

(9) 魚類の遡上と中小河川の横断工作物に対する一考察

THE STUDY OF FISHES GOING UP IN
THE STREAM AND GROUND SILLS AND
UREIRS.

長 孝弘 *

Takahiro CHO *

東松山淡水生物研究所 *

Higashimatuyama Tansuiseibutu Kenkyuusyo *

ABUSTRACT

Fishes go up in the stream. On it, fishway is built to improve the steps which make it unable that fishes do. The way to rise is under the influence of what kind of fish, how growing and how fast the river flows. What size of earth and sand which flows into a stream in flooding, influences how broken buildings are. We set windows on the fishway for observation, and looked into how fishes acted. We found it broken after it was long time. And we gave it the way of slope to make it better.

古来から中小河川には、横断工作物である農業用水確保の為に設置した頭首工がある。しかし、近年は河川改修の進捗に伴い、河床勾配の調節のための落差工を設置することが多い。これらの落差は魚にとり大きな障害物である。この障害を少なくするために魚道が必要とされているが、経済価値のある魚類に対する事例はおおいが、一般に生息する魚類に関してはほとんど見あたらない。しかし、中小河川において魚道を設置した場合治水問題が生じないかを、野外の観測を中心に考察した。

川に生息する魚種は河川的环境によりことなる。上流、中流、下流、地域による違いがあるため充分な調査をして、遡上力の一番弱いと考えるものを対象にする必要がある。このことは、同じ魚種であろうとも成長の度合いにより遊泳力が異なるからである。特に、階段式の魚道においては、段差に影響がある。現場の河川においては流量は常に変化している。

埼玉県飯能市の入間川に、ウグイ、オイカワ、放流アユ、ヤマメを主体とする上水堰に昭和62年魚道の設置計画の依頼を受けたのを機会に、階段式に観測窓を設置することで事業者の承諾をうけ施工した。概要は次の通りである。

河川幅員 35.0m 魚道延長 21.3m

内幅 4.0m 水槽長 3.5m

水深 0.8m 段数 5段

切り欠き(チドリ) 1.0×0.1m

勾配 1/14 高低差 2.0m

隔壁下流 0.15×0.15 45°

堰の特色としては、中央部に幅 2.0m 長さ 8.0m の 木流し水路④があり上下流の流心を検討の結果左岸側に決定した。右岸には、深い場所⑤があり、呼び水の効果を増すために、魚道延長に一致させ、かつ集魚効果をあげる為に右岸側の側壁を水面下で延長した。(写真-1)

観察窓は、左岸側に 0.7×1.7m のサイズで縦、横方向に 2カ所(写真-2)設置した。窓はアクリルパネルを使用しているが、板厚は静水圧に対して

横窓のパネル 1700×700(mm) 静水圧をうける矩形パネルに生じる最大応力、最大たわみは機械工学便覧 4-77より

$$\omega_{\max} = \alpha_3 \frac{q_1 a^4}{E h^3}$$

$$\text{最大応力: } \delta_{\max} = \beta_3 \frac{q_1 a^2}{h^2}$$

E: アクリライトの弾性率 30000(kg/cm²)

h: アクリライトパネルの厚み(cm)

ここで b/a=2.42より $\alpha_3=0.06$, $\beta_3=0.4$

パネルの設計基準としては、次の2項を満足するように板厚を決定します。

① $\omega_{\max}$ を短辺長

の 1/300 以下とする。

② $\delta_{\max}$ をアクリライトの長期屋外許容応力 (70 kg/cm²) 以下とする。

$$\text{①より } \omega_{\max} = 0.06 * \frac{0.07 * 70^4}{30000 * h^3} \leq \frac{70}{300}$$

