

石狩川の明治37年7月洪水における岡崎文吉の洪水量算定とその評価について

正会員 北海道開発局 品川 守

正会員 北海道大学工学部 山田 正

学生員 北海道大学大学院 豊田康嗣

On the Inversely Estimated Peak Discharge of 1904 Flood Event in Isikari River
by Okazaki and Effects of Short Cut on the Formation of Hydrograph.

by Mamoru Shinagawa

Tadashi Yamada

Yasushi Toyoda

概 要

石狩川の治水事業は、明治43年に北海道第1期拓殖計画の中でその緒について以来、平成2年で満80周年を迎えた。北海道治水調査会の委員として石狩川の治水に関する調査を任された岡崎文吉(当時道庁技師)は、明治37年7月洪水時に、石狩川各地点で詳細な水位観測を行った。その結果を基に岡崎は独自の計算手法を用いて、将来石狩川で河川改修工事が施工され、氾濫が抑制された場合、石狩川下流対雁(現在の石狩大橋観測所付近：河口より27km)地点における洪水量として約30万立尺($8,350\text{m}^3/\text{s}$)を算出している。この $8,350\text{m}^3/\text{s}$ という流量は、昭和36、37年の集中豪雨に伴う昭和41年の工事実施基本計画の策定(石狩大橋地点で $9,000\text{m}^3/\text{s}$)が行われるまで、実に半世紀以上にわたり石狩川の治水事業の根幹として、河川改修を進める上での重要な指標となってきた。水理学、河川工学の黎明期である80年もの前に、そのような計画流量を算出した経緯を詳細に検討するとともに、本研究はその算出方法とその結果について現代的な観点から考察を行うものである。さらに本研究は、現代的な洪水流出計算手法により、明治37年7月洪水の氾濫が防止された場合で流量計算を試みる。一般に今日用いられているような流出解析手法では降雨量、降雨分布がモデルのパラメータを決定する重要な構成要素となっている。しかしながら明治37年当時、石狩川流域で時間雨量を観測していたのは札幌だけであり、総降雨量を観測していたのは札幌と上川(現在の旭川)だけである。従って一般的な現代手法では、明治37年の洪水流量の有意義な検討は難しいと判断し、ここでは降雨特性によらないモデルを新たに考案しこれを用いることにする。(明治時代、岡崎文吉、捷水路)

1. 洪水量 $8,350\text{m}^3/\text{s}$ の算定

北海道治水調査会発足後、岡崎文吉は石狩川における洪水時の水位観測体制を敷いて出水に備えていたが、明治37年7月、台風の通過に伴う大洪水が起こるとさっそく広範囲な氾濫領域において詳細な水位観測を行った。岡崎はその結果を基に「石狩川治水計画調査報文」⁴⁾を取りまとめて北海道長官に提出している。その中で、彼は独自の計算手法により、石狩川において、河川改修工事が施工され、氾濫が

抑制された場合、石狩川下流での将来洪水量の算定過程を記述している。この他、大正4年に土木学会誌に掲載された岡崎の論文「原始的河川の処理について」⁵⁾、また大正4年に岡崎によって出された「治水」⁶⁾にもその記述がみられる。

ちなみにこれと同じ時期の利根川における明治43年洪水のいくつかの算定は $11,000\sim 14,000\text{m}^3/\text{s}$ という結果がでている^{15) 16)}。しかし財政難などの理由

