

# 魚体への配慮とコスト縮減を考慮した 利根大堰魚類遡上調査手法の検討

岩本 幹<sup>1</sup>・河林 百江<sup>2</sup>・宮下 武士<sup>3</sup>

<sup>1</sup>独立行政法人 水資源機構 利根導水総合事業所 管理課 (〒361-0004 埼玉県行田市須加船川4369)

<sup>2</sup>独立行政法人 水資源機構 愛知用水総合管理所 下流管理所 (〒479-0003 愛知県常滑市金山石坂201)

<sup>3</sup>独立行政法人 水資源機構 経営企画部 企画課 (〒330-6008 埼玉県さいたま市中央区新都心11-2)

利根大堰では、昭和50年代からサケの遡上調査をトラップ調査により実施してきた。

近年、魚道の改築によって年間のサケの遡上数が急激に増加したために、狭いトラップ内における魚体への負担・損傷が見られるようになり、また社会的にその調査結果に関心が高まり、今後も調査を継続していく必要が生じたため、調査費用のコスト縮減を図る必要があった。

そのため、まだ国内ではほとんど実績のない、電極を利用した自動計測手法による試験調査を実施し、魚体への負担軽減と調査コスト縮減を両立した上で、計測精度の高い手法を国内で先駆的に確立することが出来た。

キーワード 魚道，遡上調査，電極棒，パルス波，コスト縮減，計測精度

## 1. はじめに

昭和43年に完成した利根大堰では、利根川の中流域に位置するため、建設当初から魚類の遡上に対する配慮として3つの魚道が設置されている。(図-1)

昭和50年代に入ると、水産資源としてのアユを確保したい地元漁業者と、河川環境への流域住民の関心が高まる中で、市民団体から幾度か魚道の遡上性能改善を要望する声があったため、管理業務の中で軽微な改良を行ってきたが、遡上数の劇的な増加には結びつかなかった。

その後、平成7～9年の利根大堰施設緊急改築事業において抜本的な魚道改築を行うこととなり、学識経験者、漁業管理委員、埼玉県及び群馬県水産試験場員で構成した魚道検討委員会にて審議を重ね、魚道の改築を行った。

一方で、こうした流域住民への関心に応えることと、魚道の遡上性能を検証する目的で、秋にはサケ遡上調査(S58～)、春には稚アユ遡上調査(H2～)を実施している。

## 2. 利根大堰での従来のサケ遡上調査手法

利根大堰における遡上調査は、魚道のみならず遡上経路に限られることや、計測精度を高める目的で当初から3つの魚道においてトラップによる全数調査を実施してきた。



図-1 利根大堰と魚道

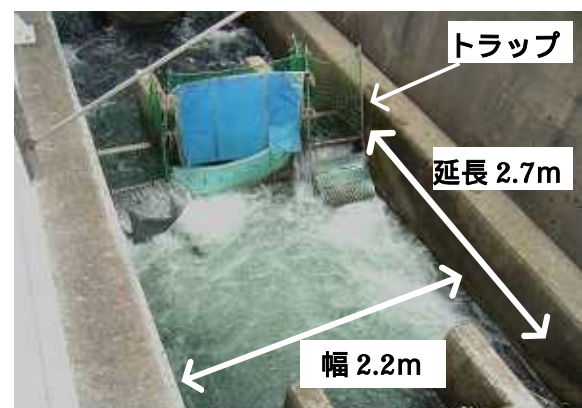


図-2 トラップ設置状況(1号魚道)

### (1) トラップ調査の概要

遡上調査方法は、越流部にトラップ(図-2)を設置し

てプールの1区画を締切り、プール内に遡上したサケを手網で捕獲して1尾ずつ、遡上全数を計測する。調査期間は、例年10月1日から12月25日の86日間で、1日の捕獲計測時間は遡上ピーク時の11月は午前、午後の各1回、10・12月は午後のみ1回実施している。なお、2・3号魚道の調査も同様に実施し、堰全体の遡上数を把握している。全数調査であることから、計測精度は極めて高い反面、調査費用のほとんどが期間中毎日の計測に要する人件費で占められている。

