

# ダム取水塔に関する一考察

(とくに取水温に関連して)

柳本孝治\* 池田保夫\* 小川芳昭\*\*

## 1. ま え が き

躍層の発達した貯水池から表層水を取水する場合や、感潮河川から工業用水を汲み上げる場合などのように、密度差のある二層から上層水のみを分離取水するには、密度差によって定まる限界流速(かなり小さい値)を考慮しなければならないため、取水形式が問題となる。とくに東北、北海道のような冷涼地帯では、温水取水の機構の解明は取水型式の設計などに有意義であろう。

本考察では取水施設の合理的設計の一助とするために、フローテング型の取水塔を対象に取水温の推定法を提案した。

## 2. 貯水池の水溫垂直分布

かんがい用水、発電その他に利用される湖沼や高ダムによる貯水池内の水溫は、水面での熱吸収によって特徴ある垂直分布を示している。すなわち、水面からある深さまでは一定水溫に保たれ、それから深くなるにつれて水溫は急激に降下し、それ以下は深所まではほぼ一定水溫となっている、またその高温層の厚さ、躍層の温度勾配などは貯水池の広狭、周囲の地形、流入水量の大小、水深の増減などと、相関連することが知られている。

北海道のかんがい期における貯水池水溫分布の例として、金山ダム、尾白利加ダムにおける実測例を図-1、2に示す。この図からも知られるように躍層の存在が認められ、受熱期ではその温度勾配はゆるく、放熱期の8

