第25回水理講演会論文集　1981年2月

シリンダー型ゲートによる表面取水の現地観測

Field Observation on Intaking the Surface Water by Cylinder Gate

○東洋大学工学部　正　荻原国宏
四国電力株式会社　　鎌田文明
同　上　　梶原昭夫
株式会社栗本鉄工所　中村義郎

はじめに

私どもは昭和53年9月より昭和55年4月までの3年間にわたり、シリンダーゲートによる表面取水と選択取水設備の機能について、四国電力長沢ダムにおいて現地観測をして来た。現地における測定は現地の測定になれている四電エンジニアリングの小林氏をキャプテンとするグループに依頼した。この3年間の長期間中に各種の水位，躍層の条件を設定して、それに相当する時期に観測を実施することにし、表ー1に示すような5回に実施した。

5回目の観測は中間取水として実施し、他のものは表面取水として実施したものである。測定項目は水温（流入水，流出水，池内の水温分布），濁度（流入水，流出水，池内の濁度分布），風向，気温，天候，取水量，水位等が主なものである。

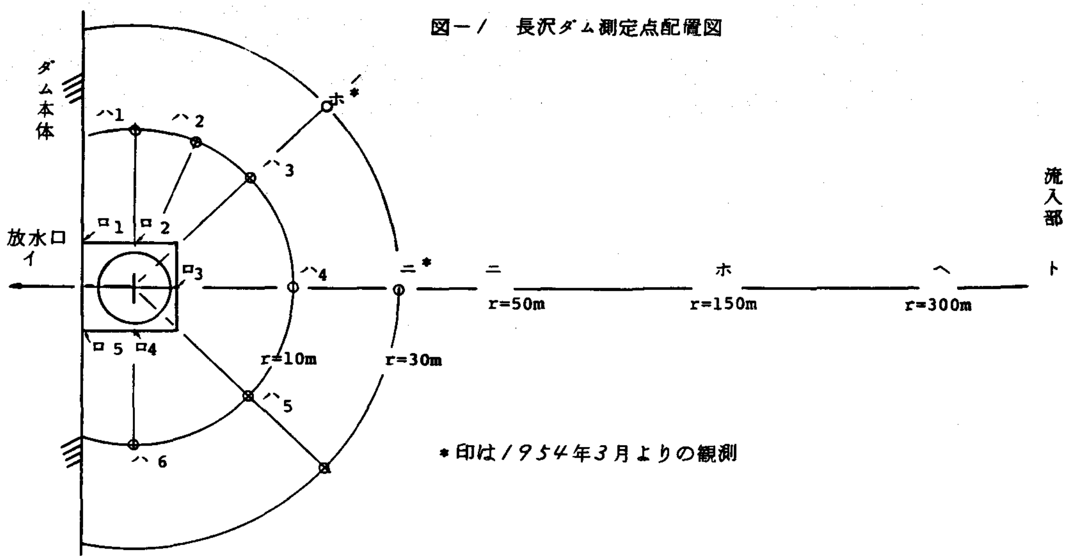
表ー1

1回目	昭和53年9月13日
2	昭和54年4月27日
3	6月23日
4	9月14日
5	昭和55年4月8日

シリンダーゲートをダムに近接して設置し、表面取水，選択取水をすることには、従来流れが偏向する等の見界があり，ほとんど作られていなかった。この点につき東洋大学で模型実験をし、この様なことのないことを確認した後、長沢ダムに設置することになったわけである。

今回の観測はこの偏流が現地で発生するか否かをも含めて、どのような流れになっているかを観測するため会社、現地管理者の協力を得て実施されたものである。

1）観測地点

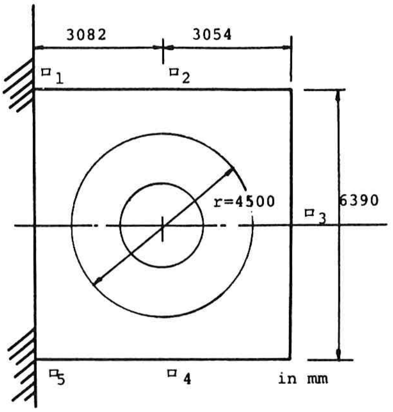


図ー1　長沢ダム測定点配置図

*印は1954年3月よりの観測

流入地点と流出地点（発電所の放水口附近）をのぞくと図－1に示すようなスクリーン附近の測点ロ、取水盆中心より10m離れたハの測点、さらに30mはなれたホ，ニの測点と300m地点のヘである。ホとニは当初50m，150mの地点で測定していたが、300m地点の結果と変らなかったので、30m地点に移動した。

