

山口大学工学部 正員 斎藤 隆  
琉球大学理工学部 正員 〇大茂 輝文

### 1. はじめに

流れの乱れ現象は、河床の抵抗法則、土砂輸送、拡散等に密接に関連し、水理学においても重要な基礎的研究分野の解明の一ツとして考えられ、解明の緊急性を要しているといえる。本研究は、平担開水路床上の乱れ特性を対象とし、河床粗度の变化による乱れ構造について検討しようとしたものである。乱れ計測には、現在、高度信頼性、安定性に非常に優れているとされている、ホットフィルム流速計を用いた。実験条件をTable 1に示す。

### 2. 乱れ計測特性

速度が、時間的に異なる偶然量として考えられる乱れ流場では、統計的取扱いは、重要な意味を持つものであり、確率分布、相関、スペクトル等の乱れ計測量を主として考察が行なわれている。

等粘性乱れ場における乱れ強度の確率分布は、正規分布を示すことが知られているが、開水路流れのような、非等粘性壁面せん断乱れでは、確率分布特性は、流れの現象を説明するうえで重要な意味を持つものであるといえる。Fig. 1は、流れ方向の乱れ速度について、確率密度分布のひずみ度を求めたものである。この図からは、全々のひずみ度の値が負であることから、分布が正の方向にひずんでいることが明らかであり、これは、標準偏差値に満たない、正の多くの乱れ強度が存在することに対し、比較的少数の負の値をもった絶対値の大い乱れ速度が存在していることを示していると思われる。この傾向は、相対水深中付近で著しく、路床に近づくに従って非対称性がやめらば正規分布に近づくことを示しているといえる。また、ひずみ度は、河床の粗度、レイノルズ数にも関係し、河床粗度、レイノルズ数が大きい程、逆に絶対値の小さい値を示しているといえる。Fig. 2は、一次元スペクトルを求めたものであるが、この図から、コルモゴロフの相似仮定に於ける、慣性領域の $1/3$ 乗則が、低周波数側と高周波数側とに於て、各々の周波数領域は、水路幅および水深が対したスケールであると考えられる。さらに、高周波数領域では、粘性領域の $1/3$ 乗則が、成立していることが認められる。

### 3. 乱れ特性量

乱れ特性量の代表的なものとしては、乱れ強度、平均スケール、逸散スケール、エネルギー逸散率等があげられる。

乱れ強度は、相対水深の小さい路床近傍程大きく、河床粗度、レイノルズ数等に関連づけられると思われるが、特性は、無次元化の方法によって異なる。Fig. 3は、乱れ強度の値と摩擦速度 $U_\tau$ で無次元化したものであるが、この点については、従来より、粗度の効果の有無についての両論があるが、本研究からは、路床に近い程、粗度が大きい程、大きな値を示し、粗度の影響を考えると、 $U_\tau$ が $U_\tau$ の $2/3$ ではないかという結果がえられたといえる。

| ケース    | 水深<br>$H$ (cm) | 相対水深<br>$h/H$ | 流速<br>$U$ (cm/s) | レイノルズ数<br>$Re$ | 摩擦速度<br>$U_\tau$ (cm/s)                     | 摩擦速度<br>$U_\tau$ (cm/s) | 摩擦速度<br>$U_\tau$ (cm/s) |
|--------|----------------|---------------|------------------|----------------|---------------------------------------------|-------------------------|-------------------------|
| CASE   | $H$ (cm)       | $h/H$         | $U$ (cm/s)       | $Re$           | $U_\tau$ (cm/s)                             | $U_\tau$ (cm/s)         | $U_\tau$ (cm/s)         |
| FD-I   | 5.61           | 7.13          | 41.27            | 0.556          | 1.96 <sup><math>\times 10^{-3}</math></sup> | 3.03                    | 3.90                    |
| FD-II  | 3.03           | 13.20         | 26.06            | 0.478          | 6.69 <sup><math>\times 10^{-3}</math></sup> | 2.23                    | "                       |
| FD-III | 3.88           | 10.31         | 59.60            | 0.967          | 1.90 <sup><math>\times 10^{-3}</math></sup> | 5.31                    | "                       |
| FF-I   | 2.14           | 22.76         | 24.76            | 0.541          | 4.38 <sup><math>\times 10^{-3}</math></sup> | 1.87                    | 2.20                    |
| FG-I   | 5.00           | 8.00          | 46.30            | 0.661          | 1.71 <sup><math>\times 10^{-3}</math></sup> | 2.86                    | 0.80                    |
| FH-I   | 4.71           | 10.34         | 40.37            | 0.594          | 1.36 <sup><math>\times 10^{-3}</math></sup> | 2.77                    | 滑面                      |

