

# 放流汚水の拡散希釈に関する基礎的研究

准員 南 部 祥 一\*

## FUNDAMENTAL STUDIES ON THE DILUTION OF WASTE WATER, DISCHARGED INTO A STREAM

By Shoichi Nambu, C.E. Assoc. Member

**Synopsis;** The diffusion and dilution of liquid wastes, continuously disposed into a stream from an outfall at one side, as shown in Fig.1, were analyzed theoretically and investigated experimentally. Concerning the dilution effect, the relationship between hydraulic elements of the amounts and rates of the stream flow and waste flow was clarified and a method, estimating the change of dilution ratio or distribution of concentration of the wastes along the flow direction in the down-stream, was proposed.

**要旨** 河川または水路の片側から連続的に放流された汚水の拡散希釈につき理論的実験的な検討を加え、拡散希釈効果に影響をおよぼす、放流汚水、放流先河川の流量、流速などの水理学上の諸要素の間の関連性を明らかにすると同時に、流下方向の希釈率の変化ないしは汚染度分布を推定する方法を提案した。

### 1. 緒 言

近年、公共水汚濁防止に関する具体的な動きが活発になるにつれ、放流汚水の水質や放流量を規制するための理論的な裏づけが必要となつてきた。従来からこの問題についてはしばしば論議されているが、主として質的な観点から、それも放流汚水のみを独立して取り扱うことが多かつた。この論法からすると、放流を受ける河川の希釈能がどうであつても一律の汚水放流基準をとるという不合理が生じてくる。Fair 等は河川流量を放流基準の一要素として導入する方法を提案してはいるが<sup>1)</sup>、さらにこうした放流を受ける河川のその他の水理学的特性をも考慮することが是非必要であると思う。また、汚水放流点より下流に上水道の取水口がある場合などについては、上水道水源に必要な水質を維持するということから逆に上流における放流汚水の水質を規制するのが合理的である。

本研究は公共水汚濁防止に関するこのような基本的問題を検討するために、片側の岸から連続的に放流される場合の放流汚水の拡散特性、流下方向の汚染度分布および希釈率の変化を検討したものである。自浄作用をあまり期待できないような短小河川で、汚水放流が増加し、またその下流で利水のための取水計画も進み、その位置の選定についても困難を感じる事の多いわが国では、今後この種の研究の重要性が増してくるものと考えられ、ここに諸賢の御批判を希望する次第である。

### 2. 希 釈 率

図-1 に示すように、放流量  $q(=a \cdot v_0, a$ ; 放流口幅,  $v_0$ ; 放流速度)、汚染濃度  $c_0$  の汚水が河幅  $B$  なる等断面直線水路の片側から連続して放流される場合の 2 次元拡散について考える。この場合、汚水の放流によつて実際には放流口付近に局部的な乱れが起こり、これが  $x, y$  方向の拡散に影響するはずであるが、この点については後に検討することにし、まず水路流が全域にわたつて等速定流であり、 $y$  方向の拡散係数が一定の場合について考えてみる。

いま、放流開始後、拡散の状態が定常となつた場合を取りあげ、 $\epsilon_x \partial^2 c / \partial x^2$  が  $\epsilon_y \partial^2 c / \partial y^2$  に比較して無視できるものとするれば、拡散の基礎式は、

$$U \frac{\partial c}{\partial x} = \epsilon \frac{\partial^2 c}{\partial y^2} - kc \dots\dots\dots (2-1)$$

ここに、 $U$ ; 放流口より下流の水域における水路流の平均流速、 $c$ ; 汚染物質濃度、 $\epsilon = \epsilon_y$ ;  $y$  方向の拡散係数、 $k$ ; 汚染物質濃度の自己減衰係数 (例えば BOD については脱酸素恒数、再曝気恒数、放射性物質についてはその減衰係数など) である。

