平均が70%と低い値を示すものもあった。A評価が100%より低い値を示すということはカルテの評価基準が明確に定まっていないということを示している。

同様に、2013、2014年度においても、⑩魚道内の水量はA評価とC評価が逆転し、⑪魚道内流況も低い値である。このように、両年ともに同様の傾向が見られ、評価AとCの差が10%、A評価が85%に閾値を設けると、評価項目は⑧⑫⑬⑯⑰⑱⑲⑳㉑㉒が共通して存在しており、これらの9項目が魚道の評価項目として重要な意味を持っている。さらに、その内訳を見てみると、項目⑧⑫⑬は両年ともに右上に位置している。すなわち、この3つの評価項目は特に総合評価に大きな影響を及ぼすものである。また、項目⑧⑱㉑のような構造物の破損に関する項目がグルーピングされている。これらのことより、物理的な破損は魚類の遡上妨害に直接的な影響を与えるので評価に大きく影響している。さらに、項目⑳の落差の有無や、⑥の滯筋の有無など、魚道入口～魚道本体～魚道出口における魚類が遡上するための連続的なルート確保に欠かせない要素がこの右上のゾーンに集中している。

(3) 支配的な指標の抽出

図-4は、2012～2014年度の魚道カルテを用いた主成分分析の結果を表したものである。同図は横軸に第1主成分、縦軸に第2主成分が示されている。同図から、2012年度では、主成分1の大きい順に、破損>魚の移動経路>勾配・越流水>洗掘>落差となっている。主成分2は、土砂・流木>滯筋の順である。2013年度においても、主成分1および主成分2の評価項目の大小関係は類似している。一方、2014年度では、主成分1が魚の移動経路>勾配・越流水>破損>洗掘>落差の順となっていること、2012および2013年度では主成分1が負の値であった土砂・流木および滯筋の項目が、2014年度は正の値に転じていることなどがうかがえる。これらのことから、3年間を比較すると値の大小はあるものの、主成分1と主成分2の座標の相対的な位置関係はほぼ同様の結果が得ら

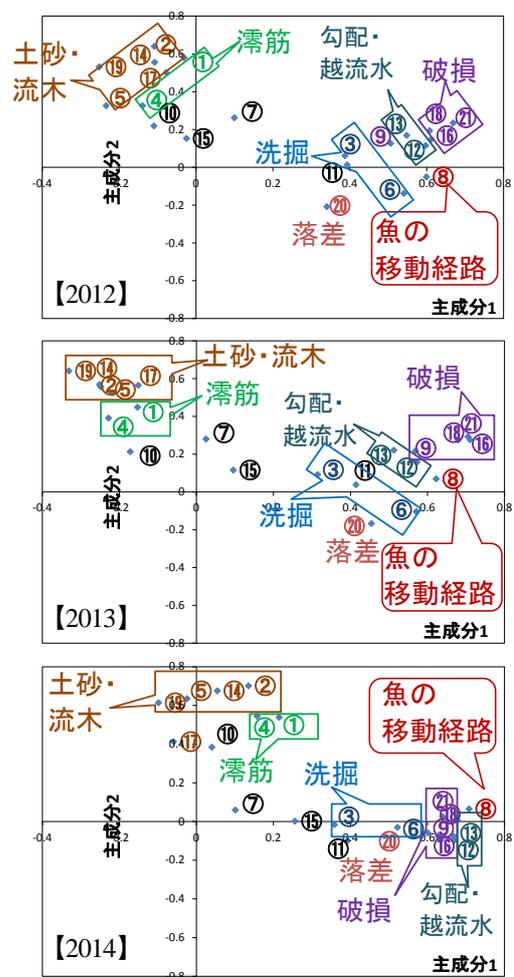


図-4 主成分分析 (2012～2014年度)

れており、主成分1は魚道構造物本体に直接関連する要因、主成分2は土砂移動などの魚道周辺の環境に影響を与える要因を示しているものと推定できる。なお、評価項目⑦横断施設の越流状況や⑮魚道への過剰な水量の流入の有無といった水理特性は、平水時の基本調査を反映して主成分1および主成分2の値が小さくなっている。

