

過飽和酸素水注入による河川感潮域の水質改善の可能性

東京工業大学 学生会員 善見 憲二
 西オーストラリア大学 学生会員 清水 健司
 東京工業大学 フェロー 石川 忠晴

1. はじめに

河川感潮域では流れが滞留することにより懸濁物質が沈積しやすく、底層で酸素消費が活発である。また塩分成層によって鉛直方向の混合が弱められるため、貧酸素化が生じやすくなっている¹⁾。一方、貧酸素水塊の発生を防止する一つの対策として、過飽和酸素水の注入が考えられている²⁾。そこで本研究では、利根川感潮域をモデルケースとして、過飽和酸素水注入による水質改善の可能性について、数値シミュレーションにより検討した。

2. 数値シミュレーション

2.1 シミュレーションモデル

河川感潮域ではエスチュアリ循環が発生し、貧酸素化現象の発生・非発生は循環流の強度に依存する。Ishikawaらによれば³⁾、エスチュアリ循環は鉛直二次元的流動モデルでよく再現できる。しかし点源から注入された過飽和酸素水の拡散過程は三次元的になる。

そこで本研究では、Ishikawa らの二次元流動モデルにより、次項に述べる計算条件のもとで定常状態のエスチュアリ循環流を求めた後に、横断方向に四次関数で速度分布を与え、擬似三次元的流速場を作成した。この流速場のもとで、以下の三次元拡散方程式を解くことにより、過飽和酸素水注入による貧酸素化対策の効果を検討した。

$$\frac{\partial(C_{DO})}{\partial t} + \left(\frac{\partial(uC_{DO})}{\partial x} - \frac{\partial}{\partial x} \left(v_{Lx} \frac{\partial C_{DO}}{\partial x} \right) \right) + \left(\frac{\partial(vC_{DO})}{\partial y} - \frac{\partial}{\partial y} \left(v_{Ly} \frac{\partial C_{DO}}{\partial y} \right) \right) + \left(\frac{\partial(wC_{DO})}{\partial z} - \frac{\partial}{\partial z} \left(v_{eff} \frac{\partial C_{DO}}{\partial z} \right) \right) = S_{DO} \quad (1)$$

ここに、 u, v, w は各々 x, y, z 方向の流速成分、 C_{DO} : DO濃度、 S_{DO} : DOの生成（および消費）項である。 v は渦拡散係数で、水平方向にはリチャードソンの $4/3$ 乗則で、鉛直方向には $k-\epsilon$ で求めている。河床および水中での酸素消費については、Ishikawaらと同様の値を用いている¹⁾。