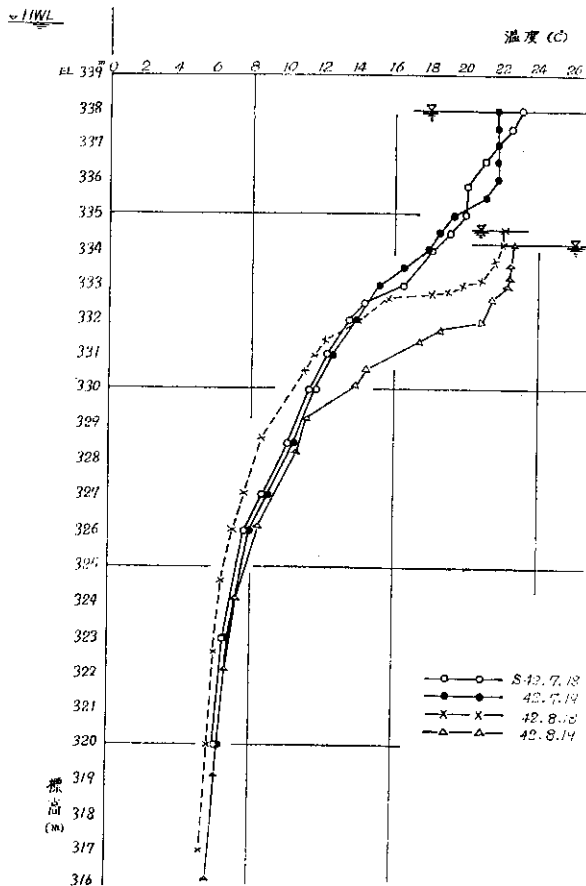


図-1 金山ダムの水溫垂直分布

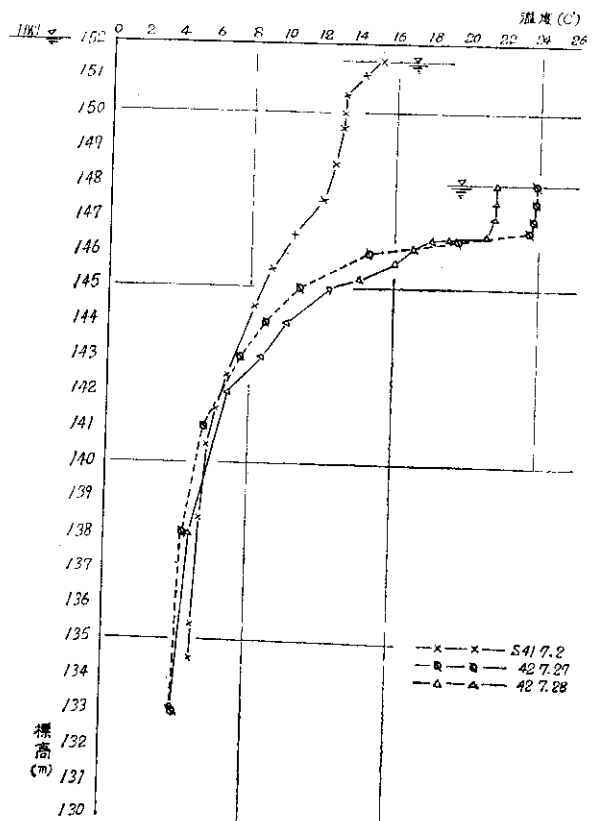


図-2 尾白利加ダムの水溫垂直分布

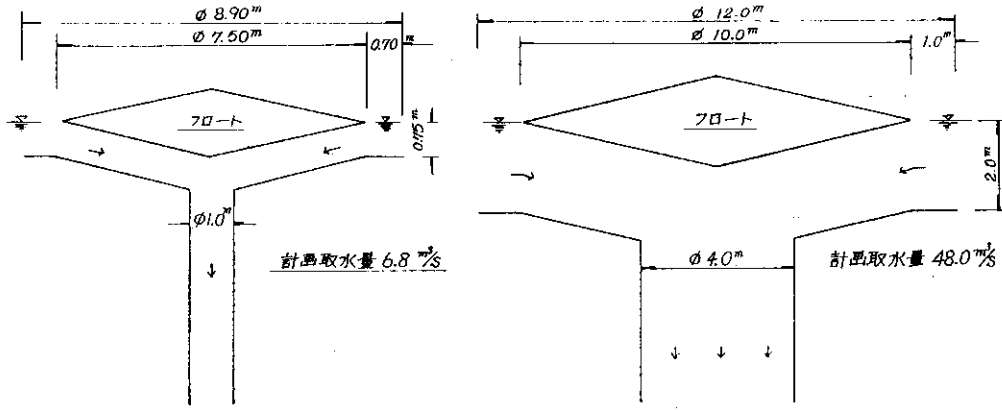
\*河川研究室\*\*同室員

月になると温度勾配は急となっている。

### 3. 取水塔付近の水温形成

取水塔から取水した場合における取水塔付近の水温形成は、取水深、取水量、取水形式などの種々のラターによって異なった形をとるものと考えられる。

実測の対象とした取水管は図-3に示すとおりで、上部にソロバン玉型のフロートを持ち、その浮力によって取水管自体が支えられ、貯水池の水位変動に自動的に追従するような構造となっているので、取水深は常に一定である。



