

## 湖沼沿岸域における巻き上げに及ぼす底質の影響

東北大学工学部 学生会員 ○村松麻衣  
 東北大学工学研究科 正会員 野村宗弘  
 東北大学工学研究科 正会員 西村 修

## 1. はじめに

湖沼は閉鎖的な水域であり流入した汚濁物質が蓄積しやすいという特徴を有しており、環境基準の達成率は河川や海域に比べ大幅に低い<sup>1)</sup>。このため水質保全に関わる法整備や施策が進められてきたが、湖沼の水質に目立った改善傾向は見られない。底質に堆積した汚濁物質からの溶出による内部負荷が水質改善を妨げる要因として挙げられ、流入負荷対策に加えて内部負荷対策の強化が重要である。これまでの内部負荷対策として一般的に浚渫や覆砂などが行われてきたが、これらの方法は根本的かつ持続的な対策とはなっておらず、新たな底質改善技術が求められている<sup>2)</sup>。

内部負荷の大きな要因の一つに底質の有機汚濁化が挙げられる。既往の研究<sup>3)</sup>により底質の有機汚濁化の機構においては巻き上げや沈降による有機物収支が重要な要因とされており、流動の制御により底質の有機汚濁化を防ぎ内部負荷対策となり得ることが示唆されている。しかし、これまでの研究は実験的研究が主であり、湖沼のような弱い流動場における流動と底質の関係について理論的には分かっていない。そこで本研究では、流動と底質性状との関係性を明らかにすることを目的として、流速と底質粒径の関係に関して理論的考察を行った。さらに水質改善の進んでいない閉鎖性水域である伊豆沼で現地調査を行い、実際の観測データを用いて理論的考察の妥当性を検討した。

## 2. 流動と粒径の関係式

底質粒子の巻き上げについて、単粒子にかかる力のつり合いから粒子の移動に関わる流動と粒径の関係式を提案する。閉鎖性水域である湖沼は流速が小さく、さらに底面付近においては粘性の影響が大きくなることから、慣性項が粘性項に対して無視できるというストークス近似の成り立つ低レイノルズ数流れの場合を考える。

壁近傍を移動する粒子が受ける力に関する理論的解析は Faxen により求められ、 $x$  軸方向に水が流れる時、以下の式で表される<sup>4)</sup>。

$$F = 6\pi a \eta \left\{ (U_\infty)_0 - u + \frac{a^2}{6} \left( \frac{\partial^2 U_\infty}{\partial x^2} \right)_0 \right\} \quad (1)$$

ここで、 $F$ ：粒子が流体から受ける力、 $U_\infty$ ：物体のない時の流速分布、 $a$ ：粒子の半径、 $u$ ：粒子自身の移動速度、 $\eta$ ：流体の粘性係数、 $\pi$ は円周率である。また、 $(U_\infty)_0$ は球の中心での流速値を意味する。

流速分布を模式的に表したものを図1に示す。今、運動していた粒子が底面上に堆積するときの状態を考える。 $x$  軸は底面上の粒子の中心を通るとする。壁面のごく近傍では粘性により流速分布が鉛直方向( $y$  方向)に直線的になる。流速は  $x$  軸方向には一定とすると、

$$U_\infty = U(y) \quad (2)$$

とおくことができ、球の中心での流速値 $(U_\infty)_0$ は、

$$(U_\infty)_0 = U(0) \quad (3)$$

となる。粒子は静置するため、 $u = 0$ とすると式(1)は、

$$F = 6\pi \eta a U(0) \quad (4)$$

となる。ある高さで計測した流速の実測値を $u_0$ とする。 $u_0$ は直線分布外の流速値であるが粘性底層内の最大流速 $U_{max}$ と一定の関係があると仮定し、 $\beta$ を係数として流速分布を以下のように表す。

$$U(y) = \beta u_0 (y + a) \quad (5)$$

$y=0$ のとき $U(0) = \beta u_0 a$ となり、これを式(4)に代入して、 $F$ は以下ようになる。

$$F = 6\pi \eta \beta a^2 u_0 \quad (6)$$

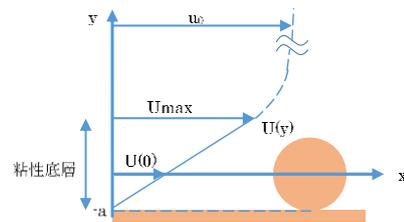


図1 流速分布の模式図

キーワード：閉鎖性水域、底質、有機汚濁、流動、巻き上げ

連絡先：宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-06

東北大学工学部建築・社会環境工学科 環境生態工学研究室

TEL:022-795-7473

一方、粒子が流体から受ける力 $F$ に対抗する力は摩擦力であると考えられる。動摩擦力 $F'$ は動摩擦係数 $\mu$ と垂直抗力の積で求められ、 $\rho_p$ :粒子の密度、 $\rho$ :流体の密度、 $g$ :重力加速度とすると次のように表される。

