

蛇行河川を対象とした平面二次元モデルと三次元モデルの適用性比較

Comparison on applicability of plane 2D and 3D models on meandering rivers

北海道大学工学部 環境社会工学科国土政策学コース ○学生員 掛川恵梨子(Eriko Kakegawa)
 北海道大学 工学院環境フィールド工学部門 准教授 正会員 木村一郎 (Ichiro Kimura)
 北海道大学 工学院環境フィールド工学部門 教授 正会員 清水康行 (Yasuyuki Shimizu)

1. はじめに

河川の蛇行部は流向が変化するだけでなく、断面内に第一種二次流と呼ばれる螺旋流が発生し、河川の抵抗則や流砂輸送、河床変動、側岸浸食などに影響を及ぼすことがこれまでの研究から明らかになっており、湾曲部が河川防災上重要な断面となる場合が多くみられる。したがって、河川湾曲部の流れ構造を理解し、河床変動を適切な数値解析モデルによって予測することは重要な課題といえる。

本研究は、実験水路や実河川である釧路川蛇行部などを対象に、平面二次元モデルと三次元モデルの比較をし、両者の長所と短所、適用範囲などの検討を行う。現状としては数値計算を行う上で平面二次元モデルが汎用されているが、湾曲部という特徴的な構造故に必ずしも平面二次元モデルが十分とはいえず、三次元モデルによってのみ再現できる流れも存在する。一方で三次元モデルは長大な時間を要し、実用的ではない実態がある。そこで、異なる地形や二次流の影響などに着目しながら、二次元モデルと三次元モデルの特性を検討し、その再現性を比較する。それらを用い、平面二次元モデルと三次元モデルの適用範囲や効率的なモデリング選択を考察する。

2. 実験水路とシミュレーションの比較

寒地土木研究所で行われた実験結果を使用する。2つの異なる水路 Case3-1 (図-1)、Case7-1 (図-2) を取り上げ、それぞれについて実験結果と定常時の平面二次元および三次元モデルの計算結果を比較検討する。ツールとしては、iRIC²⁾とそのエンジンである Nays2D と NaysCUBE を用いる。

2.1 格子および計算条件

格子および計算条件は実験に等しく設定する。表-1 に実験条件および計算条件を示す。Sine-generated Curve の水路を用い、流れ方向(縦断方向)を *i*、横断方向を *j* として 40 × 10 = 400 分割する。粗度係数については、実験水路で与えられた水路幅、水深、勾配、流量から、マンニングの平均流速公式を用いて算出し、適用する。

2.2 河床変動値の結果比較

河床変動の計算結果として、図-3 から図-8 が得られた。Case 3-1、Case7-1 いずれの場合に於いても蛇行部の地形の再現性は平面二次元、三次元モデルともに概ね

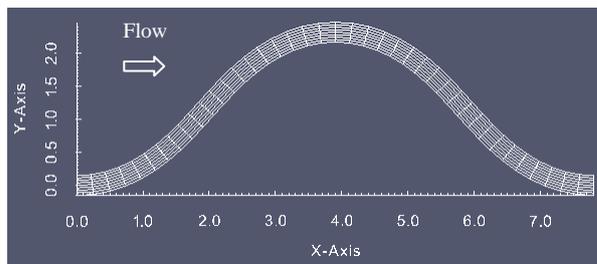


図-1 Case3-1 水路形状

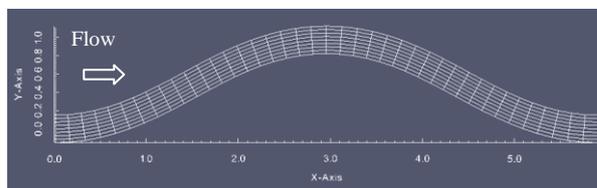


図-2 Case7-1 水路形状

表-1 数値計算条件

	Case 3-1	Case 7-1
水路形状	Sine-generated Curve	
横断形状	単断面	
水路幅 (m) / 横断方向格子数	0.3 / 8	
蛇行波長 (m) / 縦断方向格子数	6.3 / 40	9.4 / 40
蛇行角 (°)	28.6	48.2
水路勾配	0.004096	0.004113
河床の状況	移動床	
粗度係数 (マンニング粗度)	0.017	0.015
鉛直方向格子数 (3D)	5	
流量 (l)	4.009	3.974
平均粒径 (mm)	0.55	
境界条件	周期境界条件	

