石狩川の最初の治水計画および効果の検証

EFFECTS OF THE FIRST FLOOD CONTROL PLAN AND RIVER IMPROVEMENTS ON THE ISHIKARI RIVER BASIN

鈴木 英一¹・山口 里実²・谷 育美³
Eiichi Suzuki, Satomi Yamaguchi, Ikumi Tani

¹フェロー会員 北海道大学特任教授 大学院工学研究院 (〒060-8628 札幌市北区北13条西8丁目)

²正会員 北海道大学特任准教授 大学院工学研究院 (〒060-8628 札幌市北区北13条西8丁目)

³ 札幌市 建設局 下水道施設部 (〒062-0906札幌市豊平区豊平6条3丁目2-1)

In 1869 the Meiji Government launched the policy of encouraging migration to Hokkaido and started reclamation of the Ishikari River Basin. In September 1898, when farmland reclamation had started to expand, the Ishikari River was hit by an unprecedented heavy flood that resulting in catastrophic damage and 112 fatalities. This disaster prompted surveys for flood control. Okazaki et al. made detailed investigations and observations on the 1904 flood of the Ishikari River. Based on these investigations, a flood control plan focusing on cutoff works was formulated, and those works were implemented for the half-century from 1910. This study reviews the effects of the flood in 1904, which served as the basis for the flood control plan, on the primeval Ishikari River Basin of the time, utilizing the results of investigations by Okazaki et al. We use two-dimensional flood flow numerical simulation to examine the effects of cutoff works. We also explain how the flood control plan had the effect on the basin development.

Key Words: *Ishikari River, Flooding of a primeval river, Okazaki Bunkichi's flood study, Early flood control plan, Cutoff works, Flood flow numerical simulation*

1. はじめに

石狩川は北海道中部を流れる道内最大の一級河川である。現在、流域には札幌市や旭川市等の都市が発達し、流域人口313万人と北海道の57%を占める。また、石狩平野はわが国の穀倉地帯として重要な役割を担っている。

石狩川流域の開拓は、明治に入ってから始められた。政府は屯田兵制度を導入するなどして積極的な移民を行い、農地の拡大に努めた。その結果、30年後には流域人口は30万人に増大した。移民による開拓が軌道に乗りかかった1898年(明治31年)に開拓が始まって初めての大洪水が流域を襲った。この1898年(明治31年)洪水の氾濫区域を図-1に示す。記録では溺死者数112名であり、石狩川洪水史上最多である。この洪水が契機となって治水事業のための本格的な治水調査が始められた。その調査期間中の1904年(明治37年)に洪水が発生した。北海道庁技師岡崎文吉¹⁾を始めとする技術者たちによって綿密な観測が行われ、河道内流量や氾濫流量が調査された。この結果を基に石狩川の最初となる治水計画が1909年策定された。このとき、計画流量は氾濫量を河道で受け持つことを前提として算出することによって8,350m³/sと定められた。以来1981年(昭和56年)の大洪水が発生するまでの70年間、この計画流量は大きく変わることはなかった。

石狩川の治水事業開始当時、本川の高水工事は捷水路工事が主体であった。1910年から1969年にかけて全部で29か所施工され、流路延長は58km短縮された²⁾。特に、初期に施工された下流部5箇所の捷水路工事だけで22km短縮された。このうち最初に施工されたのが最下流部に位置する最大規模の生振捷水路(1931年通水開始)であり、他4か所の捷水路も1933年までに通水を開始している。

図-1 1989年洪水氾濫区域

従来石狩川の捷水路工事の評価は一次元解析によって、流出が早まりピーク流量が増加するが水位は低下する効果が明らかにされている³⁾。しかしながら、原始状態の河川では図-1のように洪水流は河道も氾濫原も関係なく流下していたと考えられ、初期の捷水路工事の評価を行う際に氾濫現象を無視することはできない。本研究では、より具体的な効果として氾濫現象への捷水路工事の影響を検討することを目的とする。岡崎文吉らによる1904年(明治37年)洪水の観測結果を再度整理し、平面二次元不定流計算を行うことによって原始状態の石狩川流域における氾濫形態を検証するとともに、治水事業初期に行われた下流部捷水路工事の氾濫形態変化に対する影響を検討する。さらに、この捷水路工事がもたらした波及効果について、その後の流域の土地利用状況等から検証する。

