

河口湖の給排水に伴う密度流現象

東北大学工学部 教授 岩崎 敏夫
東北大学大学院 学生 ○上原 忠保
東北大学工学部 学生 今野 健太郎

1. はしがき

最近の工業の発展にもなつて、水需要は急増の一途をたどっている。従来、主として行なわれてきた河川上流又は中流部の多目的ダムによる水資源開発のみでは、今後の用水取得に十分であるとはいえない。このような現状を反映して、河川下流部(河口)に 人造湖を築造し、水利権等のからまない無効放流水や大量の洪水等を、貯留し、これを工業用水にあてようとする、いわゆる河口湖に対する関心は、とみに高まってきている。しかし、河口湖では、その位置が海浜であるため海水の浸入防止、風による拡散あるいは、池内水位の調節等、数多くの特殊な問題が解決されなければならない。一般に、河口湖は下層は、かなり高濃度の塩水になる場合が多く、一方上層は、夏期において、輻射エネルギーのため、温度成層が形成されるし考えられる。従つて、湖内からの工業用水取水、そのうちでも上層で、塩水層との境界面付近の水が欲しい場合には、下層からの塩水をとりださない取水量の限界を知ることが必要である。

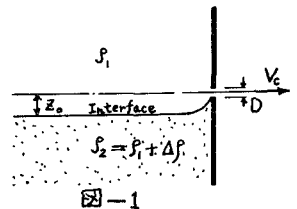
本研究は、河口湖の最も簡単なモデルが 矩形二次元水路(長さ3m, 幅50cm, 深さ80cm)で考えられるものとして、湖内からのオリフイスによる上層取水(排水)の限界速度、パイプ径、及びパイプ高等の関係を、河川からのパイプによる注水(給水)が、行なわれた場合について、実験的に考察するものである。

2. 次元解析

上層取水については、貯水池からの温水取水の研究がすでに いくつか発表されている。Ogataは、図-1に示されるようなダム上流面からの横方向取水について、取水しない場合、当初水平であった境界面が、取水速度を増していくにつれて、次第に上方へ曲つてきて、ちょうどこの境界面が、取水口に達した時の限界取水速度 V_c 、内部境界面と取水口中心の高さ Z_0 、オリフイスの内径 D 、の解析を行った。すなわち

$$\frac{V_c}{\sqrt{g \Delta \rho}} = 3.25 \left(\frac{Z_0}{D} \right)^2 \quad \text{①}$$

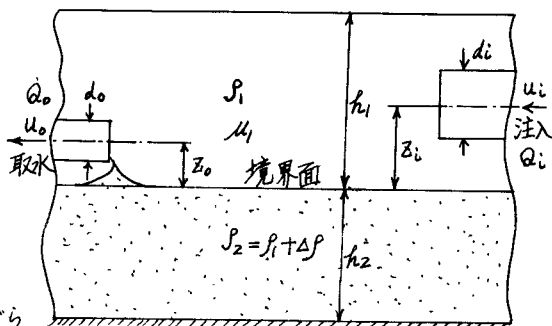
ただし、上下二層の水深を無限大とし、 $D \ll Z_0$ なる仮定を行っている。 $\varepsilon = \Delta \rho / \rho_1$ 。



