

京都大学工学部 正 員 中川 博次

京都大学工学部 正 員 橋津 家久

阪急電鉄 ○正 員 石田 吉宏

京都大学大学院 学生員 門田 章宏

1. まえがき 河川の流れは時として洪水流で代表されるように非定常流となるので、合理的な水工設計や水域環境を構築するために、非定常流れの乱流構造を解明することは非常に重要な問題である。したがって、本研究では、レーザー流速計を用いて、非定常流れの乱流計測を高精度に行い、開水路流れの乱流構造に及ぼす非定常効果を実験的に解明するものである。

2. 実験概要 実験は、長さ10m、幅40cmの勾配可変型循環水路で行われた。水路への流量 $Q(t)$ は、コンピューターで制御された電磁流量計とインバータ揚水ポンプで任意の非定常ハイドロ波形を設定できる。本研究では、粗面乱流（粗度は粒径12mmのビーズ玉を使用し、原点補正量は、予備実験により $\delta=2\text{mm}$ と決定）を対象とし、洪水波形は三角波とした。水路勾配は $i=1/1000$ とし、ベースフロー時の流量、水深を $Q_b=2.5(1/s)$ 、 $h_b=4.0(\text{cm})$ 及び $Q_b=5.0(1/s)$ 、 $h_b=6.9(\text{cm})$ と2種類設定し、ピーク時の流量を3～5倍、水位上昇時間を30～120(sec)として非定常性を変化させ、計14ケースの実験を行った。ベースフローの水深を2種類設定したのは、アスペクト比の時間変化に注目するためである。なお、平均流速の決定には、フーリエ分解法を用い、フーリエ成分の項数は $m=7$ とした。

3. 実験結果とその考察 図-1及び図-2に、時間的に変化していくアスペクト比が大きいケース及び小さいケースでの各時間の U で無次元化された乱れ強度 u' の分布を示す（ $0 \leq T \leq 1$ で増水期、 $1 \leq T \leq 2$ で減水期）。図中の実線は、橋津¹⁾による半理論式である。なお、摩擦速度 U_* は、非定常流においても河床近傍で、平均流速分布は対数則が成立したので、この対数則から U_* を決定した。図-1より、アスペクト比が大きいケースでは、半理論式にほぼ従い、非定常流においても定常流の普遍関数がそのまま適用できることがわかる。しかしながら、図-2より、アスペクト比が小さいケースでは、増水の進行とともに、すなわちアスペクト比の減少とともに、外層で普遍関数分布式からのずれが顕著となっていき、その分布形状は、2次流が生じている開水路等流での分布形状と一致していることがわかる。また、以上の傾向は、乱れ強度 v' についても同様であった。

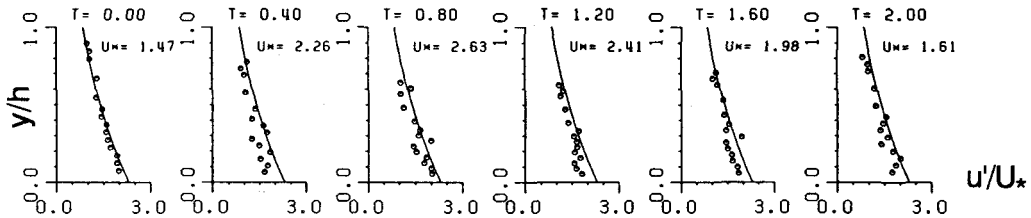


図-1 乱れ強度分布 u'/U_* の時間変化（アスペクト比 $B/h=10 \rightarrow 7$ ）

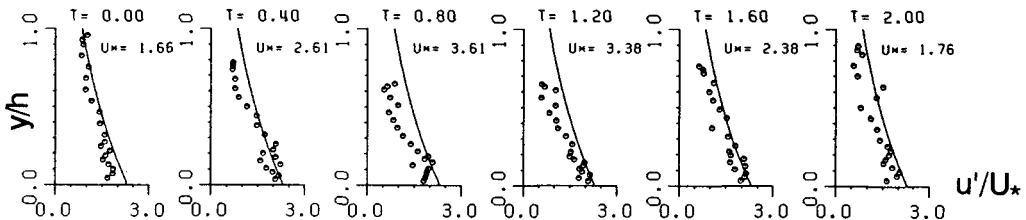


図-2 乱れ強度分布 u'/U_* の時間変化（アスペクト比 $B/h=5.8 \rightarrow 3.8$ ）

図-3及び図-4に、時間的に変化していくアスペクト比が大きいケース及び小さいケースにおける各時間の U で無次元化されたレイノルズ応力分布を示す。図中の実線は、定常流における理論式である。図-3及び図-4より、アスペクト比が大きいケースでは、非定常流においてもレイノルズ応力分布は三角形分布に近い形

Hiroji NAKAGAWA, Iehisa NEZU, Yoshihiro ISHIDA, Akihiro KADOTA

状を示して変化していくが、アスペクト比が小さいケースでは、外層でレイノルズ応力の欠損がみられ、0もしくは負の値となっており、2次流の影響をそのまま受けていることがわかる。

