

中央大学大学院 学生員 ○柴田直俊 水資源機構 正会員 工藤勝弘
中央大学理工学部 正会員 岡田将治 中央大学理工学部 正会員 山田 正

1. 序論 近年多くの湖沼において水質汚濁の問題が生じている。富栄養化など水質問題を議論する場合には、汚濁物質を輸送する流動を的確に捉える必要がある。湖沼の流況には風による吹送流が大きく影響する場合が多い。本研究では、湖底地形の複断面形状が湖内流動に与える影響について吹送流の二次元数値解析により考察する。

2. 基礎方程式と境界条件 運動方程式は(1),(2)式に示す二次元不定流の基本式を用いている。連続式は(3)式。

$$\frac{M}{\alpha} + \frac{\partial(M^2)}{\partial x} + \frac{\partial(MN)}{\partial y} = -gH \frac{\partial h}{\partial x} - \frac{g}{C^2} \frac{M}{H^2} \sqrt{M^2 + N^2} + \frac{1}{\rho_w} \left[\frac{\partial}{\partial x} (H \cdot \tau_{xx}) + \frac{\partial}{\partial y} (H \cdot \tau_{xy}) \right] + fV_x \quad (1)$$

$$\frac{\partial N}{\partial x} + \frac{\partial(N^2)}{\partial y} + \frac{\partial(MN)}{\partial x} = -gH \frac{\partial h}{\partial y} - \frac{g}{C^2} \frac{N}{H^2} \sqrt{M^2 + N^2} + \frac{1}{\rho_w} \left[\frac{\partial}{\partial y} (H \cdot \tau_{xy}) + \frac{\partial}{\partial x} (H \cdot \tau_{yx}) \right] - fV_y \quad (2)$$

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

ここに、 t :時間[sec], M, N : X, Y 方向の流量フラックス[m³/s/m], H :水深[m], g :重力加速度[m/s²], h :水位[m], C :Chezy 抵抗係数[m^{1/2}/s], ρ_w :水の密度[kg/m³], $\tau_{xx}, \tau_{xy}, \tau_{yy}$:せん断力, V_x ,

V_y : X, Y 方向の風速[m/s]である。境界条件は, $U_{x=0, Lx}=0$,

$V_{y=0, Ly}=0, \partial h / \partial x = \partial h / \partial y = 0$ 。

3. 吹き寄せによる水位の上昇 単断面を有する長方形水域(図1上図)に風を吹かせた状態で最風下地点(図1)での水位の上昇について調べた。水深は1,2,3,4,5[m]の5通り、風速は1,5,10,15[m/s]の4通りを組み合わせ、解析計算を行った。風摩擦係数は0.0026、底面粗度は0.02とした。渦動粘性の影響が無い場合の結果を図1に示す。検討地点では、風速が大きくなるほど、あるいは水深が浅くなるほど、水位の上昇高が大きくなる結果となった。上昇した水位の最大は、水深1[m]、風速15[m/s]のときに約13[cm]であった。また、検討地点での水位の上昇高は、風速が低下するほど水深の違いによる差がなくなる傾向を示した。

4. 複断面を有する長方形水域における流動 実際の湖沼は複雑な湖底形状を有するため、複断面を持つ長方形水域において吹送流の数値解析を行った。対象は図1下図に示す周辺部を水深1[m](領域1)、中央部を(領域2:中央部の水深は2,5,20[m]の3通り)とした長方形水域である。風の条件は、一定の風速(1,5,10,15[m/s])で4時間同一方向に吹き続けるものとした。4時間後の複断面長方形水域(1000-2000[m]分を表示)の流速ベクトル図を図3から図6までが領域2の水深2[m]の場合、図7から図10までが水深5[m]の場合、図11から図13までが水深20[m]の場合を示す。

