

千代田実験水路における試験通水

Discharge into the Chiyoda Experiment Channel

(独) 土木研究所寒地土木研究所
 (独) 土木研究所寒地土木研究所
 (独) 土木研究所寒地土木研究所
 北海道開発局建設部河川計画課
 北海道開発局帯広開発建設部治水課

○正会員 島田 友典 (Tomonori SHIMADA)
 正会員 渡邊 康玄 (Yasuharu WATANABE)
 正会員 横山 洋 (Hiroshi Yokoyama)
 非会員 石川 伸 (Shin Ishikawa)
 非会員 吉柳 岳志 (Takeshi Kiryu)

1. はじめに

十勝川において治水安全度を向上させることを目的に、日本最大となる起伏式ゲートを4門配置した千代田新水路が2007年4月より運用を開始している。千代田実験水路(図-1)はこの一部を活用することで、最大で $170\text{m}^3/\text{s}$ もの流量を通水させることが出来る日本最大規模の実物大河川実験施設である¹⁾。この水路を用いた実験は2009年度から行なわれる予定であるが、これに先立ち2007年度から実験水路の基礎的な特性を明らかにし、今後の実験に向けた基礎資料とすることを目的に予備実験を実施している。本稿は今年度を実施した予備実験の内、水理特性について報告するものである。

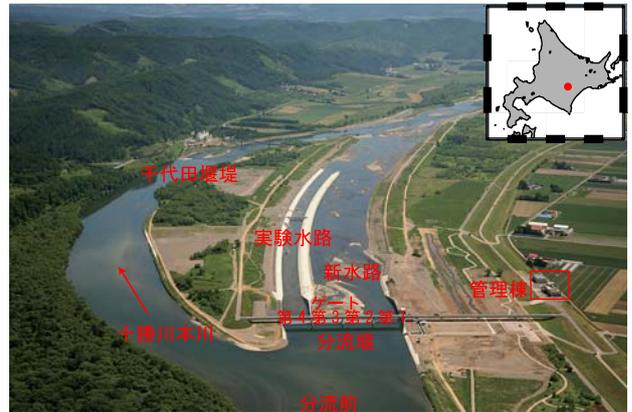


図-1 千代田新水路及び実験水路

2. 実験水路概要

図-2に実験水路の諸元を示す。実験水路上流端にはゲートが配置され、開閉操作することにより十勝川から流量の一部を実験水路内へ供給することが可能である。しかしながら十勝川にある千代田堰堤農業用取水位を確保する必要があるため、十勝川の流況に応じて実験水路へ供給できる流量は制限される。また制限内の操作であった場合でも、ゲート開度が過大となり水路内への供給流量が安定しないことも考えられる。2009年度から実験を行なうにあたり、十勝川の流量とそれに対する実験水路への供給可能流量との関係を把握することが不可欠となっている。

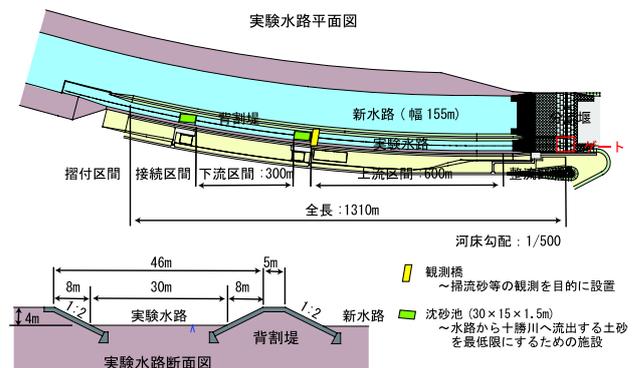


図-2 実験水路の諸元

3. 実験概要

実験水路の基礎的な特性を明らかにするため、図-3に示すような観測を行った。

今年度は全6回の通水を行い、その概要は次の通りである。なおここで記載している流量は通水前に設定した目標流量である。

第1回通水は初めに $40\text{m}^3/\text{s}$ を、途中から $120\text{m}^3/\text{s}$ へと流量を増加させた。第2回通水は流量を $45\text{m}^3/\text{s}$ とし、ここでは唯一、図-3に示す全ての観測を行うことが出来た。なお今年度は例年に比較し降雨が少なかったことから、第3回通水以降は本川流量が増えず $10\text{m}^3/\text{s}$ 台での実験であった。