(2) トラップ調査における問題点

a) 魚体への負担

改築以前の遡上量は年間約200～300尾前後（10尾/日程度）であり、改築後遡上数が劇的に増加（図-3）すると、1日の遡上数も100尾前後の日も多くなった。遡上数が増加してくると、1日2回の計測の間にはトラップの中で多くのサケが滞留する光景（図-4）が見られるようになってきた。この状況から、産卵時期を間近に控えた魚体へ過大な負担を与えていることが懸念され、またトラップや魚道の隔壁に接触して魚体を傷つけるなど、魚体への負担が懸念されるようになった。こうした背景を踏まえ、より魚体に配慮した調査手法とコスト縮減を両立させるという極めて困難な課題に対し、平成18年度の遡上調査終了後より検討を開始した。

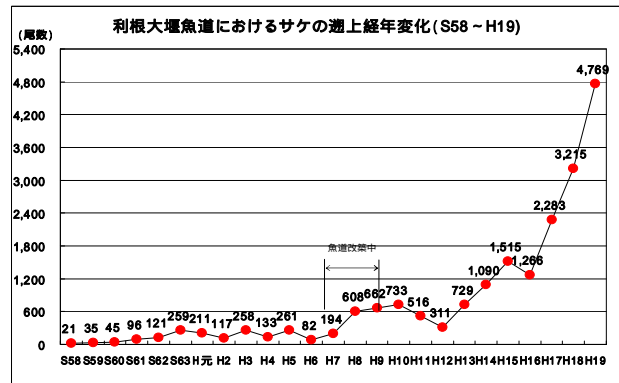


図-3 利根大堰におけるサケ遡上数の経年変化



図-4 プール内に滞留するサケ

3. 調査手法の検討及び選定

(1) 魚体へ配慮した調査手法

魚体への負担を軽減させるためには、魚道を閉塞することなく、自然な状態で魚道を通過するサケを計数しなければならない。また、サケの遡上数の精度を上げるために作業員が張り付くことは、調査費用の増嵩につながる可能性がある。こうした観点で、国内のさまざまな事例を調査した結果、調査手法として確立はされていないものの、自然な状態で魚道を通過する魚を計測する方法として、電極棒による計測手法、ビデオカメラによる画像解析手法、超音波による計測手法の3種類の調査手法を選定した。

(2) 計測手法の比較検討

総合評価の結果（表-1）、コスト面で調査費用（ランニングコスト）が最も安価であり、イニシャルコスト的にも電極棒を魚道形状に合わせて設置するのみで、魚道改造が不要。魚体への影響も、微弱電流であれば他の2手法に遜色ない。国内での調査実績は少ないものの、海外での調査実績がある。以上のことから、採用実績が少ないうえに計測精度の実証試験が必要であるものの、他の方法と比較してもコストが安価で設置後の計測

表-1 調査手法の比較検討

評価項目	電極棒による計測	カメラによる画像解析	超音波調査による計測
概要と特徴	電極棒を設置し微弱電流を流し、魚が通過する際に発生するパルス波を計測する方法。24時間の計測が可能。主に大型魚に適する。新潟大学でシステムを研究しているが現場での採用実績なし。	CCDカメラで撮影した映像をもとに画像解析し、魚を抽出して計測する方法。24時間の計測が可能。小型魚から大型魚まで適する。	超音波振動子から超音波を放射し、魚から反射される信号を記憶し計測する方法。24時間の計測が可能。小型魚から大型魚まで適する。
魚への影響	微弱電流であれば、魚体への影響はない。小型魚を用いた実験より、使用電圧5Vによる魚類の忌避反応は見られない。	水中には機材が入らないことから、魚体への影響は無い。	魚群探知機にも使用されるため、魚体への影響はない。
経済性	認識するパルス波に限られており、構造もシンプルなため安定した解析が出来。他手法の解析装置に比べ安価。直接調査費 約8,000円/日、(トラップ調査 約12,000円/日)	画像解析装置の構築コスト(ソフトウェア)が高い。直接調査費 約10,000円/日。	本格的な実用化にはまだ開発が必要で、コストは見当がつかないが高値と予想。
既設魚道の改造	電極棒の土台を魚道の形状に合わせて設置する。魚道の改造はなし。	魚を識別しやすいよう越流部を白くする等の工夫が必要。魚道の改造はなし。	超音波センサーを魚道に設置する。魚道の改造はなし。
計測精度	ノイズが発生するとパルス波との識別が難しくなるが、実績がないことから精度は未知数。(今回の調査で採用し、高精度であることを検証)	ゴミの滞留・濁水や日射、波流の影響を受けると鮮明な画像が取れず欠測となり、精度は落ちる。また、洪水時には撤去しなければならぬ。	夜間や濁水時でも計測可能なため、精度は良い。
安全性	自動計測のため、安全性に問題はない。	自動計測のため、安全性に問題はない。	自動計測のため、安全性に問題はない。
採用実績	国内では現地での採用実績はないが、海外では数例実績はある。	矢作川でアユの遡上調査時に試験的に採用。他に実績はない。	長良川河口堰で過去に試験的に実施。他に実績はない。
総合評価	実績がないため、計測精度は未知数であるが、コストが安価である。	映像が蓄積できるメリットはあるが、鮮明な映像が取れなければ解析が出来ないなどコストをかかけても信頼性が低い。	計測精度は高いが、コストが高くなり、現場に応じて検討する余地があり実用化が難しい。

