

わんど内の流れ構造に及ぼす非定常性の影響

名古屋工業大学 学生員
名古屋工業大学 正 員

今野威一郎
富永 晃宏

大日コンサルタント
三井共同建設コンサルタント

北村 浩史
藤長 賢二

1. はじめに 近年、河川は治水、利水、親水、そして生態系保全機能といった多機能を同時に担うべきものであると認識されてきた。その中でわんどは生息環境を提供する場としての役割を期待され、人工わんどの建設も試みられている¹⁾。そこで、洪水や潮汐による流量や水深の変化によってわんど内の土砂堆積や水質がどう変化するかは重要な課題である。本実験では、洪水ハイドログラフを考慮した非定常流においてわんど内の流れ構造を解析した。流量を変化させた水路実験においてわんど内の流速計測を行うとともに、2次元の数値シミュレーションによって非定常性の効果について検討した。

2. 実験方法と実験条件 実験水路は水路長 13.0m、水路幅 59.3cm の勾配可変型開水路とし、水路勾配は 1/2000 とした。水路の片側 30cm を遮蔽し、開口幅を 60cm と 30cm、奥行き 30cm のわんどを上流から 6.4m のところに設置した。図 1 に実験におけるわんどの形状を示す。流速は 2 成分電磁流速形を用いて U、V を計測した。実験条件として定常流では $Q=4\ell/s$ と $Q=11\ell/s$ の 2 ケース、非定常流では基底流量を $Q=4\ell/s$ とし、60s で $Q=11\ell/s$ まで増水させ、ピーク時間を 10s とし 90s で $Q=4\ell/s$ まで減水させるものとした。以下では開口幅 60 のケースについて検討した。

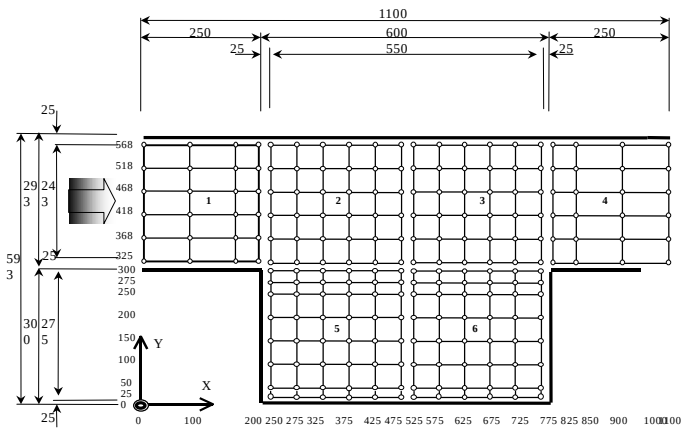


図 1 開口幅 60 計測ポイント説明図

3. 数値計算法 本研究で用いた 2 次元非定常流の基礎方程式は次のようである。

$$\frac{\partial U}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(UU) + \frac{\partial}{\partial y}(VU) = -g \frac{\partial H}{\partial x} - \frac{gn^2}{h^{4/3}} U \sqrt{U^2 + V^2} + \frac{\partial}{\partial x} v_t \left(\frac{\partial U}{\partial x} + \frac{\partial U}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} v_t \left(\frac{\partial U}{\partial y} + \frac{\partial V}{\partial x} \right) \quad (1)$$

$$\frac{\partial V}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(UV) + \frac{\partial}{\partial y}(VV) = -g \frac{\partial H}{\partial y} - \frac{gn^2}{h^{4/3}} V \sqrt{U^2 + V^2} + \frac{\partial}{\partial x} v_t \left(\frac{\partial U}{\partial y} + \frac{\partial U}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} v_t \left(\frac{\partial U}{\partial y} + \frac{\partial V}{\partial y} \right) \quad (2)$$

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial hU}{\partial x} + \frac{\partial hV}{\partial y} = 0 \quad (3)$$

