石狩川における治水対策の効果に対する基礎的研究

Basic research on effect of flood control measures in Ishikari river

北海道大学工学部土木工学科　○学生員　矢吹太一(Taichi Yabuki)
北海道大学工学研究科　正員　田中岳(Gaku Tanaka)
北海道大学工学研究科　正員　清水康行(Yasuyuki Shimizu)

1.はじめに

本研究は，大流域河川における捷水路の有無および横流入強度により長期的な計算を行った場合の水位・河床変動の変化を調べるものである。本研究で対象としている石狩川は，全長 268km、流域面積 14330km の一級河川であり，空知川や幾春別川などのさまざまな支川を持っている．この河川は，明治時代において，低平湿地帯の中を蛇行と短絡を繰り返す原始河川であり，大規模な洪水氾濫などがたびたび発生していたが，約 100 年に渡ってショートカット工法・ダム建設・堤防などのさまざまな河川改修が行われてきた．その結果，現在でこそ洪水も発生しにくくなり，致命的な人的被害も格段に減少したが河川改修が始まってから約 80 年経過した 1981 年には全道での記録的な豪雨により大洪水を被っている．**図-1** はその時の写真である．これより，長期間の河川改修は確かに河川の治水効果を上げているが，だからといって氾濫の可能性は無いとは言い切れないと考えられる．また，河川改修が進展すると安全性は向上するが，一旦氾濫すると被害額が甚大になる傾向があるので，その対応が河川改修での今後の課題である．

本研究では約 100 年におよび行われた河川改修が石狩川に対してどれほどの治水効果を挙げているのかを捷水路を取り上げ数値計算を用いて確認する．

また，過去の研究において，河川の流量縦断分布形の取り方には，清水[1)]の過去の実測データを元に近似式から求めた分布系など様々なものがあるが、本研究では，その取り方によって水位・河床がどのような変化していくのかを数値計算によって検討する．

2．計算モデル

2.1 流れと河床変動の基礎式

河川の不等流計算においては以下に示す 1 次元定常流の運動方程式を解いており，河道の流れにはニュートン法を用いて計算を行っている．

$$\frac{\partial H}{\partial x}+\frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{\alpha Q^2}{2gA^2}\right)+i_e=\frac{q_x Q}{gA^2} \tag{1}$$

図-1　1981 年の石狩川での大洪水[5)]

ここで，x は河口からの距離，Q は流量，g は重力加速度，H は水位，αはエネルギー補正係数，q_x は単位幅当たりの横流入流量，i_eはエネルギー勾配，A は断面積，横流入量は、本川の流量縦断分布を用いて次式で表わす．

$$q_x=\frac{\partial Q}{\partial x} \tag{2}$$

また，本研究では河床変動の基礎式として，以下に示す掃流砂のみを考慮した流砂の連続式を用いている．

$$\frac{\partial z}{\partial t}+\frac{1}{(1-\lambda)B}\frac{\partial}{\partial x}\left(q_B B\right)=0 \tag{3}$$

ここで，z は河床高，t は時間，B は川幅，λは空隙率．掃流砂量の算定にはMeyer-Peter･Muller 式を用いており，次式で表わしている．

$$q_B=8(\tau_*-\tau_{*c})^{1.5}\sqrt{sgd^3} \tag{4}$$

ここで，τ_*は無次元掃流力，d は粒径，s は砂粒の水中比重．無次元限界掃流力 τ_{*c} は次式で与える．

$$\tau_{*c}=u_{*c}^2/sgd \tag{5}$$

ここで，u_{*c} は限界摩擦速度．

2.2　初期河床高及び川幅

図-2および**図-3**はそれぞれ石狩川における1973年, 1978年および 1992 年の測量結果に基づく平均河床高の縦断図と, 同年の横断図より読み取った低水路の川幅である. 清水ら[1)]により，これらは次式で近似可能なので，これを計算の初期河床高・川幅とする.

$$\eta = 4.764\exp(0.0192K_p) - 10 \tag{4}$$

$$B = 367\exp(-0.01375K_p), K_p \le 42 \tag{5}$$

$$B = 228\exp(-0.00246K_p), K_p \ge 42 \tag{6}$$

ここで，η は平均河床高の標高(m)，B は河幅(m)，Kp は河口からの距離(km)である.

