σ座標系流動・水質モデルによる現地再現計算における水平圧力・拡散勾配補正効果

大阪大学大学院　正会員○入江　政安
大阪大学大学院　正会員　中辻　啓二
大阪大学大学院　正会員　西田　修三

１．はじめに

σ座標系モデルは海底地形の平滑な取り扱いが可能であることやPOM　(Princeton Ocean Model)などの汎用性の高いフリーソースコードがあることにより，近年，沿岸海域での適用例が増えている．同時に，σ座標系流動モデルは水平圧力勾配項や水平拡散勾配項において誤差が発生しやすいことがよく知られ，これまで多くの指摘と改良が行われてきた．流動モデル・生態系モデルによる汽水域での流動および水質のシミュレーションにおいては底層付近の流速の精度向上が不可欠であり，この数値誤差を縮小させることは重要である．本研究では，拡散量の再現に着目し，Slørdal[1)]が水平圧力勾配の補正方法として提案した手法を応用して，水平圧力勾配と拡散方程式中の水平拡散勾配の二項における数値誤差を可能な限り縮小させた入江ら[2)]の方法を用いて，現地の流動および水質の再現計算においてどの程度その効果が得られるかを検討した．

２．誤差補正方法

σ座標系流動モデルで発生する誤差の原因は水深の急変，つまり，グリッドの歪みである．地形急変部における誤差発生の要因のひとつは座標変換の際の水平圧力勾配項の近似によるものである．水平圧力勾配は次のように表される．

$$\frac{1}{\rho_a}\frac{\partial P}{\partial x}=g\frac{\partial \eta}{\partial x}+\frac{gD}{\rho_a}\left\{\int_{\sigma}^{0}\left(\frac{\partial \rho'}{\partial x^*}-\frac{\sigma'}{D}\frac{\partial D}{\partial x^*}\frac{\partial \rho'}{\partial \sigma'}\right)d\sigma'\right\}$$

ここに，右辺第一項：バロトロピック圧力項，第二項：バロクリニック圧力項，ρ_a：基準密度，ρ'：基準密度からの偏差，η：水位，D：水深である．この近似式を見れば分かるように，σ座標系上の底層付近のグリッドは現実地形の斜面に沿うので，とくに密度差が大きい場合に，σ座標系上の水平方向差分がデカルト座標系のそれと比べて大きくなる．本研究での補正方法は，Slørdal[1)]による水平圧力勾配の補正をもとに，これを水平圧力勾配と拡散方程式中の水平拡散項に拡大適用したものである．具体的な方法については，入江ら[2)]に詳しいのでここでは詳述しないが，**図-1** に示すように，水平圧力勾配・水平拡散勾配の算定の際に，それぞれ，密度とスカラー量をデカルト座標系上の位置に置き直したうえで，補間して，計算するものである．

