

II-297 非定常開水路流れにおける乱れ強度, Reynolds応力の分布特性

京都大学大学院 学生員 門田章宏
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

1. はじめに

Froude数が1に近い定常開水路流れでは, Bradshawの提唱する水面変動や上流からの履歴などの低周波成分(inactive成分)によって, 乱れ強度分布が普遍関数から系統的なずれを示すことが指摘されており, 洪水波のような準定常的な流れにおいてもこの効果が大きくなると考えられている¹⁾. 本研究では, 非定常開水路流れの定常時から流量ピーク時までの自由水面領域を含めた計測を詳細に行い, 乱れ強度, Reynolds応力分布に関して実験的考察を行った.

2. 実験および解析方法

本実験で使用した水路は, 長さ10m, 幅40cm, 高さ50cmの可変勾配型循環式水路である. 流量変化は三角波とし, ピーク時の流量 Q_p は, ベース時の流量 $Q_b=2.5, 5.0(l/s)$ に対してほぼ3倍とした. また, 定常時水深からピークまで変化する時間(水位上昇時間) $T_d=60, 90, 120(sec)$ の3通り, 水路床勾配を1/1000, 1/600の2通りとし, 合計6ケースの実験を行った. さらに, 流速計測には前方散乱型の2成分レーザー流速計(DANTEC社製)を用いた. 平均流速の分離法には, 周波数領域法を採用した.

3. 実験結果および考察

図-1および図-2は, それぞれ乱れ強度, Reynolds応力分布を, 増水期と減水期に分けて示したものである. 図中, $T=t/T_d$ であり, $0 < T < 1$ が増水期, $1 < T < 2$ が減水期に相当する. また, α は非定常パラメータであり, $\alpha=(h_p-h_b)/T_d/U_c$ で定義される. ここで, $U_c=(U_b+U_p)/2$, U : 断面平均流速, h : 水深, 添え字 b, p はそれぞれベース時, ピーク時における値を示す. また, 図-1の点線および図-2の実線は, それぞれ次式で示される普遍分布式¹⁾および三角形分布である.

