

湖底形状が湖内流動に与える影響

中央大学大学院 学生員 ○柴田 直俊
 中央大学理工学部 正会員 岡田 将治
 ニュージェック 正会員 弘中 貞之
 中央大学理工学部 正会員 山田 正

1. 背景と目的

湖沼における水質問題を取り扱うには、湖内流況による汚濁物質輸送を適切に捉えることが必要である。湖沼の流動に影響を与える様々な要因の1つとして湖底形状があるが、近年多くの湖沼において砂利採取や湖沼水質改善を目的とした底泥の浚渫等により、湖底形状が短期間で急変している。本研究では、湖底形状の変遷が湖内流動に与える影響を捉えるため、様々な断面形状を有する長方形湖において、風による湖内流動について数値計算を行い、湖底形状の変化が湖内流動へ及ぼす影響について考察を行う。

2. 基礎方程式と境界条件

運動方程式は(1)、(2)に示す二次元不定流の基本式と連続式(3)を用いた。

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

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

$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0$ (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。渦動粘性係数 0.02[m²/s], マニングの粗度係数 0.02, 風摩擦係数 0.0026 を用いている。境界条件は壁面に沿う流れを全てスリップ条件とした。

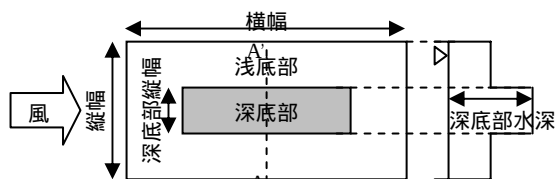


図1 計算対象概要図

風は左から右向きに吹くとし、浅底部の水深は1[m]。本講では長方形湖と正方形湖の二通りについて解析を行う。

3. 数値解析 数値解析を行う湖の概要図を図1に示す。数値計算を行うケースは横幅 100[m], 縦幅 30[m]の長方形湖と横幅 100[m], 縦幅 100[m]の正方形湖の2種類について行った。この長方形湖の中央部に横幅 80[m], 縦幅 10, 20[m], 水深 1.5, 2.0, 5.0, 10.0[m]の深底部を付加した8通り、正方形湖の中央部に横幅 80[m], 縦幅 10, 20, 40[m], 水深 1.5, 2.0, 5.0, 10.0[m]の深底部を付加した12通りの計20通りの複断面形状を有する湖を数値計算ケースとした。また、浅底部の水深は1[m]で

あり、風速は全てのケースに対して5, 10[m/s]の2通りで12時間一定方向から吹き続けるものとした。

4. 解析結果 長方形湖における流動

本解析ではシミュレーション時間が5時間を経過した時点で、ほぼ全てのケースにおいて定常状態になったため、以降解析は5時間経過した時点の値を用いる。また、流速等の変化は図1中のA-A'断面において検討を行っている。

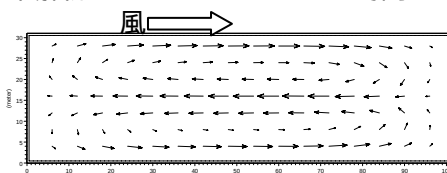


図2 流速ベクトル図

風速10[m/s], 深底部水深1.5[m], 深底部縦幅10[m]の場合での5時間経過した状態の流速ベクトル図。中央部の流速は6[cm/s]程度

ため、以降解析は5時間経過した時点の値を用いる。また、流速等の変化は図1中のA-A'断面において検討を行っている。(a)湖内流動について複断面を有する長方形湖に風を左から右方向に吹かせた場合、湖内流動は図2に示すように深底部における流れの方向が風の吹いてくる方向とは逆向きの流れが生じた。この現象は深底部縦幅を10[m]から20[m]に拡張しても同様に見られた。(b)風速が変化した場合 風速が5[m/s]から10[m/s]と増加すると浅底・深底部での流速はいずれも大きくなる

傾向を示した。(c)深底部縦幅が拡張した場合 深底部縦幅が2倍になると浅底部の流速は2～3割減少し、この減少の割合は、深底部水深が深いほど大きい。これに対して、深底部の流速は5割減となり、深底部の水深によって割合が変化する傾向は見られなかった(図3)。また狭まった浅底部における断面流速は深底部縦幅が10[m]の場合に比べて急な勾配で複断面境界部から壁面境界部にかけて増加する。

キーワード：吹送流、湖底形状、二次元数値解析

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

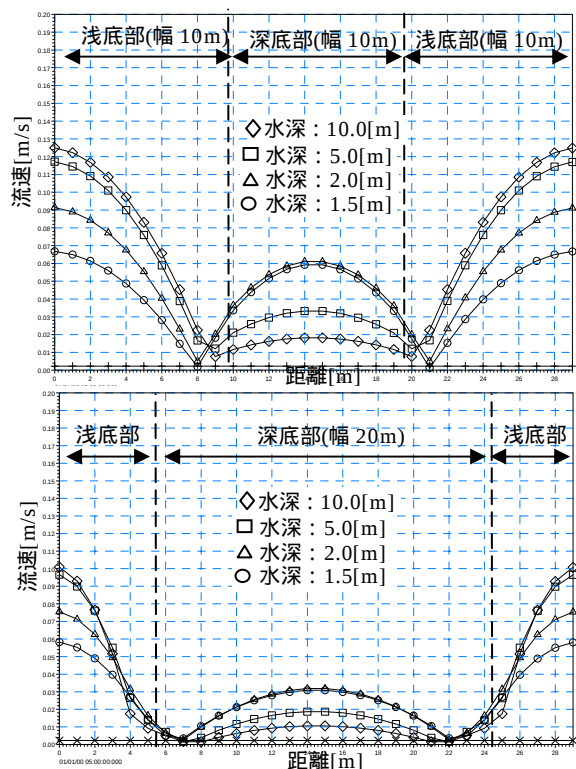


図3 断面流速図(上図:深底部幅 10[m],下図:深底部幅 20[m])