2.3　境界条件

清水[1)]より，下流端における水位は海面と同様とし，石狩湾河口での過去30年間の平均河口水位である0.19mを一定値として与える．上流端においては式(3)におけるxの微分項をゼロとして上流端における土砂の流出量と流入量が等しい状態であると仮定して計算を行う.

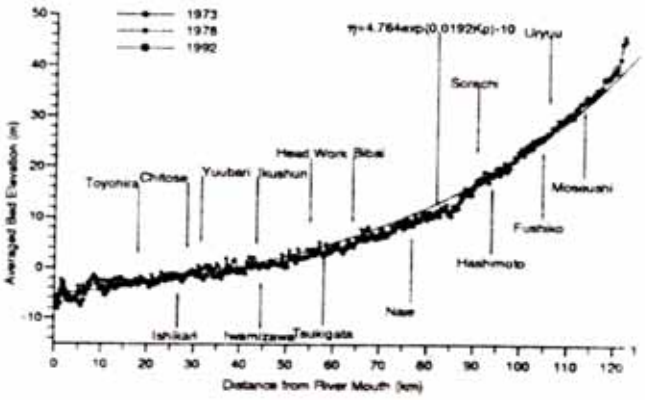

図-2　石狩川の平均河床縦断図[1)]

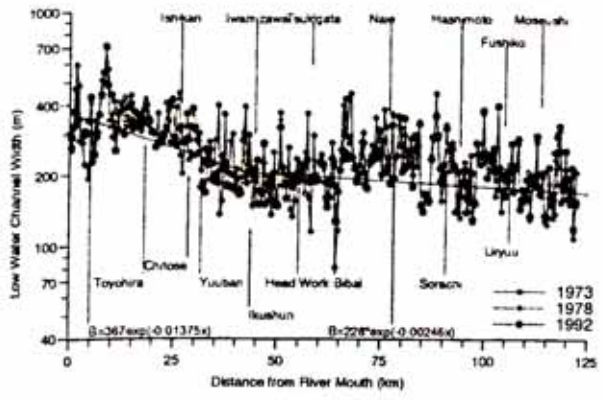

図-3　石狩川の河幅縦断図[1)]

3.計算条件

3.1 捷水路(ショートカット)工法が水位に及ぼす影響

3.1.1 石狩川の捷水路

捷水路の性質として，通水すると下流側で土砂が堆積し上流側では河床が洗掘されるとういうことが起こってしまうために，石狩川の捷水路工事においては常に下流側から順序よく施工して，河川の下流側から河床を低下させて、河床の上昇による河道の不安定化を防いでいる．このような捷水路方式による改修が約 50 年近く行われ、現在の石狩川においては河口から約 120km 地点までの区間において約 80km 短絡(捷水路によって 58km，自然短絡により 16～22km)されている．そこで，ここでは捷水路が治水効果に対してどのような影響を与えているかについて流量別に短縮前(明治時代)と短縮後(現代)の水位の比較を行っている．なお粗度係数などは現状のものを使用する.

3.1.2　計算条件

現在の河床高は河口からの距離によって求めており捷水路によって短縮する以前の河床高は**図-4** で示すように現在での河口からの距離に対する河床高を同じ割合で延長している．本研究では短縮後の 27km 地点と，それと等しい河床高を持つ短縮前のある地点を比較して，流量別の水位の比較を行っている．また，それとは別に短縮後の 27km 地点と短縮前の 49km 地点での水位の比較を行っている．この 2 地点は河床高は異なるが，どちらも各時代の石狩大橋を示している.

また，流量は清水ら[1)]により求められた，石狩川の流量観測所での観測された実測データを元に設定された流量分布形を表わした次式を使用する.

$$Q = Q_0 \exp(-0.00876K_p) \tag{7}$$

ここで．Q_0 は河口での流量 $(m^3/\sec)$

また，g=9.8，s=1.65，d=0.07 とする.

3.1.3　計算結果

図-5，6 で示すのが計算結果である．この結果より捷水路を設けて河床勾配が変化した場合，小流量時では水位差に大きな違いは見られないが，流量が増加するにつれて水位が低下し流量 2000m^3/s の時には**図-3** では 0.5m 近くも水位の低下が起こっている．これより捷水路を設けたことによる水位の低下を確認することができたので石狩川において捷水路は十分に治水効果を発揮していると考えられる.

