

水位を与条件とした洪水流解析の分流部流れの再現性の検証

九州工業大学工学部 学生会員 中村 亜紀・九州工業大学大学院 正会員 重枝 未玲・学生会員 林 泰史

1. はじめに

近年、洪水発生時の河道内水位データは高精度でリアルタイムに取得可能となっている。この観測水位を用いた洪水流解析により、洪水時の流量・粗度係数を推定することができれば今後の河道計画だけでなく、危機管理対策にも役立てることができる。本研究は、以上のような背景を踏まえ、水位を与条件とした洪水流解析を実施し、分流周辺の流れの再現性を検証したものである。

2. 実験概要

実験装置は、図-1 に示す長さ 3.8m、幅 0.6m の本川水路に長さ 2.457m、幅 0.2m の支川水路を設けた分派水路である。本川と支川の河床勾配はいずれも 1/1,000 に設定されている。実験条件を表-1 に示す。実験は定常流(Case S)で行い、本、支川下流端に設定されている刃型堰の堰高によって水位を調整し、表-1 に示すような本川下流の水面形が堰上げ背水(Case S-1)、低下背水(Case S-2)となるような条件とした。測定項目は水深、流量である。水深測定は、ポイントゲージにより図-1 に示す黒丸の計測点で実施した。本川上流端流量は電磁流量計で、支川の流量は支川下流端においてバケツで回収した水の体積と回収に要した時間から算出した。本川下流の流量は、本川上流端流量と支川下流端流量の差から求めた。

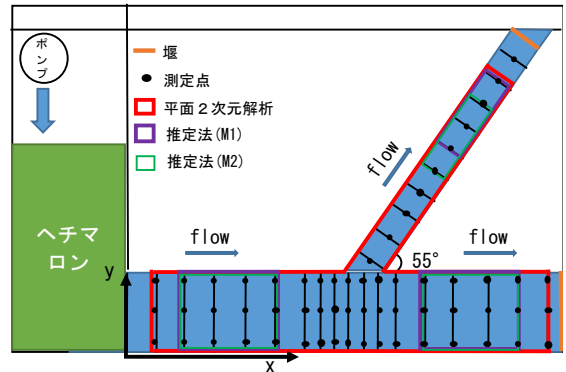


図-1 実験装置の概要

表-1 実験条件

Case	本川下流水面形	勾配	上流端流量 (m ³ /s)
S-1	M1	1/1,000	0.01393
S-2	M2		

3. 解析手法の概要

本研究の解析では、水位を与条件とした平面 2 次元解析モデル¹⁾と水面形を与条件とした流量と粗度係数の推定法²⁾を用いた。図-2 に、平面 2 次元解析モデルと推定法の基礎方程式と離散化式を示す。いずれも、流量を与条件とせずに、水位を与条件とすることで解析や推定を実施する手法である。平面 2 次元解析モデルの基礎方程式は 2 次元浅水方程式である。同モデルは、計算格子に非構造 3 角形格子を用いているため、分流部の平面形状を適切に取り扱うことができ、本川、支川を含めた河道全体で洪水流解析を行うことが可能である。水面形を与条件とした流量と粗度係数の推定法は、図-3 に示すように、水位の縦断変化、河床位、1 区間の粗度係数を与条件として、流量および粗度係数の推定を行う手法である。上記のモデルと推定法のいずれも、基礎方程式の離散化には流束差分法が用いられている。

平面 2 次元解析モデルでは、本川上流端および本・支川の下流端境界条件として水位を与えた。また推定法では実測水面形を与えた。平面 2 次元解析の粗度係数および推定法に必要な 1 区間の粗度係数には、逆算粗度係数を与えた。平面 2 次元解析の対象区間は、図-1 の赤枠の区間、推定法では分流部

