

横堤が洪水時の河道内貯留に与える影響に関する試験解析

A pilot analysis of the effect of cross levee on flood storage

北海道大学大学院工学研究院 ○正 員 石原道秀 (Michihide Ishihara)
北海道大学大学院工学研究院 正 員 山田朋人 (Tomohito J. Yamada)

1. はじめに

気候変動の影響により水害の更なる頻発・激甚化が懸念される中、流域治水関連法が令和3年11月に施行された。流域治水における治水計画では、流域を集水域・河川区域・氾濫域の3つから捉え、1)氾濫をできるだけ防ぐ・減らす対策、2)被害対象を減少させるための対策、3)被害の軽減、早期復旧・復興のための対策、をハード・ソフト一体で多層的に進められている¹⁾。上記のうち、本研究は主に遊水池整備と関連するものである。

遊水池は、洪水を一時的に貯めることで下流に洪水が一気に流れ出すことを防ぐ役割を持つ。遊水池が効果を発揮した一例として、釧路川および釧路湿原における2016年8月の大雨に伴う出水が挙げられる。釧路川および釧路湿原では、湿原が持つ遊水機能を高めるために、湿原下流端において堤防の法線方向かつ河道内方向に張り出した横堤が設置されている。釧路川水系河川整備基本方針²⁾において釧路湿原への総流入量 2580 m³/s であるのに対し、湿原下流の広里地点の流量は計画上 1200 m³/s となっている。これは湿原と横堤の遊水効果を見込んだ結果である。実際、2016年北海道豪雨では、図-1 a), b) に示すように湿原に約 2.1 千万 m³ の水量 (東京ドーム約 17 杯分) を貯留し、横堤下流側の水位が低減したことが試算されており³⁾、その有効性が確認できる。

気候変動による降雨量の増大やそれに伴う河川流量の増大等の予測結果⁴⁾を踏まえると、現状の横堤で治水問題ないのか、横堤の張出長の工夫が必要ではないか、など、多くのことが懸念される。これらを背景に著者らの先行研究⁵⁾では、特定の外力に対する横堤の張出長の違いから遊水機能の変化の把握を目的に、釧路川および釧路湿原を模した簡易的な数値解析による感度分析を行った。その結果、横堤の張出長に比例して横堤上流側の貯留量が増大することを示した。しかし、同研究はあくまで簡易的な条件で実施したものであり、実河川においても同様の結果となるのかは不明である。

そこで本研究では、実際の釧路川および釧路湿原を対象に平面二次元の数値水理解析を行い、横堤が流域の貯留効果に与える影響について試験的に解析を実施した。

2. 対象イベントにおける観測流量

本研究で対象とするイベントは2016年北海道豪雨である。本章では2016年北海道豪雨時に各観測所で観測された流量について考察する。図-1のa)に平水時の釧路川および釧路湿原の写真、b)に2016年北海道豪雨時の写真、c)に観測所の位置・計算領域・境界条件、図-2に水文水質データベースよりダウンロードした各観測所の流量ハイドログラフを示す。図-1 c)の計算領域・境

界条件については次章にて後述する。ここでは、図-2を中心に説明する。

図-2より岩保木と下久著呂地点の流量は途中で欠測しているものの、その他の観測所では共通して3回のピークを迎えたことが分かる。例えば、釧路川本川上流に位置する標茶地点の流量ハイドロを見ると、8/21に500 m³/s 近い流量を観測したのち、10日ごとにピークを迎えている。一方で、本川下流に位置する広里地点の流量ハイドロを見てみると、どのピークも標茶地点と比べて3日から4日ほど遅れて迎えていることが見て取れる。また、広里地点の最初のピーク流量は450 m³/s 程度となっている。同地点では、釧路川本川に加え、図-1 c)に示すように幌呂川・雪裡川・久著呂川・沼幌川・オソベツ川など多くの支川が流入した流量を観測する。図-2の標茶地点以外の流量を見てみると、標茶地点の最初のピーク時の各観測所の合計流量は広里地点の最初のピーク流量よりも多いことが分かる。しかし、広里の流量が上記に比べて少ないことから、各支川が時間的な遅れを伴って流入したことが窺える。

