

神戸大学建設学科 学生員 ○江田 智行

神戸大学大学院自然科学研究科 正会員 中山 昭彦

1. まえがき

近年、実河川流の数値シミュレーション例がいくつか報告されている。その内、RANS 法を用いたもの¹⁾については、水面の変動が考慮されたものがあるが、解析対象の河川流の特徴をふまえたモデルが用いられており、その解析手法の汎用性は制限があるものと思われる。また、LES 法を用いたもの²⁾については水面や水面勾配は、あらかじめ設定し、変動しないものとして取り扱っている。本研究では水面の変化を考慮した、任意の形状に適用できる LES 法を開発した。水面の計算では、波や水塊の分裂など激しい水面の変動の計算は粒子法³⁾など特殊な計算法を必要とするが、本研究では比較的水面変動が緩やかな場合に着目し、高さ関数法を改良したものを用い、実河川流への適用を試みる。

2. 解析方法

本研究では、流れの数値シミュレーション法として LES 法を用い、その SGS(Sub Grid Scale)モデルは広く使われている標準スマゴリンスキーモデルを使用した。数値計算については、スタッガード格子で行い、空間差分法には対流項に 3 次精度風上差分、その他の空間項には 2 次精度中心差分を用い、時間進行法には 2 次精度 Adams-Bashforth 法、圧力解法には、完全に水中にあるセルに対しては HSMAC 法を用いた。ここで、水面を有するセルに対しては水面高さも含めて圧力解法を行う。本研究では水面位置の計算に、既存の計算法を用いず、水面を有するセルで非定常連続式を解く新しい方法を用いた。水面高さの変動量は、

$$\Delta h = \frac{\Delta Q}{\Delta x \cdot \Delta y \cdot \Delta t} \quad (1)$$

となる。ここで、 Δh は水面高さの変動量、 ΔQ は各水面を有するセルの単位時間流入量、 $\Delta x, \Delta y$ は各水平方向のセル幅、 Δt は単位時間を表す。水面を有するセルの圧力は、水面で圧力が 0 となるよう設定した。また、本研究が用いた水面の計算法では、水面の 1 価性が仮定されているため、急激な水面変動時に水面高さを修正する計算を導入している。水面位置の計算を行っているセルに対して、それぞれ x, y の正負 4 方向に水面勾配を計算し、それが、あらかじめ与えておいた水面勾配を越えた場合、水面高さの修正を行う。修正後の水面勾配も与えておき、修正は流体塊の移動によって行う。簡単のため、ここで水面位置を計算しているセルの水面高さの定義点を点 0、それに接するのセルの高さの定義点を点 1 とすると、

$$dh_0 = \Delta l \cdot (S_{lim.} - S_{max.}) \cdot \left(1 + \frac{a_0}{a_1}\right) \quad (2)$$

$$dh_1 = -\frac{a_0}{a_1} \cdot dh_0 \quad (3)$$

となる。ここで、 dh_0, dh_1 はそれぞれ点 0, 点 1 での水面高さの修正量、 Δl はスタッガード格子幅、 $S_{lim.}$ はあらかじめ与えておく水面勾配、 $S_{max.}$ は修正後の水面勾配、 a_0, a_1 はそれぞれ点 0, 点 1 があるセルの底面積を表す。

3. 実河川流への適用

2 章で述べた計算法を、1 例として和歌山県吉野川旭ダム貯水池に適用した。その計算領域および境界形状を図 1 に示す。ここで、グレイスケールは高さを表しており、最深部で黒となっている。この貯水池は揚水発電が行われており、その取水・放水による大量の水の流入・流出は渦運動と水面変動を伴う三次元性の大きい流れである。境界条件は、流入条件を $U_0=1$ の一様流入、流出条件を x 方向の速度勾配 0 の自由流出、壁面境界条件はすべり無し条件、水面境界条件は鉛直方向で接線方向速度が 0, 水面での圧力が 0 の条件を与

えている。また、揚水発電による放水は図1の点Aで示す放水口より流入速度を基準として速度5をy方向に与えることにより行った。これらを用い、 $99 \times 101 \times 17$ の計算格子上で解析を行った。また、レイノルズ数は6000、フルード数は0.0598とした。

4. 結果と考察

図2に揚水発電時の放水開始直後の放水口がある鉛直断面での瞬間速度ベクトルと水面の位置を表す。なお、水面の位置は黒線上である。これより、放水直後にもかかわらず、水面の変動が見てとれる。図3に放水開始直後の水面の瞬間速度ベクトルを示す。これでは、速度ベクトルの偏りが見られ、波の形成が窺える。本研究の水面計算法は水面の1価性を定義しているため、砕波や跳水などの現象はシミュレーションできないが、本研究が例にとった河川のような、水面の変動が比較的緩やかな貯水池などに適用する場合、十分に対応するものと考ええる。しかし、特に実河川流では境界形状が複雑であるのため水面の条件のみならず、底面や側壁での境界条件の影響が大きく、定常状態の正確な予測は難しいと思われた。そこで、今後は流況や貯水量などのデータがある別の実河川での数値シミュレーションを行い、解析・計算方法の適正の確認・再検討を行いたい。

参考文献

- 1) 米山望, 井上素行: 三次元数値解析による揚水発電所貯水池内水温・汚濁挙動の予測手法, 土木学会論文集, 2001
- 2) K.F.BRADBROOK: Large Eddy Simulation of periodic flow characteristics at river channel confluences
- 3) 後藤仁志, 林稔, 日目田哲, 坂井哲郎: 粒子法による直立護岸前面砕波・越波の数値シミュレーション土木学会論文集, 2003

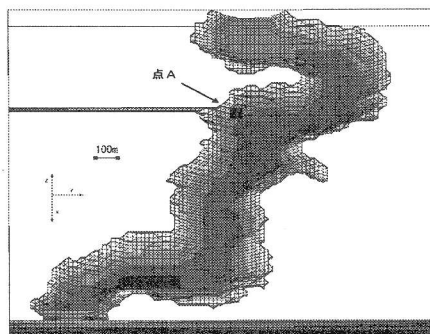


図1 計算領域および境界形状

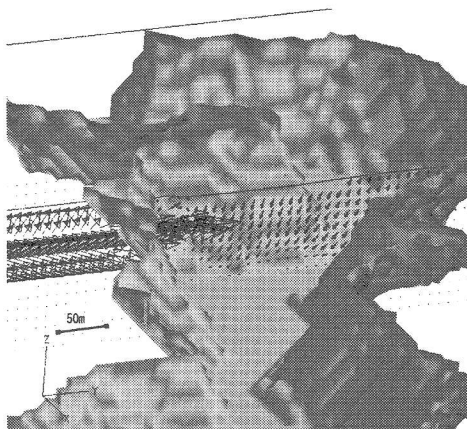


図2 放水口がある鉛直断面の瞬間速度ベクトル

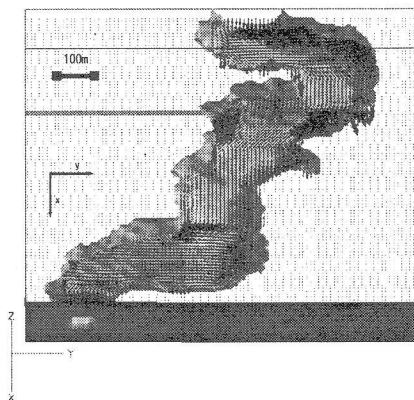


図3 水面の瞬間速度ベクトルと水面の位置