

複断面開水路の非定常流の水利特性

名古屋工業大学 学生員 三尾 憲史
 名古屋工業大学 正 員 富永 晃宏
 名古屋工業大学 学生員 神谷 昌文

1. まえがき 河川の高水敷は生態系の保全や親水空間としての価値が高まってきている。このような複断面流れの洪水時の流動及び抵抗特性について多くの研究がなされているが、中でも、洪水流の流量が時間的に変化するという非定常性の効果を明らかにすることは重要な課題である。増水期には乱れが大きく荒々しく流れ、減水期には急に穏やかな流れになるという観察事実からもその流れ構造の違いが示唆される。本研究は複断面開水路において非定常流を発生させ、その流れ構造の時間的な変化を調べたものである。

2. 実験方法 実験は幅60cm、長さ12mの開水路で行い、片側に高水敷を設置した。高水敷高さは4.2cmで、低水路には2:1の勾配をつけた。流量は流量制御システムを用い、コンピュータで任意のハイドログラフを与えることができる。水路勾配は $S=0.0011$ とし、基底流量 $Q_0=5\text{ l/s}$ とした。このとき、水深は3.9cmとなり流れは低水路内に限定される。ピーク流量 $Q_p=20\text{ l/s}$ まで $T_p=60\text{ sec}$ 、120 sec及び240 secで増加させ、同じ時間で基底流量まで減少させた。この非定常性をパラメータ $\lambda = (h_p - h_0) / T_p \cdot (S \sqrt{g h_p})^{1/3}$ で表すと $T_p=60\text{ sec}$ では $\lambda=0.70$ 、 $T_p=120\text{ sec}$ では $\lambda=0.35$ 、 $T_p=240\text{ sec}$ では $\lambda=0.19$ となった。これはかなり非定常性が強い部類にはいると思われる。図1は $T_p=120\text{ sec}$ のケースの流量と水深のハイドログラフである。ここで、 λ は以下のように定義される。

流速はプロベラ流速計を用いて計測した。プロベラ流速計の出力は水面近傍で流速との線形関係がくずれるため、水面からの距離で補正関係式を作り、流速計の直後におかれた容量式波高形から得られる水深に基づき流速に変換した。

3. 主流速分布特性 主流速は水深の立ち上がり点より前4秒間の区間平均値を定常時とし、その点から4秒間ごとを非定常時として、区間平均値の時間的な変化を低水路と高水敷について検討した。図2は $T_p=120\text{ sec}$ の平均流速 U の時間変化を示したものである。このグラフより U のピークが低水路から高水敷へと移行して行くのがわかる。従って増水期には低水路と高水敷で大きな流速差が発生し、境界部に強いせん断力が働くといえる。

図3は $T_p=60\text{ sec}$ の増水期と減水期の水深がほぼ等しいときの主流速コンターを示したものである。増水期の $t=40\text{ sec}$ のコンターをみると低水路の流速が定常時よりもかなり大きくなり、高水敷に向かって急激に減少し、境界面で非常に大きな流速勾配が生じているのがわかる。一方、減水期の $t=120\text{ sec}$ では、定常時よりも流速は小さいが、分布形状は定常時の場合と類似している。

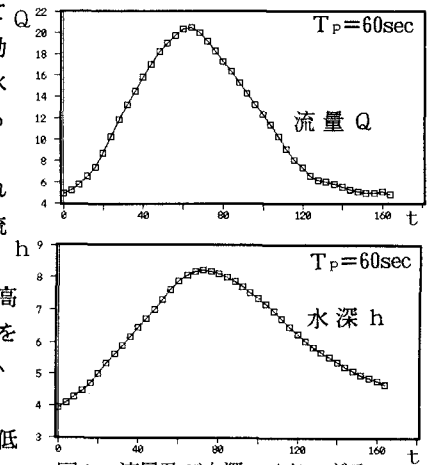


図1 流量及び水深ハイドログラフ

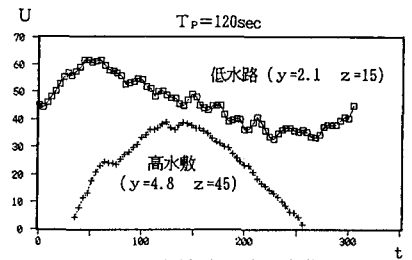


図2 主流速の時間変化

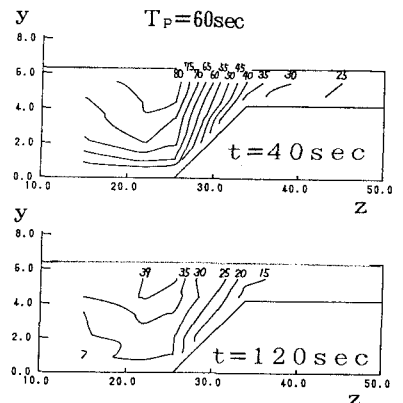


図3 主流速コンター

4. 水深平均流速分布特性

図4は $T_P=120\text{sec}$ の水深平均流速 U_m と水深 h の関係を表したグラフである。このグラフからわかるように U_m は水深変化に対して時計まわりのループを描いている。ループの面積は非定常性の影響の大きさを表すと考えられ、 T_P の減少にともないループの面積は大きくなった。また、高水敷ではループの面積が小さくなり、ループの形も横長から斜めに細長いものになる。したがって、高水敷内では非定常性の影響が比較的少なく、定常流のものに近いといえる。

