

捷水路に関する研究（その1）

——連続捷水路の観点からみた石狩川の河状——

水工研究室 技官 山 岡 勲
" " 谷 口 雅 宥

要 旨

ある一地点の年平均低水位の変化が、その地点付近における河床の上下変化を代表するものと考えて、現在までに施工された石狩川の数多くの捷水路に関し、それらがこれまでに河状に及ぼした影響について解析した。なお、これらの捷水路が今後の河状に及ぼす影響については、河川横断面のもつ流砂量という考え方によつて判断する方法をとり、各捷水路の現在有している影響力についても考察したものである。

I. 概 説

一般に沖積層地帯を流下する河川は蛇行する傾向がある。このため、いちじるしく流水の疎通が害され、水位上昇をきたすとともに、弯曲部凹岸では河床の洗掘、河岸の決潰などを生じ、反対側には流送土砂を堆積して滞筋を不安定ならしめ、舟航の障害となつてゐる。

河川蛇行の原因としては種々な説が考えられているが、現在妥当とされているものとしては Jefferson, Schoklitsch などの提唱した過剰エネルギー説がある¹⁾。すなわち、流路は安定勾配を目指して変動するものであるから、流水に過剰なエネルギーが与えられると、釣合を得るために流路を延長して勾配をゆるやかにし蛇行を生ずるとするものである。一度蛇行を始めると、弯曲部の水面は遠心力によつて外岸側に盛上り、それとともに流速の大なる水面付近と、おそく流れる下層部との遠心力の差によつてらせん状の副流を発生する。これは水底付近において、外岸側から内岸側に向う循環流となつていて、ために外岸側河床は洗掘され内岸側に堆積をみる。かくして、弯曲はさらに助長され、蛇行発達に重要な役割をもつものである。

これらの河川においては、蛇行の程度が進むと自然に短縮せられて直行するが、人為的に捷水路を造つて流路の整正をはかることがしばしば行われる。1900 年頃までの Mississippi 河においては、Humphrey, Abott および Jadwin などの報告になる「捷水路による流路の短縮は、捷水路上流で水位を低下させるが、下流では上昇をきたすであろう。また、捷水路によつて勢力を破壊された河川は、その失つた延長と勾配の増加とを緩和するために新らしく蛇行を始める。なお、流速の増加による河岸の浸食に応じる護岸施設の問題などもあつて、一般に現在の形で河を維持する方針がよい。」という主張のもとに捷水路工法による改修は禁じられていた²⁾。

その後の Mississippi 河改修工事の進展に伴う捷水路改修方式に対する検討ならびに鬼怒川鎌庭捷水路に対する安芸博士の研究³⁾ などにより、捷水路の及ぼす影響ならびに効果などについて、以下のように明らかにされている。

すなわち、Mississippi 河 Greenville 彎曲部および Helena-Donaldsonville 間の模型実験ならびに実際の捷水路施工の結果、一般に捷水路上流側の水位は下がる傾向にあるが、下流側に対しては余り変化をきたさないことがわかり、洪水位の低下はもちろんであるが水位の低下する最大の場合は低水のときに起つてゐた。Mississippi 河においては、捷水路とともに水路の拡大、以前の水面勾配への還元ということによつて、水位を決定的に低下させている。鬼怒川においても、捷水路上流端では通水後年平均低水位はいちじるしく低下し、その後低下の度合は漸減している。捷水路下流端では通水後しだいに高まつたが、4 年目には通水前とほとんど同様になつた。なお、河床の変化は、捷水路上流地区では最初に下流側がいちじるしく洗掘されたが、その後洗掘は漸次上流に向つて進み、下流側はやや高まつてきた。捷水路下流地区においては、はじめその上流端に相当の土砂堆積をみたが、これは漸次低下し、下流に移動するにつれてひろく分散される傾向があらわれている。

以上要するに、捷水路を設けるとともに河道の法線・幅員・水深に留意して適当ならしめた場合には、捷水路の効果は相当あがるものとみられている。

II. 石狩川における捷水路

——年平均低水位からみた河状の変化——

1. 概 説

石狩川は流域面積 14,400km²、流路延長 323 km の利根川につぐ大河川であるが、流路の様相は本州河川では例を見ないほど迂曲蛇行がはなはだしい。すなわち、河口から神居古潭までの現在新標 139 km に対し、改修着手前の滞筋距離は 221 km に及んでいるほどで、およそ、その屈曲の度をうかがうことができる。河道の周辺には多くの半月湖を残して、往時の流路の変せんを示すとともに、河道屈曲部の自然短絡をみせているが、同時に 20 数個の捷水路工事を施工してようやく捷水路も完了に近く、滞筋距離にして約 63% の短縮がなされている。

石狩川の改修は、^{4), 5)} 明治 31 年 9 月の洪水被害により、翌 32 年から国費をもつて治水調査がなされ、43 年に石狩川治水計画が北海道拓殖費に計上されるにいたつて始まる。当時の主席技師岡崎文吉博士は河川の自然主義を提唱し、原状維持を頑強に固執して彎曲部もそのまま保持する方針をとつた。そのため下流彎曲部の外岸に、岡崎式ブロック単床工をもつて護岸工を施工するに止まつた。

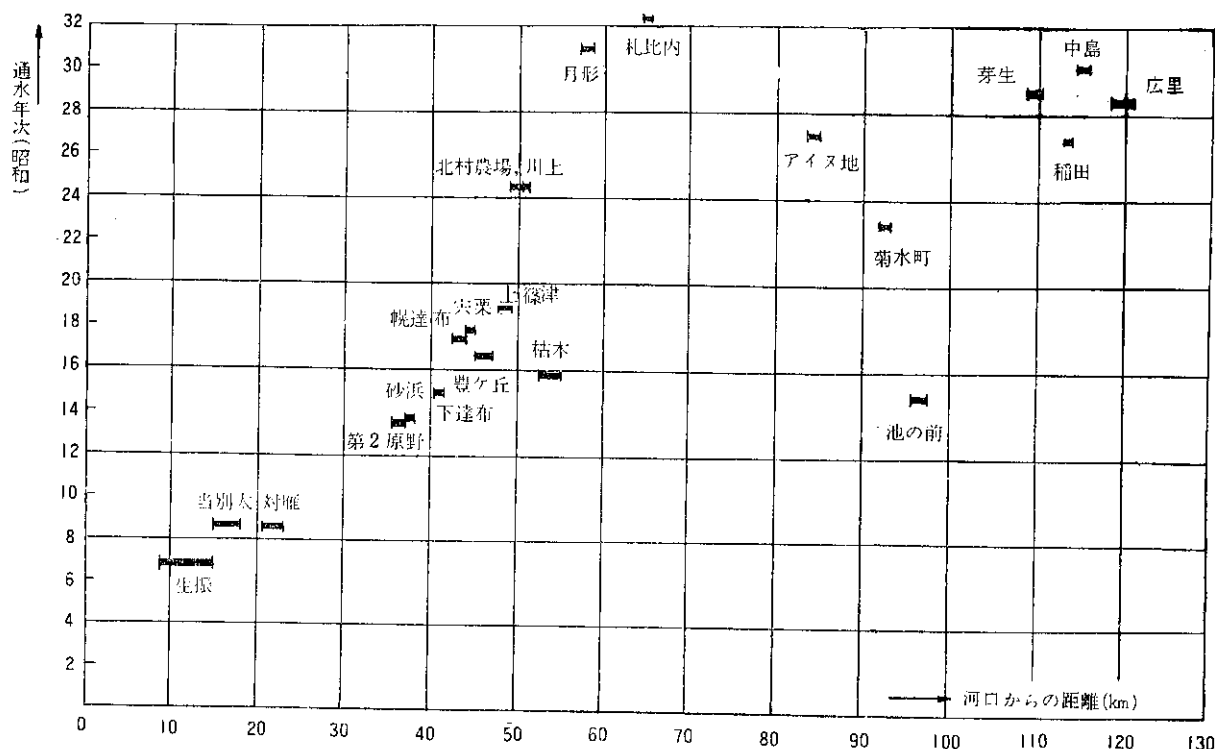
大正 7 年に名井九介博士が岡崎博士にかわるに及んで、計画を捷水路方式にあらため、下流からしだいに屈曲部が捷水路にとつてかわつて、江別以下旧川 33km が新川 11km に短縮された。その後第 2 期計画において、江別・月形間の捷水路が昭和 30 年に完成し、その上流部においてもしだいに捷水路工事が進捗しつつある。その間に、夕張川・豊平川・旧豊平川・幾春別川などの支流も新水路に切替えられて、石狩川本・支流とも河道はますます複雑になつてきたが、これらのうち石狩川本流の捷水路について、その及ぼした影響・効果などを種々の観点から分析していくものとする。

