

京大防災研究所 正員 村本嘉雄

南水路弯曲流の内部機構は前報で述べたように、温度変化の特性より、弯曲部における発生域、遷移領域(発達域)、一様域(完全発達域)と下流直線部における減衰域に分類できると考えられる。こうした領域区分は、境界面で限定された噴流、渦流拡散などの現象における領域区分と同様の側面をもつ、つまり、現象の初期状態と最終状態の把握と同時に各領域の存在範囲を明確にする必要がある。

本報告では、境界条件、水理条件の異なる若干の実験結果より温度の変化および領域区分を検討し、実河川の領域区分を推測するとともに初期状態(発生域)について、底面せん断応力の影響を考慮した解析を試みる。

1. 温度変化の実験的検討と実河川の領域区分の予測
弯曲偏角 $\theta = 90^\circ$ 、中心曲率半径比 $R' = 1$ 、3本の弯曲水路(断面比 $b = -4 : m = 0.0095$ 、 $i = 1/500$)で行った流速、流向測定値より算定した η 、 ξ の流下方向の変化とそれを図1、図2に示す。同様に $\theta = 180^\circ$ 、 $R' = 3$ 、 $i = 1/500$ ($Fr = 0.57$) および $i = 1/200$ ($Fr = 0.88$) の2本の弯曲水路(断面コンフリート: $m = 0.013$) における η 、 ξ の変化は図3のようになる。

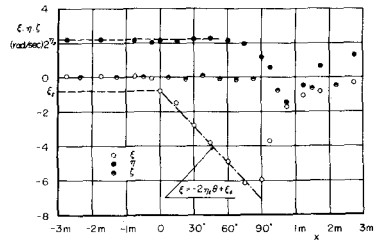


図1 温度の変化 ($\theta = 90^\circ$, $R' = 1$, $Re = 3.4 \times 10^4$, $Fr = 0.58$)

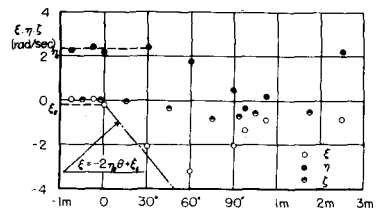


図2 温度の変化 ($\theta = 90^\circ$, $R' = 3$, $Re = 3.2 \times 10^4$, $Fr = 0.56$)

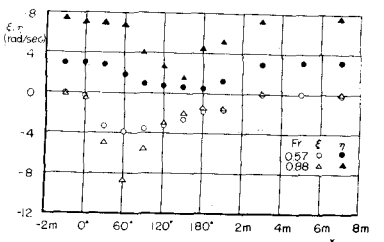


図3 温度の変化 ($\theta = 180^\circ$, $R' = 3$)
 $Re = 2 \times 10^4$, $Fr = 0.57$; $Re = 5 \times 10^4$, $Fr = 0.88$

$R' = 1$ の場合は、 $x = 0 \sim 75$ の領域で $\xi \sim 0$ 、 $\eta \sim \eta_s (= \text{const.})$ 、 $\xi \sim 0$ である、発生域の特性を示し、温度保存則が導かれた式にほぼ一致する。また、 $x = 75 \sim 1m$ では遷移領域、 $x = 2m$ 以降では減衰域に相当すると考えられる。

$R' = 3$ の場合は、図2、図3のいずれも $x = 0 \sim 60$ で発生域、 $x = 60 \sim 1m$ で遷移領域、 $x = 2m$ 以降では減衰域の特性を示しており、水路条件 θ 、 i 、 m および水理条件 Re 、 Fr の差違は領域の存在範囲に明瞭な影響を与えていない。

これらの諸条件の影響についてはさらに広範な検討が必要であるが、現状では R' を主要素と看做し、偏角の大きさとより各領域の存在範囲を予測すると考えてみる。

つぎに、実河川における R' と θ の対応を知るために全国主要河川の資料¹⁾ および Mississippi 河、Missouri 河の平均値²⁾ を図示すると図4に示すようになる。図4で発生域の限界線はこれより行き、南水路の実験値より決定したもので、一様域の限界線は曲管の形状損失に関する実験式³⁾ から一様域としての取り扱える範囲と求めたものである。この図より、一般の目安程度であるが、実河川の弯曲部は

