

最上川頭首工における取入れ口前の掘削整備形状について

前 川 勝 朗

農業土木学会誌 第58巻第4号

平成2年4月

最上川頭首工における取入れ口前の 掘削整備形状について

前 川 勝 朗*

I. はじめに

最上川頭首工は、山形市の西北西約 17 km 地点の西村山郡朝日町四の沢の最上川中流部に位置する頭首工の名称である。この頭首工は、国営最上川中流農業水利事業の中で建設されたもので、自然取入れ方式で取入れ口は右岸側に位置している。通水試験は、1981年春に行わ

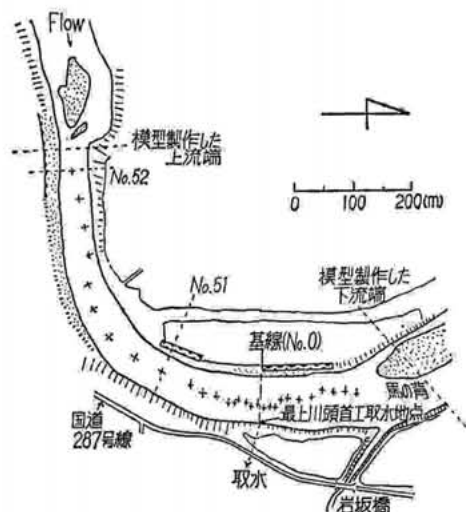


図-1 取水地点付近の河道状況(+印:最深部の位置)

River-Bed Training in the Front of the Intake at the Mogami River Head Works.

* 山形大学農学部 (Katsuro MARRAWA)

キーワード

水理模型実験, 頭首工, 自然取入れ方式, 取入れ口, 河川内流速, 有害粒子

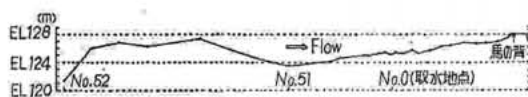


図-2 最深河床部における縦断面 (No.52 から馬の背までの距離: 840 m, 取水地点から馬の背までの距離: 250 m)

れ、取入れ口から流入した流水は山辺町根際までの約 9 km を水路トンネル (標準馬蹄形断面) で流下する^{1),2)}。取入れ口下流には沈砂池は設けられていない。取入れ口付近の河道状況について触れると次のようである³⁾。

取水地点より上流の河道は湾曲しており、取水地点は湾曲河道のほぼ末端に位置している (図-1 参照)。また、取水地点の上・下流約 500 m の区間では河床が岩盤 (第三紀の泥岩、凝灰岩) であり、この区間の計画河床勾配は約 1/300 である。しかし、取水地点付近の現況河床は逆勾配となっており (図-2 参照)、下流には河床標高の比較的高い仮称「馬の背」が位置している。1985 年の融雪出水期、夏期の渇水期等にこの馬の背における流況を観察したところ、ほぼ完全越流の流れであった。取水地点付近のミオ筋は取入れ口から 30 m 程度離れた右岸寄り、最深部もまた取入れ口から本川寄り約 30 m のところに位置している。最深部の河床標高は E.L. 125.0~125.3 (m) 程度である。

さて、取入れ口前面の現況河床は EL. 128 m ほどで既設の取入れ口敷高は EL. 126.70 m であり、土砂の流入を防止しつつ計画取水量 (最大で 8.06 m³/s) を実現するために取入れ口前を掘削整備する計画であった。

本報は、最上川頭首工における取入れ口前の河道 (岩

盤)をどのように掘削整備したらよいかを水理模型実験によって把握し検討したものである。なお、水理模型実験の際、掘削整備形状の適否を評価する指標は、所定の取水量が安定的に確保されること、取水時に河川から有害粒子 0.3 mm 以上の土砂が流入しないこと⁴⁾、現況河床を掘削整備したその形状が治水問題がないことの3点とした。