が容易であると判断した電極棒による計測手法を採用することとし、平成19年度に3号魚道での実証試験を行うこととした。

なお実証試験は、本システム考案者である新潟大学の権田豊准教授も加わり共同試験として行った。

#### 4. 電極を利用した自動計測手法の原理

##### (1) 計測システムの概要

計測システムの仕組みは、魚を感知するセンサー部分と記録されたデータを記録・解析して魚数をカウントする解析部分から構成されている。図5のように水中に3つ電極棒を等間隔で設置し、C・D間に電圧をかけて魚がその電極棒上を通過した際にA・B間の電位差を計測する。魚の電気抵抗は河川水に比べて小さいため、魚が電極間を通過すると電極間の抵抗が変化し、電位差が変化する。この信号は図6のようにパルス状に変化することから、こうした波形を数えることで魚の通過数を求めるものである。

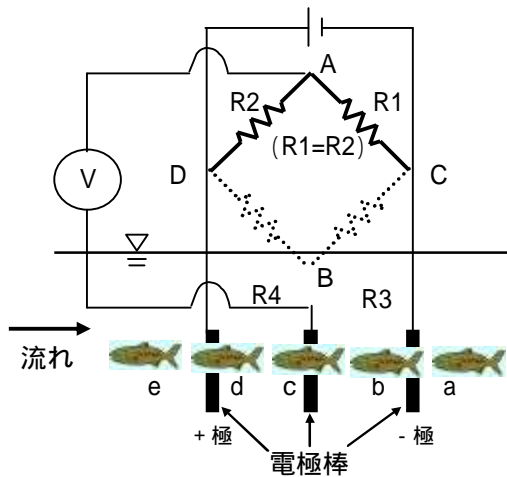


図5 計測システム(センサー部)の仕組み

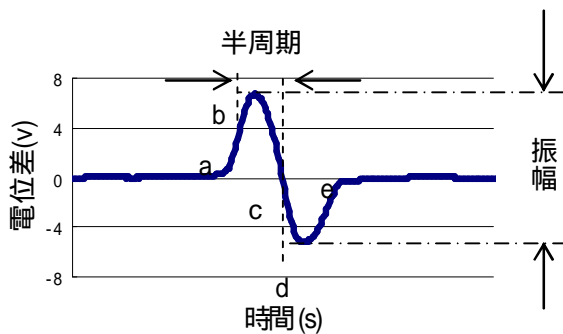


図6 魚遡上時に電位差に現れるパルス波

#### 5. 実証試験の現地での工夫

##### (1) 電極棒(センサー部)の現地への設置

電極棒の設置状況を図7、図8、図9に示す。

越流部A・B間に電極棒の土台となる平板を渡し、幅5cm、長さ85cm、厚さ3mmのアルミ製の平棒型の電極を40cm間隔で3本設置し、各電極をセンサー回路に接続した。

