

信濃川中流域における洪水流の貯留機能に関する研究

水工学研究室
指導教官

諸橋 正達
細山田 得三

1. はじめに

わが国の治水設備の整備による洪水対策は着実に進歩してきた。近年では地域の人々の意向を反映した川づくりが重視され、1997年の河川法改正により治水、利水の他に、河川環境の整備と保全が目的に加わった。しかし、治水・利水対策として重要な役割を持つダムが、環境保護や公共事業費削減などの理由で建設困難な状況になりつつある。近年では、観測史上最大規模やそれに近い豪雨が頻発している。このような状況のなか、新たな治水対策として議論されるのが「河川の貯留効果」である。貯留効果には河道内で洪水流を「貯留」することにより、下流河道へ流れるピーク流量のカット、ピーク流量到達時刻の遅延をもたらす効果がある。国土交通省信濃川河川事務所では洪水時に信濃川中流域で現地観測を行い、その時系列のピークの低減や水面形の変化から、信濃川に貯留効果があると報告している。しかし、貯留効果は洪水自身の非定常性や、河道形状の変化などから、一様に現れるものではないため、十分その現象を捉えきれておらず、治水計画に取り入れるまでにはいたっていない。そこで本研究では、信濃川中流域における貯留効果について検討、評価することを目的とし、一般曲線座標による平面2次元非定常流計算モデルを用いて、対象区間の洪水流を解析した。

2. 数値計算法

河川の流れを平面2次元として表現するために連続式、運動方程式として以下の式(1)、式(2)、(3)を使用する。この方程式を河川の形状に応じた一般曲線座標に変換し、有限体積法により離散化している。

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial uM}{\partial x} + \frac{\partial vM}{\partial y} \quad (2)$$

$$= -gh \frac{\partial z_s}{\partial x} - \frac{\tau_{bx}}{\rho} + \frac{\partial}{\partial x} (-\overline{u'^2}h) + \frac{\partial}{\partial y} (-\overline{u'v'}h)$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial uN}{\partial x} + \frac{\partial vN}{\partial y} \quad (3)$$

$$= -gh \frac{\partial z_s}{\partial y} - \frac{\tau_{by}}{\rho} + \frac{\partial}{\partial x} (-\overline{u'v'}h) + \frac{\partial}{\partial y} (-\overline{v'^2}h)$$

ここに、 t は時間、 x, y はデカルト座標系による空間座標、 u, v は x, y 方向の水深平均流速、 U, V は流速ベクトルの反変成分、 M, N は x, y 方向の流量、 g は重力加速度、 h は水深、 ρ は水の密度、 z_s は基準面からの水位、 τ_{bx}, τ_{by} は x, y 座標系の底面せん断応力成分、 $-\overline{u'^2}, -\overline{u'v'}, -\overline{v'^2}$ は x, y 座標系での水深平均レイノルズ応力である。

移流項の離散化には一次精度の風上差分を用いる。また時間積分には Adams-Bashforth 法を用いる。変数は図1に示すようにスタガード格子で配置する。

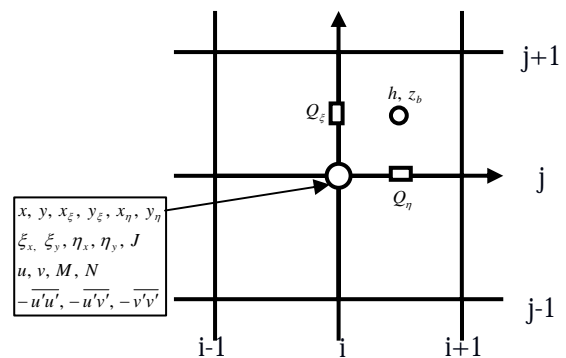


図1 スタガード格子と変数の定義位置

3. 計算条件

計算対象は信濃川河川事務所の資料から洪水流量の低減が確認された、小千谷～与板間の約40kmの区間である。河川管理上、信濃川河川事務所が設定している距離標 N0.370～N0.5の区間であり、上流端は小千谷からおよそ3km上流部

