



Title	水浄化機構の基本的研究 (1) : 沈澱池水流の研究
Author(s)	丹保, 恵仁
Citation	衛生工学, 2, 46-59
Issue Date	1959-03
Doc URL	http://hdl.handle.net/2115/36134
Type	bulletin (article)
File Information	2_46-59.pdf



[Instructions for use](#)

水浄化機構の基本的研究 (1)

沈澱池水流の研究

助教授 丹保憲仁

(昭和34年2月3日受理)

On the Flow Pattern of the Sedimentation Basin.

(Part I)

Asst. Prof. Norihito Tambo

This study is a part of a series investigation of water purification processes. The flow pattern of the sedimentation basins, especially in part 1, some natures of the density current are studied. Following few points are revealed by the work.

1) The relationship between t/T and $\Delta\rho/\rho$ are shown as follows

$$t/T = -K \log \Delta\rho/\rho + M$$

Where T ; theoritiaeal detention time of basin

t ; time of pass through of density current.

$\Delta\rho$; Difference of the density between the basin water and the water of the density current.

ρ ; Density of the basin water.

K & M ; coefficients given by the rate of flow and the depth-by-length ratio of the basin.

2) The critical point of density current intensity was observed. After $\Delta\rho/\rho$ is over the critical point, H/L has no influence to the intensity of the density current.

3) M is the value of t/T when $\log \Delta\rho/\rho$ is equal to 1. Following relationship was found, when V was constant.

$$H/L \times K = \text{Constant.}$$

序 章

理想沈澱池に対する T. R. Camp の理論を初め種々の仮定を置いての Hazen, Slade, Dobbins, 合田等の諸氏により沈澱池の浄化機構の理論が提唱され、合理的設計の骨子理論の形成が進みつつある事はこの方面に興味を有して居る筆者として喜びに耐えない所である。

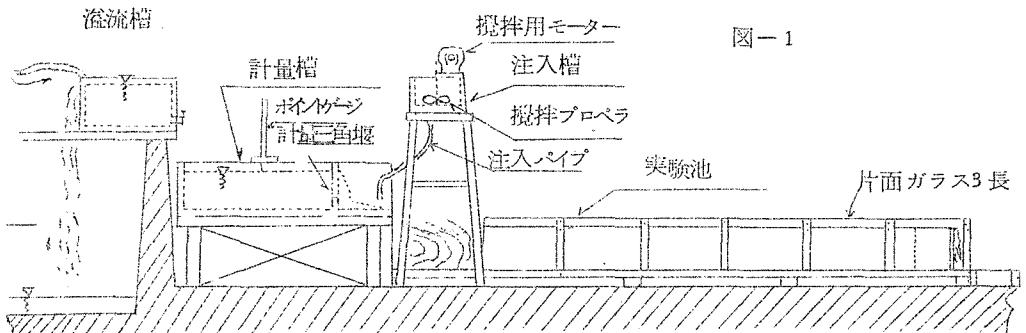
この様な基本的理論の改善、発展は益々行なはれなければならない事は言をまたないが、これと並行してこの基本のメカニズムに影響を与えて居る二次的な要素についても考察を施し理論の仮定が受け入れられるか否か、又いかなる修正を考えねばならぬか等について常に検討を行つて行かねばならない。

この様な観点から沈澱池内の理論的流況を歪め沈澱作用を阻害する密度流、流入口よりの乱れの影況等について二、三室内実験を行つたのでここに報告したい。

第 1 部 沈澱池内の密度流について

§ 1 実験装置及び方法

実験に用いられた設備は図 1 の様なもので実験池の寸法は巾 47.5cm 流入流出整流壁間距離は 260cm で水深は 27.5cm — 15cm に変化させて用いた。



先ず原水として北大工学部自家用水道水（地下水で水温は実験期間の10〜1月中はほとんど10℃で変化が無かった）を用い、定水位水槽を用いて常に定流量を試験装置に流す様計画し、流量は三角堰を用いて計量した。流入口の部分は三段に整流板を用いて流入による乱れが出来るだけ少なくなる様試みた。