(A) 尾白利加ダム

(B) 金山ダム

図-3 取水管詳細図

水温分布などの測定は図-4に示す取水塔からの矢印の方向に、一定距離間隔に測定した（実際には測定方向の違いによる流速分布の変化はなく、むしろ、スクリー

ンを支える支柱などによる流入水の乱れがあったのでその影響を受けない位置を選定した）。

図-5, 6は取水時における等温線の実測例で、尾白

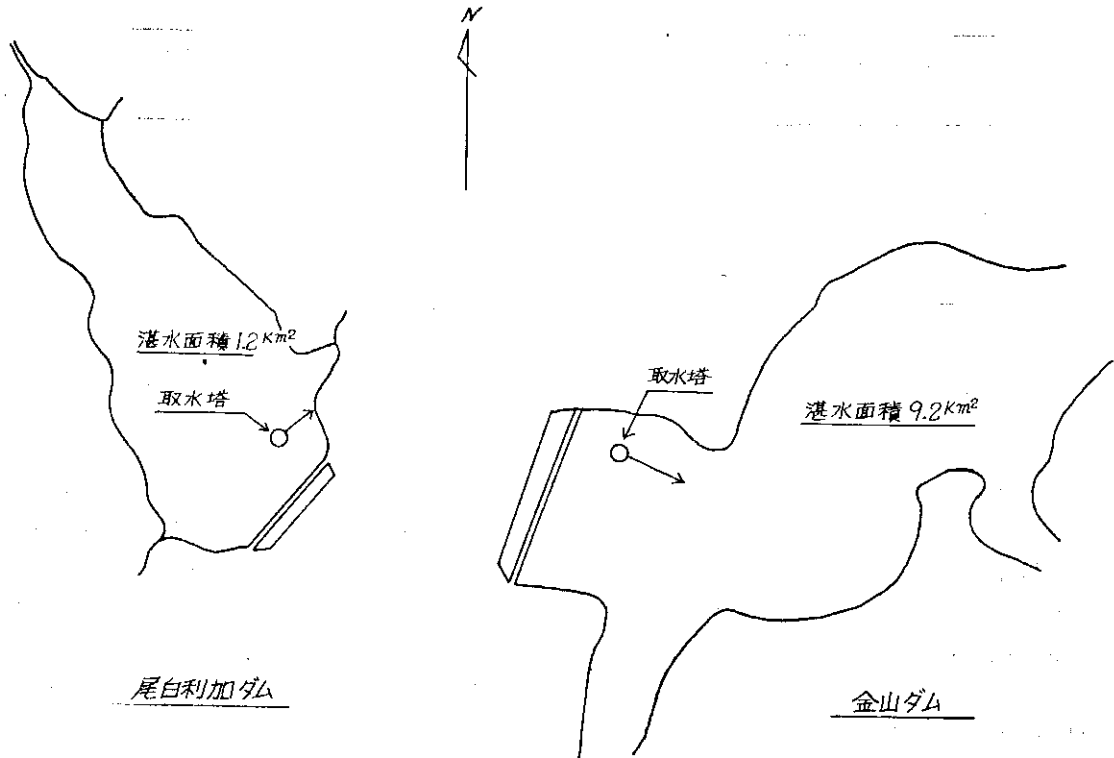


図-4 観測位置図（矢印は測定方向を示す）

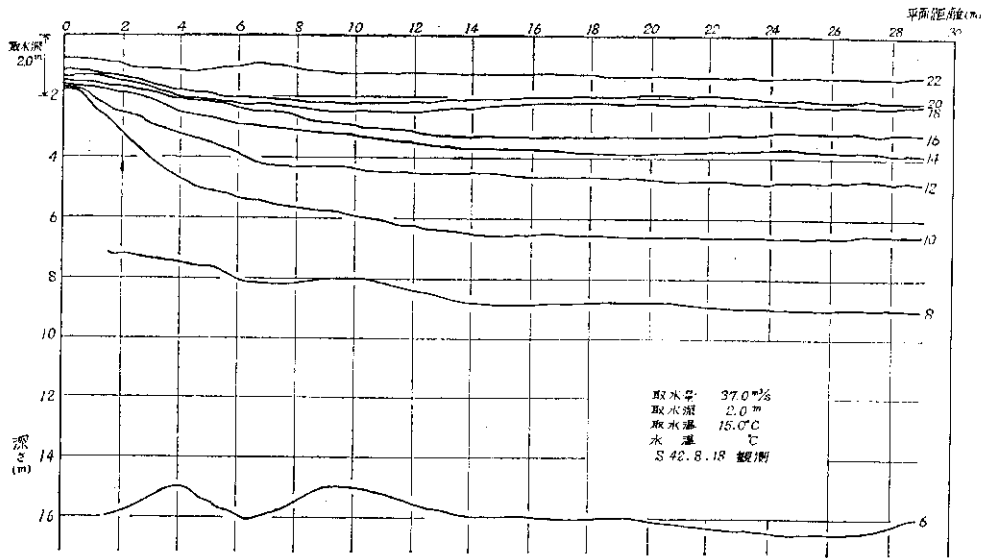


図-5 金山ダム取水塔付近等温線

(A) 尾白利加ダム

(B) 金山ダム

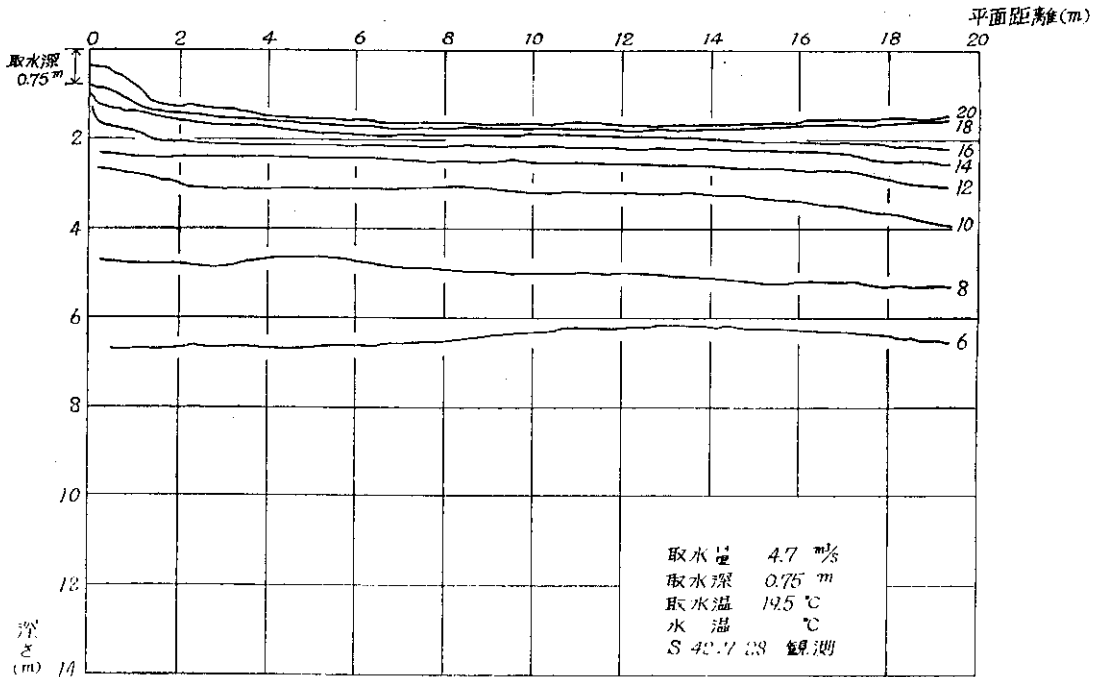


図-6 尾白利加ダム取水塔付近等温線

利加の例では取水口からの水平距離約 4 m, 金山の例では約 10m 位のところから下層水が取水口に流入していることがうかがわれる。

しかしそれより遠くなると距離に関係なく一定の分布をして、流線が水面にほとんど平行であることを示している。したがって、取水時における貯水池内の流動に影響する範囲は、取水塔近傍の比較的小範囲に限られると考えるべき。

#### 4. 取水時における取水塔付近の流速分布の推定

##### 4.1 電解槽法による流線網の作図

完全流体における流線網の分布と、電磁気現象における電気力線、等電位線の分布とは相似であり、ともにラプラスの方程式を解いて求められることが知られている。複雑な形をもつものについては境界条件を満足させる方程式を見いだすことができず、したがって式を解いて流線やポテンシャル線を求めることが不可能な場合がある。しかし、ともにラプラスの式を解くという共通のことから、流線網かあるいは電解か一方を求めることによって互いに他方を表わすことができる。そこで測定と比較的簡単な電解の模型を用いて、等電位線を求め構造

上複雑な境界をもつフローテング型の流線，またはポテンシャル線に相当させることとした。

実際には抵抗体に水を用い，ポテンシオメーターとブリッジを形成するようにして等電位点を求める方式をとった。

取水管を模型化するにあたり，取水口内の形状を模擬化して図-7に示すような二次元パターンに置きかえた。また，次のように仮定して境界条件を与えた。

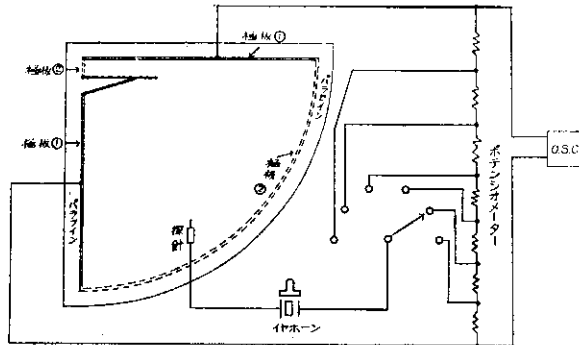


図-7 電解槽模型

- 1) 水面と取水管に沿う線はそれぞれ一本の流線である。
- 2) 取水口から十分に遠いところでは越流型取水口に対するポテンシャル線に一致する。
- 3) 取水口内部では取水口より十分離れると流線とポテンシャル線は正方形を作る。

