

洪水流の非定常準二次元解析法と適用性の検討

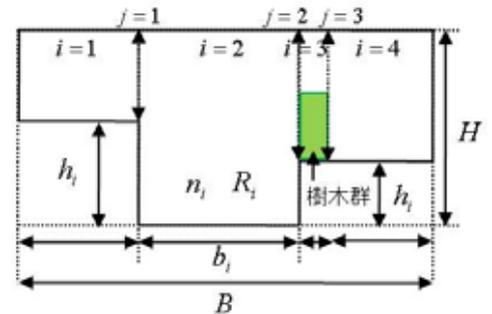
中央大学大学院 学生会員 出口 桂輔
 中央大学研究開発機構 フェロー会員 福岡 捷二
 (財)河川情報センター 正会員 佐藤 宏明

1. 序論

わが国の中下流部は複断面河道が一般的である。近年、河道内の樹林化が進行し、洪水流の流下を阻害する問題が生じ、流下能力を向上させるための河道整備や維持管理が検討されている。このための精度の高い方法に、河道の複断面形状や樹木群の繁茂状況といった河道特性を考慮できる非定常準二次元解析法がある¹⁾。一方、実用的かつ比較的精度が高い洪水解析手法として、準二次元解析法が広く用いられてきた¹⁾。準二次元解析法は複断面河道の断面変化や河道内樹木群を考慮できるものの、洪水流の非定常性を取り込んでいないために、洪水流に固有の貯留現象を考慮できず、粗度係数、境界混合係数が洪水ごとに異なるという課題を残してきた。本研究では、準二次元解析法¹⁾²⁾を拡張し、非定常準二次元解析法を構築する。非定常準二次元解析法を利根川新川通区間に用い、樹木群のある河道の洪水流に対する適用性を検討している。

2. 非定常準二次元解析法

解析における水位、流量は、以下の連続式(1)及び運動方程式(2)で求められる。運動方程式中の抵抗項には、式(3)~(6)の準二次元解析²⁾により求まる横断流速分布を用いて算出した壁面及び樹木群が洪水流に与える抵抗を求め、その総和を河道全体の抵抗として評価している。その際、式(1)と式(2)から求められた流量を保存量とし、式(3)~(6)を用いてエネルギー勾配 I_e を変化させ、繰り返し計算を行うことにより、式(6)の連続式を満たす横断流速分布を求めている。ここに、 A :断面積、 Q :流量、 I_e :エネルギー勾配、 u :各分割断面における断面平均流速、 S_b :壁面せん断力が働く潤辺、 f :境界混合係数、 τ' :分割面に働くせん断力、 τ :樹木群境界に働くせん断力、 S' : τ' が働く潤辺、 S : τ が働く潤辺、 ρ :水の密度、 g :重力加速度、 δu :隣り合う断面間の流速差、 V :断面平均流速、添字 i は各分割断面、 j は各分割断面の境界面を表す(図-1)。



記号の説明(B :全幅、 b :低水路幅、 H :水深、 R :径深、 n :粗度係数、 h :高水敷高さ)

図-1 任意の複断面河道の横断面形状

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \quad (1) \quad \frac{n_i^2 u_i^2}{R_i^{1/3}} S_{bi} + \frac{\sum(\tau'_j S'_{wj})}{\rho g} + \frac{\sum(\tau_j S_{wj})}{\rho g} = A_i I_e \quad (3)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + 2V \frac{\partial Q}{\partial x} - V^2 \frac{\partial A}{\partial x} + gA \frac{\partial H}{\partial x} = -g \sum \frac{n_i^2 u_i^2}{R_i^{1/3}} S_{bi} - \sum f u_i^2 \quad (2)$$

$$\tau' = \rho f (\delta u)^2 \quad (4) \quad \tau = \rho f u_i^2 \quad (5) \quad Q = \sum(A_i u_i) \quad (6)$$

全体の解析手順をフローチャートにして図-2に示す。断面分割については、図-1に示すように、樹木群が存在する場合には樹木群を包括するように樹木群領域を定め、樹木群による死水域を河積から除いた後、横断面を河道形状や樹木群の繁茂状況によって断面分割する。境界条件については、上下流境界条件設定位置において解析水位と観測水位が一致するように上下流端水位を設定し解析を行う。想定される粗度係数や境界混合係数の分布を与えて洪水流解析を行い、得られた水面形の時間変化の解析結果が観測結果と必要な精度で一致するように粗度係数、境界混合係数分布を調整し、最終的な水量を算出する。

