

ダム建設による流量変化が河道地形に与える影響に関する研究

Influence of water discharge change due to dam construction on river channel geometry

北海道大学工学部

○学生会員 高橋祐貴 (Yuki Takahashi)

北海道大学大学院工学研究院

正会員

岩崎理樹 (Toshiki Iwasaki)

北海道大学大学院工学研究院

フェロー

清水康行 (Yasuyuki Shimizu)

1. はじめに

河川地形は流量や供給土砂量、粒径、勾配といった様々な要因により決定される流れ-土砂輸送の結果として形作られている¹⁾。近年、気候変動や河川改修といった様々な人間活動によってこれらの要因が変化しており、河川地形や環境に対して大きな影響を与えることが示されている²⁾。その中でも河川に対して大きな影響を与える要素の一つとして、ダム建設を挙げることができる。上流域におけるダムの建設は、下流側への流量や流砂量を大きく減少させるために、河床低下や植生繁茂、河床材料の粗粒化などの要因となることはよく知られている。一方で、そのような河川においてどのように河道を管理していくのかということに対して、必ずしも明確な指針は示されておらず、より検討が必要であると考えられる。そのためにも、ダム建設によってどのように河川地形が変遷してきたのかを理解することは重要である。ここでは、そのような例の一つとして、北海道石狩川水系忠別川をモデルケースとした検討を行う。

忠別川では洪水調節や河川環境の保全を目的としてダム建設が進められてきた。忠別ダムは2007年3月に完成した国内最大級の複合ダムであり、稼働開始後から上記の役割を担ってきた。一方で、近年の忠別川では低水路内に植生が侵入する樹林化や砂州と滞筋の高低差が増加する二極化などが進行しており、流下能力の低下や河岸・堤防浸食のリスク増加など治水機能の低下が懸念されている^{3,4,5)}。ダム建設の影響は様々であるが、貯水池への湛水による流量減少の影響は大きいと考えられる。外力条件の一つである流量の変化が、下流地形にどのような影響を与えたかを把握することは、土砂供給量減少や植生繁茂などの複合要因によって変化する河道特性の変化を理解するうえでまずは重要である。

そこで本研究では忠別川をモデル河川として、ダムによる流量調節が河道地形に与える影響を調べることを目的とした。まず、水文水質データベース⁶⁾より、ダム建設前の流量、並びにダム建設後のダムへの流入、流出流量について整理することで、外力条件の変化について定量的に評価する。ここで整理したハイドログラフをiRIC-Nays2DH⁷⁾に与える境界条件とし、忠別川の河道特性を簡略化したモデル河川において河床変動計算を行うことで、ダム建設による流量減少が河川地形に与える影響について考察する。

2. 数値計算

種々の外力、河道条件の変化が河道地形に与える影響を把握するためには、実際の河川地形の変遷について、

航空写真や横断測量データなどの実測データを整理することで理解するのが一般的である^{4,5)}。一方で、実データは様々な複合要因による影響を含んでいるため、結果と要因について理解することは必ずしも容易ではない。

そこで本研究では、以下に示す手順で流量減少が河床地形に与える影響について考察した。まず、水文水質データベース⁶⁾で利用可能なダム建設前後の流量データについて整理する。次に、iRICに搭載されている非定常平面2次元流れと河床変動計算の解析用ソルバーであるNays2DH⁷⁾を用いて、ダム建設前の流量ハイドログラフを、忠別川を簡易化した直線水路に与えることで、ダム建設前に形成されていたであろう忠別川の基本的な河道地形を得る。これを初期条件とし、ダム建設後に、ダムに流入する流量、ダムから流出する流量を与えた2ケースの河床変動計算を行い、基本地形が2種類の流量ハイドログラフ群でどのように変遷するかを検討することで、ダムの流量調節が河道地形に与える影響を調べる。