良好といえる。一方で変曲点周辺の概形には差異がみられる。特徴的な違いは砂州の再現性である。実験結果で示されている砂州は平面二次元モデルや三次元モデルでは確認できず、両者ともに再現性は十分とはいえない。平面二次元モデルと三次元モデルを比較すると、三次元モデルの方が局所的な変化の再現性に優れているといえる。

Case3-1 の実験結果では交互砂州のモードが表現されているが、数値計算では三次元のみでモードが確認され、平面二次元モデルではみられなかった。Case7-1 では平面二次元モデルと三次元モデルの両方に交互砂州のモードが確認された。

2.3 縦断方向と横断方向の河床高と水位の比較

Case3-1 と Case7-1 のそれぞれにつき、水路実験(exp)、平面二次元モデル(2d)、三次元モデル(3d)の縦断方向の中心線上の河床高と水位を、蛇行波長 $L = 1$ として図9から図12のグラフに表示する。また河床高については横断方向の任意の面についても水路幅 $B = 1$ として同様図13と図14のグラフに示す。

Case3-1 では河床高と水位ともに水路全体として河床変動量の不一致が少なく、水位に関しては精度もよい。しかし河床高に関しては、縦断方向の実験結果で見られる細かい凹凸がほとんど反映されていなく、両端におけるずれが非常に大きい。シミュレーション結果は滑らかなカーブを描いている。Case7-1 では河床高の比較にお

いて、数値の不一致はあるものの平面二次元モデルの概形の再現性が高い。

Case3-1 と Case7-1 の比較でも違いがみられるように、水路形状が数値計算に与える影響も少なくないといえる。実験値との誤差はあるものの、水位の数値解析結果は平面二次元モデルと三次元モデルのいずれも類似している。

横断方向については Case3-1 と Case7-1 いずれの場合でも平面二次元モデル、三次元モデルともに実験結果の特性を十分な精度で再現しているといえる。なお、実験結果では堆積部の内岸に沿った部分に局所的な河床の低下がみられる。三次元計算でも一部この特性が見られるが、二次元計算では再現されていない。この点については今後の検討課題である。

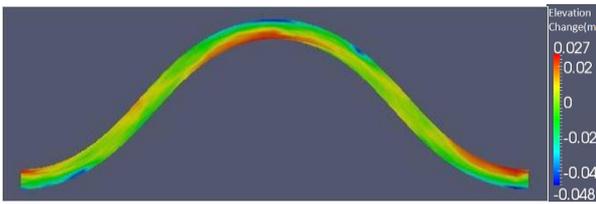


図-3 exp Case 3-1 (河床変動量: -0.048~0.025 (m))

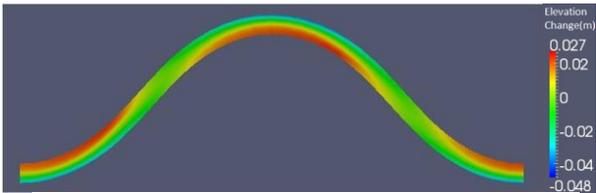


図-4 2d Case 3-1 (河床変動量: -0.026~0.015 (m))

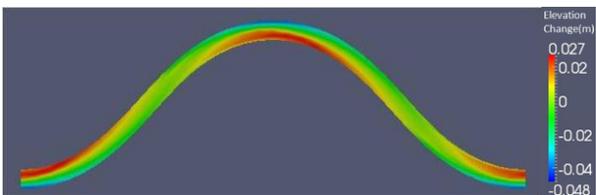


図-5 3d Case 3-1 (河床変動量: -0.042~0.027 (m))

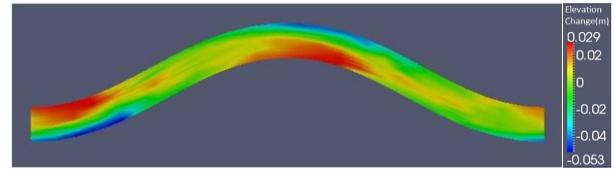


図-6 exp Case 7-1 (河床変動量: -0.053~0.029 (m))

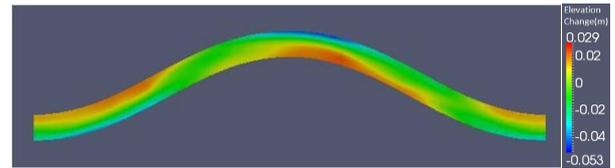


図-7 2d Case 7-1 (河床変動量: -0.023~0.014 (m))

