

II-258

境界要素法による琵琶湖南湖の吹送流
に関する数値解析

西松建設(株)技術研究部 正会員○多田彰秀
京都大学 工学部 正会員 岩佐義朗
西松建設(株)技術研究部 正会員 西平福宏

1.はじめに; 本報では、既に発表した境界要素法による浅水湖における吹送流の数値解析法¹⁾に若干の改良を加え、河川等からの流出入の影響が大きい場合にも適用可能な方法を提案するとともに、瀬田川及び京都疎水への放流の影響を顕著に受ける琵琶湖南湖での吹送流を対象として数値解析を行い、鉛直渦動粘性係数の変化が流動特性に及ぼす影響について二、三の考察を行っている。 $\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0$ (1)

2.基礎式及び境界条件; 定常流の基礎式及び境界条件を示せば、

次のとおりである。なお、詳細については文献1)を参照されたい。

$$fu = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + A_v \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \quad (3)$$

$$g = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} \quad (4)$$

$$\text{境界条件; } z = -h, \quad u = v = w = 0 \quad (5)$$

$$z = \zeta, \quad w = u \frac{\partial \zeta}{\partial x} + v \frac{\partial \zeta}{\partial y} \quad (6)$$

$$\frac{\partial u}{\partial z} = \tau_x, \quad \frac{\partial v}{\partial z} = \tau_y \quad (7)$$

$$-fu = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + A_v \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \quad (2)$$

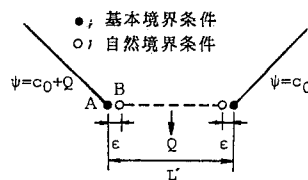


図-1 流出入部の境界条件

表-1 計算条件

計算ケース	風向	A_v (m^2/s)	F_v
Run 1	NNE	1.44×10^{-4}	0.132
Run 2	SSW	1.44×10^{-4}	0.132
Run 3	SSW	0.72×10^{-4}	0.066
Run 4	SSW	7.20×10^{-4}	0.660

瀬田川流量 $Q_0=80m^3/s$ 、疎水放流量 $Q_0=20m^3/s$ 、

$f = 2\omega \sin \phi$ 、 ω : 地球自転の角速度、 ϕ : 緯度(=35.08)、 $\gamma_s^2 = 1.3 \times 10^{-3}$ 、

$(\tau_x, \tau_y) = \frac{\rho_a}{\rho} \gamma_s^2 (W_x, W_y) \sqrt{W_x^2 + W_y^2}$

次に、連続式(1)を水底から水面まで積分し、境界条件(6)を用いることにより次の関係式(8)が得られる。

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\int_{-h}^{\zeta} u dz \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\int_{-h}^{\zeta} v dz \right) = 0 \quad (8)$$

さらに、rigid-lid approximationを用いれば、(9)及び(10)式で示される平均流速 $\bar{u}$ 、 $\bar{v}$ が流れ関数 ψ を導入して定義される。

$$\bar{u} = \frac{1}{h} \int_{-h}^0 u dz = \frac{1}{h} \frac{\partial \psi}{\partial y} \quad (9)$$

$$\bar{v} = \frac{1}{h} \int_{-h}^0 v dz = -\frac{1}{h} \frac{\partial \psi}{\partial x} \quad (10)$$

最終的に、これらの式より流れ関数に対する基礎式(11)が誘導される。

$$\frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial y^2} = A(x, y) \frac{\partial \psi}{\partial x} + B(x, y) \frac{\partial \psi}{\partial y} + C(x, y) \quad (11)$$

(11)式に対する境界条件については、湖岸部において基本境界条件($\psi = \text{const.}$)を、河川等の流出入部においては自然境界条件($\partial \psi / \partial n = 0$)を与えている。また、図-1に示されるように湖岸部と流出入部が交わる節点Aにおいては、両境界条件が同時に課せられるために、数値的な精度の低下を招く恐れがある。ここでは、新たにA点に極めて近い節点Bを設け、前者には基本境界条件を、後者には自然境界条件を与えて数値解析する。なお、 ϵ は両点間の距離であり、 $L' \times 10^{-3}$ としている(L' :境界要素長)。

3.計算条件; 風は、長軸方向の風(NNE及びSSW)を全湖一様に与えている。鉛直渦動粘性係数 A_v については、経験式²⁾

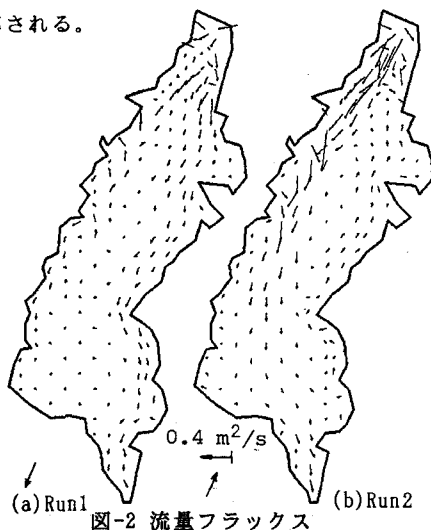


図-2 流量フラックス

$2.0 \times 10^{-5} \times |W| \times \bar{h}$ を参考にして算定し、全湖及び水深方向に一定と仮定している。ここで、 W ；風速 (cm/s)、 $\bar{h}$ ；平均水深 (=360cm) である。その他の条件については、表-1に示すとおりである。

