商用周波交流による電気スクリーンの性能について

橋 本 鶴 夫

(東海区水産研究所)

An Experiment on the Performance of an Electric Fish Screen

Tsuruo HASHIMOTO

To obtain necessary data for designing an electric fish screen more efficient than those tested previously, effect of electric current on fish has been studied along with field tests on the performance of an experimental screen.

1) Effect of electric current of fish:- Electric potential gradient to which fish would react was measured when the current ran in parallel or came at right angles with the body of fish. Critical potential gradient to paralyze a fish was also investigated. The results of the experiments are given in Table 1 and Figure 3.

2) Field test on the performance of an experimental screen:- From a practical point of view a vertical grid type of electric screen was employed to supply an alternating current of 50 or 60 cycles respectively. The screen, as illustrated in Figure 1, consisted of a series of vertical grids of copper wire hung from the feeders spanned across a stream leading to a fish farm. It was arranged in accordance with Tauti's theories (1932) so that distribution of the electric potential in the fields between the consecutive grids or electrodes was intensified just as the fish swam ahead by adjusting distance between the poles or using different voltage of the current.

Two sets of the screen were installed across the water way, dividing it into three sections A, B and C, as illustrated in Figure 4. A net made of wire or thread to be placed at the ends of the section will serve to keep the fish inside. Keep a similar net between the sections until the fish get calm down in the section B, and when counting the fish fled into sections A and C.

Release a certain number of fish in section B, then start the operation to observe effect of the electric current upon behaviors of the fish, taking the net partitions out of the water.

Because of difficulty in counting the number of fish driven back by the screen, the screening efficiency was expressed in a ratio computed as

$$\frac{N-Nf-Ne}{N}$$

where N represents the number of fish, Nf the number of fish fled through the screen, and Ne the fish electrocuted. Table 2 indicates the results thus obtained with detail of the experimental conditions.

Since the potential gradient was distributed as shown in Figure 2, the fish, when they swam in group, would turn back just before reaching the first grid or the second. Even when happened to pass through the first, they would soon come back and remain swimming about in

a safe area of B where little or no electric potential gradient existed. However, when a fish swam independently from the group, it often rushed into the fields inside of the grids to be benumbed, or in the worst, electrocuted. Small sized fish or youngs, especially those reared in a hatchery, were found difficult to be screened away by the electric current.

川、水路等の水中に、電流を通じて魚群の進行を阻止する電気スクリーンについては岡田¹⁾ 田内²⁾ 檜山³⁾ 黒木⁴⁾ 栗屋⁵⁾ 等によつて電流が魚に及ぼす作用、電流の種類による作用の差異、電極の型式、電力の節約、阻止率等基礎的な研究が発表せられている。

この電気スクリーンを実際に発電所取入口に設置したものは数箇所あるがその多くは効果未確認のまま現在ほとんど取去られておりその効果は未だ不明の現状にあるので、筆者は前記諸氏の研究結果を参考とし電気スクリーン実用化の目的をもつて電気スクリーンの構造上の問題、魚が感電するに要する電圧、阻止効果等について実験を行つた。

電流の種類については商用周波交流と衝撃波が考えられるが後者は前者に比して電力は少なくてすむが衝撃波発生装置を必要とし設備費取扱等の点から現在では前者を適当と認め 50 及び 60 サイクル交流を使用した。

1 電気スクリーンの構造

水中に電流を流すための電極の形状、配置は種々考えられるが水路等において魚の進行を阻止するための電気スクリーンの必要条件である 1. 水流の抵抗が少いこと、2. 魚の進行方向へ向つて電場の強さを次第に強くすること、3. 流下物による障害に耐え得ること、4. 構造簡単で維持が容易であること等から堅線型を適当と認めこの型のものを使用し実験した。阻止効果実験を行つた水路、池等の大きさによりスクリーンの寸法は異なるが構造は同じで第 1 図に示すように水路或は池を横切り母線 a を張りこの母線から下端に垂

Fig. 1. Arrangement of electric Screen.