2.1 河道条件

河道条件については忠別ダムから最も近い観測所である江卸観測所(K.P26.7)から下流方向に5kmまでの河道を単純化して長さ5000m、低水路幅150mの直線水路とした。河床材料は粒径50mmの均一粒径とし、水路勾配は0.011(1/93)、底面のマニング粗度は0.035とした。計算格子サイズは横断方向3m、縦断方向25mで、格子数は横断方向50、縦断方向200である。

2.2 ダム建設前の河道地形作成計算

ダム建設による影響を受けない基本的な河道地形を得ることを目的として、ダム建設以前の流量データを上記単純河道に通水する河床変動計算を行った。河道の作成に用いる流量は国土交通省水文水質データベース⁶⁾で公開されている江卸観測所の時刻流量データとした。江卸観測所の1998年からダム完成前年である2006年の流量ハイドログラフのうち年最大の洪水イベントから55m³/s以上の流量を抽出した。このようにして得られた洪水イ

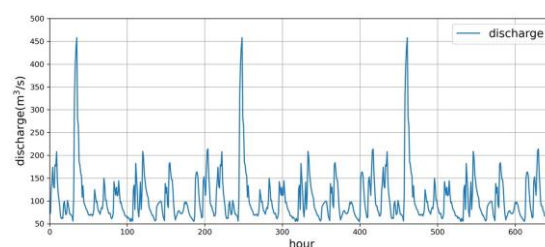


図1 河道地形作成計算に用いたハイドログラフ

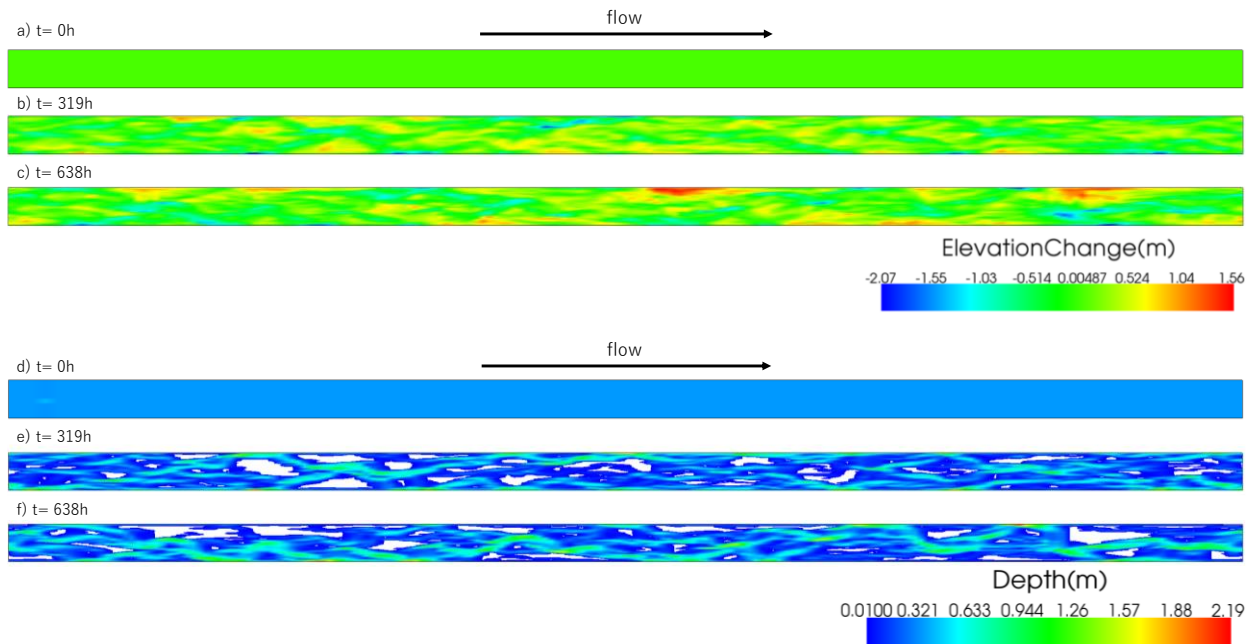


図2 河道地形作成計算過程。
a)~c) 各時間の河床変動量、d)~f) 各時間の水深

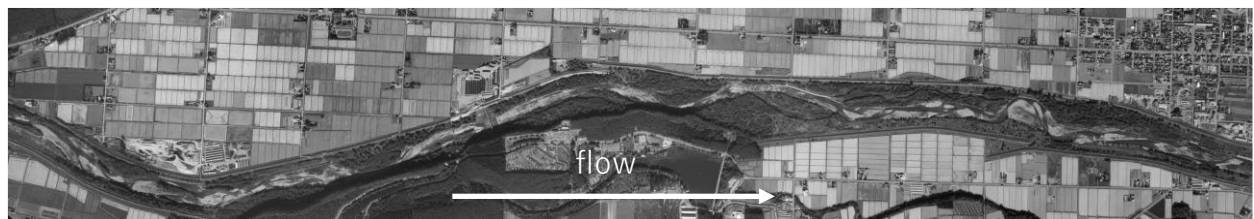


図3 K.P21~26 付近のモノクロ航空写真
(撮影：2006年9月26日),国土地理院⁸⁾

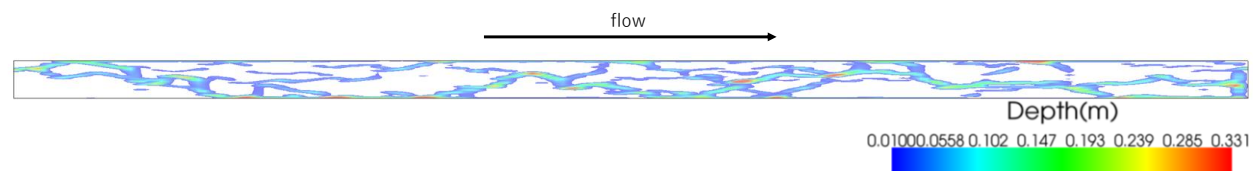


図4 作成した河道に流量 $1.44\text{m}^3/\text{s}$ を流した際の水深コンター図