現在までに施工された石狩川本流の捷水路を示すと表-1 あるいは図-1 のようである。

表-1 石狩川本流捷水路一覧表

捷水路名	河口からの距離 (km)	捷水路長 (km)	旧河道長 (km)	通水年月 (昭和)
オヤ生	10.0	7.7	22.5	6.10
当別	15.0	3.8	5.0	8. 8
対雁	22.0	2.0	5.5	8. 5
第二原	35.5	1.5	4.5	13. 5
砂浜	37.0	1.0	1.6	13. 9
下達達	40.5	1.5	2.5	14.11
幌布	43.5	1.2	1.4	17. 5
穴栗	44.5	1.0	1.2	17. 9
豊丘	45.5	2.0	6.5	16. 7
上篠津	48.0	1.5	1.7	18.10
狐森	49.5	1.53	2.2	24.
川上	51.0	0.8	1.0	24.
枯木	52.5	2.13	4.5	15.10
月形	58.0	1.3	4.0	30.11
札内	64.0	0.8	1.3	32. 4
アイヌ	90.0	1.2	2.6	26.11
菊池	93.0	1.0	1.5	22.
の	96.0	1.8	5.0	14.
芽生	110.0	1.2	3.0	28.
稲田	114.0	0.5	1.0	26. 9
中島	115.0	1.0	2.7	30. 3
広里第一、二、三	120.0	2.3	4.6	28. 7

図-1 石狩川捷水路（通水年次，軒程別）



これらの捷水路のうち，昭和初期に完了した生振・当別太および対雁の3捷水路を含む河口―江別間（約27km）を下流部，第2原野捷水路から月形捷水路まで11個の捷水路を含む江別より月形（滞筋距離58km地点）までを中流部，札比内捷水路から広里第3捷水路まで10個の捷水路を含む月形より深川付近（120km地点）までを上流部として分割し，これらの区間における河状の変化について解析を進める。

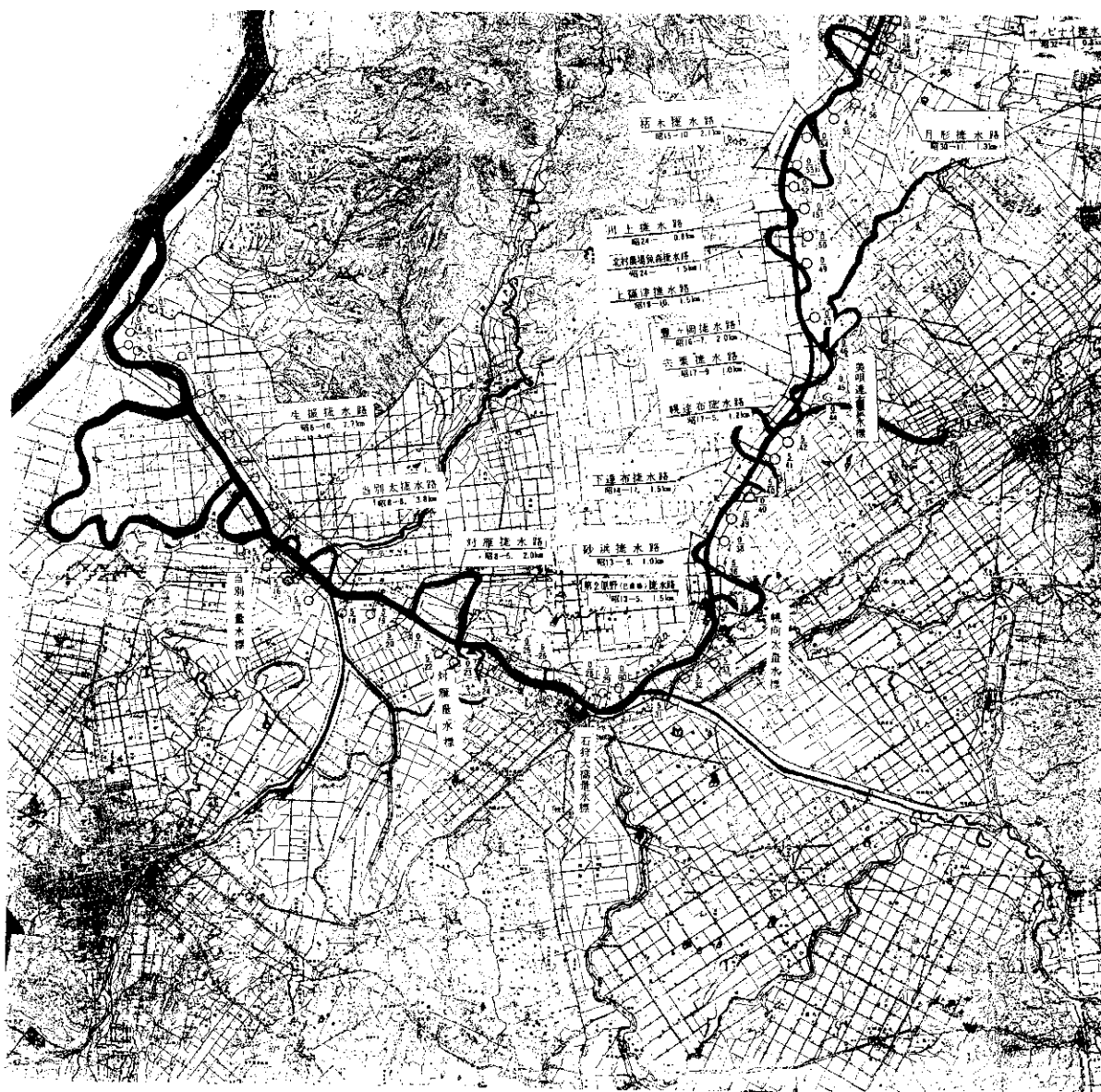
2. 下流部の捷水路

江別から下流，河口までの約27kmの区間には，図-2に示すように昭和6年通水の生振，昭和8年通水の当別太ならびに対雁捷水路の三つを有し，生振捷水路のごときは旧河道長約23kmに及ぶものを，7.7kmに極度に短縮している。その上，江別から上流の捷水路に比較して通水の年次が早いため，河状変化としてはかなりはつきりとあらわれているようである。いま過去の資料の関係上，年平均低水位の変動をもつてその地点付近の河床高の変化に代用させるものとする。生振捷水路上流端で当別太捷水路に対しては下流端にあたる当別太量水標，対雁捷水路上流端付近にある対雁量水標および約3km上流の石狩大橋量水標の3地点における明治40年以降の年平均低水位を図示すると図-4のようである。

上に述べたように生振捷水路は昭和6年に通水をみたが，翌昭和7年には当別太・対雁両水位とも急激な減少をみせている。図-4には参考のために上流旭川測候所における年降水量をも示してある。この図よりあきらかなように，昭和6年までは年平均低水位の変化は旭川年降水量の大小にしたがつて，ほぼ同様な変化を示していた。昭和7年には年降水量は非常に大きいにもかかわらず，両地点の水位はかえって激減し，その後年平均低水位は年降水量の変化に対して独自の变化をするようになり，昭和6年をほぼ頂点として以後減少している。

