

1. 概説 ばつ気槽内の混合特性をあらわすモデルとして、種々のものが提案されているが、現在のところいずれも、流れ方向の一次元的な取扱いの域を出ていない。そこで本研究ではこのようなモデル表示よりむしろ、縦方向混合特性がばつ気による断面内旋回流に大きく影響されるという考え方をとり、ばつ気速度と旋回流、ばつ気速度と混合特性の関連を究明することによって、横断面内の旋回流速分布が混合特性にどのような影響を与えるかを知ることを研究目的とした。

2. ばつ気槽横断面内の旋回流速分布に関する考察 従来、ばつ気による旋回流の発生機構について、図-1のごとく、散気板上部では気泡の滞流による有効密度の減少によって鉛直方向圧力分布が静水压分布でなくなることに起因するものとし、散気部の気泡を含んだ上昇流自身の影響は考慮されなかった。すなわち、幅4ft、水深約2.5ft、奥行1ft、底部片側に幅1/2ftの多孔式散気板を有する水槽での圧力実測値は、常に図-2のごとき分布を示したので、単に気泡滞流率のみによらず、気泡上昇の影響を旋回流の直接発生原因と考えて、次の

ごとき基礎方程式を誘導した。図-3を参照し、 u , v をそれぞれ x , y 方向の速度成分とし、連続式 $\partial u/\partial x + \partial v/\partial y = 0$ を有効幅 eb の散気部について積分すると、

$$\frac{dV}{dy} = -\frac{u_b}{(1-\phi)b}, \quad V = \frac{1}{eb} \int_0^{eb} v dx, \quad \phi = \frac{q_a}{u_a eb} \dots\dots\dots (1)$$

を得る。 u_b は散気部からの流出流速、 ϕ は局部的な気泡滞流率、 u_a は気泡上昇速度、 q_a は単位奥行当り空気量である。散気部の上昇流に対しては、気泡が上昇するとき u_a と V の相対速度が常に終速度 V_T になっているものとする、気泡の浮力を運動量式に導入できる。渦動粘性項を省略して圧力を p と書くと、

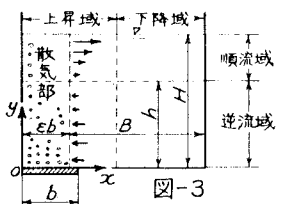
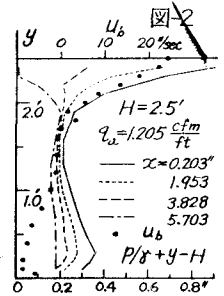
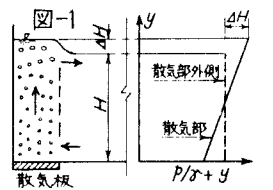
$$\frac{d}{dy} \left\{ \alpha \frac{V^2}{g} + \frac{\bar{p}}{g} + (1-\phi) \left(1 - \frac{\alpha_a}{g} \right) y \right\} = 0, \quad \bar{p} = \frac{1}{eb} \int_0^{eb} p dx \dots\dots (2)$$

を得る。 α_a と α は空気と水の単位重量、 g は重力加速度、 α は v の分布と

u_a の影響を考えた運動量補正係数である。散気部以外では近似的に $\phi=0$ として同様の式を書くことができるが、これらを解くには、 ε および h/H を仮定しつつ、各流れの境界における圧力と流量の連続条件を満たすように数値計算を進めねばならない。しかし(1),(2)式などを組みあわせ変形し、その特性を考察することによって、断面形状と旋回流の様態との関係を推察することはできる。たとえば散気部の流出部については、 $\eta_1 = (x-h)/(H-h)$, $\eta_2 = (H-h)/eb$, $r = u_b(H-h)/eb V_{max}$, $\Delta = \int_{\eta_1}^1 r d\eta$ とあらわすと、

$$\frac{dr}{d\eta} = \left\{ (r^2)_{\eta=1} - \frac{60\alpha_{oa}}{\alpha} \lambda_2^2 \left(\frac{1}{2} + \ln \Delta \right) \right\} \Delta, \quad \sigma = \frac{(v)x_{eb}}{V}, \quad \alpha_{oa} = \alpha + \lambda_2 \left(1 - \frac{\eta_a}{g} \right) \frac{2q_a g / V_{max}}{1 + 2V_T / V_{max}} \dots\dots (3)$$

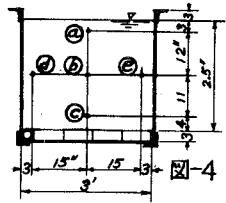
が近似的に成立する。(3)式による r すなわち u_b の分布は、図-2に併示したようなsin函数を基礎としたものとなる。実験結果では、 q_a を変えても r 分布および λ_2 ともあまり変らないので、 α_{oa} すなわち



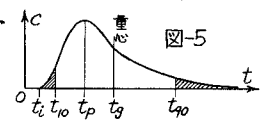
Q_a/V_{max}^3 も一定に近いものと考えられ, $y=h$ で生ずる V_{max} 従って全体の巡回流速も $Q_a^{1/3}$ に比例するものと思われる。なお(2)式の妥当性は, $x=b$ に実際の多孔板を入れた場合につき実験的に検証できた。