さらに、詳細に各項目の位置関係を見ると、類似した項目同士がグルーピングされることが同図より読み取れる。項目⑥③といった洗掘に関する項目や、項目⑨⑯⑱㉑などの構造物の破損に関する項目が第1主成分右側に位置している。破損や河床洗掘による落差の発生など、魚道の機能不全に直接的に影響するものほど主成分が大きくなっている。また、破損に比べて土砂・流木の堆積などといった直接的には魚道機能に致命的なダメージを与えるわけではないが、破損や落差の発生などを引き起こすものとして広く分布していると考えられる。レーダーチャートに示した全魚道の平均値において、A評価とC評価に大きく差が生じた項目⑫プール間落差/魚道の勾配や、⑬越流水の状況などは2014年度において顕在化している。また、流況データ(⑪～⑭)については一部欠陥などがあり、断片的なものであるため寄与度は低い。しかしながら、これらの魚道周辺の水流状況は、魚

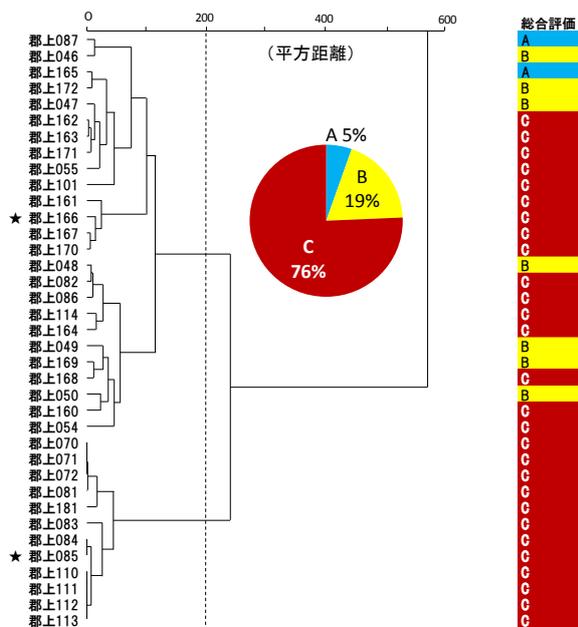


図-5 クラスタ分析 (2012年：郡上市吉田川)

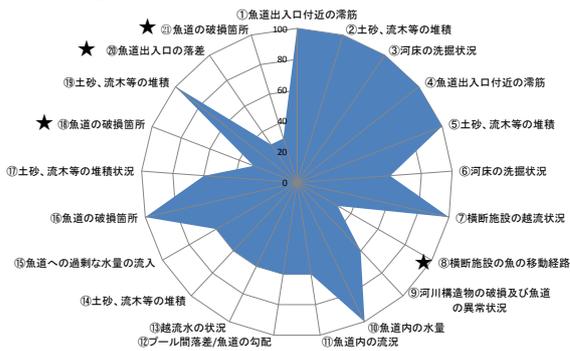
類遡上の性能を検討する場合の重要な情報であり、別途、水位計測などによる継続的なモニタリングを行うことができれば、さらなる機能評価の判定に寄与することになる。さらに、主成分分析においても、これらの指標の内、項目⑧横断施設の魚の移動経路は、魚道全体を見渡した際の総評に関連しており、魚道カルテにおける総合的な指標となっている。

(4) グルーピングによる機能低下要因抽出

図-5は、2012年の郡上(114箇所)においてクラスタ分析の結果を示したものである。クラスタ分析はワード法を用いており、平方距離(非正規化)が横軸である。閾値を400に設定すると二つの大きなグループに大別される。1つ目のグループは評価AとBが95%を占めるグループとなった。なお、紙面の関係で、このグループ(A: 22%, B: 73%, C: 5%)の図は省略している。表示した下のグループは、C評価魚道が76%と過半数を占めており、こちらは機能低下が著しいグループである。機能低下グループの閾値を平方距離200に設定すると、さらに2つのグループに分類できる。