で、下流端は与板基準点からおよそ 6km の下流部の大河津分水に至る手前の地点である。地形データは H18 年に測量された距離標座標，横断データより作成した。図 2 に計算対象領域を示す。黒丸は、今回流量低減を確認する基準地点である。格子分割はラプラス方程式を用い，実地形に沿った滑らかな境界適合格子を作成した。分割数は流下方向に 225 格子，横断方向に 25 格子とした。

境界条件として水位上昇を顕著に評価するために計算領域上端に現実とは異なる三角形をした流量ハイドログラフを与えた。水位上昇速度が急な洪水波形 (Hydro-A) と緩やかな洪水波形 (Hydro-B) を用いた。2 つの波形にピーク流量が，約 2000 m³/s，約 5000 m³/s，約 7500 m³/s，約 9000 m³/s となる 4 つの異なるピーク流量のハイドログラフと水位ハイドログラフを与え，計 8 ケースで計算した。図 3 に流量ハイドログラフを示す。

底面せん断応力を算定するための粗度係数は，計算格子を低水路と高水敷に分類して別々の値を与える。その際，いくつかの値を組み合わせで解析を行い，実測の水位と解析結果の水位を検証して決める。結果，最も実測値と近い水位波形を描いた，低水路 0.025，高水敷 0.045 という粗度係数を用いることにした。0.045 は自然河川でも蛇行して水深の小さい淵，瀬ありの河川に相当する。図 4 に観測水位との比較図を示す。

4. 計算結果と考察

図 5，図 6 に各地点での流量の時系列変化を示す。ピーク流量到達時刻の前後の流量ハイドログラフを拡大して示している。Hydro-A では下流に行くに従い，ピーク流量が低減しており，洪水波形の変形が確認できる。Hydro-B ではピーク流量の低減は確認できないが，河道内での貯留による洪水波形の変形が確認できる。つまり，貯留効果は，水位上昇速度が急な洪水において大きくなる傾向にある。これは連続条件式である式(4)からも推察できる。この式は同じ川幅において，第 1 項の水位上昇速度が大きいほど第 2 項の値は小さくなることを示している。すなわち，x 方向への Q の低減を評価することになり，貯留効果を示す

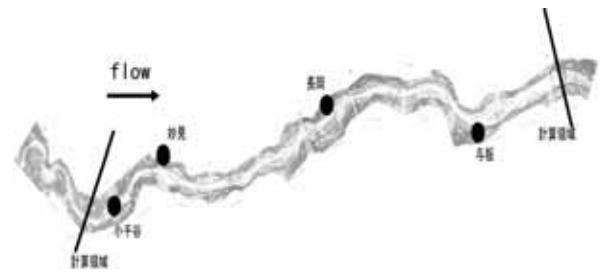


図 2 計算対象領域

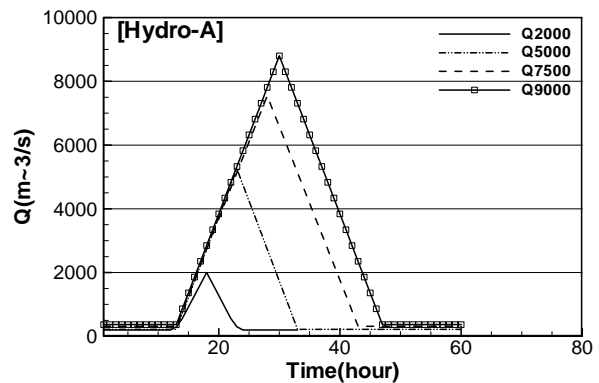


図 3(a) 流量ハイドログラフ (Hydro-A)