式 (2-1) に対し次の 2 条件、

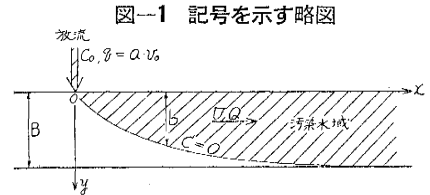


図-1 記号を示す略図

\* 京都大学大学院学生、工学部土木工学教室

$$x=0, \quad c=f(y) \dots\dots\dots(2-2)$$

$$y=0, \quad \partial c/\partial y=0; \quad y=B, \quad \partial c/\partial y=0 \dots\dots\dots(2-3)$$

を与えると解は次のごとくえられる。

$$c = \frac{1}{B} \left[ \exp(-\alpha_0 x) \cdot \int_0^B f(y) dy + 2 \sum_{n=1}^{\infty} \exp(-\alpha_n x) \cdot \cos n \pi y/B \cdot \int_0^B f(y) \cos n \pi y/B dy \right] \dots\dots(2-4)$$

ただし、 $\alpha_0 = k/U$ ,  $\alpha_n = \varepsilon/U(n\pi/B)^2 + k/U$

この式から放流汚水によつて汚染される水域を求めると、式(2-4)で  $c=0$  とおき、

$$\int_0^B f(y) dy + 2 \sum_{n=1}^{\infty} \exp(-\alpha_n' x) \cdot \cos n \pi b/B \int_0^B f(y) \cos n \pi y/B dy = 0 \dots\dots(2-5)$$

(ただし、 $b$ は  $c=0$  を満足する境界線の  $y$  座標、 $\alpha_n' = \varepsilon/U(n\pi/B)^2$  である)

がえられる。

ここで、放流口より下流各点の汚染度は式(2-4)から一応計算できるが、この計算はかなり繁雑であり、また、当初に述べた多くの仮定から考えて、こうした計算を厳密に行うことはあまり意義がないかも知れない。むしろこの場合は上述の基本的な考えにもとづいて計算式を簡易化し、下流における汚染物質の断面平均濃度の変化や放流汚水量と希釈効果の定性的な関係など巨視的な角度から検討を進めた方が、実測値との照合が容易でかつ実際問題とのつながりがつき易いように思われる。このような理由から、著者は下流の汚染濃度の代表値として河川断面についての平均的な濃度  $\bar{c}$  を式(2-6)のように定義し、希釈率  $p$  も平均値に対するものとして式(2-7)のように表わすことにする。

$$\bar{c} = \frac{\int_0^b c dy}{b} \dots\dots\dots(2-6), \quad p = \frac{c_0}{\bar{c}} \dots\dots\dots(2-7)$$

式(2-4)を  $y$  について 0 から  $B$  まで積分すると、

$$\int_0^B c dy = \exp(-\alpha_0 x) \cdot \int_0^B f(y) dy$$

となるが、放流を受ける前の河水の汚染濃度が放流汚水のそれと比較して無視できるとすると、 $\int_0^B c dy = \int_0^b c dy$  であり、従つて上式を式(2-6)に用いると式(2-8)を得る。

$$\bar{c} = \frac{\int_0^B f(y) dy}{b} \cdot \exp(-\alpha_0 x) \dots\dots\dots(2-8)$$

また、

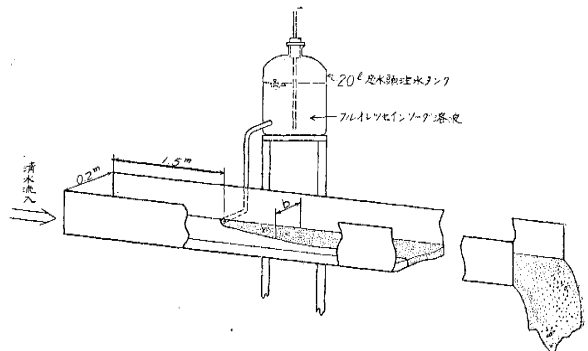
$$p = \frac{b \cdot c_0}{\int_0^B f(y) dy} \cdot \exp(\alpha_0 x) \dots\dots\dots(2-9)$$

