観測水位を用いた河川分流部における流量の推定

九州工業大学工学部	学生会員	〇川上航平	九州工業大学大学院	正会員	重枝未玲
九州工業大学名誉教授	フェロー会	員 秋山壽一郎	九州工業大学大学院	学生会員	勝原亮介

1. はじめに

近年,我が国では過去に例を見ないような記録的豪雨災害が頻発している.平成30年7月の西日本豪雨で は、本川の水位が上がり、支川が合流できなくなるバックウォーター現象によって支川の堤防が決壊し、河 川が氾濫したため浸水被害が生じた.浸水被害対策を講じる上で、支川を含む河道の洪水の過程を的確に予 測することは重要であり、そのためには本川と支川の分合流部を適切に評価し、取り扱うことが不可欠であ る.本研究は、以上のような背景を踏まえ、観測水位を用いた数値解析に基づき支川への分派流量を推定し、 実験結果に基づきその再現精度を検証したものである.

2. 解析の概要

本研究では、水位の経時変化を上・下流端境界条件とした平面2次元 解析と1次元河道ネットワーク解析、水面形を与条件とした流量と粗度 係数の推定を実施し、分流前後の本川と支川の流量を求めた.

平面2次元解析には著者らのSA-FUF-2DFモデル¹⁾を用いた. 同モデ ルは、非構造格子、有限体積法、流束差分離法などの数値解法に基づ





く平面2次元自由表面流モデ ルであり,河道内構造物の簡 易的な取り扱いが組み込まれ ている.1次元河道ネット ワーク解析には,1次元河道 ネットワークモデル²⁾を用い た.同モデルは,図-1に示す ように,1次元洪水流モデル と接続セルで構成され,1次

$\frac{\partial}{\partial t} \{Q/2\tilde{c} - (1 + \tilde{u}/\tilde{c})A/2\} + (\tilde{u} - \tilde{c})\frac{\partial}{\partial x} \{Q/2\tilde{c} - (1 + \tilde{u}/\tilde{c})A/2\} = g\tilde{A}(S_0 - S_f - dh/dx + 1/\tilde{B} \cdot dA/dx)/2\tilde{c} $ $\frac{\partial}{\partial x} \{Q/2\tilde{c} + (1 - \tilde{u}/\tilde{c})A/2\} + (\tilde{u} + \tilde{c})\frac{\partial}{\partial x} \{Q/2\tilde{c} + (1 - \tilde{u}/\tilde{c})A/2\} = g\tilde{A}(S_0 - S_f - dh/dx + 1/\tilde{B} \cdot dA/dx)/2\tilde{c} $ (1)	.)
$\begin{aligned} & (u_{i}h)_{R}^{i+\Delta t} = (u_{i}h)_{R}^{i} + \tilde{u}_{i}\left(h_{R}^{i+\Delta t} - h_{R}^{i}\right) - \tilde{u}_{n}\frac{\Delta t}{\Delta x_{n}} \left[\left\{\left(u_{i}h\right)_{R}^{i} - \left(u_{i}h\right)_{L}^{i}\right\} - \tilde{u}_{i}\left\{h_{R}^{i} - h_{L}^{i}\right\}\right] \\ & \frac{(u_{n}h)_{R}^{i+\Delta t}}{2z} = \frac{(u_{n}h)_{R}^{i}}{2z} - \left(1 - \frac{\tilde{u}_{n}}{z}\right)\left(\frac{h_{R}^{i+\Delta t}}{2} - \frac{h_{R}^{i}}{2}\right) - \left(\tilde{u}_{n} + \tilde{c}\right)\frac{\Delta t}{\Delta x_{n}}\left\{\frac{(u_{n}h)_{R}^{i}}{2z} - \frac{(u_{n}h)_{L}^{i}}{2z} + \left(1 - \frac{\tilde{u}_{n}}{2}\right)\left(\frac{h_{R}^{i}}{2} - \frac{h_{L}^{i}}{2z}\right)\right\} + \frac{g\tilde{h}}{2z}\left(S_{on} - S_{fn}\right)\Delta t\end{aligned}$	2)
t: 時間, x: 流下方向, S: 発生項・消滅項ベクトル, A: 流積, Q: 流量,g: 重力加速度, S0: 河床勾配, Sf: 摩擦勾配, I1: 静水圧項, h:水深, u:流速, B:水面幅, c:波速, n=(nx, ny): 単位法線ベクトル, un: xn方向の流速(=unx+vny), ut: xnに垂直な方向の流速(=-uny+vnx)	

(

元洪水流モデルで各河道の洪水流解析を実施し,接続セルで各洪水流モデル に接続条件を与え,河道網の洪水流解析を行うモデルである.いずれの解析 においても,上・下流端境界条件に水位を与え,平面2次元解析では式(1)よ り,1次元ネットワーク解析では式(2)より,流入・流出流量を算定する.

