

ダム湖における水位変動を伴う濁水流入時の3次元数値解析について

徳島大学 正会員 ○山中亮一 関西電力株式会社 正会員 末岡善之
株式会社ニュージェック 非会員 家村健吾 徳島大学 正会員 上月康則

1. はじめに

近年、一部のダムにおいては上流域における森林荒廃や集中豪雨等により突発的な濁水発生とそれによる放流水の長期濁水化が顕在化するようになり、新たな対策が必要となっている。これまで濁水対策としての選択取水や早期排出などの効果を検討する際には、主に水理実験や鉛直二次元の数値モデルが実用レベルで用いられてきた。しかし、一部の複雑な地形を有しているダム貯水池においては、これらの検討方法では、そこで卓越する三次元的に時空間変動する流動特性や濁水分布を再現することは困難と考えられる。すなわち、このようなダム湖において有効な対策を検討するためには、ダム毎に固有の濁水挙動を高い精度で把握する必要があり、現象の三次元性を考慮しうる汎用性の高い予測ツールの開発が必要となると考える。そこで、本研究では、複雑な地形のダム貯水池においても適用可能となる汎用的な濁水挙動予測数値モデルの開発を目標とし、本報では沿岸域の流動・水質解析で実績のある準3次元流動水質解析モデルをダム湖に適用できるよう拡張するとともに、ダム湖に適用する際のその有効性について検討することを目的とする。

2. 数値モデル概要と機能拡張の方針

本報にてダム貯水池の水質挙動解析に採用した数値計算モデルは、大阪湾などの閉鎖性内湾域の流動水質解析に多くの研究実績を有する準3次元バロクリニック流動モデル ODEM (Osaka Daigaku Estuary Model) である。基礎方程式は連続式、運動方程式、水温・塩分の移流拡散方程式および密度の状態方程式で構成され、ここでは水の非圧縮性、静水圧近似、ブジネスク近似を仮定している。浮遊性懸濁物質を含む水質項目については水温・塩分と同様の移流拡散方程式に水質項目ごとに異なる水質変化項を付与する構成となっている。座標系はデカルト座標系を採用しており、計算格子はスタッガード格子を用いている。

沿岸域とダム湖における水理特性を比較すると、類似点としては、密度成層の存在と河川からの流入が挙げられる。本モデルは沿岸域において卓越するエスチュアリー循環の再現性に優れており、ダム湖において生じる中層貫入流などの密度流についても高い再現性が期待される。一方、相違点としては、ダム湖では鉛直方向の循環流が卓越することがあることや、数十メートルの水位差で干出・冠水を伴う水位変化が生じること、取水水深が制御されていることが挙げられる。鉛直方向の循環流については、準3次元モデルでの再現性が懸念されるところであるが、物質量の収支が崩れるような数値誤差はここでは生じないため、循環流が形成される水深帯と物質濃度との関係でモデルの適用性を判断する必要がある。干出・冠水を伴う大きな水位変化については、本モデルでは水位変化を表層の層厚を変化させることで表現するため現状のままでは再現が不可能でありモデルの拡張が必要である。また、取水水深が限定される点については、本モデルでは、表層を含まない流入出境条件は想定外であることから機能拡張が必要である。

3. 数値モデルの拡張

ダム湖で生じる干出と冠水を伴う水位変化を表現するため、ODEM に干出・冠水スキーム（以下、D&W スキーム）を付加することとした。本モデルでは水位計算に半陰解法を用いている。このため、水位を表す変数に大きな数値が代入されない方が計算精度を保つうえで好ましい。そこで、本研究では水位を表す変数の基準位置を水位変化に併せて動的に移動させる工夫をした。水位の基準位置より高い標高に位置する領域は層数を一層に制限し、階段状の地形を落下する際の流量は洪水氾濫解析にもちられる段落ち流の水量の算定式により求めた。なお、この領域では層厚の0.05倍を下回る水深の計算点は干出していると判断させた。

表層を含まない流入境界の設定については、河川境界条件を設定するルーチンの流入水深を任意に設定できるように改良し対応させることとした。なお、河川境界条件を設定した水深が干出している場合は、隣接するセルの水位に設定した流入分を加算することで流入させるようにした。

5. モデル地形による大きな水位上昇を伴う場合の数値解析

水位上昇時における濁水流入時を想定した数値解析を実施した。D&W スキームを用いることによる濁質分布の再現性向上を確認するため、改良を施す前の数値モデルによる同様の計算結果と比較した。計算格子は図1に示すような水平方向の格子数は 30×16 、水平方向の格子間隔は 100m、水深分布は図中の色にて示すようなものとした。鉛直方向の層分割は計算開始時における水位以深の水深帯は層厚 5m の層を 9 層、水位上昇する水深帯は D&W スキームのみ層厚 2m の層を 7 層設定した。計算領域の西側から流量 $400\text{m}^3/\text{s}$ で濃度 5mg/L の濁水を 1 日間流入させた。解析計算では、1 日間に 9.84m の水位上昇がある計算条件となっている。濁水の粒径は $2\mu\text{m}$ とし、沈降速度は Rubey 式により求めた。ダム湖内の水温の鉛直分布は図2のようにし、流入水の水温は 21°C で一定とした。

