

開水路流水の縦分散に対する粗度の影響に関する研究

京大防災研究所 正会員 村本嘉雄 正会員 大西行雄
神戸市 正会員 山本久五

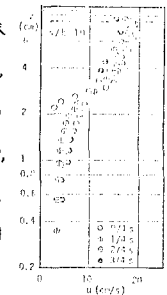
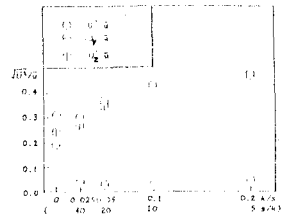
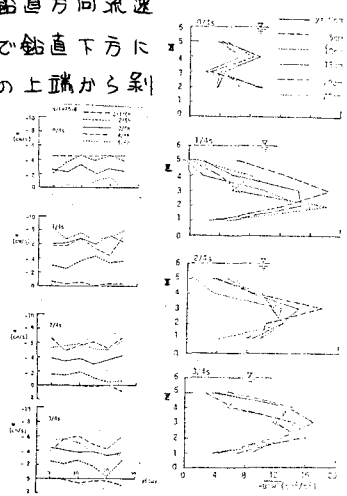
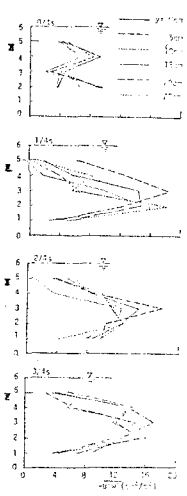
1. まえがき：実河川の縦分散現象の水理模型水路としての人工粗度水路の適用性を明確にするために著者らは様型人工粗度水路における縦分散の解明を進めている。その結果、縦分散機構を支配する流速分布特性と乱流拡散係数とに及ぼす粗度の影響を明らかにする必要があることがわかった。ここでは様型粗度水路における流速分布および Reynolds 応力の分布特性を実験的に明らかにし、鉛直および横拡散の実験結果によって乱流拡散係数を見出す。つづいてそれらを用いて縦分散係数の推定を行い、最後に縦分散に関する相似律の検討を行う。

2. 実験とその結果：実験は、幅 60 cm、長さ 145 m、こう配 1/500 の水路内に様型人工粗度として 20×20×3 mm の等辺山型鋼を水路底面に設置し、図 1 流速のシミュレーション効果で、表 1 のような無次元化した相対粗度間隔 δ (桁高 $R=2$ cm) および実験条件で行った。流速測定にはフロパラ流速計および 2 成分 Hot Film 流速計を用い、拡散実験は、アルコールで比重を調節した 3% 食塩水の連続泉源を流水断面中央に設けて行った。図 1 は、流下方向流速 u 、 u を鉛直方向に平均した $\bar{u}$ 、横方向に平均した $\bar{u}_x$ の $\bar{u}$ (— は全断面の平均値を表す) からの二乗平均根を $\bar{u}$ で無次元化して示したものであり、同図から粗度間隔が密であれば横方向の流速分布はほぼ無視できることがわかる。 $\bar{u}_x$ の鉛直方向分布を粗度上 (2/3) および粗度間隔を 4 等分した断面 (おろろろ) について示せば図 2 のようである。

路床付近を除いてほぼ対称分布則が成立している。また、鉛直方向流速成分 w の分布は図 3 に示すようであって、粗度間のほとんどで鉛直下方に流量が供給されていることを示している。これは、粗度要素の上端から剥離した水流が主流に沿って主流域を増大させ、ついで再付着点から底面近傍の流速分布を発達させることによると判断される。したがって粗度前面では急激な上昇流が存在するものと思われる。つぎに、Reynolds 応力のうち $-\overline{uw}$ の分布は、図 4 のように主流域で直線分布をし、路床付近の死水域で減少しており、流速分布と対応した分布をしている。一方、 $-\overline{uw}$ の分布は横方向にはほぼ一様であり、 $\delta=10$ のときに $-\overline{uw}$ は極めて小さくなっている。最後に、鉛直拡散係数 E_z を拡散実験の結果に Moment 法を適用して、ついで渦動粘性係数が乱流拡散係数と等しいとみなし (1) 式から、および流速分布 $E_z = -\overline{uw} / \frac{d\bar{u}}{dz}$ (1) から Kármán 定数 K を推定し (2) 式からそれと求め $E_z = \frac{K}{6} h \bar{u}$ (2)

表 1 実験条件

s/k	Q (1/s)	n (cm)	U (cm/s)	U_g (cm/s)
5	7.8	7.08	18.4	3.72
10	8.2	9.39	14.6	4.29
20	8.2	8.40	16.3	4.06
40	8.0	9.73	16.9	3.94
∞	8.0	3.61	36.9	2.66

図 2 $\bar{u}_x$ の分布図 3. w の分布図 4. $-\overline{uw}$ の分布

MURAMOTO YOSHIO, OONISHI YUKIO, YAMAMOTO KYUGO

め、 hL_k で無次元化して表2に示す。11式による値は若干大きいのであるが3方法による値はほぼ等しい。一方、無次元横拡散係数 $\frac{E_y}{hU_k}$ は拡散実験によって得た値を表3に示しているが、 $s/k=10$ のとき極小値0.103を持ち、 $s/k=\infty$ のとき最大値0.466である。