これらの池内の測点では流速，温度と濁度の分布を測定している。鉛直方向の測点間隔は水面から50cmで実施した。



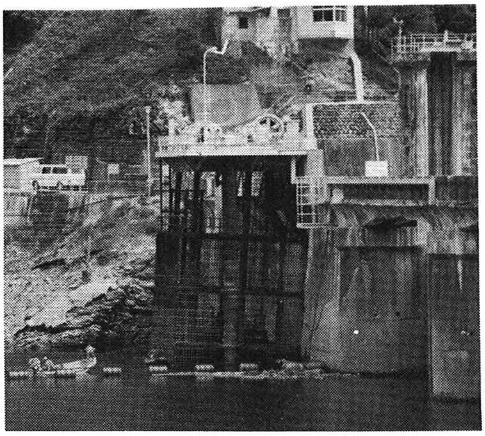
中心よりの距離

ロ1，ロ5	4.44m
ロ2，ロ4	3.20
ロ3	3.05

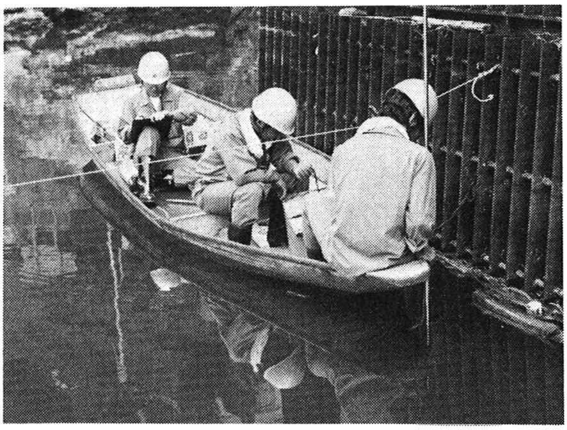
図－2

2）現地観測の概要

まづ現地観測の結果の概要をとりまとめておこう。主要項目についてまとめたのが表－2である。このときの池内の温度分布および濁度分布の状況を示したのが図－3である。これは測点ヘの点で代表させている。これらのいづれの場合においても表面にわづかな躍層があり、さらに夏期においては取水口附近により明確な躍層が存在する。これは常時の取水が下部取水口により行なはれているためである。



写真－1　取水塔



写真－2　測定状況

上の2枚の写真はシリンダーゲートタイプの取水塔と現地観測の状況を示すものである。

なお54年9月14日の測定時には取水流量が9.5m／secから6.5に途中で変わっている。 これは発電の都合で変わったものである。また55年4月8日の測定は中間取水のケースとして実施しているが、途中で6m水深から4m水深へ変えて行なった。これは特に躍層附近より取水をしてみようとしたものである。

次に図－3についてであるが、右側の曲線が温度分布であり左側のが濁度分布である。濁度は54年9月14日の場合以外はかなり小さい値である。なお縦軸は標高で示している。

3）取水塔まわりの流速について

取水塔まわりの測点ロの系列およびハの系列（図－1参照）で流速が測定されている。この他の測点で

		53,9,13	54,3,27	54,6,23	54,9,14	55,4,8
日　時		53,9,13	54,3,27	54,6,23	54,9,14	55,4,8
取水量	m^3/sec	9.5	9.5	9.5	6.5	9.5
取水深	m	1.1	1.0	1.0	2.0	6.0, 4.0
放流水　温度	^0c	20.8	8.2	17.8	18.0	7.5
濁度	ppm	2.0	3.5	2.5	7.0	4.0
流入水　温度	^0c	19.0	7.3	15.1	15.0	5.7
濁度	ppm	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
気　温	^0c	22.0	10.0	21.0	20.5	13.0
表層水温	^0c	22.6	8.6	21.7	21.3	12.1
躍層下水温	^0c	17.9	7.2	16.2	17.8	9.5
温度差	^0c	4.7	1.4	5.5	3.5	2.6
躍層深	m	7.16	6.15	9.5	4.17	4.0
取水方法		表面	表面	表面	表面	中間
開　度	m	1.1	1.0	1.0	2.0	2.0
水　位	m	27.16	21.15	18.02	30.17	26.20

