

砂防堰堤魚道における 魚カウンターの研究について

Study on the electrical resistivity fish counter for a fish way installed on a sabo dam

近藤康行¹・権田豊²

Yasuyuki Kondo and Yutaka Gonda

¹正会員 農修 オリエンタル技術開発(株) 設計部 (〒328-0125 栃木県栃木市吹上町1309-1)

²正会員 農博 新潟大学准教授 生産環境科学科 (〒950-2181 新潟県新潟市西区五十嵐二の町8050)

In this study, detect ability of a small fish in a small fish way installed on a sabo dam by electrical resistivity fish counter was examined by experiments using an experimental channel. Effects of configuration of electrode for the counter, hydraulic condition of channel, size and swimming position of fish on detect ability of the counter were characterized. It was shown that detect ability of a small fish by the counter with flat electrode or U-shape electrode isn't so high. It is necessary to modify installing method of the counter when it is installed on a sabo dam fish way.

Key Words: fish counter, sabo dam, fish way, electrical resistivity, automatic

1. はじめに

砂防堰堤や頭首工などの河川を横断するように設置される人工構造物は、河川を分断し魚類等の移動を阻害するため、河川生態系に悪影響を及ぼすといわれている。近年、砂防堰堤には魚類の遡上・降下的手段として魚道が設置されている。しかし、砂防堰堤に設置される魚道は、施工後に魚類の利用実態調査がほとんど行われておらず、適切な機能を果たしているかどうか十分に検討されていない。利用実態調査法に次のような問題があることがその理由の一つと思われる¹⁾。

従来、魚道の利用実態調査には主に魚類捕獲用トラップが用いられてきた。トラップを用いた調査では、定期的に人がトラップを点検する必要があり手間がかかる。また、トラップは魚道の出口を封鎖し、魚の移動を妨げ魚道の機能を損なう。このため、長期間トラップを設置することは、コストおよび、環境に与える影響から難しいと考えられる。

ELECTRICAL RESISTIVITY FISH COUNTER²⁾(以下魚カウンターとする)は欧米でAtlantic salmonの現存量や遡上数を計測する用途に使用されている。この装置は、電圧をかけた三本の電極を水路床に設置し、その上を魚が通過する際に生じる電極間の電気抵抗の変化から魚をカウントするもので、その構造は簡単で、魚の移動を妨げないという特徴がある。また、この魚カウンターは電気抵

抗の変化の仕方により、魚の通過を石や流木等の通過と識別でき、魚の通過方向(遡上or降下)も識別できるとされている³⁾。しかし、欧米で計測対象となっているAtlantic salmonは体長が50cm以上と大型であるのに対し、日本の砂防堰堤魚道で計測対象となる溪流魚は主に20cm程度のイワナ・ヤマメ、10cm程度のカジカ等と小型である。また、欧米では魚カウンターが主に設置されている堰は幅が数メートルであるのに対し、日本の砂防堰堤に設置されている魚道は幅1m程度と小型である。さらに、魚カウンターの日本での知名度は低く、魚カウンターについての情報が著しく不足している。このため、魚カウンターが日本の魚道のような小型の施設における小型魚類の計測に適しているかどうか分かっていない⁴⁾。そこで本研究では、魚カウンターの砂防堰堤魚道での実用性について検討することを目的として、実験水路を用いた実験を行い、魚カウンターのセンサー部の形状・設置条件等と検出能の関係について検討した。

2. 魚カウンターの仕組みについて

魚カウンターの本体は、魚を感知するセンサー部と、データを記録・解析し魚数をカウントする解析部からなる。本研究ではセンサー部の形状、設置位置について検討する。魚カウンターのセンサー部の基本回路は、同じ抵抗値を持つ2つの抵抗(R1, R2)と等間隔に水中に沈