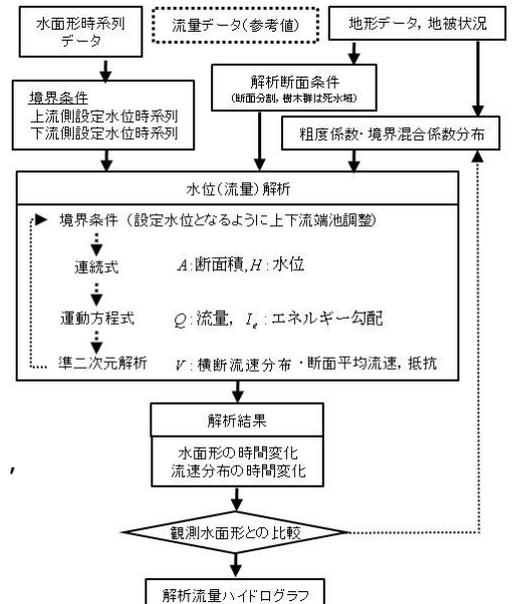


図-2 解析フローチャート

3. 利根川新川通における洪水流解析

解析対象は、図-3に示す利根川133km~139kmの新川通区間である。この区間は開削された河道のため、約6kmにわたってほぼ直線となっている。対象洪水は平成13年9月洪水である。洪水は9月10日から数日間にかけて

いるが、9月10日20時～12日20時の48時間に集中的な観測が行われた。水位は500m毎に図-3中の丸でプロットした地点において2時間毎に観測されており、流量は観測区間中央付近の埼玉大橋で浮子法によってほぼ2時間毎に観測されている。流量については埼玉大橋に加えて解析対象区間上流の川俣(150.2km)、下流の栗橋(130.4km)、支川渡良瀬川の古河(3.5km)においても観測が行われている。解析は9月10日8時(-12h)～9月12日20時(48h)までの計60時間を対象とした。ここでは観測開始時刻である9月10日20時を解析における基準時刻としている。解析条件は、上流側境界条件に137.5km地点、下流側境界条件に134.5km地点の観測水位時系列データを用いた。解析断面は、縦断間隔500mとし、横断分割は樹木群領域を航空写真や地被状況図から判断し、図-4のように洪水後の測量断面を用いて分割した。低水路及び高水敷の粗度係数及び境界混合係数は、それぞれ既往の研究²⁾³⁾を参考に解析で求められる水面形の時間変化が観測値と全体的に一致するように調整し、最終的に全洪水時間にわたって一定値を決定した(表-1)。図-5に観測と解析の水面形の時間変化を示す。対象とした全区間にわたって解析結果は観測結果を精度よく再現できている。図-6に観測流量と解析流量ハイドログラフを示す。解析対象区間内の埼玉大橋の観測流量と解析流量は傾向が14h-28h付近において大きく異なっている。しかし、対象区間より約6km下流に位置する栗橋地点での観測流量と渡良瀬川の古河地点の観測流量の差から求めた利根川本川の対象区間の流量ハイドログラフは本解析で得られた流量ハイドログラフと概ね合致している。このことから、埼玉大橋での流量観測結果に問題があったと判断される。流量の時間変化を考慮した非定常準二次元解析では、粗度係数には不等流解析で用いられる数値を用い、境界混合係数は準二次元不等流解析法で標準的に与えられている表-1の値を用いる。また、境界混合係数は樹木群繁茂範囲の平均的な値であることから、水面形の時間変化の観測値に合うように平均的な値から大きくズレない程度の値を用いる。

4. 結論

観測された水面形の時間変化を用いた非定常準二次元解析法を利根川新川通区間に適用し、実用上十分な精度で流量ハイドログラフを評価できることを示した。従来の準二次元解析法は痕跡水位に一致するよう粗度係数や境界混合係数を定めるため、洪水ごとにそれらの値が異なり、その適用性に問題を残していたが、非定常性に伴う洪水流の貯留を考えている非定常準二次元解析法では、粗度係数は河道の断面形等に応じた数値を、境界混合係数は既往の代表的な値を用いれば安定的に流量等の水理量を求めることができることを示した。

参考文献 1)福岡捷二:洪水の水理と河道の設計法,森北出版,2005. 2)福岡捷二,藤田光一:複断面河道の抵抗予測と河道計画への応用,土木学会論文集, No. 411/ -12, pp.63-72, 1989. 3)福岡捷二,渡邊明英,上阪恒雄,津森貴行:低水路河岸に樹木群のある河道の洪水流の構造-利根川新川通昭和56年8月洪水-,土木学会論文集, No. 509/ -30, pp79-88, 1995.

