

可視化法による開水路粗面乱流の乱れ発生機構について

京都大学工学部 正 員 中川博次, 正 員 柁津家久
京都大学大学院 学生員 富永晃宏, 学生員 三木卓也

1. まえがき 条件付点計測法および可視化法により滑面上の開水路乱流に関してはその乱れ発生機構が次第に明らかにされるようになった。特に可視化法は、これらの時空間的に組織立、た運動を瞬時に把握するのに非常に有力な手段となる。本報では、大半の実河川の河床条件が粗面であることを考慮して、開水路粗面上のせん断乱流を可視化観測し、壁面近傍で生ずる *bursting* 現象に伴う高速・低速縮特性に及ぼす壁面粗度の影響を考察し、次にこれらの縮特性の水深方向への変化を調べ、*bursting* 現象と自由水面上で観察される *boiling* 現象との関連性について手がかりを得ようとするものである。

2. 実験方法 実験水路は全長 8.5 m, 幅 29 cm の循環式矩形水路で水深 6 cm とし、粗面としてそれぞれ $k_s = 1, 3, 5, 7, 12, 17$ mm の 6 種類の直径のビーズを密に敷きつめたものを用いた。各粗度についてレイノルズ数 Re を 2000, 3500 の 2 通りに変えて実験を行、た。まず 3 mm 間隔で絶縁した白金線を鉛直方向 (y 方向) に張、て計 10 点から水素気泡を発生させ、連続撮影 (コマ間隔 0.4 sec) した画像から、*single frame* 法によって平均流速分布、乱れ強度および *Reynolds* 応力を求めた。また平均流速分布に対数則を仮定して摩擦速度 u_τ を求め、低速縮間隔 λ 等の無次元表示に用いた。次に同一の水理条件で、白金線を水路横断方向に張、て高速・低速縮の可視化観測を行、た。白金線の高さは粗度にきわめて接近させた位置、 $y/h = 0.1, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8$ の 6 通りに選び、縮特性の水深方向についての変化を調べた。なお基準底面 ($y=0$) は粗度要素の頂部より $k_s/4$ だけ下方にと、た。

3. 実験結果とその考察 平均流速、乱れ強度、*Reynolds* 応力分布の一例を図 1~3 に示す。平均流速分布はほぼ対数則に従、ており、これから u_τ を評価することは妥当であると考えられる。一方、乱れ強度分布は読み取り誤差の累積の影響でばらつきが大きく、系統立、た考察が困難であるが、次のような傾向が認められた。すなわち、自由水面領域 ($y/h > 0.6$) では主流方向の乱れ強度 u' は粗度の影響をほとんど受けないが、 v' は壁面と自由水面の拘束条件のためにその近傍で小さくなり、 $y/h = 0.5$ 付近では粗度の増加により $u' \approx v'$ とな、て乱れの等方化指向が認められる。この等方化指向は高 Re 数の柁津の研究でも認められ、定性的観察によれば粗度の増加によって *transverse-vortex* の発生が著しくなるために生じると推測される。また *Reynolds* 応力も先述の理由でばらつきが大きい。壁面近傍を除く主流域における理論直線 $-uv/u_\tau^2 = 1 - y/h$ の付近に分布