図-6は、その各グループの代表地点における魚道指標のレーダーチャートを示したものである。グループ1(郡上166)では項目⑧⑩⑫⑭⑮⑯⑰⑱⑲⑳㉑が大きく評価が下がっている(図中★印)。項目⑩と㉑は破損に関する項目であり、このグループ1では破損に関する項目の評価が低い場所が多く存在しているため、グループ1は構造物の破損による機能低下魚道(C評価)と判断される。また、項目㉑は落差の有無であり他の場所においても破損以外にもC評価になるような要因が見受けられた。構造物の破損や、落差の拡大による魚類の遡上が困難な状況が顕在化すると、総合的に、項目⑧横断施設の移動経路の評

グループ1(郡上166)



グループ2(郡上085)

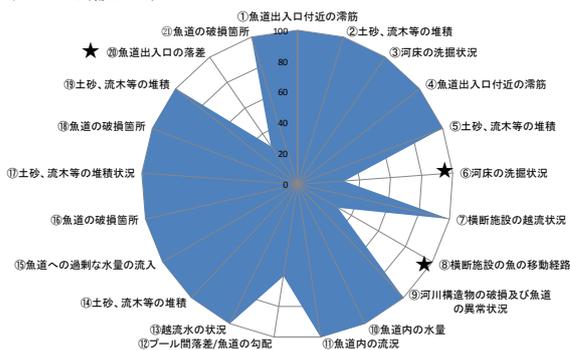


図-6 レーダーチャート分析 (2012年：郡上市吉田川)

価が低下すると考えられる。

グループ2(郡上085)では、項目⑥⑧⑳の項目が大きく低下している。グループ2では⑥河床の洗掘状況が下がっている項目が多く、洗掘による⑳落差の発生などが大きな原因だと考えられる。クラスターによって大別された機能低下グループでは、全ての魚道において項目⑧横断施設の移動経路の評価が著しく低下していた。これらのことから、この項目⑧は他の項目と重みづけが異なるものであると判断できる。また、ほとんどの場所において、「河床の洗掘状況」「滞筋の有無」「破損の有無」「落差の有無」といった項目が、必ず1つは著しく低下しており、魚道機能として1つ欠けるだけでも魚の遡上に阻害をきたすこれらの要因は、魚道カルテにおいて機能評価を大きく左右する指標となっている⁹⁾。

4. 吉田川の砂防ダムにおける魚道機能の回復

(1) 水位モニタリングによる流況の時系列変化

現在の魚道カルテは、基本的に年1回の簡易点検による1次データであり、魚道勾配や魚道本体の破損や土砂・流木の堆積、河床洗掘などの魚道機能における異常状態について評価はしやすいものの、魚道内流況については一時的な流況だけでは判断しにくい。この点が総合評価における重みが小さくなり、相関性が低いものになる要因と考えられる。そこで、継続的な流況データと魚

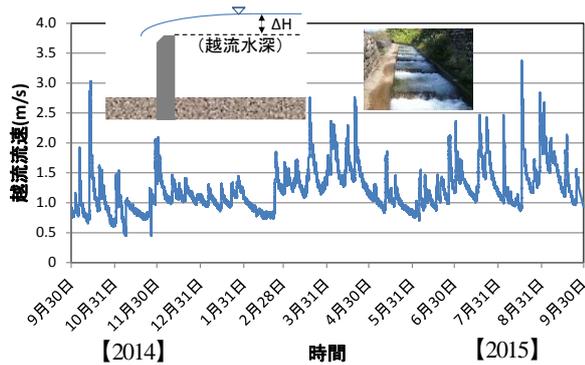


図-7 小野魚道における越流流速の推定値 (吉田川)

類の生活史を関連づけながら、魚道内流況（階段式の場合は越流水深など）における魚道の機能評価をするために、吉田川の小野魚道（B評価）および二間手魚道（C評価）にメモリ式小型水位計を設置した。これらの水位データから越流水深を算定し、隔壁部に限界流が発生する水理特性を利用して限界流速を推定した。この限界流速を越流流速の代表値と仮定し、魚類が隔壁部を遡上するために必要な流速の目安とした。

