

開水路流れの乱れに関するスケールの特性について

京都大学防災研究所 正員 今本博健
大 林 組 正員 O本庄正史

乱れに関する各種のスケールは乱流場を構成する種々の大きさへ渦の特性を表現する場合の有効な概念であって、乱れの定性的特性を把握するための重要な役割を果たすものである。開水路流れのように、流れの場が有限な乱流場においては、乱れのスケールもまた有限性と何らかの関係を有するものと考えられるが、このような考え方はTaylor¹⁾による“風洞気流には定まった大きさの渦の存在する先験的な理由が存在するが、自然風にはそのような理由が先験的に存在しない”という指摘に結びつくものであると言えよう。

本研究においては、乱れ特性を代表する平均スケールおよび逆散スケールを取り上げ、乱流場の有限性を表す幾何学的条件ならびにReynolds数などの水理条件との関係について、ホットフィルム流速計による乱れ計測により実験的に解明しようとするものである。

1. 実験装置および方法

実験水路は長さ10m、幅25cm、深さ35cmのビニール樹脂製滑面直線水路であって、路床こう配は1/500に設定した。乱れ計測はホットフィルム流速計によって行なった。速度の変動はホットフィルム流速計により電気的変動に変換され、磁気テープレコーダーに記録されるようになっていいる。磁気テープに記録されたアナログ量はA-D変換器によってデジタル量に変換される。なお、サンプリング周波数およびデータ数は、それぞれ、100 cpsおよび500個とした。

2. 実験結果および考察

1) 乱れの平均スケール：乱れの平均スケール Λ は乱れの自己相関係数 $R(t)$ より次式によって定義される。すなわち、Taylorの“frozen turbulence”の仮定を用いると、

$$\Lambda = \bar{u} \int_0^{\infty} R(t) dt \quad (1)$$

ここに、 $\bar{u}$ は平均流速を表わす。実際の乱れ計測においては、計測時間を無限にとることができないため、(1)式の積分の上限値を ∞ にとることはできず、有限値で置き換えるなどの方法が取られる。開水路流れの乱れに関する相関係数は、図-1にみられるように、単純な関数形でもって表わすことはできないため、平均スケールを正確に求めることはきわめて困難である。このため

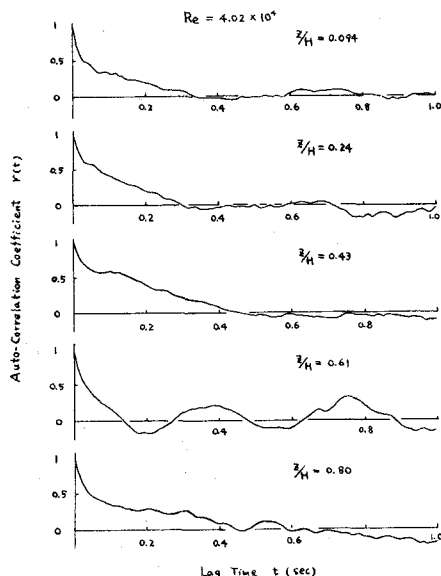


図-1 自己相関係数計測例(水路中央部)

図-2 平均スケール Λ および平均波長 Λ_m と相対水深 z/H との関係

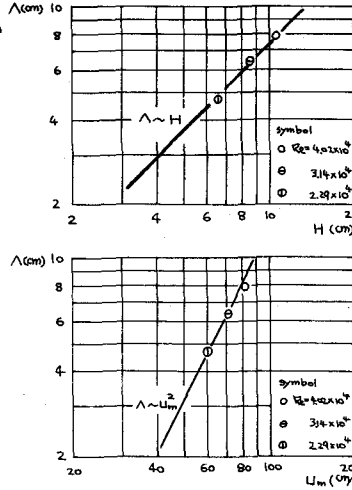
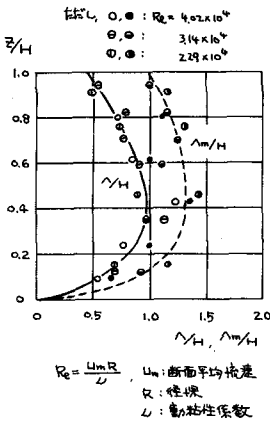