模型は方眼紙の上にガラス板を置き，その上に厚さ約1cmのパラフィンで縮尺  $\frac{1}{30}$  の幾何学的相似なものを作った。

流線に対しては図-7の極板①を使用し，ポテンシャル線に対しては極板②を使用して，模型池の中に水を張りイヤホンの音が消える等電位点を深針で深し，方眼紙の目盛を読みとって流線網を作図した。しかし，読みとり誤差があるので若干修正を加えねばならなかった。

この流線網から任意流量に対する流速  $v$  を求めると，境界面  $a$  に沿う  $v_a$  の値は

$$v_a = \frac{q}{\int_0^N \left( \frac{\partial s_a}{\partial s} \right) \delta_n} \dots \dots \dots (1)$$

であり

$$v = v_a \left( \frac{\partial s_a}{\partial s} \right) \dots \dots \dots (2)$$

(2)式から等ポテンシャル線に沿った流速が計算できる。ここで  $q$  は単位幅当たりの流量， $\delta_s$ ， $\delta_n$  は  $s$  方向， $n$  方向における各格点間の長さである。

#### 4. 2 実測値と計算値の関係

図-9は4. 1で述べた方法で求めた金山ダム取水塔付近の流線網である。この図から  $q = 0.98 \text{ m}^3/\text{s}$  について

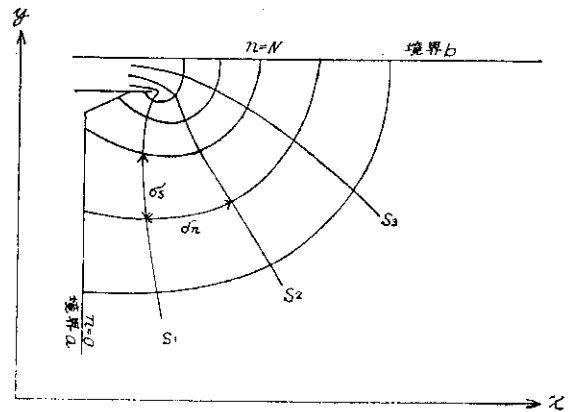


図-8

て，各格点の流速を(1)および(2)式より計算し，取水塔からの平面距離および水深はそれぞれフロート半径，取水深で除して無次元表示をした(図-10参照)。流線網から求めた値 ( $V_F$ ) と実測値 ( $V_P$ ) と比較すると，計算による分布の形は実測値のものに似ているが，勾配はかなり異なっている。この差は主として，密度差と，3次元現象を2次元化して考えたことの違いによるものと思われる。

しかし現地観測の結果では，水温分布の差による流速分布形の変化をあまり明瞭に把握できなかったため，ここでは密度差による補正は見合わせることにし，3次元へ変換するための補正だけを考慮してみた。

まず表面流速を対象に考え，縦軸に  $\frac{V_{PS}}{V_{FS}}$ ，横軸に

$\frac{l}{r_0}$  ( $l$  は取水口からの距離， $r_0$  はフロート半径) をとり，取水量  $q$  をパラメーターとして図示すると図-11のようになり，これを一次式で表わすと

$$\frac{V_{PS}}{V_{FS}} = 0.7924 \left( \frac{l}{r_0} \right) + 0.3209 \dots \dots \dots (3)$$

となり，(3)'式で  $V_F$  を修正して図-10に  $V_{F'}$  で示した。

$$V_{F'} = V_F \left\{ 0.7924 \left( \frac{l}{r_0} \right) + 0.3209 \right\} \dots \dots \dots (3)'$$

次に縦軸に  $\frac{V_P}{V_{F'}}$ ，横軸に  $\frac{D}{a}$  ( $D$  は水深， $a$  は取水深)

をとり，取水口からの観測点  $\frac{l}{r_0}$  をパラメーターとして図-12に示した。これを実用上一次式で表わされるもの

$$\frac{V_P}{V_{F'}} = 0.9524 - 0.2124 \left( \frac{D}{a} \right) \dots \dots \dots (4)$$

