

高水敷の粗度係数が水位及び流量ハイドログラフに与える影響

広島大学大学院 学生会員 ○森下祐 広島大学 正会員 内田龍彦
 広島大学 フェロー会員 河原能久

1. 序論

複断面河道を洪水流が流下すると、ピーク流量の低減や流量ハイドログラフの変形が生じるため、河道計画や治水安全度評価を検討する際には、これらの現象を精度良く見積もることは重要な課題である。福岡・渡邊¹⁾らは、各時間の縦断水位分布の解析結果が観測結果と一致するように高水敷粗度分布と樹木群透過係数を選定し、その際、同時に観測流量ハイドログラフを参考値とすることにより、精度の高い流量ハイドログラフを算定できることを示している。本研究ではこの手法に着目し、高水敷の粗度係数が水位及び流量ハイドログラフに与える影響を数値実験に基づき考察する。

2. 解析方法

以下に流体占有率を考慮した基礎方程式(1), (2)を示す。

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{1}{V} \frac{\partial A_j u_j h}{\partial x_j} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{1}{Vh} \left(V \frac{\partial u_i h}{\partial t} + \frac{\partial A_j u_j h}{\partial x_j} \right) = -g \frac{\partial \zeta}{\partial x_i} - \frac{\tau_{0i}}{h} - \frac{f_i}{h} + \frac{1}{Vh} \frac{\partial A_j h \tau_{ij}}{\partial x_j} \quad (2)$$

ここに、添字 ij は総和規約に従い、1,2 は x,y 方向を示す。 h は水深、 u_i は i 方向流速、(z :鉛直方向)であり、 $A_j V$ は j 方向断面と流体占有率(空隙率)である。 τ_{0i} はマンニングの粗度係数 n を用いた底面せん断応力、 τ_{ij} は水平せん断応力であり、渦動粘性係数 ν_t は $1/6ku^*h$ にスマゴリンスキーモデルによる渦粘性係数が加えられたものが用いられている。 f_i は計算で直接表現できない境界形状による抵抗であるが、本研究では 0 としている。数値解析法の詳細については、文献2)を参照されたい。

3. 数値実験概要

図-1に解析対象である複断面蛇行水路を示す。低水路の蛇行度は1.10、幅0.5m、高水敷高さは4.5cmである。数値計算では、計算格子を $\Delta x=0.1m$ 、 $\Delta y=0.05m$ 、氾濫フロントの移動限界水深は0.1cm、高水敷高さを人工芝の高さ(0.7cm)を含めた5.2cmとしている。境界条件は上・下流断面に、水位ハイドログラフの実験結果³⁾を与える。数値実験では、最初に縦断水位分布の解析結果が実験結果³⁾に一致するように高水敷の粗度係数値 n_p を選定する($n_p=0.021$)。その際、実験流量ハイドログラフ³⁾も参考値として用いている。図-2、図-3にそれぞれ水位縦断分布、流量ハイドログラフを示す。ここで、図-3に示す領域Ⅰ、Ⅱ、Ⅲは(増水初期: Dr [高水敷からの水深/河床からの水深] <0.3)、(ピーク付近: $Dr>0.3$)、(減水後期: $Dr<0.3$)を表す。図-2、図-3より、水位の縦断分布、流量ハイドログラフ共に若干の違いはあるものの、概ね解析結果は実験結果と一致していることが確認できる。表-1に示すように5ケースの n_p を用いて数値実験を行う。ここでは、 $n_p=0.021$ を真値(基準)とし、表-1に示すように5ケースを行い、他のケースと比較する。