ここに、U,V は流下方向および横断方向水深平均流速、h は水深、n はマンニングの粗度係数、 v_t は水深平均の渦動粘性係数である。式(1), (2)は、スタッガード格子で有限体積法によって離散化され、移流速度はハイブリッド法、時間項は完全陰解法を用いた。水深は SIMPLE 法に基づき水位補正式から計算される。また渦動粘性係数については、 $v_t = \varepsilon_0 \times h \times U_*$ とし、 $\varepsilon_0 = 0.14$ とした。

4. 実験結果および数値計算結果との比較 開口幅 60cm においてわんど内の循環流特性が顕著にあらわれる $x=675\text{mm}$ の位置におけるわんど入口境界($y=300\text{mm}$)および壁面付近($y=25\text{mm}$)の流速 U、V および水深 h の実験値と数値計算値を図 2 および 3 に示す。Y=300mm では流速 U の最大値が水深のピーク時間($t=115\text{s}$)より前の $t=65\text{s}$ 付近に現れており、数値計算でもこれが再現されているが、流速はかなり過大となっている。横断方向流速 V については、実験では明確なピークが認められないが、計算では流速 U と同様に $t=65\text{s}$ で負のピークが発生している。y=25mm では、主流速 U は逆流となっており、負のピークが $t=75\text{s} \sim 85\text{s}$ と y=300mm よりも少し遅い時間に発生している。計算も前半の時間変化はこれと一致しているが、やはり流速は過大となった。t=130s 以降で

キーワード：わんど、非定常流、循環流、数値計算

〒466-8555 名古屋市昭和区御器所町 名古屋工業大学社会開発工学科

Tel&Fax 052-755-5490

y=300mm の U が急減し y=25mm の U が再び値が大きくなるのは、下流端水深の設定に問題があると思われ、今後改良する必要がある。次に図4に流速Uのわんど域内のx=675mm における実験値と計算値の横断面変化を t=25s, 75s について示す。T=25s においては実験値と計算値は側岸付近で計算値が大きくなるもののほぼ一致していることがわかるが、流速が最大となる t=75s においては計算値の方が大きな勾配を示し、循環流が過大に評価されている。この不一致についてはさらに渦動粘性係数を検討する必要があるが、循環流の傾向はよく再現されており、非定常流の流れ構造に関する影響を数値計算によってある程度考察することができると考えられる。図5に定常流と非定常流における流速の x=475mm での横断方向分布の実験および数値計算の結果を示す。定常流では $Q=11\text{ l/s}$ のピーク流量を定常で流した値を、非定常流では流速の最大値が現れる t=75s の値を用いた。計算では非定常流においてわんど内にピーク流量の定常流の場合よりも大きな循環流が発生することになる。これは増水期に主流域とわんど内で大きな水位差がでることによるものと考えられる。実験でも非定常流の場合の方が大きな値を示しているが、わんど内の循環流には計算値ほど顕著な差は見られない。今回の実験では計測位置における実際の流量の時系列が計算できるほど詳細に計測されていないため、さらに検討する必要がある。

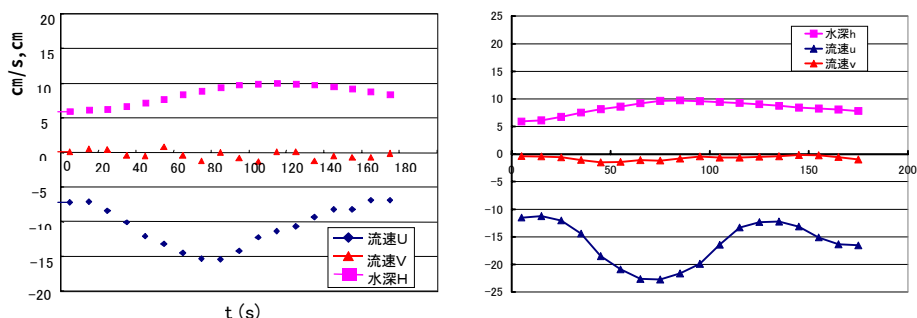


図2 開口幅60におけるU, V, Hの時系列変化(x=675,y=25)