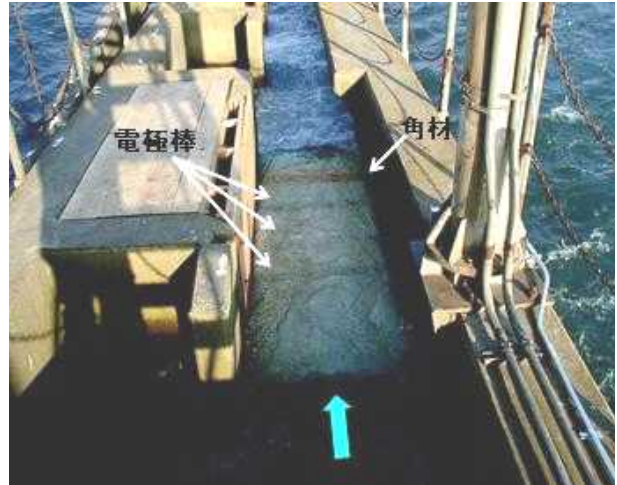


図7 設置状況(上流部から望む)

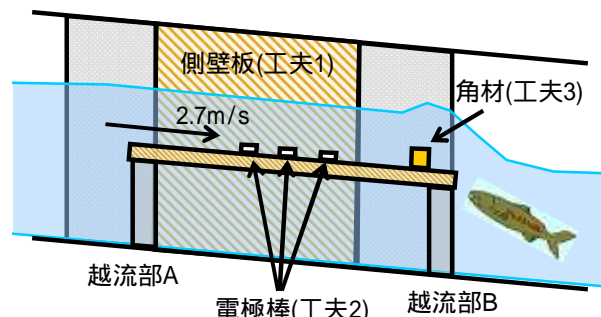


図8 電極設置状況(断面図)

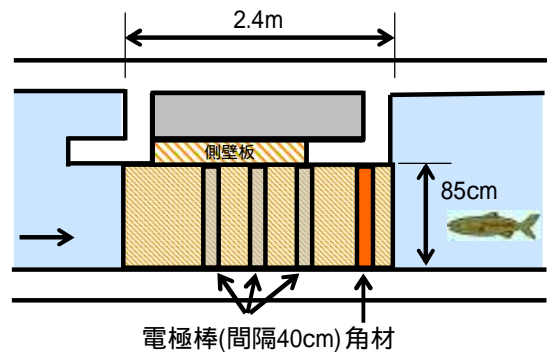


図9 電極設置状況(平面図)



## (2) 設置にあたっての工夫

電極棒の配置及び魚道への設置にあたっては、権田准教授の指導、請負者との議論の上、職員の発案も踏まえて、以下の工夫を行った。

### 工夫1・・遡上路の形成

設置した電極棒上をサケが直線のかつ一度にスムーズに遡上するために、アイスハーバー式魚道の特徴でもある遡上魚の休憩用に設けられたプール部を側壁板で全て遮断した。その結果、遡上路は直線区間に限られ、電極上も必ず通過出来る構造となった。