人造淡水湖は、水深に制限があり(10m前後)、取水パイプも大きなものを必要とすると考えられるので、注入水の影響も含まれた図-2のような場合を考える。

次元解析を行うために、取水口付近の運動の限界状態を支配する変数およびその定義を示すと、取水口に関するものとして、

- 图-2



注入口についても、これと同様のものがあがら
れる。元定理により1次元に d_0, u_0, p_1 の3個をえらぶと $7-3=4$ 個の無次元量, $\pi_1 = z_0/d_0$, $\pi_2 = \Delta f d_0 / u_0^3 p_1$, $\pi_3 = \mu_0 / d_0 u_0 p_1$, $\pi_4 = h_1 / d_0$ を得る。1次元に z_0, u_0, p_1 を用いた場合についても同様、従つて、 $\varphi_1(z_0/d_0, d_0/h_1, u_0/(\frac{\rho_f}{p_1} g d_0)^{1/2}, u_0 d_0/p_1, z_0/d_0, d_0/h_1, u_0/(\frac{\rho_f}{p_1} g d_0)^{1/2}, u_1 d_0/p_1) = 0$ — ②
 $\varphi_2(z_0/d_0, z_0/h_1, u_0/(\frac{\rho_f}{p_1} g z_0)^{1/2}, u_0 z_0/p_1, z_0/d_0, z_0/h_1, u_0/(\frac{\rho_f}{p_1} g z_0)^{1/2}, u_1 z_0/p_1) = 0$ — ③
ここで $Fr_0' = u_0/(\rho_f g d_0)^{1/2}$ は内部フルード数である。流入による影響の小さい場合には省略して、

$$\varphi_1'(\bar{z}_0/d_0, d_0/h_1, \text{Fro}', Re) = 0 \text{ ————— } (4)$$

$$\varphi_2'(\bar{z}_0/d_0, \bar{z}_0/h_1, u_0/(\frac{\Delta p}{\rho_i} g z_0)^{\frac{1}{2}}, u_0 \bar{z}_0/v_1) = 0 \quad (5)$$

これらの結果の一般性を見いだすため実験を行った。

3 実験装置

実験装置は図-3に示されるように、四面10mmの強化ガラス張り、水路底には、塩化ビニル板を敷き、その他パイプはすべてエスロン製で塩水による腐蝕を防止した。注入水は、流量が多くなると水路末端に達してから反射を起す。境界面には内部波が発生する。この2つの理由で両端に消波工を設けた。予想される注入量と、バルブAによって、定水位の高水槽から三角ゼッキ(Ⅰ)へ自由落下させる。実験水槽への注入位置と高さを、自由に变化できるように、一度副水槽でこの水を貯留し、サイフォンを用いて注入させた。取水には渦巻きポンプを用いた。取水管径は5種類とし、ポンプと結ばれているφ=10cmのパイプの先のエルボに簡単に取りつけられるようにした。図-4参照。管高は2種類とした。取水流量は、バルブCにより調節し、三角ゼッキ(Ⅱ)で計量した。