2. 石狩川流域の開拓と1898年(明治31年)洪水

石狩川治水史²⁾等の資料によると、1869年以降、移民政策により屯田兵や民間開拓者は札幌を起点として、江別、美唄、滝川、新十津川等の水はけの良い上流部へと開拓を拡大していった。さらに湿原地帯であった石狩平野内部への開拓も排水路建設により地下水位を低下させながら農地を拡大していった。多くの困難を乗り越え、開拓が軌道に乗り農地が拡大してきた1898年(明治31年)9月7日に未曾有の大洪水が発生した。札幌測候所では観測降雨量157.6mm/3日⁴⁾と記録されている。この洪水による浸水面積は田1,156町、畑49,964町、浸水家屋16,347戸、流失家屋1,041戸、潰屋969戸、半潰屋285戸、溺死人112名であり²⁾、上流部の滝川や新十津川から下流部の札幌や石狩に至るまで石狩平野一面が浸水し、洪水継続時間も1週間と長期に亘り、被災者は水と食料に窮したことが記録として残っている。

この1898年(明治31年)洪水によって多くの移民者が離散し、これから入植する開拓者の意欲を阻害することとなった。そのため、官民双方から治水を求める声が高まり、1カ月後には廣井勇、岡崎文吉等北海道庁の技術者らを中心とした「北海道治水調査会」が発足するなど⁵⁾、この洪水を機に石狩川の治水調査が開始された。

3. 1904年(明治37年)洪水の観測¹⁾

1898年(明治31年)洪水を受けて一刻も早い治水工事として下流の蛇行部を日本海まで直線化する掘削工事を流域住民から要請されたという記録が石狩川治水請願書⁶⁾に残っている。しかし、治水調査会⁴⁾は全体計画無しに部分工事を行ってもむしろ弊害を招くとして調査に専念している。当時治水計画のために開始された調査は三角測量、河川縦横断測量、地形測量、降雨量、河川水位お

よび流量等であった。全洪水量を把握するため氾濫原測量も行われた。調査中の1904年(明治37年)に発生した洪水は、降雨量も札幌測候所で177mm/3日⁴⁾と1898年(明治31年)洪水と同規模であり、図-2に示す氾濫域からも同様の氾濫状況であったとされる。岡崎らは、この洪水発生時には既に石狩川本川4ヶ所、支川雨竜川、空知川および夕張川の水位流量観測所を設置しており、各所の水位流量曲線を作成している。また石狩川本流には21か所の水位観測線を設置し、氾濫量を把握するために氾濫原の横断測量を行う等の事前調査を行っていた。これらの観測箇所を図-2に示す。この洪水発生時、7月9日18時から17日18時までの8日間で13回にわたってほぼ同時に各観測地点において水位観測が行われた。図-2中の観測模式図に示したように、各観測箇所では水位から河道内および河道外の流下断面積が求められ、さらに流量観測

図-2 1904年(明治37年)洪水氾濫域および観測箇所

図-3 洪水時石狩川河道外氾濫量図

図-4 1904年(明治37年)洪水における河道内外の流量

図-5 計算範囲と旧河道位置

地点では水位流量曲線から河道内流量が求められている。観測された流下断面積に測線間の延長を掛け合わせることで、各観測時刻における各測線間での氾濫量が図-3のように求められている。

水位流量観測地点のうち洪水流が石狩平野に流入する本川上流地点の神居古潭、雨竜川、空知川および夕張川の観測所はいずれも地形特性上河道外氾濫のない地点が選定されており、これらの地点を通過した洪水流は河道内流量のみで算出される。その他の本川3箇所（滝川、月形および対雁）では河道内流量と河道外流量が算定されている。これらの水位流量観測地点間の氾濫量は前出の各水位観測線間における氾濫量を対象区間において累計することで収支を求め、その収支の平均値として氾濫増加量が算出される。ここで残流域流出量は面積当たりの比流量から算定され、蒸発・浸透量は総流出量の12%として算定されている。このようにして、各地点における各観測時刻間の「河道内流量」、 「河道外流量」 および「氾濫増加量」が観測値として整理されている。整理されている観測値の例として11日0:00～同7:00および13日6:00～同22:30における各流量を図-4に示す。前者（図左側）は神居古潭および空知川においてほぼ流量最大時の観測値であり、この時、神居古潭と空知川以外の地点では河道内流量がそれほど増加していないにもかかわらず、全域にわたって氾濫量が増加している。これは上流側で一度氾濫した洪水流の多くがそのまま氾濫原を流下していたと考えられる。また後者（図右側）は下流の対雁地点において流量最大時の観測値を示す。この時既に上流では河道内流量が減少し、本川流域の氾濫水は河道に流入しているが、夕張川流域（現在は千歳川流域）では依然氾濫量が増加している。

