

建設省土木研究所 正員 浅野 富夫
 京都大学工学部 正員 岩佐 義朗

著者らは従来より、ホットフィルム流速計を用いた実験的検討により、開水路流れにおける乱れの時空間構造特性量の普遍関数表示を試みてきた。しかしながら、既報¹⁾においては、半水深付近における特性量と水理条件との関係に重点が置かれ、その鉛直分布については唯一の実験結果（滑面常流）から検討を行ってきた。したがって、本報告では、表-1に示されるような種々の水理条件のもとで、ホットフィルム流速計を用いた実験を行い、先に提案した普遍関数形について再検討を加え、より精度の高い表示式を得ようとするものである。なお、本報告で対象とした特性量は、オイラー的な空間平均スケール及び最適広がりであって、これらは図-1に示されるような乱れの特性長である。また、ラグランジュ的平均スケールについても再検討を加え、オイラー的点計測で得られた結果²⁾との比較を行っている。

1. 乱れの広がり

乱れのオイラー的空間スケールは、空間相関係数の積分スケールによって定義されるものであって、対象としている方向（ r 方向）の広がり、現象論的にみた場合、その方向の乱れ速度成分 u_r に関する空間相関係数 $R_{ur}(r)$ に基づくことが望ましく、空間スケール L_r は一般に u_r から評価したものがもっとも大きくなる³⁾。しかしながら、 $R_{ur}(r)$ は流れ方向の乱れ速度成分 u に関する $R_u(r)$ によってかなりよく近似されるため³⁾、ここでは $R_u(r)$ に基づき r 方向のオイラー的空間スケール L_r を検討することとする。

図-2, 3, 4は、それぞれ、空間スケール L_x , L_y , L_z を、水深 H , 局所平均速度 U 及び摩擦速度 U_f で無次元化して示したものであって、いづれにおいても相対水深にかかわらず水理条件による計測値のばらつきは顕著でなく、このような無次元化の方法がかなり有効であることが確認される。ただし、 L_x については、オイラー的時間平均スケール T_E を L_x と同様に無次元化したときの実験定数 $0.115^{2)}$ を上限

表-1

RUN	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
B/H	9.9	11.0	9.7	13.0	16.7	19.9	21.1	21.9	26.1	10.9	14.9
H (cm)	4.06	3.65	4.12	3.09	2.40	2.01	1.90	1.83	1.53	3.67	2.68
U_m (cm/s)	39.1	42.6	52.8	49.9	62.5	78.6	80.8	79.1	102.2	39.6	54.3
U_f (cm/s)	1.99	2.11	2.84	2.75	3.43	4.44	4.32	4.23	5.48	3.00	5.12
$Re(\times 10^4)$	1.59	1.38	2.23	1.37	1.28	1.59	1.33	1.92	1.32	1.85	1.77
F_r	0.62	0.71	0.83	0.91	1.29	1.77	1.87	1.87	2.64	0.66	1.06
$k/H(\times 10^{-2})$	滑面	滑面	滑面	滑面	滑面	滑面	滑面	滑面	滑面	5.86	8.02

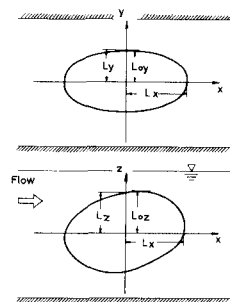


図-1

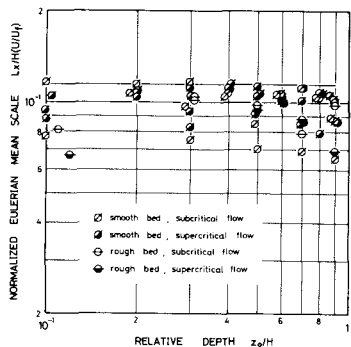


図-2

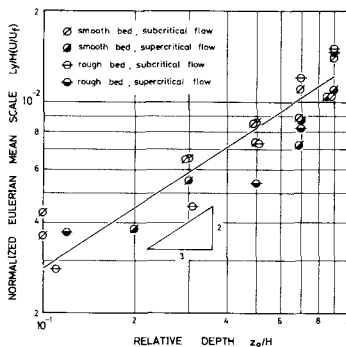


図-3

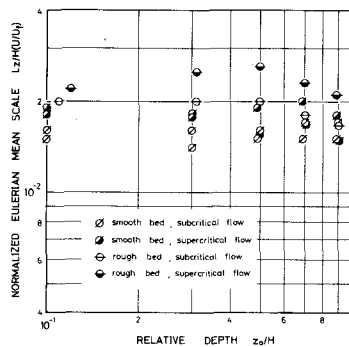


図-4

とするような範囲に分布しているが、これは上流側ブローブの存在により、 $R_u(x)$ が過小に計測されたためであって、本来 L_x は T_E と同様な分布をするものと考えられる。したがって、ここでは空間スケールの普遍関数形として、次式を提案する。

$$\frac{L_x}{H(U/U_f)} = 0.115 \quad \dots\dots(1)$$

$$\frac{L_y}{H(U/U_f)} = 0.013 \left(\frac{z_0}{H} \right)^{2/3} \dots\dots(2)$$

$$\frac{L_z}{H(U/U_f)} = 0.020 \quad \dots\dots(3)$$

一方、最適広がり L_{or} については、乱れの横方向位相差がないことより、 L_{oy} については L_y に等しく、また鉛直方向には若干の位相差が存在することより、 L_{oz} は L_z に比べ、20～30%大きくなるようである。