(1) 水位観測

定点水位計(電波式)は1秒毎にデータを取得、60秒平均を1データとし、10分毎に管理棟においてリアルタイムでデータの確認が可能である。なおダイバー式

水位計(水圧式)は実験の終了後、機器を引き上げデータ回収を行なう必要がある。定点水位計及びダイバー式水位計の精度は1cmである。

実験時には流況をリアルタイムで把握し、目標流量の修正等を行なうことが必要であるため、今回は定点水位計の結果を用いて検討を行なった。

(2) 流量観測

高水流量観測(6測線)は精度向上を目的に通水中に断面を測量し、その結果を用いて流量算出を行なっている(但し第1回では通水後断面)。低水流量観測は10測線2点法で実施し、同時に河床高測量を行い流量算出を行なっている。

杭ワイヤー式観測の方法は次の通りである(図-4)。ワイヤーが設置されたウィンチを観測船の先端に搭載

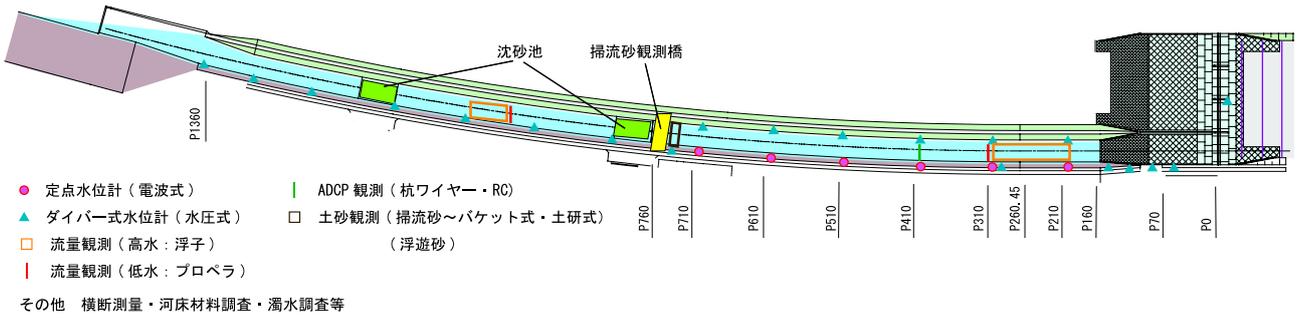


図-3 観測実施箇所

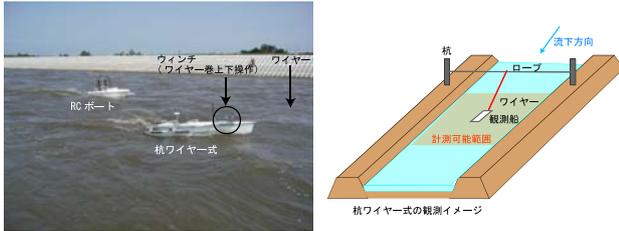


図-4 RC ボート及び杭ワイヤー式による ADCP 観測

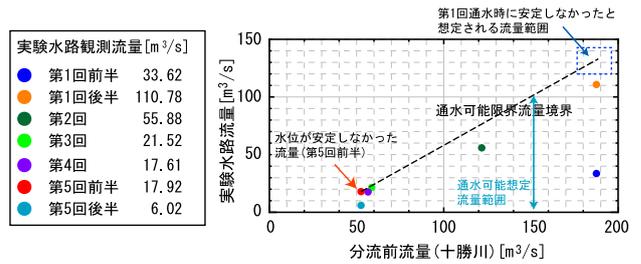


図-6 実験水路流量と十勝川流量

し、このワイヤーを両岸に配置した杭間のロープとつなげている。船に設置したウィンチは遠隔操作が可能でワイヤーの巻上・巻下ができ、またロープを渡している杭にも手動ウィンチがついており左右へ移動が可能である。これより観測船は縦横断方向に自由に移動観測が出来るものである。ラジコンボートと比較すると流れの影響を受けにくく操作性の精度は高いが、反面ワイヤー長以上の観測には杭の移動が必要となる。

なおどちらの観測船にも ADCP の他に音響測深器を搭載しており、また精度向上のため RTK-GPS (Real Time Kinematic Global Positioning System) を搭載している。横断測線上を走行することにより各水深毎の流速と河床高データを取得し、流量算出を行なうことが出来る。

(3) 河床高・河床材料

通水前後に横断測量及び河床材料調査を行った。横断測量は 50m ピッチ毎に、河床材料は P260・P460・P660 の 3 測線上で横断方向に左右岸と中央の 3 箇所、計 9 箇所を実施している。