表2 $\frac{E_y}{hU_k}$ の値

s/k	(広瀬実験より)	(堀井計算より)	(門田計算より)
5	0.0453	0.056	0.0533
10	0.0453	0.056	0.0572
20	0.0533	0.060	0.0622
40	0.0490		0.0583
∞			

表3 $\frac{E_y}{hU_k}$ の値

s/k	E_y/hU_k
5	0.378
10	0.103
20	0.394
40	0.431
∞	0.466

3. 分散係数の推定：枝型粗度水路における分散係数 D をフジの3つの方法によって推定し実測値と比較する。すなわち、①主流域における分散係数を上述の K の実測値を用いてElderと同様の方法で求め、その値を死水域モデルでの分散係数について村本²⁾が示した推定式に代入する方法(希字D)。

②Fischerの示した D_{wL} (3) による方法(希字F)。ここで、 u は $u_{1/4g}^{1/2} u_{1/2g}^{1/2}$ (4) によって求められている。③分散域では渦流効果と乱流拡散効果が釣り合っているの、 $u \frac{\partial C}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial y} (E_y \frac{\partial C}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z} (E_z \frac{\partial C}{\partial z})$ (5) (’は断面平均量からの

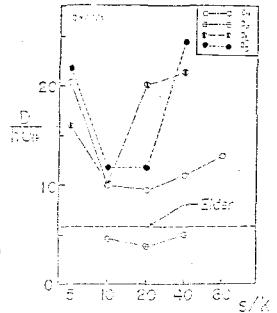
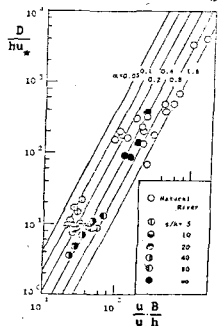


図5. 分散係数の推定法の比較
偏差を表す)が導かれる。一方、分散係数の定義式は $D = -\int_{-h}^h u C dy dz$ (6) であるので、流速分布の実測結果を用い、 $\frac{E_y}{hU_k} = 0.23$, $\frac{E_z}{hU_k} = 0.087$ として(5), (6)式を数値計算して求める方法(希字L)。以上の3方法による推定値を分散実験結果からMoment法により求めた値(希字M)と比較したのが図5である。 s/k による変化の傾向はいずれの推定法においても実測値の傾向と同じである。実測値との差は、 D_D では主流域と死水域の区分の仕方、 D_L では $\frac{E_y}{hU_k}$ および $\frac{E_z}{hU_k}$ の仮定にあると思われる。この差を改善すれば差は小さくなる。しかし、 D_F の場合は流速分布の偏差のみでは剥離域の死水域としての効果を十分に反映していないためと考えられ、枝型粗度水路の分散係数の推定法としては不適切であると思われる。

4. 縦分散の相似律：縦分散方程式 $\frac{\partial C}{\partial x} + u \frac{\partial C}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial y} (E_y \frac{\partial C}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z} (E_z \frac{\partial C}{\partial z})$ (7) を無次元化したときの係数が模型と原型で等しくなることから $D_L = U^2 t_L$ (8) (希字Lは相似比を表す)が導かれる。縦分散現象における特性時間としてLagrangian Time Scale t_L とすれば、実河川では横方向の流速分布と横拡散が重要であるといわれているので、 $t_L = \frac{1}{u} \left(\frac{B}{h} \right)^2$ (9) で推定される。いま、 $E_y = \alpha h U_k$ とく(8), (9)式より $\frac{D}{hU_k} \propto \frac{1}{\alpha} \left(\frac{U}{U_k} \right) \left(\frac{B}{h} \right)^2$ という関係が求まる。この比例定数を横方向流速偏差の比較的大きい実験ケースで求めると、 $s/k=20, 40$ および ∞ のときそれぞれ0.020, 0.025 および 0.026 とほぼ一定であり平均的に $\frac{D}{hU_k} = \frac{0.024}{\alpha} \left(\frac{U}{U_k} \right) \left(\frac{B}{h} \right)^2$ (10) 図6. 相似性の検討。



を得る。粗度間隔が密な場合には鉛直方向の流速分布が重要であるが、実河川との相似関係を考える場合に、人工粗度の効果加どの程度の横拡散係数に相当するかのパラメータであると解釈すると粗度間隔と水路幅を変化させることにより図6のように α を広範囲に変えることが可能であって、実河川との相似関係を満足させることができよう。

5. あとがき：ここでは、実験結果のまとめを行ったが今後適当な実河川を対象として相似則の適用性を検討する必要があろう。

(参考文献)

- 1) 村本・山本；土木学会年報, 1978
- 2) 村本・道上・中川；水理講演会論文集, 1976
- 3) Fischer, H.B.; Proc. ASCE, HY6, 1967