

実験河川わんどゾーンにおける平水時流動と水質に関する研究

名古屋工業大学

○川上哲生

名古屋工業大学大学院 学生員 久田陽史

名古屋工業大学大学院 学生員 田本典秀

名古屋工業大学 正会員 富永晃宏

1. はじめに 治水・利水・環境の多機能を同時に満足することが求められている現在の河川整備において、生息環境支援空間といえる「わんど」の存在は、生物の多様な生息・生育環境の確保に大きなものといえる。その機能を保持するためにも、わんどに生息する水生生物が永続的に生息・生育できるように、良好な生息条件を保つことは重要である。生態系と物理環境に関する現地観測がいくつか行われているが¹⁾、現地の水理特性の把握には困難が多い。本研究では現地と実験室を兼ね備えた岐阜県羽島郡川島町にある独立行政法人土木研究所の自然共生研究センターのわんど研究ゾーンにおいて流速と水質を計測して、平水時におけるわんどの水交換機構について検討した。また現地のわんど形状の影響や植生の影響を考慮した数値計算と比較検討した。

2. 現地実験および観測方法 研究対象としている自然共生研究センターのわんど部の形状を図-1に示す。主水路は底面幅 2.4m、側壁傾斜 1:2 の台形断面水路で、わんどの開口部の長さは底面において約 7.9m である。わんど部は開口部から上流へ深く入り込んでいる。わんどの開口部付近は主水路より深く掘り下げられ、約 1/10 の勾配で上流側へ向かって浅くなっている。計測としては、主水路とわんど開口部にかけてハンディ電磁流速計（計測技研製）により、流速計の向きを変え U, V の 40s 平均を 2 点法により計測した。水質については、主に平水時のわんど内の水質を調べる目的で、2001 年 8 月 9 日 14:00 から 10 日 14:00 にかけて 24 時間計測を行った。図-1 の①から⑤の 5 カ所において水質チェッカー（東亜電波製）を用いて DO および水温を 1 時間おきに計測した。

3. 数値解析の手法 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²⁾。

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

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

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

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、 ν_t は水深平均の渦動粘性係数である。渦動粘性係数は、 $\nu_t = \varepsilon_0 \times h \times U_*$ とし $\varepsilon_0 = 0.14$ とした。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て解かれた。水深は SIMPLE 法に基づき水位補正式から計算される。また、平水時のわんど内の拡散現象を考察するために、わんど域内に一定の濃度を与え、その変化について以下の二次元の拡散方程式を基礎方程式として解析した。

$$\frac{\partial}{\partial t} c + \frac{\partial}{\partial x}(uc) + \frac{\partial}{\partial y}(vc) = \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\nu_t}{\sigma_t} \frac{\partial c}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\nu_t}{\sigma_t} \frac{\partial c}{\partial y} \right) \quad (4)$$

ここで σ_t は乱流シュミット数であり、0.25 とした。

4. 観測結果と数値解析による考察 図-2 に 2001 年 9 日から 10 日にかけて行われた水質 24 時間計測における DO と水温の結果を示す。

①から⑦の番号は図-1 に示した位置に対応している。9 日 17:00 頃と 21:00 頃に一時的な降雨があり計測が中断したが全体への影響は小さいと判断した。水温、DO とともに 16:00 頃から減少し始め、朝の 6:00 頃最小値となる。その後日射により 7:00 頃から急激に増大し始め、昼の 12:00~13:00 頃にピークに達する。実験河川の本川の水は

境川の水をいったん蓄えた上流の配水池から供給されるため敏感な日変化を示す。本川水質とわんどの水質との比較として検討すると、夜中の 2:00 頃までは、本川の水もわんどの水も同様な変化を示しているが、これ以降朝の 9:00 頃までは、本川の水質とわんどの水質に違いが見られる。すなわち、本川の水温の低下に比べてわんどの水温低下は小さい。本川の DO 値は 2:00 から 6:00 にかけて一定で 6:00 頃から上昇し始めるのに対してわんどの DO 値は 4:00 頃まで下がりつづけ 7:00~8:00 頃まで最小値が継続していることがわかる。6:00

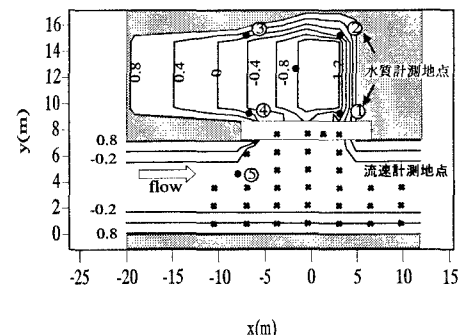
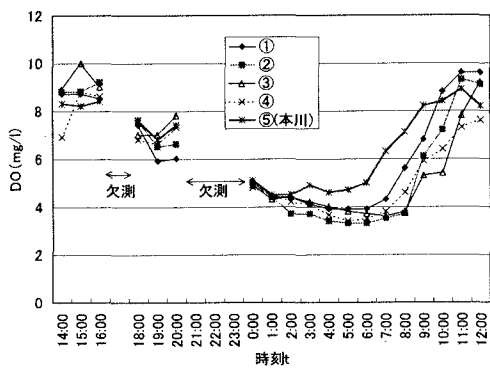
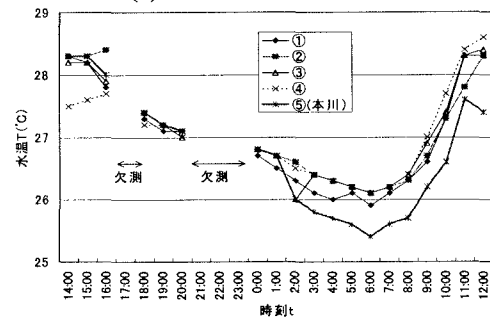


