# 千代田実験水路における基礎的な水理特性

Basic Hydraulic Characteristics of the Chiyoda Experimental Channel

(独)	土木研究所寒地土木研究所	〇正会員	市原 哲也	(Tetsuya ICHIHARA)
(独)	土木研究所寒地土木研究所	正会員	島田 友典	(Tomonori SHIMADA)
(独)	土木研究所寒地土木研究所	正会員	横山 洋	(Hiroshi YOKOYAMA)

### 1. はじめに

十勝川には治水安全度を向上させることを目的とした 千代田新水路があり、この一部に最大 170m<sup>3</sup>/s もの流量 を通水させ、人工洪水による実験ができる日本最大規模 の実物大河川実験施設「十勝川千代田実験水路(以下, 千代田実験水路と称する)」(図-1・図-2)がある. この水路を用いた本格的な実験は2009年度から行われ る予定であるが、これに先立ち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.本稿では昨年度の予 備実験<sup>1)2)</sup>よりも大流量での通水を実施できたことから, この水理特性について報告するものである.

#### 2. 実験概要

実験水路の基礎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2回の予備実験を行った.各実験の通水前 に設定した目標流量は,第1回通水が100m3/s,第2回 通水が 75m<sup>3</sup>/s であり、1 回当たりの通水時間は概ね7 時間程度である.

なお,1回目の予備実験では流量が大きく危険を伴う ことからも、低水流量観測及び、ラジコンボートによる ADCP 観測は実施していないが、2回目の予備実験では 図-3に示す全ての観測を行うことができた.

## 2.1 水位観測

図-3に示す箇所にて、定点水位計(電波式)及び、ダ イバー式水位計(水圧式)による水位観測を行った. 定点 水位計・ダイバー式水位計共に、5 秒毎にデータを取得 し60秒平均を1データとしている.

### 2.2 河床高·河床材料

河床高については 50m ピッチで横断測量を実施,河 床材料調査については、3 測線上(P260, P460, P660)で 横断方向に中央及び左右岸の3箇所で実施した. 河床高, 河床材共に通水前後の2回行っている.

### 2.3 流量観測

## (1) 高水及び低水流量観測

高水流量観測は, 第1回, 第2回通水共に, 図-3 に示すように上流区間は2区間を各5回,下流区間は1 区間を5回行い、計15回の観測を実施した.1横断面 当たり6測線にて流速を計測し,通水後の測量結果を用 いて流量算出を行っている.

低水流量観測は第2回通水時において、上・下流区間 共に回転式流速計を用い各3回の観測を実施した. 上流 区間については1横断面当たりを10分割して2点法に



図-1 千代田新水路及び実験水路



て実施し、下流区間については1横断面当たりを9分割 して主に精密法にて実施した.なお,第1回通水時は前 述の通り観測に危険が伴うため未実施である.

#### (2) ADCP 観測

ADCP を用いた観測は図-3に示したように杭ワイヤ ー式観測船(以下, 杭ワイヤー式)とラジコンボート(以下, RC ボート)の2種類を使用した. 杭ワイヤー式は第1回 通水時に13測線,第2回通水時に10測線,RCボート は第2回通水時に2測線の観測を実施した. ADCPの主 な設定は層厚; 0.1m, Ping 数; 3(第1回), 2(第2回), モード数;12(ハイレートピンギングモード)であり,喫 水深は杭ワイヤー式が約11 cm, RC ボートが約10 cmで ある. 杭ワイヤー式 <sup>1)2)</sup>は、水路上を横断方向に張わせ たロープに, 観測船先端に搭載しているウィンチにワイ ヤーをつなげ遠隔操作を可能としている. RC 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良い が、観測範囲は限られてしまう. どちらの観測船にも ADCP の他に音響測深器,更に位置精度向上のため GPS



図-4 水面・河床の縦断形及び河床材粒度分布図

を搭載しており, RTK-GPS 測位(Real Time Kinematic Global Positioning System)にて流速,流向,水位,水深 を観測した. なお第1回通水時については通水中におけ る河床形状把握のため,杭ワイヤー式を用いて P441~ 475 において縦断方向に1 測線(横断位置は河道中心か ら左岸に10m), P446 付近の横断位置中心において1時 間 50 分程度の定点観測も併せて実施した.