となり，計算流速  $V_C$  は次式により  $V_{F'}$  を補正したものである。

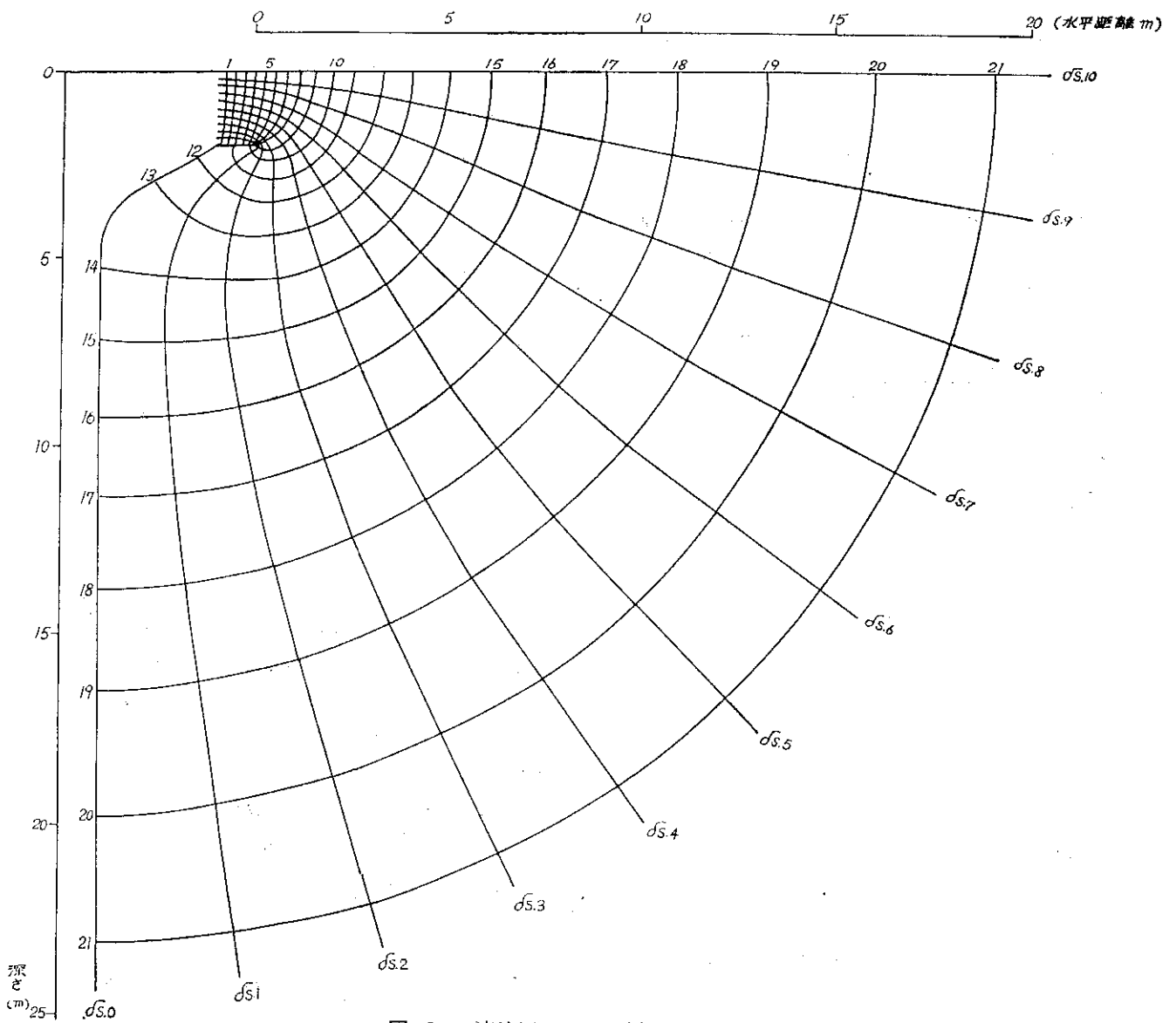


図-9 流線網による解析図 (取水深 2.0 m)

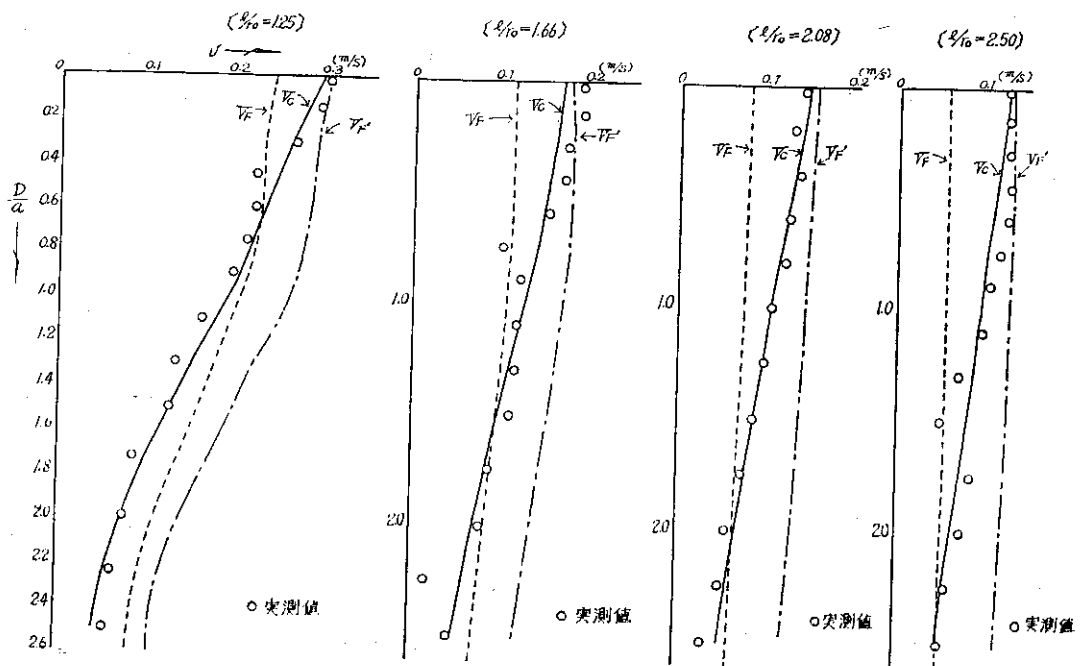
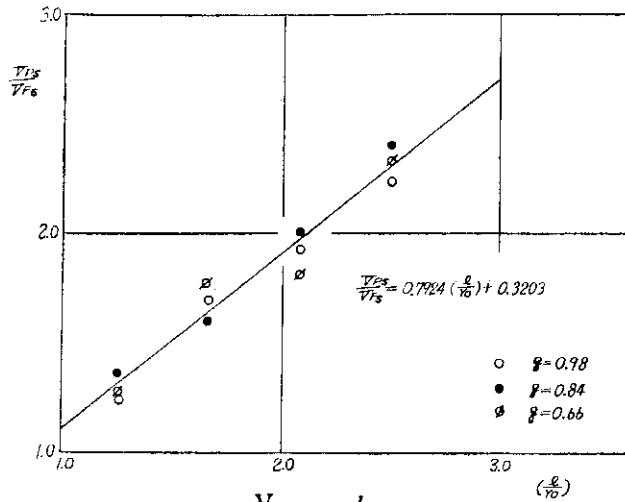