上記のような本川と支川の関係は他の流域でも同様であり、下流側の流量が最も大きくなる降雨パターンや流量パターンがどういった場合なのかとても興味深い。

3. 平面二次元数値水理解析

3.1. 支配方程式

本節では、水理解析に使用した支配方程式の概要について説明する。本研究で使用した支配方程式は、平面二次元の浅水流方程式である。以下に直角座標系における浅水流方程式を示す。

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial(hu)}{\partial x} + \frac{\partial(hv)}{\partial y} = q + r \quad (1)$$

$$\frac{\partial(uh)}{\partial t} + \frac{\partial(hu^2)}{\partial x} + \frac{\partial(huv)}{\partial y} = -hg \frac{\partial H}{\partial x} - \frac{\tau_x}{\rho} + D^x \quad (2)$$

$$\frac{\partial(vh)}{\partial t} + \frac{\partial(huv)}{\partial x} + \frac{\partial(hv^2)}{\partial y} = -hg \frac{\partial H}{\partial y} - \frac{\tau_y}{\rho} + D^y \quad (3)$$

$$\frac{\tau_x}{\rho} = C_f u \sqrt{u^2 + v^2} \quad (4)$$

$$\frac{\tau_y}{\rho} = C_f v \sqrt{u^2 + v^2} \quad (5)$$

$$D^x = \frac{\partial}{\partial x} \left[v_t \frac{\partial(uh)}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[v_t \frac{\partial(uh)}{\partial y} \right] \quad (6)$$

$$D^y = \frac{\partial}{\partial x} \left[v_t \frac{\partial(vh)}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[v_t \frac{\partial(vh)}{\partial y} \right] \quad (7)$$

ここで、 h : 水深 [m], t : 時間 [s], u : x 方向の流速 [m/s], x : 縦断距離 [m], v : y 方向の流速 [m/s], y : 横断距離 [m], q : カルバート・樋門・ポンプによる流入



図-1 対象範囲(釧路川・釧路湿原)の概要図：

- a) 平水時の写真⁶⁾より引用, b) 2016年北海道豪雨時の写真⁶⁾より引用, c) 観測所の位置・計算領域・境界条件

量 [m²/s], r : 降雨強度 [m/s], g : 重力加速度 [m/s²], τ_x : x 方向の河床せん断力 [kg · m/s²/m²], τ_y : y 方向の河床せん断力 [kg · m/s²/m²], ρ : 水の密度 [g/m³], C_f : 河床せん断係数, ν_t : 渦動粘性係数である。

また、渦動粘性係数の計算にはゼロ方程式モデルを用いた。

$$\nu_t = A \frac{\kappa}{6} u_* h + B \quad (8)$$

ここで、 κ : カルマン係数, u_* : 摩擦速度 [m/s], A, B : 補正係数である。

また、底面摩擦の計算には Manning式を用いた。

$$C_f = \frac{gn_m^2}{h^{1/3}} \quad (9)$$

ここで、 n_m : 粗度係数 [m^{-1/3}/s]である。

上記の支配方程式を用いた数値水理解析のソルバーには、iRIC⁷⁾に同梱される Nays2DFlood を使用した。同ソルバーの特徴として側方境界条件に多数の流入点の設定が挙げられる。本研究では、釧路川流域を流れる本川および主要な支川からの流入を考慮するために同ソルバーを使用した。

3.2. 計算領域・格子および初期・境界条件の設定

3.2.1. 計算領域・計算格子

図-3 に計算格子の作成手順の概略図を示す。計算格子の作成手順は、1)標高データの入手、2)計算領域と格子サイズの設定、3)計算格子への標高データの付与と高さ補正、と3つの手順に分かれる。ここではこれらの3つの手順について説明する。