室内実験装置では実際池に於ける様な水温差のある水の流入による密度流の発生は再現困難であるので食塩溶液を流入させ、食塩による密度差を利用して密度流を発生させる事とした。その食塩を注入する為に入流端上部に水槽を作り濃食塩水を入れ注入パイプによつて三角堰のナツペに噴射しナツペが底に当たる時の攪乱とその後に生ずる跳水によつて一様に混合し所定の密度の流体を作る様にした。

実験水槽は鉄アングル骨組、松8分板張りで片面は観測の為にガラス張りとした。流出部も整流壁を経て後溢流する様にし流出口の影響を最少限にする様に努力した。

実験条件は次の二組の水流条件の各々に対して密度差を7〜11通りに変えたものを一系列とした。(1)、水深を25cmに固定し流量を15, 22.5, 30 lit/minの三通りに変化させたもの(系列1, 2, 3と称する。)(2)流速を一定(水深25cm, 流量15 lit/minの時の流速12.63 cm/minを標準に用いた)とし水深を27.5, 22, 18.5, 15 cmと変化させたもの(系列A, B, C, Dと称する)とした。

密度流の流下して行く状態を促えるために流入整流壁直後, 100cm, 200cm, 流出端の4断面に合計12個の白金電極を配置し、食塩による密度流の動きを加えてある色素とにらみ合わせて絶えずコールラウシュブリッジで抵抗の測定を行う事とした。そして後にこの読を予め検定して置いた曲線によつて食塩濃度に変えた。

又水温による密度差の有無を検する為各回毎に実験池内の水温の分布を調べたが実験室温と水温がほとんど同じ為に水温分布は10℃附近で全く同様であつた。

使用した測定電極は図1-2の様なもの計測は図3の様な回路を有するコールラウシュブリッジによつた。容量、温度等の補正を行うためにブリッジ

回路中の低抗の一つは測定電極と同じものを盲電極として用いた。測定用電極は12極のロータリースイッチに結んで敏速に切換えの行なえる様にした。

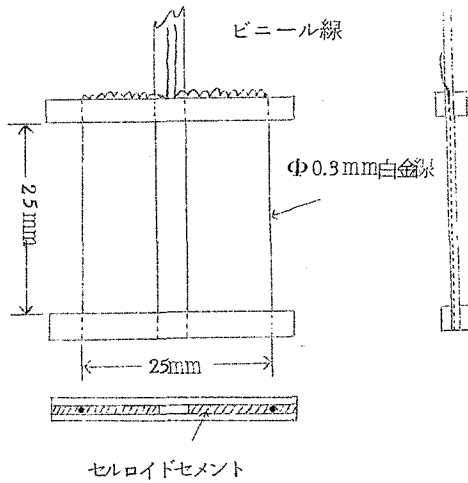


図-2

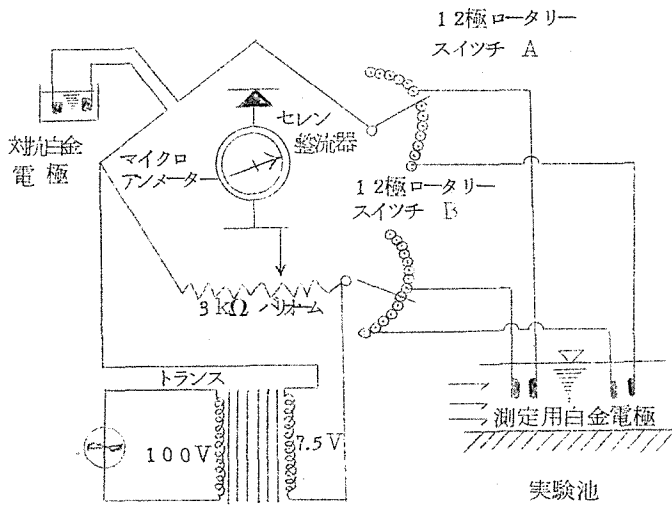


図-3

§ 2. 実験データ

上記の実験を食塩流が流入口から流出口に至るまでに要した時間に着目して整理を行う。密度流が流入端、流出端の電極を通過したと云う判定は密度流がその断面で達する定常濃度の30%の濃度に達した時を採る事とした。30%を採る事とした理由については流入口電極に対し主流と無関係な薄い食塩流が主流に先立って入り込む事があるのでその影響を除去するためである。20%位から90%位までの濃度の増加は急激であるため30%の位置を用いても時間に入る誤差はほとんど無視しうる程度のものである。

