【土木史研究　第15号　1995年６月　審査付論文】

江戸期の旭川河川改修の水理学的意義に関する実験的検証*

Experimental Study on River Improvement for The Asahi River in Edo-era

今本博健**・石垣泰輔***・馬場康之****・田中尚人****

By Hirotake IMAMOTO, Taisuke ISHIGAKI,
Yasuyuki BABA and Naoto TANAKA

Abstract

The Asahi river is the big river in Okayama prefecture. The Hyakkenn river is the flood control channel which was constructed in Edo-era for preventing the castle town of Okayama from flood disasters. Mr. Banzan Kumazawa and Nagatada Tsuda were river engineers and they planned river improvement works. In this paper the river improvement works are investigated by using a hydraulic model of which scales are 1/500 in horizontal and 1/200 in vertical. The works were a river channel work and a diversion work with fuseplug levee. From the results it is concluded that these works are effective for preventing the castle town from floods.

1　はじめに

旭川の放水路として用いられている百間川は、江戸期に岡山城下を洪水の被害から守るために作られたものであり、藩主池田光政の時代に熊沢蕃山・津田永忠らの治水論に基づいて施工された。当時の百間川は洪水時に荒手と呼ばれる横越流堰から旭川の洪水を分流し、岡山城下を守る機能を担っていた。近年、百間川の整備計画実施に伴って二の荒手と呼ばれる堰が発見されたが、その水理機能に関しては不明な点が多い。本研究は、歴史資料に基づいて旭川と百間川の河道模型（水平縮尺　1/500、鉛直縮尺1/200）を作成し、江戸期の河川工事について実験的検討を行ったものである。河川工事として、「慶長の付替」、「寛文の築造」、「貞享の築造」および「元禄の築造」が行われたが、本研究では、治水面からは不自然な河道法線を用いた「慶長の付替」工事の水理学的意義および、百間川分流工として用いられた荒手の水理機能を解明することを目的に水理模型を作成し、「元禄の築造」を除く三工事について実験的検討を行った。

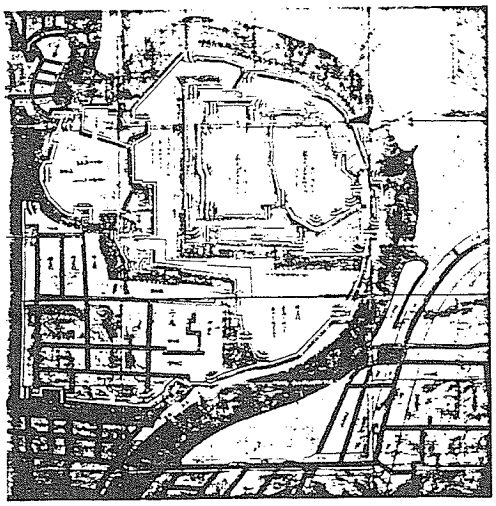
2　江戸期の旭川改修[1)-3)]

岡山の３大河川の一つである旭川は、南北に長い流域を有し、下流部で岡山平野を形成して児島湾に注いでいる流域面積1800km^2 、流路延長142kmの河川である。ここでは、江戸期に行われた旭川改修の概要について述べる。

(1) 慶長の付替

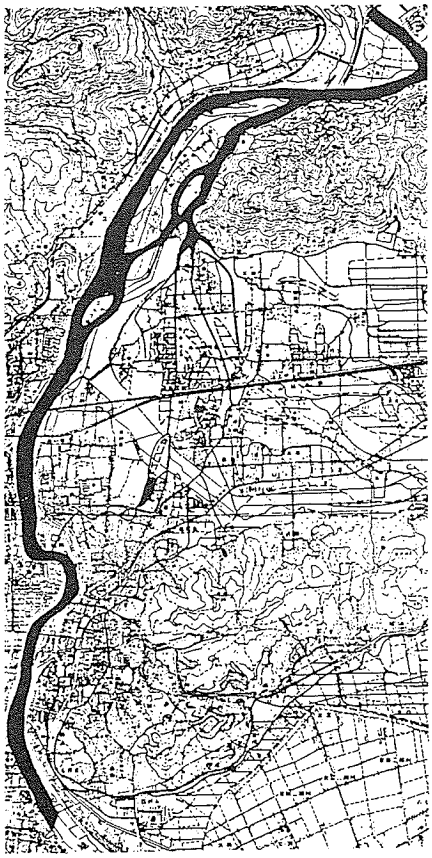
旭川は山地部を抜けた後、流路を度々変えて岡山平野を形成していった。安土桃山時代後期の1590（天正18）年～1597（慶長２）年の８年をかけた宇喜多秀家の岡山城大改修によって、図－１に示すように

* keywords：江戸期旭川、河川工事、水理模型実験
** 正会員　　工博　京都大学教授防災研究所
*** 正会員　　工博　京都大学助教授防災研究所
****学生会員　工修　京都大学大学院
（〒612 京都市伏見区横大路下三栖）