#### 3. 観測結果

#### 3.1 水位及び河床高の縦断・河床材料

図-4に水位が安定していた時間帯の平均水位,通 水前後の河床高及び、河床材料調査の結果を示す. 概ね 上流区間において水深が一定であるため,等流状態であ ったと考えられる.

河床材料については、第1回通水では粒径が粗くなっ ているのに対し、第2回通水では細かくなっている.昨 年度の予備実験では、通水流量が小さいほど粒径が粗く なっていた.これについては、土砂観測結果も併せて今 後、検討を行う予定である.

## 3.2 流量観測

洪水時などの様々な厳しい条件下では、その簡便さと 確実さから浮子を用いた高水流量観測が最も一般的であ る<sup>3)</sup>. その他の観測手法としては、低水流量観測時に用 いる回転式流速計、近年では ADCP を搭載し RC ボート



図-5 観測手法別の流量の比較

を用いた観測<sup>4)</sup>などが提案されている.このようなこと から,各観測手法により得られる流量にどの程度の差が あるかを明らかにするため,高水流量観測を基に,第1 回及び第2回通水の各観測手法別の流量比較結果を図 -5に示す.ここで示している流量は上流区間におい て通水時に安定している時間帯における流量平均値であ る.ADCP 観測による流量については,全水深に対して 観測値が得られた水深は第1回通水が7割程度,第2回 通水が6割程度であり,残りは補間(水面部では第1層 流速値:constant,河床部では理論式:power curvefit)<sup>5)</sup>で算

							,,				
	流 量	平均水深	平均流速	フルード数	河床勾配	水面勾配	粗度係数	摩擦速度	粒子レイノルス、数	無次元掃流力	無次元限 累掃流力
	Q[m³/s]	h[m]	u[m/s]	Fr	Ι <sub>b</sub>	$I_{w}$	n	u•[m/s]	Re.	τ.	τ <sub>*c</sub>
第1回	109.92	1.49	2.24	0.59	1/507	1/505	0.024	0.16	2,130	0.122	0.050
第2回	81.46	1.24	2.02	0.58	1/505	1/501	0.024	0.15	2,470	0.084	0.050



図-8 砂蓮・砂堆に関する H/λと Re\*の関係<sup>8)</sup>

出している. 杭ワイヤー式・RC ボート ADCP 流量観測 共に高水流量観測との差が 15%以内であり、木下<sup>5</sup>に よる観測結果と一致している。

#### 3.3 水理量

ここまでの結果より,流況安定時における水理量等を まとめたものを表-1に示す.ここで Q は流量(通水後 の測量結果を用いた高水流量観測結果),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,Re・は河床平均粒径(d50 粒径の平均)に対 する粒子レイノルズ数,  $\tau$ ・は無次元掃流力, $\tau$ ・c は河床 平均粒径(d50 粒径の平均)に対する無次元限界掃流力で ある.水理量から逆算した Manning の粗度係数は第 1 回通水,第 2 回通水共に n=0.024 となっており,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<sup>の</sup>.

# 3.4 河床形態

今回の実験結果より芦田・道上<sup>70</sup>の小規模河床形態判 定法を用いて河床形態の判別を行った(図-6).第1回 通水,第2回通水共にLower Regimeの領域(砂蓮・砂 堆)である.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以上かつ,土粒子 粒径が0.6 mmを超える条件下では発生しないことから,



図-7 ADCP 縦断観測による河床縦断形状 河道中心より10m左岸(11:33~11:43 観測)



ここでは砂堆が発生していたことが推測できる.