実験の結果を用いて広汎な領域にわたつての推論をなすためには資料の無次元化が行なかれる事が必須である。

密度流の発生、流下に影響を及ぼす主たる要素は次の様なものである。

$$\rho = \rho + \Delta\rho ; \text{流入水の密度} [\text{M} \overset{-3}{\text{L}}]$$

$$\rho = \rho - \Delta\rho ; \text{池内水の密度} [\text{M} \overset{-3}{\text{L}}]$$

$$\Delta\rho ; \text{流入水と池内水の密度差} [\text{M} \overset{-3}{\text{L}}]$$

$$g ; \text{重力の加速度} [\text{L} \overset{-2}{\text{T}}]$$

$$V ; \text{短絡流の流速} [\text{L} \overset{-1}{\text{T}}]$$

$$V_0 ; \text{池の平均流速} [\text{L} \overset{-1}{\text{T}}]$$

$$H ; \text{池の水深} [\text{L}]$$

$$L ; \text{池の沈澱帯の長さ} [\text{L}]$$

これら諸変数を Buckingham の π 定理を用いてまとめ無次元の変数の関数の形で表わすと密度短絡流は次の様な式で表わされることを知る

$$\Phi (V_0^2/gH \cdot \Delta\rho/\rho \cdot V_0/V \cdot H/L) = 0$$

ここで $V_0 = L/T$, $V = L/t$ から、

T ; 沈澱池の理論滞流時間

t ; 密度短絡流の流下時間

$$V_0/V = L/T / L/t = t/T$$

$$\therefore \Phi (V_0^2/gH \cdot \Delta\rho/\rho \cdot t/T \cdot H/L) = 0$$

と書き改める事が出来る。

第一項は流入流速の影響を示す項、第二項は密度流の池水との密度差の程度を、第三項は流過時間を第四項は池の深さの影響をそれぞれ示すものと考えられる。

そこで上記の無次元式の組合はせによつて実験試料の整理を行なうと次の様である。

記号は、 Q ; 実験流量 (lit/min) , H ; 実験水深 (cm) , D ; 流入電極により算定した食塩濃度 (ppm) , T' ; 流入流出電極間の理論流下時間 (密度流の無い場合) , (min) t ; 密度流の両電極間の流下時間

実験系列 A $Q=16.5$ lit/min, $H=27.5$ cm $T=19$ min 48 sec

	D	t	t/T	$\Delta\rho/\rho$	H/L	V_0^2/gH
A - 1	43			3.041×10^{-6}		
A - 2	80	6.35	0.333	5.656×10^{-6}		
A - 3	90	6.20	0.320	6.363×10^{-6}		
A - 4	115	5.45	0.290	8.131×10^{-6}	0.1058	1.643×10^{-6}
A - 5	130	5.45	0.290	9.191×10^{-6}		
A - 6	148	5.25	0.274	10.464×10^{-6}		
A - 7	270	5.35	0.231	19.089×10^{-6}		

実験系列 B $Q=13.2$ lit/min, $H=22.0$ cm $T=19$ min 48 sec

	D	t	t/T	$\Delta\rho/\rho$	H/L	V_0^2/gH
B - 1	35	8.45	0.442	2.475×10^{-6}		
B - 2	80	7.55	0.400	5.656×10^{-6}		
B - 3	100	7.10	0.362	7.070×10^{-6}		
B - 4	120	6.45	0.341	8.484×10^{-6}	0.0846	2.053×10^{-6}
B - 5	150	6.00	0.303	10.605×10^{-6}		
B - 6	220	5.35	0.282	15.554×10^{-6}		
B - 7	250	5.10	0.261	17.675×10^{-6}		