図-4 時間的分散スケール τ と相対水深 z/H との関係

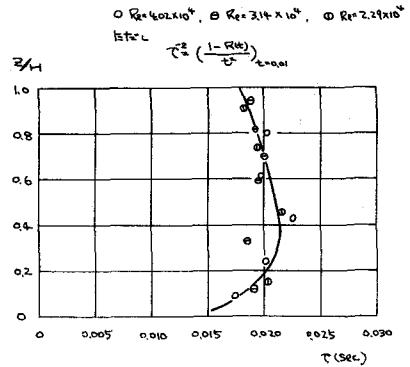


図-3 平均スケール Λ と水深 H および断面平均流速 U_m との関係

本研究においては、相関係数に指数関数形を当てはめることにより計算される平均スケール Λ のほか、エネルギースペクトル関数 $S(f)$ より

$$f_m = \frac{\int_0^{f_{max}} f S(f) df}{\int_0^{f_{max}} S(f) df}, \quad \Lambda_m = \frac{\bar{u}}{f_m} \quad f_{max}: \text{スペクトル計算における最高周波数} \quad (2)$$

によって計算される平均波長 Λ_m によって、平均スケールの特性を考察することにした。図-2はこのようにして得られた Λ および Λ_m と相対水深 z/H との関係を示したものであるが、これより Λ/H あるいは Λ_m/H は z/H の関数であって、 z/H が0.4~0.5付近で最大値となることがわかる。また、図-3に見られるように、 Λ の水深平均値 $\bar{\Lambda}$ は水深 H および断面平均流速 U_m との間に、それぞれ、 $\Lambda \sim H$ 、 $\Lambda \sim U_m$ の関係が成立し、岩佐・今本のKolmogoroffの相似則にもとづく関係式ならびにRudisらのFroude数とStrouhal数との関係式 $1/\sqrt{St} \sim Fr$ ($St = \frac{f_m H}{\bar{u}}$, $Fr = \frac{\bar{u}}{\sqrt{gH}}$, f_m :卓越周波数)が確かめられた。

2) 分散スケール: 乱れエネルギーの消散過程を特性づける分散スケール λ は、自己相関関数 $R(t)$ より次式によって定義される。

$$\frac{1}{\lambda^2} = \lim_{t \rightarrow 0} \frac{1 - R(t)}{t^2} \quad \lambda = \bar{u} \tau \quad (3)$$

本研究においては、(3)式の $\lim_{t \rightarrow 0}$ の代りに、 $\Delta t = 0.01$ secにおける相関係数の値より時間的分散スケール τ を計算することにした。計算結果を図-4に示す。図-4に見られるように、三種の水理条件においていずれも τ はほぼ0.02 sec程度となり、相対水深によってわずかに変化するのみでReynolds数にほとんど関係しないことがわかる。したがって、水流においては乱れエネルギーの消散は路床近傍を除いてほぼ50 cpsの渦によって特性づけられることになる。ただし、本研究の計算方法は過度評価する傾向があるため、50 cpsという周波数はやや過小であることに注意しなければならない。

参考文献 1) Taylor, G.I.; Statistical Theory of Turbulence, Proc. Lond. Math. Soc., A164, 1935.

2) Iwasa, Y., Imanoto, H.; Some Features of Turbulent Diffusive Processes in Open Channel Flow, Memoirs, Fac. Eng., Kyoto Univ., Vol. 28-1, 1966.

3) Rudis, M., Smulek, R.; Relations between Turbulence Characteristics and the Hydraulic Parameters of the Shear Flow, ACTA Technica, Vol. 11, 1966.