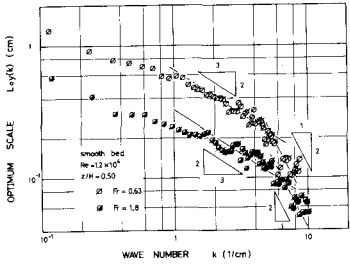


図 - 5

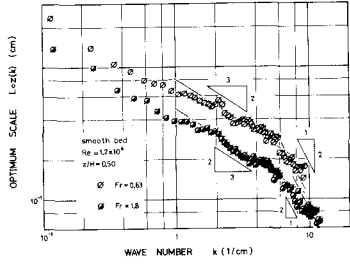


図 - 6

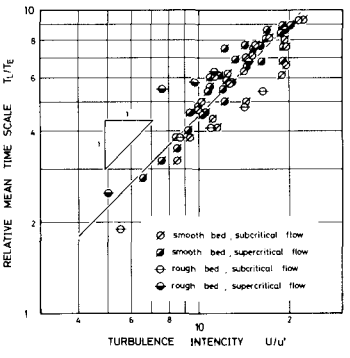


図 - 7

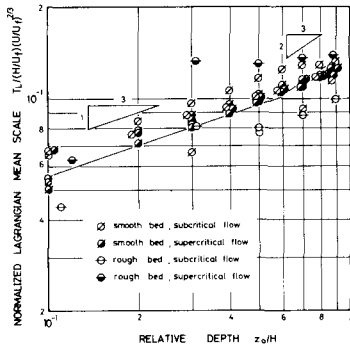


図 - 8

さらに、周波数成分ごとの乱れの広がり、スペクトル解析、すなわち時空間コヒーレンシによって検討すると次のようになる。時空間コヒーレンシ $Coh_u(r; k)$ を距離 r で積分することによって得られるスケールは最適広がり $L_{or}(k)$ であって、 $L_{oy}(k)$ 、 $L_{oz}(k)$ のスペクトル特性を示すと図 - 5、6 のようになる。図は、 $F = \{1 - Coh_u(r; k)\}$ と r との関係が直線的となることに着目し、波数 k ごとの F に r の一次式をあてはめ、 $F = 1$ となる距離 r の $1/2$ によって $L_{or}(k)$ を評価したものである。図において、いずれの最適広がりにも、 $Coh_u(r; k)$ と同様に³⁾、 k の $-2/3$ 乗に比例する慣性領域及び -2 乗に比例する粘性領域の存在がうかがわれ、また、 L_y と L_z の関係と同様に、 $L_{oy}(k)$ は $L_{oz}(k)$ より若干小さいようである。

2. ラグランジュ的平均スケール

流れ方向の最適相関係数の積分スケールとしてラグランジュ的平均スケール T_L を評価し、 T_L とオイラー的平均スケール T_E との比を、乱れの相対強さ u'/U_f に対して示すと図 - 7 のようになり、Hay と Pasquill の関係の比例定数は $\alpha = 0.45$ 程度となることが確かめられ、多点同時計測に基づく T_L の評価法の妥当性がうかがわれる。なお、上流側ブローブの存在により、乱れは定量的な影響をうけるものの、定性的にはあまり変化しないと考えられるため、空間相関係数に比べ、最適相関係数の方が計測精度が高いと推測される。

このようにして評価された T_L を、レイノルズ数相似則から得られる無次元化の方法⁴⁾によって表示すると図 - 8 のようになる。なお、図中の直線は、オイラー的点計測から $\alpha = 0.45$ として推定された値²⁾であって、多点同時計測から得られた値とかなりよい一致を示しており、 T_L に関して次式の成立性が確認される。

$$0.1 < \frac{z_0}{H} \leq 0.6 : \frac{T_L}{(H/U_f)(U/U_f)^{2/3}} = 0.120 \left(\frac{z_0}{H} \right)^{1/3} \dots\dots(4) \quad 0.6 < \frac{z_0}{H} < 0.9 : \frac{T_L}{(H/U_f)(U/U_f)^{2/3}} = 0.145 \left(\frac{z_0}{H} \right)^{2/3} \dots\dots(5)$$

参考文献

- 1) 今本・浅野・佐々木：土木学会第30回年次学術講演会，Ⅱ - 200，pp. 418-419，1975.
- 2) 幸道・今本・浅野：土木学会第32回年次学術講演会，Ⅱ - 143，pp. 273-274，1977.
- 3) 岩佐・浅野：土木学会関東支部第6回年次研究発表会，Ⅱ - 16，pp. 61-62，1979.
- 4) 今本：土木学会論文報告集，197，pp. 83-91，1972.