II. 実験装置と実験方法

1. 実験装置

実験装置は、フルード相似則で1/50模型とした。最初に実験装置の製作手順を示すと次のようである。

取水地点の本川上流は、図-1のように河道が湾曲しているのので、まず対象とする河道部分が入るように長さ約 25 m、幅 3 m の木製の長方形湾曲水路を製作した。最深河床部における縦断面図を図-2に示した。最深部の位置は、図-1に+印で示した。

次に、この湾曲水路内に実測の河川横断面形状を次のようにプロットし模型河道を製作した。河川横断面として、取水地点付近では本川流下方向に対し 10~20 m 間隔の 20断面、その上流は 50 m 間隔の 9断面の実測横断がある。まず、トランシットを用いて実験水路内に各実測断面の位置をプロットし、次に横断面上の最深部地点を定めて木製水路底に市販の畳針か釘を打込み、その先端が最深部標高と同高になるようにレベル等を用いてあわせ、最深部の位置と標高を固定した。そして、横断面方向の各実測点についても同様に水路底に畳針か釘を打

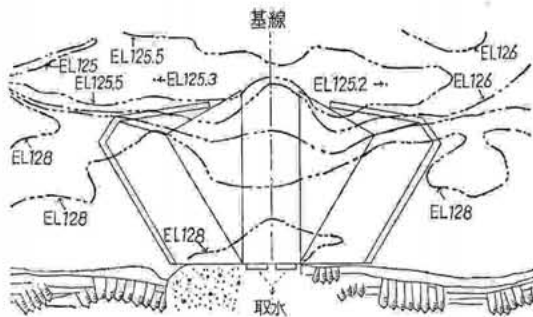


図-3(1) 取入れ口付近における河床状況
(2点鎖線：等高線)

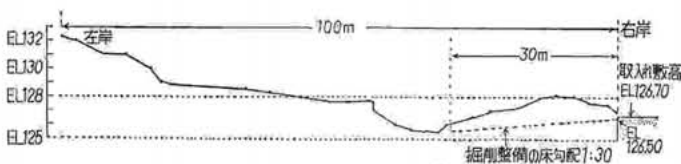


図-3(2) 取水地点(図-1の基線)における河川横断面形状

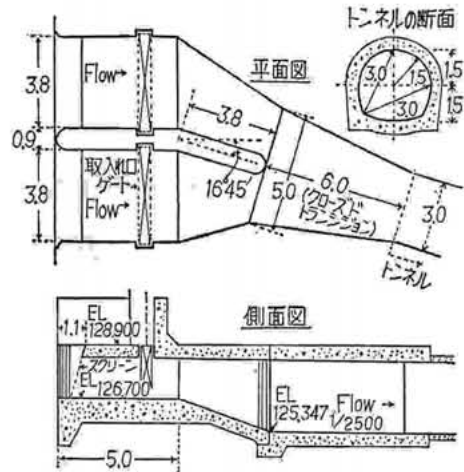


図-4 取入れ口の概略図(実寸表示, 単位: m)

込み、順次その位置と標高を固定した。さらに全体的な河床形状を浮彫りにするため、横断面方向の畳針、釘の上端をミズ糸でつなぎ、隣接する上、下流横断面の同標高点ともつないだ。そして、この状態でモルタルを投入し、等高線の入った河道図面と照合しながら左官用のコテを用いて模型河道を製作した。模型河道は固定床である。なお、模型の河床粗度^{*}を考慮し、コテでモルタル表面を整形してその表面をペンキ塗装した。図-3(1)に取入れ口付近における河床状況(標高を2点鎖線で表示)、図-3(2)に取水地点(図-3(1)の基線)における河川横断面形状を示した。

さて、模型河道の上流には JIS 規格の計量用三角堰があり、模型河道の末端には河川水位調節用の可動堰 5 門を設置した。また、取入れ口には図-4のようにゲートが 2 門あり、取入れ口幅は 2 門扉合せて 7.6 m である。取水後の水路は半径 1.5 m の標準馬蹄形断面で、模型では長さ約 1 m を杉材で製作し、その下流に取水量を計量するための三角堰を設置した。