5. 摩擦速度特性

主流速の鉛直分布は定常時、非定常時共に片対数プロットで直線にほぼ一致しており対数則が成立していた。摩擦速度と時間との関係を示したものが図5である。また、非定常流の運動方程式から次のように表せる。

$$U_*^2 = g h i - g h \frac{dh}{dx} - h \frac{\partial U}{\partial t} - \frac{h}{2} \frac{\partial U^2}{\partial x}$$

この式の非定常性を無視した第1項から得られる U_* を図中に示している。低水路・高水敷境界領域では対数則から求めた U_* と時間的にズレがみられ、増水期に定常流を仮定したピーク値よりも大きな値が発生し、この付近が洗掘に対して危険となることがわかる。一方、高水敷ではそのズレはほとんどなくなり、定常流に近い流れになる。また、図6は U_* と水深 h の関係を示したものである。これによると、定常流と仮定した摩擦速度は $U_* = \sqrt{gh i}$ となるのに対し、非定常流では増水期と減水期でループを描いており、乱れや、掃流力は増水期と減水期で著しい差があることを示唆している。 U_m の場合と同様に高水敷上ではループの面積は小さくなり、増水期でもあまり大きな増大はみられない。

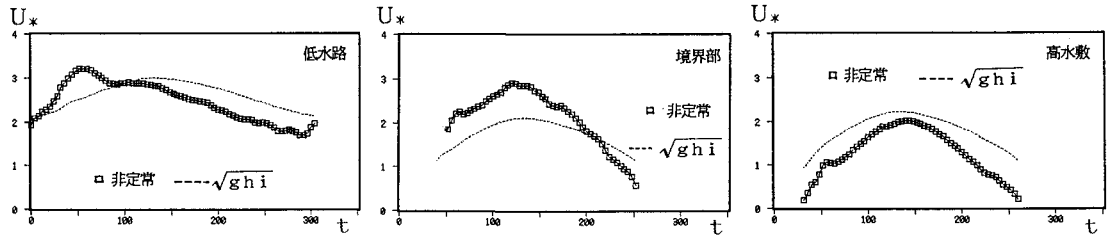


図5 摩擦速度の時間変化 ($T_P=120\text{sec}$)

6. あとがき

以上のことから、 U のピーク時間は低水路から徐々に傾斜側壁、高水敷へと移行し、増水期に境界部に強いせん断が働くことがわかった。また、非定常流においても対数則が成立し、定常流と仮定した摩擦速度と比べて、増水期にはこれを大きく上回り、減水期には小さくなる。今後は、断面形状や非定常性を変化させ乱れ強度やせん断応力、レイノルズ応力などについても詳しい解析を行いたい。

最後に、本研究は河川環境管理財団の補助を受けて行われた。記して謝意を表します。

<参考文献>

- 1) 高橋：京大防災研年報、第12号B、pp515-527、1969

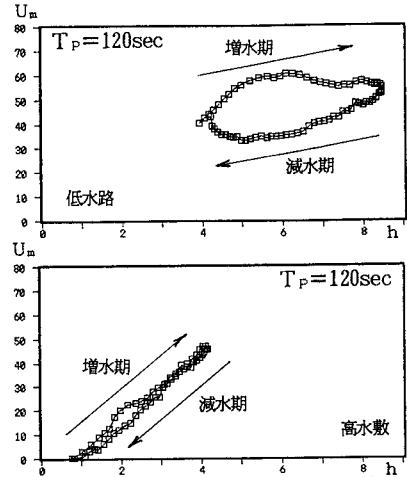


図4 水深平均流速と水深の関係

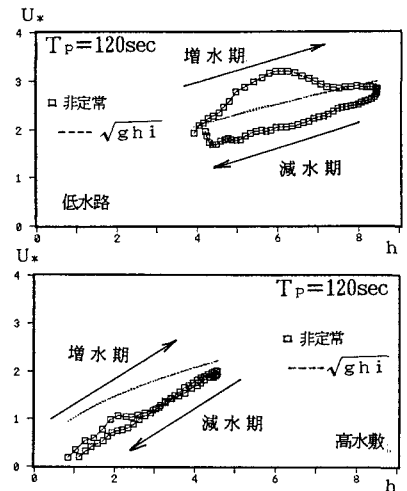


図6 摩擦速度と水深の関係