6. 計算結果

図3に D&W スキーム無しのモデル、図4に D&W スキーム有りのモデルによる計算結果をそれぞれ示す。結果はそれぞれ図1に示す計算領域の中央横断面における SS の鉛直分布である。両モデルの結果を比較すると、水位上昇はいずれも良好に再現できているものの、1 日後の SS 分布には大きな違いが見られた。本計算ケースは中層貫入を想定したものであるが、中層と表層における SS 濃度には両計算結果に大きな相違がみられた。このことから、沿岸域モデルをダム湖に適用する際には、D&W モデルを備えていなければ、中層・表層近傍の計算精度が低下し、このことが選択取水の水質などの検討に影響する可能性があると考えられる。

7. おわりに

沿岸域モデルに D&W スキームを付加しダム湖に適用した。D&W スキームの有無による相違を検討した結果、D&W モデルを備えることにより、とくに中層・表層近傍の計算精度を向上させうることを確かめた。

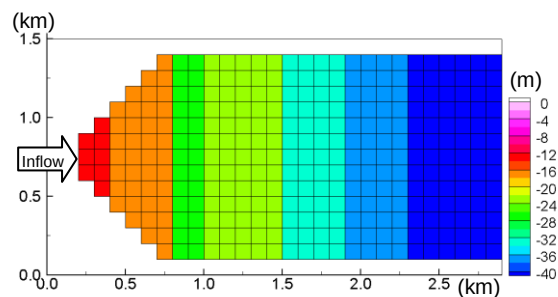


図1 計算格子と水深分布（図中の色）

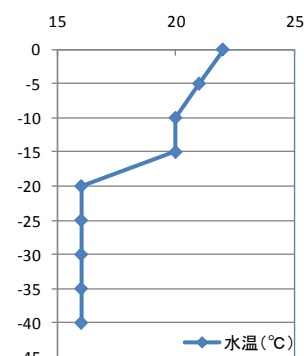
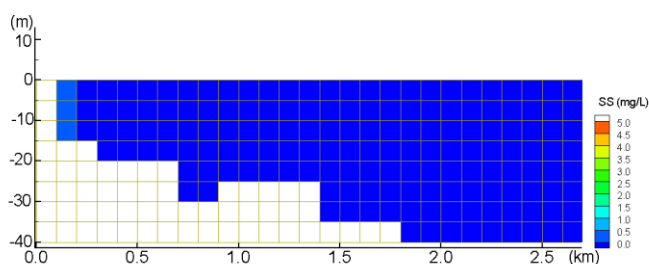
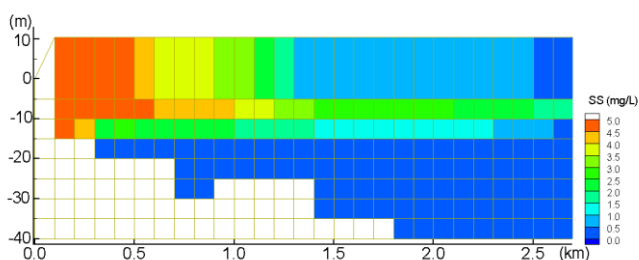


図2 初期水温鉛直分布
(横軸：水温($^\circ\text{C}$), 縦軸：水深(m))

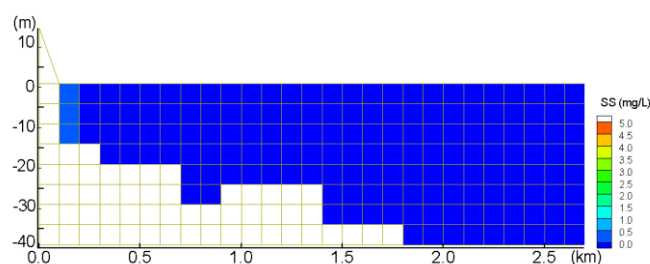


(a) 計算開始時

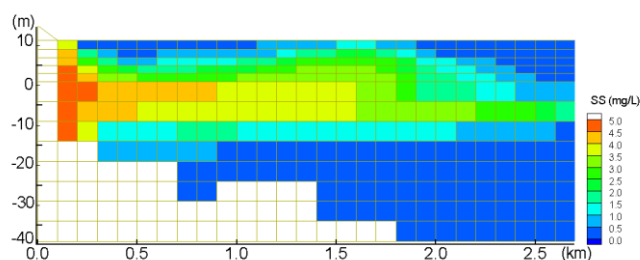


(b) 1日後

図3 D&W 無しモデルによる SS 横断面分布



(a) 計算開始時



(b) 1日後

図4 D&W 有りモデルによる SS 横断面分布