結局、 $U, k$  は容易に測定できるから  $\alpha_0$  は求まり、式(2-8)、(2-9)で初期分布  $f(y)$  および  $b=f_1(x)$  が求まれば  $\bar{c}$  または  $p$  の流下方向の変化を推定できることになる。

### 3. 実験装置および実験結果

京都大学工学研究所水理実験室のプラスチック製水路 (20 cm × 20 cm × 1 000 cm) の片側から、フルオロッセインソーダ溶液を一定割合で連続的に放流し、その拡がりを測定することによつて  $b$ -曲線を求めた。実験装置の詳細は図-2に示す。実験は直径 4.0 mm および 6.7 mm の円形放流口から、放流量を 1.73~22.3 cc/sec、水路流量を 468~784 cc/sec の間に変化させて行い、注水タンクの高さ、水路勾配、水路流入量を調節して所要の実験条件を得た。放流口中心は水路底から 1.5 cm の位置におき、本流の水深は大体 2 cm で一定となるようにした。本実験で放流量が 20 cc/sec (放流速度 ≒ 100 cm/sec) 以上になると放流口付近に波を生じ、本流の乱れがいちじるしくなるが、このような放流が実際に行われるのはまれであるので、この値を実験の上限值とした。また、放

図-2 実験装置



流量が 1 cc/sec 以下になると、本実験装置では一定割合で放流することが困難になると同時に、色素の拡がりも正確に測定できなくなるので、放流量がこの値以下になる場合については実験を省略した。図-3の点線は直径 4.0 mm の放流口から放流した場合の  $b$ -曲線の実測結果で、このときの水路流量は 768 cc/sec である。各曲線上の数字はそれぞれのときの放流量  $q(=a \cdot v_0)$  と水路流量  $Q(=B U)$  との比  $q/Q$  の値を示している。

4. 実験結果の考察および理論的検討

a)  $b$ -曲線について

前述したように、 $U, B, k, \epsilon$  が測定され、初期分布  $f(y)$  が求められると式

(2-5) によつて汚染物の分布する範囲、すなわち  $b$ -曲線は数値計算から求めることができる。ところが実際は 2 で述べたように放流口付近では放流によつて本流が乱されており、 $\epsilon$  を式 (2-1) で考えたように一定値として取り扱うことができないから、初期分布を実測してもその結果をそのまま式 (2-5) に代入することはできない。

いま、式 (2-5) を満足するような初期分布として図-4 に示すように、

$$\left. \begin{aligned} f(y) &= c_s \cos \pi y/2 b_T & b_T > y > 0 \\ &= 0 & B > y > b_T \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (4-1)$$

を仮定すると式 (2-5) は次のようになる。

$$\sum_{n=1}^{\infty} \exp(-\alpha_n' x) \cdot \frac{\cos n \pi b_T/B \cdot \cos n \pi b/B}{1 - (2n b_T/B)^2} = -\frac{1}{2} \dots\dots\dots (4-2)$$

式 (4-2) に  $\epsilon=0.003 \text{ m}^2/\text{sec}$ ,  $U=0.5 \text{ m}/\text{sec}$ ,  $B=100 \text{ m}$  を代入し、 $b_T$  を 1 m から 90 m まで変化させ、数値計算によつて  $b$ -曲線求めてみると図-5 のようになる。式 (4-2) において  $\alpha_n' x$  は無次元量であるが、式 (4-2) から明らかなように  $\alpha_n' x$  および  $b_T/B$  が一定であれば、ここで与えられた  $x/B$  に対する  $b/B$  は常に一定となり、このことを利用すると次の計算が可能になる。