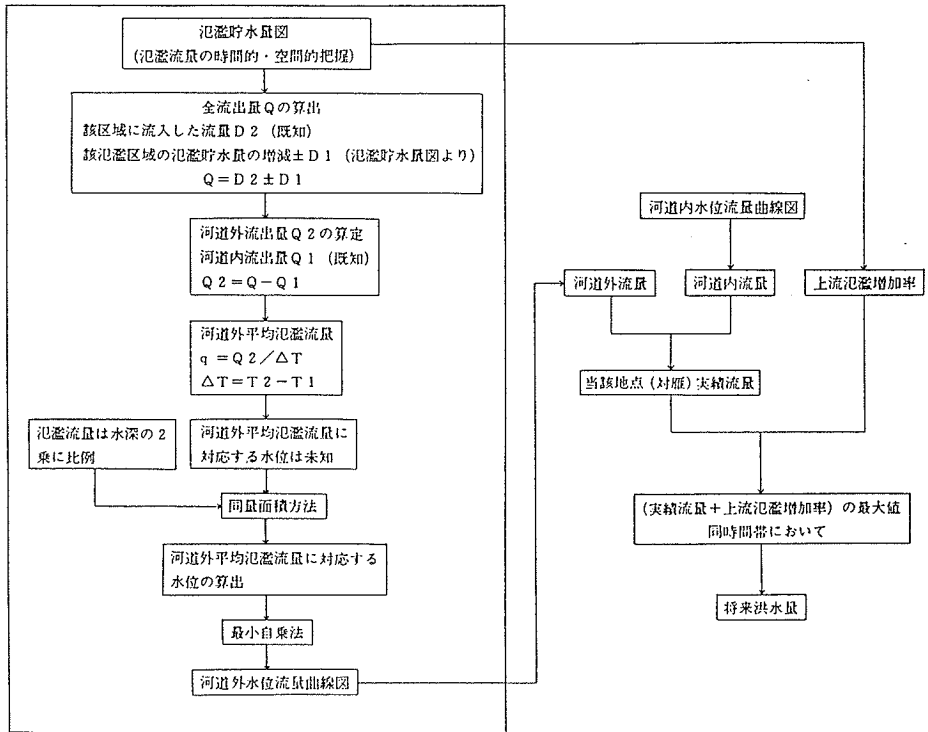


図-1.1 岡崎文吉による将来洪水量算出フローチャート

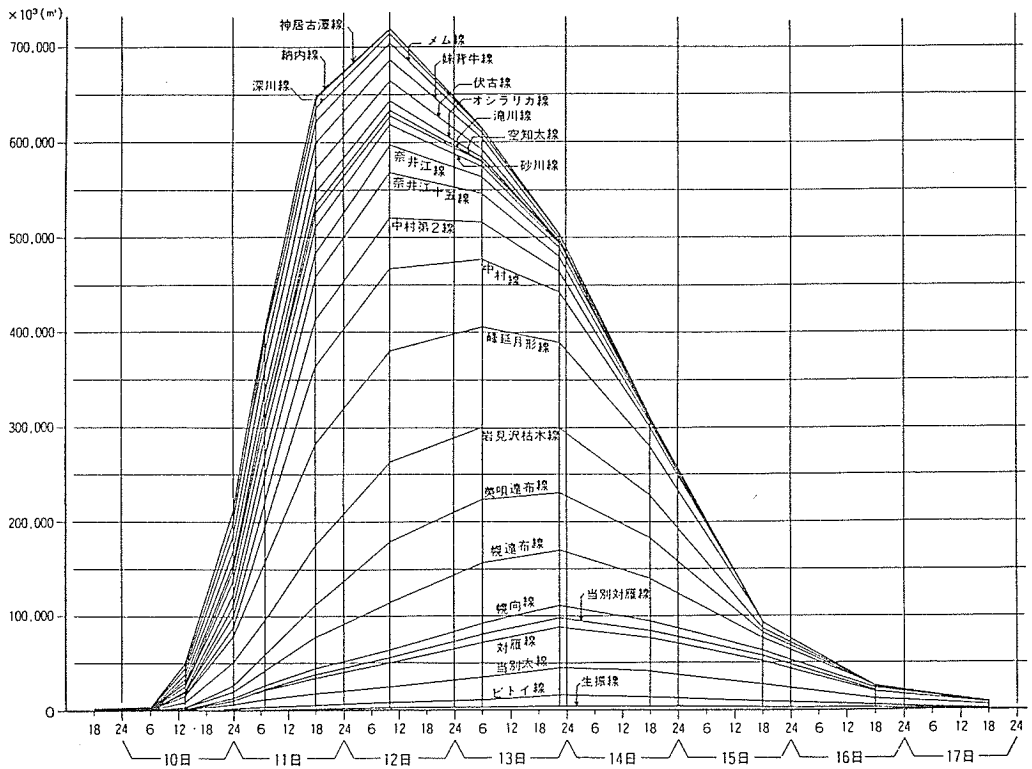


図-1.2 明治37年7月洪水時石狩川河道外氾濫量図表

により途中の氾濫量を無視した実測値を基に5570m³/sという低い計画高水量を決定せざるをえなかったようである¹⁵⁾¹⁶⁾¹⁷⁾。また他の河川においても計画高水量を決定する際は実測値を基に決定していたようである¹¹⁾¹²⁾¹³⁾¹⁴⁾。