4. 計算結果； 図-2(a)及び(b)は、それぞれRun1及びRun2の流量フラックス図である。いずれも、浅い東岸沿いには風と同じ向きの流れが、水深が深い西岸沿いには風と逆向きの流れが生じており、それに伴って水平環流が生じている。さらに、N,S,NE及びSWの風のもとでも同様な計算を行ったが、南よりの風の方が水平環流は明瞭に形成されるようである。図-3 (a),(b)及び(c)は、 A_v の値を変化させた時の流量フラックス図で、それぞれRun3、Run2及びRun4に対応する。水平環流は、 A_v の値が小さいほど顕著に現れる

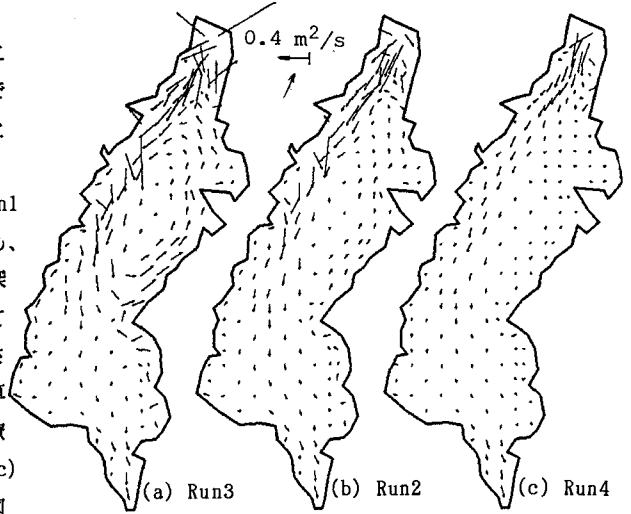


図-3 流量フラックス (A_v の変化)

傾向にある。さらに、これらの A-B鉛直断面内での流速分布を比較したものが図-4 (a),(b)及び(c)である。Run3及びRun2では、鉛直循環流が顕著に形成されている。一方、鉛直エクマン数 E_v がRun2の5倍であるRun4では、循環流は生じていない。また、図-5 (a),(b)及び(c)は、A-B断面に垂直な横断面C-D内での流れを示したものである。図-4と同様に、Run3 (図-5 (a)) 及びRun2 (図-5 (b)) において、わずかなではあるが二次流の存在も認められる。したがって、鉛直渦動粘性係数 A_v の変化は、少なくとも鉛直方向の流動特性に影響を及ぼすものと判断される。

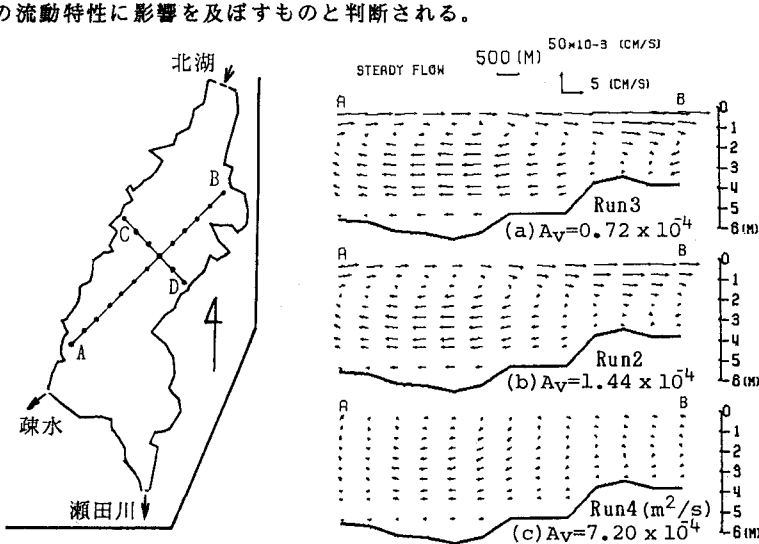


図-4 A-B 鉛直断面内の流れ (A_v の変化)

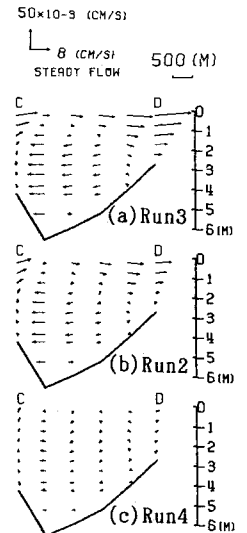


図-5 C-D 横断面内の流れ

5. おわりに； 以上より、河川等の流出入部において自然境界条件 ($\partial \phi / \partial n = 0$) を課すことにより、流入流量を考慮した計算が可能となった。また、吹送流の数値解析においては、鉛直渦動粘性係数の評価法が重要なことが確認された。(参考文献) 1) 若佐義朗、多田彰秀、泊 宏；境界要素法を適用した諏訪湖の湖流に関する数値解析、京都大学防災研究所年報、第29号 B-2、1986、pp.561-578。2) 大久保賢治、村本嘉雄、久保田 一；琵琶湖南湖の湖流解析、京都大学防災研究所年報、第26号 B-2、pp.503-530。