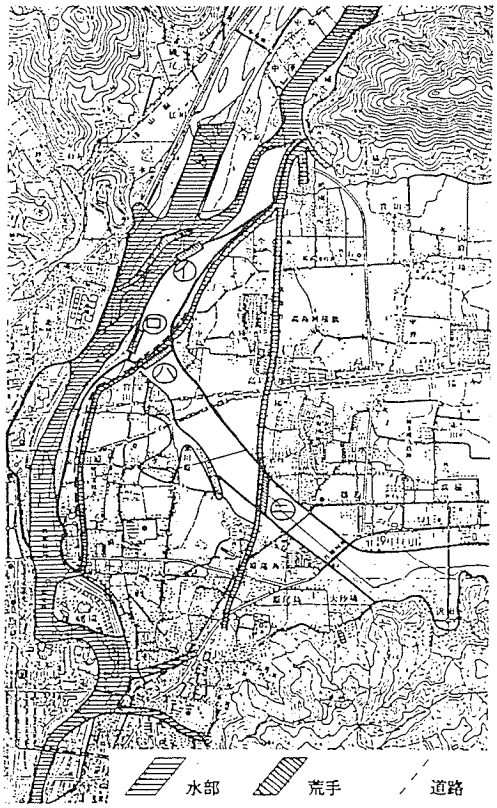


備前国岡山城絵図　池田家文庫
岡山大学付属図書館所蔵

図－1　岡山城絵図（百間川小史[1]より）

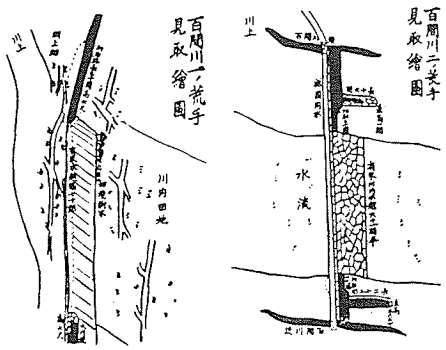


図－2　上道郡図の復元（百間川の歴史[3]より）



「旭川東部絵図」を地形図上に比定したもの

図－3　貞享の築造復元図（河川改修と新田開発[2]より）



文化11年(1814)作成の見取り絵図で、この年、百間川の改修案が出されたが、実現には至らなかった。
西原金蔵著「旭川改修と古人の偉業」
（岡山市立図書館所蔵）より

図－4　「一の荒手」，「二の荒手」の構造（百間川小史[1]より）

旭川の流路を岡山城の北面に衝突させ、東側から南側へと不自然に迂回する河道に付け替えられた。これは、岡山城を要害化するための戦略上の河川工事であったが、水理学的に見ると、川幅も狭く、極端な彎曲形状は、疎通能力の減少および抵抗増加に伴う水位上昇を招く事は明らかである。また、上流の美作で行なわれた砂鉄採取による河床の上昇と相まって、承応の洪水(1654年)などの大水害を引き起こすこととなった。

(2) 寛文の築造

江戸時代に入り、池田光政の藩政時代に熊沢蕃山および津田永忠らによって治水対策がなされ、百間川分流が実施された。この治水対策は、熊沢蕃山の考案した「川除けの法」に基づくものであり、越流堤と放水路を組み合わせた方法である。すなわち、一定量の流れを引き寄せて荒手より余量を放水路に出そうとする積極的な治水工法である。荒手の築造は、1669～1670（寛文９～10）年と1686（貞享３）年の２期に行なわれた。寛文期の築造は、図－２の上道郡図を現地に比定した図において、旭川と百間川の分流点に現存する「一の荒手」の付近に越流幅360間の荒手を築造する計画であったが、資料が乏しく、不明な点が多い。また、荒手の高さについても、当初「京橋の雁木の上二段目を残すまで増水したとき、洪水が越流し始める」と設計されたが、着工に当たり、「京橋の雁木四つが水上に見えるときの水位が、さらに三尺増したとき、洪水が荒手を越流する」ように変更されたという記録が残っているが、具体的な高さなどは不明である。

(3) 貞享の築造

その後、一時は城下における洪水の被害は軽減されたが、美作の砂鉄採取の影響で河床が上がり、再び城下が洪水に見舞われることとなった。これに対し、寛文期の築造にも係った津田永忠が、治水と新田開発という矛盾する命題に直面したが、城下の水害防御のために荒手を築造し、大水のときには百間川に分流する計画を立てた。実際の施行は、田坂与七郎と近藤七郎があたり、三段方式の荒手に築き直した。当時の工事の完成図と思われるものが池田家文庫に残されており、地形図に比定したものが図－３である。図中のイが現在の「一の荒手」、ハが「二の荒手」、ニが現存しない「三の荒手」を示している。

「百間川小史」によると、「三段方式の荒手の仕組みは、旭川の水量が増すと、まず「一の荒手」が切れ、「一の荒手」と「二の荒手」の間に一時貯留され、土砂を沈殿する。さらに水量が増すと、「二の荒手」「三の荒手」を越えて百間川に流入する方式であり、百間川への流送土砂を抑制するとともに、流速を抑え、下流の被害も軽減させるものである」と記されている。荒手の構造は、図－４の見取絵図「文化11年(1814)作成」に示されているように、「一の荒手」は70間の幅であり、「二の荒手」は61.5間の亀甲積み部分を有する100 間幅の越流堤と左右両岸に設けられた導流堤からなっている。また、「一の荒手」は旭川堤より１尺低くされたとなっている。一方、「二の荒手」は、石張りの天端に１尺の仮堤（土砂堤）を乗せた構造になっており、「洪水の時、京橋の雁木三つ目の水位になると、この荒手の、高さ１尺の仮堤を水が越える」と記されている。