当別太地点については，大正初期までは年平均低水位したがって河床は徐々に高くなり，その後大正末期まではほぼ落着いていた。それがふたたび昭和6年頃まで上昇を続けたが，生振捷水路通水のために急に低下を始めたものと考えられる。対雁地点においても大体同様なことがいえるものとみられる。石狩大橋地点においては，昭和8年以降の資料があるだけなのでそれ以前については不明であるが，対雁地点とくらべて大きい変化はないであろう。両地点とも昭和8年に対雁捷水路が通水しているため，当別太地点と比較して事情はやや複雑になっていると思われる。図によれば昭和13年頃までの低下はその後止まり大きい変化はない。

図-2 平面図



大要の傾向を得るため、おのおのの水位について5カ年移動平均値を図示したものが図-5である。これからみて上記したことを一層明確にみることができよう。すなわち、石狩大橋についても、河床低下は昭和13、4年で消え、その後はあまり変動していない。

生振捷水路の通水した昭和6年を基準にとつて、各地点における年平均低水位の上下を図示すると図-6のようになる。これよりみると、当別太地点については翌年に60cmの低下をみたが2年目には10cmとなり、昭和8年すぐ上流の当別太捷水路通水後はかえつて20cmの上昇を示している。しかし、全体としては約70cmの低下をみたものと考えられる。対雁地点では1年目に38cm、2年目に32cmさらに当別太、対雁両捷水路通水後26cm

図-3 平面図

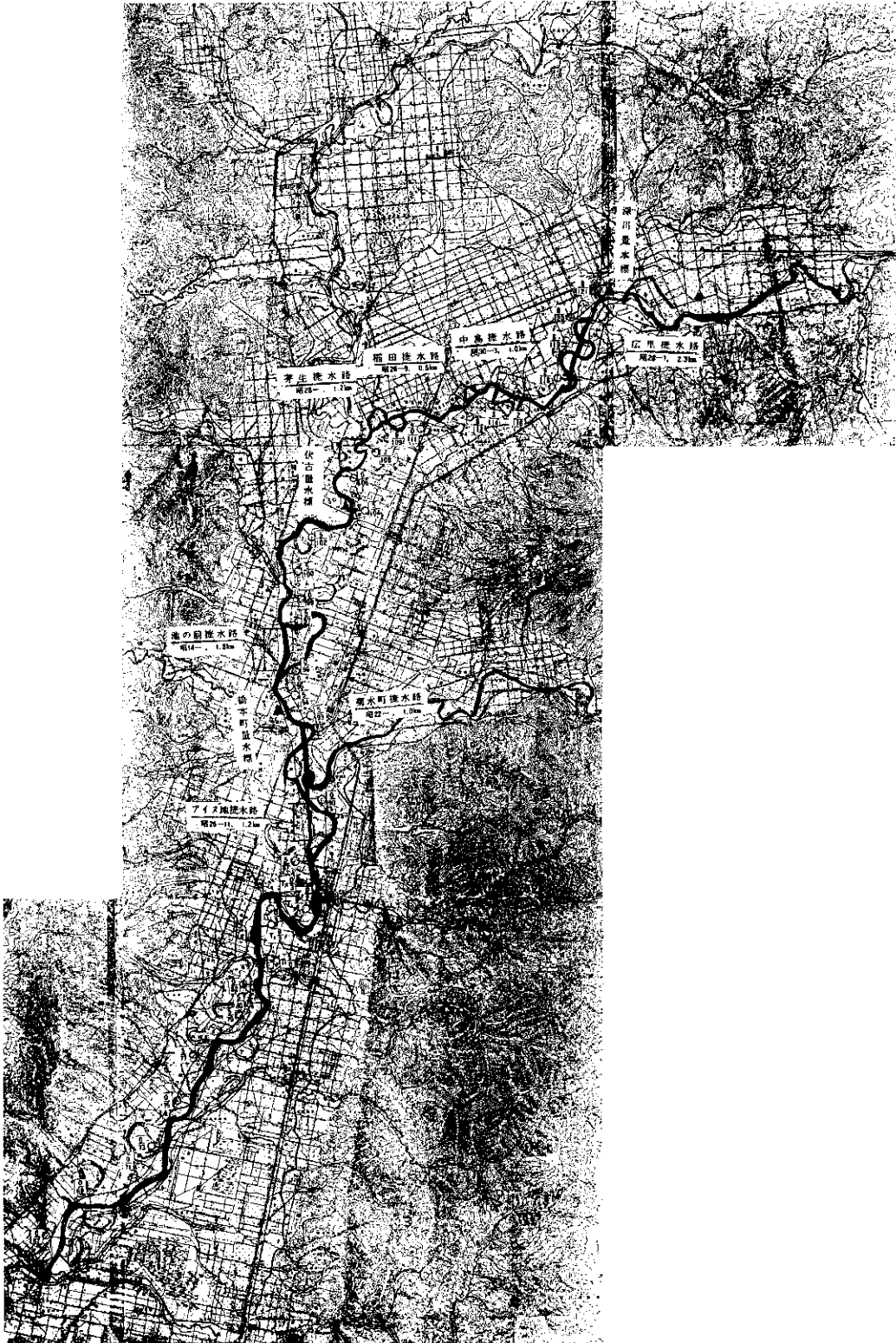


図-4 年平均低水位の年変化

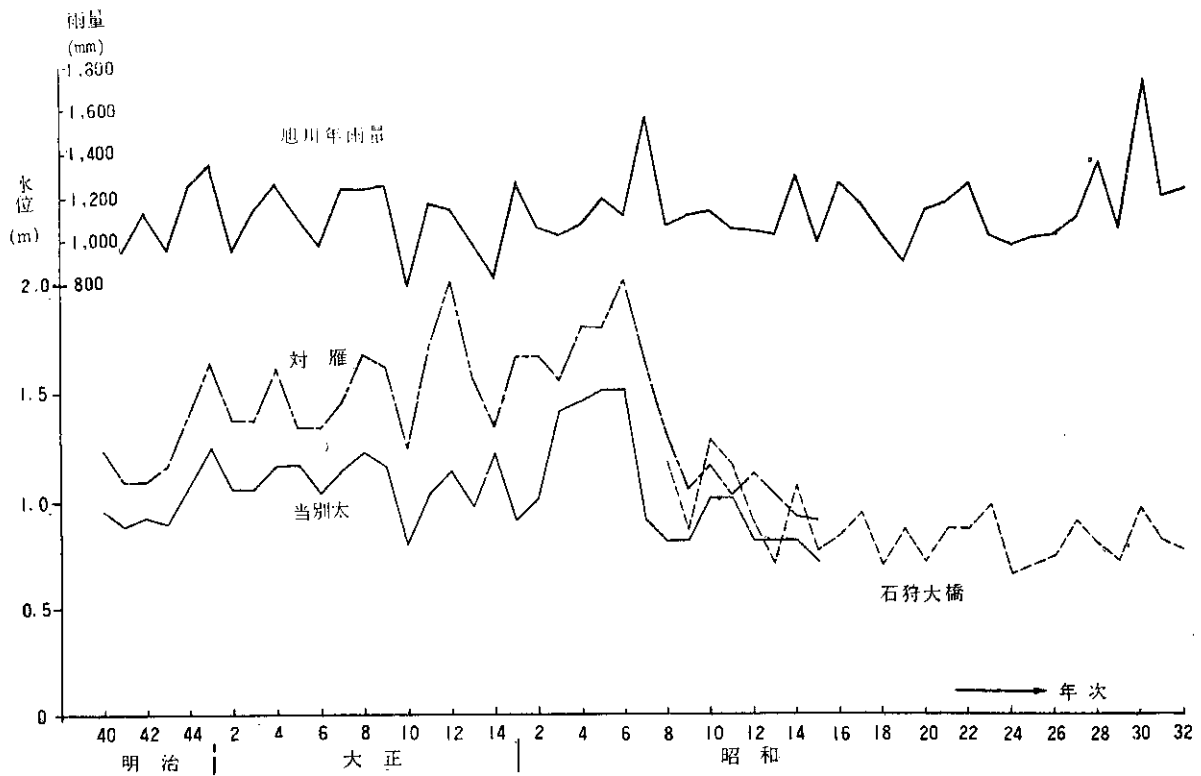
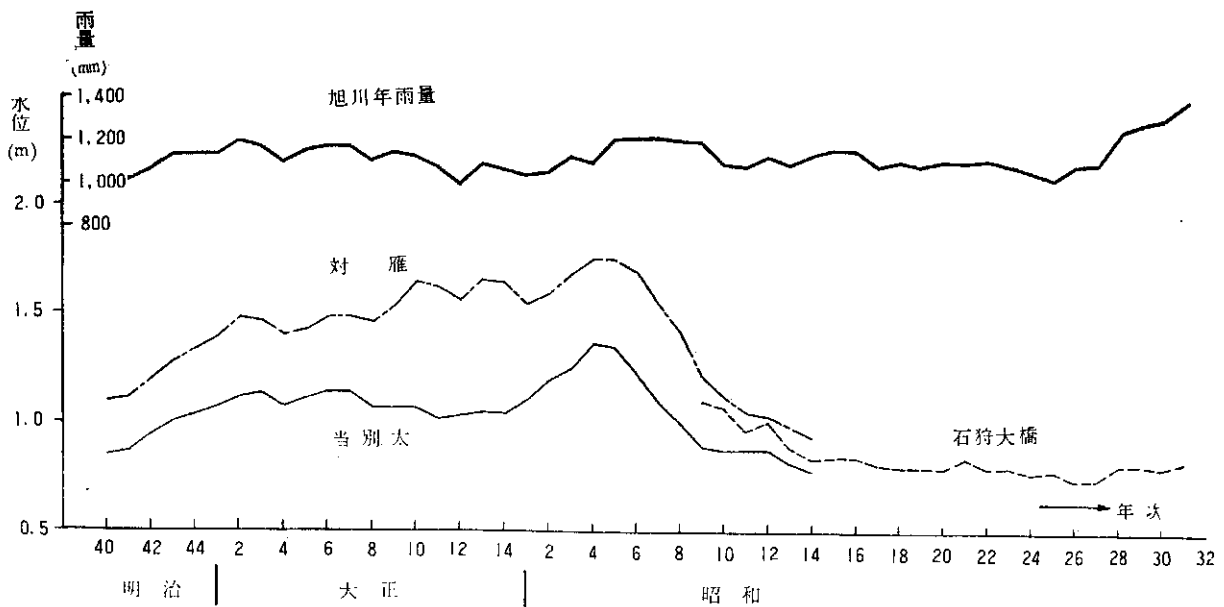