すなわち、 $B=100 \text{ m}$ ,  $\epsilon/U=0.006 \text{ m}$  の場合に  $X=5 \text{ km}$  で  $b/B=0.5$  あつたとする。この結果を用いて、 $B=50 \text{ m}$ ,  $\epsilon/U=0.005 \text{ m}$  の場合の  $b/B=0.5$  を満足する  $X'$  を求めてみよう。まず前者の場合から、 $\alpha_n' X=0.006(\pi/100)^2 \times 5 \times 10^3 = 0.003 \times \pi^2$ ,  $\alpha_n' X=(\alpha_n')' X'$  を考えて、 $0.003 \times \pi^2=0.005(\pi/50)^2 X'$ 、 $\therefore X'=1.5 \text{ km}$ 、結局、後者の場合  $X'=1.5 \text{ km}$  で  $b/B=0.5(b=25 \text{ m})$  となることがわかる。

図-3 では  $B=20 \text{ cm}$ ,  $U=20 \text{ cm}/\text{sec}$  であり、以上の計算法からまず  $x=1.2 \text{ m}$  における実測の  $b$  に一致するように  $\epsilon$  を計算から求め、次にこの  $\epsilon$  を用いて同様の計算を繰り返して  $0 < x < 4 \text{ m}$  における  $b$ -曲線求めてみると図-3 の実線のようになるが、こうして得られた計算値は  $x > 1 \text{ m}$  では実測値と極めてよく一致している。 $x < 1 \text{ m}$  において実測  $b$ -曲線と本計算法によつて求めた  $b$ -曲線が相違するのは、この計算で放流口付近の乱れの影響を無視し、 $\epsilon$  を水路全域にわたつて一定と仮定したためと考えられるが、 $x/B$  が相当大きい断面の水質が実際上の

図-3 実測、計算曲線  $b$ -曲線

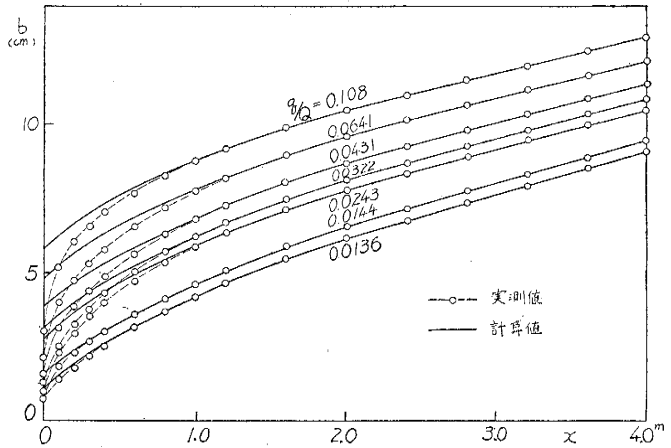


図-4 初期濃度分布

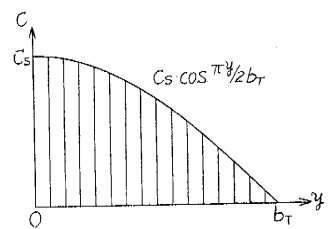
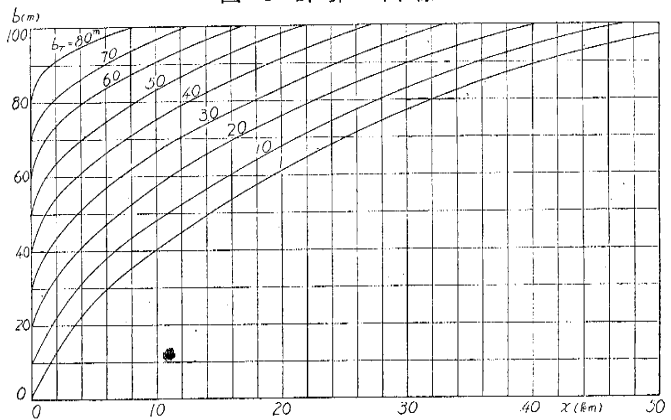