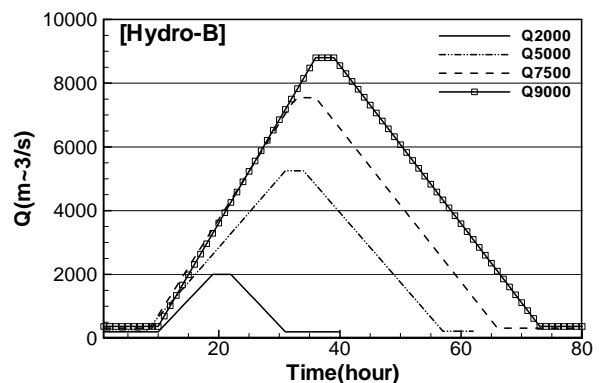


図 3(b) 流量ハイドログラフ (Hydro-B)

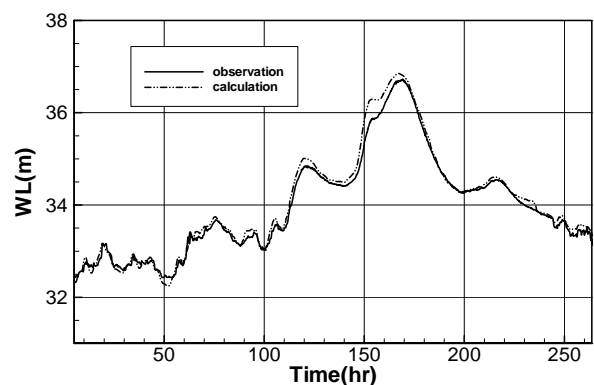


図 4 水位比較結果

指標となる。

$$B \frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \quad (4)$$

図7は単位時間当たりの水位上昇速度の縦断変化である。黒線はピーク流量到達前の18時間後から20時間後までの10分毎の値を示している。丸で示している地点で式(4)の第1項の値が大きくなっている。すなわちこの地点で、水位が上昇することにより下流河道への流量が減少し、流量低減をもたらしている大きな要因となっている。つまり、河川内に小さなダムが存在するような形で、河道内で貯留が発生していると考えられる。

図8は小千谷地点と与板地点の流量差(Qin-Qout)を示した貯留量の時系列変化を示したものである。すなわち、このデータは計算領域に存在する水の総量の増減を意味している。洪水上昇期に貯留が発生し、ピーク流量到達後に河道内で貯留していた流量を流出させている結果となった。また、丸で示している点では減少中の貯留量が増加するといった変形が生じている。この変形は高水敷への乗り上げが発生する時間帯に発生している。また、高水敷へ洪水流が乗り上げないQ2000ではそのような変形は生じていないことから、この変形は高水敷への乗り上げによるものであると推察できる。

5. まとめ

本研究で得られた知見を以下のとおりにもとめる。

- ・平面2次元非定常流数値解析によって、信濃川中流域における貯留効果を確認することができた。
- ・水位上昇速度の違いによる貯留の変化、それに伴う下流へのピークカット量の変化の特徴を把握できた。
- ・信濃川中流域において、貯留効果が大きく発揮されている箇所を示した。
- ・高水敷へ乗り上げによる貯留効果を、数値計算において確認できた。

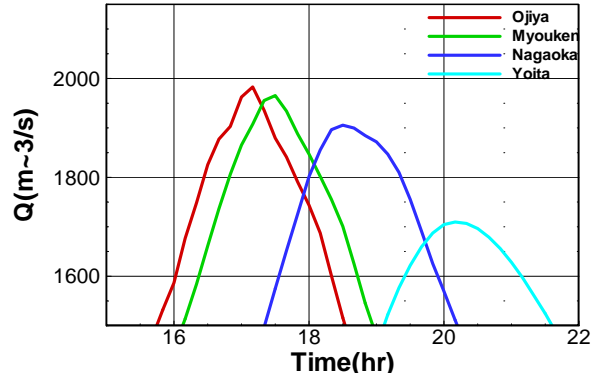


図5(a) 流量の時系列変化(Hydro-A,Q2000)

