

簡易境界適合座標系を導入した河川・湖沼結合モデルの開発

東京理科大学大学院理工学研究科土木工学専攻 学生員 ○山崎裕介

東京理科大学理工学部土木工学科 正会員 二瓶泰雄, 西村 司

1. はじめに

水質汚濁化が著しい湖沼における水環境予測・再現計算を行う際には、陸域影響を反映するために、流入河川からの流量や汚濁物質輸送量を適切に考慮することは重要であり、湖沼と河川を一体とした数値解析を実施する必要がある。計算対象となる湖沼とそこへの流入河川の空間スケールは一般的に大きく異なるので、河川計算において湖沼計算と同一の座標系や格子解像度を適用すると、一般的に空間解像度が粗くなり、河川における局所的な流速の再現性は著しく低下するものと考えられる。このような問題点を解消するためには、河川モデルと湖沼モデルにおいてそれぞれ異なった座標系や格子解像度を採用し、その河川モデルと湖沼モデルを結合した数値モデルを開発することが望ましい。また河川モデルにおける水平座標系としては、河川平面形状を適切に取り扱うために一般座標系を採用することが考えられるが、複数の流入河川を抱える湖沼を想定すると、より簡便な境界適合座標系の導入が望まれる。

そこで本研究では、一般座標系と異なる簡易的な境界適合座標系に基づく河川モデルを開発するとともに、これと一般的な湖沼モデルをカップリングした河川・湖沼結合モデルを構築する。ここで、河川モデルに採用される簡易境界適合座標系としては、海洋・沿岸モデルに用いられることの多い鉛直座標系の一つである σ 座標系を水平座標系として応用した**水平 σ 座標系**を提案することを試みる。以下では、まず、①水平 σ 座標系の概要や河川流計算への適用性を検討するとともに、②水平 σ 座標系を導入した河川・湖沼結合モデルを用いて、富栄養化湖沼として有名な手賀沼とその主要流入河川における流動・土砂輸送シミュレーションを実施した結果を示す。

2. 水平 σ 座標系に基づく河川流モデルの開発と検証

(1) 水平 σ 座標系の定義

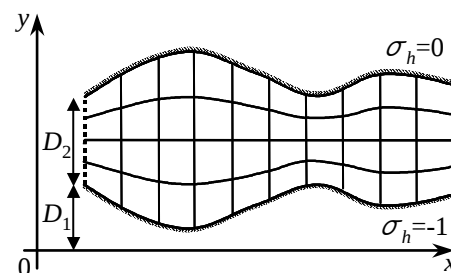
複雑に変化する河道境界形状を簡便かつ忠実に再現するために、鉛直 σ 座標系と同様な手順により、以下に示すような式系を用いてデカルト座標系 (x, y) を水平 σ 座標系 (x^*, σ_h) に変換する。

$$x^* = x, \sigma_h = \frac{y - D_1 - D_2}{D_2} \quad (1)$$

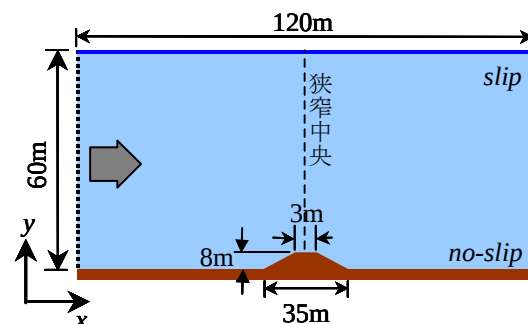
ここで D_1, D_2 は、**図—1**に示すように、基準線となる x 軸からの距離と水域幅をそれぞれ表している。また、式(1)はデカルト座標系から座標変換しているものの、本論文では直交曲線座標系から水平 σ 座標系に変換しており、その計算例を**3.**で示す。このように定義される水平 σ 座標系に平面二次元NS方程式と連続式を座標変換したところ、元の式系と大差なく、これまでの計算コードに組み込むことは容易である。

(2) 狭窄部を含む開水路流れのテスト計算

水平 σ 座標系に基づく河川流モデルの計算精度を検討するために、**図—2**に示す、狭窄部を含む開水路流れのテスト計算を行う。計算条件としては、計算領域を流下方向120m×横断60m、河床勾配1/1000の定常流計算とした。格子数としては、(120, 120), (120, 60), (120, 30), (60, 120), (60, 60), (60, 30), (30, 120), (30, 60), (30, 30)の9つ設定し、各条件を順にケース1から9と呼ぶ。また、ここでの水平座標系としては、水平 σ 座標系及び一般座標系とデカルト座標系を用い、計算解像度が最も細かいケース1における一般座標系による計算結果を正解と見なして、各ケースにおける水平 σ 座標系とデカルト座標系の計算精度を検討する。