図-10 流速分布比較図 (金山,  $q = 0.98 \text{ m}^3/\text{s}$ , 取水深  $a = 2.0 \text{ m}$ )



$$V_C = V_{F'} \left\{ 0.9524 - 0.2124 \left( \frac{D}{a} \right) \right\}$$

$$= V_F \left\{ 0.7924 \left( \frac{l}{r_0} \right) + 0.3209 \right\} \left\{ 0.9524 - 0.2124 \left( \frac{D}{a} \right) \right\} \dots (4)'$$

となる。

図-11  $\frac{V_{PS}}{V_{FS}}$  と  $\frac{l}{r_0}$  の関係

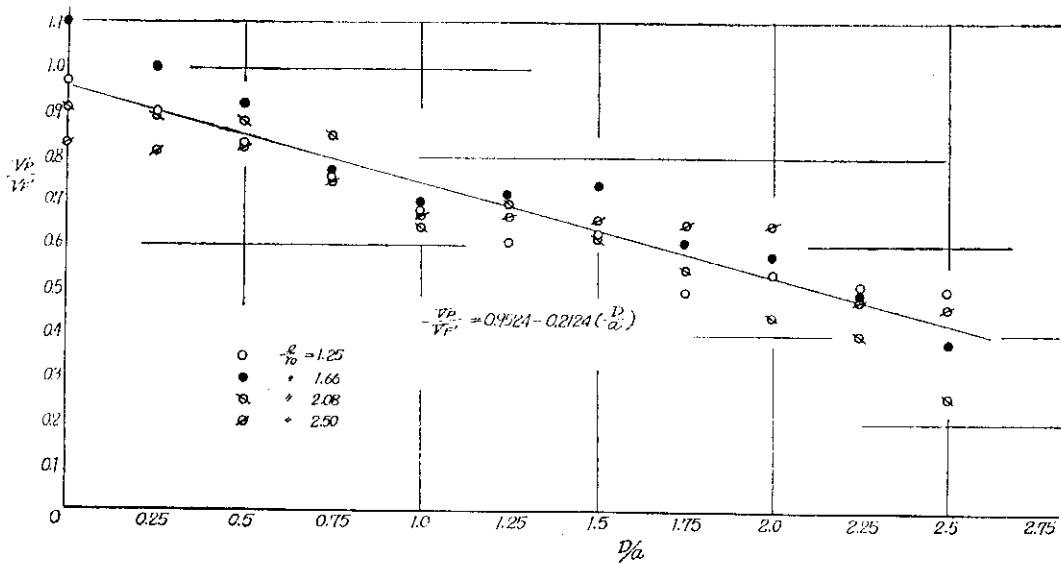


図-12  $\frac{V_P}{V_{F'}}$  と  $\frac{D}{a}$  の関係

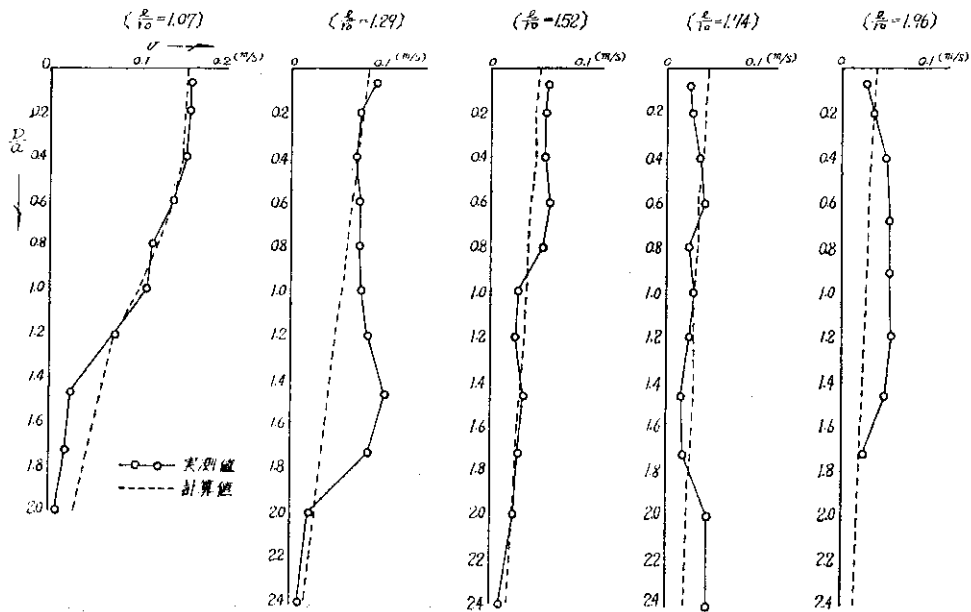


図-13 流速分布比較図 (尾白利加,  $q=0.168\text{m}^3/\text{s}$ ,  $a=0.75\text{m}$ )

