

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
京都大学大学院 学生員 門田 章宏 五洋建設 正 員 藤本 英典

1. まえがき 非定常流の代表的な例として洪水流が挙げられるが、その本質は、自由水面が時間とともに変化(増水・減水)することであり、洪水時に実河川でどのような現象が生じているかを明らかにすることは、水工学的に非常に重要な課題であり、現在も不明な点が多い。そこで、本研究では、レーザー流速計と波高計を用いて、非定常開水路流れにおける重要な水理特性である水面勾配及び摩擦速度の時間的変化を正確に計測し、それらが、非定常性の大小により、どのような変化特性を示すのかを実験的に解明する。

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。本研究では、洪水波形を三角波とし、粗面乱流(粗度粒径12mm)を対象として実験を行った。原点補正量は、予備実験により $\delta=2\text{mm}$ と決定した。水路勾配は $i=1/1000$ とし、ベースフローの流量・水深は、 $Q_b=5.0(1/s)$ 、 $h_b=6.9(\text{cm})$ 及び $Q_b=2.5(1/s)$ 、 $h_b=4.0(\text{cm})$ と2種類設定した。また、ピークフローの流量は、ベースフローの3~5倍とし、流量変化時間については、増水継続時間及び減水継続時間を30, 60, 90, 120(sec)の4通りとして、計13ケースの実験を行った。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 非定常開水路においては、その非定常性の強さを表すある種の強度パラメーターを定義する必要がある。したがって、本研究では、非定常パラメーターとして次式で示される α を定義する。

$$\alpha = \frac{1}{U_c} \cdot \frac{h_p - h_b}{T_d} \tag{1}$$

ここで、 U_c は初期定常時の断面平均流速 U_{mb} と、最大水深時における断面平均流速 U_{mp} との平均値 $(U_{mb}+U_{mp})/2$ を、 $(h_p-h_b)/T_d$ は平均水位上昇速度を示しており、 α は平均移流速度と水位上昇速度の比と解釈できる。以下では、この α を用いて実験結果の整理を行っている。なお、実際の洪水流の非定常性は、 α が $10^{-5} \sim 10^{-6}$ のオーダーであるから、本実験の非定常性は、洪水流に比べて非常に高いものである。

図-1は、水面勾配のベース時からの変化を示したものである。これより、増水期で正、減水期で負となり、 α が大きいほど、増水期と減水期の水面勾配の差が大きくなっている。

図-2は、片対数表示された平均流速分布の時間変化を示したもので Hiroji Nakagawa, Iehisa Nezu, Akihiro Kadota, Hidenori Fujimoto