ここで本研究で紹介する岡崎文吉による将来の洪水水量算出は、先述した水位観測結果から得られた氾濫実績流量のみを用いた彼独自の手法であった。岡崎はこの手法を用いるにあたり、様々な仮定と考察を行っているが、ここに彼が将来の洪水水量を算出するにあつたの計算過程を図-1.1に示す。

明治37年当時の石狩川は、河川改修はほとんど行われておらず、低平湿地帯の中を蛇行と短絡を繰り返す原始的河川として悠々と流れていた。このためひとたび洪水が起これば、低平地一帯に広範囲に浸水を繰り返していた。ちなみに明治37年7月洪水時における氾濫面積は1,239km²であり²⁾、一瞬にして石狩平野に琵琶湖の1.85倍もの大きさの巨大湖が出現していたことになる。このとき岡崎はこの氾濫水も全体として流速を持つことを確認しており、図-1.3に示すように、原始的河川における全洪水流量を河道内流量と河道外氾濫流量とに分けて考えている。河道内流量については、水位～流量曲線を作成すれば、水位から流量が簡単に求められる。一方河道外氾濫流量については、観測が極めて困難であるため、水位から直接流量が算出できない。そこで岡崎は図-1.3の斜線部で示される区間貯水量という考え方を導入している。この区間貯水量とは、河道をいくつかの区間に分け、その区間毎にある瞬時に存在する河道外氾濫流量のことであり、水位観測から算出される区間上下両端の河道外流下断面積を平均し、横断区間の距離を求めて乗じるものである。ところで、

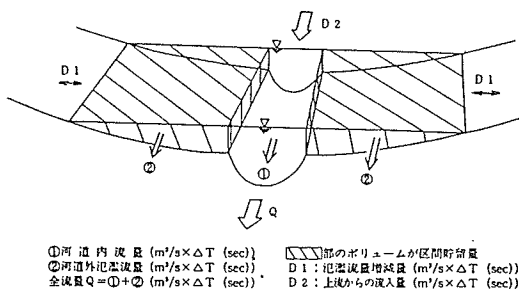


図-1.3 洪水時の流化モデル

氾濫が抑制される場合の計算においては、区間貯水量の増加は、その時刻に流下している河道外氾濫流量とは別に全流量に加えるべき量である。ここで岡崎は図-1.2に示すような各観測区間の区間貯水量を下流(河口)から順次上流(神居古潭)まで累加してその時間的変化を示す氾濫貯水量図を作成している。これは直ちに氾濫貯水全量がわかるだけでなく、任意の横断面間における任意の時刻の区間貯水量を求めることが出来るものである。最終的に岡崎は、同時刻における河道内流量、河道外氾濫流量および河道外氾濫流量の増加量の3つの量をたしあわせ、その最大値となるものを将来洪水水量として計算を試みている。ここで未だ分からないのは河道外氾濫流量のみであり、岡崎はこれを区間貯水量の時間的変動量と連続式によって、間接的に求めることを試みている。ある時間間隔($\Delta T = T_2 - T_1$)内での流量について考えてみると、図-1.3に示すように区間貯水量の増減量をD1、上流本支川より対象区間に流入した河道内外の全流量をD2とすると、対象区間の全流出量Qは

$$Q = D_2 \pm D_1 \quad (\text{m}^3/\text{s} \times \Delta T) \quad (1)$$

ここで、D1の+符号は氾濫量減少、-符号は氾濫量増加である。なおD2は氾濫の起こらない上流(神居古潭)の河道内流量を境界条件とすれば、上流区間から下流区間へと順次計算することによって求めることが出来る。この全流出量Qから既知の河道内流量Q1を差し引けば、対象区間における河道外氾濫流量Q2が次式によりもとまる。