図-5 計算  $b$ -曲線



問題となることが多いから、本計算法の実用性は十分期待できると考えている。ただし  $b_T$  をどのようにして求めるかということが次の課題となってくる。

煙突から汚染気体が噴出された場合の大気中の汚染度分布については多くの人人によつて研究されている。こうした大気汚染の問題では初期条件を特性づけるものとして有効高さがあり、噴出点における噴出高さを補正して解析する方法がとられている<sup>2)~3)</sup>。この種の解で考慮される有効高さ(煙突の高さ+排気の噴出高さの補正量)は煙突からの噴出速度  $u_0$ 、風速  $U$  および気温に関係することが明らかにされ、噴出速度、風速に関する補正項は速度上昇 (velocity rise)、気温に関する補正項は温度上昇 (temperature rise) と呼ばれている。従つて本文における図-4 中の  $b_T$  は上記の速度上昇に相当するものと考えられるが、この補正項は一般に  $u_0/U$  の関数とされており、Bryant-Davidson は煙突の場合について次の実験式を得ている<sup>3)</sup>。

$$\Delta h = d(u_0/U)(1 + \Delta T/T_0) \dots\dots\dots(4-7)$$

ここに、 $\Delta h$ ：有効高さの補正量、 $d$ ：煙突の直径、 $T_0$ ：噴出気体の絶体温度、 $\Delta T$ ：噴出気体の過剰温度  
いま、放流汚水中汚染物質の連続式を考えてみると、

$$a \cdot v_0 \cdot c_0 = U \int_0^B c dy = U \exp(-\alpha_0 x) \cdot \int_0^B f(y) dy$$

$x=0$  では、

$$a \cdot v_0 \cdot c_0 = U \int_0^B f(y) dy$$

式(4-1)を上式に代入し、変形すれば、

$$\frac{b_T}{a} = \frac{c_0}{c_s} \cdot \frac{v_0}{U} \cdot \frac{\pi}{2} \dots\dots\dots(4-8)$$

ここで、 $c_s$  は  $b_T$  の関数と考えられるから、結局  $b_T/a$  は、

$$\frac{b_T}{a} = f_2(v_0/U) \dots\dots\dots(4-9)$$

と考えることができ、式(4-7)と相似の関係があることがわかる。実験結果を整理して  $v_0/U$  と  $b_T/a$  または  $b_0/a$  ( $b_0$  は  $x=0$  における  $b$  の実測値) との関係を決めると図-6 に示すような①、②の実線が得られるが、これらの実線は式(4-7)と同形の次式で表わされる。

$$\frac{b_T}{a} = \lambda(v_0/U)^{\epsilon} \dots\dots\dots(4-10)$$

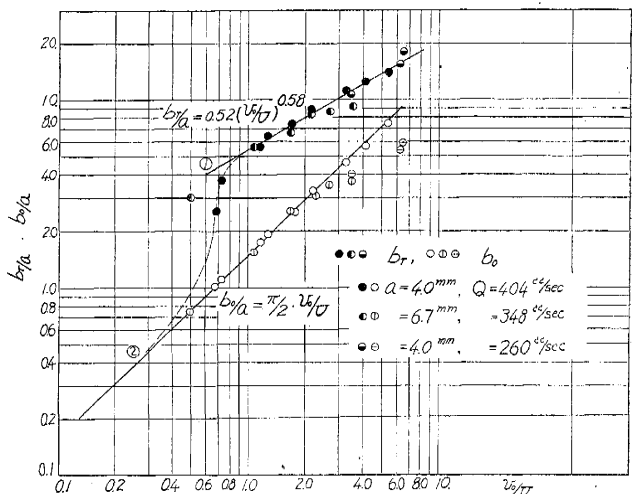
上式中の  $v_0$  が非常に小さい場合は3.で述べた理由から実験不能となるので確めることができなかったが、図-3 において  $q/Q$  すなわち  $v_0/U$  が小になると  $b_T$  の値は次第に  $b_0$  の値に近づくことからみて、この場合は  $b_T=b_0$  となり、 $b_T/a-v_0/U$  の関係は②の実線によつて表わされるものと考えられる。一方、 $v_0$  が大きい場合は図-6 から明らかなように  $b_T/a-v_0/U$  の関係は②-線よりはなれ①-線によつて表わされるようになる。従つて  $v_0/U$  のある範囲には②-線から①-線に移る遷移過程があるはずであり、この間における  $b_T/a-v_0/U$  の関係は図-6 の点線のように表わすことができよう。なお、 $v_0$  が小の場合また遷移過程の問題などについては今後さらに実験装置を改良して研究を進める予定であるが、以下の検討では図-6をもとにして遷移領域を  $0.5 < v_0/U < 1.0$  と考えている。