これらの観測値を用いて河道設計の計画流量が設定された。各流量観測所において河道内外流量に観測地点より上流の全氾量を観測地点の加えることで、氾濫しない

と想定した観測時刻毎に求めると、対雁地点で11日0:00～同7:00(図-4左側に該当)において最大値 $8,350\text{ m}^3/\text{s}$ (=河道内流量 $<1,966\text{ m}^3/\text{s}$ + 上流の氾濫量 $<598\text{ m}^3/\text{s}$ + $3,171\text{ m}^3/\text{s}$ + $2,362\text{ m}^3/\text{s}$ + $278\text{ m}^3/\text{s}$)となり、この最大値が計画流量として設定された。この値はその後長年にわたり計画高水流量として用いられ、1965年の計画改定時に1899年～1962年の降雨等から1/100年確率流量として計画基本高水のピーク流量が $9,300\text{ m}^3/\text{s}$ と設定されるが、当初の値($8,350\text{ m}^3/\text{s}$)と大差なく、当時の算定方法が妥当であったと理解できる。詳細な氾濫流観測を行い、その観測値を河道内流量に加えて設計していた当時の計画はその後の石狩川を先見したものであったと評価できる。

4. 1904年(明治37年)洪水の再現計算

(1) 計算概要

岡崎らの観測値を用いて、当時の原始状態における石狩川の氾濫流計算をRIC-Naysによる平面2次モデル⁷⁾を用いて行った。ここで基礎式は次式で表わされる。

$$\partial h / \partial t + \partial(hu) / \partial x + \partial(hv) / \partial y = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = -g \frac{\partial H}{\partial x} - \frac{\tau_x}{\rho h} + \nu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) \quad (2)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = -g \frac{\partial H}{\partial y} - \frac{\tau_y}{\rho h} + v \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) \quad (3)$$

ここで、 x および y は直角座標軸、 u および v はそれぞれ x および y 方向の平均流速、 h は水深、 H は水位、 τ_x および τ_y はそれぞれ x および y 方向の河床抵抗である。上式は直行座標系における基礎式であり、本計算では上式を一般座標系に変換して解くことで氾濫流の挙動を計算している。粗度は河道、氾濫原の区別なく0.03として計算した。

図-6 計算に用いたハイドログラフ

計算の範囲は図-5に示す石狩平野（緑）とし、南北110km、東西40kmの範囲に対して、現況のLPデータを用いて平均220mの格子データを作成した。現在の石狩川および主な支川は人工的に掘削され堤防も設置されていることから、現在の河道部の地盤データを取り除き、代わりに周辺の地盤高さで補間した値を用いた。当時の石狩川の河道部については、1910年の謄本地形図より平面形状(図-5中の青線)を、また1932年測量の河川横断測量成果から地盤高を推定し格子データとして与えた。

流量流入地点は神居古潭、空知川、夕張川および幾春別川とした。神居古潭地点からは上流部からの流入として、神居古潭および空知川の流量観測値の合計を流入条件とした。空知川および夕張川地点からは各地点の流量観測値を用い、幾春別川地点からは空知川ー夕張川間における残流域流入量の観測値を用いた。各地点における流量を図-6に示す。実線は岡崎らによる観測結果であり、点線は観測値の無い洪水初期と終息期において観測値を補間した値である。洪水開始の10日8時から洪水継続時間176時間後の17日16時までの計算を行った。下流端は日本海側であり自由流出とした。

(2) 計算結果および原始状態の石狩川氾濫形態

平面2次元計算の結果を図-7に示す。図-7は浸水深のコンタ図を示している。図中のピンクおよび黒のパーティクルはそれぞれ石狩川本川および夕張川から流入する水の流れを表している。