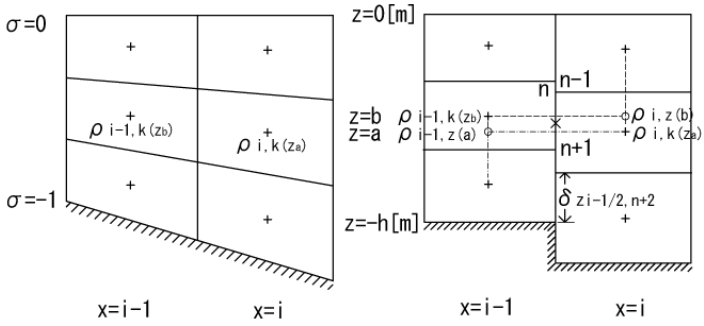


図-1　Slørdal による水平圧力勾配の再定義の概念図

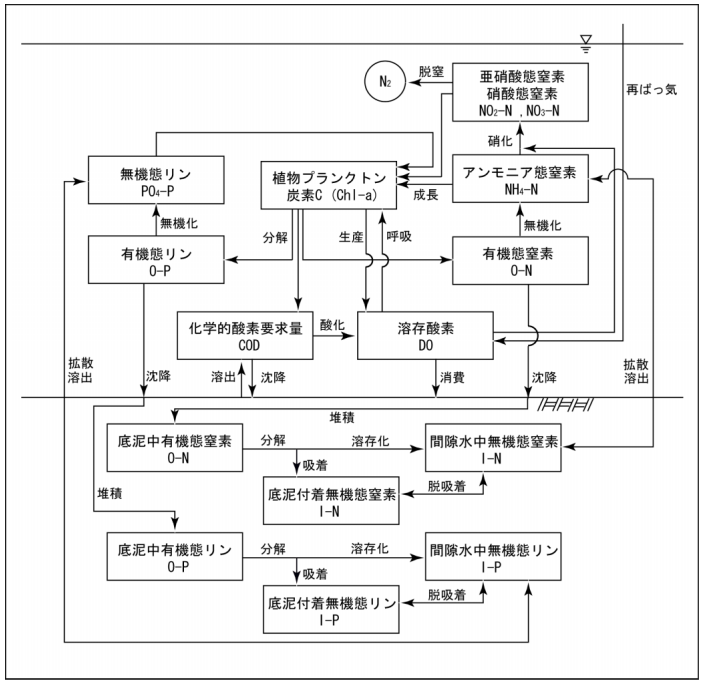


図-2　水質モデルの構造

３．再現計算

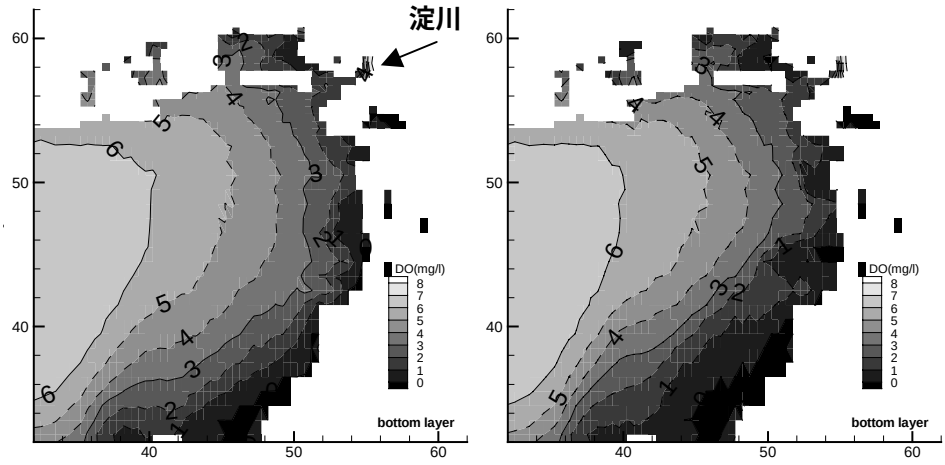
上で述べた誤差補正法は，すでに入江ら[2)]によっ

キーワード　水平圧力勾配　σ座標系　水質モデル　貧酸素水塊　大阪湾　POM
連絡先　〒565-0871　吹田市山田丘2-1　大阪大学大学院工学研究科土木工学専攻　Tel:06-6879-7605

てモデル地形上の流動場に適用して検討され，誤差が縮小することが分かっている．本報では，この誤差補正方法が，現地再現計算を行ううえで，どの程度結果に影響を及ぼすかについて検討する．そこで，大阪湾において夏季に生じる定常的な貧酸素水塊分布についてのシミュレーションを行う．流動モデルには POM を用い，水質モデルについては**図-2** に示すような 3 次元モデルを構築した．計算格子の大きさは沖合 1km，湾奥 500m であり，格子数は東西 85 メッシュ，南北 73 メッシュである．鉛直方向には 20 層に分割する．初期条件の水温・塩分は一様で与え，淀川を含めた 20 河川からの流量と汚濁負荷の流入を考慮する．計算期間は 25 日間である．水平圧力勾配の補正効果がある場合，最も流量の多い淀川の河口付近では流速場が小さくなることが予想され，水平拡散勾配の補正効果がある場合，湾奥の汚濁した水塊の拡散が抑制されるものと予想される．

４．結果および考察

ここでは詳しい水質の再現結果は省略し，大阪湾奥部の貧酸素水塊の広がりについての再現結果のみを示す．現地観測結果によると，夏季の貧酸素水塊は淀川の河口を中心として，湾奥港湾域に沿って分布している．**図-3** は 25 日後の底層における溶存酸素濃度分布である．図中の横軸および縦軸の数値はそれぞれ，計算領域の西側境界，南側境界からの距離（km）を示す．補正を加えた場合は，補正を加えない場合に比べて，貧酸素水塊の目安である DO3mg/l の等値線は，南端より 54km 地点で 800m，50km で 300m，45km 地点で 2.8km 沖合に移動し，貧酸素水塊が沖に拡がっているのが分かる．等値線の形状を比較すると，淀川河口に近いところでは，各等値線は補正を加えていない場合の方が奥に押し込められていることが分かる．



(a)補正なし　　(b)補正あり

図-3　底層（第 20 層）の溶存酸素濃度分布

この原因は容易に推察できる．夏季の湾奥部はエスチュアリー循環が発達する．したがって，**図-4** に示すように，湾奥部底層の残差流は湾奥向きとなる．**図-4** 中の地点 A における残差流は，補正なしの場合で 2.0cm/s，補正ありの場合で 1.7cm/s となり，補正後の方が残差流の大きさは小さくなる．これは，補正を加えなければ，密度差を過剰に評価してしまい，流速が過大に計算しているためと考えられる．補正を加えた場合，底層の流速が精度良く，小さく評価されるため，湾中央の比較的 DO の高い水塊が湾奥部に侵入しにくく，湾奥で貧酸素水塊が滞留しやすくなるものと考えられる．

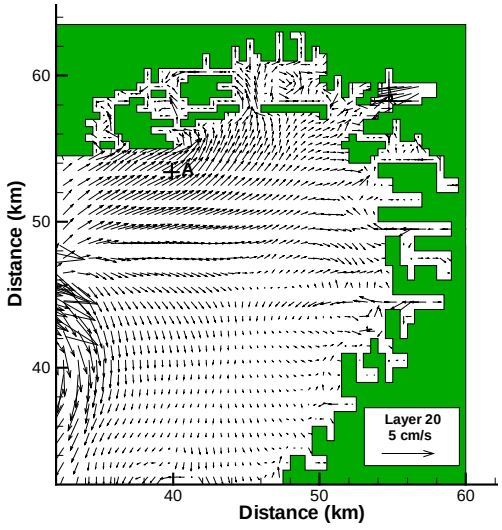


図-4　補正後の底層（第 20 層）の残差流分布

このようにσ座標系流動モデルにおける水平圧力勾配および水平拡散勾配・水平拡散勾配の補正は，水質の長期計算においてもその効果が現れ，とくに，バロクリニック流れが卓越する海域において，これらの補正には効果があるものと考えられる．

＜参考文献＞1)　Slørdal, L. H.: The pressure gradient force in sigma-co-ordinate ocean models, Int. J. Numer. Methods in Fluids, Vol.24, pp.987-1017, 1997.
2)　入江政安・中辻啓二・西田修三：密度差の大きい流動場への改良σ座標系流動モデルの適用，海岸工学論文集，第 50 巻，pp.361-365，2003.