### 工夫2・・電極棒の間隔

電極棒の設置間隔を設定するにあたり、現場では魚の模型を用い電極棒上を通過させて、発生したパルス波の識別が一番明瞭であった40cm間隔で設置した。

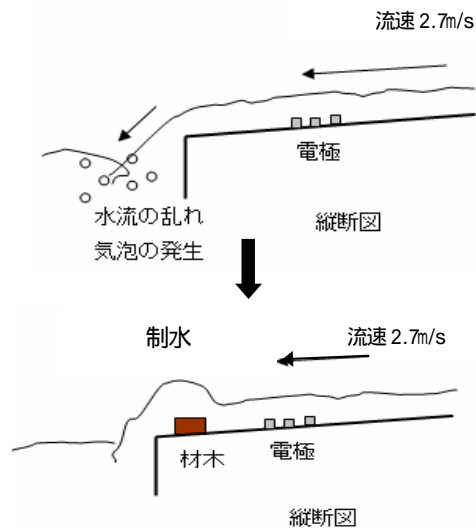


図-10 越流部の水流改善

## (3) 魚道内水流の乱れの発生とその対応

電極の設置完了後、電極部の水深及び流速を魚道の最上流部にある流量調整ゲートにより調整することとした。

魚道設計上、プールタイプでの遊泳に必要とする水深は、魚の体高の2倍程度とされているため30cmとした。

流速については、上記水深30cmから決まる流速2.7m/sが、魚が遡上する際の瞬間的な速さを指す突進速度より遅い必要がある。魚の体長/秒を基準速度とすると、突進速度は10倍程度と言われており、サケの場合基準速度0.6m/sに対し突進速度は6.0m/sとなり、魚道流速より大きいことから問題ないと考えた。

しかし、サケが遡上する流速としては問題はなかったものの、今回改造によって落差工を減らしたことで長さ2.4mの等流区間の流速増加によって、流水脈と越流部の下流面との間の空間に渦や泡が多く発生し、更には水流の乱れが下流側のプールにも影響した。

### 工夫3・・角材設置による越流部の水流改善

この状況では遡上への悪影響が懸念されたため、図-10のように越流部の流れを円滑にするべく、越流部直前に角材を設置したことで制水され水流の乱れは改善された。



図-11 電極部を遡上するサケ

## 6. 実証試験結果

### (1) 計測データの精度検証

遡上状況をビデオカメラで撮影し(図-11)、魚が電極部を通過した時刻と通過方向、魚種および体長を求め、通過時のパルス波の有無を確認し計測精度を検証した。

### (2) 遡上時に発生した明瞭なパルス波の峻別

図-12、図-13に計測期間中の計測データを示す。パルス波の他に振幅0.05V程度の小さいノイズが常時発生し

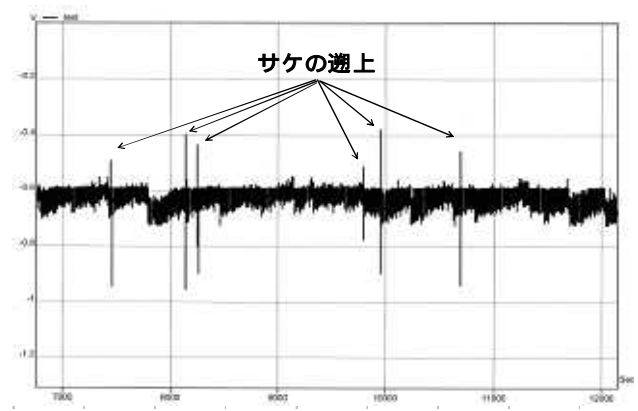


図-12 計測データ(11月26日)

ているが、これは河川水の電気抵抗から電位差が生じ発生したものである。このノイズの振幅と比べても遡上時のパルス波は明らかに振幅が大きいため、識別は可能となった。

### (3) 計測結果と精度検証

検証の結果(表-2)、ビデオにより肉眼で確認したサケの遡上数48尾、降下数1尾に対し、自動計測システムで計測されたサケの遡上数は46尾、降下数1尾となり、計測精度は96%という高精度の調査結果が得られた。

## 7. 実証試験で生じた問題とその対応

### (1) 電極への付着物

調査期間中、電極には図-14のような付着物が見られた。付着物は最上流に設置したプラス極に多く、真ん中の電極には微量付着、最下流部のマイナス極には付着は見られなかった。

電極の感度が落ちることを懸念していたため、当初はヤスリで付着物の除去を行ったものの、付着前後でのデータの差異は見られなかった。その後1ヶ月経過観察していたが、付着物が表面を覆う程に多くなってきたため、電極棒をステンレス製と取り替えた。その結果プラス極への付着物は発生していたが、アルミ製の場合と比較すると微量であり、調査終了時まで取替えることは無かった。

当初使用していたアルミ製の電極棒を乾燥させてみると、付着物は粉々となった。これは河川内のカリウムやカルシウムなどの鉱物成分が電気分解により電極へ付着したものである。しかし、付着物による計測データへの影響は無かったことから、使用の際には定期的に観察を行い、必要に応じて交換を行えば充分対応出来るものと考えられる。