表 － 2

は、このタイプの流速では観測することができなかった。

これらの代表的な結果を温度分布のグラフと合わせて示したのが図－4である。

図からもわかるごとく、スクリーンの近くの測点では表面の流速が20～30 cm/secであり、ハの測点系列（r＝10m）では4～5 cm/sec程度である。その外側のr＝30,50,150,300 mの地点では先きに述べたごとく、流速は観測されていない。

これらのグラフより傾向をまとめると次のごとくなる。

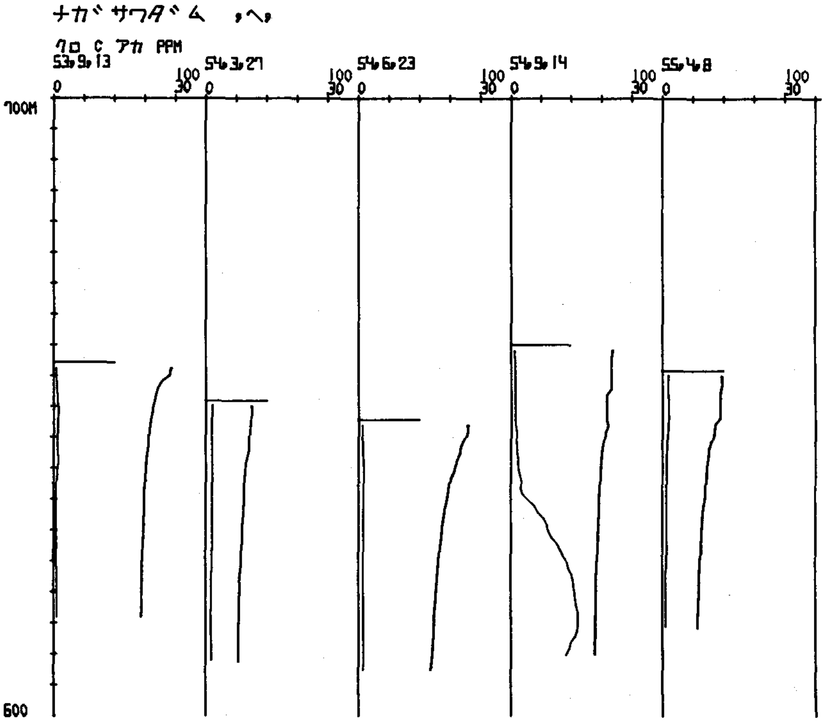


図 － 3

イ）各場合において流速分布の形状がロ－1からロ－5までのそれぞれの間で、またハ－1からハ－6の間で非常に良く似た形状をしており、いづれの場合も表面が速くなっている。