實驗裝置側面圖

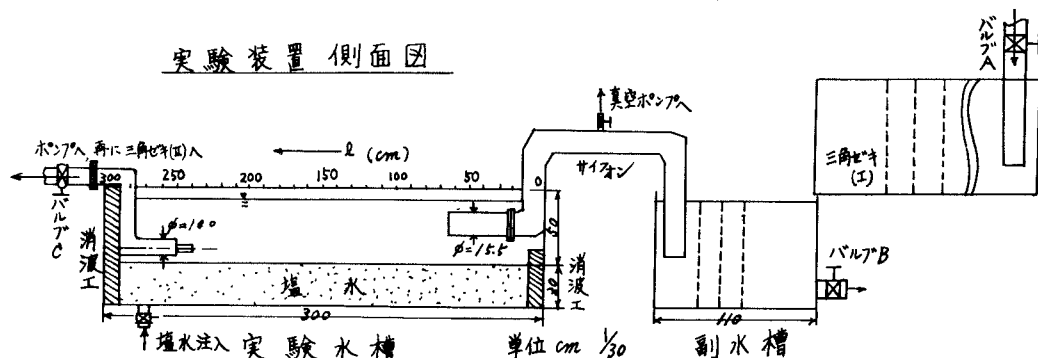


图-3

4 実験及び測定方法

塩水は 1.01, 1.02, 1.03 の 3 種類とし、下層水深は 30 cm で常に一定である。これをロータミン B (赤) で着色、極めて明確に識別できた。二重層は、図-5 のような注水板と、実験水槽をつくった塩水層上に浮べて、静かに水道水を注入して作った。実験の種類と表-1 に示す。管径は 現地水深 10 m, 実験水槽水深 70 cm, として現地管径が 0.5 ~ 2 m 位の場合にあたる。Z₀, d₀, ΔP と所定のものに設定し、サイフンの頂部まで空気と排除して水を両水槽より吸いあげ作動状態にする。少量の取水に対し 上層水深が一定に保たれるように注水量をバルブ A, B により調節する。次第に取水量を多くしていつて限界の状態までくりかえす。上層水深は大体 40 cm 付近で行ったが、調節中水面変動がはげしいと境界面に周期の長い内部波が発生するので注意した。限界速度に達すると着色された塩水が上昇してくる。この塩水濃度と取水口下 1 cm 付近で常に記録した。境界面付近は図-6 に示すように完全な不連続面とはならない。塩水層で濃度の一定となる部分の濃度の 50 ~ 70 % が、上昇塩水に認められた時と、塩水の上昇形状も参考にして、限界値とした。

測定は、濃度 (密度) 分布、流速分布の 2 つを行った。濃度は、限界状態における境界面の状況を調べるため、 $l = 240, 225, 210, 190, 170, 150, 130$ の水路中の中心で、水深方向 10, 5, 1, 0.5 cm の間隔で分布をとった。一つのプローブは、常に取水管の真下においた。この方法の原理には 2 本の白金電極 (0.3 ~ 0.5 mm) 間の電気抵抗が、溶液の濃度によって変ることと利用している。流速は、四塩化炭素 (比重 1.60) とキシレン (比重 0.87) を混合し、上層流体密度と同一とし、ズタン III (赤) に着色した水に不溶性液を、注射針から直径 1 ~ 1.5 mm 位の液滴に噴出させて、その流下時間から求めた。注入口及び取水口付近の流速の早い部分には、小型のプロペラ式流速計も併用した。原理は プロペラが回転するとき羽の中に導体が入っているので電極と羽が一直線となった時、電流が流れ、その結果がパルスとなってあらわれるものである。

5 実験についての考察

注入は、d_i, Z₀ がそれぞれ 15.5 cm, 25 cm で行った。パイプからはジェットが 1.8 cm/s ~ 12 cm/s で流出する。(Q₀/A_i)。ジェットは拡散して境界面や両壁面の影響を受けながら流下するはずである。本実験水槽は長さが短いため特別な流況を呈した。実験中水位を一定に保ったので注水量と取水量は同一である。取水管高が高くなると、流入流量は増加し、取水口付近でもまだかなりの流速を維持している。このため取水口に全流線が集中せず、後方にそれるものもある。後方の消波工でも、この流れは反射を起し、注入水脈の下にもぐり込む。次々と流入すれば、境界面に沿った逆流が起って、流入ジェットは下方向へは振らず逆流の層の上を流れる。この逆流は、逆流の無い場合の

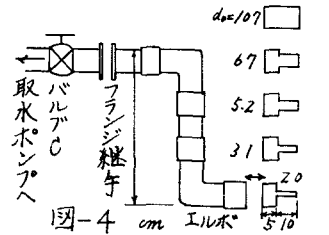


図-4

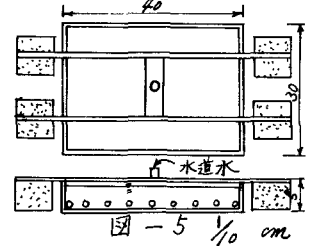
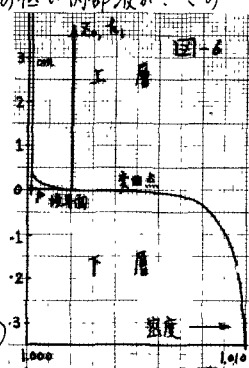