水面形を与条件として流量と粗度係数を求める推定法には,水位より算定 した流積の経時変化,初期流量,河床位,一区間の粗度係数を与条件として 流量Qと粗度係数nを推定する方法を用いた³⁾.粗度を与える区間は最上流区 間とした.同推定法では分流点を取り扱うことはできないので,本川を分流

部の上流,下流,支川に同推定法を適用し,各区間での流量を求めた.

3. 実験の概要

実験装置は、図-2に示す長さ3.8m,幅0.6mの本川水路に長さ2.44m,幅0.2mの支川水路を設けたものである。本川水路床勾配は1/1,000に設定されており、本川および支川下流端に固定堰が設置されている。同

水路の粗度係数は,等流実験に基づき0.01m^{-1/3}sであることが確認されている.実験は,定常流(CaseS)で行い,表-1に示すように本川下流の水面形が堰上げ背水(CaseS-1),低下背水(CaseS-2)となるような条件で実



表-1 実験条件						
ase名	本川	勾配	流量(m³/s)			
S-1	M1	1/1.000	0.0156			
S-2	M2	1/1,000	0.0136			

II-026

施した.上流から一定流量0.0156m³/sを供給して定常状態とした後,計測を開始した.測定項目は水位H(m), 流量Q(m³/s)であり,水位についてはビデオカメラで撮影した水面の経時変化を画像解析することで,流量 については,上流端は流量計で,下流端はCaseSでは本川および支川下流端で回収した水の体積と時間を計 測することで算定した.測定点は,図-2に示すように,本川は上流端から0.1mの場所を始点に0.25m間隔で 15点,支川は上流端から0.14mの場所を始点に0.25m間隔で9点とした.

4. 結果と考察

図-3は、CaseSの水面形につ いて、本川・支川の実験結果と 平面2次元解析法及び1次元河道 ネットワークモデルによる数値 結果との比較を行ったものであ る. 図中には、分派流量から求 めた等流水深と限界水深も併せ て示している. これらより、(1) いずれの解析も、本川分流点付 近の水面形に若干の誤差は生じ ているものの、水面形を十分な



図-3 水面形状の実験結果と解析結果との比較(左:本川,右:支川)

精度で再現していること,(2)その予測精度は同程度であること, などが確認できる.図-4は,CaseSの流量について,本川・支川の 実験結果と平面2次元解析法及び1次元河道ネットワークモデルに よる数値結果および水面形を与条件とした流量の推定結果との比 較を行ったものである.これより,(1)いずれの解析法も,本川, 支川の流量を1.6%程度の誤差で再現できること,(2)それぞれの解 析・推定法を比較すると,平面2次元解析法,水面形を与条件とし た流量の推定,1次元河道ネットワークモデル解析の順で再現精度 が高いこと,などが確認できる.流量の誤差が最も大きい1次元河 道ネットワークモデル解析の水面形を,平面2次元解析結果や実測



値と比較すると、上流端周辺では平面2次元解析結果の方が再現性 図-4 流量の実験結果と解析結果との比較 が高く、その相対差は0.31%程度であった.このように、水面形を境界条件とした解析では、水位の再現性 が、流量の再現性にシビアに影響を及ぼす.このことは、観測水位を基準として、粗度係数などの最適化を 行えば、水位および流量をより高い精度で再現できることを示唆しており、粗度係数の推定に有用なツール になると考えられる.これについては、最適化手法を含め、今後さらなる検討を行う予定である.

5. おわりに

本研究から,数値解析に用いたモデルはいずれも(1)境界条件に観測水位を用いた場合に水面形を十分に 再現ができること,(2)いずれの解析・推定法も流量を十分な精度で再現でき,その予測精度は,平面2次元 解析法,水面形を与条件とした流量の推定法,1次元河道ネットワーク解析の順で高いことが確認された. 謝辞:本研究は,科学研究費基盤研究(C)(課題番号:16K06515,研究代表者:重枝未玲)の助成を受けたもの である.ここに記して感謝の意を表す.

参考文献)1)重枝ら:水位ハイドログラフを境界条件とした平面2次元洪水流解析,土木学会論文集B1(水工学), Vol.74, No.4, I_1453-I_1458, 2018.,2)重枝ら:平成29年7月九州北部豪雨時の筑後川右岸流域を対象にした分布型流 出・1次元河道網洪水流解析,河川技術論文集,第24巻,pp.445-450,2018.,3)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.