

iRIC における信濃川の下流端条件の実例による検討

長岡技術科学大学大学院環境社会基盤工学専攻 非会員 ○青木駿弥

長岡技術科学大学 正会員 楊宏選

長岡技術科学大学 正会員 熊倉俊郎

1. 背景と目的

近年、気候変動に伴い河川の洪水災害が甚大化している。それに対し、高精度な水位予測モデルの構築が必要とされている。水位予測の中で下流端の境界条件をどのように設定するかで計算精度を左右する。

そこで本研究では、2019 年台風 19 号を実例とし、新潟県信濃川の小千谷から河口まで区間の地形データを用いて、予測計算を想定した異なる下流端条件が計算水位に与える影響を一次元解析 (iRIC/CERI1D) により比較・検討する。加えて、信濃川河口付近の急勾配区間における平均水深と限界水深の比較から射流の発生を定量的に評価し、急勾配区間での水位低下のメカニズムを明らかにする。そして、二次元解析 (Nays2DH) の必要性を提示することを目的とする。

2. 対象河川および解析条件

本研究では、一次元不定流計算ソフト (CERI1D) を用い、信濃川中流の小千谷から河口までの区間を対象とし解析を行った。解析対象区間を図 1 に示す。測量データに基づき小千谷から大河津分水路付近までを 250m 間隔、大河津分水路周辺を 100m 間隔、そこから河口までを 200m 間隔で横断方向、縦断方向をそれぞれ 40 分割とし格子を設定した。

計算条件として、粗度係数は、長岡観測所の台風 19 号の実績最大水位を再現する逆粗度係数により算定し、 $n=0.044$ とした。また粗度係数は、計算区間内で固定値とした。

境界条件として、上流端流量は小千谷観測所の 2019/10/12 02:00~2019/10/14 16:00 の 64 時間の時系列流量データを与えた。下流端条件については、予測計算時の境界設定の違いが水位に与える影響を評価するため計 5 パターンの設定を用いて比較・検討を行った。具体的には、渡部観測所を端点とする条件として、①上流端と同時間の時系列水位¹⁾を与えるケース、等流計算を仮定した②河床勾配 0.001 および③河床勾配 0.005 を与えるケース、④自由流出とするケースの 4 条件を設定した。さらに、⑤計算区間を河口



図 1 解析対象区間 (信濃川)

まで延長し全計算期間において固定水位 (0m) を与えるケースを追加した。

3. 境界条件の違いによる縦断水位の比較

前章で設定した 5 パターンの下流端条件を用いて算出した水位縦断図を図 2 に、下流端条件による水位の違いが明確となる下流区間を図 3 に示す。

図 2 から、下流端の境界条件を変更することによる水位の変動は距離標 0~43,000 区間では確認できない。一方で図 3 から、渡部観測所を端点とする 4 条件では、下流端で与えた条件に依存して距離標 43,000~44,000 区間の水位がばらつく結果となった。河口まで区間を延長し、河口水位 0m 固定としたケース⑤では渡部観測所上流で時系列実測水位を与えたケースを再現できているが、渡部観測所直下流 (44,000~44,500) の河床急勾配において急激な水位低下を示していることが確認できる。この結果は、実測データを与えずとも、下流の急勾配区間が支配断面となり上流の水位を一意に決定づけていることを示唆している。次章では、この急勾配区間において水理的な支配断面 (射流) が形成されているかを、限界水深の観点から定量的に検証する。