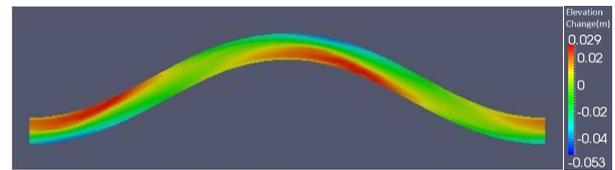


図-8 3d Case 7-1 (河床変動量: -0.047~0.035 (m))

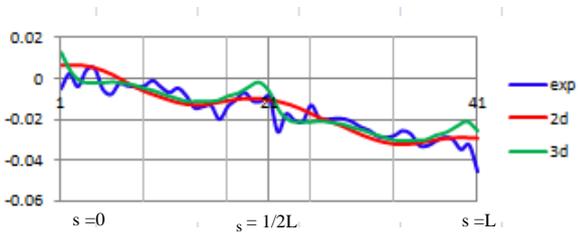


図-9 Case 3-1 $n = 1/2 B$ 河床高

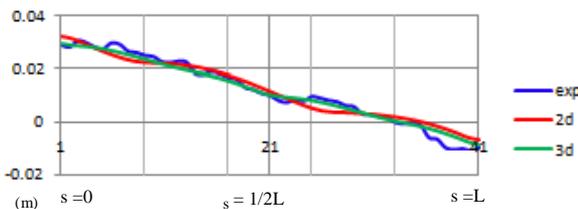


図-10 Case 3-1 $n = 1/2 B$ 水位

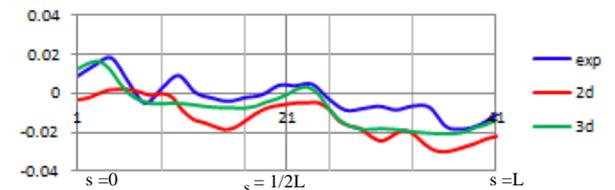


図-11 Case 7-1 $n = 1/2 B$ 河床高

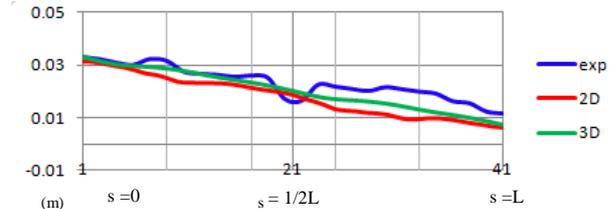


図-12 Case 7-1 $n = 1/2 B$ 水位

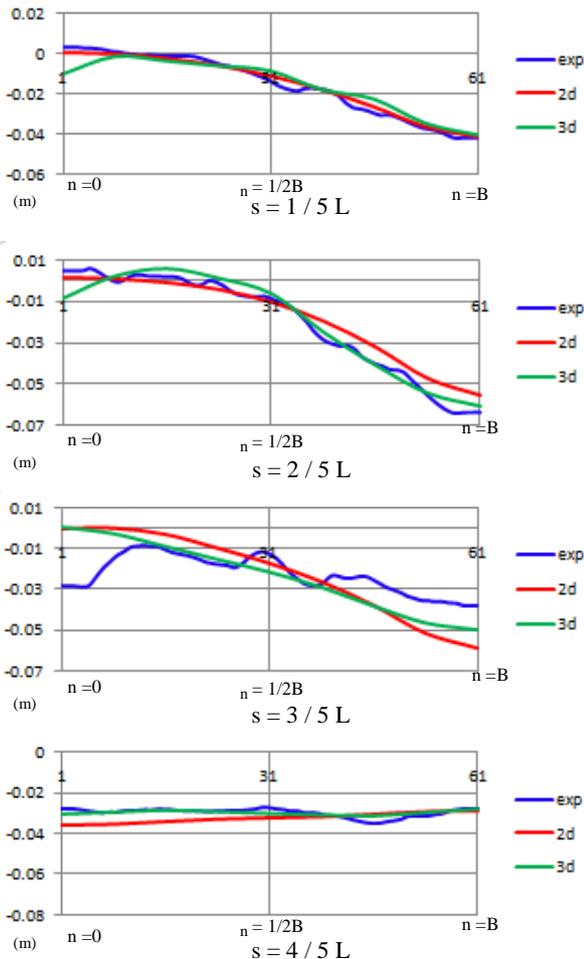


図-13 Case 3-1 横断方向河床高

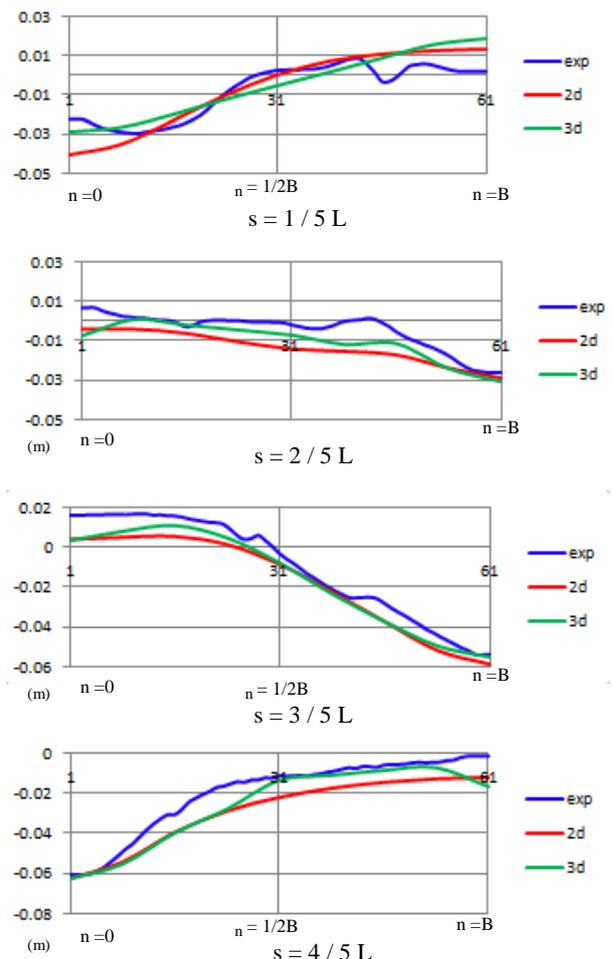


図-14 Case 7-1 横断方向河床高

3. 実河川釧路川蛇行部とシミュレーションの比較

釧路湿原国立公園内を流れる釧路川でなされた現地観測データと数値解析結果を比較する。釧路川には蛇行形状が多くみられるが、それらを2つのタイプに分類することができる。イリノイ大学の Gary Parker は滑らかなカーブをもつ蛇行を女型、折れ曲がるようなジグザグのカーブをもつ蛇行を男型と呼ぶことを提案した²⁾。これらの2つの異なる蛇行形状における流れ構造について、平面二次元モデルと三次元モデルの適用性を検証する。