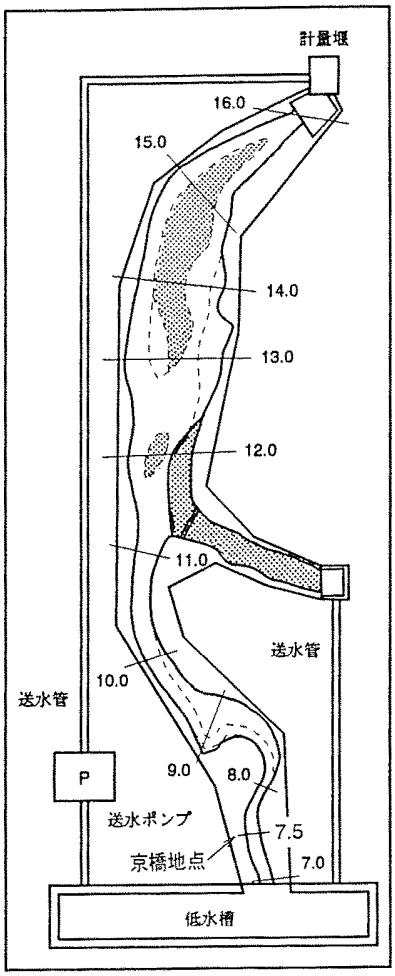
(4) 元禄の築造

1656年（明暦２年）の池田光政の「新田開発令」以後、新田開発が盛んに行われるようになったが、熊沢蕃山が指摘したように、新田開発は洪水の排水を悪化させるため、津田永忠は治水対策と新田開発を両立させる次の工事を行った。すなわち、高潮を防御する防潮堤として「沖堤」を設け、河口部に遊水池の「大水尾」をつくった。そして、「沖堤」には洪水を排水するための樋門を設けるとともに、新川を開削して新田の用水を確保した。

2　水理模型実験

(1) 河道模型の作成

図－５に示すように、旭川の京橋～大原橋の下流までの約９km区間と百間川約1.5kmの区間の旧河道を対象に、フルードの相似則に基づき、水平縮尺1/500、鉛直縮尺 1/200の河道模型を作成した。参考とした資料は、図－１の岡山城絵図の河道[1]（後楽園の記述がないことから、江戸時代初期と考えられるが、時代の特定はできない）、図－２の寛文の荒手工事に関連する資料である1661（万治４）年の「上道郡図」を現地に比定した河道[3]および図－３の明治43年の地形図(1/25000)に比定して作られた貞享の百



図－5　河道模型の概要

間川工事の復元図[2]である。これらの資料から「慶長の付替」の検討には岡山城絵図から推定される河道模型を、荒手の水理機能に関する検討には寛文および貞享の荒手工事に関連する資料から推定される河道模型を以下に述べる点を考慮して作成した。すなわち、縦断形状は、現在の旭川の縦断形状と等しい、および横断形状は長方形断面であると仮定し、河道の左右岸法線については上記資料の両者が一致しているため、「上道郡図」を基本とし、中州および百間川河床は両者の共通部分を重視して図－5の印影部（人口芝を敷設）のような形状とした。また、「一の荒手」および「二の荒手」には、文化11年に作成の見取絵図（図－4）および百間川荒手測量図（建設省岡山河川工事事務所資料）を参考に作成した木製の荒手を用い、「一の荒手」の天端高をT.P.+7.3m、「二の荒手」の天端高をT.P.+6.5mとした。

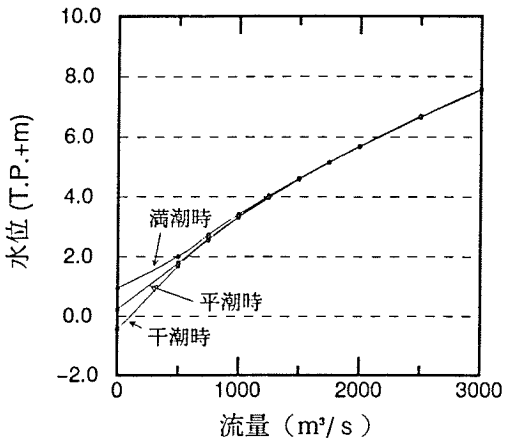
なお、旭川の河床高、河床勾配、河床形態は不明であるため、変更が容易な砂を敷く方法を用いた。ただし、小規模河床波が形成されないことを考慮して平均粒径約0.8mmの一様砂を用いている。なお、河床高については、上流の美作での砂鉄採取の影響で河床が上昇したことを考慮し、予備実験の結果より現在より1m高く設定した。