実験系列 C $Q=11.1$ lit/min $H=18.5$ cm $T=19$ min 48 sec

	D	t	t/T	$\Delta\rho/\rho$	H/L	V_0^2/gH
C - 1	45	9.20	0.471	3.182×10^{-6}		
C - 2	80	8.10	0.412	5.656×10^{-6}		
C - 3	110	7.35	0.383	7.778×10^{-6}		
C - 4	115	7.25	0.375	8.131×10^{-6}	0.0712	2.442×10^{-6}
C - 5	165	6.30	0.328	11.666×10^{-6}		
C - 6	185	6.15	0.316	13.080×10^{-6}		
C - 7	240	5.40	0.286	16.970×10^{-6}		

実験系列 D $Q=9.0$ lit/min $H=15$ cm $T=19$ min 48 sec

	D	t	t/T	$\Delta\rho/\rho$	H/L	V_c^2/gH
D - 1	45	10.50	0.547	3.182×10^{-6}	0.0577	3.012×10^{-6}
D - 2	90	10.15	0.518	6.363×10^{-6}		
D - 3	122	8.45	0.442	8.625×10^{-6}		
D - 4	148	7.45	0.391	10.464×10^{-6}		
D - 5	178	7.10	0.362	12.585×10^{-6}		
D - 6	240	6.45	0.341	16.968×10^{-6}		
D - 7	286	6.25	0.324	20.220×10^{-6}		

実験系列 1 $Q=14.2$ lit/min $H=25$ cm $T=20$ min 54 sec

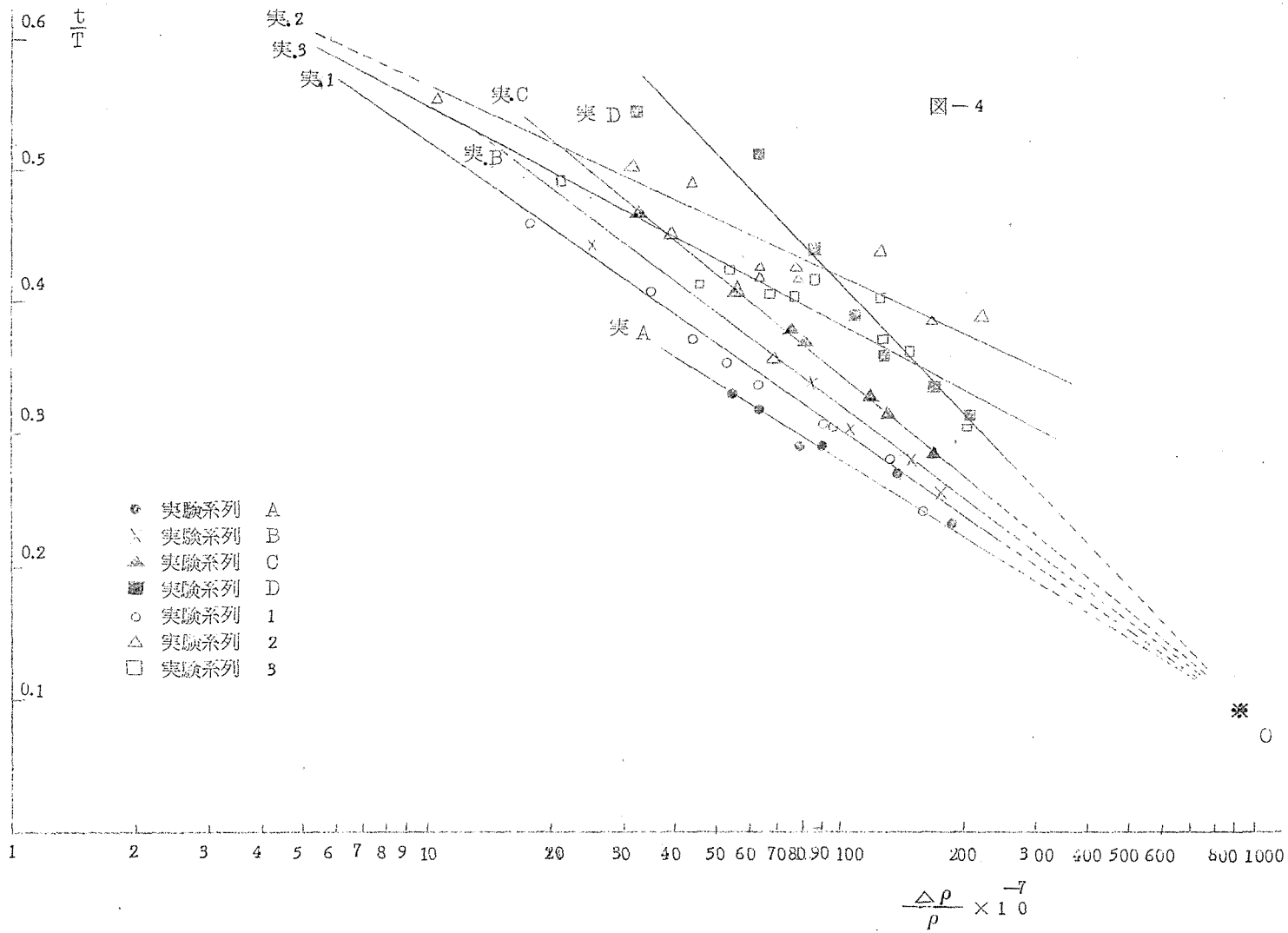
	D	t	t/T	$\Delta\rho/\rho$	H/L	V_c^2/gH
1 - 1	25	9.35	0.459	1.768×10^{-6}	0.0962	1.619×10^{-6}
1 - 2	50	8.35	0.411	3.535×10^{-6}		
1 - 3	63	7.47	0.372	4.454×10^{-6}		
1 - 4	75	7.25	0.355	5.303×10^{-6}		
1 - 5	100	6.45	0.323	7.070×10^{-6}		
1 - 6	110	6.45	0.323	7.778×10^{-6}		
1 - 7	130	6.25	0.307	9.191×10^{-6}		
1 - 8	135	6.25	0.307	9.545×10^{-6}		
1 - 9	85	7.00	0.335	6.010×10^{-6}		
1 - 10	185	5.55	0.283	13.080×10^{-6}		
1 - 11	220	5.00	0.239	15.554×10^{-6}		