### (2) ノイズ発生への対応

パルス波に混じり6.2)でも述べた河川水の電気抵抗による振幅0.05V程度のノイズが常時発生していた。これ以外にも図-15に示すノイズが不定期に発生していた。このような波形は多い日で1日4回程度発生した。ビデオカメラ撮影時にも4回観察されたが、その時刻に記録されたビデオ映像には魚の通過は記録されておらず、流木の流下、流況の変化等も確認されなかった。

これらのノイズは魚が通過する際に発生するパルス波との判別を煩雑にし、計測精度を低下させる。ノイズの発生要因として、波浪の影響で魚道への流入量が変わり水流が乱れることや、解析装置までの電気回路内で起こるのではないかと考えられる。実際に不定期なノイズが発生した日はいずれも大堰地点での最大風速が10m/s以上であったことから、波浪の影響を受けたものと思われる。

今後の対策として、今回設置した魚道の上流から2段目のプールでの魚道改造区間の設定を、下流へ移設することで、堰上流の波浪による流況の変動を軽減できると考える。

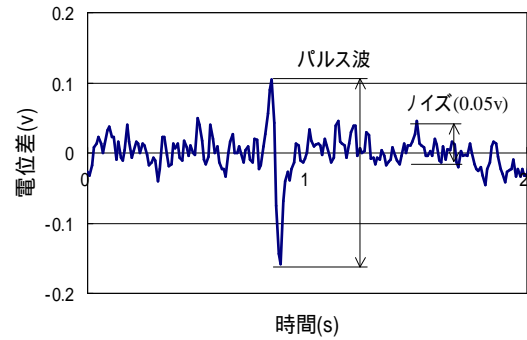


図-13 サケ遡上時のパルス波

表-2 パルス波の計測対象の有無

ビデオで確認したサケの行動形態	確認魚数	計測対象	解析ソフトにおける計測対象の選定理由
遡上 (0.2V以上)	46		パルス波が明瞭であり計測対象。実際は遡上しているため、魚道の遡上数としては計測対象。
遡上 (0.18V)	1	×	パルス波の振幅が0.20V以下で、サケの可能性が低い。実際は遡上しているため、魚道の遡上数としては計測対象外。
降下	1		パルス波が明瞭であり計測対象。実際は降下しているため、魚道の降下数としては計測対象。
電極上で降下を中断し遡上	2	×	パルス波が識別出来ず計測対象から除去。遡上数が重複する恐れがあり魚道遡上数としては計測対象外。
飛び越えて遡上	1	×	パルス波が識別出来ず計測対象から除去。実際は遡上しているため、魚道遡上数としては計測対象。
降下直後に遡上	2	×	パルス波が識別は容易。降下・遡上する恐れがあり計測対象外。
フナ遡上 (0.13V)	1	×	パルス波の振幅が0.20V以下で、サケの可能性が低い。フナのため魚道の遡上数としては計測対象外。



図-14 プラス側電極への付着物

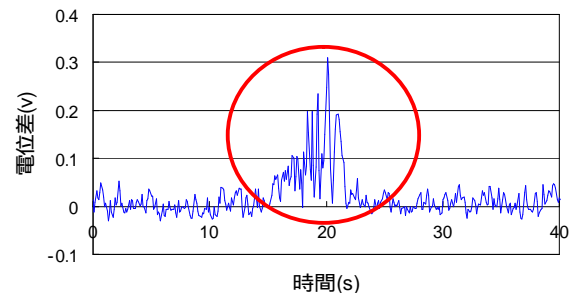


図-15 波形の乱れ

## 8. 他地区への適用性について

今回採用した電極棒による計測手法は、一定の汎用性を有していることから他地区でも適用可能と考えられる。適用にあたっての条件を以下に整理する。

### (1) 施設上の適用性

#### a) 水の乱れの少ない場所であること

今回の調査のように魚道を利用し計測地点を一定勾配にして等流状態とすると、電極部では大きな水の乱れは無くなる。ただし、波浪等による影響で魚道内に流入する水量が時間的に変化することで乱流が起きると、計測データにノイズが発生し、遡上時のパルス波と識別出来ずに精度に支障が生じる。そのため、電極部の設置に適した場所は水深や流速が場所的にも時間的にも変化しない等流状態を理想とする。