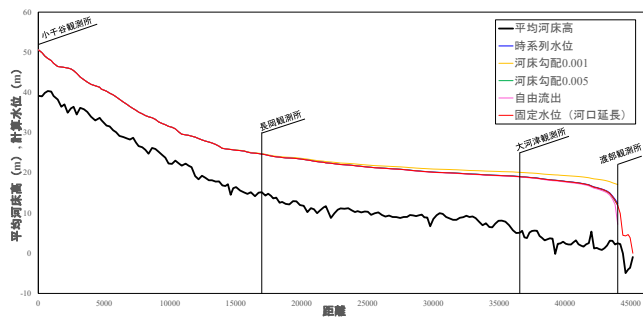


図 2 5 パターンの水位縦断面図

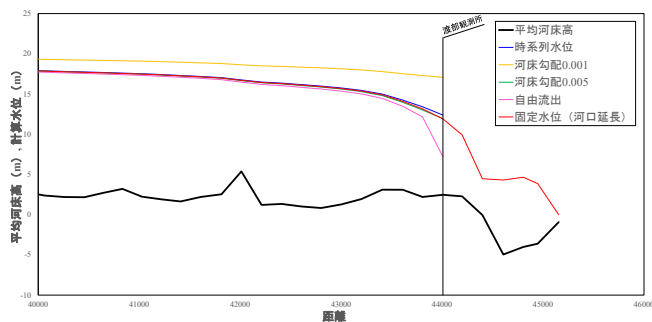


図 3 下流区間の水位縦断面図

4. 限界水深を用いた支配断面の定量評価

前章において、計算区間を河口まで延長したモデル（下流端水位 0m 固定）が、実績水位の縦断形を最も再現できることが確認できた。本章では、再現性をもたらした要因であると考えられる「支配断面」の存在を確認するため、限界水深を用いた水理状態の評価を行った。

川幅が水深に対して十分に広い河川においては、径深 R を平均水深 h と近似することができる。この径深 R を、比エネルギーが最小となる理論上の限界水深 H_c と比較した。

$$H_c = \sqrt[3]{q^2/g} \dots\dots\dots (1)$$

ここに H_c : 限界水深 q : 単位幅流量
 g : 重力加速度

常流状態 ($R > H_c$) では下流の水位変動が上流へ伝播するが、限界水深を下回る射流状態 ($R < H_c$) が発生した場合、微小波の伝播速度を流速が上回るため、下流からの背水影響が物理的に上流へ伝播しなくなる。

最大水位発生時における径深 R と限界水深 H_c の縦断面図の比較を図 4 に示す。図 4 から、計算対象区間の大部分においては $R > H_c$ となっており、一般的な常流状態がほとんどである。しかし、渡部観測所から河口に位置する距離標 44,000~45,000 付近の局所的な河床急勾配においては両者の関係が逆転し、 $R < H_c$ となっている箇所が確認できる。

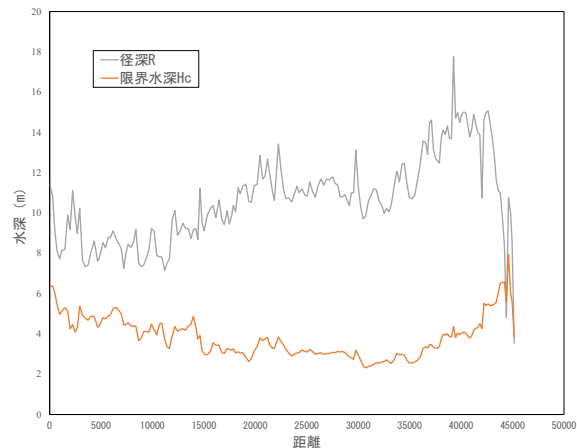


図 4 径深と限界水深の比較

これは、当該急勾配区間において流れが常流から射流へと遷移し、下流からの水位変動の影響を無視する支配断面が形成されていることを証明するものである。以上の検証から、河口延長モデルが高い水位再現性を示した理由は、当該急勾配における支配断面の形成により下流端条件の違いが及ぼす影響を無視でき、結果として上流水位を最も再現できたという水理学的な根拠が示された。

5. まとめと今後の課題

本研究では、一次元解析モデル（CERI1D）を用いて、信濃川における下流端の境界条件が計算水位に与える影響を検証した。計算区間を河口まで延長し、下流端水位を 0m に固定したモデルにおいて、急勾配での大きな水位低下が確認された。限界水深を用いた評価により、同区間では径深が限界水深を下回る射流が発生していることが示された。これにより、この区間が支配断面として機能して下流からの影響を無視できるという、急勾配における水位低下のメカニズムが明らかとなった。

一方で、常流計算を基本とする一次元解析では、常流から射流への遷移など、複雑な流れ場を厳密に評価することができない。今後の課題として、急勾配区間における断面を細かく分割した解析の導入や二次元解析（Nays2DH）を適用し、支配断面における局所的な水理現象をより厳密に検証していく予定である。

参考文献

- 1)国土交通省、水文水質データベース
- 2)伊藤丹, 阿部孝章, 鳥谷部寿人, 吉川泰弘, 1 次元河川流計算ソフトウェア CERI1D の公開について, 寒地土木研究所月報 No.720 2013 年 5 月