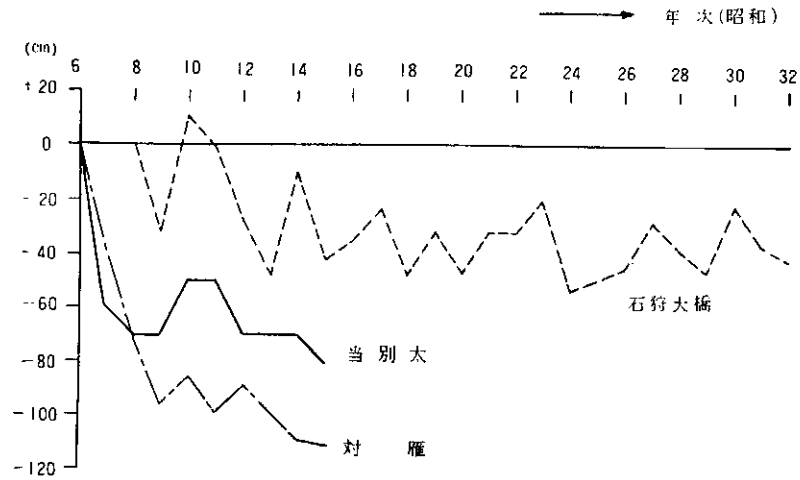
図-5 年平均低水位の5カ年移動平均値



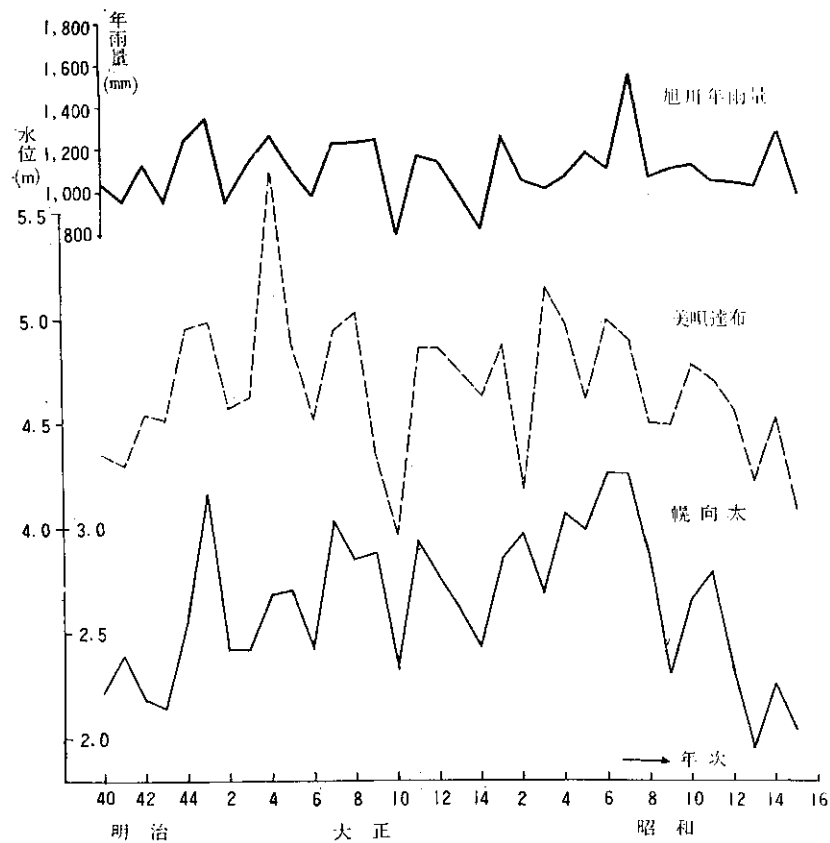
の低下を示し、その後昭和15年までに10cm前後低下して、なお、捷水路の影響を受けていたことがわかる。しかして、全体としては昭和6年にくらべて約1mあまりの低下を示した。石狩大橋についても、昭和8年以後不規則ではあるが40cm程度低下したとみることができよう。なお、小川譲二氏は石狩大橋における常水位が昭和7年以前には約2.3mであつたものが昭和16、17年以降には1.3mと約1m低いことを報告されている。⁶⁾

すなわち、もつとも大きな影響は大規模な生振捷水路によつて生じていると考えることができ、江別から下

図一6 昭和6年を基準とした年平均低水位の変動（石狩大橋は昭8）



図一7 年平均低水位の年変化



流すくなくとも生振捷水路にいたる区間は、全体として40cmから1m程度河床が低下したものと考えられる。

3. 中流部の捷水路

中流部、すなわち、江別（26km）より月形（58km）までの間は、先の図-2からもみられるように、もつともはなやかに捷水路工事の行われた区間である。しかし、たがいに非常に近接して捷水路が設けられたため、