ロ）特にロの測点では、いづれの場合でも表層の流速がいちぢるしく速くなっている。

ハ）ハの測点でも表層が速くなっているが、一様な分布になっている場合が多い。

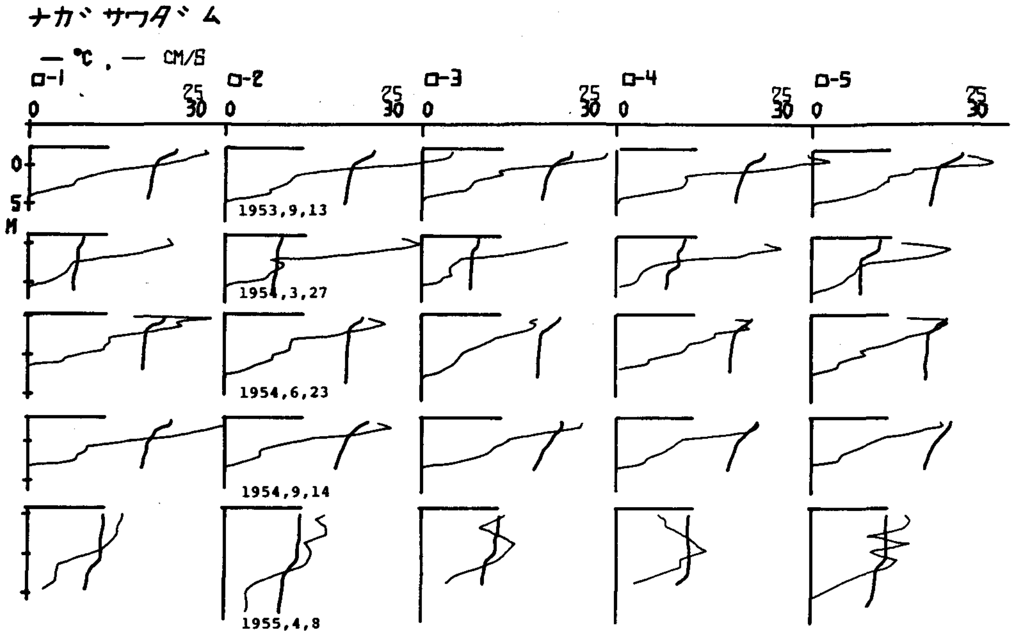


図 — 4

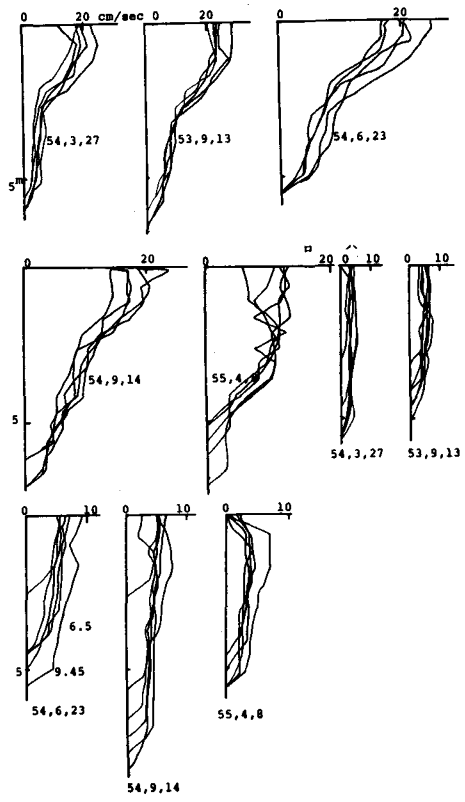


図 — 5

ニ）ハ－6の点は他の点に比べて流速が小さくなっている。これはこの測点が地山に接近しているためと考えられる。

ホ）ロの測点系列をみると表層にある3～5度の表層躍層の影響が効いており、この躍層が明確な場合ほど表層の流速が速くなっている。

へ）ロ、ハのいづれでも5～8mの水深までは測定ができており、それ以下では速度が落ちて測定できない。

次にこの流速分布についての若干の考察をしてみることにしよう。まづ測点毎に相違があるか否かをみるために、同一のグラフに各測点の流速を書いてみた。結果は図－5である。

これらのグラフをみると判らごとく、ロ1～ロ5の間に余り顕著な相異はないと考えられる。特に注目すべきはロ－1,5とロ－2,3,4では取水盆からの距離が異なるので、流速に相異があっても良いと考えられるが、すなわち取水盆に近いロ－2,3,4がロ－1,5より速いと推定されるが、そのような傾向は余り顕著でない。

これはスクリーンの影響ではないかと考えている。この様に各点での流速に変化がないので各測点系列での平均流速分布を求めてみたのが

図－6である。この図中には取水の位置と躍層の位置が書き入れてある。これから判ることは

イ）躍層より上では流速が速くなっている。この傾向は躍層が懸著に表はれる程、大きくなっている。

ロ）ハの点での流速は、いずれの場合でも4～5 cm/secの程度である。

ハ）9.5 m／secの場合と6.5 m／secの取水における流速分布の相異は、表面流速には懸著に表はれず、下層部分の流速が小さくなっている。

ニ）中間取水をした55.4.8のケースでも表層が速くなっている点は注目に値する。

この点については、どのように解釈すべきか難しいが、今回の中間取水が表層より4～6 mと比較的浅く、また躍層も4 m附近と浅い事等により、流れが表面取水の場合と相異しなかったと考えている。これにはスクリーンによる整流作用が効いていると考えている。次に若干の計算をしてみる。