d を付けた堅線 b を一定間隔 c に数本下げた電極 I, II, III 等を必要に応じて数列並べた。各区分 I—II, II—III, III—IV 等の電場の強さは電極間隔 L_1, L_2 等を変え或は各対の電極に加える電圧を変えて魚の進入方向に向つて次第に強くなるようにした。

電極として水中にある堅線の面積が水路の横断面積に比して、極めて小さいので電場内における電流密度の分布は複雑であるが、大体第 2 図のような分布を示す。図中実線は第 1 図 B, B' 線上すなわち相対する堅線を結ぶ線上、点線は C, C' 線上すなわち上記の間の線上の各部分でいずれもこれらの線の方に測つた 1 cm 当りの電位差を示すもので、堅線の近くは電位差の高低がはなはだしいが電極の中間部は堅線間隔 C が 0.75 L 以下であるならば B, B' 線上も C, C' 線上もほとんど差

Fig. 2. Distribution of Potential Gradient.

がなく、この部分の強さは縦線の太さ、間隔、水の電気伝導度等に関係するものであるが実用範囲では大体極間隔 L 、それに加えた電圧 V に対し $0.3 \sim 0.4 V/L$ 程度である。

電極間隔 L は大き過ぎれば電力消費が大となり、小さ過ぎれば魚が突破するおそれがあり、魚の体長、進入する速さ、流速、方向等によつて 適当に選ばなければならないが実験の範囲では大体魚体長の $10 \sim 20$ 倍程度が適当と認められた。

II 魚が感電するに要する電圧

供試魚が水中を自由に泳ぎ廻れる大きさの木製及びコンクリート製ふ化槽、セルロイド製長方形の水槽等の両端に電極板を置き、水槽中に魚を 1 尾ずつ入れ、魚体が電流の方向と同一方向をとつたとき及び電流の方向と直角となつたときに電流を通じ魚が感電して動作を表わす最低の極間電圧を読み、これから 1 cm 当りの電圧 volt/cm を算出しこれを魚が感電するに要する電圧とした。ふ化槽の場合は槽体の電気伝導度が大きく電極近くと中間部では電流密度が異なるのであらかじめその減衰割合を実測して置き補正した。

痒ひさせるに要する電圧は痒ひするまで電圧を高くすると魚は急激な運動をするので魚体と電流との並行、直角、痒ひの判定が困難となりはつきりした値がでない。なお実験中の水温、水の電気伝導度はコイ、フナ、ウグイ、オイカワは $18 \sim 23^\circ\text{C}$ $8.4 \sim 10.5 \times 10^{-5} \text{ mho}$ ニジマスは 12°C $8 \times 10^{-5} \text{ mho}$ 内外であつた。

実験の結果は第 1 表及び第 3 図に示すように、1. コイ、フナ、ウグイ、オイカワの成魚については魚種

Table 1. Effect of Electric Current (A. C) on fish.

Species	Body Length cm	Potential Gradient volt/cm		
		First sign of electric shock		Paralyzing
		Parallel with the Current	Across the Current	
Carp	19.0	0.042	0.096	
	17.0	0.055	0.112	
	14.5	0.047	0.083	
	13.2	0.056	0.102	
	13.0	0.047	0.142	
	12.5	0.046	0.084	
	12.5	0.060	0.119	
	12.0	0.057	0.113	
	11.0	0.045	0.145	
	11.0	0.036	0.081	
	10.5	0.045	0.109	
	10.5	0.045	0.125	
	10.5	0.065	0.131	
	9.0	0.056	0.122	
	9.0	0.057	0.162	
	8.5	0.052	0.132	
	8.5	0.056	0.141	
	7.5	0.065	0.151	
	2.00	0.027	0.062	
	19.5	0.032	0.072	
	19.5	0.032	0.082	
	18.5	0.037	0.082	