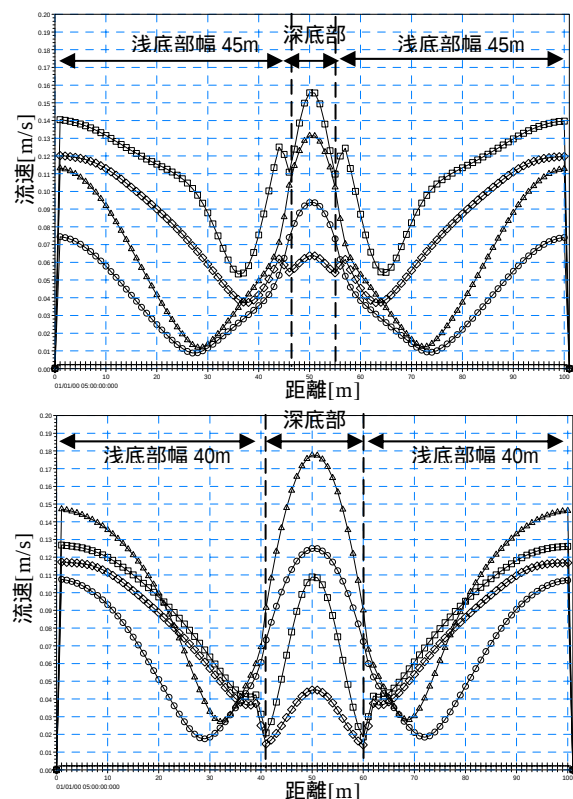


図4 断面流速図(上図:深底部幅 10[m],下図:深底部幅 20[m])

縦幅 10[m]よりも十分に広い場合には次のような流速の変化が見られる。深底部の水深が浅く、その水深から深くなる場合には、深底部の流速は大きくなる。しかしながら水深が深い場合には、深底部縦幅と湖の縦幅とに十分な広さがない場合と同様に、その場の流速は小さくなる。湖の縦幅が深底部縦幅に比べて十分に広い場合に、深底部縦幅が拡幅すると浅い水深の深底部の流速は大きくなり、深い水深の深底部の流速は小さくなる。

<参考文献> 1. 村岡浩爾, 福島武彦 陸水域の富栄養化に関する総合研究(霞ヶ浦(西浦)の湖流 国立公害研究所研究報告第19号 pp9-pp42

(d)深底部水深が変化した場合 深底部水深が深くなるほど浅底部での流速は大きくなり、深底部での流速は小さくなった。この深底部水深の変化に伴う流速の変化の割合は、浅い状態から深くなる場合よりも水深が深い状態で変化した場合のほうが小さくなる(図3)

5. 解析結果 正方形湖における流動

(a)湖内流動について 正方形湖の場合も深底部の流れは風向とは逆向きであった。この流れは、深底部縦幅が 10, 20, 40[m]の何れの場合においても同様の流況を示した。ただし、深底部縦幅 40[m]の場合で水深が 1.5[m]以外のケースでは、定常状態にはならなかった。(b)風速が変化した場合 風速の変化に伴って、流速も大きくなる傾向を示した。変化の割合は風速が 5[m/s]から 10[m/s]になると、浅底部での流速が約 2 倍、深底部での流速が 2 ~ 3 倍となった。(c)深底部縦幅が拡幅した場合 深底部縦幅が 10[m]から 20[m]に変化した場合には、深底部水深が 2[m]以下の流速が大きくなり、5, 10[m]の場合には流速が小さくなった。次に深底部縦幅が 20[m]から 40[m]に変化する場合には、深底部水深 2[m]の場合でのみ深底部流速が低くなり、それ以外のケースでは深底部、浅底部の関係なく流速が大きくなった。(d)深底部水深が変化した場合 深底部水深が深くなる場合には、深底部の流速は一度大きくなり、ある水深を超えると流速が逆に遅くなる傾向を示した。

6. 考察とまとめ

湖底形状が湖内流況に与える影響を捉えるために、複断面を有する長方形湖沼を考え、その対象水域の幅、水深、風速等を変化させた場合の流速、流況を二次元不定流計算による数値計算により解析を行った。結果、流況については、複断面の深底部において流れの方向が風向と逆向きになる現象が捉えられた。流速に関しては、深底部の水深が深くなるほどその場の流速は小さくなり、浅底部の流速は大きくなることが示された。また、深底部の幅が拡幅する場合の浅底部、深底部における流速の変化は、湖沼の縦幅が 30[m]で深底部縦幅が 10[m]から 20[m]となった場合にはどちらの場合でも流速は小さくなる。加えて、狭くなった浅底部での流速は複断面境界部から壁面境界部にかけて流速が急に大きくなる。また、湖沼の縦幅が 100[m]で深底部