#### b) 遡上に適した流速が保てること

本システムはパルス波の数から魚数を計測するため、識別しやすいパルス波を発生させる必要がある。そのためには電極部をスムーズに遡上させなければならない。越流部におけるサケの突進速度は6.0m/s程度であり、本調査のように2.4mの区間を一度に遡上する場合、流速が突進速度より速い場合は遡上が出来なくなる。反対に流速が遅すぎてしまうと電極付近で遊泳するサケが出てきたり、遡上を促す目的での呼び水効果が得られず魚道入口付近で滞留する恐れもある。これでは明瞭なパルス波も計測出来なくなる。

#### c) 水深は1 m以下で深くないこと

水深が深いところでは、b)で述べた流速の条件も満たされない。また、魚の通過が電極に近い程パルス波の振幅は大きくなり精度も高くなるため、水深は深くない方が望ましい。

#### d) 電極で測定する幅が広すぎないこと

本調査で設置した電極幅は、魚道の越流幅目一杯の85cmとした。魚道の設計上、1尾の魚が通過するには最小でも体長程度を確保することが望ましいとされ、本魚道ではサケが2尾並んで遡上するという現象は確認されなかった。結果的に1尾ずつ遡上したことで発生したパルス波は識別し易くなり、計測精度の向上に繋がったと言える。

そのため、遡上範囲が幅広い場所で適用する場合は、電極を設置する区間のみを人為的に狭めて、群れで遡上させないなどの工夫を要する。

以上のことから図-16に示すように乱れが少なく、等流状態を形成出来る場所であれば適用可能と考える。今回のように自由に流速や水深など水の流れを変更出来る魚道などの人工構造物は自然河川より適していると思われる。

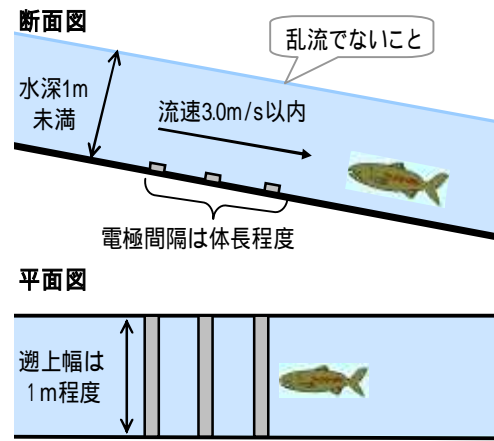


図-16 計測に適する条件

### (2) 魚種の適用性

この計測手法に適する魚種を検討したところ、大型魚であるサケが最適であることが分かった。その理由として、サケの遡上時期には他魚種が魚道を遊泳しないために、計測されたパルス波がサケである確率が高いことである。

また、サケと同じ遡上魚として広く遡上調査の対象とされるアユについても検討した。アユはサケと比べて体長が小さいために、同じ条件で計測した場合では計測データの振幅も小さくなることからノイズとの識別が難しくなる。これは、魚に対する水の量が多くなると水を通る電気の量が増え、逆に魚に通る電気の量が減ってしまうからである。そのため、電極部のみ通過する幅を狭くし小さな魚に対して少量の水にすることで、振幅は大きく出来ると考える。また多くが群れで遡上するため連続計測が難しくなることから、電極上を1尾ずつ遡上できるように遡上路を確保するなどの工夫で対応出来ると考える。ただし、アユの遡上時期にはアユ以外の魚種も過去の調査から確認されているため、その他魚種への配慮も必要となる。

## 9. おわりに

今回自動計測による調査を試行し、サケの遡上を妨げることなく魚体も傷つけずに計測出来たことは大きな成果であった。また採用実績の無い計測手法でも、現地で工夫を施したことで高い計測精度が得られ、国内で先駆的に確立することが出来た。今後は、他施設・他機関の頭首工や堰、ダムに設置されている魚道においても利根大堰と同様に現地に併せて工夫を施すことで充分適用可能と考えられることから、更なる適用範囲の拡大を期待するとともに、施設管理者として遡上する魚に配慮した管理を目指していきたい。