

II-11 石狩川下流部大型水理模型実験について

北海道開発局河川計画課 正員 江利川 喜一
 “ 土木試験所 “ 竹本 成行
 “ “ “ 〇石田 享平

まえがき

流域の急速な開発・発展は、降雨流出を増量かつ尖鋭化し、河道への負担を増加させるとともに、治水経済上より高い安全度で整備することが要望されている。更に最近では河川災害に対する審判は厳しい情勢にあり、新たな観点から改修計画が検討されることを必要としている。

石狩川下流部は、石狩湾新港の建設が本格化しており、札幌市の著しい北部への発展と相俟って、沿川地域の重要度は急速に高まることが予測される。一方、上流での改修工事の進捗はこれまで経験しない負担を下流部にもたらし、安定な河道設計とその実施が急がれるところである。この区間は、弯曲、急縮、急拡、河口部流況、高水敷植生等現状では数値解析のみで改修計画立案が困難であり、水理模型実験による検討を必要としている区間である。しかし堤々間1kmを越える区間を含む大河川であり、緩勾配であることまた問題点の性格上、大縮尺無歪模型による実験が要求され、従来の施設では実施が不可能であったため、石狩実験場における最初の課題として、石狩川下流河口部の水理模型実験を53年度から実施している。

1. 石狩川下流部における問題点

河道計画の課題は、流下能力を確保する安定河道の設計であり、このために河川水理とこれに伴う河床変動機構が解明されなければならないが、河川毎また同一河川でも縦断的にそれぞれ特徴的課題を有している。

石狩川下流部の解明を要する問題点としては

- (1) 河道内水面形；河口拡散、断面急縮・急拡、河道法線弯曲等が連続しており、この区間の縦横断水面形の解明を困難にしている。
- (2) 河床変動；流量規模、洪水波形毎の断面内の流水挙動を把握し、洗掘、堆積機構を解明することにより、洗掘、堆積、河岸欠壊傾向及びその位置・量の子割が必要である。
- (3) 高水制御計画；高水処理にあたり、その低水路、高水敷、中水敷の治水上適切な流量分担、河川管理施設の安全と河道維持の検討、及びこれを満足する条件の設定、また広大な高水敷の有効利用等の計画策定は緊急を要している。
- (4) 河道維持；緩勾配、細粒土質河床材料を有する石狩川下流部の低水路の適正な河道維持の方策を立てる必要がある。

などがあり、これらは理論的検討のみでは解明が困難な課題であり、水理模型実験と合わせて検討することを必要としている。

2. 石狩川下流部水理模型実験計画

(1) 実施計画

理論検討を含めた実験テーマは次のとおりである。

- 1) 海域に流入する際の河口水理現象の検討
- 2) 河口狭窄部における水位堤上げ現象の検討
- 3) 石狩市街堤弯曲部における水理及び河床変動現象の検討
- 4) 生振捷水路下流における水理現象の検討

その他

既往資料の整理・解析

実験の検証としての現地観測および、大型模型による実験は初の経験であり、また石狩実験場における最初の実験であることから、模型製作、測定法、実験施設についての調査、検討を当面の課題としている。

実施計画としては、一応53年度より4ヶ年計画とし、53年度は課題4)のみを対象とした区間について、粗度付け法の検討と流況測定を行い、54年度において対象全区間の模型により、1)～4)の課題について固定床実験による水理現象検討を行う。55年度以降、計画河道案の検討を行うこととする。

(2) 模型範囲

(1)の検討課題から実験実施範囲は河口(沿岸を一部分含める)～Kp%3とし、対象区間への流入形態の相似性を確保するために、上流に助走区間として約2Kmを取り、模型製作の範囲は一部海岸域を含め上流端はKp%4までとした。