(2) 基準水位の推算

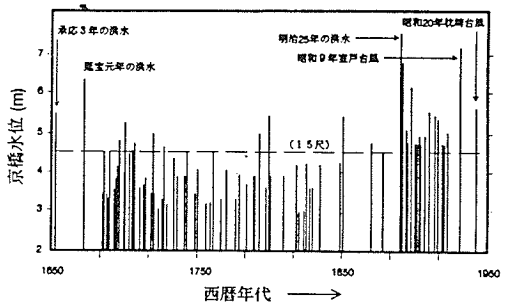
史料には京橋地点（7.5km地点）の雁木の高さで水位が記述されているが、現在の雁木が当時のものと同一であるか否かという点、および上流の美作における砂鉄採取による河床の上昇があったことより河床高が現在と異なる、などの点を考慮すると、雁木の高さから京橋水位を設定することには問題が多い。そこで、本研究では、河口から不等流計算を行って基準水位を設定することとした。ただし、不等流計算を適用するにあたってはいくつかの仮定が必要であり、いかに述べるような条件を用いた。

a)河道形状の仮定：

備前国上道郡沖新田図[1]を見ると、当時の旭川の河口は、現在のものより2kmほど内陸にあったと考えられるため、京橋と河口の距離を5.5kmと仮定した。また、現在の旭川の河床勾配は、河口より京橋付近までほとんど平坦なので、河口から京橋までは、水平河床とした。さらに、建設省河川砂防技術基準（案）・調査編[4]には、『河口潮位が海の潮位として設定されたものである場合には、河口の左右岸の導流堤からそれぞれ外側に11度の角度で広がる漸拡水路を仮想し、十分断面の大きい沖合いで河口潮位を設定する。』とあるため、河口より左右に11度ずつ広がる長さ2kmの仮想河道を考えた。なお、この仮想河道の河床勾配は1/1000とした。また、京橋から河口までの間の川幅は、現在の横断面図より100mとした。



図－6　不等流計算による京橋水位



図－7　旭川洪水の年度状況図（百間川小史[1]より）

b)潮位の仮定：　河口水位を潮位で設定する。旭川は、児島湾に注いでいるので、児島湾に面した検潮所の小串での潮位を用いた。また、当時と現在とでは潮汐の変化は小さいと仮定した。小串では、潮汐表[5]より、潮差は大潮時で1.4mある。小串での平均潮位は不明のため、近くの宇野検潮所での平均海面高さT.P.+0.25mを、小串での平均潮位とした。よって、小串では、満潮位がT.P.+0.95m、平潮位がT.P.+0.25m、干潮位がT.P.−0.45mである。

計算例として河床高が現在より1m高い場合の結果を示すと図－6のようであり、1000m³/s以上の流量では潮位の影響は少ない。

(3) 洪水流量の推算

洪水流量は以下の3方法で推定される。

a)　京橋地点水位から推定する方法

百間川築造の治水効果が、図－7に示す旭川洪水の年度状況図を用いて「百間川小史」[1]に以下のように紹介されている。すなわち、『江戸時代の洪水記録から、百間川施工時期（貞享期）以後の京橋地点の洪水位と被害状況との関連をみれば、京橋地点で洪水位が常水から15尺を越えると城下の一部に被害が出始めるが、それ以下の場合は被害はほとんどない。洪水位としては、一般に14～16尺の記録が多いが、承応～慶応の　214年間に増水位10尺以上の洪水は82回発生しているが15尺を越えた洪水は15回であり、百間川の放水機能が働いたためと思われる。しかし、洪水位が常水より17～18尺余り高くなると、百間川の洪水調節のみでは城下の災害は防止できなくなるが、百間川によりその被害程度が大幅に小さくなったことも事実である。』

前節で示した不等流計算結果から、図－7に示された城下の一部に被害が出始める水位（常水位をT.P.＝0.0mとし、それより15尺で　T.P.+4.5mと推定）に相当する流量は、河床高によって異なるが1500～2000m³/s程度と推定される。

b)　流出量計算に基づく方法

旭川の流域面積は、1,800km²と大きく、最も簡便であり、小流域に適用される流出量計算法である合理式を用いることに問題はあるが、ここでは流量の推定ということで便宜的に用いる。

合理式では、流出率 f 、洪水到達時間内の雨量強度 (mm/hr)　、および流域面積が必要である。ここでは、以下の値を用いる。

流出率：0.2 ～　0.5

雨量強度：岡山河川工事事務所の管内図を見ると、旭川流域は南北に細長い短冊型であり、幅24km、長さ70kmの長方形流域と仮定した。Kraven式より洪水流出速度を 3.0m/s として、洪水到達時間Tを算定すると、

$T=(70000+12000)/3.0=27333$ sec$=7.6$ hr

となる。百間川小史によると、最多日降水量が170～210mm であるので、次式より、洪水到達時間内内の雨量を推定すると、

$r_T=r_{24}\cdot(T/24)^{1/3}=190\cdot(7.6/24)^{1/3}=129.5$ mm

となり、雨量強度は17.0 mm/hrとなる。

流域面積：岡山河川工事事務所の管内図を用いて、大戸～林原地点の流域面積を測定すると、1680km^{2}となる。

以上より、合理式（Q=(1/3.6)frA)で流量を算定すると、流量は、1600～4000m^3/s程度と推定される。

c) 根本水坪から推定する方法

百間川の配分量について根本水坪という通水断面積に関する資料が残されている[5]。ただし、流速が不明なために、流量では表わされていないが、流速を推定すれば流量を求めることが可能である。資料によると、本実験が対象としている直上流の、大戸～林原間の根本水坪が川幅 52間× 2.67間 (94.54m×4.85m)である。また、マニング式の適用が可能であると仮定し、粗度係数を0.03、河床勾配を現在と同様の1/650 とすれば、