図-7は、小野魚道における越流流速の時系列変化を示したものである。同図から、冬季は出水期を除けば越流水深がおよそ10cm程度であり、隔壁天端の越流流速は0.8m/s程度に対応している。魚類の体長をBLとした場合、突進速度は10～15BL/s程度とされており、体長8cm程度の魚類ならば遡上可能と算定される。一方、春季の遡上期に近づくにつれて小洪水などの影響もあって河川流量は増加し、越流水深が20cmを超え、越流流速は1.2m/s以上となる⁹⁾。小野魚道はB評価であり、魚道内流況の項目では、⑪魚道内の流況以外はすべて問題なしと評価されている。これらのことは、魚道内の水位データと魚類の生活史を関連づけながら、魚道の機能を評価する必要性を示唆しており、階段式魚道の最上流部の角落としなどを利用して流量調整し、魚類の遡上期にどの程度適切な流量が保たれているかどうかの評価やきめ細かい適切な流況管理が重要であると考えられる。

(2) 二間手魚道の機能回復

吉田川は長良川の支川であり1級河川である。吉田川には16箇所（河川魚道5基、砂防施設魚道11基）の横断施設が存在しており、そのうちC評価魚道は5箇所あり全て砂防堰堤である。表-2は吉田川におけるC評価魚道（5か所）の主要因に対する評価を示したものである。それぞれの評価項目に対して、問題がなければ「○」、問題あり要観察の場合「△」、改善が必要は「×」と示している。これらを比較すると、どの魚道においても砂防堰堤に設置されているために、土砂・流木等の堆積の項目は評価が低い。また、洗掘や落差に関して問題はないが、破損の項目がある郡上023以外は問題を抱えてい

る。二間手魚道（郡上023）は土砂・流木等の堆積の項目以外は特に問題がなく、5箇所の中で機能回復が容易であると考えられる。

図-8のように、機能回復後の二間手魚道は、近年建設されたアイスハーバー型の魚道である。その全長は80mに及び、魚道勾配は1/10である。図-9に示す通り、機能回復前の状況は、土砂・流木により魚道出口が閉塞し止水され、魚道本体に水が流れず、下流側の魚道入口では土砂が堆積した状態であった（同図(a)(b)参照）。この魚道の機能を回復するために出口部における土砂・流木の撤去により魚道内に通水、下流側に堆積していた土砂も建設機械による流路確保を行った（同図(c)(d)）。

図-10は、土砂・流木を撤去した後の水位モニタリン

表-2 吉田川におけるC評価魚道の要因

評価項目		郡上 No.022	郡上 No.023	郡上 No.028	郡上 No.031	郡上 No.032
土砂・流木の堆積	上流 ⑭	×	×	○	×	×
	本体 ⑰	×	×	○	△	△
	下流 ⑱	×	×	×	△	×
洗掘の状況	上流 ③	○	○	○	○	○
	下流 ⑥	○	○	○	○	○
破損の有無	上流 ⑯	○	○	○	○	○
	本体 ⑱	×	○	○	△	△
	下流 ㉑	○	-	△	○	×
滞筋の状況	上流 ①	×	○	○	○	×
	下流 ④	○	○	○	△	○
落差の有無	下流 ㉒	○	○	○	○	○
総合評価(2013年度)		C	C	C	C	C
総合評価(2014年度)		C	B	C	工事中	B