(3) 縮尺決定

一般の開水路の流れは重力が支配的な流れであり、完全乱流の範囲にある。開水路の模型において実物と同一の運動方程式が成立するとき、各項の比が模型と実物において一定という条件からフルードの相似律が導かれる。したがって、この条件が成立する範囲において縮尺を決定し、他の諸量の相似比をフルードの相似律によって定めれば力学的相似条件が満足される。一方、検討課題が次元流れの性格の強い水理現象を対象としているので、模型は歪ませないことを計画する。したがって、幾何学的相似比すなわち長さの比を $L_r = L_p / L_m$ (L_p : 実物長さ、 L_m : 模型長さ)で表わすと他の主要な諸量の相似比はフルードの相似律から次のようになる。

$$\text{流速} \quad U_r = L_r^{1/2}$$

$$\text{流量} \quad Q_r = L_r^{5/2}$$

$$\text{粗度係数} \quad n_r = L_r^{1/2}$$

粘性効果に対する限界

粘性の効果はレイノルズ数 $Re = UR/\nu$ (U : 流速、 R : 径深、 ν : 動粘性係数)で表わされ、 $Re > 500$ で乱流域、 $Re < 500$ で層流域になる。したがって模型の流れが乱流域にあるための条件は、

$$\frac{U_r \cdot R_r}{L_r^{1/2} \cdot \nu_m} > 500$$

$$L_r < \left(\frac{U_p \cdot R_p}{500 \nu_m} \right)^{2/3}$$

50年8月洪水の対象区間高水敷の流れを、表面流速の等流速線平面図より概観すると、 $U_p = 20 \text{ cm/s}$ 、水深 $h_p = 150 \text{ cm}$ 以上の範囲についてこの条件を満足すれば良いであろうと判断される。実験期間として5月～11月を考慮し、 ν_m は水温 5°C の $1.5 \times 10^{-2} \text{ cm}^2/\text{s}$ を用い、 R を h として、上記条件から縮尺限界を求めると、

$$L_r < 54$$

すなわち、縮尺 $1/50$ 程度以上が要求されることになる。一方、ニクラゼの実験によれば、摩擦速度 $U_* = \sqrt{g h I}$ (g : 重力の加速度、 I : 水面勾配)と相当粗度 k_s で作られるレイノルズ数が、

$$\frac{U_* \cdot k_s}{\nu} > 70$$

の範囲では抵抗係数はレイノルズ数と無関係になることが示めされている。模型における流れについて $I = 1/7000$ として検討すると、この条件を満足するためには $k_s = 3 \text{ cm}$ 以上が必要となる。したがって、現地水深 150 cm 以上をカバーするためには $L_r = 50$ となる。