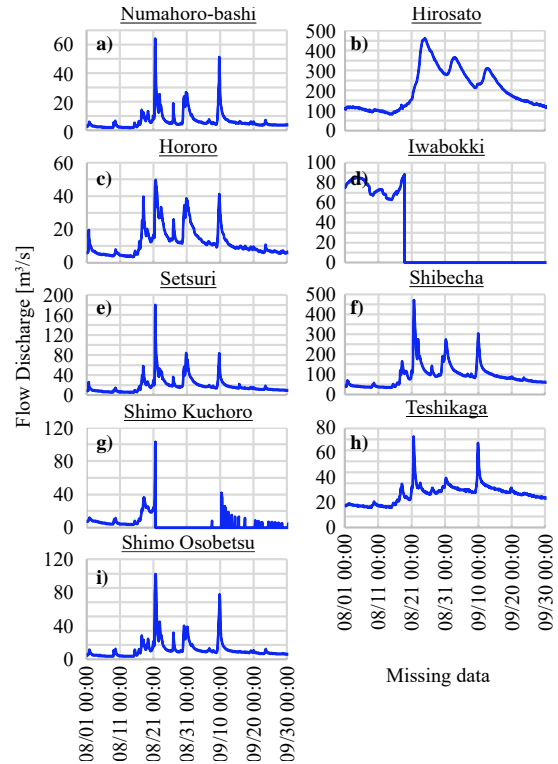


図-2 各観測所の流量ハイドログラフ

まず、1)標高データの入手について説明する。標高データは、国土地理院の基盤地図情報ダウンロードサービスの数値標高モデルより入手した(図-3 a)。ここで入手した数値標高モデルは航空レーザ測量によるDEM5Aを基本とし、DEM5Aの未計測箇所を写真測量によるDEM5Bで補い、その他の未計測箇所については地形図の等高線によるDEM10Bによって補った。

次に、2)計算領域と格子サイズの設定について説明する。本研究で対象とする計算領域について、対象領域を流域全体とすることも考えたが、計算負荷や流入点として設定する支川の位置関係を考慮し、図-3 b)に示すように設定した。また、計算格子のサイズは計算負荷を考慮し、縦横ともに50mの矩形格子とした。

最後に、3)計算格子への標高データの付与と高さ補正について説明する。計算格子への標高データの付与には、iRIC内のマッピング機能の一つである「プレートマッピング」を利用した。プレートマッピングの説明文には「格子点近い地勢データの点を格子セルの形状を考慮して探し、見つかった点での値を補完にします。」とある。具体的なアルゴリズムについては不明だが、作成した計算格子における横堤や堤防付近の標高を見てみると、横堤や堤防の最大標高が格子に付与されていないことがわかる(図-3 c), d)。そこで、横堤や堤防の最大標高となるように手動で高さ補正を行った(図-3 e)。