2.2 河道形状および潮位・流量条件

利根川の河口堰下流部の河道地形を単純化し、断面の直線プリズム水路とした（図-1参照）。貧酸素化は夏季に生

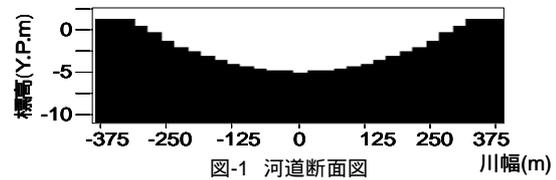


図-1 河道断面図

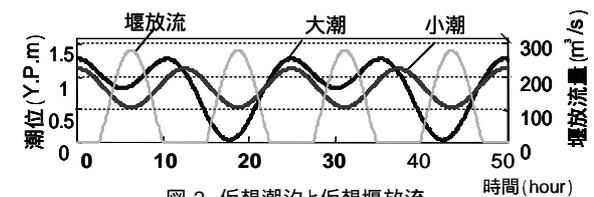


図-2 仮想潮汐と仮想堰放流

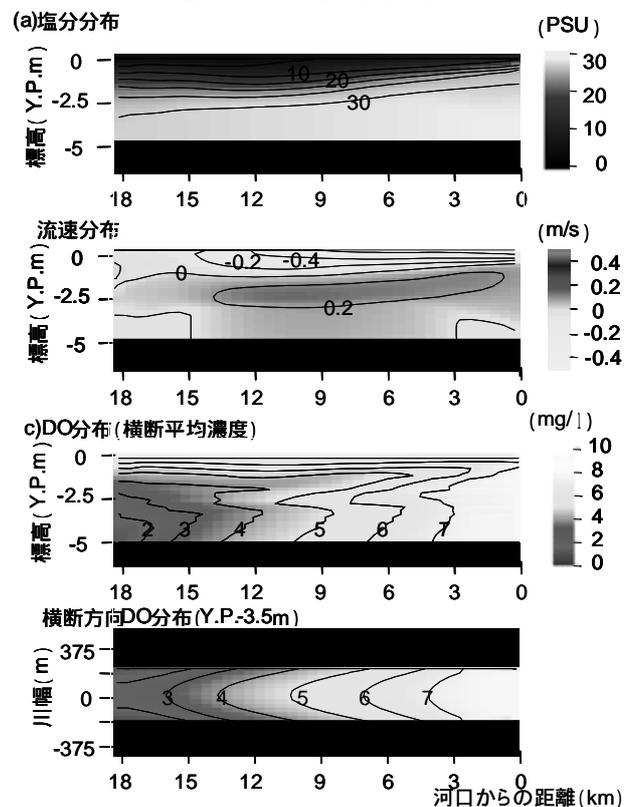


図-3 過飽和酸素水を入れない場合での小潮時の計算結果

じやすいことから、潮位条件として、銚子検潮所での夏季の実測波形を単純化し、大潮型と小潮型の2つの周期波形を作成した。また河口堰からの放流量は、貧酸素化が生じやすい $100\text{m}^3/\text{s}$ （日平均）での放流波形を与えた（図-2参照）。なお、過飽和酸素水を注入しない場合（現状）の計算結果は図-3に示すとおりで、Ishikawaらの現地観測結果¹⁾と類似している。

キーワード：貧酸素化，過飽和酸素水，河川感潮域，河口堰，利根川

連絡先：〒226-8502 横浜市緑区長津田 4259 東京工業大学 (Tel:045-924-5515 , Fax:045-924-5549)

3. シミュレーションの条件と解析結果

3.1 計算条件

ヤマニシ（株）製の過飽和酸素水製造装置を想定して計算条件を設定した。同装置は 1.5g/sの酸素供給能力を持ち、また過飽和状態が十分長時間継続することが高崎ら²⁾によって確認されている。ここでは利根川の容量とエスチュアリ循環の強度を考慮し 20,35,50(g/s)の注入量を条件として設定した。注入地点は、過去の観測データ¹⁾を基に、河口から 12kmの底層(Y.P.-5.0m)と、12kmと 16.5kmの中層(Y.P.-3.5m)に半々、という2 ケースを設定した。計算条件を表-1 に示す。

3.2 考察

助走計算により、貧酸素化が十分進行して定常に達した時点から酸素供給を開始し、DO 分布が定常となるまで計算を行った。計算結果の例を図-4 に示す。次に DO3.6mg/l 以下を貧酸素領域と規定し、河道底面に接する貧酸素領域の割合を底生生物への影響の指標とした。各計算条件における結果を図-5 に示す。これより以下のことが分かる。

- ・大潮に比べて小潮の方が貧酸素領域が広い。しかし過飽和酸素供給による領域割合の減少は同程度である。
- ・河口より 12km 地点のみで酸素供給するよりも、12km と 16.5km に分散させる方が効果的である。実際、後者の配置での 35g/s が前者の 50g/s より良好な結果になった。
- ・貧酸素水塊の体積を十分減少させるには、ここで想定した過飽和酸素水製造装置を数十台分必要とする。

4. おわりに

本研究では、過飽和酸素水の供給による貧酸素化現象の軽減を、利根川河口堰下流部を対象として検討した。現在の開発段階では数十台分の過飽和酸素水製造装置が必要であるが、今後の技術革新で台数を減らすことは可能ではないかと思われる。また、本シミュレーション結果によれば、酸素を供給する地点の選定が極めて重要といえる。これはエスチュアリ循環の空間分布が酸素分布に大きな影響を与えているからである。