図-6 において  $v_0/U < 0.5$  であれば、 $b_T=b_0$  と考えられるが、式(4-8)で  $b_T=b_0$ 、 $c_s=c_0$  と置くと、

$$\frac{b_0}{a} = \frac{\pi}{2} \frac{v_0}{U} \dots\dots\dots(4-11)$$

となり、図-6 の結果が満足される。また、 $0.5 < v_0/U < 1.0$  では  $b_T/a$  が  $v_0/U$  の増加とともに急激に大になり、

図-6  $v_0/U$  と  $b_T/a$  または  $b_0/a$  との関係



$\varepsilon > 1, v_0/U > 1.0$  になると、式(4-10)で  $\lambda = 0.52, \varepsilon = 0.58$  とすれば満足される。ただ、 $v_0/U > 6$  の場合は 3. で述べた理由から実験を省略しているので明確ではない。

b) 希釈率  $p$  および汚染度  $\bar{c}$  に関する諸要素

式(2-6), (4-8) および式(2-7), (4-12) より、

$$\bar{c} = \frac{a}{b} \cdot \frac{v_0}{U} \cdot c_0 \cdot \exp(-\alpha_0 x) \dots\dots\dots (4-12)$$

$$p = \frac{b}{a} \cdot \frac{U}{v_0} \cdot \exp(\alpha_0 x) \dots\dots\dots (4-13)$$

また、上式を變形すれば、

$$\bar{c} = \frac{B}{b} \cdot \frac{q}{Q} \cdot c_0 \cdot \exp(-\alpha_0 x) \dots\dots\dots (4-12)'$$

$$p = \frac{b}{B} \cdot \frac{Q}{q} \cdot \exp(\alpha_0 x) \dots\dots\dots (4-13)'$$

1) 本流の流速  $U$ , 拡散係数  $\varepsilon$ , 河川幅  $B$  が変化し、放流口幅  $a$ , 放流速度  $v_0$ , 放流量  $q$  が一定の場合、式(4-2) から明らかなように  $b/B$  は、

$$\frac{b}{B} = f_3(UB/\varepsilon, b_T/B, x/B) \dots\dots\dots (4-14)$$

と表わすことができ、1) の場合には  $b_T/B$  が一定となる。 $b/B$  と  $x/B$  との関係については図-6 に示しているので、ここでは主として  $b/B$  と  $UB/\varepsilon$  の関係について検討を加えることにする。まず、4. a) で述べた計算法により  $b_T/B$  と  $x/B$  をパラメーターとし、 $b_T/B = 1/100, 2/5, x/B = 10, 50, 100, 200$  の場合について  $b/B$  と  $UB/\varepsilon$  との関係を求めてみると、図-7 のようになり、図-7 から次のような定性的な結果が得られる。(イ)  $b_T/B$  が大きいほど  $b/B - UB/\varepsilon$  の曲線勾配は緩くなる。(ロ)  $x/B$  が小になると同曲線勾配は緩くなる。(ハ)  $UB/\varepsilon$  のある値より以下の領域では  $b/B - UB/\varepsilon$  曲線は片対数紙上で直線になり、この直線は  $x/B$  が大きければほぼ平行する。ここで  $p$  は、