図-7の左図は45時間後(12日5時)の氾濫の状況である。中上流部の氾濫範囲が最大で、洪水のピーク時と考えられる。図-2の氾濫図と比較すると、浸水範囲はほぼ一致しており、再現計算は妥当だと考えられる。この時点では夕張川からの流れは石狩川に流下できず千歳川へ逆流している。夕張川流域(現在は千歳川流域)は標高が比較的低く、洪水流は滞留しさらには石狩川からも逆流する地域である。中央の図は60時間後(12日20時)の氾濫の状況である。左図から15時間経過し、中流部の氾濫域は減少しているのに対し、下流部では氾濫区域が拡大している。夕張川の洪水流は依然石狩川へ合流できず逆流している。右図は176時間後(17日16時)の氾濫の状況である。石狩平野への洪水流の流入は殆どなく、下流部の氾濫域も減少しているが夕張・千歳川流域ではまだ氾濫が続いている。この地域は現在の千歳川中下流部であるが、標高が低く現在も水害を受け易い地域になっている。

5. 1909年作成の治水計画と捷水路工事の効果

(1) 石狩川治水計画調査報文⁹⁾

1904年(明治37年)洪水観測後、1909年に石狩川の初めての治水計画が「石狩川治水計画調査報文」として岡崎文吉により策定された。計画は江別より下流部の蛇行部分を直線で掘削する放水路方式とし、低水時の航路維持と排水機能維持のために従来の河道を維持するものであった。放水路方式が提案されたのは現状の河道を残すため工事が少なく経済的で、かつ当時重要な交通手段であった舟運の航路を維持するためとされている。しか

図-7 1904年(明治37年)洪水再現計算結果

図-8 石狩川の第一期捷水路工事箇所

し、1917年に岡崎は高水工事について図-8に示すように、放水路方式から捷水路方式へと計画を変更した。「放水路と在来水路の2条の維持は、防御線の延長が増加し、将来の維持の係累上、直流式が永遠の利益となる」⁹⁾ことを理由としている。

1918年に石狩川で初めての本格的な治水工事が最下流部の生振捷水路から開始され²⁾、第1期工事として1933年までに下流部の5捷水路が通水した。放水路案および第1期工事箇所を図-8に示す。河口から対雁地点まで46kmの河道延長を24kmに短縮した。

(2) 下流部捷水路工事の効果

これら5ヶ所の捷水路工事の効果を具体的に明らかにするために前章と同様に平面二次元氾濫流解析を行った。前章で用いた計算格子に対して捷水路工事で掘削された箇所と捷水路沿の築堤部を格子データに反映させた。石狩川上流部や支川からの流入量、氾濫原の粗度等は再現計算と同一の値を用いた。

図-9に洪水開始から45時間後（12日5時）および60時間後（12日20時）の氾濫状況を示す。図-7と比べると、捷水路区間左岸側（札幌市北部）で著しく氾濫域が減少している。これは後述するように捷水路による排水効果と築堤による直接的な効果であると考えられる。また夕張川の氾濫地域については捷水路工事後も大きな変化はみられない。しかし、図-9では洪水開始60時間後の時点で既に夕張川からの洪水流が石狩川本川に合流しており、夕張川の氾濫流が本川へ流れ込むタイミングが大幅に早くなっていることがわかる。第一期捷水路工事終了間際の1932年洪水の浸水図（図-10）を1904年洪水（図-2）と比べると、この地域では氾濫域が大きく減少している。

次に、生振と江別地点の水位変化について捷水路工事前後の比較を図-11に示す。図より捷水路工事区間直上流の江別地点では工事後に最大水位の値が低下しただけでなく流量減少時に工事前と比べて大幅に水位が低下しており、そのため氾濫流が本川に流れ込むタイミングが早まっていると考えられる。具体的には捷水路工事前後

図-9 捷水路工事後の氾濫状況（計算結果）

図-10 1932年洪水氾濫域図

図-11 江別・生振地点の水位の比較

どちらの計算においても江別付近での水位が約8.2mまで低下すると夕張川流域の氾濫流が本川に流れ込み始める結果となっており、捷水路の効果で本川の水位低下が大幅に早まり、これに対応して図-9に見られるように氾濫流の終息も早まる過程が合理的に再現されている。本研究の計算によると、夕張川流域から氾濫流が本川に流れ込み始める時刻は捷水路工事前後で約12時間短縮されるという結果となった。また、江別付近の地盤高さがおよそ7m位であり、図-11をみると、この付近で水位が7mに低下するまでの時間が工事前後で50時間程度も短縮されていることがわかる。