3.2.2. 初期条件・境界条件

計算領域の側方境界条件には支川からの流入量を設定する。計算領域へ流入する主な支川は、1)オソベツ川合流後の釧路川本川、2)沼幌川、3)久著呂川、4)幌呂川合

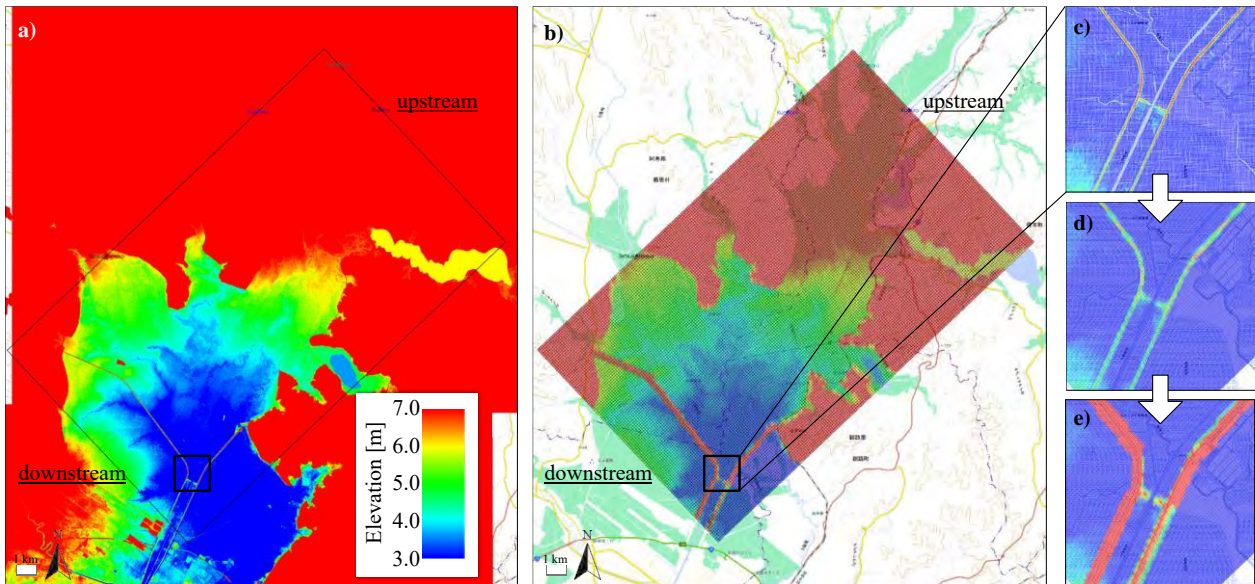


図-3 計算格子の作成手順の概略図：a) 標高データ，b) 標高データを入力し高さ補正した計算格子，c) 横堤付近の標高データ，d) 横堤付近の計算格子，e) 高さ補正後の計算格子