$$p = f_4(UB/\varepsilon, Q) \dots\dots\dots (4-15)$$

と表わすことができるが、以上の検討から希釈率  $p$  について考えてみると、この場合の  $p$  は  $Q$  が一定の場合、 $UB/\varepsilon$  の増加に従って減少し、 $UB/\varepsilon$  が一定の場合は  $Q$  と比例の関係にある。さらに、 $Q$  が一定の場合は  $b_T/B$  が大きいほど、また  $x/B$  が小さいほど  $UB/\varepsilon$  の変化が希釈率におよぼす影響は少ない。これらの結果を実験の場合に適用して考えてみると、1. 希釈率は流量が同じであっても拡散係数が大きい方が大になり、2. 汚水の放流速度が大きいか、または放流口付近の水域においては、希釈効果に対して本流の水流状態の相違があまり影響しないことがわかる。

2) 放流口幅  $a$ , 放流速度  $v_0$ , 放流量  $q$  が変化し、本流の流速  $U$ , 拡散係数  $\varepsilon$ , 河川幅  $B$  が一定の場合

式(4-14) から  $b/B$  は  $b_T/B$  のみの関数となるが、図-3, 図-5 からこの関係を検討してみると一次的な関係にあることが認められ、 $p$  を次のように書き改めることができる。

$$p \propto \frac{b_T}{B} \cdot \frac{Q}{q} \cdot \exp(\alpha_0 x) = \frac{b_T}{a} \cdot \frac{U}{v_0} \cdot \exp(\alpha_0 x) \dots\dots\dots (4-16)$$

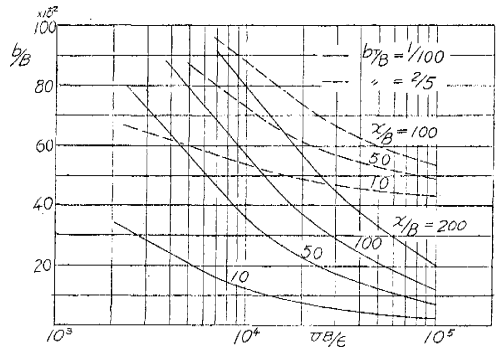
ここでは放流汚水の拡散希釈と  $p$  との関係を対象としているので、自己減衰の影響を無視すると、

$$p \propto \frac{b_T}{a} \cdot \frac{U}{v_0} \dots\dots\dots (4-17)$$

式(4-17) に式(4-10) の関係を代入することによつて、 $p$  と  $v_0/U$  または  $b_T/a$  との関係を求めることができるが、式(4-10) の基礎データが小規模の室内実験から得られたものであるので、式(4-10) を直ちに実際河川に適用するには疑問がある。しかし一方、前節で得られた結果では、放流口付近における拡散には本流の水流状態があまり関係しないことが明らかになっているから、放流口付近を対象とする式(4-10) は小水路の場合でも実際河川の場合でも大差ないとみてさしつかえなからう。従つて式(4-17) に式(4-10) を代入すると、

$$p \propto (v_0/U)^{\varepsilon-1} \dots\dots\dots (4-18)$$

図-7  $UB/\varepsilon$  と  $b/B$  との関係



が導かれ、 $p$  は  $(v_0/U)^{\xi-1}$  に比例することになるが、 $\xi$  は 図-6 から明らかのように  $v_0/U$  の値によつて異なり、結局以上の結果を総合すれば、 $p$  は  $v_0/U < 0.5$  の場合では  $\xi=1$  となり、 $v_0/U$  に関係しない。また  $0.5 < v_0/U < 1.0$  では  $\xi > 1$ 、従つて  $p$  は  $v_0/U$  に正比例する。  $1.0 < v_0/U$  になると  $\xi < 1$  となり、 $p$  は  $v_0/U$  の増加に従つて減少することがわかる。

