

建設省土木研究所 正員 須賀 孝三
建設省土木研究所 正員 本間 久枝

塩水くさび、あるいは緩混合流においても内部境界面が明瞭な場合には、二層流としての取扱いが可能である。このとき、下層から上層への塩水の混入量はすでに把握されているので、⁽¹⁾ここでは上層における濃度分布について前報の⁽²⁾補足考察として、実験ならびに実測値に基づくモデルの適合性、拡散係数と内部抵抗係数との関係、および混合形態の分類法に関する一試案について報告する。

上層の濃度分布は、一次元流の場合比較的単純な拡散現象として表現され、数値計算により高精度にシミュレートされることが期待される。このことは次の単純化された解析モデルにより相当程度まで現象が説明されることから予想される。拡散現象として鉛直成分 D_z が卓越し、定常状態において塩水塊の沈降速度が無視し得、下層濃度 C_2 が一定で一次元流として一定流速 u を、また一定水深 h_1 を仮定するとき、濃度 C の拡散式は、($D_z = \text{一定}$)

$$u \frac{\partial C}{\partial x} = D_z \frac{\partial^2 C}{\partial z^2} \quad (1), \quad \therefore N \frac{\partial C}{\partial X} = \frac{\partial^2 C}{\partial Z^2}, \quad \left(X = \frac{x}{h_1}, Z = \frac{z}{h_1}, C = \frac{C}{C_2}, N = \frac{u h_1}{D_z} \right) \quad (2)$$

と表わされる。(2)式は(1)式の無次元表示である。境界条件として、 $Z=0$ ($z=0$, 内部境界面上)において $C=1$ ($C=C_2$), $Z=1$ ($z=h_1$: 水面)において $\frac{\partial C}{\partial Z}=0$, および $X=0$ ($X=0$: 上流端)において $C=\text{定数}$ を与えるとき、(2)の解は

$$C=1 - \sum_{s=0}^{\infty} \exp\left\{-\frac{(2s+1)^2}{4} \frac{\pi^2 X}{N}\right\} \cdot \sin \frac{2s+1}{2} \pi Z \left(\frac{4}{(2s+1)\pi} - 2 \int_0^1 f(Z) \sin \frac{(2s+1)\pi Z}{2} dZ \right) \quad (3)$$

$$f(z=0) \text{ のとき } C=1 - \frac{4}{\pi} \sum_{s=0}^{\infty} \frac{1}{2s+1} e^{-\frac{(2s+1)^2 \pi^2}{4} T} \sin \frac{(2s+1)\pi Z}{2}, \quad \left(T = \frac{X}{N} \right) \quad (4)$$

と表わされる。

図-1 は(4)式に基づく計算曲線と表-1 に示す3ケースの実験および実測値について表中

の N の値を与えたときの分布を示したものである。図-2 は濃度が下層

濃度の5割および1割となる高さについて、実験および実測値と計算値とを比較

したもので、この結果に基づいて N の値が決定されて

いる。長良川の場合は非定

常性の影響を相当程度受けて

いるもので、他の2ケースに

比べパラッキは多少大きい。また、実測値では水面

付近の濃度が計算値より大

きい。これは不定流効果、河道の三次元性、あるいは

風等の影響が加わったため

	ε	F_1	$Re F_1^2$	f_1	N	K
100m 大型水路(6-8)	0.011	0.49	1.81×10^4	27×10^{-3}	5×10^4	1.84×10^3
信濃川 S48.8.22	0.011	0.39	7.39×10^4	1.3×10^{-3}	2.5×10^4	7.88×10^2
長良川 S49.11.23	0.019-0.012	(時間と場所により変化)			2.5×10^4	—

表-1 N および K の値 (実験および実測)

