

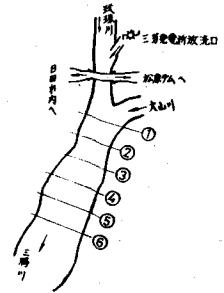
長崎大学工学部 正・武政剛弘 古本勝弘 藤田広章

1)はじめに

河川の側面から水温の異なる水が流入する場合に2つの水塊が流下しつつ混合してゆく過程を調べることは、河川における排水口、取水口の位置の選定や、水温の影響範囲の決定に役立つ等、具体的な水利用面に重要な意義を有する。筆者らは上記の目的から、水力発電所の河川への放流部で水温分布の測定を行ない河川横断方向の乱流拡散係数について検討した。

2)観測方法

観測は水温の差が比較的顕著で、かつ滑らかに合流している岡山県勝山町湯原第二発電所放流部(旭川)；及び大分県日田中三芳発電所放流部(大山川、玖珠川合流部)の2か所で行なう。観測の時期は合流水の温度差が顕著に表われる盛夏を選び、特に晴天が連続した期間をとり、前者は昭和53年7月20日、後者は昭和53年8月17日、および9月1日に行なう。図-1に示すように流下方向50m間隔で6断面を設定し、各断面で横断方向の詳細な水温分布および横方向温度勾配が最大の地点で流速を測定した。その他、水面勾配、水深、流下流量を同時に測定している。ただし放水流量は発電所の流量計の値である。



3)観測結果および解析

日田における第一回目の観測結果は、表-1に示すとおりである。図-2はその際の各断面における温度分布を示したものである。これによると、温度分布は1地点から3地点までは明らかに流下するに従って温度勾配が緩やかになっていることが分かる。4地点から5地点までは逆に温度勾配が急になっている。この現象は水塊の集中による温度分布への影響が乱流拡散による水温の拡散より卓越した結果と思われる。この現象を表-1の観測結果から考えてみると、4地点あたりから流速が緩やかになり、同時に水面勾配も減少しており流れの状態が1〜3区間のそれとほかなり異なっていることがうかがわれる。実際観測現場においても4、5地点付近の水温の混合領域には大きな岩などがあり流路がかなり歪められている。また、この地点では水深もかなり大きく流れも緩やかで水塊の集散による温度分布への影響が十分あるものと考えられる以上のことを考慮して、水路系が比較的なだらかで、岩などの障害物が少なく流路が比較的安定して、水塊の集散の影響が小さいと考えられる断面区間のみで横方向拡散係数の算定を試みた。

今、2水塊の合流点を $x=0$ とし、流下方向に x 軸、横断方向に y 軸をとる。そして任意の点 $P(x, y, t)$ における水温を θ 、水深を h 、流速は u 方向のみと仮定し u とする。また温度の分子拡散は乱流拡散に比して非常に小さく無視し、 x 方向の拡散は y 方向に比して小さく無視する。そして水深 h は一定と仮定し、 P 点における単位面積で高さ h の木柱に

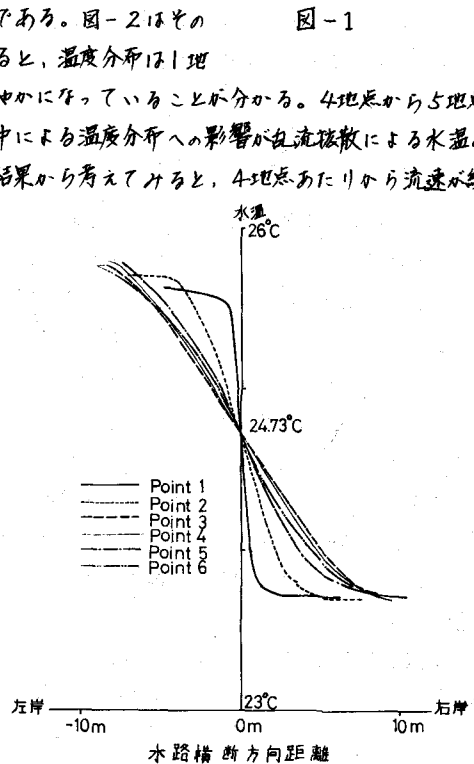


図-2 日田53年8月17日各断面における温度分布

対する定常状態の熱流の連続の式を考えると

$$U \frac{\partial \theta}{\partial x} = D_z \frac{\partial^2 \theta}{\partial z^2} \quad \dots (1) \quad \text{を得る}$$

ただし (D_z ; z 方向の乱流拡散係数) である。(1)式において z に関するモーメントを考えると

$$D_z = \frac{U}{2} \frac{\partial}{\partial x} \left\{ \frac{\int_{-\infty}^{\infty} z^2 \frac{\partial C}{\partial z} dz}{\int_{-\infty}^{\infty} \frac{\partial C}{\partial z} dz} \right\} = \frac{U}{2} \frac{\partial \sigma_d^2}{\partial x} \quad \dots (2) \quad \text{を得る}$$