おいては、全領域と一様域とする単純な取り扱いとはできなく、
発生域および遷移領域の支配的になると考えられる。

2. 発生域に関する解析

図2の分布にみられるように、発生域においても温度保存則にもとづく近似式では十分でなく、弯曲部での底面せん断応力の影響を考慮する必要がある。いま、半径 \$r\$ の取り扱って、\$\gamma_0\$ 成分の Potential 流による変形に起因する \$\gamma\$ 成分の底面せん断応力が規制されると仮定して、これに関する温度式はつぎのように表わされる。

$$r\gamma_0 \frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{U}{r} \right) - U \frac{\partial}{\partial \theta} \left(\frac{\xi}{r} \right) = -C \frac{\partial^2 \xi}{\partial z^2} \quad (1)$$

ここで、円流の場合 $C=0$, $\gamma_0 = \frac{U_0}{V} (1-z')$

乱流の場合 $C = \kappa h U_0 z' \sqrt{1-z'}$, $\gamma_0 = \frac{U_0}{\kappa h} \frac{\sqrt{1-z'}}{z'}$

である。ここで、 $z' = z/h$, h : 水深, U_0 : 主流方向の摩擦速度である。図4. 定河川領域の平均値と、 γ_0 の変形、その移送に寄与する主流速と $U = C/r$ ($C = \text{const}$) と仮定すると、(1)式は

$$\frac{\partial \xi}{\partial \theta} = -2\gamma_0 + C \frac{r^2}{Ch} \frac{\partial^2 \xi}{\partial z'^2} \quad (2)$$

となる。つまり、 $\frac{\partial \xi}{\partial \theta} = 0$, $\frac{\partial^2 \xi}{\partial \theta^2} \neq 0$ の場合と $\frac{\partial \xi}{\partial \theta} \neq 0$ の場合とに分けて上式の解を求める。

(i) $\frac{\partial \xi}{\partial \theta} = 0$ の場合: $\xi \sim -\frac{\partial \psi}{\partial z}$ と仮定、境界条件として、 $z'=0$ で $\psi=0$, $z'=1$ で $\xi=0$ とおいて $\int_0^1 \psi dz' = 0$ と用いて (2) 式より ξ, ψ を求めるとつぎのようになる。

(a) 円流 $\xi = -\frac{C}{15r^2} \left(\frac{U_0 h}{V} \right)^2 (5z'^3 - 15z'^2 + 12z' - 2) \quad (3)$

$\psi = \frac{Ch}{60r^2} \left(\frac{U_0 h}{V} \right)^2 (5z'^4 - 20z'^3 + 24z'^2 - 8z')$ (4)

(b) 乱流 $\xi = -\frac{C}{2\kappa^2 r^2} (4 \ln z' - 9z' + 9) \quad (5)$

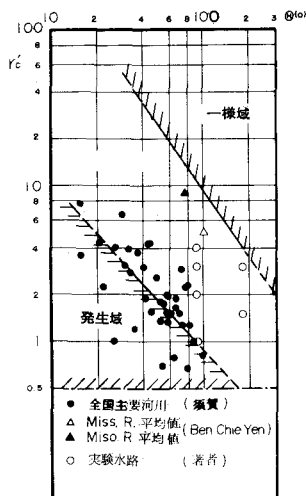
$\psi = \frac{Ch}{4\kappa^2 r^2} (8z' \ln z' - 9z'^2 + 10z') \quad (6)$

(ii) $\frac{\partial \xi}{\partial \theta} \neq 0$ の場合: (2) 式で $\xi(\theta, z) = \xi_1(\theta, z) + \frac{2C}{r^2} \iint \frac{\gamma_0}{C} dz dz'$ とおき、求解を求めるとつぎのようになる。

(a) 円流 $\xi_1 = \frac{A_1}{\sqrt{\theta}} \exp \left\{ -\frac{Ch^2 z'^2}{4Vr^2\theta} \right\} - \frac{C}{3r^2} \left(\frac{U_0 h}{V} \right)^2 (z'^3 - 3z'^2) \quad (7)$

(b) 乱流 $\xi_1 = \frac{A_2}{\sqrt{\theta}} \exp \left\{ -\frac{Ch^2 z'^2}{4\kappa^2 U_0 r^2 \theta} \right\} - \frac{2C}{\kappa^2 r^2} \ln z' \quad (8)$

ただし、 $t = \int_0^{z'} \frac{dz'}{\sqrt{z' \sqrt{1-z'}}}$, A_1, A_2 : 定数。



以上の数式はつぎの考察および実験結果との比較検討は譲渡略し報告する。

- 1) 縄登: 土木技術資料 5-4. (1962)
- 2) Ben-Chie Yeh: Bull. of State Univ. of Iowa (1965)
- 3) 伊藤: Trans. ASME. Series D vol.81 (1960)