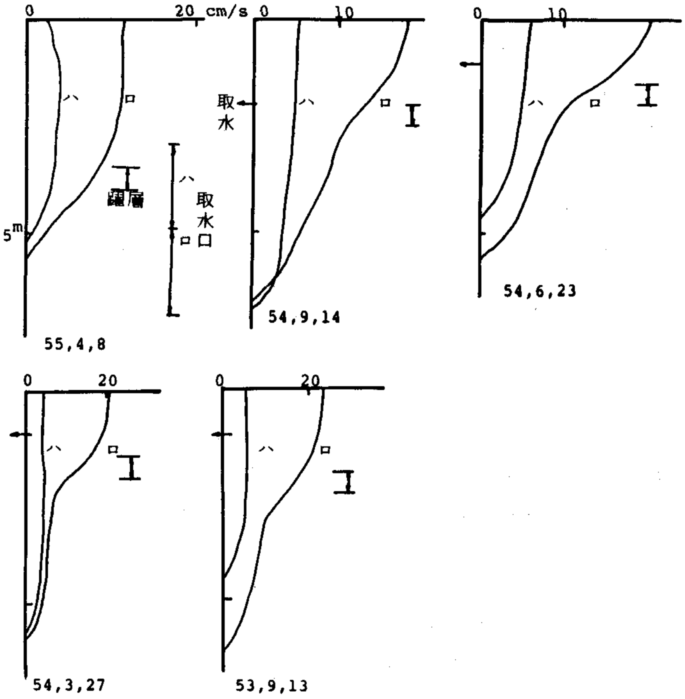


図 － 6

ロの系列の測点ではスクリーンによって流れが支配されている様子なので、表面流速を20 cm/secとして、スクリーン長（L＝3.082×2+3.054×2+6.390=18.662m）より流入することにして、流入水深を計算してみると、9.5 m／sec，6.5 m／secの取水をしたときの取水深はそれぞれ2.54m，1.74mとなる。また同様にr＝10 mでのハの測定点において、平均流速5 cm/secとして水深を求めてみると6.05m，4.14mとなっており、これは図－6のグラフでのハの結果の流速分布と良い相関を示していることが判った。

4）放流水温についての考察

放流水の温度が測定されているので、これが池内の温度分布のどの深さに相当するかを求めて整理してみた。結果は次のごとくなっている。

日　時	53.9.13	54.3.27	54.6.23	54.9.14	55.4.8
放流水温相当水深	1.0	1.0～3.2	5.0	1.7～2.7	12.1～13.5 m

表 － 2

これと1次躍層深（表－1）をくらべると判るごとく、表面取水の場合には躍層内より取水していることが判る。これに比べて中間取水の場合には、かなり深い所より取水をしていることが判る。

5）表面取水についての若干の理論的考察

最初に書いたように本研究のスタートは、シリンダーゲートをダムに接近して設置すると、流れに偏流が生じて均一な取水が不可能であるとの通説からである。まづこの点を確認するための模型実験をし、一

様な流れになっていることを確認し、さらに長沢ダムに設置されたゲートについて確認するため今回の観測をし、偏流のないことを確かめられた。

そこで今回の経験をもとに若干の理論的な解析をしてみた。表面取水をしている場合には、躍層が存在することにより二層流にかなり近い流れをしていることが判り、下層は停止しているとして2次元平面流としての扱いをし、下層流体の界面の上昇は上層の流速による速度ヘッドを補償する形でなされるものと考えた。

a ）シリンダーゲート取水盆の周辺部を流れの支配点とするポテンシャル

取水盆の先端部をラインシンクとする複素ポテンシャルは

$$W = \int_0^{2\pi} KR \log(z-a-Re^{i\theta_1})d\theta_1 + \int_0^{2\pi} KR \log(z+a-Re^{i\theta_1})d\theta_1 \qquad (1)$$

$$\int_0^{2\pi} KR\, d\theta \doteq 2\pi KR = Q \qquad (2)$$

ここにQ は取水量とする。任意点の流速は、この式を z で微分することによって求められるが、界面の上昇を考えると、速度の二乗和が必要である。したがって

$$q^2 = \left(\frac{dW}{dz}\right)\cdot\left(\overline{\frac{dW}{dz}}\right) \qquad (3)$$