図-8 年平均低水位の5カ年移動平均値

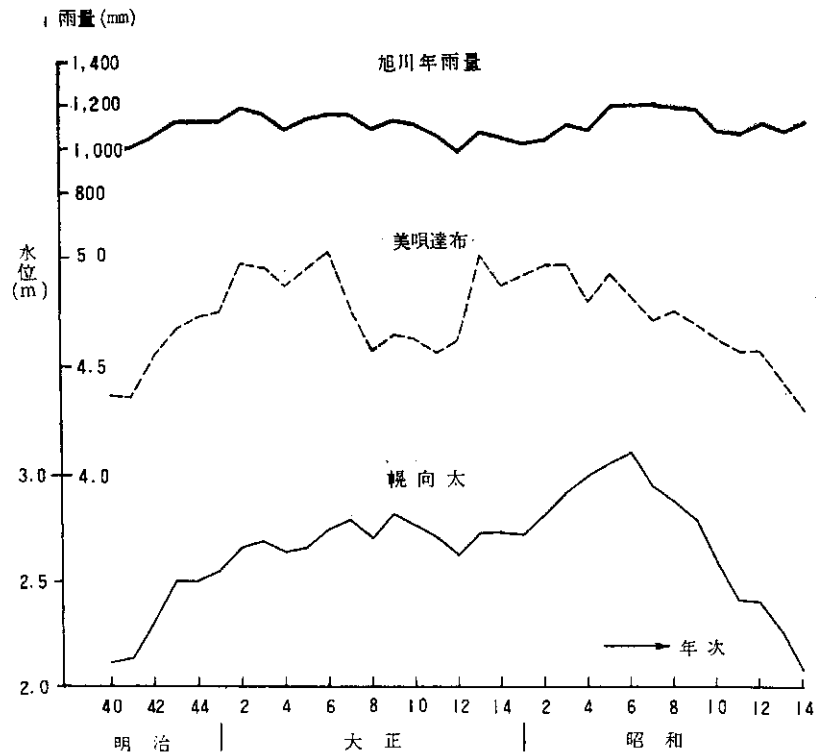
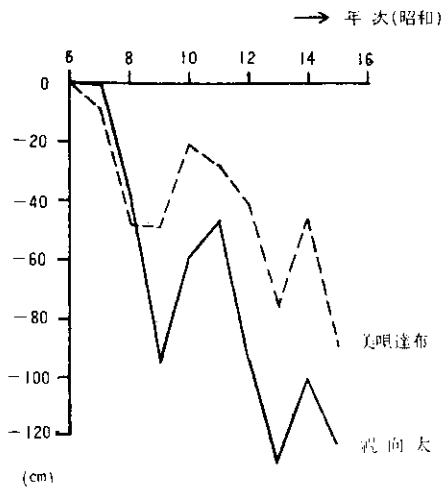
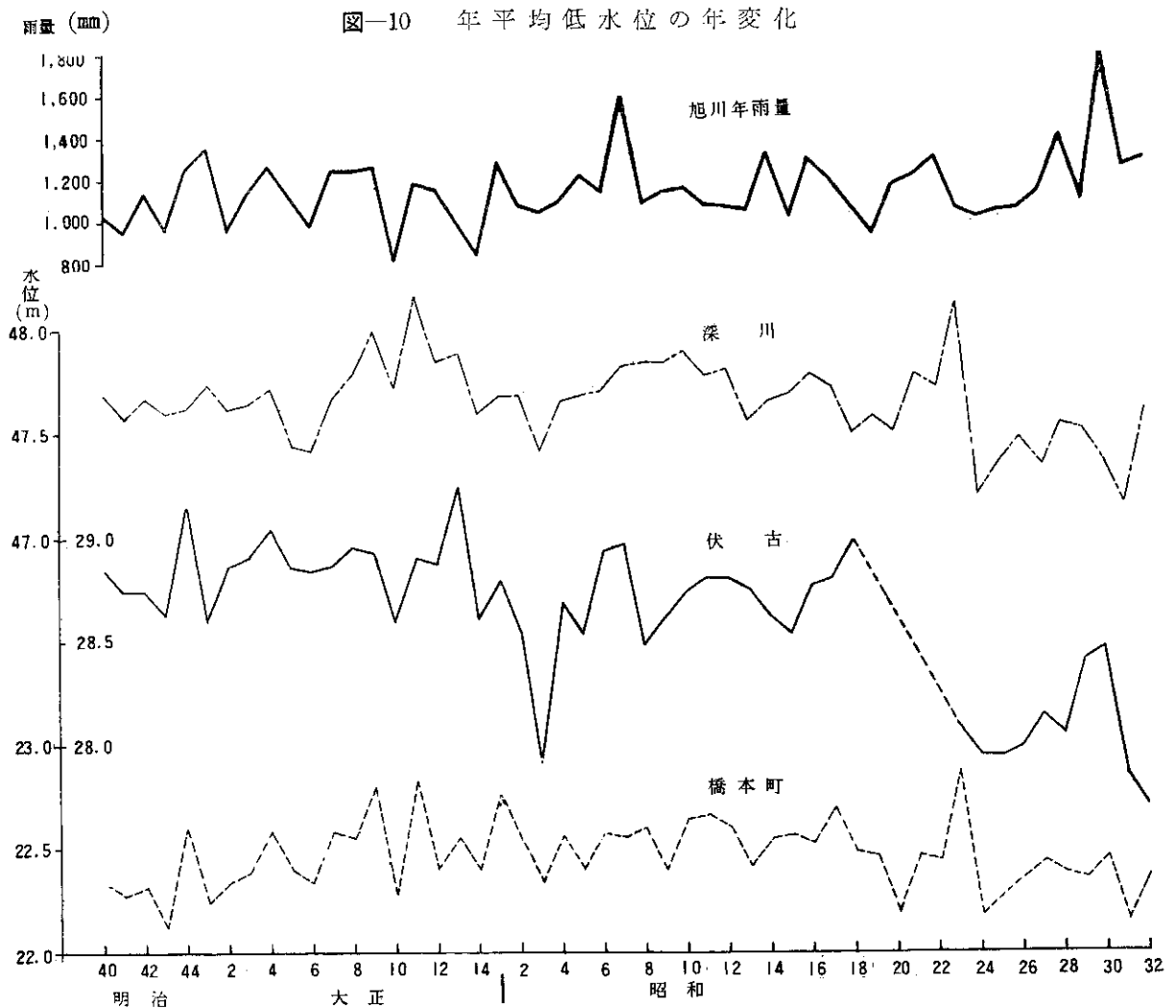


図-9 昭和6年を基準とした年平均低水位の変動



相互に影響しあっているであろうことは容易に考えられ、このための複雑さと過去の資料の不備のため明確に解析することは困難であつた。

図-7 あるいは図-8 よりわかるように、昭和6、7年を境として年平均低水位の減少がみられ、下流部の捷水路工事の影響が及んでいることが予想される。幌向太は昭和13年に、美唄達布は昭和16年にそれぞれ捷水



路が通水して旧河道となつたため、それ以後は比較の対象となり得ないが、両地点とも昭和16年以後は観測資料が欠除している。

先に行つたと同じく、昭和6年を基準として両地点の年平均低水位の上下を図示すれば図-9となるが、両地点とも昭和15年までの間に約1m前後の低下を示し、中流部においても河床の低下を生じたことを表わしている。

水位観測地点がちょうど旧河道になつてしまうために、中流部の捷水路の影響を適確に把握することは困難であるが、下流部における変動と加味して、この区間でも約1m程度の河床低下をみたものと考えてもよいであろう。

4. 上流部の捷水路

月形(58km)より上流深川(120km)までの約60km区間には、前記のように現在10個の捷水路を含むが、いずれも中流部あるいは下流部の捷水路に比較するとその施工は新らしく、したがつて、通水年月も最近のものが大部分である。そのため現在なおも新河道・旧河道の両方を流れているものが多く、中流部より下流の捷水路と影響し合つて、複雑さを増しているであろうことが考えられる。河状変化を推定する地点として、橋本町・伏古および深川の3地点の年平均低水位を用いれば、図-10より図-13に示すようになる。すなわち図-10は年変化、図-11は5カ年移動平均値を示し、図-12は最下流部生振捷水路の通水した昭和6年を基準とした水位の変化を、同じく図-13は中流部において大部分の捷水路が通水を完了した昭和18年を基準とした水位の上下変動を表わしている。