図-1 わんど形状と計測ポイント

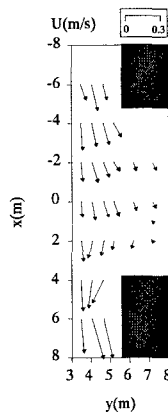


(a) DO の時間変化

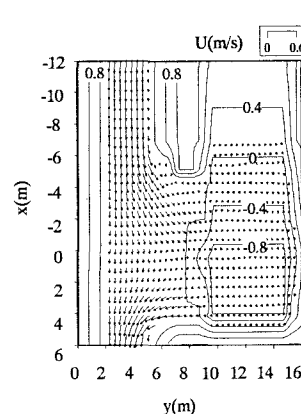


(b) 水温の時間変化

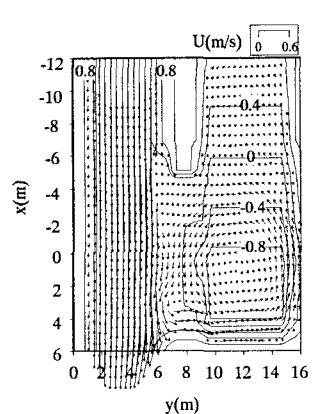
図-2 水質の日変化
(2001年8月9日～10日)



(a) 実測値 (平水時)



(b) 数値計算 (平水時)



(c) 数値計算 (高水時)

図-3 流速ベクトルの比較

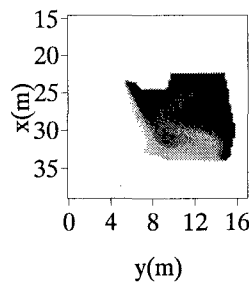


図-4 一時間後の濁度コンター

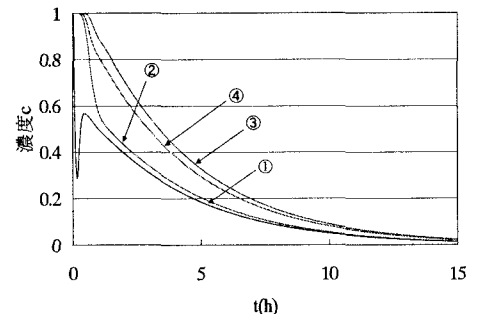


図-5 濁度の経時変化

頃から本川の DO 値が上昇し始めるが、わんど内では①、②、④、③の順に上昇していくことがわかる。これはわんど内の水交換の進行を表しているものと推測される。ただし、昼間はわんど内における植物の光合成の作用が効いてわんど内の DO 値が本川より増大している。

次に平水時の流速について考察する。平水時の流速ベクトルの実測値と計算値との比較を図-3 に示す。図には高水時の計算結果も示している。平水時の下流端水深は 20cm、高水時は 70cm としている。また、河床形状は自然共生研究センターの水路設計図に基づき与えている。図より平水時の流速はわんど上流側で流入し、下流側で流出する流れとなっており、これに伴うわんど内の循環流は非常に弱いことがわかる。また、実測値は開口部付近の値しかないが、計算値の再現性は良好といえる。このように平水時にはわんど内全体に及ぶ循環流による水交換は期待されないが、わんどの深い部分への本川水の供給があり、弱い循環流と分子拡散や風による鉛直混合などが加わって、緩やかに水交換が行われるものと思われる。参考にした高水時での計算結果の流速ベクトルでは、わんど開口部下流から強い流入があり、わんど全体に及ぶ循環流が形成されていることより、平水時と大きく異なることが見て取れる。平水時の水交換についてさらに検討するため、わんど内に一定濃度を与えてから 1 時間経過後の濃度コンターを図-4 に示す。本川水がわんど開口部上流端からわんど内へ徐々に流入する過程が見て取れる。水質計測ポイントでの濁度の経時変化を図-5 に示す。濁度の減少が①、②、④、③の順に進行するなど現地観測で得られた結果と一致することがわかる。また、約 15 時間後にわんど内全体の水が入れ替わる計算結果となった。

5. おわりに 自然共生研究センターのわんど研究ゾーンでの流速及び水質計測と現地の形状を取り込んだ数値解析により、現地スケールでの平水時における水交換について検討した。平水時にはわんど内へ向かう明確な流入はみられず、緩やかに水交換がされていることが観測および数値解析により考えられた。今後はさまざまな現地形状を取り入れた計算を行い、平水時のわんどの流れ構造と水交換機構についてさらに検討したい。

謝辞：現地計測にあたっては自然共生研究センター関係諸氏の協力を得ました。ここに記して謝意を表します。

<参考文献>

- 1) 木村ら：平成 12 年度河川懇談会共同研究 ワンドの水理特性と河川環境 研究成果報告書，2001。
- 2) 富永・長尾：河道内樹木群流れの横断混合に及ぼす高水敷高さの影響，水工学論文集，第 42 巻 pp.415-420,1998