3.1 格子および計算条件

予め調査の際に用いられた格子図を示す³⁾。他の計算条件は表-2に示す。

3.2 流速分布の比較

平面二次元については流速、三次元モデルについては水深平均流速を図-15 および図-16 に示す。平面二次元モデルと三次元モデルを比較すると、男型の方が両者の一致の傾向が強くみられる。女型に関しては、湾曲部で平面二次元モデルと三次元モデルの差異が大きい。すなわち三次元計算では蛇行部を越えると流れが外岸側にシフト

表-2 数値解析計算条件

	女型	男型
現地観測	超音波ドップラー多層流向流速計 (ADCP)	
水路勾配	1/25000	1/33333
河床の状況	固定床	
粗度係数 (マニング粗度)	0.004	
鉛直方向格子数 (in 3D)	5	
平均流量 (m ³ /s)	44.27	
平均粒径 (mm)	0.55	

トするのに対し、平面二次元モデルではこのような急激なシフトを再現していない。

図-17、図-18 に示した横断方向の流速分布を参照すると、女型と男型いずれの断面にも二次流はみられるものの、女型では二次流が主流方向に比較的大きい区間で継続するのに対し、男型では二次流の発生が水路湾曲部の比較的小さい区間に限られる。平面二次元モデルは二次流を再現できない。このため二次流が支配的な女型蛇行で平面二次流モデルと三次元モデルの結果の差が大きくなったと考えられる。一方、男型蛇行では二次流が局所的であるため、平面二次元、三次元の結果に大きな差異が生じなかったものと推測される。