$$\therefore h^3 \geq \frac{0.06 * 0.07 * 70^4 * 300}{30000 * 70} = 14.4$$

$$\therefore h \geq 2.4 \text{ (cm)}$$

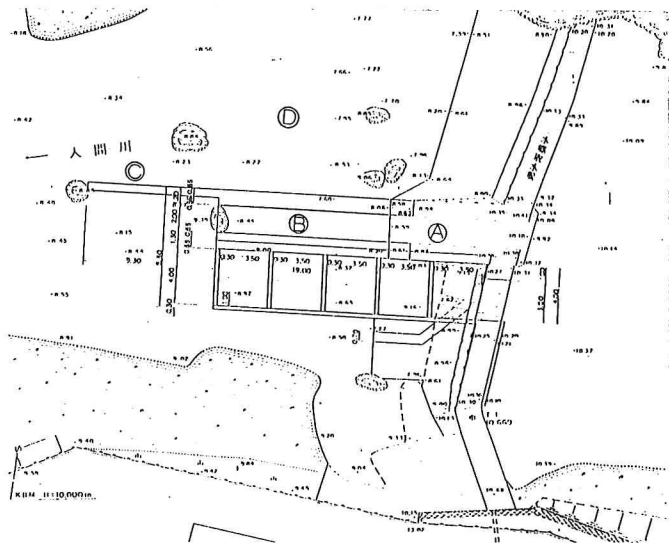


図-1



写真-1

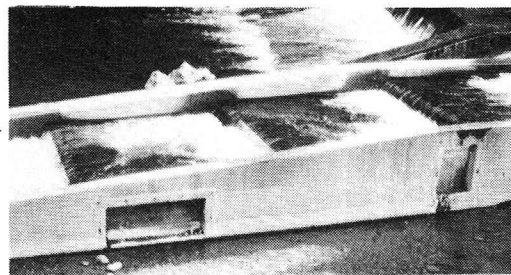


写真-2

$$\textcircled{2} \text{より} \quad \delta_{\max} = 0.4 * \frac{0.07 * 70^2}{h^2} \leq 70$$

$$\therefore h^2 \geq \frac{0.4 * 0.07 * 70^2}{70} \leq 1.96$$

$$\therefore h \geq 1.4 \text{ (cm)}$$

以上より 24 mm 以上が必要。

b. 縦窓のパネル、700w * 950h (mm) について

板厚 $h = 24$ (mm) として計算すると

前出 機械工学便覧 4-77 より

$$\omega_{\max} = \alpha^3 \frac{q_1 a^4}{E h^3}$$

$$\delta_{\max} = \beta_3 \frac{q_1 a^2}{h^2}$$

$a/b = 1.36$ より $\alpha_3 = 0.04$, $\beta_3 = 0.24$ であるので

$$\omega_{\max} = 0.04 * \frac{0.095 * 70^4}{30000 * h^3} = 0.02 < \frac{70}{300}$$

$$\delta_{\max} = 0.24 * \frac{0.095 * 70^2}{2.4^2} = 19.4 < 70$$

となり、いずれも設計基準①、②を満足する。

従って、双方の結果より 24 (mm) 以上の板厚のパネルを使用する。

(2) 集中豪雨時の動的水圧に対して

集中豪雨時に、アクリライトパネルに実際どの程度の圧力がかかるかに
ついては、データがないため、次のような仮定のもとに計算を行いました。

仮定：流速 10 m/sec の水流がパネルに垂直に当たった場合に耐え得
る板厚。

密度：P (g/cm³) の流体が流速 v (cm/sec) 流量 Q (cm³
/sec) で面積 S (cm²) の壁に当たった場合の圧力 P は

$$P \text{ (gf/cm}^2\text{)} = \frac{P}{g} \quad Qv/S \quad \frac{P}{g} \quad v^2$$

(g : 動力速度 980 (cm/sec²))

従って、 $v = 10$ (m/sec) 1000 (cm/sec) として

$$P = \frac{1}{980} \cdot 1000^2 = 1020 \text{ (gf/cm}^2\text{)} = 10200 \text{ (kgf/m}^2\text{)}$$

この圧力が単純支持矩形板に作用した場合の最大応力・最大たわみを横窓について計算すると下表のようになり、外観（たわみ）による制限を無視して応力についての基準を満足するためには板厚70mmが必要となります。縦窓については、横窓よりもサイズが小さいので同板厚を使用すれば基準を満足します。