実験系列 2 $Q=30$ lit/min $H=25$ cm $T=5$ min 30sec

	D	t	t/T	$\rho/\Delta\rho$	H/L	V_0^2/gH
2 - 1	15	5.30	0.556	1.061×10^{-6}	0.0962	7.230×10^{-6}
2 - 2	45	5.00	0.505	3.182×10^{-6}		
2 - 3	56	4.28	0.451	3.960×10^{-6}		
2 - 4	60	4.50	0.488	4.242×10^{-6}		
2 - 5	90	4.10	0.421	6.363×10^{-6}		
2 - 6	90	4.15	0.429	6.363×10^{-6}		
2 - 7	115	4.15	0.429	8.131×10^{-6}		
2 - 8	115	4.10	0.421	8.131×10^{-6}		
2 - 9	180	4.25	0.446	12.726×10^{-6}		
2 - 10	240	3.50	0.387	16.968×10^{-6}		
2 - 11	320	3.55	0.395	22.624×10^{-6}		

実験系列 3 $Q=27.5$ lit/min $H=25$ cm $t=5$ min 30sec

	D	t	t/T	$\rho/\Delta\rho$	H/L	V_0^2/gH
3 - 1	23	5.10	0.388	1.626×10^{-6}	0.0962	4.067×10^{-6}
3 - 2	30	6.35	0.495	2.121×10^{-6}		
3 - 3	65	5.30	0.413	4.596×10^{-6}		
3 - 4	75	5.45	0.432	5.303×10^{-6}		
3 - 5	95	5.28	0.411	6.717×10^{-6}		
3 - 6	110	5.30	0.413	7.778×10^{-6}		
3 - 7	125	5.35	0.420	8.838×10^{-6}		
3 - 8	145	5.20	0.401	10.256×10^{-6}		
3 - 9	180	4.55	0.370	12.726×10^{-6}		
3 - 10	205	4.30	0.338	14.494×10^{-6}		
3 - 11	290	4.05	0.307	20.503×10^{-6}		



註 $\rho = 1.00$ を採り、食塩濃度による密度差は実験の範囲内では食塩濃度に比例すると考えられるので化学便覧による値を比例配分して中間値を求めた。

以上の結果を半対数方眼紙上にプロットして整理すると図の様である。図一4参照

§ 3 結 論

本実験は上記の資料からも知りうる様に $H/L = 1.058 \sim 0.0577$, $\Delta\rho/\rho = 1.061 \sim 2.2624 \times 10^{-3}$ の範囲にわたって行なわれたものである。