$$Q_2 = Q - Q_1 \quad (\text{m}^3/\text{s} \times \Delta T) \quad (2)$$

そしてQ2を ΔT で除すれば、単位時間当りの氾濫流量がもとまる。

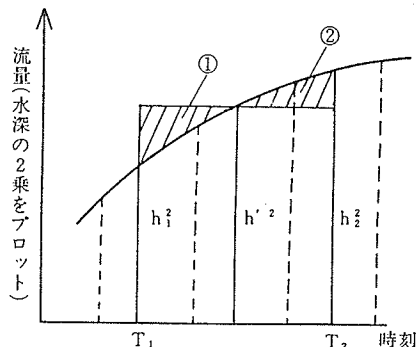


図-1.4 同量面積面積図法の概念

$$q' = Q2 / \Delta T \quad (\text{m}^3/\text{s}) \quad (3)$$

この q' に対応する水深 h' は未知数であるので、河道外氾濫流量の水位～流量曲線を作成する前に、「河道外流下断面が放物線形である」という仮定を用いる。これはシェジャーの流速式を使うと「流量が水深の2乗に比例する」ことと同じ意味になる。次にある時刻 $T1$ 、 $T2$ における観測水深 $h1$ 、 $h2$ の2乗が、そのときの流量に比例する量として、図-1.4に示すようなグラフを描く。この図における①と②の面積が等しくなるようにして求めた h' を $\Delta T = T2 - T1$ における平均氾濫流量 q' に対応する水深を定めている。この方法を岡崎は「同量面積法(等価面積法)」と呼んでいる。このようにして求めた $h' \sim q'$ 関係から河道外における水位～流量曲線を作成し、これを基に洪水時の河道外氾濫流量を求める。

岡崎は、以上のように求めた同時刻における河道内流量、河道外氾濫流量、河道外氾濫流量の増加量の最大値を、将来の洪水量として求めている。いくつかの時間帯における計算の結果、7月10日24時から翌11日7時までの時間帯で最大の流量が得られる。河道外氾濫貯水量の増加量は図-1.2から

$$\frac{(405232211-212350027)-(23080488-11047800)}{7(\text{hour}) \times 3600(\text{sec})} = 7,177 \text{ (m}^3/\text{s)} \quad (4)$$

と求められる。また岡崎は河道外氾濫貯水量の増加量のうち浸透蒸発量として12%を見込んでいる。これを差し引くと

$$7,177 \times (100-12)/100 = 6,315 \text{ (m}^3/\text{s)} \quad (5)$$

となる。このときの対雁地点の同時時間帯における河道内流量が $1,966 \text{ m}^3/\text{s}$ 、河道外氾濫流量は $0 \text{ m}^3/\text{s}$ となっている。よってこの値を(5)式に加算すると

$$1,966 + 0 + 6,315 = 8,281 \text{ (m}^3/\text{s)} \quad (6)$$

が得られる。ところで岡崎文吉は当時立尺(1立尺=0.02782 m^3)で計算しており、(6)式を立尺に直すと、29万8千立尺/秒となり、これを約30万立尺/秒とまとめて算定している。30万立尺/秒を換算すると $8,350 \text{ m}^3/\text{s}$ が得られるわけである。

2. 明治37年7月洪水の再現計算

明治37年洪水の降雨状況は現存する資料としては気象台観測の図-2.2と図-2.4に示す札幌、上川(現在の旭川)の2地点しかない。よって当時の降雨状況に似通った近年の降雨例を探しだし、これをもとに詳細な降雨特性を推定することを試みた。

ここで図-2.1は明治37年7月洪水をもたらした台風の経路と昭和50年8月洪水をもたらした台風の経路を比較した図である。この図よりこれら2つの台風は共に本州を縦断する形で進行し、北海道南部から東部を襲っている。しかも両者の中心気圧は殆ど一致していることがわかる。これら2つの台風によってもたらされた札幌、上川のハイトグラフを図-2.2から図-2.5に示す。図-2.2と図-2.3から両時代の洪水をもたらした札幌の降雨の経過の類似点をを以下にまとめる。