3. 縦方向混合に関するトレーサー実験

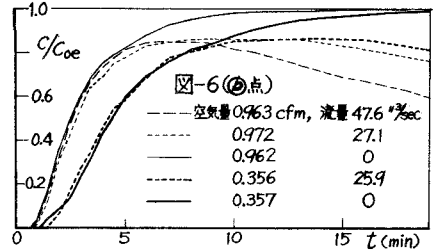
図-4のような断面をもつ長さ88.5"の水槽に外径3", 長さ60"の散気管を設け, この区間の一端に Rhodamine B の溶液を断面一様に投入し, 他端の各点(図-4)での濃度 C の応答を Turner 社製連続流式 Fluorometer によって測定した。実験は流量と空気量のおおの0の場合を含めた組合わせの合計37通りを行ない, 図-5の各特性値を求めた。ばつ気を



しない場合には長さが短いため断面内混合が不十分ではあるが, ほぼ流量に無関係に, $t_g/(\text{理論滞流時間}) = 0.5 \sim 0.94$, $t_i/t_g = 0.24 \sim 0.35$, $(t_g - t_p)/t_g = 0.41 \sim 0.59$, $t_{g0}/t_{i0} = 4.7 \sim 5.8$ を示した。ばつ気を行なうと, まず t_i がきわめて



短くなり, 流量の0と如何を問わずほぼ空気量の1/2乗の函数となり, さらに $C/C_{oe} \sim t$ 曲線 ($C_{oe} = \int_0^t C dt / t_g$) の上昇部の形は流量を変えてもあまり変わらず(図-6), また常に中央部より巡回部の応答が早い。空気量と流量による混合特性の変化は右表に示す通りであるが, 中央部と巡回部の t_g がほぼ等しいときは必ず巡回部の混合強度が大きく, 逆に中央部の混合が巡回部と等しいかより大きいときには, 代りに



t_g が長くなっている。しかしこれらはあくまで見かけの混合特性であって, 採水点を変えたことにより, 乱流または密度拡散による混合と短絡流によるものの区別をすることが可能となる。一様に投入された全量 m_0 のトレーサーを中央部(添字1)と巡回部(同2)とで測定したものは, 巡回部から中央部への拡散のみにより総量 Δm が移動した後のものであると考え,

RUN	空気量 cfm	Q %sec	採点	C_{oe} ppm	t_g sec	$m_0 \Delta t_g$ ppm	$t_g - t_i$ sec	t_{g0}/t_{i0}
27	1.782	47.6	①	30.1	1702	30.0	0.78	11.3
26	1.792	47.7	②	32.6	1493	34.0	0.76	10.8
28	0.963	47.6	③	32.3	1624	31.4	0.71	10.1
29	"	"	④	28.6	1654	31.2	0.74	10.7
31	0.356	"	⑤	30.4	1782	28.6	0.66	8.6
30	0.357	47.7	⑥	31.8	1578	32.9	0.63	8.2
36	1.779	26.7	⑦	35.8	3328	33.1	0.84	14.3
37	1.782	"	⑧	30.5	3006	31.2	0.83	14.2
35	0.972	27.1	⑨	30.2	3019	30.8	0.80	12.8
34	"	27.0	⑩	30.1	2988	29.9	0.81	13.2
32	0.356	25.9	⑪	32.0	3049	30.4	0.73	10.8
33	"	27.0	⑫	33.3	2862	31.0	0.73	10.8

$$\left. \begin{aligned} r_1 t_{g1} C_{oe1} + r_2 t_{g2} C_{oe2} &= \frac{m_0}{Q}, \quad \frac{\Delta m}{m_0} = \frac{r_1 t_{g1} C_{oe1}}{m_0/Q} - a_1, \quad \frac{t_{g2}'}{t_{g1}'} = \frac{r_1 a_2}{r_2 a_1} = S, \\ t_{g1}' &= \frac{r_1 t_{g1} C_{oe1}}{a_1 m_0/Q} - \frac{\Delta m}{m_0} \frac{\Delta t_g}{a_1}, \quad t_{g2}' = \frac{r_2 t_{g2} C_{oe2}}{a_2 m_0/Q} + \frac{\Delta m}{m_0} \frac{\Delta t_g}{a_2} \end{aligned} \right\} \dots (4)$$

を解けば, Δm と全流量 Q に対する中央部, 巡回部の流量比 r_1, r_2 , 各部の流れ自身および Δm の真の平均滞流時間 $t_{g1}', t_{g2}', \Delta t_g$ と短絡度ともいうべき S を求めることができる。ただし a_1, a_2 は, 各部の採水点が代表する面積の全断面面積に対する比である。上表の Run 36, 37 について例示すると, $a_1 = 0.16$, $a_2 = 0.84$ として, $r_1 = 0.214$, $r_2 = 0.786$, $S = 1.425$, $\Delta m/m_0 = 0.071$, $\Delta t_g = 5712 \text{ sec}$, $t_{g1}' = 2271 \text{ sec}$, $t_{g2}' = 3233 \text{ sec}$ となり, 主として中央部で短絡, 巡回部で混合拡散という特性を示している。

4. 結語

本研究結果の要点としては, 巡回流速がばつ気槽の混合特性に直接大きな影響を与えていること, およびその混合特性が, 拡散と短絡流あるいは巡回部と中央部に区別して説明しうることなどが明らかとなった。後者についてはさらに実験精度を高めて, 汚泥濃度の変化に必ずずるトレーサー密度の差異などによる水質応答についても検討すべきである。なお本研究は, カナダ McMaster 大学において, 同回 NRC および米国 NIH の研究費をうけて行なったものの一部である。