流速＝（1/0.03)・ 4.852/3・(1/650)$^{1/2}$= 3.75 m/sとなり、流量は1720m^3/sと計算される。

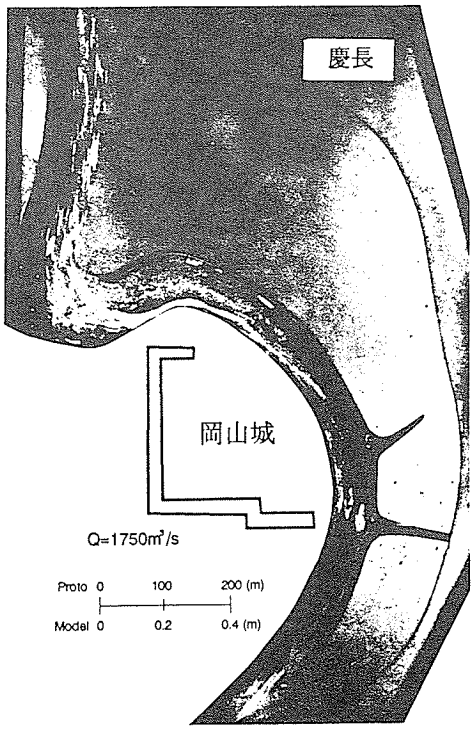
以上の結果より、洪水流量は1500～2000m^3/s程度と推定されるため、実験流量を1750m^3/sとして以下の検討を行う。

3 「慶長の付替」に関する検討

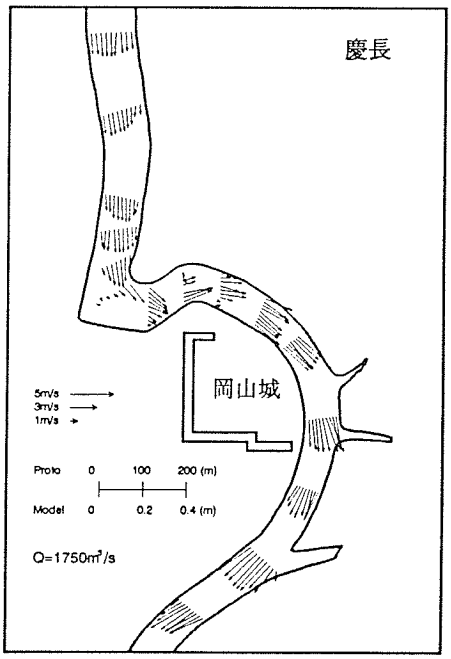
旭川は、岡山城周辺で人工的に弯曲されたため、岡山城下を度々洪水が襲うようになった。この弯曲化が旭川にどのような影響を与えたのかを流況と河床洗掘から検討する。

写真－1は、岡山城周辺の流れを蛍光塗料を塗布した 5mm角の紙トレーサを用いて可視化した例である。なお、河道は図－1の岡山城絵図から推定したものである。流れは写真の上から下（北から南）であり、原型で約9秒間の流跡線が可視化されている。写真より、主流は屈曲部の内岸から岡山城の北西側に衝突しては城側に沿って流下した後、右岸よりに城の東側を流れているのが分かる。また、屈曲部右岸側および城の北側の対岸に死水域が生じている。

水面流況を撮影したビデオ画像からトレーサの動きを解析し、横断測線ごとに速度ベクトルを計測した結果をまとめたものが図－8である。これより、高速部が屈曲部の左岸側から城の北側に向かう様子が明確に分かるとともに、城の東側および南側では