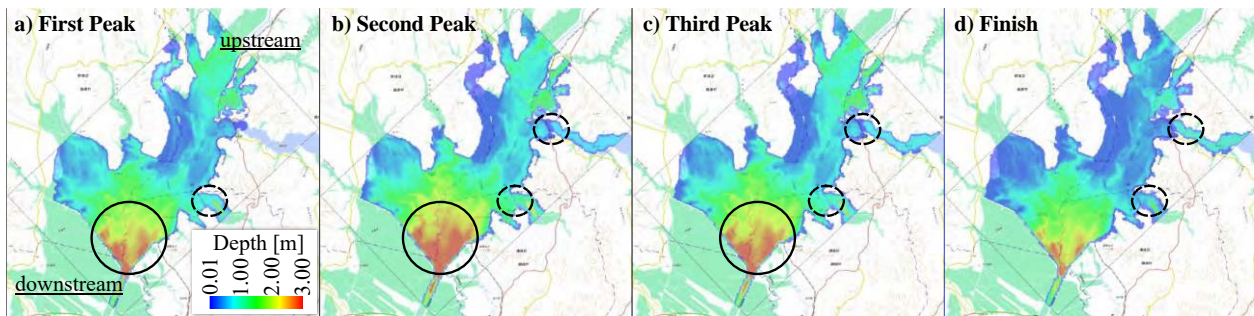


図-4 各時刻の水深の計算結果

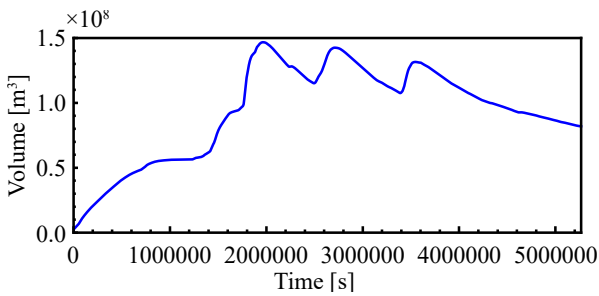


図-5 計算領域全体における浸水量の時間変化
 流後の雪裡川の計4つである。そのため、側方境界条件にはこれら4つの流入点を設定した。1)の流入点には図-1 f) 標茶地点と i) 下オソベツ地点の同時刻における観測流量を足し合わせもの、2)には図-1 a) 沼幌橋地点の観測流量、3)には図-1 g) 下久著呂地点の観測流量、4)には図-1 c) 幌呂地点と e) 雪裡地点の同時刻における観測流量を足し合わせものを与えた。なお、これらの流入量の時間的な遅れの補正や欠測値の補完等を行わず、同時刻において観測された流量をそのまま同時に流入点に与えた。これについては流出解析などによって解決する必要があり、今後の課題である。なお、粗度係数は領域全体で0.1を一様に付与した。

3.3. 計算結果

本節では計算結果について説明する。図-4は主要な時刻の水深の計算結果、a), b), c)はそれぞれ標茶地点の1,2,3回目のピーク流量時点の計算結果であり、d)は計算終了時点のものである。まず、1,2,3回目のピーク流量時点を見てみると、黒線で囲まれた範囲において3m程度となっており、貯留していることがわかる。しかし、黒波線で囲まれた範囲を見てみると、逆流現象が起きていることがわかる。この地点は本来道路があり、標高としては高いことから逆流現象が起きるとは考えにくい。これが起きる要因は計算格子のサイズが大きいものと思われる。本研究で実施した解析に使用した計算格子のサイズは縦横ともに50mであり、50m以内で起きる現象については特にパラメタリゼーション等によって表現していない。これについては今後の課題となる。

次に、図-5に示す計算領域全体における浸水量の時間変化に着目すると、浸水量の一度目のピーク時における浸水量はおよそ $1.5 \times 10^8 \text{ m}^3$ であることがわかる。その後、計2回のピークを迎えるものの流出量が流入量を上回っているため、浸水量が徐々に減少していることが見て取れる。実際の広里地点の結果はあくまで2ヶ月程度の計算であり、より長期的な計算を行うことで両者の低減度合いに違いが生じる可能性がある。これについては今後の課題とする。

4. おわりに

2016年北海道豪雨を対象に釧路川および釧路湿原における平面二次元の数値水理解析を行い、横堤が河道内の貯留に与える影響について試験的に解析を実施した。その結果、河川や地形の表現方法、上記に加えて計算領域内の粗度係数をどうするか、本研究では考慮していない浸透現象をどう考慮するか、さらにこれらを考慮した際の実測値との比較が今後の課題となる。

謝辞：本研究は、科研費基盤研究(B)22H01594、文部科学省「気候変動予測先端研究プログラム」JPMXD0722680734、独立行政法人国際協力機構(JICA)の連携事業である地球規模課題対応国際科学技術協力プログラム(SATREPS)、内閣府総合科学技術・イノベーション会議の戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)「国家レジリエンス(防災・減災)の強化」(管理法人:国立研究開発法人防災科学技術研究所)の支援を受けた。記して感謝の意を表す。

5. 参考文献

- 1) 国土交通省 水管理・国土保全局, 「流域治水」の基本的な考え方～気候変動を踏まえ、あらゆる関係者が協働して流域全体で行う総合的かつ多層的な水災害対策～。
- 2) 国土交通省北海道開発局, 釧路川水系河川整備計画(原案)(国管理区間), 平成19年7月。
- 3) 国土交通省北海道開発局, 資料2: 平成28年8月の大雨による出水状況について, 第2回釧路川減災対策本部, 平成28年11月25日。
- 4) 気候変動を踏まえた治水計画に関わる技術検討会, 気候変動を踏まえた治水計画のあり方 提言, 2019。
- 5) 石原道秀, 山田朋人, 横堤の規模の違いによる河道及び遊水池の遊水機能の感度分析, 水文・水資源学会研究発表会要旨集, 2022。
- 6) 土木学会 2016年8月北海道豪雨災害調査団, 2016年8月北海道豪雨土木学会調査団報告書, 2017年4月。
- 7) iRIC, <https://i-ric.org/>。