Crucian carp	18.5	0.032	0.072	
	11.5	0.042	0.122	
	11.5	0.057	0.116	
	11.0	0.055	0.150	0.500
	10.5	0.066	0.150	
	10.2	0.063	0.184	
	10.0	0.063	0.234	0.667
	8.5	0.063	0.155	
	8.0	0.065	0.174	
	8.0	0.057	0.169	
	7.7	0.072	0.117	
	7.5	0.067	0.200	0.583
	7.5	0.061	0.200	0.933
	7.3	0.064	0.157	
	6.5	0.055	0.147	0.866
	4.2	0.080	0.234	0.666
Common dace (Tribolodon hakuensis)	22.0	0.037	0.085	
	20.5	0.037	0.077	
	20.5	0.043	0.133	0.234
	20.0	0.039	0.083	
	19.0	0.037	0.094	
	19.0	0.043	0.100	0.334
	18.0	0.047	0.115	
	18.0	0.037	0.110	0.234
	16.8	0.037	0.094	
	16.0	0.050	0.130	0.266
	14.5	0.050	0.100	0.284
	13.5	0.041	0.095	
	12.0	0.047	0.164	
	12.0	0.047	0.146	
	11.5	0.048	0.137	
	11.0	0.048	0.120	
	7.0	0.070	0.234	0.530
	6.5	0.083	0.234	0.600
	6.5	0.077	0.300	0.500
	6.0	0.073	0.216	0.500
Minnow (Zacco platypus)	9.0	0.063	0.158	0.367
	8.0	0.062	0.178	0.400
	7.5	0.063	0.150	0.400
	7.5	0.057	0.150	0.357
	7.0	0.047	0.147	0.600
	6.5	0.050	0.150	0.333
	3.4	0.167	0.433	1.100

Young carp	3.2	0.127	0.500	1.270
	3.0	0.150	0.566	1.270
	3.0	0.143	0.600	1.270
	3.0	0.147	0.670	1.130
	3.0	0.153	0.630	1.333
	2.8	0.137	0.670	1.130
	2.8	0.124	0.600	1.130
	2.8	0.157	0.633	1.100
	2.6	0.180	0.634	1.330
Rainbow Trout	16.0	0.013	0.045	0.108
	15.5	0.013	0.050	0.108
	14.5	0.017	0.054	0.200
	12.5	0.019		
	10.5	0.013	0.050	
	9.0	0.025		
	9.0	0.016	0.068	0.109
	8.5	0.023	0.057	
	8.5	0.016		
	8.5	0.014	0.045	0.144

による感電電圧は大差なく 2. 同一魚種の成魚については小形のものは大形のものに比し幾分感度が鈍く 3. 同一魚種でも成魚と稚魚とではコイの例にみられるように感度の差は著しくワカサギのふ化後一週間位のものは 1 volt/cm 以上の強さでないと感じない 4. 魚体が電流と直角の場合は並行の場合に比し 2~3 倍の電圧がないと感じない。このことは電流と魚体が並行の位置で相当強く感じても方向を転ずると感じなくなることを意味する。5. 最低感電電圧の 7~8 倍の電圧を受けると数秒の苦もんの後けいれんを起しついに呼吸を停止するが数分以内に電流を断つと回復し容易に死ぬことはない。

Fig. 3. Potential Gradient for Electric Shock.

III 阻止効果

電気スクリーンの実用化が目的であるので阻止効果の実験は出来れば実際にそれを必要とする川、水路等で行うことが望ましいのであるが場所の選定、効果の判定、費用等種々困難な事情があり止むを得ず養魚池及び養魚池用水路に小規模の実験用電気スクリーンを設置し主として養魚池に飼育してあつた魚を使用して実験を行つた。

コイ、フナ、ウグイ、アユについては淡水区水産研究所上田支所の水路を第4図のように金網で仕切つて三区区分し上、下流に各一組の電気スクリーンを設け、中央 B 部に供試魚を放ち電気スクリーンに電流を通じ仕切網 b, b' を取り除き B 部の魚が電場を通過して A 或は C 部に進入した数を調べ、B 部に残つたものは A 或は C への進行を阻止されたものとして全供試魚数に対する割合をもつて阻止率とした。

電流を通さないときは幾つかの群をなして A, B, C 間を往復しており、水の清濁によつて多少差はあるが C 部が他より幾分か深くなつていたのでここへ多く集まる傾

向がある。電流を通すと群をなしているものは大体スクリーンの第Ⅰ極の手前（僅かに感電する程度）で方向転換して引返すが第Ⅰ極を通過することがあつても第Ⅰ、Ⅱ極間で感電し直ちに引返し数回これを繰返すが容易に強い電場の方へは進入しない。しかし単独で来るもの或は何か外部からの刺激に驚いて急速な行動

Fig. 4. Arrangement for Field Test.