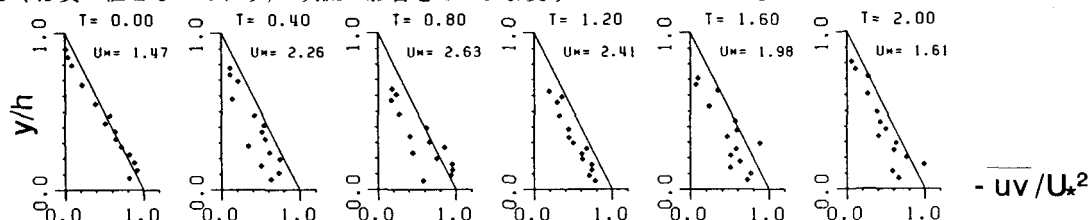


図-3 レイノルズ応力分布 $-\overline{uv}/U_*^2$ の時間変化 (アスペクト比 $B/h=10 \rightarrow 7$)

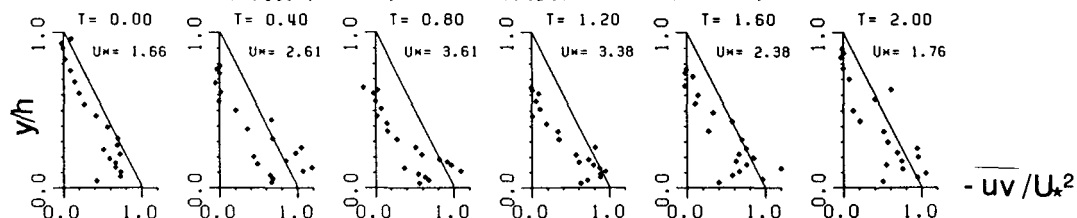


図-4 レイノルズ応力分布 $-\overline{uv}/U_*^2$ の時間変化 (アスペクト比 $B/h=5.8 \rightarrow 3.8$)

図-5に、アスペクト比が小さいケースでの流速 U 、乱れ強度 u' 、 v' 、レイノルズ応力 $-\overline{uv}$ の計測値を水深変化 $\Delta h/\Delta h_p$ に対して示したものである。なお、定常流の分布式から、各時間の U_* を用いて逆算された u' 、 v' 及び $-\overline{uv}$ の変化を図中に実線で示してある。図-5より、流速、乱れ強度、レイノルズ応力は、水深変化に対し反時計回りのループを描き、同一水深時では、いずれの諸量も増水期の方が減水期よりも大きくなっている。また、逆算値によるループと計測値のループの面積がほぼ同様となっており、流れの非定常性は U の変化に相当分含まれるといえる。

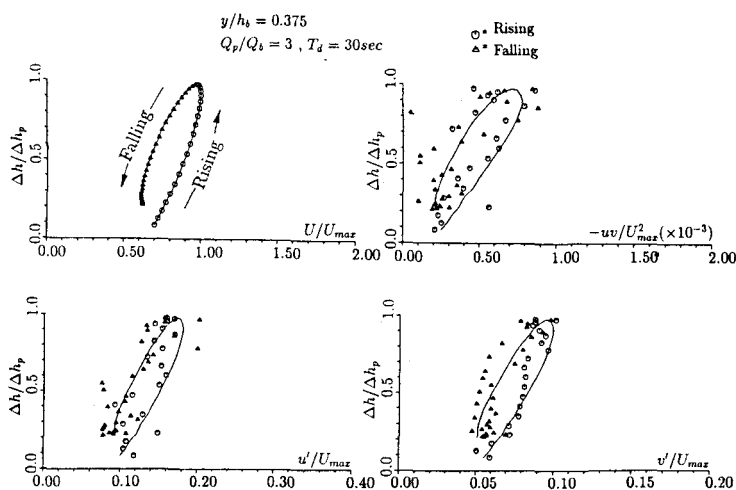


図-5 水深変動、流速、乱れ強度及びレイノルズ応力の関係 (アスペクト比 $B/h=10 \rightarrow 7$)

4. あとがき 本研究結果から、非定常流においても、乱れ強度分布及びレイノルズ応力分布ともに、非定常性に関係なく、定常流でみられる分布形状を示すことがわかった。したがって、開水路の乱流構造に及ぼす非定常効果は摩擦速度 U_* の変化に集約され、 U_* を正確に評価すれば、非定常流においても、乱れ強度及びレイノルズ応力ともに定常流と同様に捉えることが可能である。また、本研究で行った実験の非定常性は、実河川の非定常性に比べて非常に強いものである。したがって、実河川レベルの非定常性では、乱流構造は定常流のものとはほぼ一致すると考えられる。さらに、時間的に変化するアスペクト比が小さい非定常流では、乱れ強度分布及びレイノルズ応力分布は、外層で2次流の影響をそのまま受け、2次流が生じている開水路等流での分布形状を示すことがわかった。

<参考文献> 1) 瀬津家久(1977): 開水路流の乱流構造に関する基礎的研究, 京都大学学位論文