4. 観測結果

(1) 水位観測

a) 水位観測結果

図-5 に水位観測結果を示す。第 2 回通水では水位が安定し定常状態に到達しているが、第 1 回通水では後半の目標流量に対して操作制限を越えることが予想されたため途中で目標流量を引き下げている。また第 5 回通水時は前半で定常に到達することなく、常時水位が下がり続けていた。これは操作制限内であったにも関わらず、本川流量に対して目標流量が大きすぎたことが考えられる。なお観測結果を用いた本川流量とそれ

に対応する設定可能な目標流量の関係については、流量観測結果の項で述べる。

b) 水位の安定性

定常実験では通水中に流況の安定を判断し、その時点から各種観測を始めることが重要である。その判断基準は機械誤差を考慮して概ね水位の時間変動量が 1cm/1min を一つの目安とするが、第 5 回の結果からわかるように、変動量がこの条件を満足したとしても、常に 1cm づつ下がり続けることも予想される。また第 1 回通水のような大流量時は水面の波立ち等が発生するため変動量 1cm 以内に収まらない場合もある。

図-5 より水位の時間変動量が一定の範囲内となり、且つその変動量が常に同じ符号へ変動しないこと、さらにこの状態が 30 分程度継続したことを流況の安定の判断指標とすることが妥当であると判断した。

(2) 流量観測

a) 各実験流量

低水流量観測結果と十勝川本川の分流量との関係を図-6 に示す。ただし第 1 回通水時は低水流量観測が未実施のため、通水後断面を用いた高水流量観測結果である。

水位観測結果より、第 1 回通水時の後半目標流量が操作制限を越えたこと、第 5 回通水時前半では水位が安定しなかったことより、それらを結んだ直線を想定通水可能限界流量境界とした。通水限界流量を超えたデータが少ないことから、単純ではあるが今後の実験水路への通水可能流量の設定に用いることが可能であると考えられる。但し十勝川本川の流量は H-Q 式より算出していることから、H-Q 式の更新が必要となった場合は新たに検討すべきである。

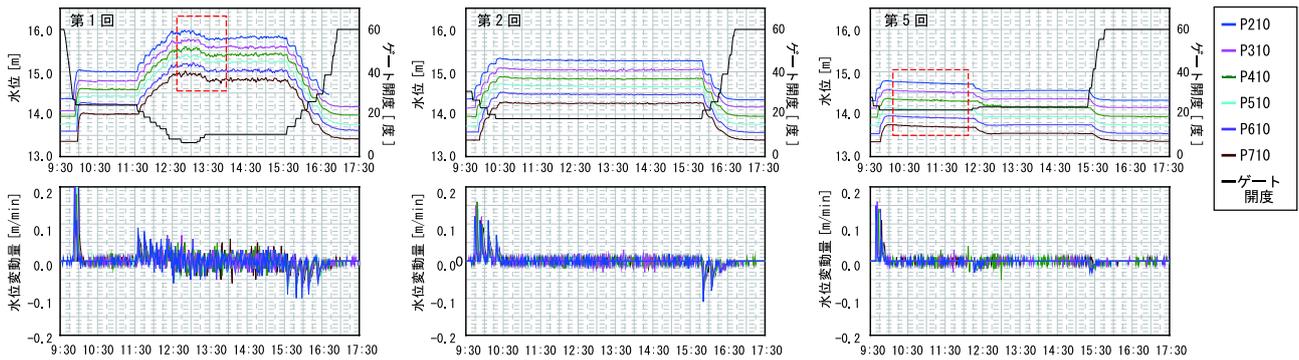


図-5 水位観測結果 (上段：水位観測結果，下段：水位の時間変化量)

b) 観測機器特性

第1回及び第2回の各手法を用いた流量観測結果を図-7に示す。なお ADCP 観測において GPS の不具合により RTK 観測が出来ず単独測位状態しかデータが得られなかった結果もあるが併記している。また第1回観測時の前半では水深が浅くデータが1層の取得であるため、ほとんどを補間(水面部では第1層流速値、河床部では理論式)で行なっている。

高水流量観測を基準として、それぞれの観測手法によりどの程度のバラつきがあるかを示したものが図-7の右図である。流量規模が小さくほとんどを補間で流量を算出している第1回前半や、単独測位状態であるときはその差が大きくなっている。それ以外では概ね15%以内であった。この結果は木下²⁾による観測結果と概ね一致しているが、今後はより大規模な流量で検証を行なう必要がある。