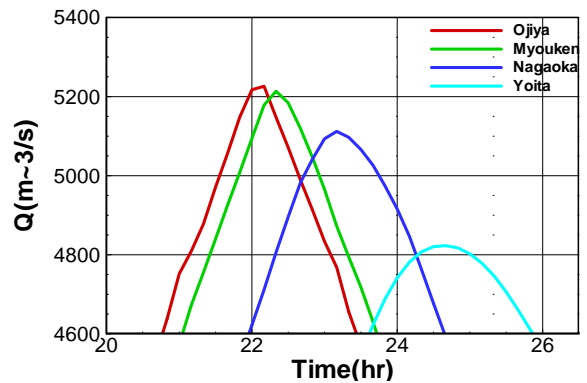


図5(b) 流量の時系列変化(Hydro-A,Q5000)

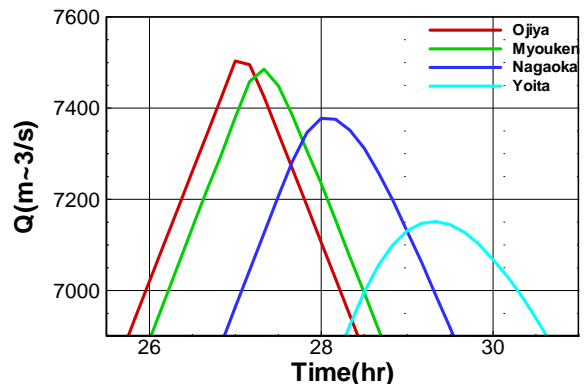


図5(c) 流量の時系列変化(Hydro-A,Q7500)

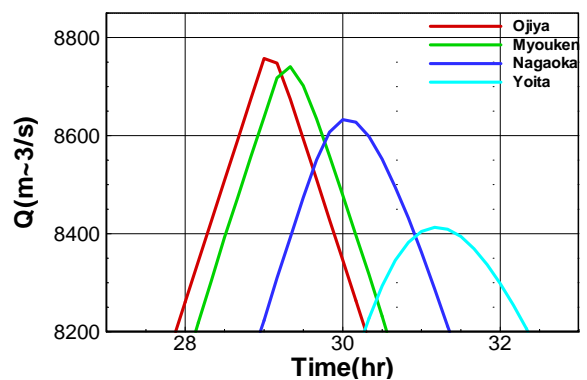


図5(d) 流量の時系列変化(Hydro-A,Q9000)

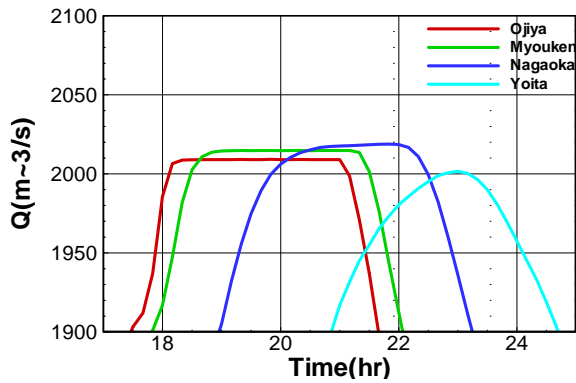


図 6(a) 流量の時系列変化 (Hydro-B, Q2000)

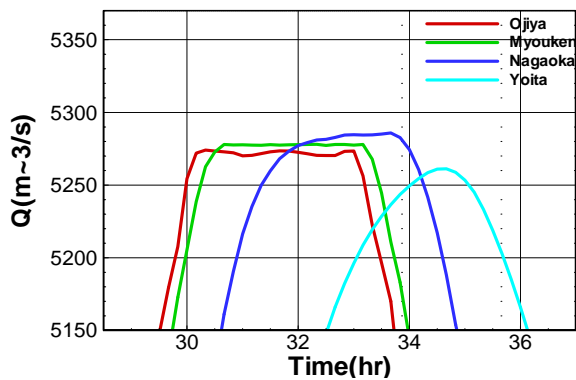


図 6(b) 流量の時系列変化 (Hydro-B, Q5000)