2. 実験方法

実験は、まず模型河道の上流に位置する三角堰によって所定の河川流量を実現させる。三角堰を越流した流水は減勢水槽、整流部を経て模型河道に流入する。次に実験水路の末端に位置する可動堰によって、河川流量に見合う取入れ口前の河川水位と主流部(表面流)の流向^{**}を実現させる。そして、取水後の馬蹄形水路末端にゲートを取付

^{*} 取水地点付近のマニングの粗度係数は 0.035 であり⁴⁾、これを模型の粗度係数に換算すると 0.018 である。

^{**} 出水期、濁水期等に主流部(表面流)の流向を現地観察した。そして、実験では上流側からアルミ箔の粉末を流し主流部表面の流況を再現させた。

けてオリフィスの流況をつくり*、所定の取水量と河川水位になるようにオリフィスの開度と模型河道末端の可動堰を調節して実験を行った。

以下、取水地点における河川の水位—流量関係、本実験で取扱った取入れ口前の掘削整備形状について示す。

(1) 河川の水位—流量関係 最上川頭首工の上流約2 km地点に建設省の水位観測所宮宿が位置しており、宮宿における流域面積は1,816.8 km²で豊水流量、平水流量、低水流量はそれぞれ順に約127, 70, 42 (m³/s)である。

一般に、移動床の河床標高等を規定する河川流量は1年に1～2回程度生ずる洪水流量とされている³⁾。宮宿における'74～'81年間の年1位の日流量をみると622～1,760 (m³/s)であり、これを目安にここでは対象とする最大流量を800 m³/s程度(模型実験流量50 l/s程度)とした。なお、宮宿地点における計画高水流量は3,400 m³/sであるが⁴⁾('74年改定値でおよそ100年確率洪水流量)、800 m³/s程度の出水時における実験結果から治水上の検討を行うことにした。

一方、'82, '83の2カ年間、最上川頭首工取水地点において河川水位(灌漑期のみ)が1日1回観測されているので、この値を活用した。

横軸に宮宿の日流量をとり、縦軸に同一年月日の最上川頭首工取水地点の河川水位をとって図にプロットすると、平水流量時の水位では15 cm程度の変動幅があるものの両者には顕著な相関がみられた。データの最大値は、'83年9月13日の日流量825.94 m³/s、河川水位EL.131.5 mである。そこで、この関係を式で表し、河川流量と河川水位の関係として実験に用いた。実験に用いた豊水流量、平水流量、低水流量における河川水位はそれぞれ順にEL.表示で129.19, 128.86, 128.66 (m)である。なお、上記の方法では宮宿地点と最上川頭首工地点の間の流水の出入量が問題となる。しかし、この間の集水面積は5 km²程度とわずかであり、この間の派川からの流出量は無視できるので、ここでは上記の方法によった。

(2) 取入れ口前の掘削整備形状 先述の掘削整備形状の適否を評価する3点の指標から種々検討がなされ、図-5(1)に示す掘削整備形状が選定された。このタイプは、本川主流部に向かい1:30の底勾配を有し、取入れ口敷高(EL.126.70 m)と底勾配1:30の始端(EL.126.50 m)に実寸で0.2 mの段差がある。河川内における平面的な設置状況(蟹型)を図-3に示した。比較実験の形

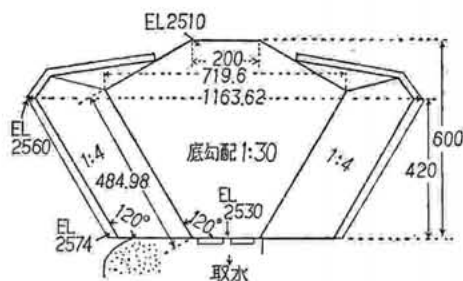


図-5(1) 蟹型の形状(模型表示, 単位: mm)