図-11 年平均低水位の5カ年移動平均値

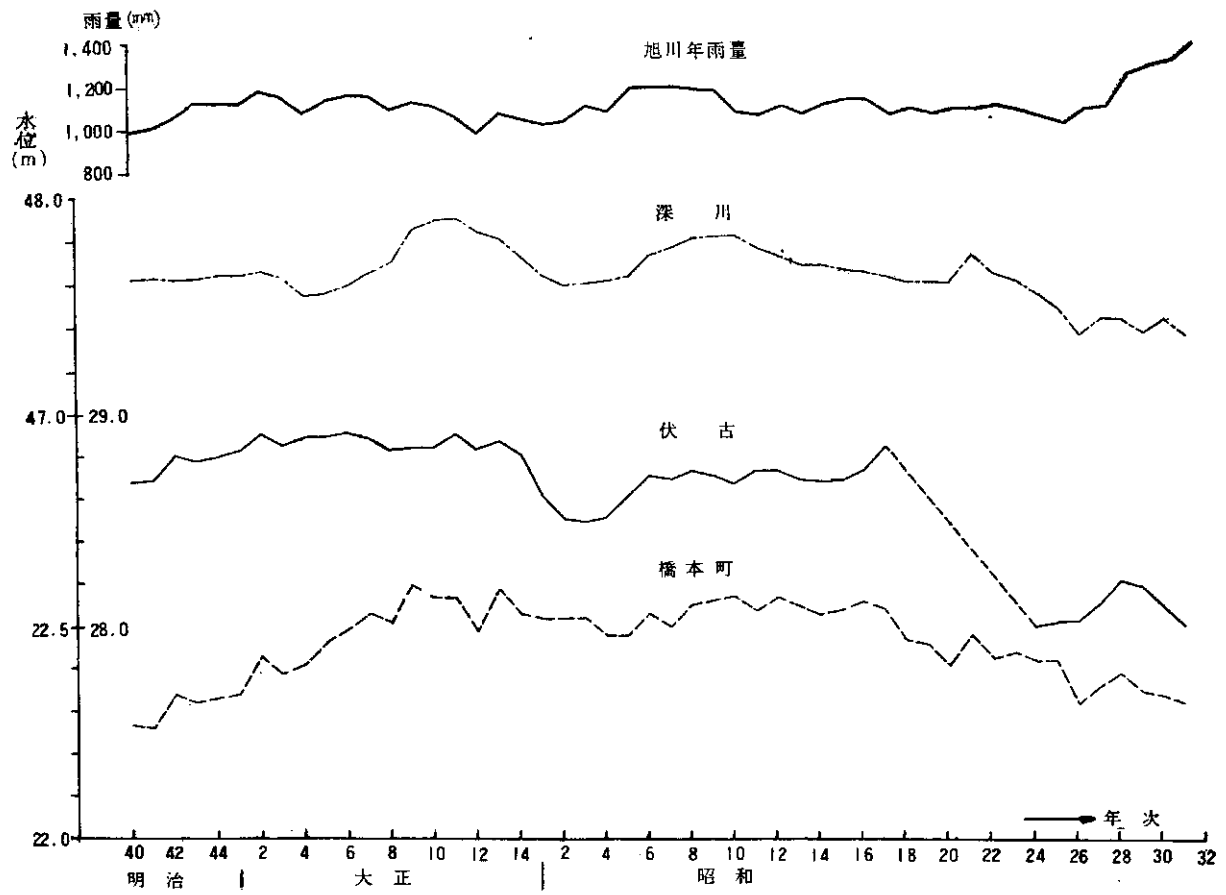


図-12 昭和6年を基準とした年平均低水位の変動

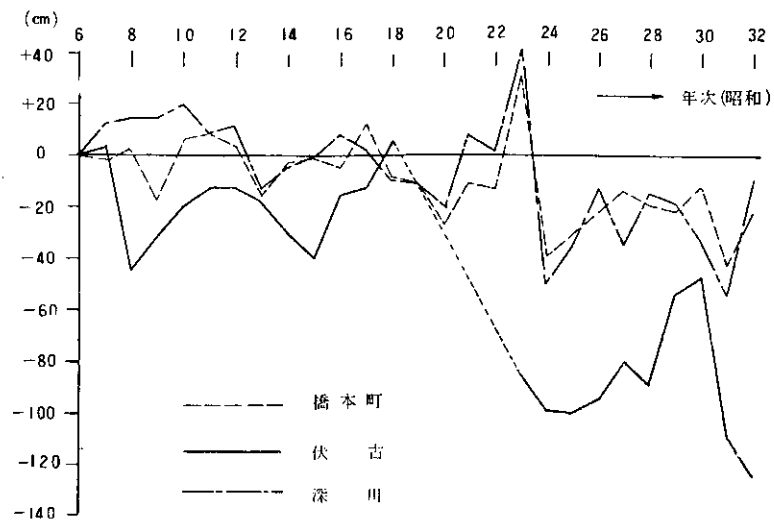
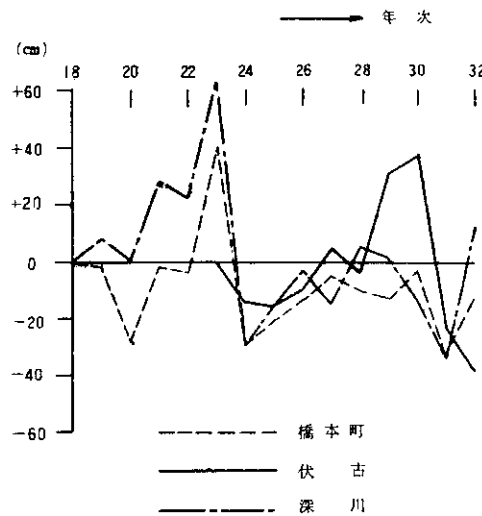


図-13 昭和18年を基準とした年平均低水位の変動（伏古は昭23）



ここで、下流部および中流部における低水位の変動（すなわち河床の変動）といちじるしく異なっていることは、昭和17, 18年頃までは大きい水位の変動を生じていないことである。すなわち、下流部の当別太・対雁および石狩大橋の3地点においては、昭和6年に生振捷水路の通水後1, 2年にしてきわめて大きい水位変動を生じ、昭和13, 14年には一応変動を終っている。これに対し、下流部捷水路の影響は上記の上流部3地点一橋本町・伏古および深川—には及んでいないことがみられ、中流部において大部分の捷水路が通水を完了した昭和18年頃から活潑な変動を始めている。つまり、これらの地点の水位（河状）に影響を及ぼす原因になったのは、中流部の捷水路であることがはつきりする。これらのことは図-12および図-13によりその状況を確認することができる。上流部における捷水路は通水の非常に新しいものが多いので、これらの区間における河状変化は今後さらに生じるものと考えられる。

III. 流砂量の観点からみた捷水路

——捷水路が河道に及ぼす今後の影響について——

1. 概 説

前章IIにおいて述べた事柄は、捷水路の与える影響のうちでも、捷水路が通水してから現在までに起つた変化、いわゆる過去より現在までの状態の変化に対する考察である。捷水路をも含めて自然的あるいは人工的に変動した現河道に対し、各捷水路が現在有している影響あるいは今後河道に及ぼす変化はどのようなものであろうか。

河道を変化させる原因となるのは主として土砂の移動であり、土砂の移動は流水が原因である。任意の流量に対し、ある断面の流砂量が上流断面の流砂量よりも大なるときは、その断面間の河床は洗掘され、小なるときにはその断面間に土砂の堆積を生ずることとなる。したがって、現在の河道状態で、各断面において種々の流量に対する流砂量を比較することにより、それらの断面間の河床の上下変化をある程度推定し得るわけである。

佐藤博士の研究によると流砂量を浮遊流砂量と掃流砂量とに分けて考えるとき、それぞれ近似的に次式に

よつて表わされる。

$$Q_s = \eta' \frac{Q^2}{B H} \quad (1)$$

$$Q_B = \frac{w \sqrt{g} n^3 Q^3}{B^2 H^{7/2}} \quad (2)$$

ただし、 Q_s ：河幅全体に対する浮遊流砂量 (kg/sec)

Q_B ：河幅全体に対する掃流砂量 (kg/sec)

Q ：流量 (m^3/sec)

B ：河幅 (m)

H ：水深 (m)

w ：水の単位重量 (kg/m^3)

g ：重力の加速度 (m/sec^2)

n ：Manning の粗度係数 ($sec/m^{1/3}$)