図-10の $V_c$ は(4)式より $V_F$ を補正したものである。

図-13はこの補正方法を金山ダムより規模の小さい尾白利加ダムの場合に適用したものであるが、比較的よく実測値に適合するようである。

#### 4.3 取水温度の検討

取水時における等温線分布より、取水口に流入する流線のうち、最深流線（ほとんど水平に動く）の水深を $H$ とし、この水深を $i$ 等分して、それぞれの水深での水温を $t_m$ 、流速を $v_{c.m}$ とすると取水温度 $T_c$ は(5)式で計算で

きる。

$$T_c = \frac{\sum t_m \cdot v_{c.m}}{\sum v_{c.m}} \dots \dots \dots (5)$$

金山ダムについては、取水量 $q=0.98\text{m}^3/\text{s}$ の場合、取水口から6.5 m、9.0 mの2地点で、尾白利加ダムについては $q=0.168\text{m}^3/\text{s}$ の場合、取水口から3.3 m、4.3 mの2地点で取水温度を計算し、その結果を表-1、2に示した。

計算水温と実測取水温度の差はいずれも $1\text{C}^\circ$ 以内である

表-1  $Q=37.0\text{m}^3/\text{s}$ ,  $q=0.98\text{m}^3/\text{s}$  (金山)

取水口より6.5 m					
$y$	$v_c$	$v_{c.m}$	$T$	$T_m$	$v_{c.m} \times T_m$
0.0	14.7		22.1		
0.5	13.7	14.2	21.9	22.00	312.4
1.0	12.5	13.1	21.4	21.65	283.62
1.5	11.6	12.05	21.0	21.20	255.46
2.0	10.5	11.05	14.1	17.55	193.93
2.5	9.6	10.05	12.5	13.30	133.67
3.0	8.6	9.1	11.3	11.90	108.29
3.5	7.7	8.15	10.8	11.05	90.06
4.0	6.8	7.25	10.3	10.55	76.49
4.5	5.9	6.35	9.4	9.85	62.54
5.0	5.1	5.5	8.5	8.95	49.23
5.5	4.3	4.7	8.3	8.40	39.48
6.0	3.6	3.95	8.0	8.15	32.19
$\Sigma$		105.45			1637.36
(実測) $T_P=15.0\text{C}$			(計算) $T_c=15.53\text{C}$		

取水口より9.0 m					
$y$	$v_c$	$v_{c.m}$	$T$	$T_m$	$v_{c.m} \times T_m$
0.0	12.5		22.2		
0.5	11.8	12.15	22.0	22.10	268.52
1.0	11.1	11.45	21.5	21.75	249.04
1.5	10.2	10.65	20.5	21.00	223.65
2.0	9.6	9.90	14.0	17.25	170.78
2.5	8.6	9.10	13.0	13.50	122.85
3.0	8.1	8.35	12.0	12.50	104.38
3.5	7.2	7.65	11.0	11.50	87.98
4.0	6.3	6.75	10.7	10.85	73.24
4.5	5.5	5.90	10.5	10.60	62.54
5.0	4.8	5.15	10.3	10.40	53.56
5.5	4.2	4.50	9.5	9.90	44.55
6.0	3.46	3.83	8.7	9.10	34.85
$\Sigma$		95.38			1495.94
$T_P=15.0\text{C}$			$T_c=15.81\text{C}$		

表-2  $Q=4.7\text{m}^3/\text{s}$ ,  $q=0.168\text{m}^3/\text{s}$  (尾白利加)

取水口より3.3 m					
$y$	$v_c$	$v_{c.m}$	$T$	$T_m$	$v_{c.m} \times T_m$
0.0	4.6		21.1		
0.5	3.8	4.2	20.0	20.55	86.31
1.0	3.0	3.4	21.1	20.55	69.87
1.5	2.3	2.65	19.6	20.35	53.93
2.0	1.6	1.95	15.0	17.30	33.74
2.5	1.0	1.3	11.0	13.00	16.90
$\Sigma$		13.5			260.75
(実測) $T_P=19.5\text{C}$			(計算) $T_c=19.31\text{C}$		

取水口より4.3 m					
$y$	$v_c$	$v_{c.m}$	$T$	$T_m$	$v_{c.m} \times T_m$
0.0	3.9		21.1		
0.5	3.2	3.55	21.1	21.1	74.91
1.0	2.5	2.85	21.2	21.15	60.28
1.5	1.8	2.15	20.9	21.05	45.26
2.0	1.3	1.55	15.5	18.20	41.31
2.5	0.8	1.05	10.7	13.10	13.76
$\Sigma$		11.15			235.52
$T_P=19.5\text{C}$			$T_c=19.38\text{C}$		

ので適合度はよいといえよう。

#### 4.4 水平流動の生ずる限界

いまフロート中心から各流速を測定した点までの距離

を $r_1, r_2, r_3, \dots$ とし、 $r_1, r_2, r_3, \dots$ の半径を持つ円の周長で取水量 $Q$ を除し、各観測点の $q_1, q_2, q_3, \dots$ を求める。実測の流速分布をそれぞれ $q_1, q_2, q_3, \dots$ に

等しくなるまで水深方向に積分し、その時の水深  $D_e$  ( $m$ )  $D_1, D_2, D_3, \dots$  を求め、各流量  $Q$  につき  $D$  の大きなものから3個ずつ選び、その平均値  $D_e$  (限界深とする) を持って水平流動の生ずる限界として、取水口における平均流速  $V_a$  との関係を図示すると図-14のようになる。これから次の関係が推定される。