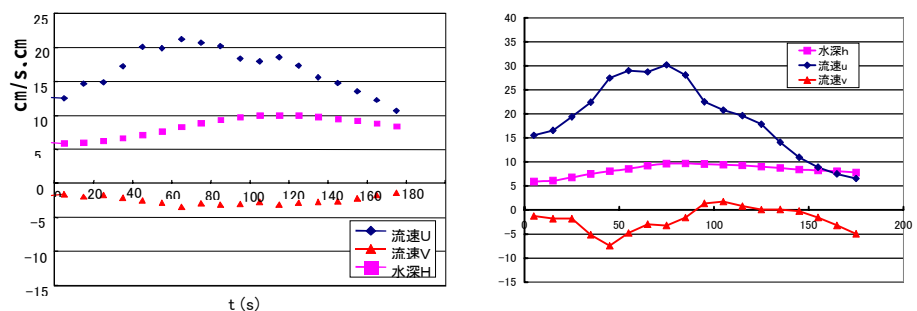


図3 開口幅60におけるU, V, Hの時系列変化(x=675,y=300)

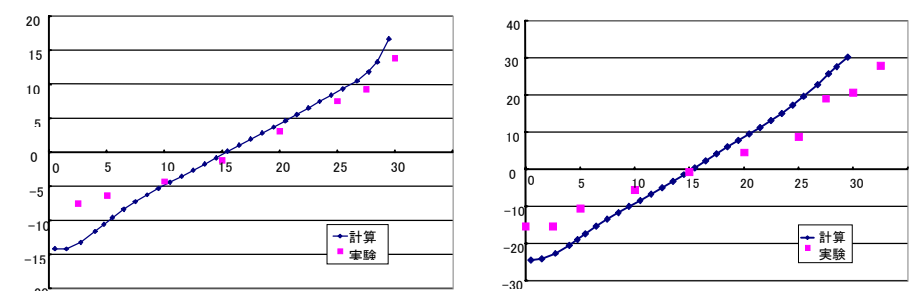


図4 開口幅60における流速Uの横断方向分布(左: t=25 右: t=75)

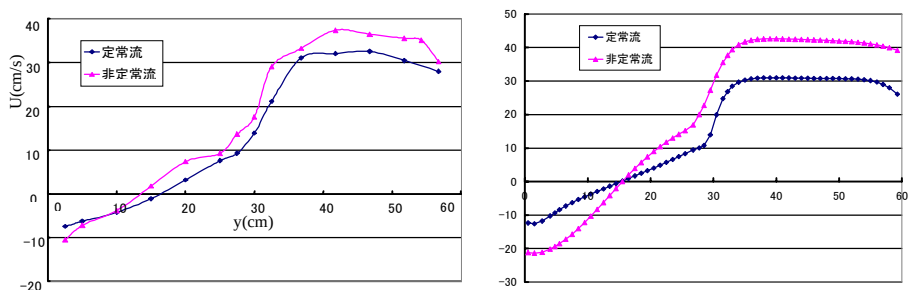


図5 x=475における流速Uの横断方向変化(左: 実験 右: 計算)

5. おわりに

非定常流におけるわんど内の流れ構造は、流量の変化に伴いわんど内外で水位差が発生することにより、定常流のみを考慮した場合とは異なることが示された。わんど内の循環流は非定常流の増水期において定常流を仮定した場合よりも大きくなることがわかった。また全体を通して、数値計算の値が実験値よりもかなり過大に評価されていたため、さらに実験の精度を上げること、数値計算の高度化を図る必要がある。今後はわんど内の土砂輸送や物質輸送に対する流れの非定常性の影響について検討する必要がある。

<参考文献> 1)河川環境管理財団大阪研究所：わんどの機能と保全・創造，1999。