図-8 吉田川二間手魚道（アイスハーバー型）



(a) 魚道出口（撤去前）

(b) 魚道入口（撤去前）



(c) 魚道出口（撤去後）

(d) 魚道入口（撤去後）

図-9 土砂・流木撤去による機能回復（二間手魚道）

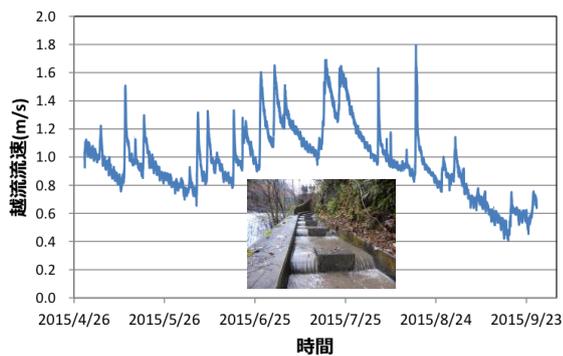


図-10 二間手魚道における越流流速の推定値（吉田川）

グから越流流速に換算した結果を示したものである¹⁰⁾。同図から、砂防ダム袖部の開口部から魚道に通水された越流水は、春から夏にかけての出水期を経て、再び魚道内の越流流速が低下していることがうかがえる。また、8月には増水の履歴があり、その影響による土砂・流木によって再び魚道出口が部分閉塞し流量が減少したことが確認されている。今後、魚道出口にスクリーンなどの防護柵を設置して、定期的な巡回とメンテナンスにより、魚道の機能を回復・維持することができる。

5. おわりに

本研究により、岐阜県管理河川および砂防施設の672箇所「魚道カルテ」調査において、魚道の機能回復の点検結果の要因分析を行うことにより、補修工法に繋げる方向性を検討した。評価項目の細分類(21項目)の中で、項目⑧横断施設の魚類の移動経路が最も評価指標として重みがあること、また、「構造物の破損」「零筋の無」「落差の有」「河床洗掘の有」などが1つでもあると、⑧横断施設の魚の移動経路の評価も低くなり、魚道の遡上機能が低下することなどが示された。

さらに、岐阜県吉田川を対象として、魚類の生活史を想定した小野魚道での継続的な流況データとの照合の必要性が示された。加えて、岐阜県吉田川のC評価魚道は全て砂防堰堤であり、土砂流木の堆積による複合要因に

よる機能低下している場合が多い。簡易的補修によって二間手魚道の機能が回復し、その効果を持続する付帯設備の設置や、魚道点検の機会等を活用した定期的な維持管理体制の改善策が指摘された。

謝辞： 本研究を遂行するにあたり、魚道カルテのデータについては岐阜県河川課、既設魚道の改善策の現地調査などについては、岐阜県自然共生工法研究会、魚道研究専門WGの方々、岐阜県郡上土木事務所の多大な協力を得た。最後に記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 中村俊六：魚道のはなし、リバーフロント整備センター、山海堂、225p., 1995.
- 2) 国土交通省河川局：魚がのぼりやすい川づくりの手引き、155p., 2005.
- 3) 奥田好章：岐阜県内における魚道点検結果の分析と補修工法の提案(中間報告)、岐阜県自然共生工法研究会、pp.3-10, 2013.
- 4) 岐阜県自然共生工法研究会魚道研究専門WG：清流の国ぎふ・魚道カルテ手引書(案)、岐阜県自然共生工法研究会、28p., 2012.
- 5) 森 誠一：魚道の思想・機能評価・今後の魚道の在り方、応用生態工学、Vol.3, No.2, pp.151-152, 2000.
- 6) 水野信彦・森 誠一：魚の生態から見た魚道の見方、応用生態工学、Vol.3, No.2, pp.209-218, 2000.
- 7) 森 誠一：魚から見た魚道、River Front, Vol.55, pp.6-9, 2006.
- 8) 和田 清・田中俊吾・藤井克哉・寺町 茂・馬淵洋介：魚道カルテによる機能評価とサイフォン式パイプ魚道による遡上モニタリング、土木学会第42回環境システム研究論文発表会講演集、pp.453-458, 2014.
- 9) 和田 清・藤井克哉・玉井水規：岐阜県魚道カルテの機能評価と既設魚道の補修工法、土木学会中部支部研究発表会講演集、II-49, pp.167-168, 2015.
- 10) 和田 清・藤井克哉・林 日向：岐阜県魚道カルテの評価軸の分析と既設魚道の改善策、土木学会中部支部研究発表会講演集、II-43, pp.165-166, 2016.

(2016. 4. 4受付)