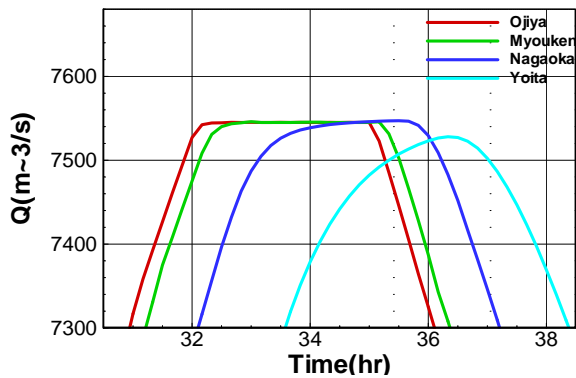


図 6(c) 流量の時系列変化 (Hydro-B, Q7500)

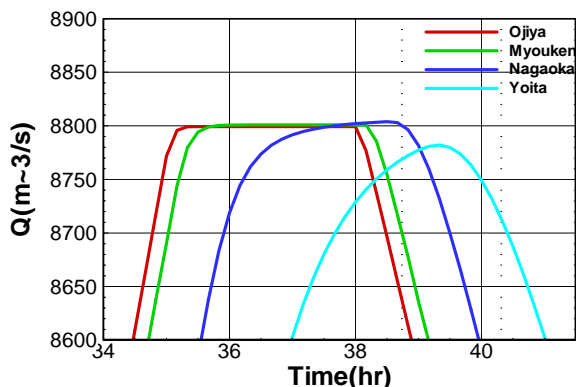


図 6(d) 流量の時系列変化 (Hydro-B, Q9000)

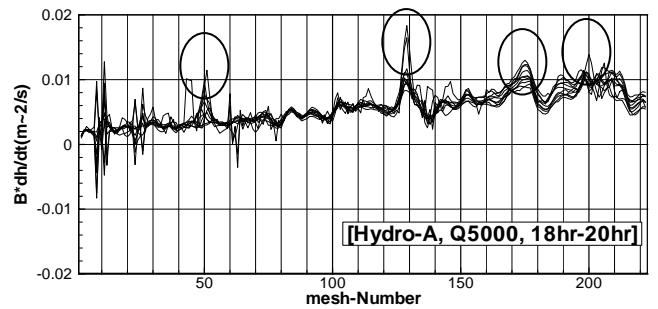


図 7 単位時間当たりの水位上昇速度

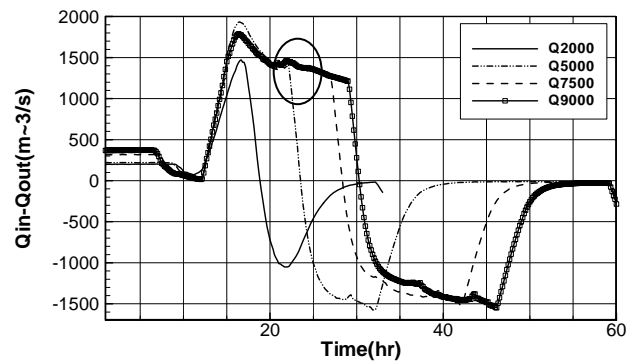


図 8 貯流量の時系列変化 (Hydro-A)

参考文献

- [1] 細山田 得三, 久保田雅哉: 平成 16 年中越水害に対する阿賀野川河口砂洲のフラッシュの再現に関する研究, 2008
- [2] 信濃川河川事務所: 水面形時間変化からの洪水伝播と河道貯留の検証について 河川技術懇談会 (信濃川) 説明資料
- [3] 福岡 捷二: 洪水の水理と河道の設計法, 森北出版
- [4] Nezu, I. and Nakagawa, H.: Turbulence in open channel flows, IAHR Monograph, Balkema, Rotterdam, pp53-56, 1993
- [5] 長田久信: 一般座標系を用いた平面 2 次元非定常流れの数値解析, 水工学における計算機利用の講習会講義資料, 土木学会水理委員会基礎水理部会, pp61-76, 1999
- [6] 河村哲也: 応用偏微分方程式, 共立出版