杭ワイヤー式観測(第1回通水)において,一定の縦断 測線上及び,定点にて河床の縦断形状を観測した.縦断 観測結果を図-7に示す.およそ34mの縦断距離を10 分程度で観測した.水位及び観測位置はADCP 観測船 に搭載しているGPSでの観測結果,河床高は水位及び 音響測深器の観測結果を用いて算出したものである.一 般に河床波は不規則なものであり,波長・波高の明確な 定義はないが,図-7より河床高が最低下した点を波 長の境界とし,各波長間の河床高の最高点及び最低点か ら波高を判読し図示した.

図-8はこの判読結果の波長を用い,既往の実験結 果より得られた砂蓮・砂堆領域における h/ $\lambda$ と Re\*との 関係<sup>8)</sup>について比較したものである.ここで,h:水深,  $\lambda$ :波長, Re\*:粒子レイノルズ数である.粒子レイノルズ 数は大きな値のため欄外になっているが,水深・波長比 は既往の実験結果より得られた粒子レイノルズ数≧20 の分布の範囲内である.図-7から判読した波高を砂 堆の $\Delta/h$ と $\tau_c/\tau_0$ との関係<sup>8)</sup>について比較したものを図 -9に示す.ここで, $\Delta$ :波高,h:水深, $\tau_c$ :限界掃流力,

表-1 各実験の水理量



写真-1 第1回通水後の河床状況写真



 $\tau_0$ 掃流力である.図に示すように Yalin は  $K_1$ =6,既往 の実験結果では  $K_1$ =1.8~8(平均値は 4)である.今回の 実験では  $K_1$ =4.6~8であり,既往の実験結果の範囲内 である.また,今回の実験結果の平均値は 6.5 となって おり,これについても Yalin の値と近い値となっている.

次に、河道中心付近(P446 付近)での定点観測結果を図 -10に示す.およそ4秒毎に1データを取得し、1時間50分の観測である.水位観測、河床高の算出にあたっては、縦断観測の手法と同様である.図-10において、河床高が最低下した点から再び最低下した点を河床波の一つの波が通過した時間とし、その間の河床高の最高点及び最低点から波高を判読し図示した.縦断観測及び、定点観測の結果から、河床波の移動速度は0.21m/min(波長及び時間の平均より)であった.

また第1回通水後の実験水路内に残された河床波について,波長だけではあるが写真判読を行った.判読は P510 より上流についてであり,その一部の区間を**写真** -1に示す.なお,P510 より下流については,通水後 も十分に水が抜けず,写真判読が困難であった.この結 果より,波長/水深とその個数を図-11に示す.理論 値( $\lambda = 5h$  あるいは 7h)<sup>9</sup>付近である, $\lambda = (4 \sim 8)h$  に多 く分布している.

### 4. おわりに

今回の観測結果から、既往の実験より得られた砂蓮・ 砂堆領域における  $h/\lambda \ge Re_* \ge 0$ 関係や砂堆の $\Delta/h \ge \tau \sqrt{\tau_0} \ge 0$ 関係について、実物大スケールである千代 田実験水路においても同様の傾向であることが確認でき



波長/水深と個数

た. 今後は河床波上の流速分布や, 掃流砂量について整 理を行い, 土砂挙動特性について明らかにする予定であ る.

謝辞:本実験は北海道開発局と共同で実施したものである.ここに記して謝意を表する.

### 参考文献

- T.Shimada et al. : Basic hydraulic characteristic of the Chiyoda experimental channel, River Flow 2008, Vol.3, pp.1805-1813, 2008.
- 島田友典ほか: +勝川千代田実験水路の基礎的な土 砂挙動特性, 土木学会応用力学論文集, Vol.11, pp.699-707, 2008.
- 建設省河川局,(株)日本河川協会:改定新版 河川 砂防技術基準(案)同解説 調査編,pp.33-58,1997.
- 本下良作: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
- 5) 株式会社 SEA: Win River 操作手順書, pp31, 2005.
- 6) 日野幹雄:明解水理学,丸善株式会社, pp.142, 1983.
- 7) 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.
- 河村三郎:土砂水理学,森北出版株式会社, pp.198-199, 1982.
- 2) 土木学会:水理公式集 [平成 11 年度版],丸善, pp.483, 1999.