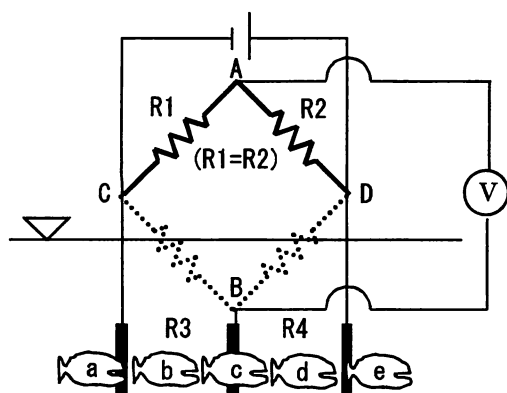


図-1 魚カウンターの原理

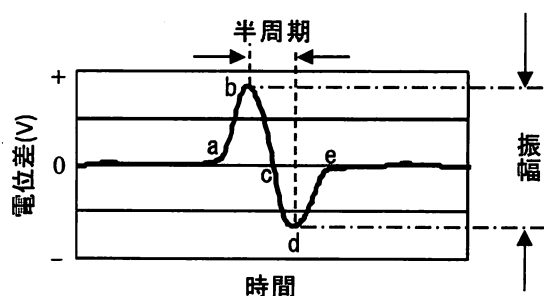


図-2 電位差のパルス波

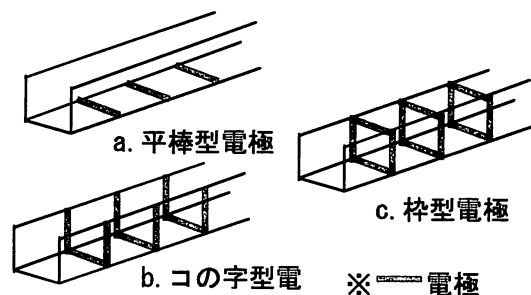


図-3 電極の形状

めた三本の電極 (D1, D2, D3) で構成される Wheatstone Bridge (以下ブリッジ回路とする) である²⁾ (図-1)。回路のC-D間に電圧をかけ、A-B間の電位差を計測する。魚体の電気抵抗は河川水に比べて小さいため、魚が電極間に入ると電極間の抵抗が変化し、A-B間の電位差が変化する。魚が図-1のようにa→b→c→d→eと移動した時、A-B間の電位差は図-2のようにパルス状に変化する (以下パルス波とする)。計測されたパルス波の数から魚の通過数を求めるのがこの魚カウンターの仕組みである。電極の形状には主に平棒型・コの字型・枠型の3種類がある (図-3)。

3. 実験概要

本研究では、模型水路を用いた2つの実験により、魚カウンターのセンサー部の形状と検出能の関係およ

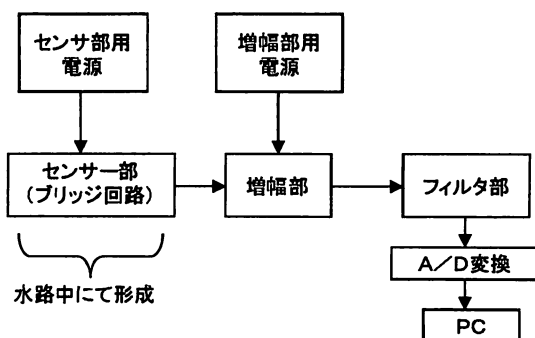


図-4 構成ブロック図

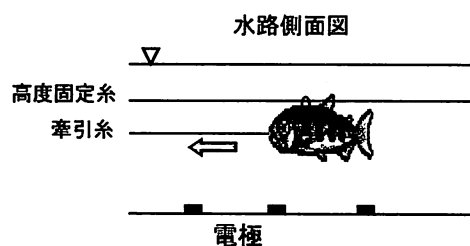


図-5 魚の遊泳方法

表-1 静水状態での実験条件

電極の形状	平棒型電極、コの字型電極、枠型電極
水路幅	20, 50, 100 ※枠型電極の場合20のみ
全水深 (cm)	10, 20 ※枠型電極の場合20のみ
電圧 (V)	1.5, 5, 12
電極間隔 (cm)	5, 10, 20, 40
遊泳高度 (cm)	0, 10, 15, 20 ※水路床を基準 (0cm) とした高度
遊泳位置	水路中央部～水路壁面部
遊泳速度 (m/s)	0.1, 0.5, 1
魚の体長 (cm)	10, 20