3.2　流量の縦断形分布の変化が水位･河床変動に及ぼす影響

3.2.1　計算方法

長期的に河川について考える場合に降雨量などの影響によって地点ごとにバラつきのある流量が，その扱い方によって水位・河床高に対してどれほどの影響を及ぼすかを考察する.

式(7)から求める，流量分布形に対する Q_0 の値は小流量

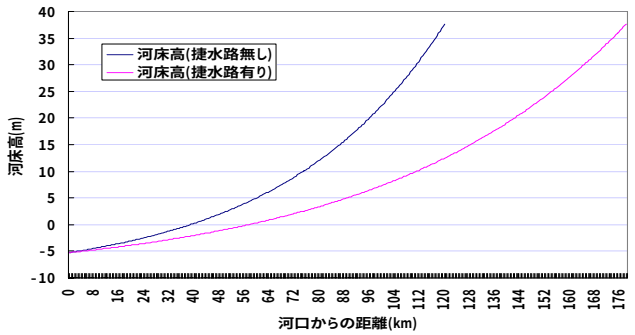

図-4　短縮前後の河床高

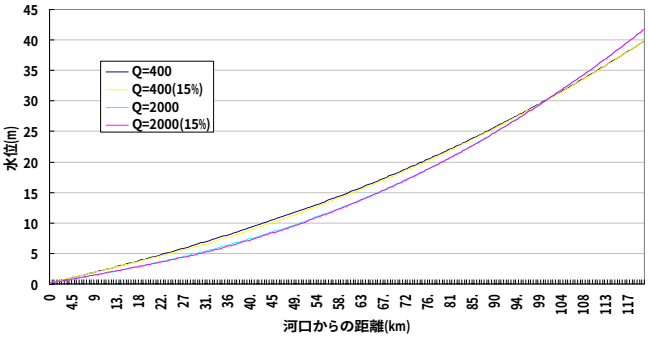

図-7　水位の変動

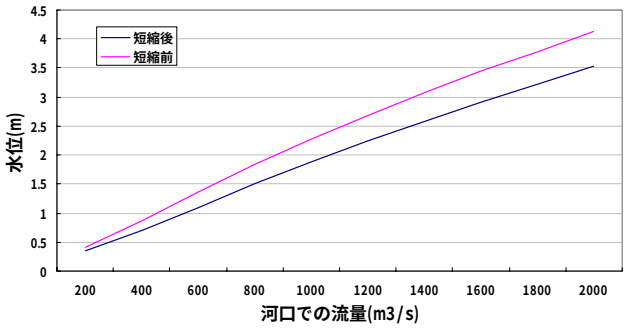

図-5　河床高が等しい時の水位の変化

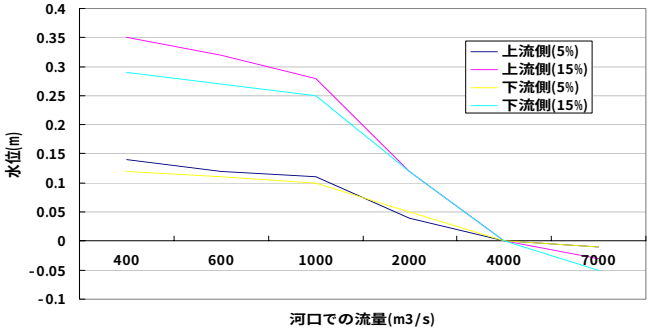

図-8　水位差の比較

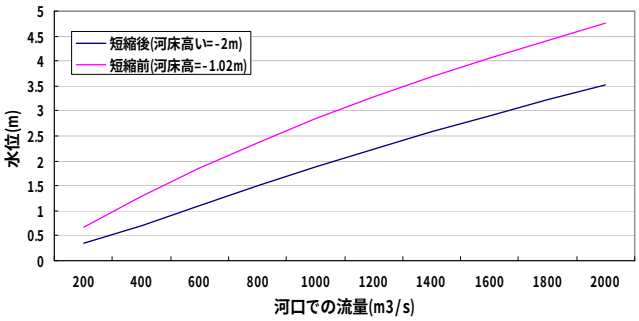

図-6　石狩大橋地点での水位の変化

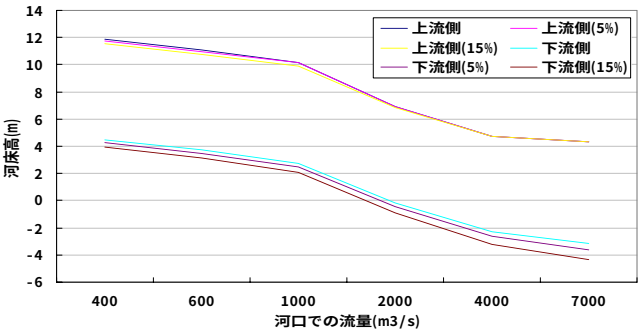

図-9　河床変動の比較

時 400，600,中流量 1000・2000,大流量時 4000・7000 とする．上式での流量分布形と，河口における流量を 6 つの値と等しいと仮定して横流入強度を局所的に変化させた場合とで長期的な計算を行った場合に水位と河床高に対してどれほどの変化を及ぼすかを比較している．

3.2.2　横流入強度の変化

局所的な変化を与えるにあたって，本研究では支川との合流地点(32km 地点)での流量の値を増加させて流量縦断形分布にひずみを起こしている。基本の分布系に対して増加させる流量はそれぞれの河口流量に対する 5%・15%を横流入として合流地点での流量に足し合わせている．

3.2.3　計算時間

本研究では，長期的な計算を行う場合の流量縦断分布形におけるひずみの有無がどのような影響を及ぼすかを考察するので計算時間を各流量が安定状態に達するまでと設定し Q_0 =400,600,1000,2000,4000,7000 (m^3/s) に対して 200,100,50,10,2,1 年とする．安定状態に達するまでの時間についての詳細は清水[1]による．

3.2.4　計算結果

図-7 には流量の縦断分布形にひずみがある場合の計算区間 120km での水位の変化を示している．これからは安定状態に達するまで計算を行う場合，ひずみによる水位の差はほとんど見られない．また，**図-8，図-9** は合流地点の下流側(27km 地点)と上流側(54km 地点)における，各流量の縦断分布形でのひずみの有無による，水位差と河床変動について比較している．**図-8** では上流，下流側とも大流量時よりも小流量時のほうがひずみの有無による水位の差が大きい．**図-9** では上流側は，どの流量にお