3) 本流の条件は 2) と同様一定、放流量  $q$  も一定であるが、 $a, v_0$  が変化する場合式 (4-16) から明らかのように  $p$  は  $b_T/B$  のみの関係になり、式 (4-10) より、

$$b_T = \lambda a^{1-\xi} \left( \frac{q}{U} \right)^{\xi} \dots\dots\dots (4-19)$$

従つて、 $v_0/U < 0.5$  については、 $a, v_0$  によつて  $p$  は変化せず、 $0.5 < v_0/U < 1.0$  では  $a$  が小、 $v_0$  が大になるにつれて  $p$  が増加するが、 $1.0 < v_0/U$  になると、逆に減少する。

以上 2), 3) の結果からみると、放流速度はあまり大きくする必要はなく、本流の平均流速程度で放流するのがもつとも効果的であり、放流口の寸法は放流速度がこの条件を満足するように決めるべきであろう。

### 5. 結 語

河川または水路の片側から汚水が連続して放流された場合の拡散希釈には本流の水流状態および放流の状態が関係し、現象は極めて複雑になる。著者は実測資料を参考として理論的検討を行い、放流汚水の希釈率または汚染度の流下方向の変化を推定する方法を提案し、この場合、 $v_0/U, UB/\varepsilon$  が重要な要素となることを明らかにしたが、これを要約すると次のようになる。

一般に希釈率（放流汚水濃度と放流汚水の平均濃度の比率）は  $v_0/U$  と密接な関係があり、 $v_0/U < 0.5$  では汚水の放流速度  $v_0$ 、放流口幅  $a$  の相違は希釈率には関係しないが、 $0.5 < v_0/U < 1.0$  になると、希釈率は  $v_0$  が大きく、 $a$  が小さいほど大になり、 $1.0 < v_0/U$  では逆に減少する。一方、本流の水流状態がおよぼす影響として、 $UB/\varepsilon$  が小さいほど希釈率は大きく、放流口付近の水域または放流速度が大きい場合においては  $UB/\varepsilon$  の相違があまり影響しないことが明らかになった。

放流汚水の水質は前述したように下流水域の利水目的に応じて規制するのが合理的であり、本研究の結果によれば、このような規制を行うことも可能となる。また、放流汚水によつて汚染される水域は  $b$ -曲線から推定できるから、上水、工業用水の取水口の位置を選定する場合に  $b$ -曲線を計算から求めて、放流汚水の影響がおよぶ範囲を予想することもできる。さらに本研究の結果は、汚水の放流をポンプ注水にするか、自然放流にするかといった問題、これに関する放流口の大きさ、放流速度の決定など、汚水の放流計画をたてる上にも基本的な指針を与えるものである。なお、引続き淀川、神崎川などの実際河川について上述した具体的な問題を対象とした実験研究を進めているが、その結果については追つて発表する。

終りに本研究に際し終始御指導をいただいた京都大学岩井教授、合田助教授、また実験に當つて御協力いただいた岩佐助教授に厚く謝意を表する。

### 参 考 文 献

- 1) Fair, G.M. and Geyer, J.C.: Water Supply and Waste Water Disposal, Jhon Wiley & Sons, Inc., N.Y., 1956.
- 2) Bosanquet, C.H. and Carey, W.F.: Dust Deposition from Chimney Stacks, proc. Inst. Mech. Engrs., Vol.162 (1950), p.355.
- 3) Sutton, O.G.: The Problem of Diffusion in the Lower Atmosphere, Quart. J. Roy. Meteorol. Soc., Vol.73 (1947), p.726.
- 4) Air Pollution Hand book, McGraw-Hill Book Comp. Inc., 1956.
- 5) Meteorology and Atomic Energy, United States Department of Commerce Weather Bureau for U.S. Atomic Energy Commission, July 1955