線に触れるか或は電場が強過ぎるとまひして行動の自由を失いこの状態が永く続くといひ死ぬが若し水流のために押流され電場外へ出ると間もなく回復する。

実験の結果を第 2 表に示す。No. 1~8 は第 4 図に示した水路で行つたもので水深 20~30 cm 流速 10 cm/sec 内外で上流より下流の方が幾らか深くなつてゐる。水路の巾が狭く水深も浅いので屋間は人の気配で魚が不自然な行動をとりがちなので実験は何れも夕刻から通電し、翌朝 a, b' を仕切り A 或は C にある魚の数を調べた。従つて表中の阻止率は通電時間中にスクリーンを通過せずして B に残つてゐたものについてである。奇数番号のものはその供試魚について始めて通電実験を行つたもので偶数番号は第一回通電実験後十数時間通電しないで置き再度通電実験を行つたもので前者に比し後者の阻止率が概して良く、死んだ数も少いのは魚が感電するような好ましくない場所を覚えていたためと思われる。No. 8 についてはその後引続き五日間通電したままにしておき、毎日通過魚の有無を調べたがアユ以外はその後スクリーンを通過したものはほとんどなく、かえつて C のものが B へ戻り数尾が電場内で死んだ。アユは二日目大部分のものが電極線に触れて死に、最後に A に 1 尾残つたのみであるがアユの阻止率がこのように悪かつたのは川から捕つてすぐ狭い水路に入れたので環境の急変、泳ぐ速さに比し電場の奥行が短かつたため等によるものと思われこの一回の実験ではアユについての阻止効果の有無はわからない。

No. 9 ニジマスについては長野県明科水産指導所の巾 4.5 m 長さ 15 m の養魚池の中間に電気スクリーンを設置し他の同形の池に飼育してあつた体長 11~12 cm のもの 205 尾を排水口側に入れたがこの魚は池によく慣れているので二つの群をなして回泳しておりスクリーン第Ⅰ極の手前 0.5 m 位の所で方向転換し、旋回を続けている。人の気配に驚き第Ⅰ極を越すこともあるがすぐに引返し完全に阻止出来ることが認められた。

同所の水路は巾 3.6 m 水深 1 m の部分が 170 m あり流速 44 cm/sec で大小のニジマス、ウグイ等がほとんど自然の状態で常時水路を上下往復しており、池に飼育してあるものと違い野性を帯びている。この水路へ電気スクリーンを設置してみたが群をなして来るものはほとんど引返すが単独で来るものが多くこれらは時により強く感電しながらも通過するものもあり或は麻ひして押流されるものもあるがここでは数を調べるができなかつたので阻止率は確認出来なかつたがこの程度の流速では流れが阻止効果に影響を及ぼすようにはみられなかつた。

コイの稚魚（体長 3 cm 内外）については巾 0.9 m 長さ 5.5 m の養魚池で行つたがこの程度の大きさのものはまだ行動が鈍く電流に対しても鈍感で又群集性にも乏しく感電してもそのような場所を避けることをせず強い電場へ進入し旋回している内に麻ひしついに死に至るものが多く阻止効果は極めて低かつた。又ワカサギのふ化してから一週間程度のもはほとんど阻止することができなかつた。

IV 結 び

1. 実際の川、水路等は流下物が多く従来実施されたものの使用されていない一つの原因が流下物による

Table 2. Screening Efficiency for Fish.