食塩 1 ppm 当りの密度差は $0.000,0007g/cm^3$ であり、温度 $1^\circ C$ の差によつて生ずる密度差は水深 $10^\circ C$ 附近に於て $0.000081g/cm^3$ である事から本実験は水温差にして $0.2^\circ C$ 程度から $2.5^\circ C$ 程度までの場合の密度流に対応するものと考えてよく大略実験池に於ける状況を網羅している（宮北博士の報告によると最大 $4.9^\circ C$ と云う事例が存在している）と考えられる。

配列されて居る諸電極に感じ取られた食塩濃度は $\Delta\rho/\rho$ の非常に少ない場合を除いては、例外なく最下部（底面上）に於て最大の濃度を示し密度流中に於ても若干の濃度差のある事を示して居る。然しながら密度流内にある電極と真水中にある電極間の抵抗差は急激な変化を示し水が完全に二層に分離して流れて居る事を示している。これは少量 $KMnO_4$ を加えて側面から観察した場合にも判然と見る事が出来た。これは一旦発生した密度流は若干の混合を行いながらもほとんど衰を見せずに流下して行く。この境界面は粘性抵抗等の為に若干の勾配を見せては居るが密度流水深に比すれば僅かなものである。

実験資料の範囲内で推論を行つて沈澱池内の密度流の性質を求めて見る。

実験が t/T に対して他の諸要素がどの様な影響を有して居るかを見る様行なわれたので前出の無次元式を下記の様に書き直して検討を加えて見る。

$$t/T = f[\Delta\rho/\rho \cdot H/L \cdot V_0^2/gH]$$

(a) $\Delta\rho/\rho \sim t/T$ の関係

この関係を求める為に A, B, C, D, 1, 2, 3, の 7 系列について $\Delta\rho/\rho$ を 7 通り又は 11 通りに変化させて実験が行なわれた。この無次元浸度 $\Delta\rho/\rho$ を対数に取つて横軸とし、 t/T を通常目盛に取つて縦軸とした半対数グラフの点は系列 2, 3, の場合若干のバラツキを示す外各系列の資料共個々の直線上に相当良く並ぶ。

この事から実験を行つた範囲内で t/T と $\Delta\rho/\rho$ は次の様な関係にある事が推論される。

$$t/T = K \log \Delta\rho/\rho + M$$

ここで K 及び M は池の諸条件、流量 (平均流速) 等によつて決る係数でこの各々の実験系列 (Q; Given, L/H; Given) に対しては定数となる。

この式より密度差の小さな部分では密度差の単位量に対する t/T の変化の割合は大きいけれども密度差が大となつて来るにつれて単位の密度差による t/T の変化率は少なくなつて来る事を知りうる。

本実験の A, B, C, D, の各系列の場合であれば $\Delta\rho/\rho = 2.00 \times 10^{-6}$ の附近まで $\Delta\rho/\rho$ が増加して来ると t/T の減少の割合は急に小さくなつて来る。

即ち密度流は $\Delta\rho/\rho$ がある範囲をこえるとその強度の増大はわずかになつて来て一定値に近づくのではないかと云う事が推論出来る。この事は H/L の関係を考える事によつて更に明確となる。

(b) $t/T \sim \Delta\rho/\rho$ の関係を H/L をパラメーターとして考えた場合、

$V_0 = \text{Const.}$ なる条件を入れて H/L をパラメーターとして実験値を調べて見ると同じ $\Delta\rho/\rho$ であつて H/L の大きなものほど小さな t/T を示す。

半対数方眼紙上の結果から見ると K は H/L の小さなほど大となり $\Delta\rho/\rho$ の増加に伴う t/T の減少の割合は H/L の小さなほど速い事を知りうる。つまり密度流の強度は浅い池ほど弱いけれども浸度の増加に対する容量効率減少の割合は浅い池ほどいちじるしい事を知りうる。

今 A, B, C, D, 各系列の $t/T \sim \log \Delta\rho/\rho$ 直線を左右へ延長して行くことこれらの線は大略一点で交叉する。実験に用いた $\Delta\rho/\rho$ の上限は 2.1×10^{-6} であるから直線をこの先延長してもはたして実験の結果どうなるかについては

