

槽型粗度水路の分散特性に関する実験

京都大学 防災研究所 正員 村本 嘉雄
 京都大学 大学院 学生員 山本 久五
 京都大学 大学院 学生員 ○吉松 康公

1. まえがき : 槽型粗度水路の縦分散特性に関しては, El-Hadi¹⁾と村本・山本²⁾の実験があって, 前者では粗度間隔-粗度高比 $s/k \approx 9$ で分散係数が最大になり, 後者では分散係数が滑面より粗面の方が小さく, $s/k \approx 40$ で最小となる結果を得ている。また, 分散に対する粗度効果の研究は死水域モデルで代表されるように分散物質の貯留によって分散係数が増加することを指摘している。以上のように縦分散に対する人工粗度の影響についてはさしに検討する必要があるが, 本報告では至模型で対象となる水路幅-水深比 $B/h < 5$ と小さく, 路床こう配 $i = 1/100$ の急こう配で行った実験結果について述べる。

2. 実験の概要 : 実験水路は, 全長 20m, 幅 5cm で, $i = 1/100$ と $1/500$ の 2通りに設定した。人工粗度として 5×5 mm 角の真鍮棒を $s/k = 2.5, 5, 10, 20, 40$ の 5段階に変えて全長に設置した。滑面および粗面の各ケースについて, 水深 $h = 1 \sim 5$ cm の間 1 cm 毎に抵抗特性を検討し, $h = 1, 2, 4$ cm のとき流速分布および塩水の濃度測定を行った。流速分布は, 粗度間で 2ないし 3 断面を測定し, 濃度測定は投入点から 0.5~1.5m の 6 断面について水路中央の 1/2 水深地点で行った。

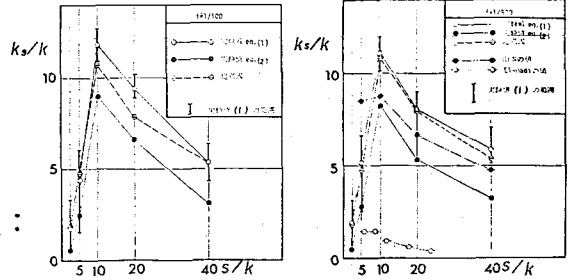


図-1 相対粗度高と粗度間隔の関係

3. 槽型粗度水路の抵抗と流速分布の特性 : 本実験は, B/h が小さいので, 代表水深として水深 h , 径深 R , 側壁の影響を除去し

	$i=1/100$ $h=4$ cm			$i=1/500$ $h=4$ cm			$i=1/500$ $h=2$ cm		
	U^2	U^2	U^2	U^2	U^2	U^2	U^2	U^2	U^2
$s/k = \infty$	318	238	18.3	31.2	18.8	3.44	28.9	17.2	3.29
$s/k = 40$	112	91.2	5.56	19.4	12.9	2.42	6.42	3.60	1.10
$s/k = 20$	112	91.2	5.56	19.4	12.9	1.16	6.18	4.83	0.174
$s/k = 10$	107	85.8	4.93	19.2	16.3	0.72	6.78	5.10	0.155
$s/k = 5$	52.8	36.2	9.27	25.6	23.0	0.52	9.63	6.65	0.0716
$s/k = 2.5$	103	70.4	6.55	26.5	19.9	2.55	17.6	11.5	0.288

表-1 平均流速からの偏差

に径深 R を用いた摩擦速度 U_{*h} , U_{*R} , U_{*R1} を採用して, 平均流速の対数則に関する検討を行った。また, 路床表面は $s/k \geq 10$ で $\varepsilon = 0$, $s/k = 5$ で $\varepsilon = 0.8k$, $s/k = 2.5$ で $\varepsilon = k$ にとった。その結果, 滑面および $s/k = 2.5$ の場合には, R を代表長にした対数則が成り立つ。また, 粗面では,