①水面形を与条件とした流量・粗度係数の推定法

- 基礎方程式

$$\frac{\partial U}{\partial t} + \frac{dE}{dx} = S$$

$$U = (A, Q)^T; E = (Q, Q^2/A + gI_1)^T;$$

$$S = (0, gI_2 + gA(S_0 - S_f - S_L))^T;$$
- t : 時間, x : 流下方向, U : 保存量ベクトル, E : 流束ベクトル,
 S : 発生項・消滅項ベクトル, A : 流積, Q : 流量, g : 重力加速度,
 S_0 : 河床勾配, S_f : 摩擦勾配, S_L : エネルギー損失勾配,
 I_1 : 静水圧項, I_2 : 河道幅の変化による静水圧項

②平面2次元解析法

- 基礎方程式

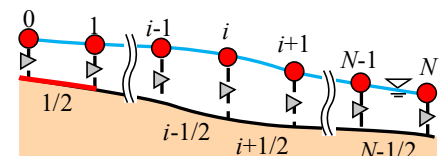
$$\frac{\partial U}{\partial t} + \frac{dE}{dx} + \frac{dF}{dy} = S$$

$$U = (h, uh, vh)^T; E = (uh, u^2h + 1/2gh^2, uvh)^T;$$

$$F = (vh, uvh, v^2h + 1/2gh^2)^T$$

$$S = (0, -gh(S_{0x} + S_{Lx} + F_x), -gh(S_{0y} + S_{Ly} + F_y))^T;$$
- t : 時間, x : 流下方向, U : 保存量ベクトル, E : 流束ベクトル,
 S : 発生項・消滅項ベクトル, A : 流積, Q : 流量, g : 重力加速度,
 S_0 : 河床勾配, S_f : 摩擦勾配, S_L : エネルギー損失勾配,
 I_1 : 静水圧項, I_2 : 河道幅の変化による静水圧項

図-2 各モデルの基礎方程式



●: 水位ハイドログラフ ▷: 流量ハイドログラフ
 -: 対象区間の一区間の粗度係数 -: 粗度係数

図-3 推定法の概要

を取り扱うことができないため、解析対象区間を図-1の緑・紫枠の区間とした。

4. 結果と考察

図-4に、実測流量と平面2次元解析および推定法より得られた流量の比較を示す。図中の直線に近いほど、解析結果は実験値を再現していることを表している。これより、(1)本川上・下流、支川の流量のいずれも水面形を与条件とした推定法の再現精度が高いこと、(2)平面2次元解析結果を比較すると、CaseS-1に比べCaseS-2の再現精度が高いこと、(3)いずれも最大15%の誤差で流量を推定可能であること、などが確認できる。また、推定法で推定された粗度係数は、逆算粗度係数を概ね一致しており、最大で4.2%程度の誤差であった。分流部は流線の曲がりにより3次元性の強い流れが生じるにも関わらず、推定法の再現性が高い理由は、適用した区間が比較的1次元的な流れであったことに加え、3次元的な流れの影響は水面形にその影響が含まれることになり、その水面形を与条件として与えたためと考えられる。また、平面2次元解析が、CaseS-1に比べCaseS-2の再現性が高いことを踏まえると、流れの3次元性はCaseS-1が高いと考えられる。