Table 1. Experimental conditions

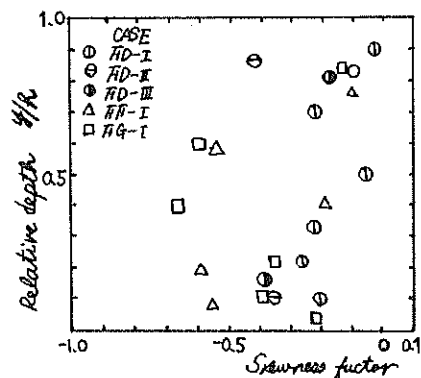


Fig. 1 Distribution of skewness factors of longitudinal turbulent velocity measured by hot-film flowmeter

平均スケールは、乱流場の平均的な渦半径をあらわすものであり、生成領域の低周波数成分の渦によって決定づけられるといえる。河川乱流のような多重構造性の流れでは、河幅に対して大さなスケールの存在する水平乱流場と、水深に対して大さなスケールの存在する鉛直乱流場とを考慮する必要があり、と報告されているが、同様のことが開水路に適用可能であり、平均スケールは、水深幅に対してのもの、水深に対してのもの、二つのスケールを考慮することが必要であると思われる。Fig. 4は、鉛直乱流場における平均スケールを示したものであるが、相対水深のいかんにかかわらず、ほぼ一定値を示しているといえるが、レイノルズ数による影響が考えられる。

消散スケールは、乱流場の最も渦径の平均値をあらわす尺度として考えられるが、相対水深のいかんにかかわらず、水深の1パーセント程度の値を得た。

エネルギー消散率は、コルモゴロフの相似仮定によれば、慣性領域では、唯一のパラメータとして、幾何学的特性を表わすことが可能な重要な意味合いをもった乱流特性であるといえる。Fig. 5は、水深に対しての慣性領域におけるエネルギー消散率を求めたものであり、この図から、エネルギー消散率を $U^3/L$ で無次元化した値は、相対水深のみの普遍関数であることができるといえる。

#### 4. おわりに

開水路流れの乱流は、多重構造性であり、水深幅と水深が乱流構造に大きな影響をもつと認められる。鉛直乱流場における平均スケールは、一定値を示し、粗度の影響よりは、レイノルズ数に敏感であるという結果をえたが、水平乱流場の平均スケールと粗度の関係との関係を明確にする必要があることを含めて、今後、系統的実験が必要であると思われる。

#### (参考文献)

- 1) 余越一郎：河川の大規模乱流、京大防災研究報告集 108 B
- 2) 今本 博健：開水路流れにおける乱流の基本的特性について、学会論文集、NO197 1972年1月。

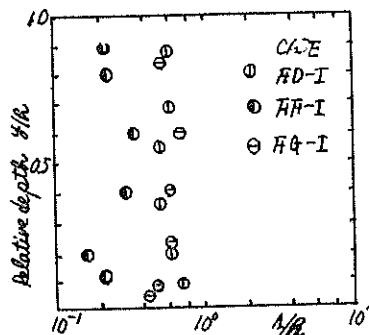


Fig. 4 Normalized eddy scale

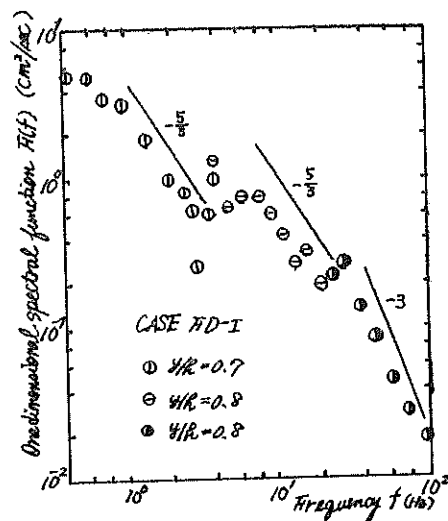


Fig. 2 One-dimensional spectrum

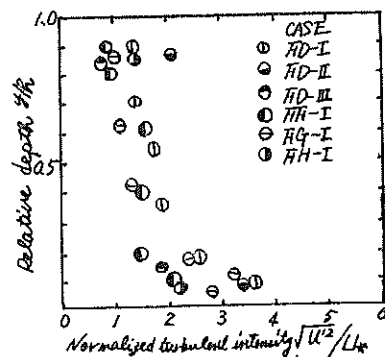


Fig. 3 Eulerian turbulent intensity measured by dot film flowmeter

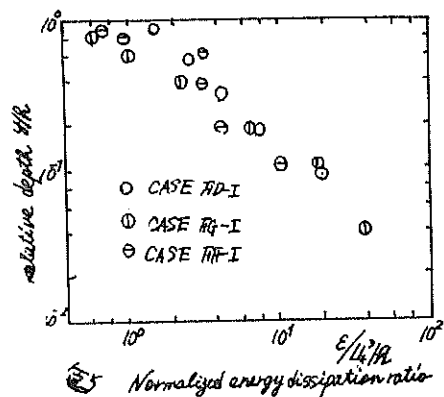


Fig. 5 Normalized energy dissipation ratio