写真－1 流況可視化結果



図－8 岡山城付近の速度分布

一様な分布となっていることが分かる。

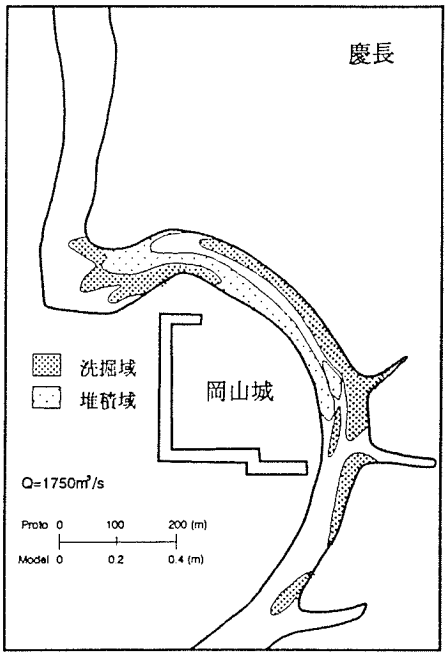
つぎに、河床洗掘の特性について検討する。この付近の河床材料の平均粒径を、岡山城南側にある新堰の上流側における値（岡山河川工事事務所調査資料）の平均粒径2.7cmで代表させると、限界摩擦速度は岩垣の式[6]を用いて計算され、u_{*c}=80.9d=14.8cm/sとなる。これに対し、簡単のため粗度係数をn=0.03、河床勾配I=1/700と仮定し、マニング式で求めた等流水深 hから摩擦速度を$u_*=(ghI)^{1/2}$を用いて計算すると、流量が約250m³/s以上で限界摩擦速度を上回る。したがって、これ以上の流量で河床材料は掃流されるが、図－8に示したように流速分布は一様でないため、洗掘や堆積は一様とはならない。図－9は、旭川の流量を1750m³/sにして1時間通水（原型では35時間）させた後の河床に生ずる洗掘域と堆積域を示したものである。なお、実験に用いた砂の粒径は河床波の形成を避けるために模型縮尺から求まる粒径より大きなものを用いており、所定の実験条件では移動しない。したがって、下流水位を河床材料が移動を開始する水位に設定し、洗掘・堆積状況を定性的に検討することとした。図より、城の北面では城側、東側では対岸に洗掘域が見られ、城を取り囲むような配置となっている。

以上の流況と洗掘特性を検討した結果を見ると、不自然な河道の屈曲によって流れを制御して河床を洗掘させ、堀としての水深を保たせるという工夫がなされたのではないかと考えられる。

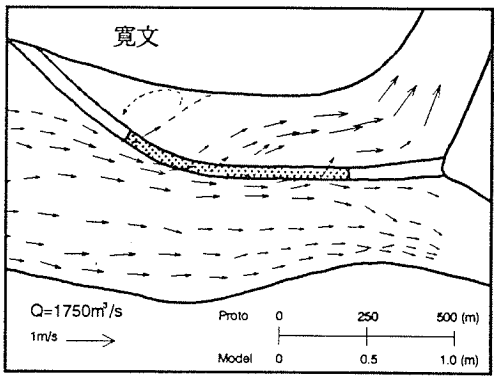
4 「寛文の築造」に関する検討

寛文の荒手については、その位置および高さについては資料が乏しく不明であるため、貞享の二つある「一の荒手」の間がほぼ 360間に相当することからその位置を仮定し、高さについては京橋地点の水位が常水から15尺で城下に被害が出始めることから、余裕高を3尺として12尺（T.P.+3.6m）で越流し始めると仮定して実験を行った。この水位は、図－6に示した京橋地点の水位～流量曲線から1000m³/sの流量に相当する。

図－10は、流量が1750m³/sの場合の流況撮影ビデオからトレーサの挙動を解析した結果を速度ベクトルで示したものである。図より、荒手の全区間で滑



図－9 洗掘および堆積領域



図－10 荒手付近の速度分布（寛文）

らかに百間川に分流がなされており、荒手位置の妥当性が伺える。このように百間川へ分流されるが、種々の洪水流量について旭川流量を計測すると図－11のようになる。図より、流量の増加に伴って百間川への分流量も増加し、2000m³/sで約3割の流量、4000m³/sで約5割の流量が分流される。なお、荒手は土堤であり越流破堤するとして計測した結果は図中の破線のようになり、8割以上の流量が百間川に分流されることとなる。これらの結果を京橋地点の

水位で見ると図－12のようになる。荒手で分流させることにより京橋水位は下がり、荒手が破堤すると水位はさらに低くなったものと考えられる。

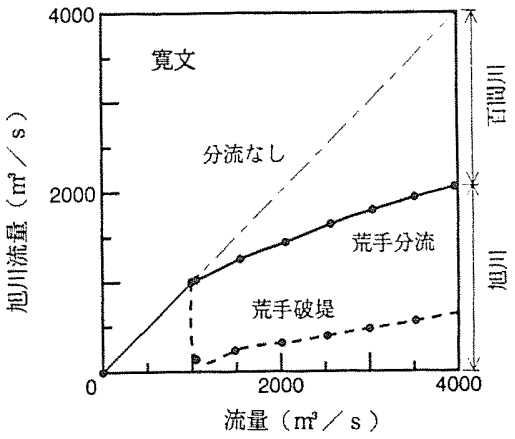
5 「貞享の築造」に関する検討

(1) 分流特性

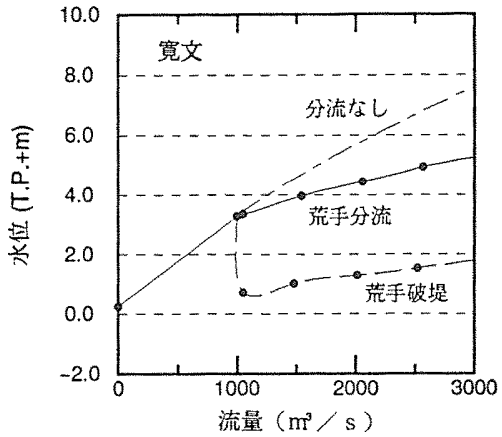
旭川の流量が多くなると、上流側の一の荒手、さらには下流側の一の荒手からも越流し始める。荒手より越流し始める流量は 800m³/sであり、京橋水位では常水から9尺（T.P.+2.7m）になる。この水位は寛文の荒手から越流し始める水位よりも低い。これは、荒手の幅を 360間から70間－70間の 140間と狭くした場合にも同程度の分流量とするためには荒手の高さを低くする必要があることで説明される。