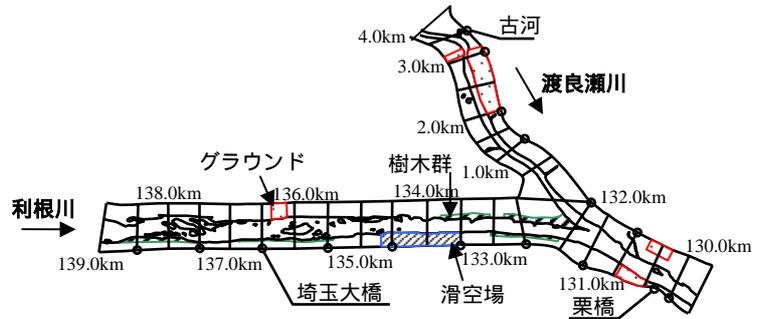


図-3 検討対象区間(利根川新川通 133km ~ 139km)

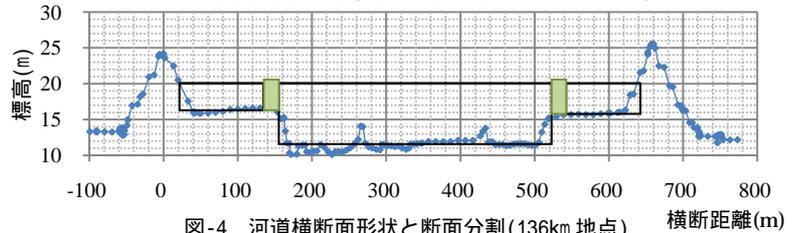


図-4 河道横断面形状と断面分割(136km地点)

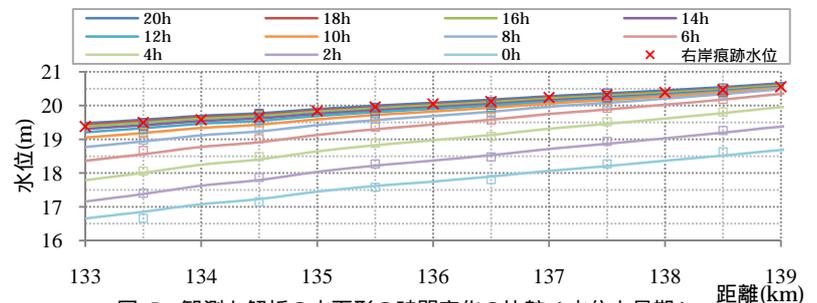


図-5 観測と解析の水面形の時間変化の比較(水位上昇期)

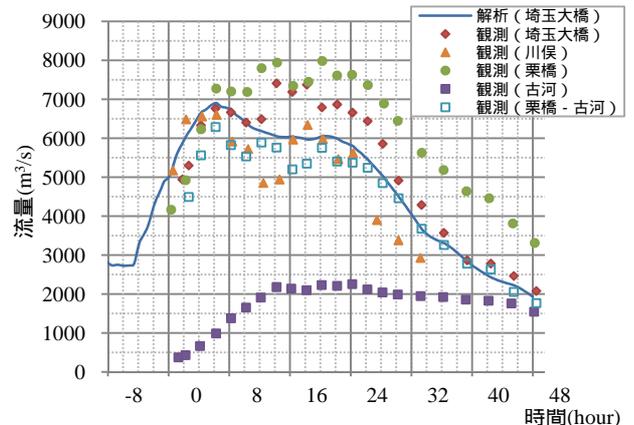


図-6 新川通における観測流量と解析流量の比較

表-1 新川通粗度係数及び境界混合係数(全区間一様に設定)

場所	低水路	左岸高水敷	右岸高水敷
粗度係数	0.020	0.035	0.030
混合現象の区別			境界混合係数
低水路流れと高水敷流れとの混合			0.17
河岸に接している樹木群と主流部との混合			0.03
二つの流れにはさまれた樹木群と主流部との混合			0.10