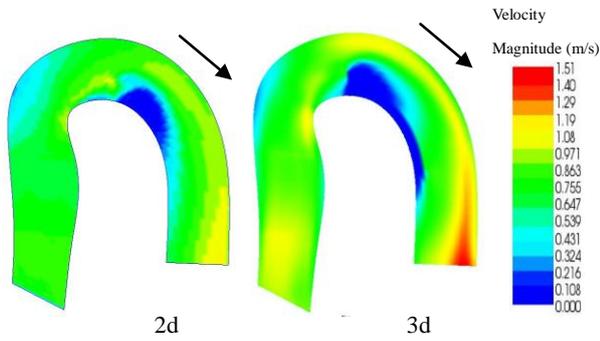


図-15 女型 流速分布

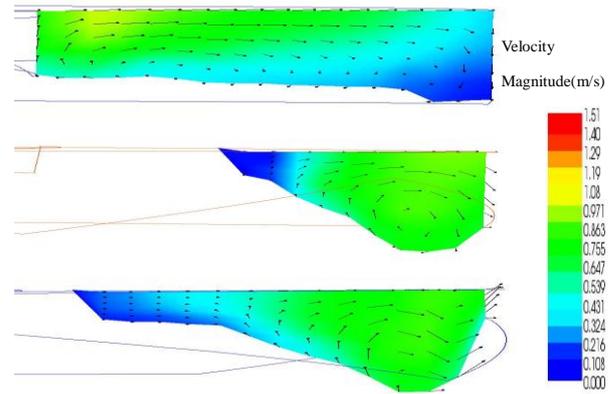


図-17 女型 横断方向 流速分布

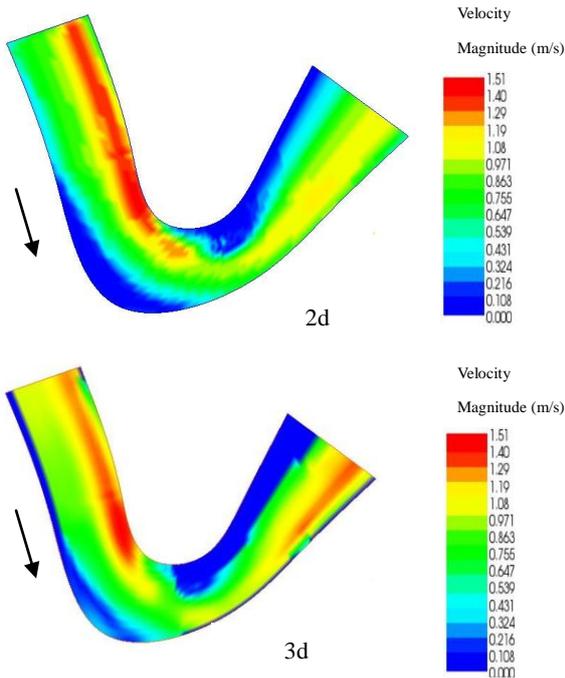


図-16 男型 流速分布

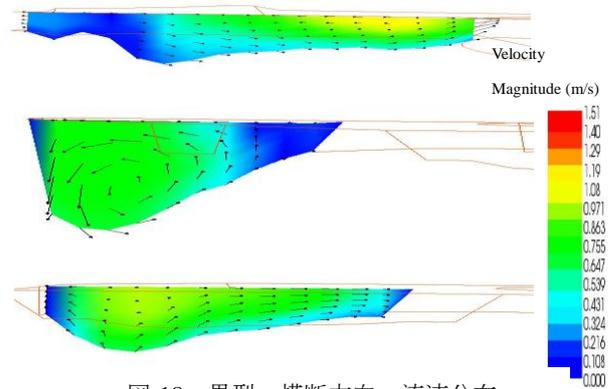


図-18 男型 横断方向 流速分布

(2) 釧路川の女型、男型の2つの蛇行部に平面二次元、三次元モデルを適用した結果、男型蛇行では両者の結果がほぼ一致したが女型蛇行では三次元モデルは外岸に大きい流速が片寄るのに対し、平面二次元モデルはこの現象を再現できていない。

4. 結論

本研究では実験および釧路川の蛇行について、平面二次元モデルと三次元モデルを適用し、その妥当性を検証したものである。得られた主な結論を次に箇条書で示す。

(1) 蛇行角の異なる二種類の実験について、再現計算を試みた結果、平面二次元、三次元モデルともに再現性は概ね良好であった。しかし、実験で見られた砂州モードの河床波の再現性等において、若干三次元モデルの精度が良好であった。

参考文献

- 1) iRIC: <http://i-ric.org/ja/>
- 2) Tanaka, K., Shimizu, Y., Kawamura, S., Iwasaki, T., Kimura, I and Tanaka, G. Geomorphological characteristics of female and male-type meanders, 7th IAHR Symposium on River, Coastal and Estuarine Morphodynamics, Sept. 6-8, 2011, Tsinghua University, Beijing, China, pp.4-16, 2011.
- 3) 田中梢、低平地・湿地の蛇行河川の形態とその水理特性、北海道大学工学院工学研究科修士論文、pp.42、2012.