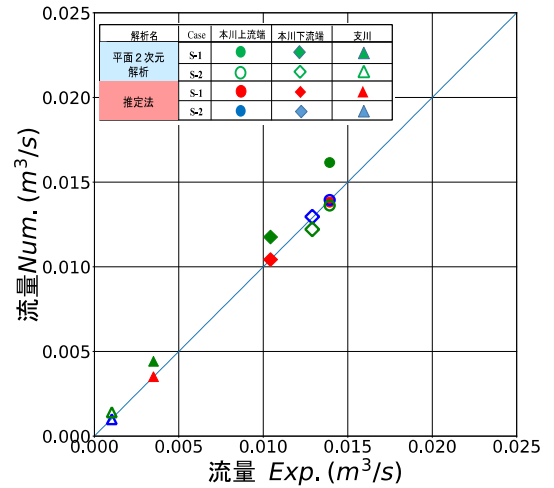


図-4 実測流量と解析および推定結果との比較

図-5に、CaseS-1と2について、水面形の実験値と平面2次元解析結果との比較を示す。これより、(1)いずれも分流部の水面形の再現精度が低いこと、(2)本川上・下流では、水面形の再現精度は高いこと、が確認できる。一方で、支川の水面形は、分派流量の再現精度に依存しており、CaseS-1と2のいずれも分流部下流では水位の再現精度が低い。これは、平面2次元解析結果では分流部での流線の曲がりによる2次流の影響を考慮していないためであり、その影響については準3次元モデル等を用いて、今後検討する必要がある。

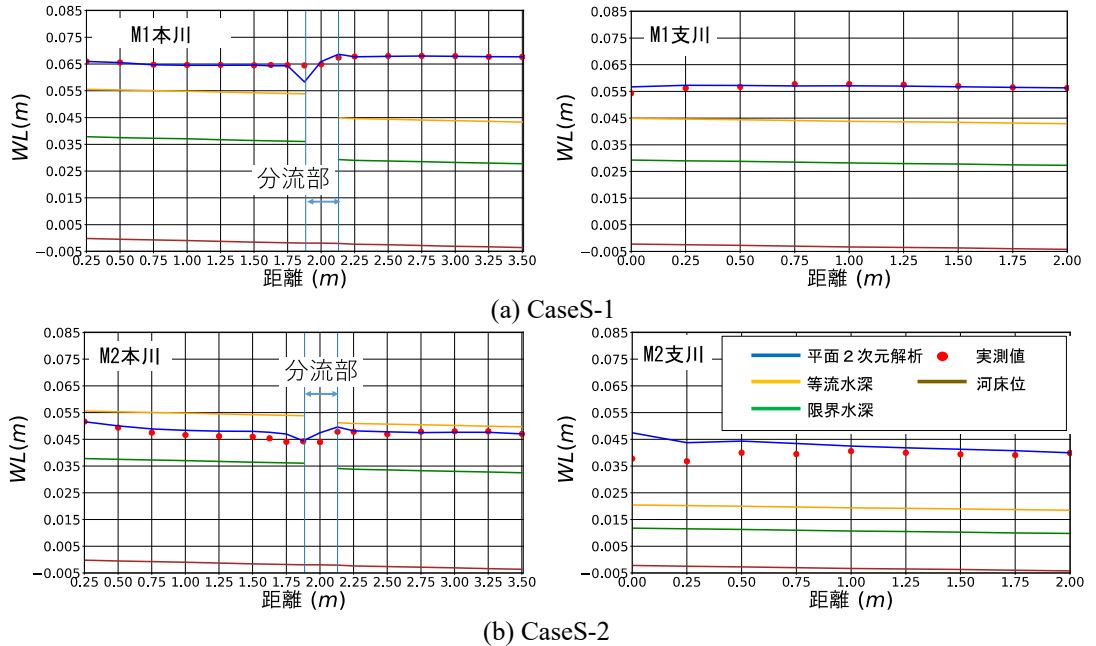


図-5 水面形の実験値と平面2次元解析結果との比較

5. おわりに

本研究から、(1)水面形を与条件とした推定法は、分流部上流・下流および分派流量を十分な精度で再現できること、一方(2)平面2次元解析は、水位・流量をある程度再現可能であるが、推定法に比べると、流量の再現精度は低下する。そのため、水位の再現性も低下する。これは、分流部周辺での2次流の影響については、今後、準3次元解析モデル等を含めた検証を実施したいと考えている。

謝辞：本研究を実施するに当たり、科学研究費基盤研究(C) (課題番号：21K04277, 研究代表者：重枝未玲)の助成を受けた。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献：1) 重枝ら：土木学会論文集 B1(水工学), Vol.74, No.4, pp.I_1453-I_1458, 2018. 2) 重枝ら：洪水痕跡によるピーク水位時の流量と粗度係数の推定, 河川技術論文集, 第23巻, pp.73-78, 2017.