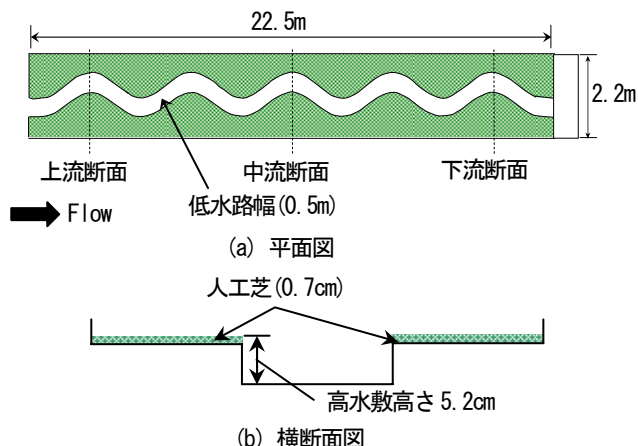
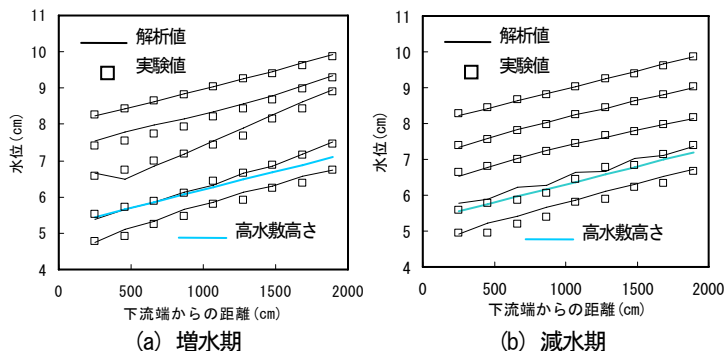
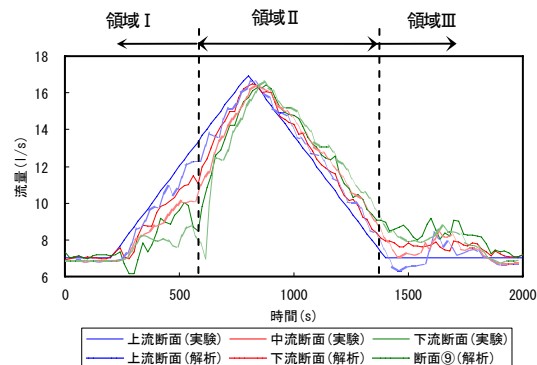


図-1 複断面蛇行水路

表-1 各ケースの高水敷の粗度係数値 n_p

	case1	case2	case3	case4	case5
高水敷の粗度係数値 n_p	0.017	0.020	0.021	0.022	0.025
case3に対する変化率(%)	-19.0	-4.8	0.0	4.8	19.0

図-2 $n_p=0.021$ における水位の縦断分布図-3 $n_p=0.021$ における流量ハイドログラフ

キーワード：複断面蛇行水路、非定常二次元解析、高水敷粗度係数、流量ハイドログラフ、水位ハイドログラフ

連絡先：広島大学大学院工学研究科社会環境システム専攻 〒739-8527 東広島市鏡山1-4-1 Tel./Fax:082-424-7847

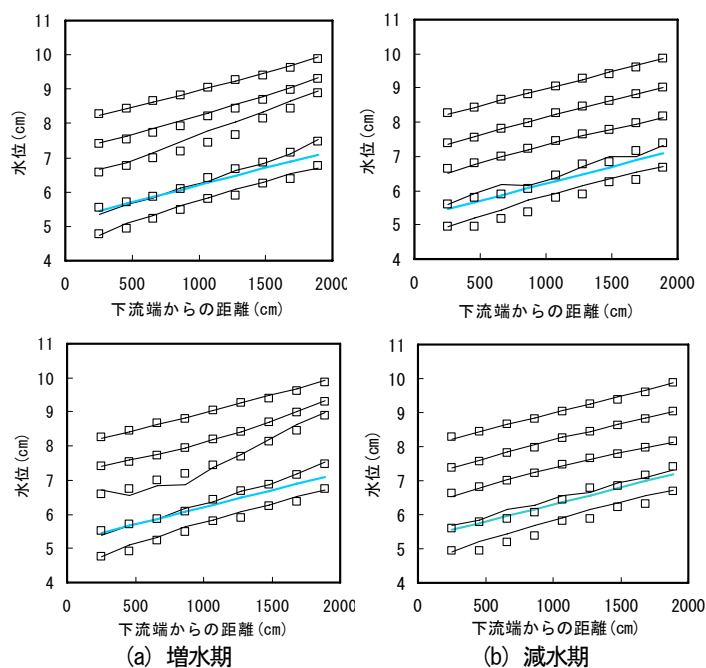
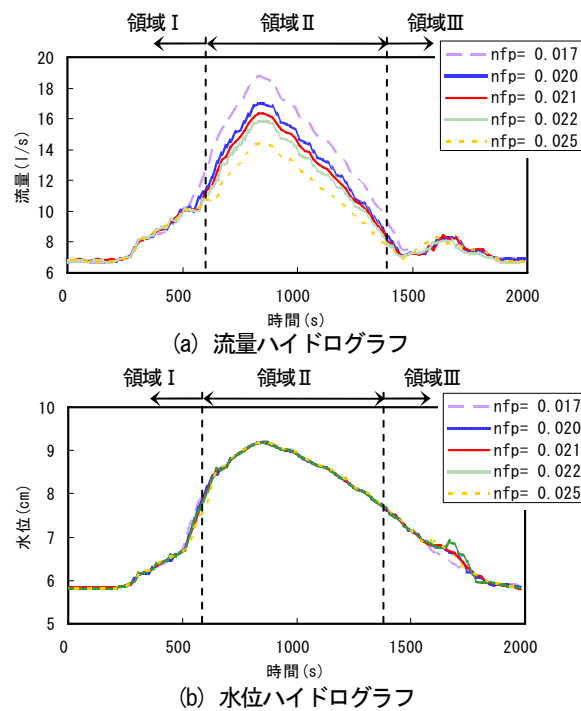
図-4 縦断水面形(上: $n_p=0.017$, 下: $n_p=0.025$)