$$F' = \mu(\rho_p - \rho)g \cdot \frac{4}{3}\pi a^3 \quad (7)$$

両者の力が釣り合う、すなわち $F = F'$ となるとき運搬されていた粒子が静止するとすると、

$$6\pi\eta\beta a^2 u_0 = \mu(\rho_p - \rho)g \cdot \frac{4}{3}\pi a^3 \quad (8)$$

$$u_0 = \frac{2}{9} \frac{\mu(\rho_p - \rho)g}{\eta\beta} a \quad (9)$$

$$u_0 \propto a \quad (10)$$

という関係が導かれる。これは、粒子が運搬される限界の流速値は粒径の1乗に比例することを示している。流速が小さくなるにつれ、運搬されていたより小さな粒子が底面に堆積する。すなわち、流速の大きさにより底質の粒径分布が決まることを意味する。

### 3. 観測データを用いた解析及び考察

#### 3.1 現地観測

2018年8月30日から同9月27日にかけて、宮城県県北平野にある伊豆沼において、流動特性や底質性状の異なる沿岸部4地点で現地観測を行った(図2, 図中の矢印は河川からの流入・流出を表す)。各地点の底質の表層を採取し、粒径分布や底質有機物量の指標として有機炭素(OC)含有率の測定を行った。また、2週間ごとにセディメントトラップの設置・回収を行い懸濁態有機物の沈降量を測定した。加えて流速計、濁度計、水位計を用いて連続測定し、水理環境を調べた。



図2 伊豆沼の全体図と観測地点

#### 3.2 解析結果及び考察

解析に用いたデータは2018年9月13日のものと藤巻らが2015年10月13日に調査したものである<sup>3)</sup>。流速値については日々の流速の大きさにより巻き上がる粒子の粒径が決まり、その結果底質の粒度が決まると考え平均流速を用いた。粒径は代表的な値として、中央粒径を用いた。

底泥の採取前1週間の平均流速と中央粒径との関係を図3に示す。9月13日のStn.Bのデータが大きく外

れた値となったためそれを除いた7点の関係を見ると、流速値は粒径の1乗に比例する関係で相関が見られ、式(10)で示した結果と一致した。また、底質が有機汚濁化すると底泥粒子が小さくなることが知られており<sup>5)</sup>、底泥粒子の大きさと相関のある底質OC含有率と平均流速の間にも負の相関が見られた(図4)。粒径が小さい懸濁態有機物は流動を強化することにより巻き上がる量が増え、底質OC含有率が低くなると考えられる。

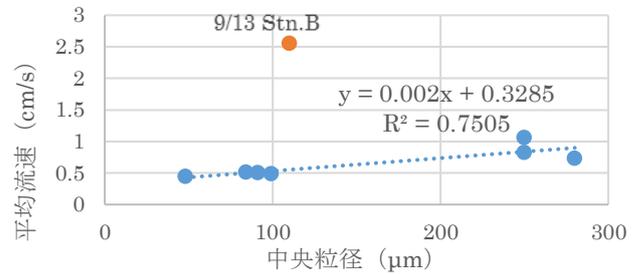


図3 平均流速と中央粒径の関係

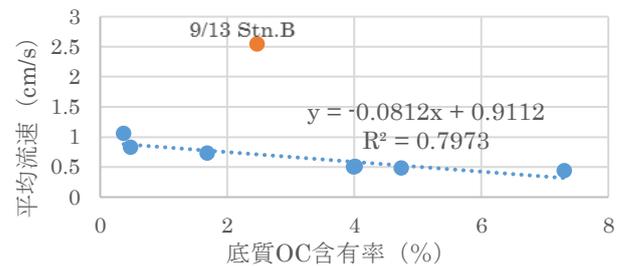


図4 平均流速と底質OC含有率の関係

### 4. おわりに

流速と底質粒子の粒径との関係を理論的に導き、流速が大きくなると運搬され続ける限界の粒子の粒径が大きくなり、それは湖沼のような弱い流動場では流速は粒径の1乗に比例する関係であることが分かった。加えて、粒径が小さい懸濁態有機物は流動が大きくなることにより堆積せず巻き上がっている量が増え、底質の有機物量は少なくなることが示された。

#### 参考文献

- 1)環境省:平成29年度公共用水域水質測定結果,2018.
- 2)湖沼技術研究会:湖沼における水理・水質管理の技術,2007.
- 3)藤巻ら:伊豆沼におけるハス繁茂期の底質有機物と流動の関係,平成27年度土木学会東北支部技術研究発表会講演概要集, VII-40, 2016.
- 4) Happel,J. and Brenner,H. : "Low Reynolds Number Hydrodynamics", Noordhoff international publishing leyden, 1973.
- 5)西村ら:有機懸濁物質の形成に関する基礎研究-有機物の付着特性-,海岸工学論文集,55,pp.1056-1060,2008.