$U/U_{*h} = 6.0 + 2.5 \ln(h/k_s U)$ および $U/U_{*R1} = 6.0 + 2.5 \ln(R/k_s U)$ より相対粗度 k_s/k を求めた。相対粗度高 k_s/k と s/k の関係を示すと図-1 のようになり, また, 足立³⁾ による実験式 ($s/k \geq 10$: 槽型粗度, $s/k < 10$: 溝型粗度) および El-Hadi, 村本・山本の実験結果も示してある。 k_s/k の値は, $s/k \approx 10$ で最大となり, 従来の研究および足立式との対応がよく, また, 路床こう配による差違はほとんどない。

つぎに, 流速分布の全断面偏差 $\bar{U}^2$, 鉛直方向偏差 $\bar{U}^2$ および横方向偏差 $\bar{U}^2$ を示すと表-1 になり, $i = 1/500$ の場合について図示すると, 図-2 平均流速からの偏差

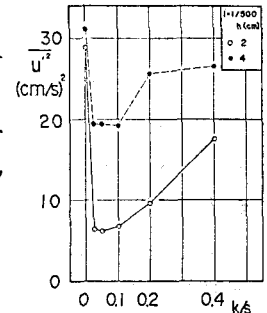


図-2になる。滑面および粗面の各ケースとも $\overline{u} \sim \overline{u}_s \gg \overline{u}_b$ で鉛直シャーが卓越しており、 $\overline{u}$ は $s/k=20$ 前後で最小となっている。

4. 分散係数：時間濃度曲線が(14)は、滑面より粗面、特に $s/k=10$ の場合にGauss分布に近く、また、ピーク濃度の低減特性からも同じことが示されている。

つぎに、モーメント法およびピーク濃度の低減から求めた分散係数の実測値 D_H および D_F と、Fischerおよび死水域モデルによる推定値 D_F および D_d を比較すると、表-2になる。 D_H は D_F より若干大きいが、両者の s/k による変化は同じ傾向を示している。図-3の D_H と s/k の関係から D/hU_h に対する h および s/k の影響を考察してみる。 $s/k \geq 10$ の粗面では滑面よりも D/hU_h が小さく、 $s/k=20$ で最小となり、 $s/k \leq 5$ の粗面では粗度間の死水域のために大きくなっている。また、水深が小さいほど D/hU_h は大きくなっている。全体的な傾向としては、 $s/k=10 \sim 40$ で同一水深ならば、 D/hU_h はほぼ一定であると考えられる。また、 D_F および D_d と D_H の比較を行う。図-3には、 D_H と D_d が比較してある。 D_d は $s/k \geq 10$ の場合に D_H からのずれが大きい。また、 $s/k \leq 5$ のとき D_H が s/k の減少とともに急激に増加する傾向に対応している。また、 $s/k \leq 5$ で $h=2\text{cm}$ のとき D_d と D_H がほぼ一致している。死水域モデルの適用は、死水域と主流域との比率 ε に大きく依存し、本実験の場合には $\varepsilon \approx 0.5$ で $D_d \approx D_H$ になっている。一方、Fischerによる D の推定式は、横方向のシャーが大きい場合には $D_F = \overline{u}^2 \frac{1}{59.2} \frac{B^2}{\varepsilon_g}$ で表されるが、本実験では表-1に示したように鉛直シャーが大きいので、 $D_F = \overline{u}^2 \frac{1}{14.8} \frac{h^2}{\varepsilon_g}$ 、 $\varepsilon_g = 0.067hU_h$ を用いた。 $i=1/500$ 、 $h=2\text{cm}$ と 4cm の場合の D_H を図-4に示す。図-3と図-4を比較すると、両者とも同じ傾向が見られるが、 D_F が D_H の $\frac{1}{3} \sim \frac{1}{5}$ の値をとっている。そこで、鉛直拡散係数 $\varepsilon_g = \alpha h U_h$ の係数 α を D_H の値を用いて逆算すると、貯留効果の大きい $s/k \leq 5$ 以外の粗面では、 $\alpha = 0.014 \sim 0.021$ ($h=2\text{cm}$)、 $\alpha = 0.031 \sim 0.036$ ($h=4\text{cm}$)となっている。