5. 解析結果 **(a)領域2の水深が2[m]である場合.** 全ての風速条件下で領域2において風向とは逆向きの流れが生じた。この流れは風速が大きくなるほど流速が大きくなる傾向を示した(図14)。特に領域2での流速は領域1での流速よりも大きくなる傾向を示した。風向とは逆向きの流れが生じることで、複断面境界線上で乱れが生じている。ただし、風速1[m/s]の場合には複断面の境界部分では流れが乱れる現象がほとんど見られなかった。5[m/s]以上の風速で複断面の境界において循環流が生じている。この循環流によって領域2での流れが蛇行するようになった。**(b)領域2の水深が5[m]である場合.** 全ての風速の場合に領域2で風向とは逆向きの流れが生じた。流速は風速に比例して大きくなるが、領域1での流速の方が領域2での流速よりも常に大きい。複断面境界部での乱れは、風速が1[m/s]である場合でも小規模に生じている。風速が5[m/s]以上の場合には、領域2において流況が蛇行現象を生じるものの、顕著に現れなかった。また、風速が大きくなるに従って複断面境界部での乱れが小さくなる傾向が示された。**(c)領域2の水深が20[m]である場合.** 領域2では風向と逆向きに流れが生じるものの、流速は領域1と比べて小さくなった。風速の増加に伴い生じる領域2の流速の変化は小さいものとなった。最風下地点周辺で流れが乱れ、風速が5,10[m/s]の場合には領域2での風向とは逆向きの流れが蛇行する現象が見られた。

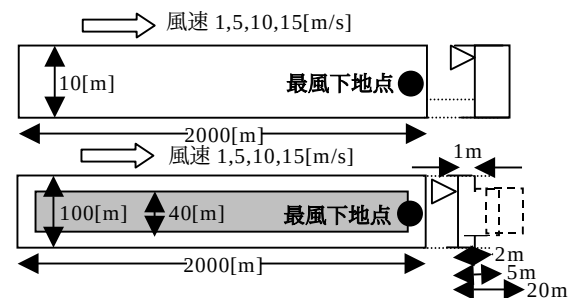


図1:計算対象概図(上図:単断面, 下図:複断面)
最風下地点で水位上昇高の検討を行う。上図は単断面, 下図は複断面(浅底部1m, 深底部2または5m)の検討対象域を示す。

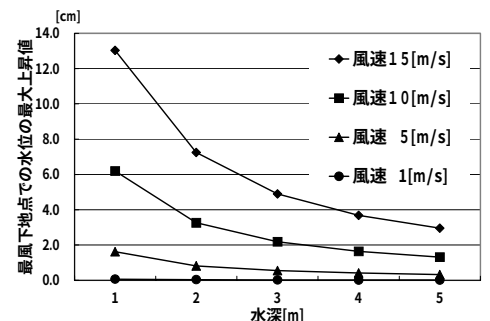


図2:最風下地点での最大上昇高と水深の関係(単断面)

風速が大きいくほど、あるいは水深が浅いくほど最風下地点での水位の上昇高は大きくなる。水深が浅くなるほど風速の違いによる最風下地点での水位の上昇高の差が大きくなる。

キーワード: 吹送流, 循環流, 二次元数値計算

連絡先: 〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27 中央大学 理工学部 土木工学科 河川・水文研究室
TEL) 03-3817-1805 FAX)03-3817-1803