図－13は、流量が1750m³/sの場合の流況撮影ビデオからトレーサの挙動を解析した結果を速度ベクトルで示したものである。図より、上流および下流の荒手から越流がなされていることが知れる。また、上流側の一の荒手の設置位置は水衝部に設けられており、ほぼ正面から流れが越流している。このことから旭川の流れの特性を考慮した上流側の一の荒手の設置であったと言える。一方、下流側の一の荒手は横越流で分流されており、下流側ほど越流量が多くなっている。一方、二の荒手付近の流速を見ると、右岸側の方が大きいことがわかる。これは左岸側の流れは、上流側の一の荒手を越流した後に一の荒手と二の荒手の間の遊水池でかなり流速が緩和されるのに対し、右岸側の流れは、下流側の一の荒手を越流した流れが二の荒手までの距離が短いために一の荒手と二の荒手の間の遊水地で、あまり流速が緩和されないためであると考えられる。二の荒手の導流堤の長さが右岸側で長いのは、右岸側の方が流速が大きいことを考慮して築造されたためではないかと考えられる。

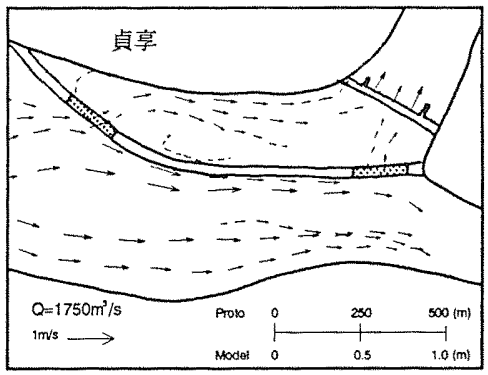
つぎに、流量配分特性について検討する。図－14は種々の洪水流量に対する旭川流量を計測した結果である。図より、旭川の流量が増加するにつれて、百間川への分流量も増加する。流量が2000m³/sで約2.5割、4000m3/sで約5割が百間川に分流されている。この結果は、寛文の荒手とほぼ同様の分流がなされていることを示しており、荒手の幅および高さ