表-1

N0.	d ₀	Z ₀	ΔP	N0.	d ₀	Z ₀	ΔP
1	2.0	約5	0.01	15	3.1	"	"
2	3.1	"	"	16	5.2	"	"
3	5.2	"	"	17	6.7	"	"
4	6.7	"	"	18	10.7	"	"
5	2.0	10	"	19	2.0	5	0.03
6	3.1	"	"	20	3.1	"	"
7	5.2	"	"	21	5.2	"	"
8	6.7	"	"	22	6.7	"	"
9	10.7	"	"	23	2.0	10	"
10	2.0	5	0.02	24	3.1	"	"
11	3.1	"	"	25	5.2	"	"
12	5.2	"	"	26	6.7	"	"
13	6.7	"	"	27	10.7	"	"
14	2.0	10	"				

ジェットの拡散域を通りすぎると、急に流速が弱まり、流入ジェットの中へひきこまれる。このため、境界面のこの部分 ($l=100\sim130$) は もりあがり、交流の方向に進行する波高の低い内部波が、この付近に発生し、碎波もともなう。このもりあがりは、高さ $2\sim3\text{ cm}$ であるが、不連続的にこの位置で終り、それより先の境界面は、水平である。側面より見たこれらの状況を図-7 a に示す。一方、平面的にみると本来の噴出ジェットは側壁の影響を受けて噴射主体の両側に渦領域をつくり、側壁に達した後は、一樣流として流れるはずである。ジェットが反射を始めるとこの一樣流の両側に逆流が生ずる。このためジェットは拡散しないで、水道のようなものをつくり、流下し、その両側に逆流が逆流する。この時、ジェットは拡がろうとするので逆流には渦が生じ、この渦によって水道は複雑な蛇行をする。(図-7 b)



取水口付近の流れに注目するとき、これらの状況がどの程度影響を与えるかを知らねばならない。限界取水速度に達すると境界面は上昇するわけであるが、その仕方には2通りあるように思われる。第1は、流速を次第にあげていった時、取水口に向う淡水流れが境界面に沿ってせん断応力を感じ、境界面を引きあげてゆくものである。この時の形状は、図-8 a の如く、ゆったりしたすそをひく。又、低い場合に多い。

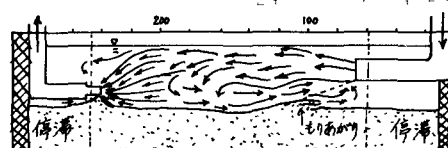


図7-a 側面図

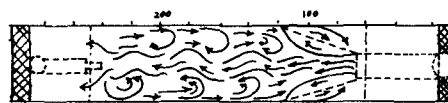


図7-b 平面図

第2は、 z_0 の高い場合で、せん断力だけでは上昇はおこらず、取水管下の境界面に波高の小さい波が発生して、碎波する。この波頭は、淡水流によって、取水口まで細くひきあげられる。綫本も集まると安定した形状となり、図-8 b の様に細長く、すそはひかない。いずれの場合にも上昇する境界面には、水面からかけて左巻きの渦(直径 $10\sim20\text{ cm}$)が発生し、上昇塩水も左巻きのねじれを起した。図-9 に z_0 が高く、流量の多い場合と z_0 の低い場合の実験中の境界面の状態を示す。境界面は、その実験によってまちまちとなるので、実験前の静止した境界面の濃度分布曲線から求めた。図-6 において、淡水層中の一定濃度の部分を延長し、これと濃度勾配のついている部分の変曲点における接線との交点Pを境界面と定めた。実験結果の一部を図-10 に示す。現在なお整理中であり、当日まとめて発表を致します。昭和42年度文部省科学研究費を受け大事を付記し、感謝の意を表します。

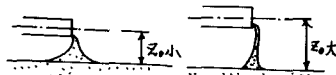


図-8 a

図-8 b

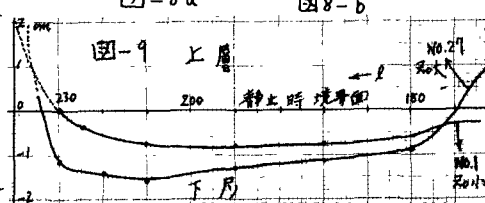


図-10