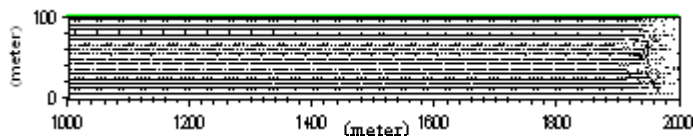


図 3: 風速 1[m/s],複断面水深 1.2[m],1000-2000[m]区間の流速ベクトル図

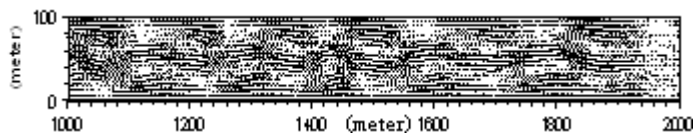


図 4: 風速 5[m/s],複断面水深 1.2[m],1000-2000[m]区間の流速ベクトル図

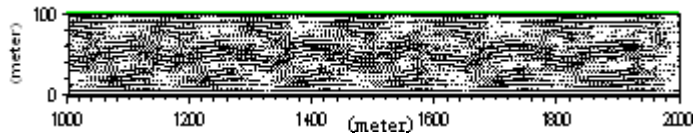


図 5: 風速 10[m/s],複断面水深 1.2[m],1000-2000[m]区間の流速ベクトル図

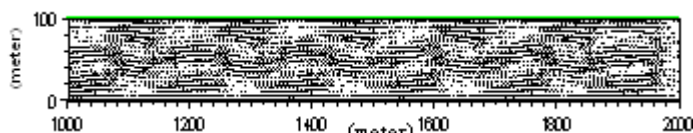


図 6: 風速 15[m/s],複断面水深 1.2[m],1000-2000[m]区間の流速ベクトル図

〔複断面の水深が 1m と 2m 風速が 1[m/s]と遅い場合には複断面境界部での流れの乱れは見られないが(図 3)風速が大きくなるに従って、境界部で循環流が生じ領域 2 の風向とは逆向きの流れが蛇行を形成し始める。〕

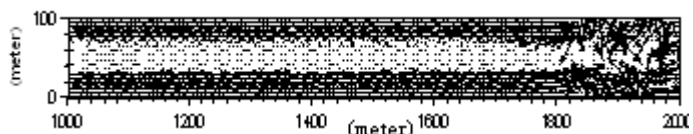


図 11: 風速 1[m/s],複断面水深 1.20[m],1000-2000[m]区間の流速ベクトル図

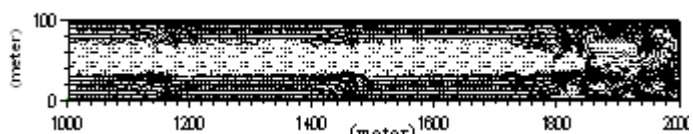


図 12: 風速 5[m/s],複断面水深 1.20[m],1000-2000[m]区間の流速ベクトル図

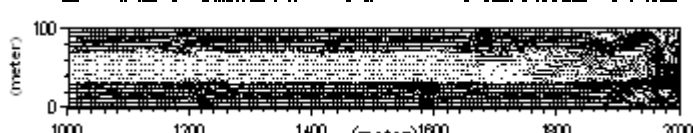


図 13: 風速 10[m/s],複断面水深 1.20[m],1000-2000[m]区間の流速ベクトル図

〔複断面の水深が 1m と 20m 最風下部で流れの乱れが生じている (図 11~13) また領域 2 における流速は水深が 2.5[m]の場合に比べて小さい。風速が大きくなるに従って最風下部で領域 2 の風向とは逆向きの流れが蛇行を形成し始める。〕