で与えられる。この速度水頭を圧力水頭で補償すると考えると、界面の上昇量 η は次の式で書ける。

$$\frac{\eta}{H} = \frac{Fr^2}{2} F(\bar{r},\bar{a},\theta), \quad Fr^2 = \frac{u_0^2}{gH\cdot\Delta\rho/\rho_0} \qquad (4)$$

はシリンダーゲート周辺部での流速である。F（　　）は（3）式で決まる関数で次の様になる。

$$F(\bar{r},\bar{a},\theta) = \frac{1}{\bar{r}^2}\left[\left[\log\left(\frac{R_1}{R_2}\right)\right]^2+(\phi_1-\phi_2)^2\right] + \frac{1}{\bar{a}^2+2\bar{a}\bar{r}\cos\theta+\bar{r}^2}\left[\left[\log\left(\frac{R_4}{R_3}\right)\right]^2+(\phi_3-\phi_4)^2\right] + \frac{2}{\bar{r}}\frac{1}{\bar{r}^2+2\bar{r}\bar{a}\cdot\cos\theta+\bar{a}^2}\left[(\bar{r}+\bar{a}\cdot\cos\theta)\left[\log\left(\frac{R_1}{R_2}\right)\cdot\log\left(\frac{R_3}{R_4}\right)+(\phi_1-\phi_2)\cdot(\phi_3-\phi_4)\right]+\bar{a}\cdot\sin\theta\left[(\phi_1-\phi_2)\cdot\log\left(\frac{R_3}{R_4}\right)-(\phi_3-\phi_4)\cdot\log\left(\frac{R_1}{R_2}\right)\right]\right] \qquad (5)$$

$$\bar{r} = \frac{r}{R},\quad \bar{a} = \frac{a}{R}\cdot 2$$

$$R_1=\sqrt{\bar{r}^2+1+2\bar{r}\cdot\cos\theta}, \quad \tan\phi_1 = \frac{\bar{r}\cdot\sin\theta}{(\bar{r}\cdot\cos\theta+1)}$$

$$R_2=\sqrt{(\bar{r}\cdot\cos\theta-1)^2+\bar{r}^2\sin^2\theta}, \quad \tan\phi_2 = \frac{\bar{r}\cdot\sin\theta}{(\bar{r}\cdot\cos\theta-1)}$$

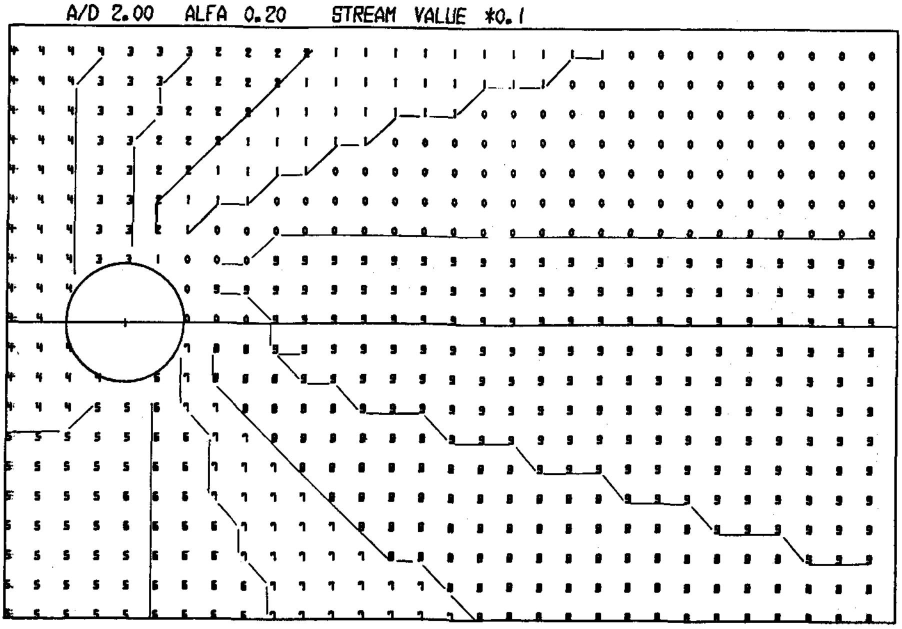
$$R_3=\sqrt{(1+\bar{a}+\bar{r}\cdot\cos\theta)^2+\bar{r}^2\sin^2\theta}, \quad \tan\phi_3 = \frac{\bar{r}\cdot\sin\theta}{(1+\bar{a}+\bar{r}\cdot\cos\theta)}$$