び、流れの状態がそれらに与える影響について検討を行った。実験の詳細について以下に述べる。

(1) センサー部の作成とデータ記録方法

幅2cm、厚さ0.3cmのアルミ板を用い、平棒型電極、コの字型電極、枠型電極の3種の電極を製作した (図-3)。本研究で使用するブリッジ回路のR1, R2には100kΩの抵抗を用いた。また、ブリッジ回路のA-B間の電位差の時間変化を明瞭にするため、A-B間の電位差をアンプにより3倍に増幅し、さらにフィルタを使用し電氣的なノイズを消去した。また、A-B間の電位差はAD変換機を介しパソコンに記録した (図-4)。

(2) 静水状態での実験 (実験1)

魚の死体 (アジ) を釣り糸で牽引し、深度・壁面からの距離が一定の位置を一定速度で遊泳させ、発生したパルス波の振幅と半周期を計測した (図-5)。表-1のすべての実験条件を組み合わせ計測を行った。

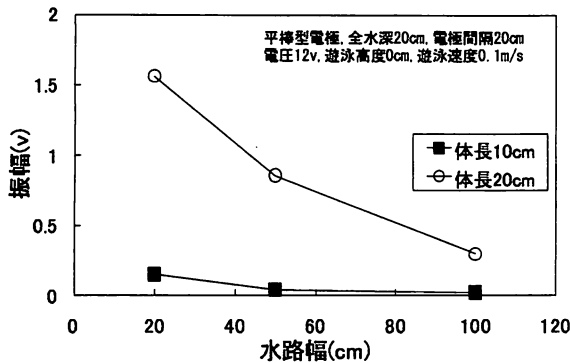


図-6 水路幅・魚の体長と振幅の関係

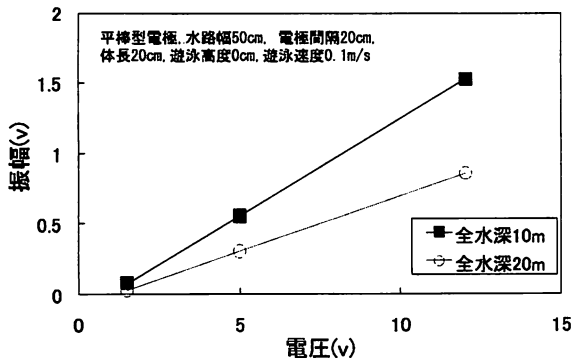


図-7 全水深・電圧と振幅の関係

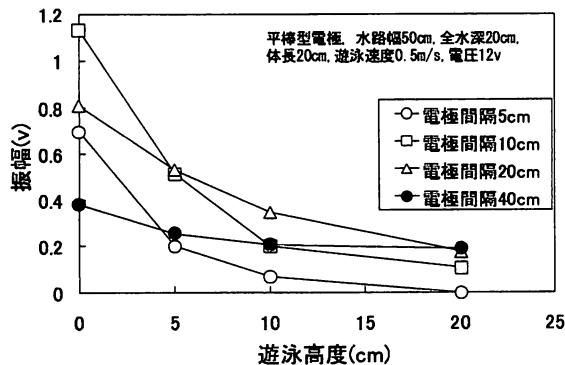


図-8 電極間隔・遊泳高度と振幅の関係

(3) 流水状態での計測 (実験 2)

現地計測を想定し、実験水路を流水状態（流速 1 m/s）にして、実験 1 と同一の方法で魚を遊泳させた。表-2の各条件を組み合わせる計測を行い、結果を静水状態と比較した。

4. 結果と考察

(1) 静水状態での実験 (実験 1)

a) 各電極に共通する傾向について

水路幅が小さくなるほど、魚の体長が大きくなるほど、振幅は大きくなる傾向がある（図-6）。また、電極に加える電圧が大きくなるほど、全水深が小さくなるほど、振幅は大きくなる傾向がある（図-7）。