- ① 雨の降り始め：明治37年、昭和50年ともに、台風が四国沖に進んだ頃。
- ② 一つ目の降雨のピーク(気圧の谷や寒冷前線による降雨)：台風が紀伊半島(明治37年)、四国(昭和50年)に上陸する頃。
- ③ 二つ目の雨のピーク(台風による雨)：明治37年、昭和50年ともに台風が北陸から東北へ通過する頃。

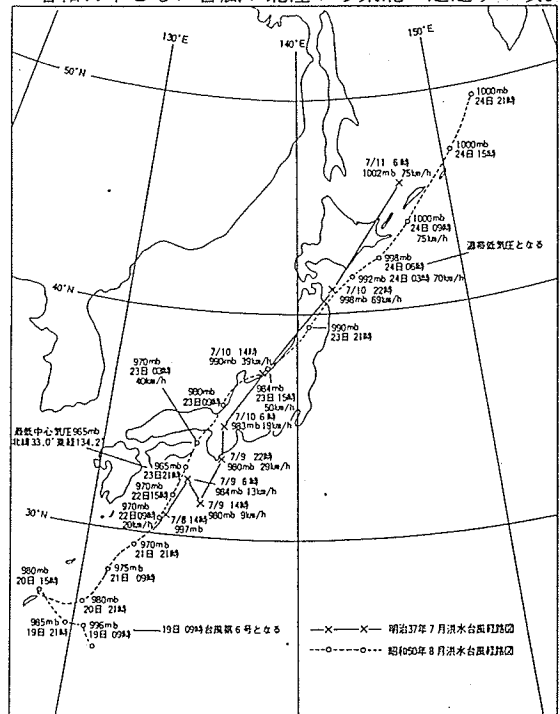


図-2.1 台風経路図(実線明治37年、破線昭和50年)

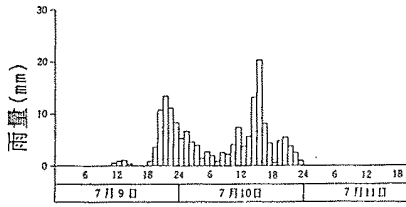


図-2.2 札幌 明治37年7月洪水時ハイレトグラフ

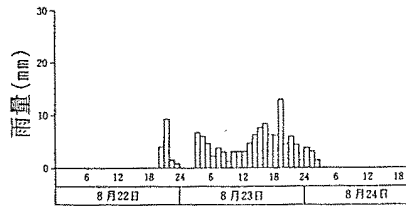


図-2.3 札幌 昭和50年8月洪水時ハイレトグラフ

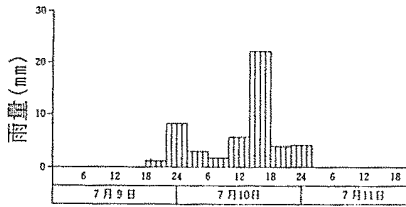


図-2.4 旭川 明治37年7月洪水時ハイレトグラフ(4時間平均)

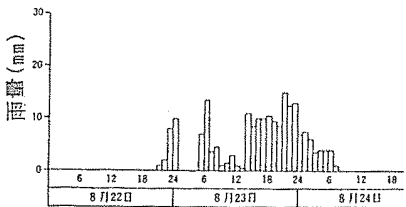


図-2.5 旭川 昭和50年8月洪水時ハイレトグラフ

- ④ 雨の終わり：明治37年、昭和50年ともに台風が襟裳岬から北海道東部に進む頃。
- ⑤ 雨の継続時間(時間雨量0.5mm以上の雨)：明治37年は34時間、昭和50年は30時間。
- ⑥ 最大時間雨量：明治37年は20.4mm、昭和50年は17.0mm。
- ⑦ 総降雨量：明治37年は176.7mm、昭和50年は174.5mmである。

これらのことから明治37年7月の降雨と昭和50年8

月の降雨はほぼ同じ特性を有していると考えられる。よって明治37年7月洪水の再現計算に用いる水理パラメーターの同定や支川のハイドログラフに関しては水位等が観測が十分になされている昭和50年8月洪水を用いることにした。