図—1 水平 σ 座標系の定義（デカルト座標系から水平 σ 座標系に変換する場合）

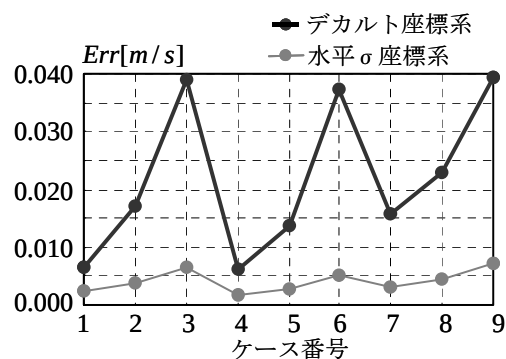


図—2 計算領域（テスト計算）

キーワード：河川・湖沼結合モデル、水平 σ 座標系、都市河川、湖沼、土砂輸送

連絡先：郵便番号 278-8510 千葉県野田市山崎 2641 TEL：04-7124-1501（内線 4072）FAX：04-7123-9766

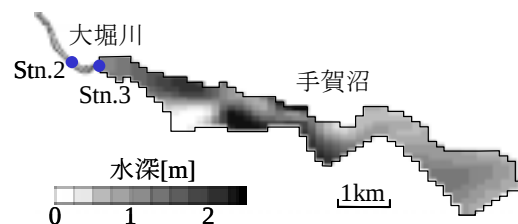
図—3は、狭窄部中央（図—2）の断面において、デカルト座標系と水平 σ 座標系の主流方向流速の計算値と正解との差の絶対値を断面平均した値 Err を示している。図中の横軸は、計算ケースの番号であり、ここでは全9ケースの結果が図示されている。これを見ると、格子解像度が粗くなるとともに、デカルト座標系や水平 σ 座標系の誤差値 Err は大きくなるものの、その低下量は水平 σ 座標系の方が明らかに小さい。また、水平 σ 座標系の Err は、正解の計算条件と同じケース1の場合には断面平均流速の1%程度であり、その最大値は2.6%となっており、格子解像度を4倍に粗くしても計算誤差は顕著には大きくない。これより、本研究で提案している水平 σ 座標系モデルに基づく河川流モデルの基本的な有効性が示された。



図—3 テスト計算における水平 σ 座標系とデカルト座標系の誤差値 Err

3. 河川・湖沼結合モデルによる手賀沼の流動・土砂輸送解析 (1) 計算条件

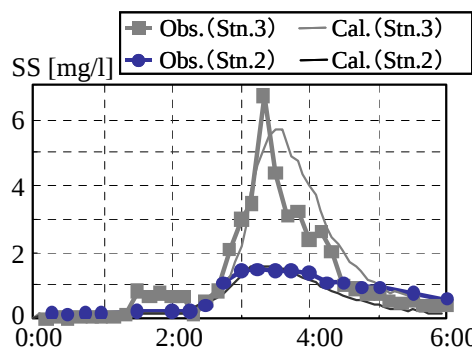
次に、水平 σ 座標系に基づく河川流モデルと矩形座標系を用いた平面二次元湖沼モデルをカップリングさせた河川・湖沼結合モデルを現地水域における流動・土砂輸送計算に適用する。ここでは、直交曲線座標系より水平 σ 座標系に座標変換した河川流モデルを用いる。計算対象としては、富栄養化湖沼として有名な手賀沼とそこへの主要流入河川の一つである大堀川とする。計算対象領域や水深分布は、図—4に示すとおりであり、計算格子幅は湖沼では東西方向126m×南北方向77m、河川では主流方向20m×横断方向1.2~6.0mとする。計算期間としては、別途行っている現地観測結果¹⁾と比較するために、2003/7/4 0:00~6:00における洪水イベント時を対象とする。



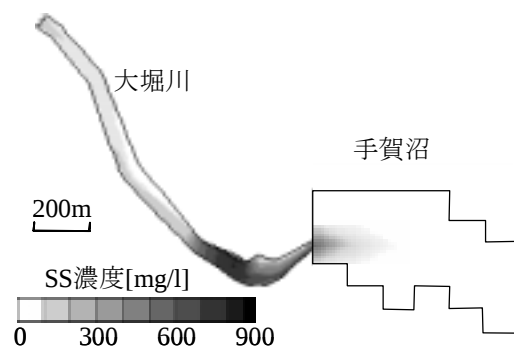
図—4 計算対象領域と水深分布（手賀沼）

(2) 計算結果

図—5は、河川内の Stns. 2, 3 における SS の計算値と観測値を示している。これを見ると、計算値と観測値は良好に一致しており、本モデルの基本的な有効性が確認された。なお、大堀川下流域における場所的な SS 環境の違いは、底質の巻上げ特性が空間変化していることに起因している²⁾。図—6は、SS ピークとなる時刻（7/4 3:40）における SS の空間コンターを示す。これより、河川と湖沼の接続点（Stn.3）より湖沼側では、SS 値が急激に減少している。これは、大堀川から手賀沼へ流入した直後に、流速レベルが急激に低下し、底質巻上げ過程よりも沈降過程が顕著になった結果、SS 値が急減したものと考えられる。この結果により、大堀川から手賀沼へ流入する懸濁物質の大半は、河口域に堆積していることが示された。



図—5 河川内における SS の観測値と計算値



図—6 SS の空間コンター（7/4 3:40）

4. まとめ

簡易境界適合座標系として提案された水平 σ 座標系に基づく河川モデルと矩形座標系を用いた湖沼モデルをカップリングした河川・湖沼結合モデルを構築した。まず、狭さく部を有する開水路流れに関するテスト計算を通して、水平 σ 座標系の計算精度について検証した。また、水平 σ 座標系を組み込んだ河川・湖沼結合モデルに基づいて手賀沼における流動・土砂輸送解析を実施し、河川内河口域や湖沼における底質巻上げ過程や沈降過程と SS 動態の関連性について検討した。

参考文献：

1) 山崎・二瓶・大関・今野・西村：水工学論文集，Vol.48，pp.1489-1494，2004。2) 大関・山崎・二瓶・西村：土木学会第59回年次学術講演会，2004（投稿中）。