いても大きな変動が見られないが，下流側では小流量時よりも大流量時のほうが，ひずみの有無による河床変動が大きいという結果となっている．

4.おわりに

本研究の目的は石狩川の約 100 年におよぶ河川改修の効果を，数値計算を用いて確認するものであった．今回はその一例として捷水路の治水効果と，数値計算を行う上で流量の入力条件を決定するための基礎として縦断分布形のひずみの有無による水位・河床変動について考察した．本研究で得られた結果を以下に示す．

1)　石狩川で行われた捷水路工事による結果，流量が増大するにつれ水位が低下しており，洪水時などに対して捷水路は十分な治水効果を発揮している．今回は水位のみを比較したが，品川[2)]らによると捷水路を設けることによって河道を流下する洪水量が大きくなるともあるので,捷水路による他の要素への影響も考えていき,また，ダムや堤防などの他の河川改修による治水効果についても調べていこうと考えている．

2)　流量の縦断分布形の局所的な変化が水位に及ぼす影響は,長期的な計算を行う場合,横流入強度での分布形の変化による水位の変動が小さい値だが現れる．現時点では近似式を用いるか否かについて確信できないので，他の分布形を用いて計算を行いたい．また，河床変動については小流量時と大流量時によって変動する割合が異なるので，計算する流量または目的に応じて分布系を選択することが望ましい．本研究では縦断分布形を局所的に変化させていたが，より現実的に流量の縦断分布形を変化させる方法を考えていきたい．

今回は定常状態でのみの計算を行ったが，これから計算を進めていくにつれて非定常での計算が必要になってくる，そこで今後の課題としては非定常での計算を行えるようにしていきたい．

5.参考文献

1)　清水康行：沖積河川の縦断形と河床材料分布形の形成について，土木学会論文集,No.521/ Ⅱ-32,pp.69-78,1995．

2)　品川守・山田正・豊田康祠：洪水ハイドログラフの形成過程と治水対策の効果に関する研究,水文･水資源学会誌,Vol.5,No.3,1992,pp.23-31

3)　清水康行・舛屋繁和：流域規模での洪水流出および土砂流出特性について

4)　山口甲・品川守・関博之：捷水路

5)　http://www.is.hkd.mlit.go.jp/14manabu/01isikarigawa/Ishikarigawa.html