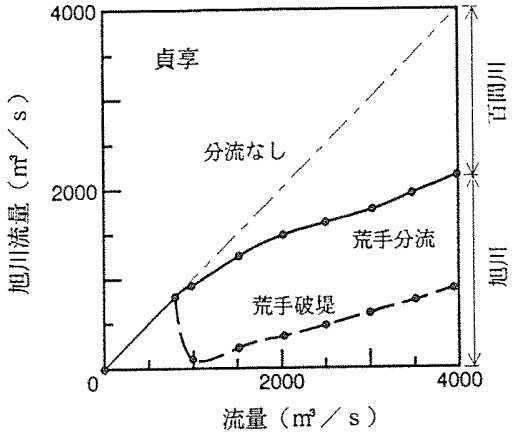
図－11 各種洪水流量時の旭川流量（寛文）



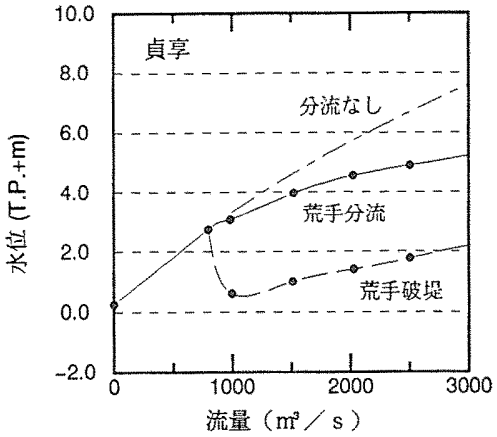
図－12 各種洪水流量時の京橋水位（寛文）



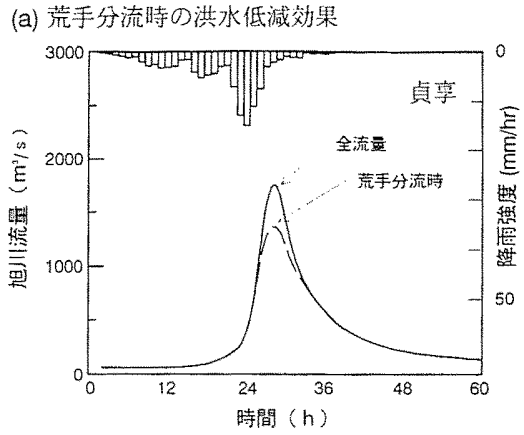
図－13 荒手付近の速度分布（貞享）

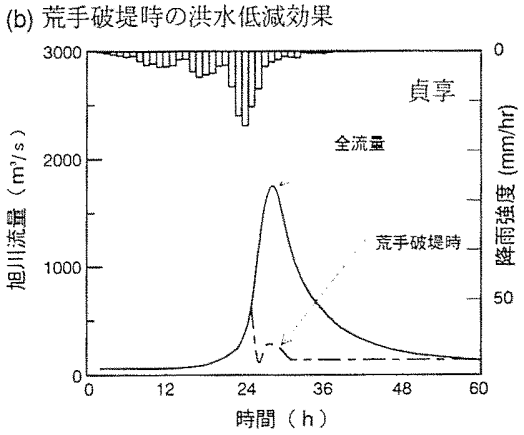


図－14　各種洪水流量時の旭川流量（貞享）



図－15　各種洪水流量時の京橋水位（貞享）





図－16　洪水低減効果

の設定など当時の分流技術を高く評価される。これらの結果を京橋地点の水位について見ると図－15のようである。なお一点鎖線は百間川へ分流しないと仮定した場合の京橋地点の水位を河口からの不等流計算によって求めたものである。京橋地点の水位が常水から9尺（T.P.+2.7m）で一の荒手を越流し始める。越流し始めると、京橋地点の水位は少しずつしか増加しない。旭川の流量が約2000m³/sで常水から15尺（T.P.+4.5m）の被害が出始める水位となるが、百間川の築造が行われていなかった場合より1.5m程度水位が低くなっており、百間川は岡山城下を守るうえで、かなりの治水効果をもたらしたことがわかる。また、荒手が破堤した場合にはさらに水位は下がり、城下の治水安全度はさらに高くなる。

(2) 治水効果

図－16は、現在の旭川改修計画で用いられている基本高水のハイドログラフ（ピーク流量8000m³/s）を縮小して作成したピーク流量が1750m³/sのハイドログラフを対象に、百間川分流による治水効果を見たものである。荒手による分流でピーク流量が約3割カットされており、荒手が破堤する場合には約8割カットされる。このように、旭川にとっては治水効果が大きい。また、図－17は、一の荒手と二の荒手の間の遊水池の面積を22万m²、現在の遊水地地盤高と荒手の天端高の差より水深を2mとし、二の荒手と三の荒手の間の遊水池の面積を36万m²、水深を2mとして、越流量を種々変化させたときの貯留時間を示したもので、上から順に二つの遊水地合計の貯留

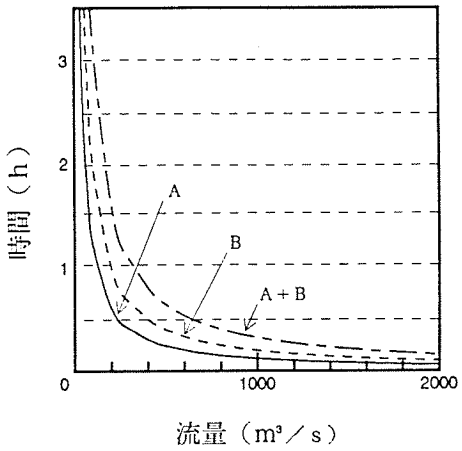
時間、二の荒手と三の荒手の間の遊水地における貯留時間、一の荒手と二の荒手の間の遊水地における貯留時間を表わしている。これによれば、貯留時間は、越流量に反比例することがわかり、頻繁に起りうる洪水であれば、2～3時間は貯留しておくことができ、氾濫が頻発することを避けることが可能だったと考えられる。また、この水を用水の確保に利用したとも考えられる。

以上のことから、荒手を三段方式にして貯留機能を持たせることによって、治水と利水の両機能を持たせていたと考えられる。これはきわめて画期的であり、着想の素晴らしさは称賛に値する。

6　おわりに

本研究では、水理模型を用いて江戸期の旭川河川改修工事に関する実験を行い、その水理学的意義について検討を加えた。その結果、「慶長の付替」に関しては、不自然な屈曲によって城側の右岸側沿いに流れを集中させることにより河床を洗掘させ、堀として水深を保たせるという工夫がなされていたことが推定された。また、「寛文の築造」および「貞享の築造」に関する実験結果より、旭川の流量が増大するにつれて百間川への分流量は急激に増加するものの、旭川本川の流量増化率は小さく、岡山城下を洪水より守るという目的には非常に有効な分流方式であったことが知れた。このように、江戸期に行われた河川工事の技術水準は高く、称賛に値するものであったことが知れた。

最後に、本実験を行うにあたり、貴重な資料の提供および現地調査などに多大なご協力を頂いた建設省中国地方建設局岡山河川工事事務所の方々および係諸機関の方々に謝意を表します。



A：一の荒手と二の荒手の間の遊水池
B：二の荒手と三の荒手の間の遊水池

図－17　遊水効果

参考文献

1) 建設省岡山河川工事事務所：百間川小史, 1993.
2) 名合宏之：百間川改修と新田開発，中国・四国地方土木史調査業務報告書，建設省中国地方建設局，pp.31-45,1989.
3) 建設省岡山河川工事事務所：百間川の歴史，第三章，1990.
4) 建設省河川局：建設省河川砂防技術基準（案），調査編，p.190，1976.
5) 海上保安庁水路部：潮汐表，1986.
6) 土木学会編：水理公式集，p.201，1977.