表-2 流水状態での実験条件

電極の形状	平棒型電極
水路幅 (cm)	50
全水深 (cm)	20
電圧 (V)	12
電極間隔 (cm)	5, 30
遊泳高度 (cm)	0, 10, 20 ※水路床を基準(0cm)とした高度
魚の体長 (cm)	10, 20
流速 (m/s)	0.1, 1
遊泳速度 (m/s)	遡上0.1, 降下0.1, 0.5, 1 ※体長10cmの魚 ※水路床に対する速度
遊泳速度 (m/s)	遡上・降下ともに0.1, 0.5, 1 ※体長20cmの魚 ※水路床に対する速度

表-3 コの字型電極の遊泳位置・高度と振幅の関係

		壁面からの距離				凡例	振幅 (v)
		0cm	12.5cm	25cm	50cm		
遊泳高度	20cm	0.34	0	0	0		0.5以上
	10cm	0.39	0.04	0	0		0.3～0.5
	5cm	0.43	0.09	0.06	0.07		0.1～0.3
	0cm	0.53	0.27	0.25	0.25		0.1未満
発生せず							

水路幅 100cm, 全水深 20cm, 電極間隔 5cm, 電圧 12v, 体長 20cm, 遊泳速度 0.1m/s

表-4 棒型電極の遊泳位置・高度と振幅の関係

		壁面からの距離		凡例	振幅 (v)	
		0cm	10cm			
遊泳高度	20cm	0.94	0.55		0.5以上	
	10cm	0.78	0.09			0.3～0.5
	0cm	1.3	0.52			0.1～0.3
						0.1未満
						発生せず

水路幅 20cm, 全水深 20cm, 電極間隔 5cm, 電圧 12v, 体長 20cm, 遊泳速度 0.1m/s

b) 電極の形状により異なる傾向について

平棒型電極では、遊泳高度が低くなり水路床の電極に近づくほど、振幅は大きくなる傾向がある（図-8）。また遊泳高度が低く電極に近い位置では、電極間隔が魚の体長程度で振幅は極大となる傾向がある。これに対し水面付近では、電極間隔が大きくなるほど振幅が大きくなる傾向がある。

コの字型電極では平棒型電極と同様に、遊泳高度が低くなるほど振幅は大きくなる傾向があるが、壁面にも電極が存在するため、同一高度でも壁面に近くなるほど振幅は大きくなる傾向がある（表-3）。棒型電極では、水路床・側面・上面の電極に近づくほど振幅が大きくなる傾向がある（表-4）。