Expt.No.	Distance bet. Poles meters			Voltage on the Poles volt			Potential Gradient at middle of Poles v/cm			Duration of Expt. hrs	Fish			Number of Fish passed the screen	Number of Fish Electro- cuted	Screening Efficiency %
	L_1	L_2	L_3	V_1	V_2	V_3	v_1	v_2	v_3		Species	Body Length cm	Number			
1	2.0	1.2	1.0	100	100	180	0.15	0.17	0.51	15	Crucian carp	7~13	150	14	1	90
2	2.0	1.0	—	103	103	—	0.16	0.31	—	19	"	"	149	5	3	95
3	2.0	1.0	—	154	154	—	0.21	0.48	—	11	"	"	140	23	7	79
4	2.0	1.0	—	190	190	—	0.23	0.56	—	11	"	"	133	15	2	87
5	2.0	1.2	1.0	150	150	150	0.25	0.34	0.44	9	Crucian carp	7~13	206	30	7	82
											Carp	15~22	10	0	2	80
											Common dace	16~20	26	2	2	85
6	2.0	1.2	1.0	108	108	108	0.15	0.21	0.28	11	"	"	168	11	0	93
											"	"	6	0	0	100
											"	"	21	0	1	95
7	2.0	1.5	—	74	110	—	0.11	0.24	—	13	Crucian carp	8~13	50	8	7	70
											Carp	8~13	50	10	3	74
											Common dace	13~18	20	1	3	80
											Ayu	14~17	30	2	12	53
8	2.0	1.5	—	60	90	—	0.08	0.20	—	20	"	"	50	1	2	94
											"	"	50	5	4	82
											"	"	20	0	1	95
											"	"	18	2	12	22
9	2.0	1.5	1.25	13.5	21.0	33.5	0.024	0.042	0.100	25	Rainbow Trout	11~12	205	2	2	98

電極線の損傷にあることからみて電極線はその設置する場所の状況に応じ水流の抵抗少く、障害に充分耐え得る丈夫な構造としなければならない。

2. 川の水の電気伝導度は小さいので実験に使用した程度の規模のものでは消費電力は 100 ワット前後であるが実際の場合巾が数 10 m, 水深数 m とになれば所要電力も相当大きくなり田内は電流を毎秒数回断続することにより所要電力を数分の一に減らすことができることを発表せられ筆者もその装置の実験を行つたが実際問題として大きな電流を毎秒数回断続することは機構上困難な点が多々あり完成するに至らなかつたが電気スクリーンを実用化するには解決しなければならない問題である。

3. 淡水魚の感電する最低電圧は岡田の実験にみるように水の電気伝導度によつて異り又同一水質中においても第 1 表に示すように魚種、体長によつて多少の差はあるが成魚についてこの差は実際の場合問題にする程のものではないが同一魚種でも成魚と稚魚との差は大きく又稚魚は感電してとる行動がすこぶる幼稚で筆者の実験の結果では稚魚に対しては大きな阻止効果は望めない。

4. 成魚についてアユを除いては高い阻止率を示したが、これは養魚池に飼育してあつたものを使用したためで自然の環境にある野性のものについてはこれ程の阻止率は望めないとしても、魚は感電するような好ましくない場所を避け又その場所を覚えていくことから実際の場合にも相当な阻止効果があるものと思われる。

5. しかしアユ、マスのようにある時期に川を上り或は下る習性をもつものに対してその時期に習性に反して阻止できるかどうかは残された問題である。

なお本報には神奈川県電気局からの依頼によつてなされた実験の一部が含まれていることを付記する。

終りに臨み終始御指導を賜つた東海区水産研究所源生一太郎所長、種々御援助を賜つた淡水区水産研究所上田支所、長野県水産指導所の諸氏、水産研究会中野宗治氏、及び実験に協力された物理機械科の諸君に厚く感謝の意を表する。

文 献

- 1) 岡田：水講報告 24, (2) (1929), 25, (1) (1930)
- 2) 田内：水講報告 27, (1) (2) (1932)
- 3) 檜山：水産動物の研究 I, (4) (1950)
- 4) 黒木：日水会誌 16, (4) (1950)
- 5) 栗屋：東京工大研究報告 B, (3) (1951)