

II-171

水深の浅い水路の水理特性の現地調査とシミュレーション

北海道開発局開発土木研究所 正員 佐藤 徳人

北海道開発局開発土木研究所 正員 西村 豊

北海道開発局開発土木研究所 正員 中津川 誠

まえがき

ダム貯水池や比較的水深の深い湖沼を対象とした富栄養化現象については、比較的多くの調査・検討がなされているが、浅い湖沼、特に停滞性水路については検討された事例は少ない。また、検討するにあたり、水深の浅い停滞性水路では、水理特性が異なるものと推測され、現状を把握しておく必要がある。このような観点から、モデル水域として千歳川流域の農業排水路を設定し、現地調査を実施した。水路の特徴として、水深が浅く風の影響を受けて混合しやすく土壌は火山灰、シルト質などの細粒成分が主体である。この報告では、特に河床形状と風による影響を考慮して、流動メカニズムについて考察し、将来の水質変化について示唆を与えるものとした。

1. モデル水域の概要

調査対象となったモデル水域の形状は、流下方向に約1,800m、横断方向に約130mの水路で、水深は1.0～1.5m程度、1/5,000程度の緩い勾配をもつ水路で、水深に対して流下方向の距離が大いいため、流動に関しては、風の影響を強く受けると考えられる。風は、夏は南よりの風、冬は北よりの風が卓越し、春に比較強い南風が吹く傾向がある。大きさは、月最大風速で10.0m/s程度、月最大風速平均で5.0m/s程度であり、周辺環境にも影響を与えている。現地では平成2年度より2か年にわたり流動・水質等の調査を行っている。

2. 現地調査結果

水路内の水の流動は風の影響を強く受け、測線Fの表面流速は風速の1%程度となっており、表面付近と底面付近の流向が異なる鉛直分布もみられている。一般に表面流は風速の2～4%と見積もられ、霞ヶ浦の現地観測結果でも1～5%の範囲にあった。本事例で表面流速がやや小さくなっているのは、水深がきわめて浅いため河床底面の摩擦が効いているからと考えられる。なお、風によって生じる水面勾配は、風によるせん断力と水深に関係しているが、風速が大きいほど、また水深が浅いほど水面勾配が大きくなることが解っている。次に、水平方向の流動特性をみる。図1には、H3.8.29調査時の流速分布の観測結果を示しているが、このときは、南よりの平均5.9m/sの風が吹いていた。とくに測線H、I、Jに着目すると、流れは河岸付近では風向と同一、中央部では逆流して風上側に向かっている。これは、河岸付近で浅く、中央部で深くなっているということから生じる水平循環流と見られる。すなわち、先に示した事実から、水深の浅いところでは深いところと比べて水面勾配が大きくなり、水路中央部が盛り上がるような水面勾配が横断方向に生じる。よって河岸側はますます順流方向に流速が大きくなり、反流として中央部では逆流するという結果となる。このように、浅い水路の流動形態は河床形状に規定され、河岸付近で浅く中央部で深い断面では河岸付近で順流、中央部で逆流と言う流れのパターンが現れることになる。

3. 流動のシミュレーション

現地観測で得られた結果を数値シミュレーションで検証してみる。流れの数値シミュレーションは、水質成分の収支を現すモデルと合わせて水路水質の将来予測を行う上で必要なものである。最初に現場条件を考えてモデルの選定を行うが、水路の水深が浅いこと、また水平方向の流動に主に着目する意味から2次元1層モデルを用いることにする。

$$\text{運動方程式: } \frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial MU}{\partial x} + \frac{\partial NU}{\partial y} = fVH - gH \frac{\partial \zeta}{\partial x} + Ax \left(\frac{\partial^2 M}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 M}{\partial y^2} \right) + \frac{\tau_{sx} - \tau_{bx}}{\rho} \quad (1)$$

また、上記の運動方程式(x成分)の各項の大きさについて、オーダー比較をモデル水域の諸元にあてはめて行うと表1のような結果となり、圧力項と水面摩擦項が重要になる。よって、下記に示すモデルを選定した。

$$\text{運動方程式：} \quad \frac{\partial M}{\partial t} = -gH \frac{\partial \xi}{\partial x} + \frac{\tau_{sx} - \tau_{bx}}{\rho} \quad (2)$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} = -gH \frac{\partial \xi}{\partial y} + \frac{\tau_{sy} - \tau_{by}}{\rho} \quad (3)$$

$$\text{連続式：} \quad \frac{\partial \xi}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0 \quad (4)$$