η' ：浮遊流砂量に関する係数

われわれの研究によると、石狩川の場合 粗度係数 $n=0.027$ であり、 $\eta'=0.0848$ である。また、河川は与えられた河道と流水条件のもとに常に動的な平衡状態に向つて動き、ある一定流量においては各断面の流砂量を一定とすべく変動しているの、河道および流水条件の刻々変化する現実においては一つの断面をとつてみても洗掘・堆積が間断なく繰返されているものと考えられる。しかし、通水後あまり期間を経していない捷水路のうちには、その上下流の在来河道部に対し流砂量に極端な差異をもつものがあるため、それらの間では今後しばらくは洗掘・堆積が一方向的に続く箇所がいくつか見受けられた。したがつて、今後の河床変動状況を確実に把握するためには、上流からの供給流砂量を推定し、われわれが前に示した方法によることが望ましい。今の場合現状における各捷水路の流砂量という面に対する定性的な勢力を概観し、在来河道部と比較することによつて、今後もお影響を有すると思われる捷水路ないしは区間を推定し、それらの区間の河床変動を予想したい。

2. 現状において石狩川の各断面が有する流砂能力

前節に述べたように、捷水路における流砂量を在来河道部におけるそれと比較することによつて、その捷水路・下流における今後の河床変動を推定することにする。そのために、現在における河道状況で数種の流量に対する不等流水位を河口から約 120km 上流の深川地点まで計算する。使用した河道横断図のうち、河口～26.6 km は昭和 31 年に、26.6～66.5km は昭和 32 年に、66.5～121.8km は昭和 31 年に測量したものである。

不等流水位を計算する流量の種類は 1,800, 1,000, 400 m^3/sec の 3 種類とした。このうち、1,800 m^3/sec は中流部地区において年に数回起る小洪水であり、400 m^3/sec は同じく中流部地区における平水流量である。

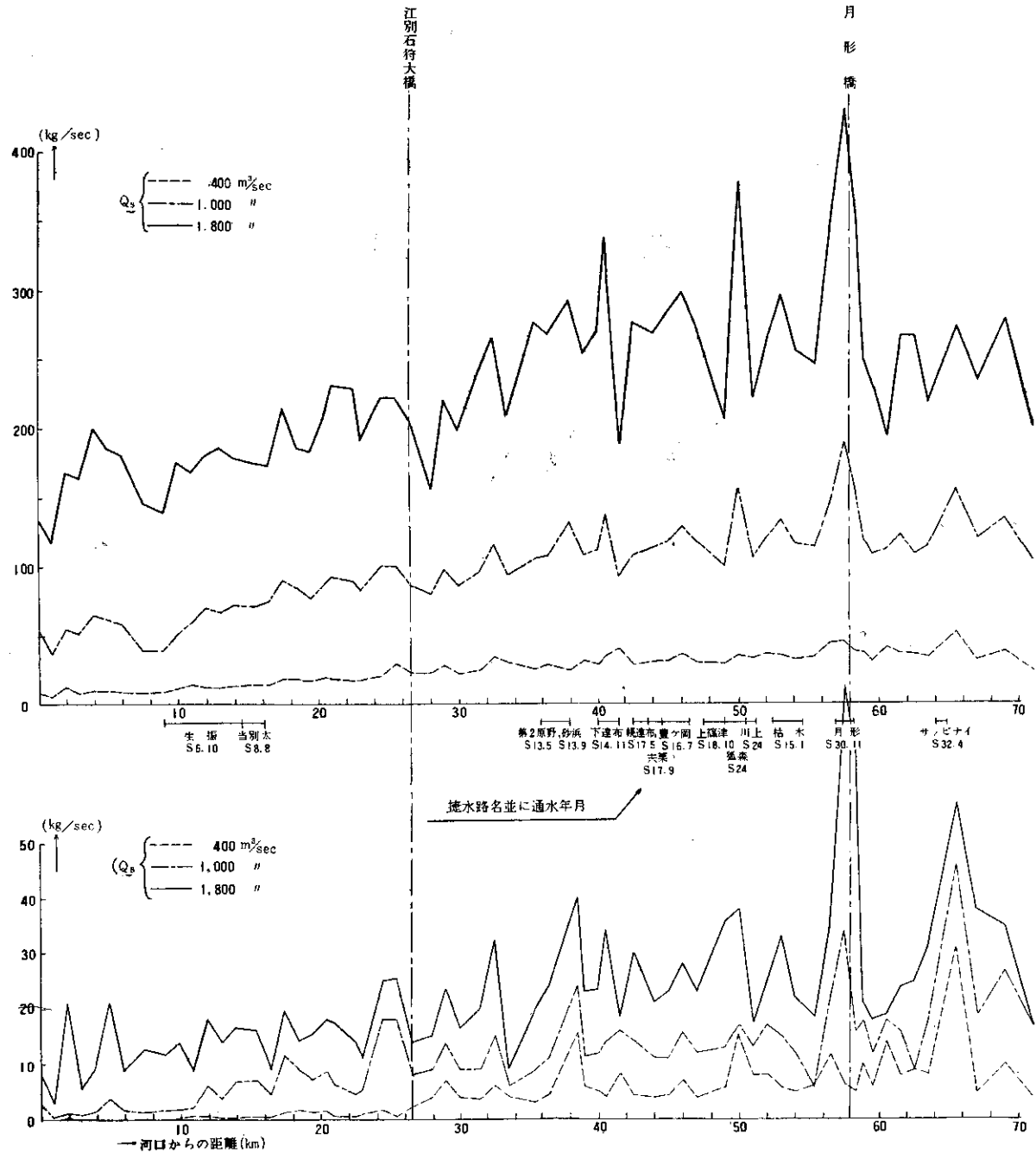
捷水路を施工した区間は、大部分旧水路を締切つて通水不能となつてゐるが、表-1 にみるように、最近の施工になるものは今なお両方を流過しているものもある。したがつて、特にこの新しい捷水路に対して、各旧河道への流量配分を考えた場合、2, 3 についての計算結果では約 10 % 程度の流量が旧河道を流れる。流量の大小によりまた捷水路ごとにこの配分比も多少変るが、計算の簡単化のため、いずれも同じく 10% だけ旧水路を流れるものとして取扱つた。

このようにして求めた不等流計算水位をもとにし、各断面における浮遊流砂量および掃流砂量を図示したものが図-14 である。

これらの図からみて、河口から 120km の区間を縦断的に概観した場合、各断面ごとに値の大小があり、今後もお相当の変動を生ずることが予想される。 Q_s においては、上・下流を通じて目立つたことはないが、 Q_B は流量が 1,000 m^3/sec あるいは 1,800 m^3/sec などの大きい場合には 80km 付近を境として、その上流は下流にくらべて約 2 倍の値をもち、これら上流部においては下流に比較して、大きく河床変動を起すであろうことが考えられる。

まず、80km 付近より下流についてみれば、ほぼ感潮区間の終端にあたる 27km 付近より河口にかけては、 Q_s 、 Q_B ともに大体一定で、下流になるにしたがつて漸減している。したがつて、この区間においては将来とも