保証出来ないが、しかしこの結果を考察する事によつて次の様な重大な密度流の性質の一つが推論出来よう。

今簡単の為に系 D 及び系 A の二つを採り上げて考えて見よう。半対数方眼紙上に示される $t/T \sim \log \Delta\rho/\rho$ 線は H/L の小な系列 D の方が $I-K$ I が大であるために $\Delta\rho/\rho$ が大となるにつれて両線は接近して行き遂に 0 点で交叉する。この事の示す意味は $\Delta\rho/\rho$ が大となるに従つて深さの影響に作用される事が少なくなつて遂に密度差の影響だけが支配的要素となり深さの影響を無視しうるに至る事を示している。そこでこれ以上密度を増大しても A-D、両線は同じ変化をたどる様になる事が推定される。(唯この勾配等に關しては実験の範囲外であるので全く解らない)。

更にこの A-D、両線の交点は C、B、等の各線に対しても略共通である事から H/L が t/T に作用する臨界点の存在する事が明らかである。もしもこの点から先まで A-D 線を延長すると浅い池に於ける方が高速の密度流を生ずる事となり一般に受け入れられている理論と矛盾する事となり在りえない。

はたして 0 点が完全な一点であるか又は極めて小さな領域であるかについてはこの実験の精度では知りえないが、いずれにしてもこの様な臨界点の存在は重大な事である。

(C) $t/T \sim H/L$ で $\Delta\rho/\rho$ をパラメーターとした場合。

これは前記の $t/T = K \log \Delta\rho/\rho + M$ で $\Delta\rho/\rho$ を一定とした場合 K 、 M がどの様なものとなるかの解析である。

この内 M は $\Delta\rho/\rho = 1$ の時の t/T の値である。

今実験系列 A, B, C, D, について勾配を半対数図表から求めて見ると
 $-K(A) \doteq -0.195$, $-K(B) \doteq -0.240$ $-K(C) \doteq -0.270$, $-K(D) \doteq -0.335$
 $-K(1) \doteq -0.222$,

この様な勾配がはたしてどの様な法則によつて H/L と対応して居るのであろうか。

次表の様に $K \times H/L$ の組合せを作ると。

実験	K	H/L	K×H/L
A	0.195	0.1058	0.0216
1	0.222	0.0962	0.0213
B	0.240	0.0846	0.0203
C	0.270	0.0712	0.0193
D	0.335	0.0577	0.0193

表によつて解る様に $K \times H/L$ の値はほとんど一定であり次の様な函数関係がある様である。

$$H/L \times K = \text{Const} \quad (\text{for } V_0 = \text{Const})$$

(D) t/T 、 $\Delta\rho/\rho$ で V_0^2/gH をパラメーターとした場合。

$H = \text{Const}$ の場合 V_0 が大になるほど半対数図上の勾配 $|K|$ はゆるくなつて来密度流の影響を受ける事が少なくなつて来る事を知りうる。又資料数が少くその値も若干荒れて居る為推論をこれ以上進める事は困難であるがこの様な整理をした場合 V_0^2/gH は t/T に対する完全なパラメーターとはならない様であり、更に検討を要す。

§ 4. 後 記

本研究は水浄化機構の基本的研究の一部で筆者が北海道大学、大学院に在学中行なつた研究の一部であり、昭和32年度、土木学会学術講演会で一部報告した。

本誌には水流の研究中の第一部を載せた。実験に当り終始熱心に協力をいただいた現在北大大学院学生宮崎洋三君、飛島土木元木暉里君（当時北大土木学生）に深謝する。

又終始御高配をいただいた尾崎助教授、柏村講師に感謝申上げる。

参 考 文 献

- H.Rouse ; Engineering Hydraulics. John Wiley & Sons. Inc.
N.Y.
- 熊谷外 3 名 ; 実験技術 (物性論叢書第 2 卷) 朝倉書店 .
- 中川義徳 ; 導流壁式, 中間整流壁式, 及び 2 階槽式沈澱池についての模型
による実験的研究 . 水道協会雑誌 257号 258号