(3) 河床水位縦断・河床材料

図-8に通水前後の河床高及び定常時間帯での平均水位を、河床材料調査結果として、通水前後の平均粒径も併せて示す。

水位が安定した時間帯ではどの実験ケースにおいても概ね等流水深となっている。

また河床材料調査結果より、第2回通水ではほとんど粒径に変動がない。これは広い範囲の粒径土砂が下流へ流されたためと考えられる。第3回通水以降では粒径が粗くなっている。これは通水流量が少なかったため、限界掃流力が小さい粒径の細かいものが中心に下流へ流されたことが原因と考えられる。なお第1回通水時は河床材料調査を、第6回通水時は横断測量及び河床材料調査を行っていない。また掃流砂・浮遊砂の採取・分析も行なっているがこれについては現在、分析中であり、今後はこれらのデータを用いて土砂に関する総合的な検討を行なう予定である。

(4) 水理量

ここまでの結果より、実験時の水理量等をまとめたものを表-1に示す。ここで Q は流量 (低水流量観測結果), h は水路内の平均水深, u は流量と通水断面より算出した平均流速, Fr はフルード数, I_b は河床勾配, I_w は水面勾配, n は Manning の平均流速公式より算出した粗度係数, u_* は摩擦速度を表す。また Re_* は河床

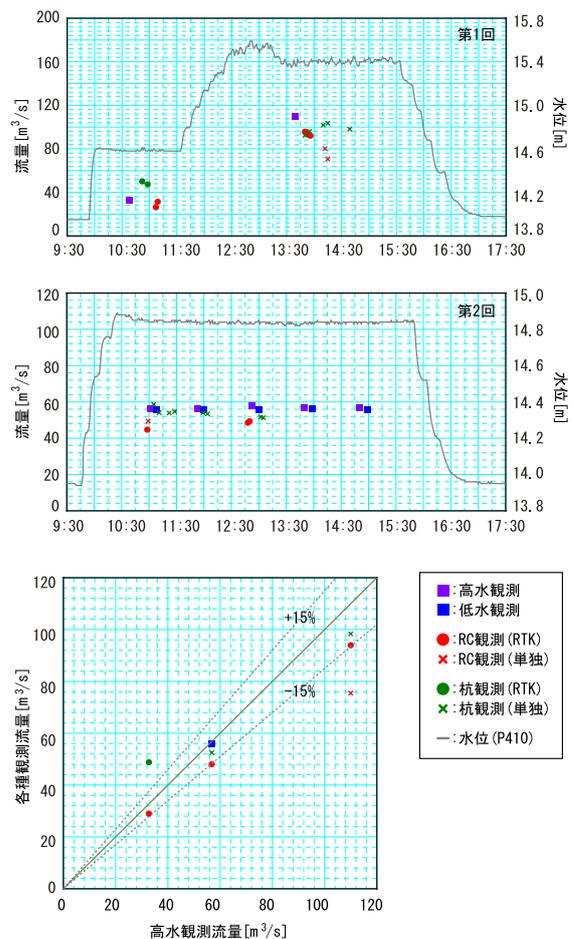


図-7 観測手法別の流量 (上2段) とその比較 (下段)

の平均粒径に対する粒子レイノルズ数である。水理量から逆算した Manning の粗度係数は $n=0.018\sim 0.023$ となっている。この値は河床材料や水路形状から整理されている値と一致している³⁾。

(5) 河床形態

今回の実験結果より芦田・道上⁴⁾の河床形態判定法を用いて河床形態の判別を行なった。図-9にその結果を示す。第2回通水時のみ Lower Regime の領域 (砂蓮・砂堆) である (第1回通水時はデータがないためプロットしていない)。砂蓮の波長・波高は主に土粒子の粒径に依存しており、粒子レイノルズ数が20以上で土

表-1 各実験毎の水理量

	$Q[m^3/s]$	$h[m]$	$u[m/s]$	Fr	I_b	I_w	n	$u_*[m/s]$	Re_*
第1回(前半)	33.62	0.67	1.60	0.63	1/518	1/514	0.020	0.11	-
第1回(後半)	110.78	1.47	2.28	0.60	1/518	1/515	0.023	0.16	-
第2回	55.88	0.93	1.88	0.62	1/512	1/503	0.023	0.13	1,775
第3回	21.52	0.53	1.31	0.57	1/505	1/493	0.022	0.10	1,337
第4回	17.61	0.44	1.30	0.63	1/513	1/491	0.020	0.09	1,453
第5回(前半)	17.13	0.41	0.41	0.69	1/518	1/488	0.018	0.09	1,163
第5回(後半)	6.15	0.25	0.25	0.53	1/518	1/493	0.021	0.07	903