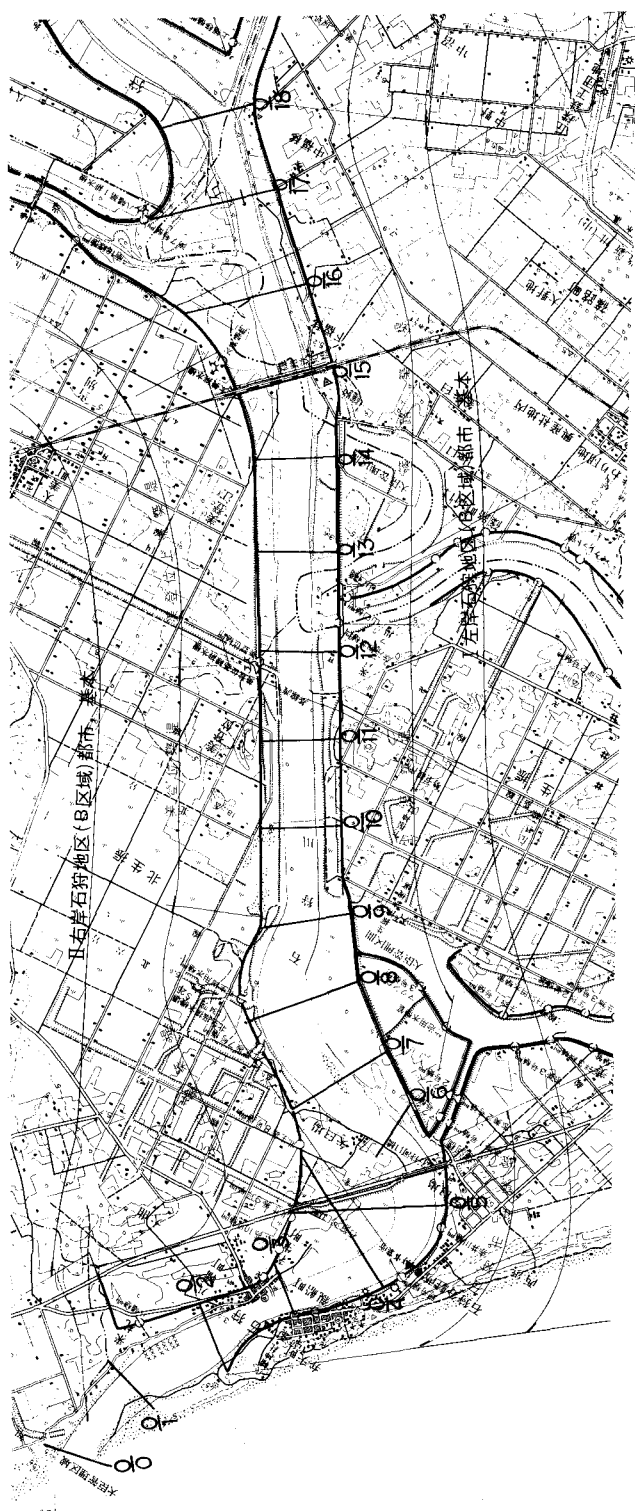


図-1 石狩川下流部平面図

(4) 水理条件

1) 定流実験を基本とする。

2) 検証実験流量

50年8月洪水は上流で氾濫しているが、石狩大橋地点の最大通過流量は7,500 m^3/s と推算されている。実験対象区間の上流で豊平川、当別川が合流しており、同時刻の豊平川雁来地点流量460 m^3/s と比流量で推定した当別川流量を単純に加算すると約8,000 m^3/s 強となる。航空写真解析から得た表面流速から計算された流量縦断面図によると、支川合流点において不連続的に流量が増加するが、下流に向って減ずる傾向が見られる。この傾向を考慮し、実験対象区間の流量を平均的にみても7,500 m^3/s とした。

54年5月の融雪出水時には、石狩大橋地点の最大通過流量は1,700 m^3/s と推算されている。豊平川と当別川の合流量を考慮して、実験対象区間の流量を2,000 m^3/s とした。

3) 計画流量

現計画流量は、河口地点で9,350 m^3/s となっている。現在、計画流量の改訂作業中であるため、計画流量の想定流量として12,000 m^3/s を用いることとした。

4) 下流端水位

下流端の水位調節ゲートの操作は、K.P. 3 km付近の水位を合わせることを原則とした。

3. 模型製作

模型製作方法は従来から行われてきたのと基本的に同様の方法によった。すなわち周囲を軽ブロックで囲い、中に砂を搬入し、横断面形に従って切り抜いたベニヤ板を所定の位置に設置して、砂で概略の河道形状を形づくり、その上をモルタルで平面図を参照しながら最終仕上げを行う方法である。

上下流断面形を参照しながら中間河道を仕上げるには、断面間隔2 m、最大でも3 m以下が望ましい。測量断面は低水路200 m間隔、高水敷500 m間隔となっており、模型上ではそれぞれ4 m、10 mとなる。そこで2 m間隔となる断面を測量断面、コンター図から推定し横断型板を製作、設置している。これら横断型板は沈下を防ぐために木杭支持としている。また、凍上対策として填充砂の粒度と排水に配慮した。

4. 実験概要

(1) 検討項目

1) 水位縦断

昭和50年8月洪水の痕跡水位の調査からK.P. 10~12 km付近で、水面勾配 $I = 1/1300$ 程度の顕著な堰上げ現象が報告されている。また、K.P. 2~4 km付近でも同様の現象が報告されている。これらの現象は、現地の低水路の平面形状（急拡部）や縦断形状などから、一応予測されるところであるが、水位差が予測以上に大きいと考えられるため、実験的に検討しようとするものである。