ベントは9回あったが、これを用いて河床変動計算を行ったところ、計算区間全体に河床地形が形成されず、後述する計算の初期地形とするには不十分であった。そこで、この9回の洪水イベントを3回繰り返した図1に示すハイドログラフ群を用いて河床変動計算を行い、計算区間全体にある程度、定常的な河川地形が形成されるようにした。この際、上下流端の境界条件は周期境界条件を用いている。

図2に上記により得られた河床地形と水深コンター図を示す。図を見てわかるように、流量の繰り返しにより網状流路が形成されている。図に示すようにこの網状流路の特性は、時間の経過とともにある状態に収束していることが見て取れる。この地形が現地における地形をどの程度表現しているかを示すために、滞筋の本数と砂州波高について現地と比較を行った。

図3はダム運用前の絵卸観測所より下流部の航空写真である⁸⁾。滞筋の本数を比較するために、航空写真の撮影日(2006年9月26日)の日中の流量($1.44\text{m}^3/\text{s}$)を作成した河道に流した(図4)。滞筋の本数がともに2,3本になっており、滞筋の本数の観点では作成した河道は妥当であるといえる。

次に、作成した河道の砂州波高について検証する。「忠別川における河道の質的整備に向けた検討ワーキンググループ」³⁾(以下検討WGと表記する)によると美瑛川合流地点(K.P2.4)より上流の砂州高の平均値は約2.2mである。図5は数値計算により得られた計算終了時の地形について、25mごとに河道横断面内における河床変動量の最小値と最大値の縦断変化を示したものである。横断面内河床変動量の最大値と最小値の差の平均を作成した河道全体で計算すると1.88mであり、観測され