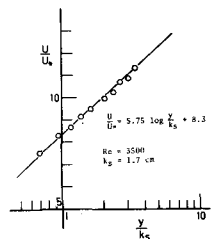


図1 平均流速分布

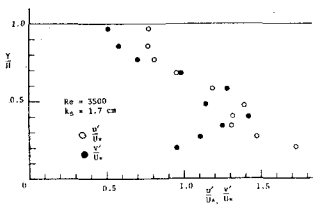


図2 乱れ強度分布

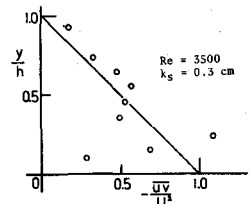


図3 *Reynolds* 応力分布

しており(図3),対数則を適用して評価した u_* が比較的正確であったと考えられる。

次に、壁面近傍での高速低速縞間隔 λ に及ぼす粗度の影響を検討する。図4および図5はそれぞれ $k_s = 3, 12 \text{ mm}$ における壁面近傍での λ のヒストグラムである。粗度の増加により λ の値は減少するが、 u_* および λ^+ で無次元表示した λ^+ については、粗度によらず $\lambda^+ \approx 100$ となり、滑面乱流での実験結果に一致した。前報では、強制的な減速流を流れに与えても水深の2~3倍程度下流でこの影響は消滅し、*bureting* 本来の高速低速縞の内部パラメータ依存性が強く現われることを指摘したが、今回も同様に、粗度の大きさによらず高速低速縞特性が内部パラメータによって支配されることが確認された。図中の実線は対数正規分布を示すものであり、 λ^+ のヒストグラムは壁面近傍においてこの曲線に良好に一致し、 χ^2 検定によれば高 Re 数のケースについて特に適合度が高いことが判明し、このことも滑面乱流での実験結果と一致した。

次に、高速低速縞の水深方向への変化特性について考察する。図6に $y^+ (= y u_* / \nu)$ に対する λ^+ の分布を示し、*bureting*現象が弱くなる $y^+ > 30$ の領域において、 y^+ の増加とともに λ^+ も増加し直線 $\lambda^+ = 2y^+$ の付近に分布することが確認された。すなわち、 λ^+ は木下が指摘した自由水面上で観察される*boiling*現象に伴う縦縞間隔 $\lambda_s^+ = 2R^+ (R^+ = hu_* / \nu)$ に近づくとも推測され、壁面近傍で発生した*bureting*現象はその一部が発達して自由水面上に到達し、縦縞として観察されるのではないかと考えられるが、本実験の Re 数は小さく、両現象のスケールが同

程度であるから上述の関連性に関する検討はここでは困難である。図7は壁面から離れた領域での縞間隔 λ のヒストグラムの一例である。この領域では対数正規分布とみなせないようなヒストグラムが現われ、壁面近傍における λ と分布特性が異なる点が注目される。

ただ壁面から離れた領域での λ はデータ数が少ない上

に、縞の明瞭さに欠けるためその読み取りに主観が入りやすく、解析精度は壁面近傍のものに比べてはるかに悪い。したがって $\lambda^+ \approx 100$ で規制される*bureting*現象と $\lambda_s = 2h$ で規制される*boiling*現象との関連性を詳細に検討するには、計測・解析方法の改良とともに高 Re 数での実験が必要と考えられ、今後の研究としたい。

〈参考文献〉 り 林 津, 論文報告集, No. 261, 1977. 2) 林 津ら, 年 講 II-47, 1977. 3) 中 川ら, 関西支部年 講 II-34, 1978. 4) 大 衆, 京大修論, 1977. 5) 木 下, 写真測量, vol 6, 1967.

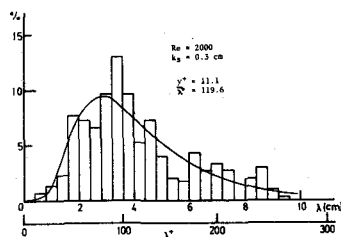


図4 粗面($k_s=3 \text{ mm}$)上の λ 分布

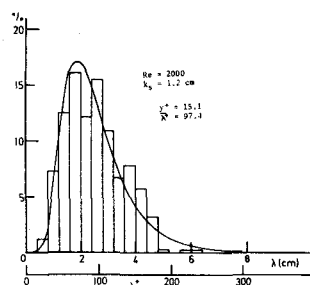


図5 粗面($k_s=12 \text{ mm}$)上の λ 分布

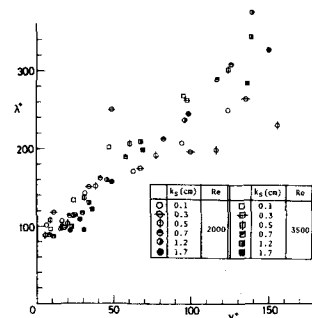


図6 λ^+ と y^+ の関係

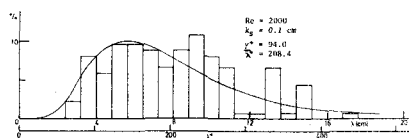


図7 自由水面領域での λ 分布