また、生振地点では捷水路によりピーク到達時間が早くなり、ピーク水位も0.3m上昇している。このピーク位の上昇に対しては捷水路掘削と同時に行われた築堤により氾濫が抑制された影響であると考えられる。したがって、捷水路対象区間の左岸側で氾濫域が減少したのは工事における築堤の効果であると考えられる。また、ピーク後は大きく水位が低下し洪水継続時間が大幅に短縮しており、前出と同様に上流および周辺の洪水の終息を早める効果のあることがわかる。

6. 最初の治水計画による捷水路工事の波及効果

石狩川初の治水計画による捷水路工事が流域にどのような効果を及ぼしたのか考察を行った。図-12に治水事業開始以前の1904年洪水の氾濫域、捷水路、札幌の治水事業開始以前の住宅地域、現在の住宅地域を示す。

札幌は石狩川の氾濫を避けるように南側の豊平川の扇状地の扇央から開拓が始まった。扇央より南は山地であり可住地は狭小で、北部は図に示すように低平かつ石狩川の氾濫地域であり開発は困難であった。1887年に南西部山地からの洪水流入を避けるために①新川(図-12中)が開削された。しかし北部低平地への石狩川からの氾濫は解消できなかった。石狩川の②捷水路工事は、前章に示すように石狩川左岸の札幌北部の氾濫を大きく減少させる効果があった。さらに1941年には水位の低下した捷水路上流部に合流する③豊平川新水路が開削され豊平川からの氾濫が解消される。その結果、札幌北部低平地は豊平川流域から切り離され、札幌の中小河川は洪水時でも水位の低い石狩川旧川に流下することとなり、治水安全度は大幅に向上し北部に宅地が広がった。さらに1982年には旧川と日本海を結ぶ④石狩放水路が完成し、札幌北部は完全に石狩川流域から切り離され、直接日本海に注ぐ独立した流域となった。これにより札幌北部における洪水時水位は一層低下し、札幌北部は洪水に強い地域となった。石狩放水路完成後、宅地の進出は促進され、現在では道都札幌の発展を支える地域となっている。最初の治水計画による捷水路工事の波及効果と考えられる。

図-12 札幌市の発展

7. おわりに

本研究では、石狩川治水事業初期に行われた捷水路工事の効果について氾濫現象への影響を検討するために、岡崎文吉らによる1904年(明治37年)洪水の観測結果を再度整理し、平面二次元不定流計算によって原始状態の石狩川流域における氾濫形態を良好に再現するとともに、治水事業初期に行われた下流部捷水路工事の氾濫形態変化に対する影響を検討し、捷水路工事によって氾濫流を早期に流下させるという効果を具体的に示した。また、この捷水路工事のその後の治水事業に対する波及効果を考察した。1898年洪水時の石狩川流域の人口は30万人であったが、2010年には313万人とほぼ10倍にまで発展している。1世紀以上も前に策定された初期の治水計画が流域の発展の基礎となったものと評価できる。

参考文献

- 1) 北海道開発局：石狩川治水の曙光-岡崎文吉の足跡-，北海道治水技術研究会，1990。
- 2) 石狩川治水史編集委員会：石狩川治水史，北海道開発協会，pp211，1980。
- 3) 品川守，館谷清，山口甲：捷水路による洪水氾濫と洪水流の変化 土木学会水工学論文集第36巻，1992
- 4) 気象庁：天気図，JMA WEATHER CHARTS Vol.02，2005。
- 5) 石狩川開発建設部：石狩川の流れ，2000。
- 6) 坂本直寛，他2名：石狩川
- 7) 治水請願書，1905年11月。
- 8) 田中甫幸，清水康之，木村一郎，岩崎理樹：札幌市における河道改修と氾濫形態の変化，水工学論文集第55巻，pp895-900，2011。
- 9) 岡崎文吉：石狩川治水計画調査報文，1909。
- 10) 山口甲，品川守，関博之：捷水路，北海道河川防災センター，1996。

(2011.9.30受付)