$$R_4=\sqrt{(\bar{a}-1+\bar{r}\cdot\cos\theta)^2+\bar{r}^2\sin^2\theta}, \quad \tan\phi_4 = \frac{\bar{r}\cdot\sin\theta}{(\bar{a}-1+\bar{r}\cdot\cos\theta)}$$

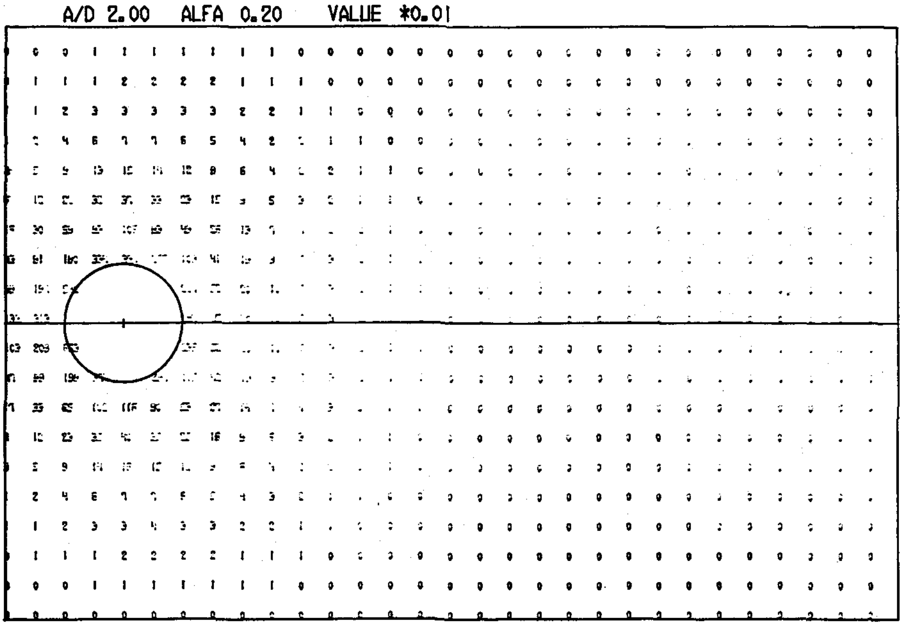
(6)

これらの式をもとにして、流線の値およびF（　　）の値をプロットしたのが次ページの図7,8である。

これを見ると判るごとく取水盆のごく近辺のみが流れの影響を受けていることが判る。



図－7



図－8

b）回転流の有無による影響について

取水口に流れ込みの流れが回転流をともなう場合には界面の上昇がどの様になるかをポイントシンクの流れとした場合の解を求めて図示したのが図－9,10である。これらの図中のALFAは回転流の流速（周速度）と中心に向う流速の比を示している。これらの図を見ると判るごとく、ALFAの値が大きくなるほど界面は若干上昇してきていることが判る。