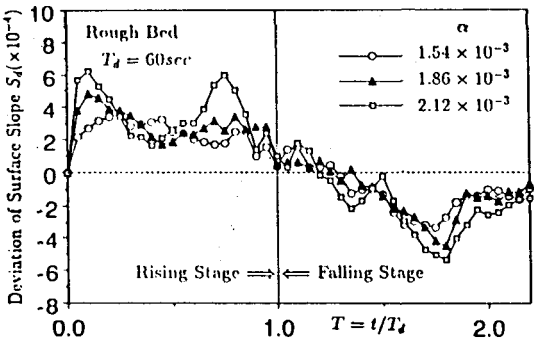


図-1 水面勾配の時間変化

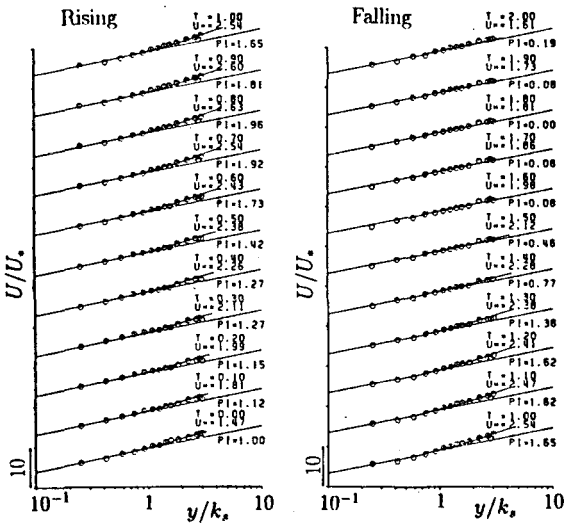


図-2 平均流速分布

ある。内層において対数則分布し、外層では、wakeが見られる。図-3は、wakeの強さを示すパラメーター Π の時間変化を示している。ただし、それぞれのケースにおいて、ベース時の Π の値によって無次元化を行っている。これより、増水が進むにつれて、次第にwakeは大きくなってピークをむかえ、減水期に入るとwakeも減少し、ベース時の値よりも小さくなり、再びベース時の値に落ち着いていることがわかる。また、非定常性が強いほど、すなわち、 α の値が増加するほど、 Π の最大値は大きく、最小値は小さくなっていることがわかる。これは、圧力勾配が増水期で逆勾配($-dp/dx < 0$)となり、減水期で順勾配($-dp/dx > 0$)となるので、非定常性が強いほど、増水期と減水期で圧力勾配の絶対値の差が大きくなるためであると考えられる。図-4は、底面せん断応力 τ_b の時間変化を示したものである。ただし、それぞれの全区間における τ_b の平均値で無次元化してある。これより、 τ_b は、水深ピーク以前に最大値を示し、水深変動に対する時間遅れを伴っており、この傾向は、 α が大きいほど強くなっていることがわかる。図-5は、 τ_b の増水期・減水期における水深変化を示したものである。これより、 $\Delta h - \tau_b$ 曲線は、反時計回りのループを描いており、増水期と減水期の同一水深における τ_b を比較すると、増水期の方が減水期よりも大きな値をとっている。また、 α が大きいケースで、この特性が顕著になっていることがわかる。

4.まとめ (1)平均流速分布は、非定常流においても定常流の場合と同様に、内層で対数則が成立し、摩擦速度を評価することができる。また外層では、圧力勾配の影響によって、wakeが観測された。

(2)wakeの強度パラメーター Π は、圧力勾配の影響で、増水期で大きな値をとり、減水期で定常時よりも小さな値をとっている。この傾向は、非定常性が強いほどはっきりと見られた。

(3)底面せん断応力 τ_b のピークと水深のピークの時間遅れは、非定常性が強いほど大きくなっている。

(4)増水期及び減水期の同一水深における τ_b を比較すると、水面勾配の影響によって、増水期が減水期よりも大きな値をとっており、この差は、非定常性が強いほど大きくなっている。

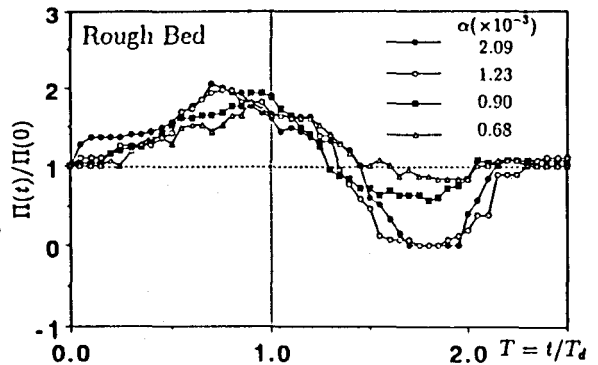


図-3 Π の時間変化

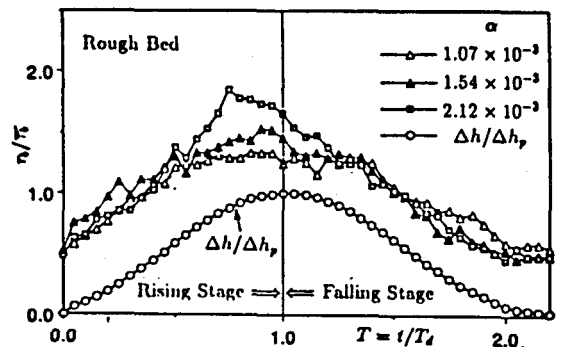


図-4 底面せん断応力の時間変化

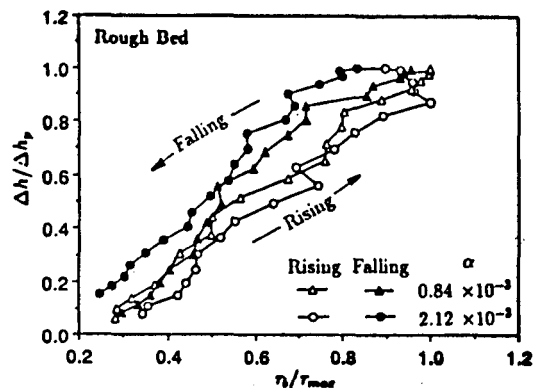


図-5 水深変化に対する底面せん断応力の変化特性