コの字型・棒型電極は、平棒型電極と比較して電極のある壁面、上面付近の検出能が高く、水路内のより広い範囲で魚を検出していることがわかった。

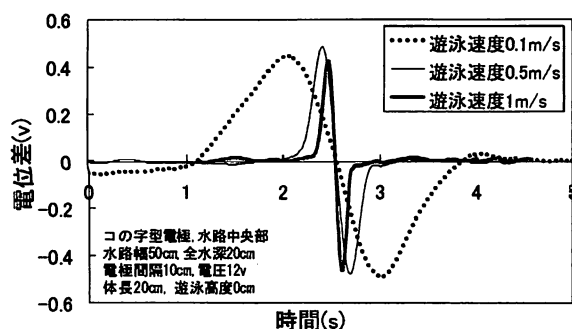


図-9 遊泳速度と半周期の関係

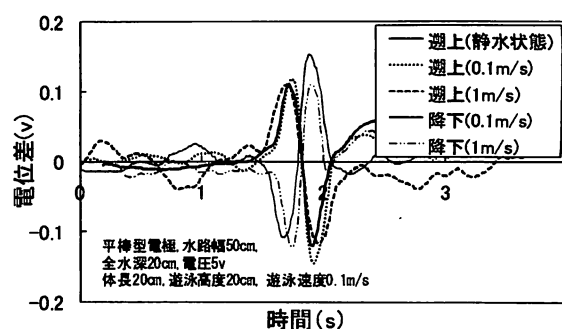


図-11 流水状態での遡上・降下とパルス波の関係

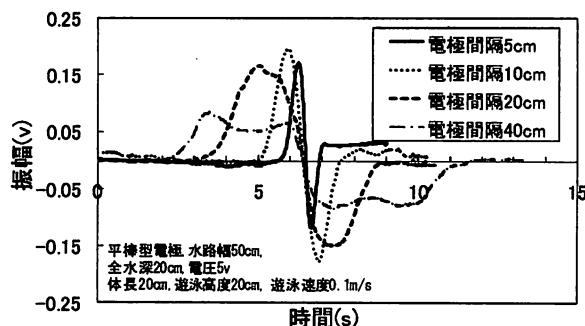


図-10 電極間隔と半周期の関係

c) 半周期、電極間隔、遊泳速度の関係について

魚カウンターの原理から電極間隔と遊泳速度、パルス波の半周期の間には、半周期＝電極間隔/遊泳速度という関係が成立すると予測される。解析の結果、遊泳速度が小さくなるほど、電極間隔が大きくなるほど、半周期が長くなるという、予想と一致する結果が得られた（図-9、図-10）。しかし、電極間隔が魚の体長よりも大きな場合には、魚が電極間に存在する間、パルス波のピークが継続する歪なパルス波となった。

(2) 流水状態での計測

静止状態と流水状態で結果を比較した場合、流れの状態によらず、振幅、半周期の値は同程度の値であった（図-11）。パルス波の振幅や半周期に水の流れの状態が与える影響は小さいと考えられる。

(3) 魚カウンターの検出能について

半周期の長さによらず、振幅が大きいものがパルス波と識別しやすいことから、振幅が0.1V以上のものを検出可能とし、センサー部電極の形状による検出能の違いを検討した。最も検出能の最も高かった電圧12Vの条件を例に挙げ、結果を述べる。

体長20cmの魚の場合、全水深20cm以下、水路幅50cm以下の条件では、平棒型電極、コの字型電極を用いると、任意の遊泳高度で検出可能である。

体長10cmの魚の場合、電圧12Vで平棒型電極を用いると、水路幅20cmでは遊泳高度10cmまで、水路幅50cmでは水路床付近でのみ検出可能であるが、コの字型電極

を用いると、水路幅20cmでは任意の遊泳高度で、水路幅50cmでは水路底と壁面付近で検出可能になる。

本研究では、電圧を12Vと高く設定した場合、体長20cmの魚はセンサー上の任意の位置で検出可能との結論を得た。しかし、電気が魚に与える影響を考慮すると、電圧は低い方が好ましい。電圧を低くした場合、平棒型センサーやコの字型センサーでは、体長20cmの魚であっても検出できない場合がある。低電圧で体長20cm以下の魚を検出する場合には、最も検出能の高い棒型電極を用いる必要があると考えられる。しかし、棒型電極は電極全体が水面下にある必要があるため、設置方法等に工夫が必要だといえる。

5. おわりに

本研究により、魚カウンターの形状・設置条件、水理条件、魚の遊泳位置・速度等とパルス波の振幅、半波長の関係が明らかになった。また魚カウンターは、日本の魚道を利用する小型の魚類を計測対象とする場合、センサーの設置方法などを十分に検討する必要があることが示された。

今後は、魚の水路内の遡上経路、感電反応など、対象となる魚の習性を考慮の上、現場での魚カウンターの設置方法を検討したい。

参考文献

- 1) 近藤康行, 松崎健, 山本仁志, 権田豊: 砂防ダム魚道における魚カウンターの研究について, 平成15年度砂防学会研究発表会概要集, pp. 386-387, 2003.
- 2) Lethlean, n. g.: An investigation into the design and performance of electric fish-screens and an electric fish-counter. Transactions of the royal society of Edinburgh 62, pp.479-526, 1953.
- 3) Simpson, D.: Electrical resistivity fish counters, Rhythmic Activity of Fishes, J. E. Thorpe ed., Academic Press, London, pp.259-268, 1978.

(2008. 4. 3受付)