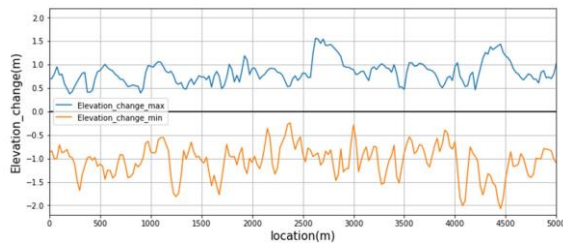


図5 各横断面ごとの河床変動量の最大値・最小値

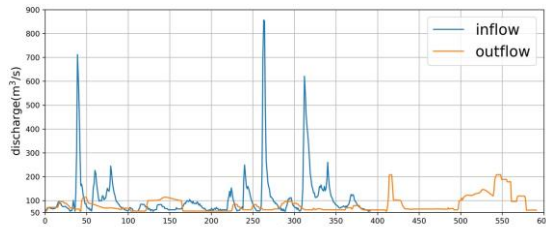


図6 流量調節の影響の検証に用いたハイドログラフ

ている砂州波高と近い値を得た。検討WGの砂州波高は今回の河床変動解析の計算領域よりはるかに長い河道の平均値であり、かつ、ここで計算した横断面内の比高差とは実際には異なるものではあるものの、地形の起伏という意味ではおおそ似通った値であり、滞筋本数の比較と合わせてある程度、ダム建設前の基本的河川地形を表現しているものと考えられる。

2.3 ダムによる流量低減が河床地形に与える影響に関する数値計算

流量調節の影響の検証に用いる流量は、国土交通省水文水質データベースで公開されている忠別ダムの時刻流入・流出量データである。ダム流入量をダムの流量調節の影響を受けない流量、ダム流出量をダムの流量調節の影響を受けた流量として計算に用いる。河道作成時と同様にして江卸観測所の2008年から2019年の年最大の洪水イベント時の忠別ダムの流入量と流出量から $55\text{m}^3/\text{s}$ 以上の流量を抽出した。図6はこの方法で抽出したハイドログラフであり、ダム建設前後で流量特性が大きく変化していることがわかる。

同一期間から抽出した流量であるが、ダム流出量はダム流入量と比較して突出して大きい流量がなく、洪水調節によりピークカットされていることが確認できる。一方で、ピークカットにより流量が分配されるため $55\text{m}^3/\text{s}$ 以上の流量が流れる時間はダム流出量のほうが長くなっている。

これらの流量を前節で行った河床変動計算の最終的な地形に通水し、流量変化が河床変動特性にどのような影響を与えるのかについて考察する。なお、この計算については、上流端に流量、下流端に等流水深に相当する水位を与える境界条件で実施している。