取水深

$$0.75m \quad V_e = 7.5 V_a^{0.7}$$

取水深

$$2.0m \quad D_e = 10.0 V_a^{0.7}$$

またフローテング型では図中に破線で示した内山、山岡の実験によるシリンダー型と比較し、 $V_a$  が小さい時ほど温水

取水効果が大きく、 $V_a$  が大になると両者の差はなくなるようである。なお実測流速より水平流動の生ずる限界水深  $D_e$  までを計算範囲として取水温を計算すると誤差範囲は  $\pm 0.5^\circ C$  程度であった。

### 5. 結 語

以上の考察から得られた結論を列記すれば次のとおりである。

- 1) 複雑な境界を持つ流れでも、適当な電解槽模型を利用すれば比較的簡単にその流線網を求めることができる。
- 2) この報文で述べたような方法による取水温の推定では、誤差範囲は  $1^\circ C$  程度で収まった。
- 3) 取水温は取水口から取水深の5倍程度はなれた地点で計算すればよい。
- 4) フローテング型の取水される限界水深  $D_e$  は取水口平均流速  $V_a$  の0.7乗に比例する。
- 5) 温水取水の面から、シリンダー型とフローテング型を比較すると、取水口平均流速が小さい時ほど後者はすぐれているが、 $V_a$  が大きくなるとその差はなくなる傾向にある。

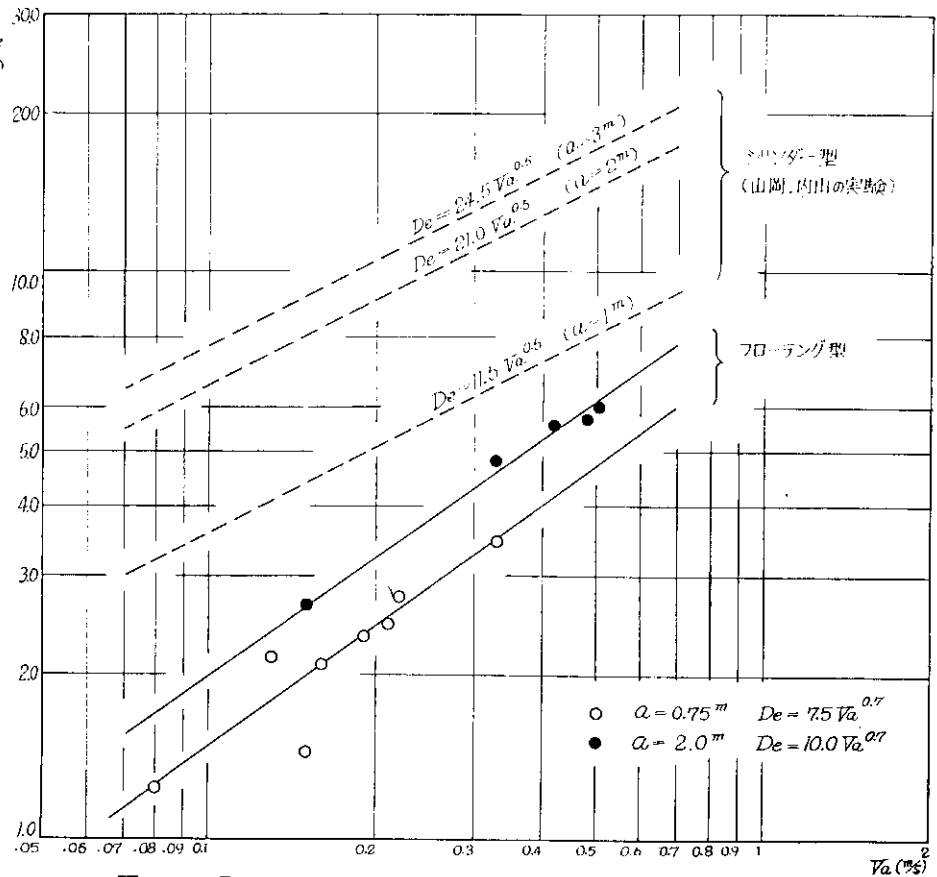


図-14  $D_e$  と  $V_a$  の 関係

- 6) フローテング型を規模の大小によって比較すると、流入流速分布はほぼ等しいが限界水深が異なるので相似の考えがなり立つとは今回の考察からはいえない。

なお、現地調査にあたって尾白利加ダム出張所、金山ダム管理事務所各位の御協力を戴いたことに感謝する次第である。また電解槽模型の設計・製作、測定については福岡荘助君の協力を得た。

### 参 考 文 献

- (1) 内山, 山岡 貯水池の上層取水に関する研究 (土木試験所月報第97号)
- (2) 森 正 秋 温水取水施設の型式について (第19回建設省技術研究会報告)
- (3) 山 村 和 也 河口貯水池堤防の塩水浸透防止工法に関する研究 (土木研究所報告第129号)
- (4) 川 原 琢 磨 温水取水と取水装置について (水門鉄管47号)
- (5) 千 葉, 古 屋 暑寒ダムの取水設備について (土とコンクリート45号)

昭和42年10月31日発行

編集兼 小山道義  
発行人

発行所 北海道開発局土木試験所  
札幌市平岸無番地  
電話 4161 (代表)

印刷所 日栄舎印刷株式会社  
札幌市菊水西町10丁目  
電話 9267 (代表)