参考文献：

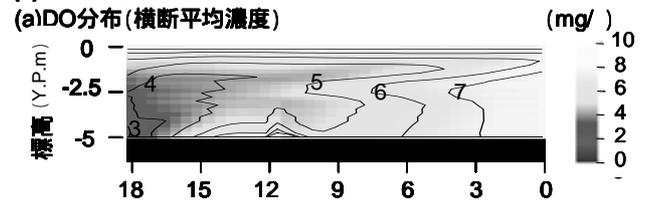
[1] Ishikawa, T., Suzuki, T., and Qian, X. (2004). "Hydraulic Study of the Onset of Hypoxia in the Tone River." *J. Env. Eng.*, vol.130 551-561 ASCE

[2] 高崎みつる, 田中仁, 原千拓, : 過飽和酸素水システムによる水質環境改善への効果, 第 39 回 水環境学会年會講演集 pp.21, 2004.

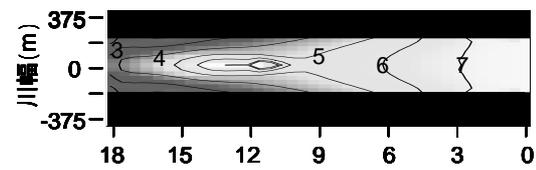
		小潮			大潮		
		総供給量(g/s)			総供給量(g/s)		
		20	35	50	20	35	50
酸素供給箇所	12.0KPの1箇所	ケース1	ケース3	ケース5	ケース7	ケース9	ケース11
	12.0KPと16.5KPに2箇所ずつの計4箇所	ケース2	ケース4	ケース6	ケース8	ケース10	ケース12

表-1 装置導入条件

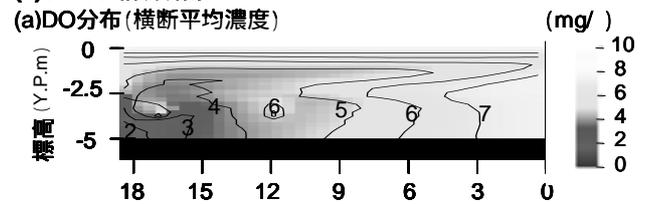
(1) ケース3計算結果



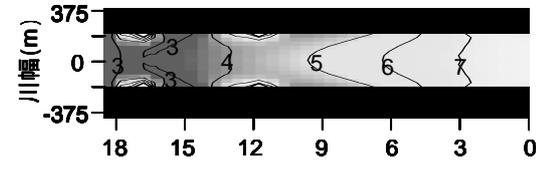
(b) 横断方向DO分布 (Y.P.-3.5m)



(2) ケース4計算結果



(b) 横断方向DO分布 (Y.P.-3.5m)



河口からの距離(km)

図-4 ケース3,4における酸素供給後のDO分布

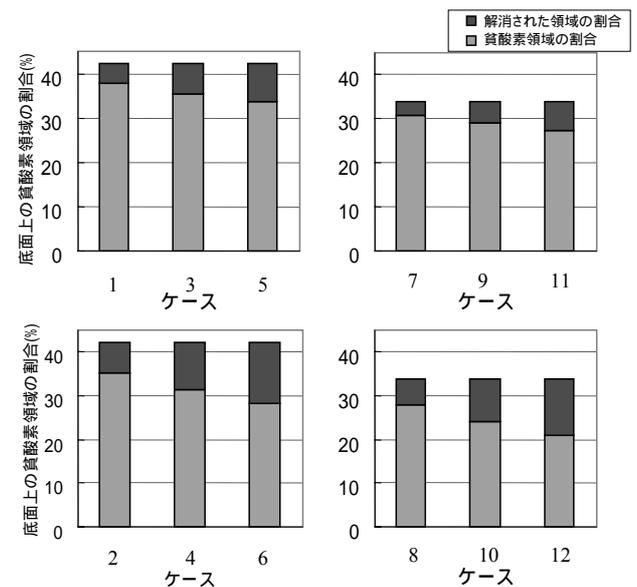


図-5 貧酸素領域の全河道底面に占める割合