		$i=1/100$				$i=1/500$			
		D_H/U_h	D_F/U_h	D_d/U_h	D_F/U_h	D_H/U_h	D_F/U_h	D_d/U_h	D_F/U_h
$s/k=\infty$	-1	33.5	19.4			130.	54.3		
	-2	12.8	10.6			21.6	13.4		6.78
	-3	5.69	4.18			7.54	5.63		4.15
	-4	9.50	9.10	5.09	7.61	4.44	3.29	7.49	2.37
$s/k=40$	-1	9.00	6.47	32.5		20.2	12.8	126.	
	-2	5.86	4.41	12.6		11.4	5.59	21.3	1.54
	-3	4.05	4.03	12.4		9.45	5.75	20.9	1.61
	-4	4.23	4.46	5.06	2.79	5.51	4.37	7.43	2.50
$s/k=20$	-1	6.12	5.30	31.3		13.0	10.5	121.0	
	-2	4.05	4.03	12.4		15.4	12.3	110.0	
	-3	4.23	4.46	5.06	2.79	7.94	5.52	20.6	1.62
	-4	6.09	5.78	12.2		5.53	5.02	7.37	2.56
$s/k=10$	-1	6.39	6.52	29.1		71.5	45.0	234.0	
	-2	6.09	5.78	12.2		18.0	14.6	29.0	3.30
	-3	5.89	5.43	5.04	2.65	13.7	10.4	8.78	3.56
	-4	14.6	11.7	6.89	1.45	1206.	358.	554.0	
$s/k=2.5$	-1	158.0	168.0	353.0		53.0	41.2	47.0	5.82
	-2	47.7	43.6	50.9		22.4	12.7	8.73	2.97
	-3	14.6	11.7	6.89	1.45	12.0	9.96	10.2	3.70
	-4	22.4	12.7	8.73	2.97				

表-2 分散係数の値

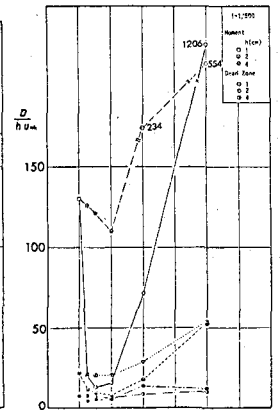
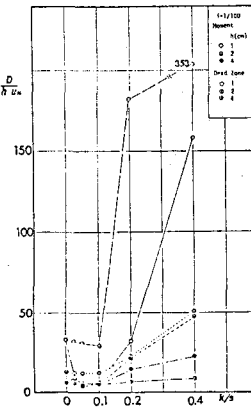


図-3 D_H/hU_h と s/k の関係

D_H を図-4に示す。図-3と図-4を比較すると、両者とも同じ傾向が見られるが、 D_F が D_H の $\frac{1}{3} \sim \frac{1}{5}$ の値をとっている。そこで、鉛直拡散係数 $\varepsilon_g = \alpha h U_h$ の係数 α を D_H の値を用いて逆算すると、貯留効果の大きい $s/k \leq 5$ 以外の粗面では、 $\alpha = 0.014 \sim 0.021$ ($h=2\text{cm}$)、 $\alpha = 0.031 \sim 0.036$ ($h=4\text{cm}$)となっている。

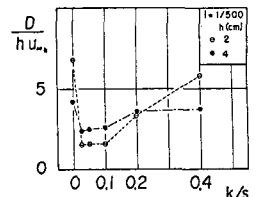


図-4 D_H/hU_h と s/k の関係

参考文献

- 1) El-Hadi et al: Proc ASCE vol. 102, HY 4 (1976)
- 2) 村本・山本: 土木学会年次学術講演概要集 (1978)
- 3) 足立昭平: 土木学会論文集第104号 (1964)