

## 河川流計算のための新たな簡易境界適合座標系の構築

(株)建設技術研究所東京本社河川部 正会員 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

### 1. はじめに

近年の河川流シミュレーションは、計算機能力の大幅な向上や様々な数値解析手法の開発に伴い、従来の一次元解析に代わり、平面二次元解析や三次元解析が幅広く行われている。通常、河道の平面形は湾曲・蛇行し、また、川幅の急拡・急縮部が存在するため、河川の平面形状は複雑に変化している。そのため、河川流計算では、どのような水平座標系を選択するか、ということが、計算精度や負荷に対して大きな影響を及ぼすものと考えられる。河川流計算で用いられている主な水平座標系としては、デカルト座標系や直交曲線座標系、一般座標系の3つが挙げられる。このうち、デカルト座標系と直交曲線座標系に関しては、数値モデルが簡便であるものの、河道形状を忠実に再現することは難しいという問題がある。一方、境界適合格子に基づく一般座標系は、河道形状を正確に表現することが可能であり、その計算精度も検証済みであるものの、デカルト座標系や直交曲線座標系と比べて基礎方程式系やその計算コードが煩雑になる、という問題点を含んでいる。

そこで本研究では、デカルト座標系や直交曲線座標系のような数値モデル上の簡便さを有しつつ、一般座標系と同程度の計算精度を兼ね備えた水平座標系を新たに提案する。具体的には、鉛直座標系として用いられている座標系を水平座標系に応用した**水平座標系**を構築することを試みる。以下では、1) 水平座標系の基本的な概念を示し、2) 実河川を対象とした洪水流計算を通して水平座標系の有効性を検証する。

### 2. 水平座標系の概要

複雑な形状を有する河道境界を簡便かつ忠実に再現するために、座標系と同様な手順により、次に示す式を用いて、直交曲線座標系  $(s, n)$  を水平座標系  $(s^*, \sigma_h)$  に変換する。

$$s^* = s, \sigma_h = \frac{n - B/2}{B} \quad (1)$$

ここで、 $B$  は川幅である。図-1は、式(1)の定義に基づく水平座標系の格子配置の一例である。これより、水平座標系の格子は河道形状に沿う境界適合格子であり、同一格子数でも直交曲線座標系と比べて格子解像度を細かくすることが可能である。このように定義される水平座標系を用いて、浅水流モデルに基づく平面二次元運動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ことが確認されている。このように水平座標系は、複雑な河道形状を忠実に表現することが可能であり、基礎方程式系やその数値コードが簡単である、という利点を有する。なお、基礎方程式系の導出過程などの詳細については、山崎・二瓶(2005)を参照されたい。

### 3. 実河川流計算への適用

#### (1) 計算条件

水平座標系を導入した河川流モデルの現地河川流計算への適用性を検証するために、図-2に示すように、手賀沼における主要流入河川の一つである大堀川を対象として、平面二次元場の洪水流計

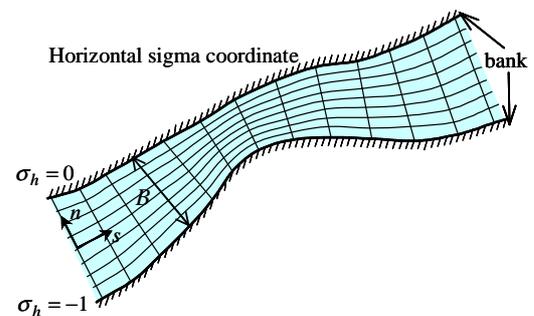


図-1 水平座標系の定義

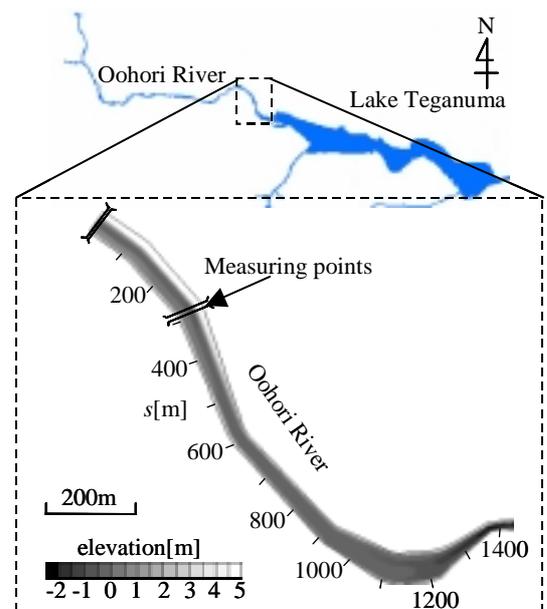


図-2 計算領域 ( $s$ : 上流端からの距離)

キーワード：境界適合座標系，水平座標系，数値シミュレーション，河川流計算

連絡先：郵便番号 278-8510 千葉県野田市山崎 2641 TEL：04-7124-1501（内線 4031）FAX：04-7123-9766

算を実施する．計算期間としては，台風0402号の接近に伴って生じた洪水イベントを含む期間（2004/5/21 0:00～14:00）とする．水平座標系間の計算精度を比較するために，ここでの水平座標系としては，水平座標系に加えて一般座標系と直交曲線座標系を用いる．計算格子数は全座標系ともに主流方向48×横断方向43であり，計算格子幅に関しては，一般座標系と水平座標系では主流方向30m×横断方向0.5～2.0mであり，直交曲線座標系では，主流方向30m×横断方向2.0mである．