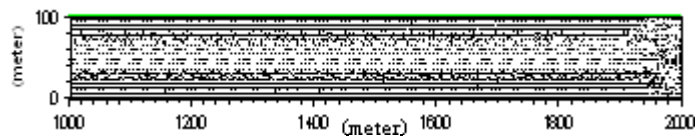


図 7: 風速 1[m/s],複断面水深 1.5[m],1000-2000[m]区間の流速ベクトル図

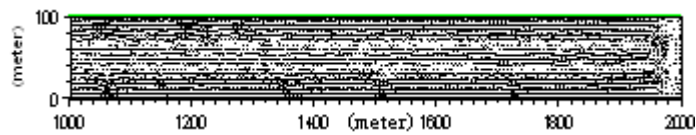


図 8: 風速 5[m/s],複断面水深 1.5[m],1000-2000[m]区間の流速ベクトル図

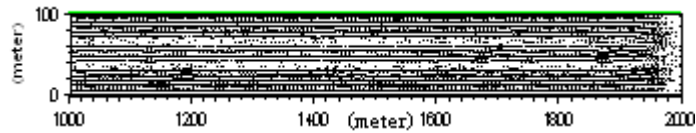


図 9: 風速 10[m/s],複断面水深 1.5[m],1000-2000[m]区間の流速ベクトル図

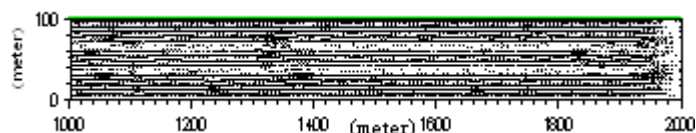


図 10: 風速 15[m/s],複断面水深 1.2[m],1000-2000[m]区間の流速ベクトル図

〔複断面の水深が 1m と 5m 風速が 1[m/s]と遅い場合にも複断面境界部での流れの乱れが見られる(図 7)風速が大きくなるに従って境界部での乱れが小さくなる。また、わずかながら風向とは逆向きの流れが蛇行を形成し始める。〕

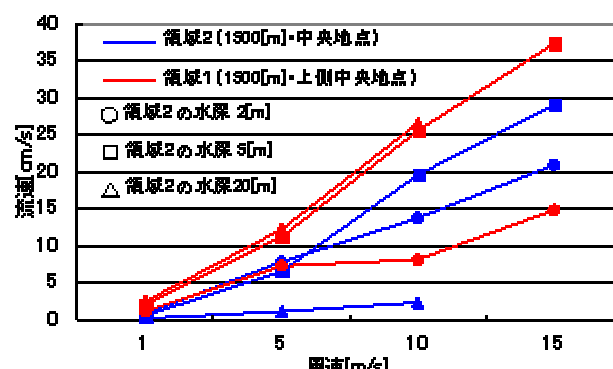


図 14:複断面(領域 1,領域 2)1500m 地点における流速と風速の関係

〔複断面領域 2 の水深が 2[m]の場合は、風速が大きくなると領域 2 での風向に逆向きに流れる流速が領域 1 での流速よりも大きくなる。そのほかの場合は、領域 1 での流速のほうが領域 2 での流速よりも大きくなる。〕

6. 考察とまとめ 本研究では湖沼における吹送流の基礎的な挙動を捉えるために、単断面長方形水域と複断面長方形水域について二次元数値解析を行った。吹き寄せによる水位の上昇については、浅い水深または大きな風速であるほど最風下地点での水位の上昇値は大きくなる傾向となった。ただし、実現象では水位の上昇には「吹き寄せ」と「風波」の二つの現象の重ねあわせが作用していることに注意が必要である。次に、湖沼の流動解析では、中央部の水深の深い場所に風向とは逆向きの流れが生じた。これは、水深が深くなることで底面摩擦の影響が低減したために生じたものと考えられる。複断面境界部分で生じる流れでは大規模な循環流を生じることが示された。水深が浅いほどその傾向が強いと考えられるが、図 13 のように水深が深く風速が大きい場合には風下地点周辺部でも蛇行現象が生じた。本研究で扱ったような湖沼の幅に対して水深の浅い水域では、水深が浅ければ浅いほど風による湖沼内流動への影響は大きくなると考えられる。現実問題として、水質問題を生じている湖沼は水深が幅に比べて浅い水域が多いため、今後より複雑な地形等での吹送流に関する研究を進めていくことは、湖沼の流動特性と汚濁現象を考察していく上で重要であると考えられる。

謝辞:流動解析にはデンマーク水理研究所およびアルファ水工コンサルタンツより MIKE21 を提供していただきこれを用いている。ここに記して謝意を表す。**参考文献:**村岡浩爾,福島武彦 陸水域の富栄養化に関する総合研究(III)霞ヶ浦(西浦)の湖流 国立公害研究所研究報告第 19 号 pp9-pp42

複断面境界部分では常に乱れが生じているものの、風速が大きくなるに伴い、乱れが小さくなる傾向を示した。