NO. 1

****設定条件****		項目	単純支持	完全固定
縦横比	:b/a=2.0			
短辺	:a=700mm	最大応力 : δ_{max}	78.9kg/cm ²	73.1kg/cm ²
長辺	:b=(1700mm)			
板厚	:h=60.0mm	最大たわみ:Wmax	4.2mm	1.0mm
等分布荷重:q=10200.0kg/cm ²				
弾性率 :E=30000kg/cm ²				

NO. 2

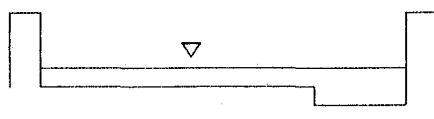
****設定条件****		項目	単純支持	完全固定
縦横比	:b/a=2.0			
短辺	:a=700mm	最大応力 : δ_{max}	58.5kg/cm ²	54.8kg/cm ²
長辺	:b=(1700mm)			
板厚	:h=70.0mm	最大たわみ:Wmax	2.6mm	0.6mm
等分布荷重:q=10200.0kg/cm ²				
弾性率 :E=30000kg/cm ²				

魚道の勾配の決定は難しいが、出来るだけ緩やかにする必要がある。早瀬のある河川であれば上下流を調査して最急の、箇所で遡上を調査して参考とする。未改修の河川であれば箇所が見つかる。低水護岸がされている河川では、天端から2～3割の増水時に直線部や緩やかな内カーブの0.3～0.6m、水深0.2～0.4mの流速を参考にすると良い。フナ類、モツゴ、モロコ、ツチフキ等遊泳力の弱いと思われる魚が遡上する。調査回数が多ければ通常の魚の行動が把握でき施工の位置も決め易い。

本体は折り返して堰の下にするのが良いが、洪水時に受け皿となり乱流を生じるので河床の保護が大切である。布団カゴ、蛇カゴ等で施工すれば人間による投網、魚釣りの被害を防ぐ事もできる。

用水堰よりも落差工は土砂の混入が多く、粒径も大きい。上流の地質状況の調査をしてコンクリートの摩耗を防止する対策が必要である。対策として厚さ9mmの鉄板を加工して保護している。

隔壁の構造は一般には図-2で示す長方形で切り欠きを付けた下流部は45°に切り落とした物が多い。Aの位置に堆積しやすく乱流が生じ、魚が踊る様に



なることが多い。多魚種に適用させるためには、乱流を少なくする必要がある。昭和62年入間川に施工した魚道は左右に傾斜した構造とした。この結果ウグイ、オイカワの遡上が良いことが解った。図-3

下流側の切り落としは 45° で角の部分は円を付けることで背面の空隙を減少することができる。流量の多い所に魚は集まることから呼び水水路を付ける事がよい。中小河川では設置する場所が確保しずらく、折り返した時にむずかしい。この様な場合魚道の流入口に接して流出口を施工すると良い。図-4

直線の場合には魚道内に管渠を敷設し

て置くとよいが、流入にスクリーンを取付け詰まらないように管理しなければならない。流量の調節は角落として流入口、または側面を利用して管理のしやすいことを考慮する。遡上の時期には側面から落ちる事がない。しかし、秋に下流に移動する魚も多いから側面は側壁天端に上げて置く。入り口部の河床が低下することで、段差が大きくなり遡上できないような例が多く見られる。河床の低下を予測する事は困難であるが予算が許す限り、現河床より下げておくのがよい。写真-3は各種の改良を加えて荒川支川安谷川に平成2年3月完成し、その後の調査で良く遡上している。

落差の小さい場合の全面魚道は、平常水位の時にはよいが洪水の時には、跳躍水による乱流の障害が生じ易い。この様な場合、斜路工を考えてもよい。地質により詰杭工、木工沈床、石張工、コンクリート製品等を用いて凹凸を増すことで流速を押さえて河床、側岸の侵食をふせぐ。荒川支川市の川の改修に伴い0.78mの落差があり景観等も考慮し検討したが、地質が軟岩のためコンクリート製品で計画した。