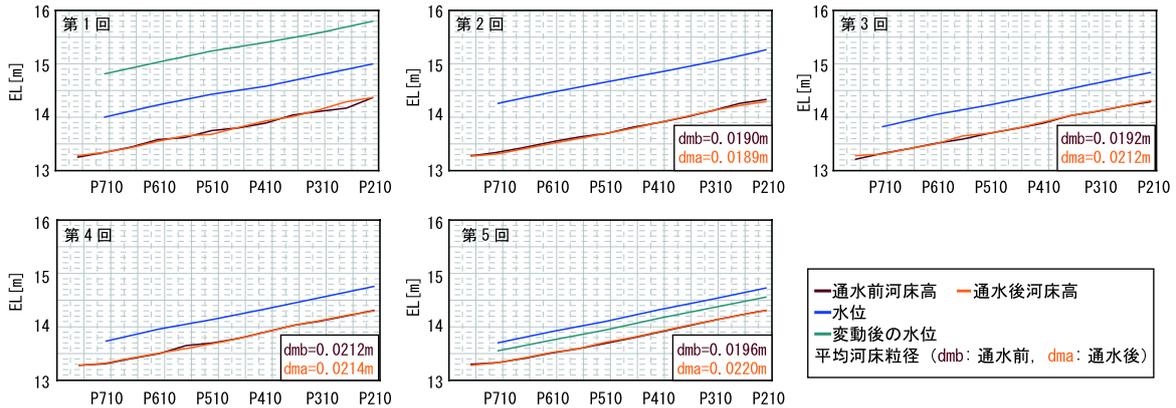


図-8 河床・水面の縦断形

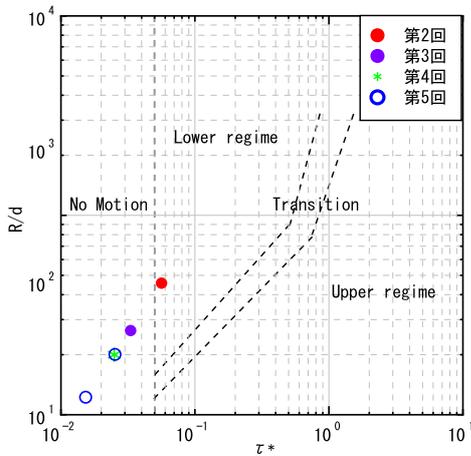


図-9 河床形態

粒子粒径が0.6mmを超える条件下では発生しないことから、今回は砂堆が発生していたことが推測できる。

また第2回通水時には面的に ADCP を用いた観測を行っており、その結果を図-10 に示す(但し GPS 不具合のため単独測位状態)。今回の水理条件下では理論的な波長は4.6~6.5m程度 ($\lambda = 5h$ あるいは $7h$, ここで λ は波長 [m], h は水深 [m])⁵⁾, 波高は0.14~0.39m程度 ($H = (0.03 \sim 0.06)\lambda$, ここで H は波高 [m])⁵⁾であるが、観測では波長10m程度、波高0.10m程度と観測された。

今後、観測した掃流砂量と種々の掃流砂量式を用いて比較検討を行なう際には、河床波による抵抗を考慮する必要がある。

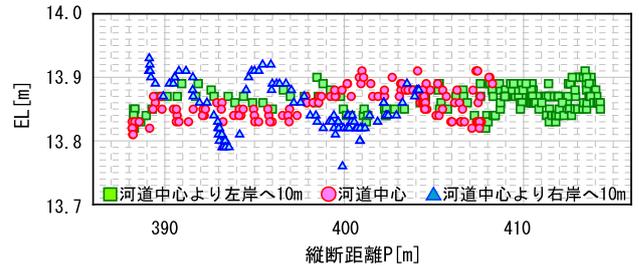


図-10 RC ボートによる河床高測定

5. おわりに

千代田実験水路の基礎的な水理特性を把握することを目的に様々な流量下で観測を行なった。しかしながら大流量の条件下で行なえなかったこと、観測機器の不具合等があり十分な観測が行えなかったことが課題として挙げられる。これらについては次年度も予定されている予備実験で明らかにする必要がある。

参考文献

- 1) 千代田新水路及び実験水路について, 国土交通省北海道開発局帯広開発建設部, <http://www.ob.hkd.mlit.go.jp/hp/kakusyu/chiyoda/index.html>
- 2) 木下良作: ADCP(超音波流速計)によりうかがわれる洪水時の流れ構造, 土木学会第51回水工学講演会, pp.12, 2007
- 3) 日野幹雄: 明解水理学, 丸善株式会社, pp.142, 1983.
- 4) 芦田和男・道上正規: 移動床流れの抵抗と掃流砂量に関する基礎研究, 土木学会論文報告集, 第206号, pp.59-69, 1972.
- 5) 水理公式集, 社団法人土木学会, pp.483, 1999.