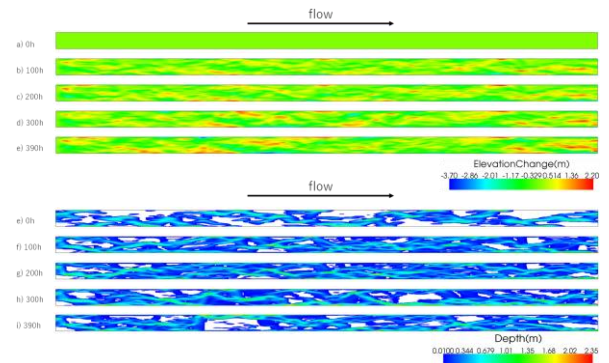


図7 ダムの流量調節の影響を受けない河道における数値計算結果。

a)~e)各時間の河床変動量、e)~i)各時間の水深

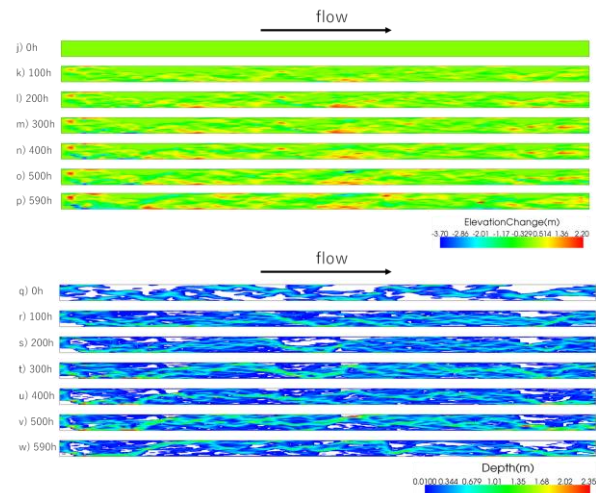


図8 ダムの流量調節の影響を受けた河道における数値計算結果。

j)~p)各時間の河床変動量、q)~w)各時間の水深

3. 数値計算結果

図7、図8にダムの有無を想定した流量条件により得られた水深コンター図と河床変動量を示す。ダムの流量低減効果によって水路の本数が減少していることが確認できる(図7,図8)。これは、流量の減少によって、1つの流路に流れが集中し、滞筋が固定化したことを表現している可能性がある。一方、図7,図8に示す河床変動コンター図を見ると、ダムによる洪水調整を受けない流量を通水した場合は、河床地形が時間とともに明確に変化していることが読み取れる一方、ダムによる洪水調整を受けた流量を与えた場合、河床地形の時間的な変化は小さいことがわかる。さらに、より定量的な評価を行うために、全格子点における河床変動量をヒストグラム化した結果を図9に示す。流量が低減したケースでは、河床変動が発生しない範囲が大きく拡大していることが確認できる。これらの結果は、河川全体における河床かく乱頻度がダムによる流量低減によって大きく変化していることを示している。この影響は前述の流れの集中化に伴う滞筋の固定化と対応しているとともに、実際には植生の

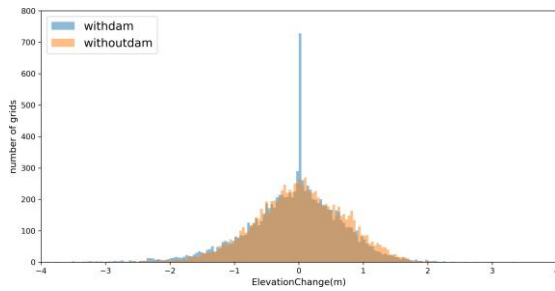


図9 各格子点の河床変動量に対するヒストグラム

繁茂について重要な要素となりえると考えられる。

このように、ダムによる流量調節は河床変動を小規模化させ、それによって滞筋の固定化が進行していることが示唆された。今後は、より定量的な影響について検討を行いたいと考えている。

4. まとめ

本研究では、ダムの流量調節が河道地形にどのような影響を与えるかについて、ダム建設前後における流量データを整理し、これを用いて iRIC-Nays2DH による河床変動計算を実施することで調べた。この結果、ダムの流量調節は河床変動の小規模化と滞筋の固定化に関連することが明らかとなった。本研究では年最大流量に着目してダムによる流量調節の影響を検証したが、より詳細な検証のために融雪出水期など年最大流量時以外のデータを利用し、さらなる検討を実施していく予定である。

5. 参考文献

- 1) Parker, G., Wilcock, PR., Paola, C., Dietrich, WE., Pitlick, J.: Physical basis for quasi-universal relations describing bankfull hydraulic geometry of single-thread gravel bed rivers. J. Geophys. Res. Earth Surf., 112, F04005, 2007.
- 2) Best J.: Anthropogenic stresses on the world's big rivers. Nature Geoscience, 12(1), pp.7-21, 2019.
- 3) 忠別川における河道の質的整備に向けた検討ワーキンググループ
- 4) 安藤裕一・久加朋子・今日出人・清水康行：忠別川における長期的な出水頻度・強度が低水路幅に与える影響の考察，土木学会北海道支部年次技術発表会論文集，2019.
- 5) 傳甫潤也・井上卓也・橋本慎一・千葉学・戸村翔・川上北斗・佐々木博文：河道の二極化の形状指標と河岸侵食リスクの関係，土木学会論文集 B1, Vol77, No2, pp.I_373-378, 2021.
- 6) 国土交通省水文水質データベース(<http://www1.river.go.jp/>)
- 7) Nays2DH(<https://i-ric.org/solvers/nays2dh/>)
- 8) 国土地理院地図・空中写真閲覧サービス(<https://map.gs.j.go.jp/maplibSearch.do#1>)