計画諸元

計画高水流量 $Q = 170 \text{ m}^3/\text{s}$ ($W = 1/5$)
 ヲ河床勾配 $i = 1/350$

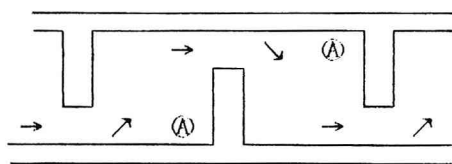


図-2

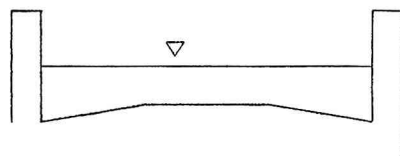


図-3

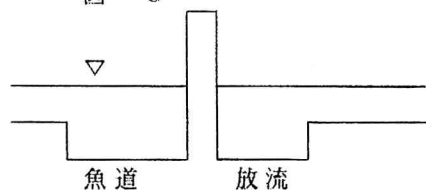
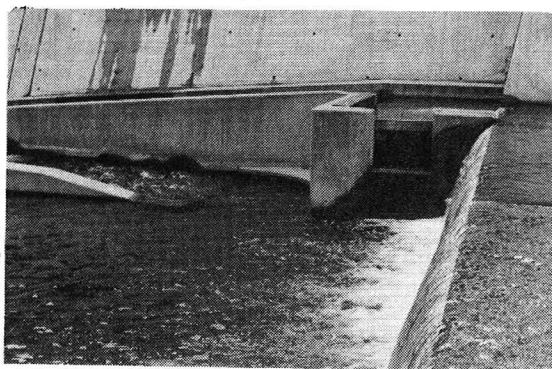


図-4



計画縦断

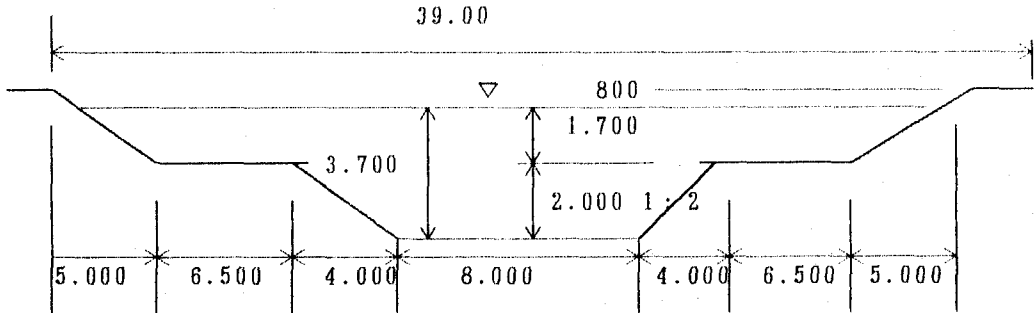
1/400 (暫定改修済)

1/350

0.78

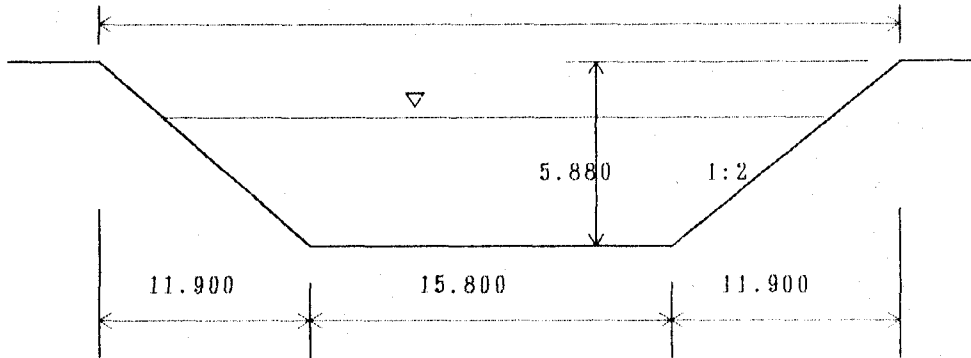
(将来計画 1/300)

河道断面 (下流)



(上流)