2.1 計算式の誘導

河川の流量計算にあたっては、以下の二つの式を基本式とする。

連続式

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q \quad (7)$$

運動の式

$$\frac{\beta}{g} \frac{\partial v}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\alpha v^2}{2g} \right) + \frac{\partial H}{\partial x} = - \frac{n^2 v^2}{R^{4/3}} \quad (8)$$

ここに、Aは川の流水面積、Qは流量、qは単位幅当りの横(支川)流入量、vは流速、Rは径深、Hは水位、nはマンニングの粗度係数、αはエネルギー係数、βは運動量補正係数である。

一般には、上記の2式を連立させて計算を行うのが、石狩川ほどの長大河川になると、その計算量は膨大なものとなる。したがって、ここでは計算精度を落とすことなく上記2式を変形した(9)式を用いる⁷⁾。

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{dQ}{dA} \frac{\partial Q}{\partial x} = \frac{Q}{2Bi} \frac{\partial^2 Q}{\partial x^2} + \frac{dQ}{dA} q \quad (9)$$

ここに、(9)式の左辺第2項と右辺第2項のdQ/dAは、次式で与えられる。

$$\begin{aligned} \frac{dQ}{dA} &= \frac{dh}{dA} = \frac{2a(H-b)}{B} \\ \frac{dQ}{dA} &= \frac{2a}{B} \sqrt{\frac{Q}{a}} = \frac{2\sqrt{aQ}}{B} \end{aligned} \quad (10)$$

(10)式の導出では、水位～流量曲線 $Q=a(H-b)^2$ を各観測地点で用いる。なお、河川の横断面は一般には複雑な形状をしているが、本計算では計算簡略化のため、全て長方形断面として扱う。このとき $dA/dh=B$ となり、(9)式は次のように変形される。

$$\begin{aligned} \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{2\sqrt{aQ}}{B} \frac{\partial Q}{\partial x} &= \frac{Q}{2Bi} \frac{\partial^2 Q}{\partial x^2} + \frac{2\sqrt{aQ}}{B} q \end{aligned} \quad (11)$$

(11)式は、今までの流量計算式とは違って、従属変数がQだけであり、左辺に非線形移流項をもつKinematic wave式に、右辺第1項の非線形拡散項、第2項に横流入項を付け加えたものとなっており、この

ここで支川流量をを式(11)に横流入させるには、図-2.9に示す石狩川本流20km毎が分担する流域面積図を用いる。これは一種の集中面積図を示すものであり、各区間の横流入量はこの図の流域面積図に単純に比例するものとする。

なお計算は、河口より上川地点までの200km区間を計算対象とした。

2.3 明治37年7月洪水の再現計算

明治37年7月洪水の再現計算にあたって、地理的条件は次のように仮定する。

- ① 河川幅は昭和50年洪水の再現計算で用いた値と同じにする。
- ② 河床勾配は捷水路で短くなった分、元の長さに戻して調整する。
- ③ 水位～流量曲線 $H \sim Q$ 式中の係数 a は、以下の様に考える。