(2)より求めた各河川の各断面の横方向乱流拡散係数の値を表-2に示す。一般的には横方向乱流拡散係数については $D_z = \alpha \cdot U_* \dots (3)$ (α ; 係数, U_* ; 水深 $U_* = \sqrt{g \delta I}$ (摩擦速度) が知られている。(3)式に(2)式で求めた D_z の値を代入して得られた α の値も同時に表-2に示す。(3)式における α の値については Elder は $\alpha = 0.23$ を与えている。また Sayre や Chang らは人工水路における実験で $\alpha = 0.17$ を与えている。そして Glover は自然河川において $\alpha = 0.72$ の値を得ているが、今回の観測においては資料不足で断定は出来ないが、日田における $z \sim 3$ 断面は 1, 2 回の観測ともに前述した α の値に比してかなり小さくなっている。他の断面は比較的上記の値に近い。 $z \sim 3$ 断面における α の値が大きくなる原因はやはり水面下の岩や水深の変化に伴う水塊の集散によるものと思われる。水塊の流下速度 U で移動する座標系で考えると(1)式は次のようになる

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = D_z \frac{\partial^2 \theta}{\partial z^2} \quad \dots (4)$$

そして両岸における熱収支はないものと仮定し、合流時の初期条件として半無限領域を考え $t=0$ で $\infty > z > 0$ において $\theta = \theta_0$ (温水側), $-\infty < z < 0$ において $\theta = 0$ (冷水側) を用いて解を求めると

$$\left. \begin{aligned} \infty > z > 0 \quad & \theta = \frac{\theta_0}{2} \left(1 + \operatorname{erf} \frac{z}{\sqrt{4 D_z t}} \right) \\ -\infty < z < 0 \quad & \theta = \frac{\theta_0}{2} \operatorname{erfc} \left(-\frac{z}{\sqrt{4 D_z t}} \right) \end{aligned} \right\} \quad \dots (5)$$

を得る。(5)式に(2)式より求めた D_z の値を用いて水温分布を計算した結果と、観測結果を図-3に示す。グラフによると湯原においては理論曲線にかなり一致しているが、日田では多少の食い違いがみられる。これは断面 1 ~ 2 と $z \sim 3$ で乱流拡散係数の値が大きく異なっているのに D_z を一定とみなした結果によるものと考えられる。

結論として

- ① α の値としては、従来得られている値に近いものが得られた。
- ② 自然河川においては水塊の集散の影響が顕著であるため、拡散方程式における z 方向の移動項を考慮する必要がある。

参考文献) 1) 物理数学(初巻) 小平吾男, 文献社 2) 灌漑水質の研究 松原, 奥田, 木澤の研究第2巻第3号

3) EFFECTS OF DENSITY DIFFERENCES ON LATERAL MIXING IN OPEN-CHANNEL FLOWS; C.I.T. 170

表-1 日田 53年8月18日の観測結果

場所	1	2	3	4	5	6
最高水温 水面下10cm	25.70°C	25.70	25.725	25.725	25.75	25.72
最低水温 水面下10cm	23.72°C	23.70	23.72	23.72	23.70	23.70
流速 水深0.6m	0.907 m/sec	0.876	0.556	0.442	0.447	0.494
水深	0.6 m	0.55	0.85	0.5	1.05	0.8
動水勾配	0.00327	0.00452	0.00107	0.00044		
流量	大山川 4.6083 m³/sec	排水流量 20 m³/sec				

表-2 乱流拡散係数 α の値

場所	断面	乱流拡散係数 D_z	α
日田	1 ~ 2	0.0206 m²/sec	0.263
S.53	8.17	0.0805 m²/sec	0.809
日田	1 ~ 2	0.0266 m²/sec	0.278
S.53	9.1	0.0997 m²/sec	0.912
湯原	1 ~ 3	0.0033 m²/sec	0.120

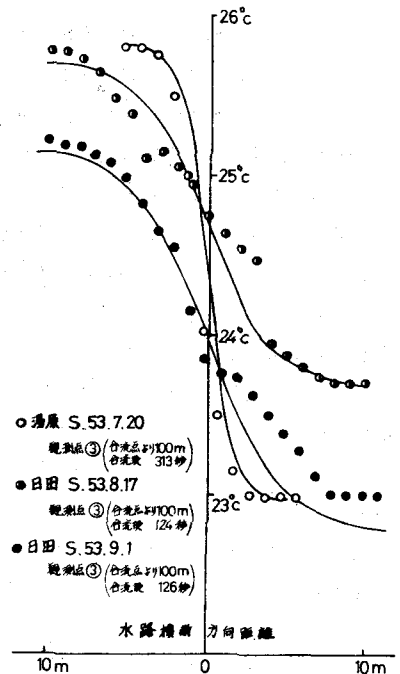


図-3 理論曲線下の観測結果