39.600



限界水深における河床勾配

限界水深の計算

流積 $A = h (B + m h)$ 水面幅 $T = B + 2 m h$

水理水深 $A H = \frac{A}{T}$ フルード数 $F r = \frac{v}{\sqrt{2g \times A H}}$

$Q = 170 \text{ m}^3 / \text{s}$, $B = 8.0 \text{ m}$, $m = 1:2.0$ とし, $h = 2.327$ とすれば

$A = 2.327 \times (8.0 + 2 \times 2.327) = 29.446$

$T = 8.0 + 2 \times 2 \times 2.327 = 17.308$ $A H = A / T = 1.701$

$v = A / Q = 170 / 29.446 = 5.773 \text{ m} / \text{s}$

$F r = \frac{v}{\sqrt{2g \times A H}} = \frac{5.773}{\sqrt{19.6 \times 1.70}} = 1.000 \quad [\text{OK}]$

また

$P = B + 2 h \sqrt{1 + m^2} = 8.0 + 2 \times 2.327 \times \sqrt{1 + 2.0} = 18.407 \text{ m}$

$$R = A / P = 1.600 \text{ m} \quad R^{4/3} = 1.87097$$

限界勾配の計算

$$i_e = \frac{n^2 v^2}{R^{4/3}} = \frac{n^2 \times 5.773^2}{1.87097}$$

$$n = 0.035 \text{ とすると } i = 1/45.8$$

$$n = 0.04 \quad \text{々} \quad i = 1/35.1$$

$$n = 0.05 \quad \text{々} \quad i = 1/22.46$$

下流

HWL時における流量計算

$$A = 1/2 (8.0 + 16.0) \times 2.0 + 1/2 \times (29.0 + 35.8) \times 1.7 = 79.080$$

$$P = 3.7 \times 2 \times \sqrt{1 + 2.0^2} + 8.0 + 6.5 \times 2 = 37.547$$

$$R = A / P = 2.106 \quad n = 0.03 \quad i = 1/350 \text{ とすると}$$

$$v = 1/n \cdot R^{2/3} i^{1/2} = 1/0.03 \times (2.106)^{2/3} \times (1/350)^{1/2} = 2.927$$

$$Q = A \cdot v = 231.5 \text{ m}^3/\text{s}$$

$Q = 170 \text{ m}^3/\text{s}$ における水理計算

$h = 3.280 \text{ m}$ とすれば

$$A = 64.397, P = 35.669, R = 1.805, v = 2.641, Q = 170.072 \text{ m}^3/\text{s} \approx 170$$

上流

$Q = 170 \text{ m}^3/\text{s}$ の水深をトライアルで求めると $h = 2.851$ となる。

$$A = 61.302 \text{ m}^2 \quad P = 28.550 \text{ m} \quad R = 2.147 \text{ m}$$

$$n = 0.03 \quad i = 1/400 \quad v = 2.774 \text{ m/s}$$

$$Q = A \cdot v = 61.302 \times 2.774 = 170.052 \text{ m}^3/\text{s} \approx 170 \text{ m}^3/\text{s}$$

斜路内の流速は等流水深を求めて流速を推定する。安全を考えて $n = 0.03$ とする。
 $h = 2.264 \text{ m}$ とすると

$$A = 31.795 \text{ m}^2 \quad P = 31.125 \text{ m} \quad R = A / P = 1.022 \text{ m}$$

$$v = 58.346 \text{ m/s} \quad Q = A \cdot v = 169.974 \text{ m}^3/\text{s} \approx 170 \text{ m}^3/\text{s} \text{ [OK]}$$

このことから勾配を $1/40$ 程度とすれば斜路工内の射流が防止できる。

参考文献

全国内水面漁業協同組合連合会 昭和62年3月

内水面漁場環境・利用実態調査報告書 魚のすみよい川への設計指針(案)

高島 信博, 中村 俊六 : 魚道内のアユの挙動に関する実験的研究

第28水利講演会論文集

長 孝弘 : 河川の障害物と生き物たち 私たちの自然 1992, 3

飯能土木事務所 : 魚道観察窓用アクリルパネルについて 平成元年12月

東松山土木事務所 : 河川改修工事報告書 平成4年3月