2) 弯曲部の流況把握

洪水時には、弯曲部外側の河岸への浸食負荷が増大することが予想される。また、流量の増大に伴って流水が高水敷を流れるようになると、低水路だけを流れていた場合と異なった流況となることが考えられる。そこで、洪水時の弯曲部付近の流況を知るため、水位・流向・流速などを実験的に調べるものである。

3) 流下能力の検討

現況河道において計画流量の想定流量を流して、今後の改修の上で留意すべき事柄について調べる。

4) 模型粗度の効果の検討

模型の碎石粗度（40~80 mm）が水位の変化に伴って、粗度効果にどのように影響するかを調べ、本実験の現地への適用性の基礎資料とする。

(2) 測定項目と測定方法

測定項目；水位、流速、流向、流線

測定カ所；Kp⁵/₁₀～⁹/₁₀ 各Kp断面

横断測線 22～26カ所（水位、流速、流向）

深さ方向測点 低水路5点、高水敷る点（流速）

測定方法；水位 ポイントゲージ

流速 プロベラ（φ14mm）式流速計

流向 糸による目視（分度器使用）

流線 浮子（パンチクズ）、塗料放流による目視及び高所写真撮影（クレーン車使用）

(3) 検証実験

検証方法としては、50年8月洪水記録を基に水位及び表面流速分布を合わせる方向で河床粗度を調整する方法をとった。粗度調整は、その程度に応じて5～15mm、15～20mmの小砂利をセメントペーストで河床に張り付け、高木密生地区については40～80mmの碎石を配置する方法によった。調整手順は、まず低水路の検証として現地流量2000^{m³}/_s について現地実測水位と現地表面流速分布とを模型の値と比較し、大略一致するように調整した。しかるのち、高水敷の粗度検証として、50年8月洪水7500^{m³}/_s を流し当時の観測記録と比較し調整を行った。

5. 実験結果

(1) 検証結果

低水路の実験水位と現地観測水位及び不等流計算水位とを図-2に示した。航空写真測量から得られた表面流速分布をも参考にしておおむね満足できるものと判断した。

高水敷の実験水位と痕跡水位、航空写真測量水位及び不等流計算水位を図-2に示した。実験水位は痕跡水位と航空写真測量水位のいずれよりも高い水位となった。一方、K.P. 0kmの実験水位を起算水位として実験断面で不等流計算を行った結果と実験水位とは一部を除いて同様の推移を行っているため、河口付近の水位が高いために全体として高い水位となったのではないかと考えた。また、河口付近の表面流速分布状況を比べると実験値の方が大きめとなっており（ $V_m > V_p$ ）、水位も実験値の方が高い（洪水時河道断面と実験水路断面とが同じならば、 $R_m > R_p \therefore A_m > A_p$ ）ことから、流量（ $Q = AV$ ）が洪水時と実験とは異なっている（ $Q_m = A_m \cdot V_m > A_p \cdot V_p = Q_p$ ）こととなる。逆に、流量が正しくとられていると仮定するならば、洪水時に河口付近の河床と海域とが洗掘により変形していたのではないかと考える。

(2) 計画流量想定流量実験

水位については、検証結果と同様に高めの水位が得られていると考えられるが、50年8月洪水とほぼ同様の傾向になった。

流況について見ると、K.P. 5km付近の弯曲部に特徴が見られる。すなわち、流水が高水敷を走り流心が右岸側へ寄ってきている。このため、流水が低水路だけを流れている場合に比べ、水衝部が下流側へずれる。

あとがき

現在、測定データの一次処理を終えたところであり、今後更にデータの検討・解析を進めるとともに、河口付近の洪水時の予想断面での実験を加えていくことが必要と考えている。なお来年度は改修計画案での流下能力の検討等を行う予定である。

この実験の実施に当り多くの御指導をたまわりました石狩川大型水理実験委員会の諸先生に謝意を表します。