## （2）計算結果

3つの水平座標系における計算誤差の空間分布を定量的に把握するために，一般座標系の計算結果を正解とし，直交曲線座標系と水平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，それを正解の計算領域上流端における断面平均主流方向流速値で無次元化した誤差値  $Err$  の空間分布を図-3に示す．また比較のために，川幅の流下方向変化を図-4に示す．これらを見ると，両座標系共に，誤差値  $Err$  は流下方向に増加する傾向が見られるものの，その大きさは，全横断面において水平座標系の方が，直交曲線座標系よりも小さくなっている．これらの誤差値  $Err$  と川幅  $B$  の流下方向変化を比べると，直交曲線座標系の  $Err$  は，川幅の流下方向変化が顕著となると  $s=300\text{m}$  以降から増大しており，川幅が拡大するときよりも縮小時において  $Err$  の増加が顕著となっている．一方，水平座標系に関しては，直交曲線座標系の場合と異なり，誤差値  $Err$  と川幅  $B$  には明確な相関性は見られない．このように，直交曲線座標系に見られる川幅変化に伴う計算誤差を，水平座標系では大幅に抑制している．

さらに各座標系における計算精度の時間変化を調べるために，上述した誤差値  $Err$  を計算領域にわたり平均した空間平均誤差値  $\overline{Err}$  の時系列変化を図-5に示す．なお，同図には，洪水イベント時における計算領域上流端での水位変化も示している．これを見ると，水平座標系と直交曲線座標系ともに，河川水位の増減に対応して空間平均誤差値  $\overline{Err}$  が増減するものの，水平座標系における  $\overline{Err}$  は直交曲線座標系の値よりも明確に小さい．より詳細に比べると， $\overline{Err}$  の範囲としては，水平座標系では0.5～1.1%であるのに対し，直交曲線座標系では3.3～5.8%となっており，水平座標系は一般座標系と同程度の計算精度を有していることがわかる．また，同一時点における両者の値を比べたところ，直交曲線座標系における  $\overline{Err}$  は水平座標系における値の4.8～7.4倍となり，両者の差は顕著である．以上の結果より，実河川計算に対する水平座標系の基本的な有効性が示された．

## 4．まとめ

河川流計算における低計算負荷かつ高精度な水平座標系として，これまで鉛直座標系として用いられてきた一種の境界適合座標系である座標系の基本コンセプトを水平座標系に応用する，という水平座標系を提案した．この水平座標系の実河川流計算への適用性を検討するために，手賀沼への主要流入河川である大堀川における洪水流シミュレーションを実施した．その結果，水平座標系では，直交曲線座標系では生じる川幅変化による計算誤差を大幅に抑制することが示された．このことより，水平座標系に基づく河川流モデルの実河川流計算への適用性が示唆された．

## 参考文献：

山崎・二瓶：簡易境界適合座標系に基づく河川流モデルの提案，土木学会論文集，2005（投稿中）．

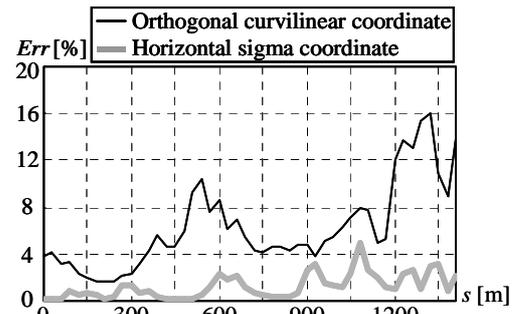


図-3 誤差値  $Err$  の空間分布（5月21日 4:50）

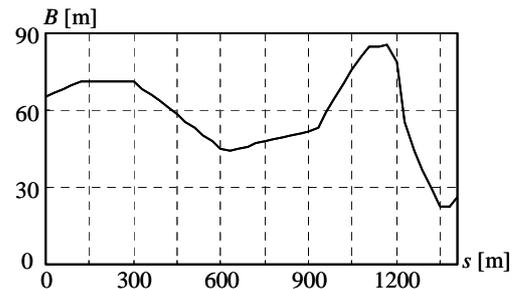


図-4 川幅  $B$  の流下方向変化

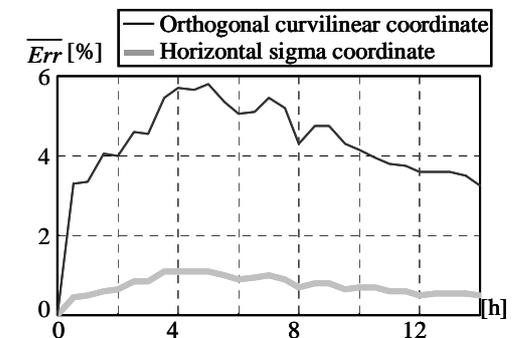
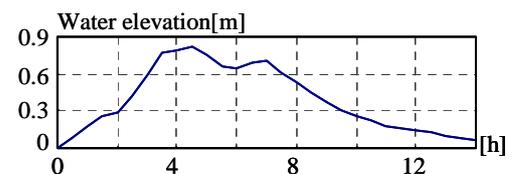


図-5 空間平均誤差値  $\overline{Err}$  の時系列変化