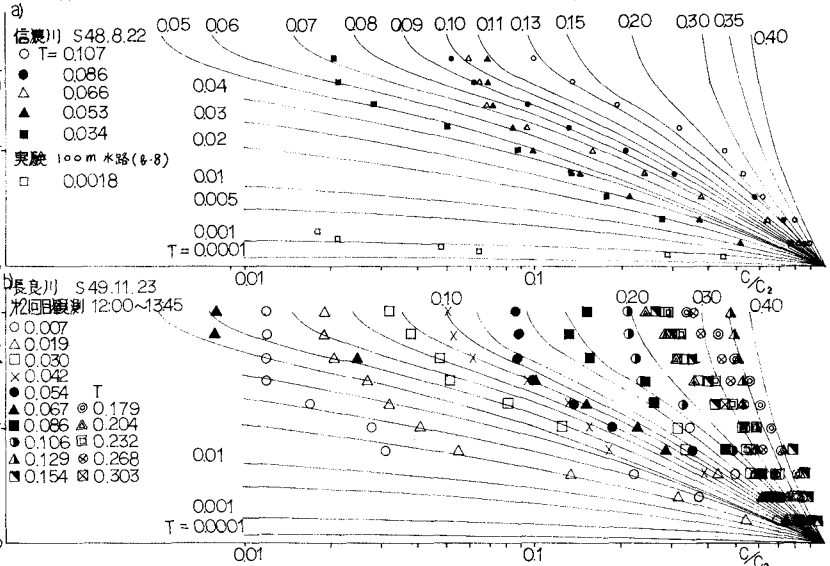


図-1 鉛直濃度分布。a) 準定常状態の場合 b) 不定流の場合

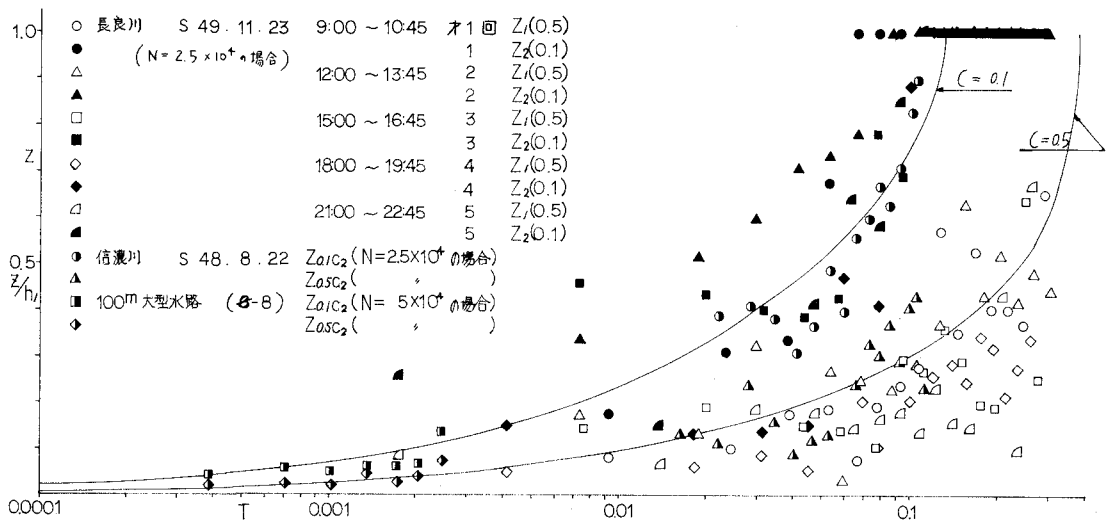


図-2 鉛直濃度分布のあてはめ

と思われる。したがって、図-1 では $Z_{c0.1} \sim Z_{c0.5}$ の間に注視すべきである。なお、実験および実測値では内部境界面を決めた上、適当に区間割りを行ない、その間での平均の h_i をとって整理しているの、 $h_i = \text{const}$ の仮定が与すると多少の問題は残されている。また、 h_i の縦断変化のほか、 f_2 の縦断変化の影響(特に長良川資料)や橋水路上の先端位置の把握が必ずしも明確であるとはいえず、実測資料ではこういった誤差も含まれているものである。

このような拡散現象を考えると、 D_z は内部抵抗係数 f_i や進行係数 E とある関係を有することが示される。拡散係数を簡単のため、Lane-Kalinske 型とすれば、 $u_z \neq 0$ のとき $\tau_{f_i} h_i \neq f_i^2 / 2g h_i$ であるから、

$$D_z = \frac{h_i u_{f_i}}{K} = \frac{h_i}{K} \sqrt{\frac{\tau_{f_i}}{\rho_i}} = \frac{h_i u_{f_i}}{\sqrt{2} K} \sqrt{f_i} \quad (5) \quad \therefore N = \frac{u_{f_i} h_i}{D_z} = \frac{\sqrt{2} K}{\sqrt{f_i}} \quad (6)$$

$$\text{また } E = -\frac{D_z (\partial C / \partial z)}{C_z \partial z} = -\frac{u_z (\partial C / \partial z)}{N \partial z} = \frac{2 u_z}{N} \sum_{s=0}^{\infty} \exp\left[-\frac{(2s+1)^2 \pi^2}{4} T\right] \quad (7)$$

と表わされる。長良川では5回時間をずらして観測しているが、 N の値は全て大略 25×10^4 であり、信濃川のほぼ定常状態のときの値と一致した。(6)式に基づく K の計算値は表-1 のようであり、Lane-Kalinske の値 $K=15$ より格段と大きい。しかし、このような非常に大胆な仮定にも拘らず、 K として大略1万程度の値を与えることにより、濃度の鉛直分布と縦断分布の推定が可能であることが明らかにされた。

図-3は進行速度 E の計算値を示す。(7)式では E は $(\partial C / \partial z)_{z=0}$ に比例するとしているので、 X の増大と共に減少することとなるが、実際はこのような熱伝導とは異なる現象も含まれ、境界面の波動と拡散現象の影響を強く受け、 F_i の増大と共に E は飛躍的に増大する。しかし、ちなみに $E_{u_i} = 12 \times 10^4$ (信濃川)、 $E_{u_i} = 26 \times 10^4$ (100m 水路) とオーダー的にはほぼ一致しているとみなすことができる。

海水路上現象は弱緩みおよび強混合と分類されているが、現在明確な定義はない。濃度分布 $(C-Z)$ の実測値から $C_z = 1/2$ と $C_z = 1/10$ に意味を持たせることにすると、表面において上記の値となるのはそれぞれ $T=0.38$ および $T=0.13$ である。したがって、目安として、水面濃度が C_{10} 以下を弱混合、 $C_{10} \sim C_z$ を緩混合、 C_z 以上を強混合と定義することゝを提案してみたい。混合形態は縦断的にも変化する。

(参考文献) (1)須賀高橋：年講S51、(2)須賀：年講850 (3)信濃川下流工事事務所：信濃川下流橋水路上解前報告書S48.12 (4)木曾川下流工事事務所：干塩害調査報告書(昭和49年度 資料編)

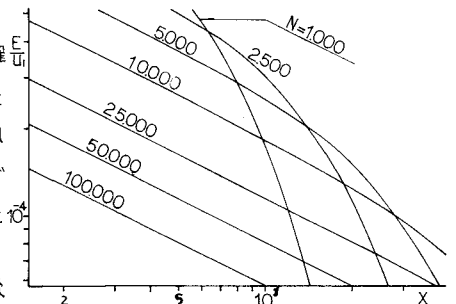


図-3 進行係数の計算曲線-(7)式