図-5 各ケースの流量及び水位ハイドログラフ

4. 数値実験の結果と考察

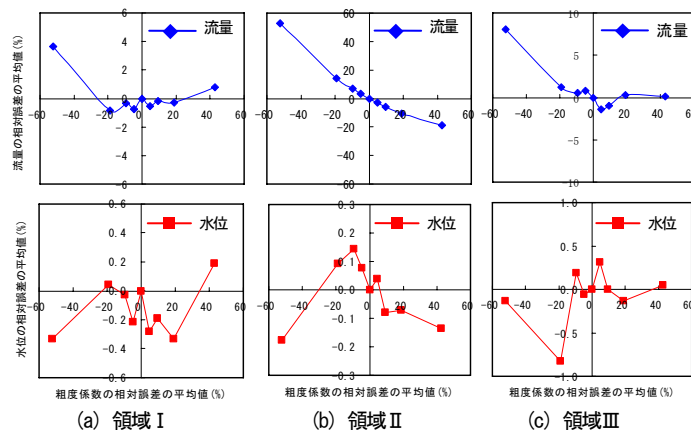
図-4 に $n_p=0.017, 0.025$ における縦断水位分布, 図-5 に 5 ケースの n_p による中流断面の流量ハイドログラフと水位ハイドログラフを示す. 図-4 より n_p による縦断水位分布の違いはほとんど見られないことが確認できる. 図-5 より, 流量ハイドログラフは n_p によって大きく変化しており, 特に領域 II で顕著に見られるが, 水位ハイドログラフは領域 III で若干の違いが見られるものの, 洪水期間を通してほぼ同様の水位を示している. このことから, 境界条件として上・下流端を水位ハイドログラフで固定した場合, n_p を広範囲 ($\pm 20\%$) に変化させても, 解析領域内の水位にほとんど影響を及ぼさないが, 流量に対しては特にピーク付近において, 大きな影響を及ぼすことが明らかとなった. 次に, この n_p に対する流量と水位の感度の違いを定量的に検討する. 図-6 に中流断面における流量及び水位の相対誤差の各領域の平均値と n_p の相対誤差の関係とを示す. 相対誤差の基準値は, 流量・水位は同時刻での $n_p=0.021$ の流量・水深の解析結果としている. 図-6 より, 流量の相対誤差は領域 II において特に大きく, $\pm 20\%$ の n_p の変化に対し, 単調に約 $10\% \sim 20\%$ 変化している. これに対し, 水位の応答は, 各領域とも単純ではなく, 流量の場合に比べて微小(最大でも 1.0% 未満)である. これは, 水位の解析結果を実験結果に 1.0% 以下の精度で一致させたとしても, 期待できる流量の精度は高くないことを示している. このため, 信頼性の高い流量ハイドログラフを算定するためには, 少なくとも解析対象区間内の 1 断面における流量の観測データが必要であると考えられる. 図-5(a) から分かるように, 観測流量と解析流量の差はピーク時で最大となるが, 時間によって誤差の特徴は変わらない. したがって, 洪水流量観測はピーク付近から行うことが望ましいが, 減水期でしか行えなくても, 数値解析を介して流量ハイドログラフが十分な精度で推定できると言えよう.

5. 結論

本研究では, 複断面蛇行流れの非定常二次元解析を行う上で重要な要素となる高水敷の粗度係数が水位及び流量ハイドログラフに及ぼす影響を議論した. その結果, 上・下流を水位ハイドログラフで固定し, 高水敷の粗度係数値が一定の場合, 参考値とする流量の観測はピーク付近から行うことが望ましいが, 減水期でしか行えなくても, 数値解析を介することによって流量ハイドログラフが十分な精度で推定できることが明らかとなった.

参考文献

- 1) 渡邉明英, 福岡雄二, AG Mutasingwa, 太田勝: 複断面蛇行河道におけるハイドログラフの変形と河道内貯留の非定常 2 次元解析, 水工学論文集, 第 46 巻, pp.427-433, 2002.
- 2) 内田龍彦, 河原能久: 地形変化を有する二次元浅水流の保存方 CIP 陽解法, 応用力学論文集, Vol.9, pp.917-924, 2006.
- 3) 森下祐, 渡邉明英, 内田龍彦, 河原能久: 複断面蛇行河道における洪水流の増水期と減水期の流れ構造, 応用力学論文集, Vol.9, pp.977-985, 2006.

図-6 中流断面における流量・水位の相対誤差の平均値と n_p の相対誤差との関係(上: 流量, 下: 水位)