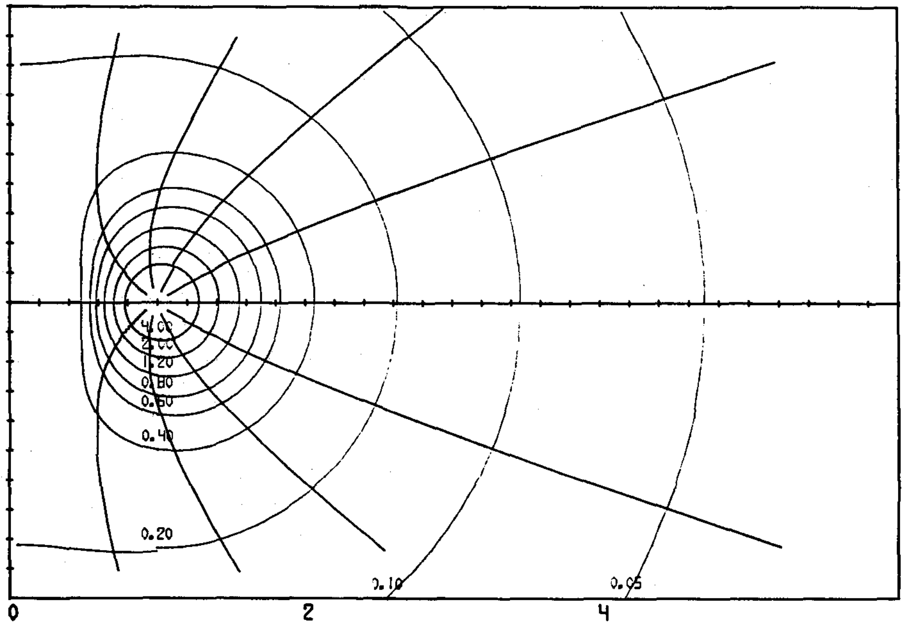


図 ― 9

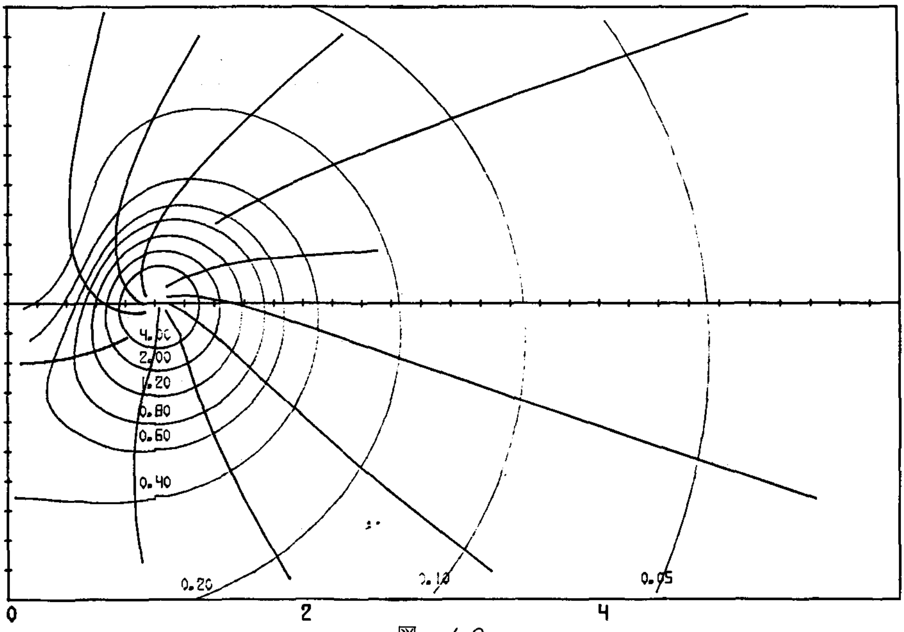


図 10

おわりに

3年間にわたる現地観測よりシリンダーゲートを堤体に近づけて設置しても、均等に周辺より取水することが判った他、躍層のある場合には、余り顕著な躍層でなくても表層を取水していることが判った。またこの種の取水現象にスクリーンの存在が意外と大きく影響していることが新しく判った点である。

なおこの研究には、多くの方々の協力によってなされたもので、計画の段階では坂口外男氏に、現地の測定には四電エンジニアリングの高知支店の小林氏をキャプテンとするチームに、また3回にわたって四国電力本社での報告会に参加して討議していただいた関係者の皆様に、深く感謝するところであります。