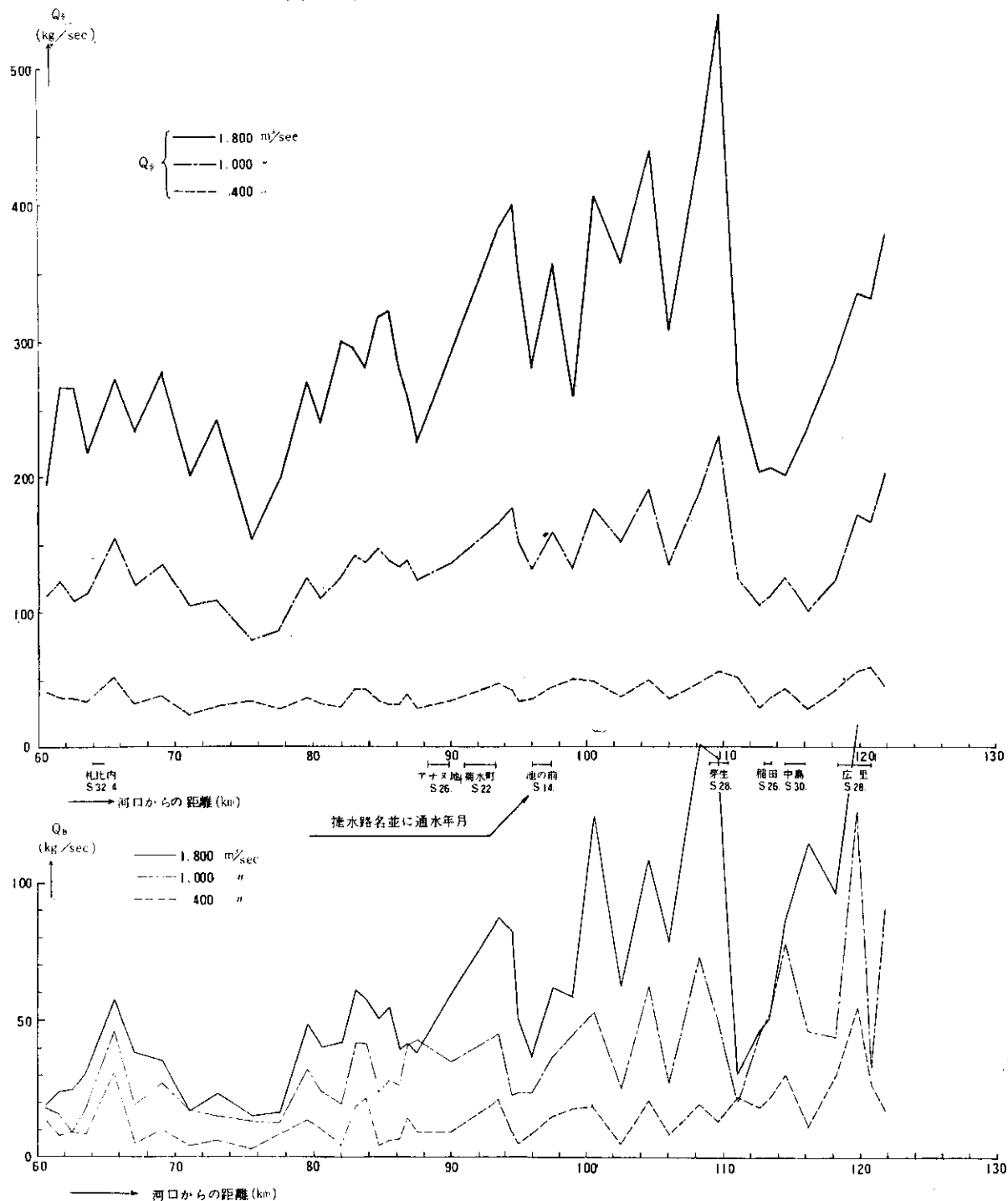
図-14(A) 掃流ならびに浮遊流砂量図



大きい変動を生ずることはないであろう。その上流においては、すでに捷水路工事を行つてから相当年月を経たものをも含めて、自然河道部においては土砂運搬能力は、ほぼ一定とみることができるが、捷水路の影響がまだいちじるしく残っている所がある。すなわち、下達布捷水路 (40~42km)・狐森捷水路 (49~51km)・月形捷水路 (57~58.5km)・札比内捷水路 (65km) 付近である。これらはいずれも通水の新らしい捷水路であり、これらを中心としたこの付近の河状変化はさらに起るものと推定される。

80km より上流区間は河床勾配が非常に大きくなるためと思われるが、 Q_B の値がこれより下流にくらべて約2倍となり、かつ、捷水路の影響のみでなく在来河道部自体においても土砂運搬能力がきわめて不規則であることを示している。とくに、100km より上流部は流量が大きくなると各断面ごとの Q_B の値の大小がいちじるしくなり、今後相当に河状変化が予想される。すなわち、これらの区間に起るであろう変化は、とくに捷水路の

図-14(B) 掃流ならびに浮遊流砂量図



影響ということではなく、在来河状そのものがまだきわめて不安定であることに起因しているといえるであろう。したがって、これら上流部における河床変動は、この自然河道の不安定さに捷水路の影響が加わって、今後なお複雑な変動を示すものと考えてよいであろう。具体的には、75, 89km 付近および96km より120km にかけての区間などをあげることができる。

IV. む す び

石狩川において、現在までに起つたあるいは今後起るであろう河状変化（とくに河床変動）を捷水路により

影響されたものとの観点に立脚して考察し、現在までの変化に対しては各地点の年平均低水位の変動により、また今後の変化に対しては各断面の土砂運搬能力を比較することによつて解析した。これらのことによつて考察された点をまとめると以下のようである。

1. 河口から約27km上流の江別までを下流部とすれば、約23kmに及ぶ旧河道を7.7kmに短縮した生振捷水路の影響をもつとも大きく受け、この捷水路上流端においては、昭和6年通水後約70cmの低下をみた。昭和8年にはさらに上流の当別太捷水路が通水して、この捷水路上流部はなお低下を続け、江別から下流少くとも生振捷水路にいたる区間は、全体として40cmから1m程度河床が低下したものと考えられる。

2. 江別一月形間約30kmの区間においても、下流部の捷水路工事の影響があらわれ、昭和6、7年を境として年平均低水位の減少がみられる。この区間には11個の捷水路が含まれおのおの相互に影響しあつてゐるため、解析は非常に困難であるが、下流部における変動と加味して約1m程度の河床低下をみたものと推定される。

3. 月形より上流約60km区間においては、中・下流部にくらべて変動を起し始める時期がいちじるしくこととなつてゐる。すなわち、中・下流部においては昭和6年の生振捷水路の通水後1、2年で変動がはじまるが、上流部においては中流部の捷水路が大部分通水を完了した昭和18年頃から変動を始めている点である。なお、これらの区間の捷水路は施工も新しいので今後とも河状変化に与える影響は大きいであろう。

4. 今後の河状変化を推定する1方法としての流砂量計算結果によれば、次のようなことがいえる。

- 1) 河口より27km付近にいたる区間は自然河道部・人為河道部（捷水路）を含めて Q_S 、 Q_B ともにほぼ一定であり、将来における河床変動はあまりないと思われる。
- 2) 27km付近より80km付近までの区間は、通水後年月を経た捷水路を含めて自然河道部においては Q_S 、 Q_B にあまり大きい差異はないが、月形・狐森・下達布および札比内捷水路を中心とした付近は各断面の土砂輸送能力に相当の差異があり、これにともなう河状変化がある程度予想される。
- 3) 80km付近より上流は、捷水路・自然河道部の区別なく Q_S 、 Q_B の値がきわめて不規則で、中でも Q_B の値はこれより下流にくらべて約2倍の値をもつてゐる。とくに100kmより上流は流量が大きくなると各断面ごとの Q_B の差が大きくなり、今後の河床変動も大きいことが予想される。これらの区間においては、自然河道部そのものがまだ不安定であるため、捷水路の影響と加わつて複雑な変化を示すであろう。

以上過去の資料の整理にとどまつたが、有益な御助言を賜つた高瀬石狩川治水事務所に深謝の意を表するとともに、同事務所より種々の資料の提供をいただいたことを謝する次第である。

参 考 文 献

- 1) 石原藤次郎編：応用水理学-中I；丸善，70～81（1958）。
- 2) 安芸咬一：河相論，主として河相と河川工法との関連性に就ての研究（その三）；土木学会誌，第28巻，第3号，（1942）。
- 3) 前出論文2）。
- 4) 大坪喜久太郎：石狩川について；第10回建設技術講習会テキスト。
- 5) 斎藤静修：偶感；河川，昭和26年6月号，日本河川協会，11～14，（1951）。
- 6) 小川譲二：石狩川下流部（第1期工事）新水路通水後の水位変化；北海道河川課，（1946）。
- 7) 山岡勲・谷口雅宥・植原茂次：石狩川中流部における河床変動に関する一考察—流砂量の観点からみた奈井江・江別間河床の将来変動，とくに月形における篠津運河頭首工の影響について—；北海道開発局土木試験所月報，第57号，（1958）。