表1 運動方程式の各項の大きさ

時間変化項	$\frac{\partial \xi}{\partial t}$	$\approx$ 現象によって異なるが、定常状態の
移流項	$u \frac{\partial \xi}{\partial x}$	$\approx 5 \times \frac{5}{2 \times 10^2} \approx 12.5 \times 10^{-3} \approx 1 \times 10^{-2}$
コリオリ項	$f \cdot u$	$\approx 7.3 \times 10^{-3} \times 5 \approx 36.5 \times 10^{-3} \approx 4 \times 10^{-2}$
圧力項	$g \frac{\partial \xi}{\partial x}$	$\approx \frac{0.3}{100} \approx 0.3 \times 10^{-3} \approx 3 \times 10^{-3}$
水面摩擦項	$\frac{\tau}{\rho h}$	$\approx \frac{2.6 \times 10^{-3}}{100} \approx 3 \times 10^{-5}$
水平粘性項	$A_H \frac{\partial^2 \xi}{\partial x^2}$	$\approx 4 \times 10^{-3} \times \frac{5}{2 \times 10^{10}} \approx 5 \times 10^{-7}$
水面摩擦項	$\frac{\tau_x}{\rho h}$	$\approx \frac{0.3}{1 \times 100} \approx 3 \times 10^{-3}$
底面摩擦項	$\frac{\tau_b}{\rho h}$	$\approx \frac{2.6 \times 10^{-3}}{1 \times 100} \approx 3 \times 10^{-5}$

図2は、H3.8.29 調査時の再現を試みたものとなっており、これを見ると、観測値と同様、河岸側の浅いところでは風向きに対して順流、中央部で逆流と言う水平循環流が再現されていることが解る。また、順流の大きさは、両者共に1～5cm/sとなって、シミュレーションは観測結果を良く再現していると言える。このように、浅い停滞性水路の水平方向の流動は、河床形状が大きく影響することが観測・シミュレーションから検証された。

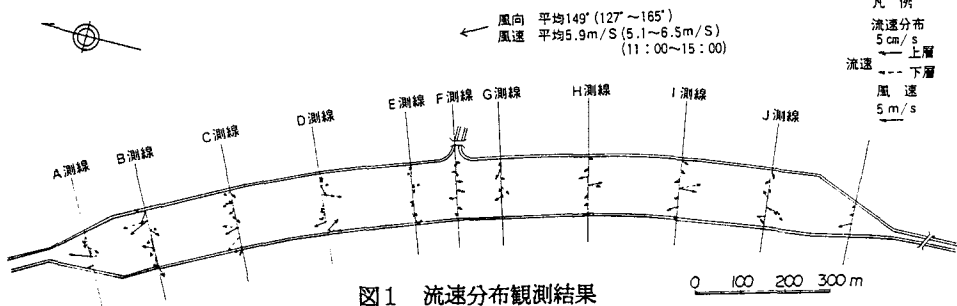


図1 流速分布観測結果

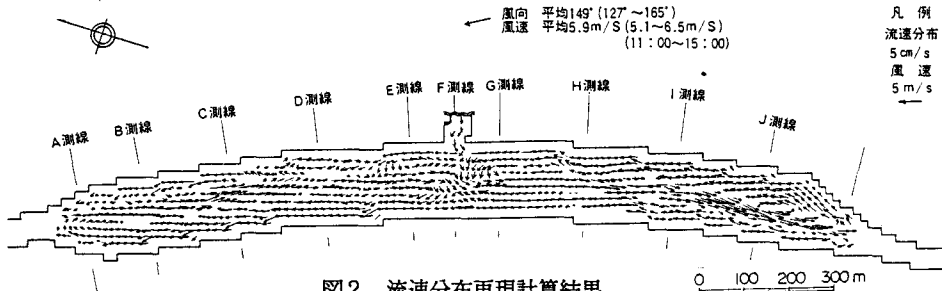


図2 流速分布再現計算結果

あとがき

今回に調査及び検討で、対象とした水深の浅い水路における流動特性は、風と河床形状に大きく影響され、河岸付近で浅く中央部で深い断面では水平循環流が現れることが、現地調査結果及びシミュレーションで確認された。また、この流動特性が水路内の水質にも影響しており、水路全体が混合され、富栄養化が抑制されたため、現地はそのような事態には至っていないことが調査より判明している。

このような状況を踏まえ、今後は流れのモデルを再検討し、現地調査を継続して水質の状況の推移を調べていくとともに、水質成分の流入負荷量、内部生産量を加味して水域内の物質収支を明確にして、対象水域への水質シミュレーションモデルの適用を図り、将来の水質予測を行っていく。

参考文献

- 1) 檜谷 治、道上正規、鈴木幸一；湖山池における吹送流観測：第32回水理講演会論文集 1988.2
- 2) 土木試験所河川研究室；現場のための水理学：1988.1