$$u'/U_c = 2.30 \exp(-\xi) \quad (1)$$

$$v'/U_c = 1.27 \exp(-\xi) \quad (2)$$

$$-\overline{uv}/U_c^2 = 1 - \xi \quad (3)$$

ここで, $\xi=y/h$, u' および v' は, それぞれ乱れ強度の主流方向, 鉛直方向成分であり, U_c は

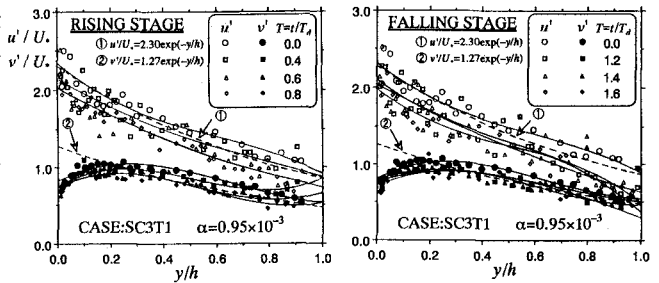


図-1 乱れ強度分布

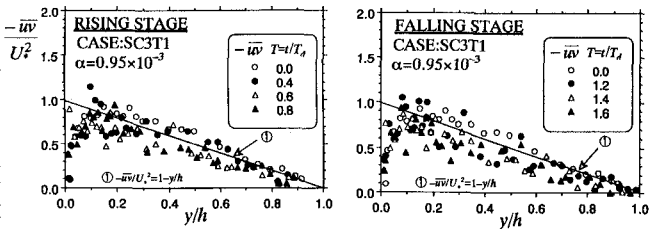


図-2 Reynolds応力分布

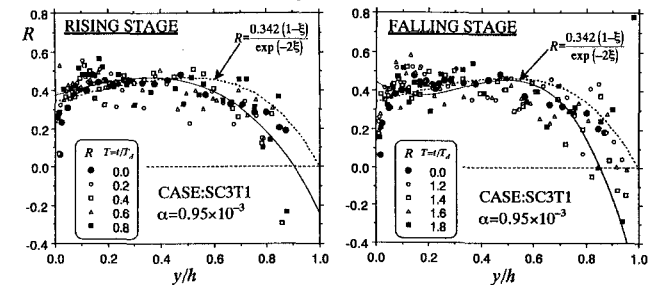


図-3 相関係数

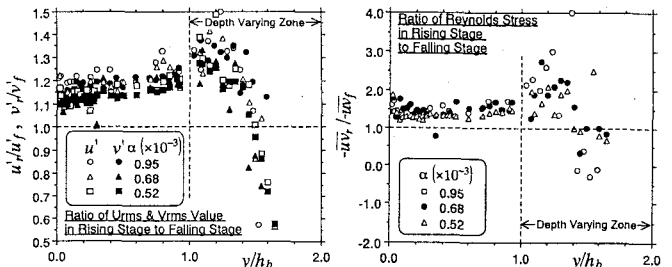


図-4 乱れ強度の平均値の比 図-5 Reynolds応力の平均値の比

摩擦速度である。これらの図より、水深ピーク時($T=1$)直前から自由水面付近($0.8 < y/h < 1$)の乱れ強度分布に特徴的な変化が見られる。すなわち、増水開始後の乱れ強度分布は、 u' および v' ともに式(1),(2)で表される普遍特性に従うが、ほぼ水深ピーク時直前から減水期にかけて、 u' および v' の分布に寄り添うような分布を示し、乱れの等方向均一性の傾向が見られる。一方、図-2のReynolds応力分布は、かなりばらついているが、どの位相においても粘性底層を除く底面付近から自由水面近傍まではほぼ三角形分布を保ちながら変化する。図-3は、相関係数 $R = -\overline{uv}/u'v'$ の分布を示したものである。図中の点線は、上式から得られる等流時の相関係数である。この図においても、自由水面付近の領域において、水深ピーク時直前から減水期にわたり、点線の分布から大きく下方にそれる。これは、上述したように、この領域における乱れ強度が、式(1),(2)で表される普遍特性が成立しないことを意味する。図-4および図-5は、それぞれ乱れ強度およびReynolds応力の減水期に対する増水期の平均値の比を示したものである。なお、底面からの高さ y は、ベース時の水深 h_b で無次元化されており、 $y/h_b > 1$ が水深増加領域に相当する。 u' および v' ともに、増水期の乱れ強度が減水期に比べて大きくなり、 $y/h_b = 1.2$ の地点まで増加し続ける。一方、この地点を過ぎると、逆に減少傾向を示し始め、ついには両者の比が1より小さくなり、増水期より減水期の方が乱れが強くなる。またReynolds応力に関しても同様なことがいえる。しかし、これらの絶対自身は、底面近傍の方が当然大きくなるから、水深増加領域におけるこれらの傾向はそれほど顕著ではないと考えられる。図-6は、ベース時からの水深変化 Δh に対して、平均流速 U 、Reynolds応力 $-\overline{uv}$ および乱れ強度 $u'v'$ の変化を、底面付近と水深増加領域のそれぞれに対して示したものである。水深変化に対する乱れ特性量の変化は、 U と同様に反時計回りのループ状の変化を示し、同一水深に関してみると、これらの変化は増水期の方が大きくなる。しかし、自由水面付近では、交差したようなループ状の変化を示し、ある位相においては、逆に減水期の方が乱れが強くなり、図-4,5と同様な傾向が観察される。また、乱れ特性量の変化は、ほぼ全位相にわたって一定値を保ったままほとんど変化しないことが分かる。

4. おわりに

本研究では、非定常開水路流れにおける乱れ強度、Reynolds応力の分布特性に注目し、特に非定常効果が大きいと考えられる自由水面領域の変化特性について述べてきた。その結果、水面付近の乱れ強度分布に普遍特性からそれる傾向が、水深ピーク時以後に観察された。これは、水面変動などの低周波成分や上流からの流れの履歴の影響が現れるinactive成分の影響であると考えられる。

参考文献

- 1) 禰津家久: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, 1977.

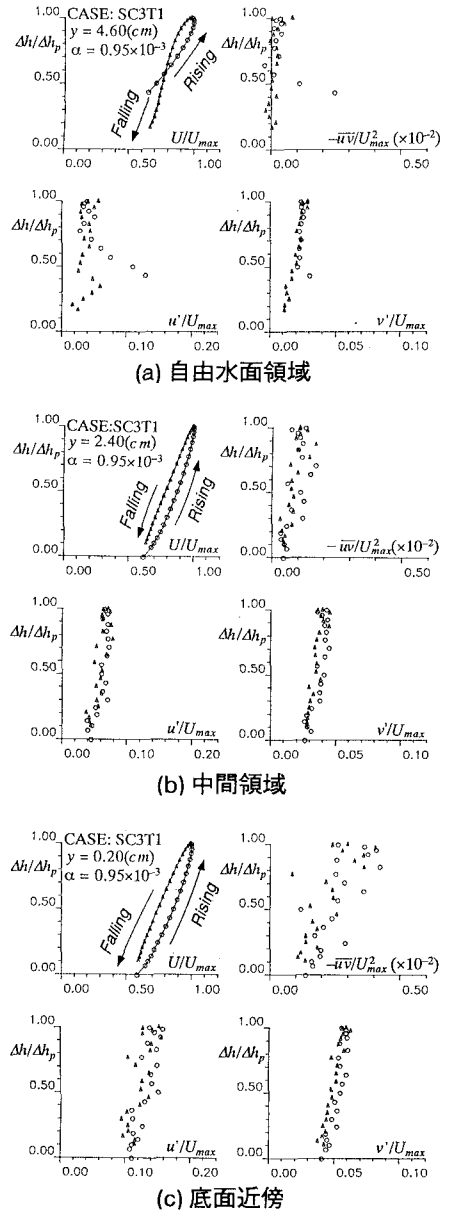


図-6 水深変化 Δh に対する平均流速 U 、乱れ強度 $u'v'$ およびReynolds応力 $-\overline{uv}$ の変化