現在の河床勾配、河川幅、マンシングの粗度係数をそれぞれ、 i 、 B 、 n とすると現在の流量は、次式で計算される。

$$Q = \frac{1}{n} h^{2/3} i^{1/2} A$$

$$= \frac{B}{n} h^{5/3} i^{1/2} \doteq a h^2 \quad (12)$$

明治37年当時の河床勾配、河川幅、粗度係数をそれぞれ i_0 、 B_0 、 n_0 とすると、明治37年の流量は同様に

$$Q_0 = \frac{B_0}{n_0} h^{5/3} i^{1/2} \doteq a_0 h_0^2 \quad (13)$$

上記の仮定 $Q = Q_0$ 、 $h = h_0$ 、 $B = B_0$ 、 $n = n_0$ から次式を得る。

$$a_0 = \left(\frac{i_0}{i} \right)^{1/2} a \quad (14)$$

すなわち、係数 a_0 は現在の値 a と現在及び明治時代の河床勾配より求められる。

なお、豊平川、夕張川、幾春別川及び美唄川などの流路付け替えを行った河川については、本川への横流入量を改修前の値に戻して計算を行った。

2.4 計算結果

図-2.10は、氾濫を抑制したと想定した場合の現在の雁来地点(ほぼ石狩大橋地点:河口より27km)における明治37年7月洪水のハイドログラフである。

再現計算の結果、現在の石狩大橋地点におけるピーク流量値は、 $8,350 \text{ m}^3/\text{s}$ となった。

岡崎文吉は明治37年7月洪水の観測に基づき、対雁地点(現在の石狩大橋地点に相当)における将来の洪水流量を約 $8,350 \text{ m}^3/\text{s}$ と算定している。一方、現代の水理学的手法を用いて算出した洪水流量は、 $8,150 \text{ m}^3/\text{s}$ である。したがって、岡崎文吉による洪水流量の算定は現在からもみて十分妥当なものであり、彼の優れた独創性と先見性がうかがえるといえよう。

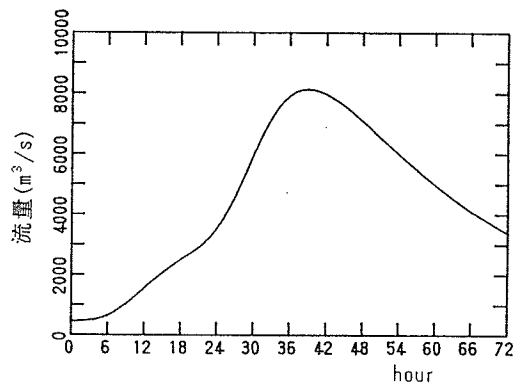


図-2.10 明治37年7月洪水再現結果(対雁地点)

4. おわりに

本論文は石狩川の治水に大きな貢献をなした岡崎文吉の多くの業績のなかで計画流量の算出方法の検討を中心にまとめたものである。今後は石狩川流域の発展に与えた治水事業の成果を水理学的な観点からより詳細に検討してみる予定である。

謝辞

本論文の著者の一人山田は、重点領域研究(1)「気象解析とレーダ雨量計を補完的に組み合わせた豪雨災害の予測手法に関する研究」の代表であり、本研究の遂行にあたりこの補助をうけている。これに対し著者らはここに深湛なる感謝の意を表する。

参考文献

- 1)石狩川治水の曙光—岡崎文吉の足跡—,北海道開発局,1990.
- 2)石狩川治水史,北海道開発局石狩川開発建設部,(財)北海道開発協会,1990.
- 3)館谷清・山口甲:北海道の治水,(財)北海道河川防災研究センター,1987.
- 4)岡崎文吉:石狩川治水計画調査報文,1909.
- 5)岡崎文吉:原始的河川の処理について,土木学会誌,第一卷第六号,1915.
- 6)岡崎文吉:治水,丸善,1915.
- 7)椿東一郎:水理学Ⅱ,森北出版,1974.
- 8)昭和50年洪水報告書,北海道開発局建設部河川計画課,1976.
- 9)昭和56年洪水報告書,北海道開発局,(財)北海道開発協会,1982.
- 10)石狩川河道変遷調査付図,科学技術庁資源局資料第36号,1961.
- 11)物部長穂:水理学、岩波書店、1933.
- 12)宮本武之輔:治水工学、修教社、1936.
- 13)安芸皎一:河川工学、共立出版、1952.
- 14)信濃川百年史、建設省北陸地方建設局、(社団法人)北陸建設弘済会、1979.
- 15)利根川百年史、建設省関東地方建設局、利根川百年史編集委員会,(財)国土開発技術研究センター、1987.
- 16)大熊孝:洪水と治水の河川史、平凡社、1988.
- 17)松浦茂樹:国土の開発と河川、鹿島出版会、1989.
- 18)山田正・豊田康嗣:洪水流出の基本的特性とハイドログラフの基本的特性に関する研究、土木学会北海道支部論文報告集、1990.
- 19)山田正・豊田康嗣:洪水におけるハイドログラフの特性とその形成過程に関する研究、水工学論文集第35巻、1991.