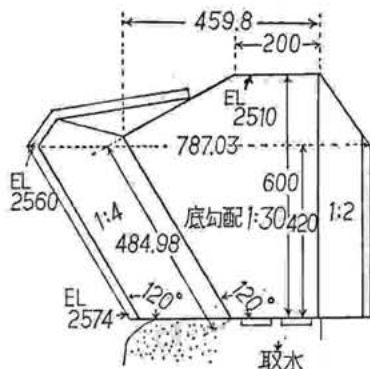


図-5(2) 半蟹型の形状(模型表示, 単位: mm)

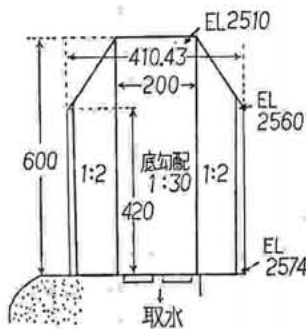


図-5(3) 直線型の形状(模型表示, 単位: mm)

状として図-5(2), (3)を選定し、これらの三つの取入れ口前面の掘削整備形状を杉材で製作し実験を行った。

以下、図-5(1)～(3)の形状をそれぞれ順に蟹型、半蟹型、直線型と呼ぶことにする。各形状の本川寄りの先端部の位置は、本川の最深部(ミオ筋)に一致している。

III. 実験結果

1. 取水量について

所定の取水量確保の点について示そう。取入れ口前面を全く掘削整備しない状態の実験では、平水流量以下になると取入れ口前面の河床から取入れ口に向かい完全越流の状態で流入し、所定の取水量(8.06 m³/s)は確保で

* 後述の掘削整備形状が蟹型、半蟹型、直線型のいずれの場合にも所定以上の取水量が実現するので馬蹄形水路末端にゲートを取付けた。

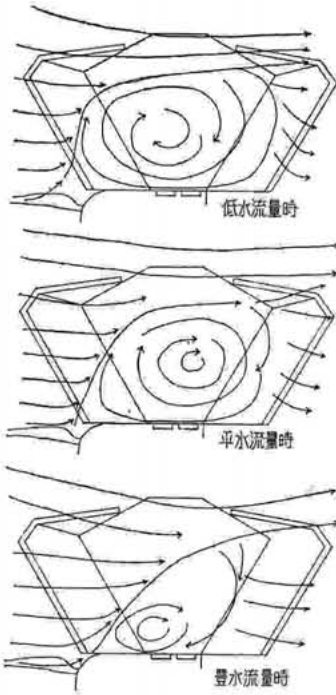


図-6(1) 蟹型における表面流

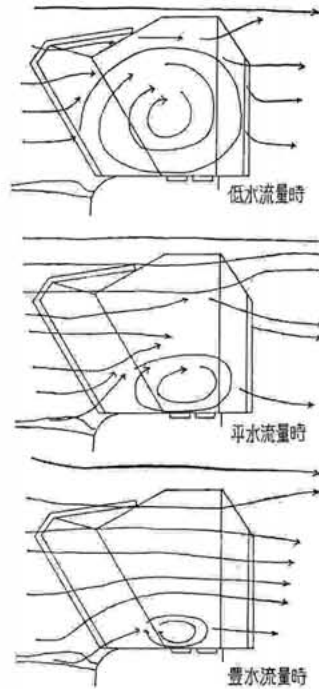


図-6(2) 半蟹型における表面流

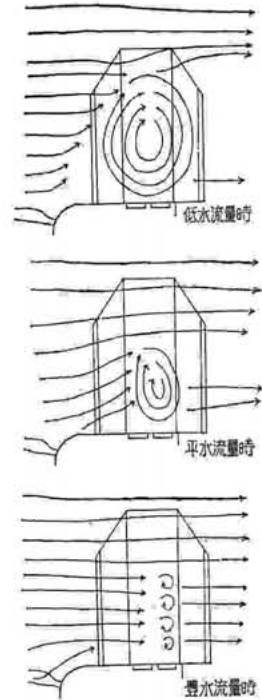


図-6(3) 直線型における表面流

きなかった。取入れ口前面を 図-5 のように掘削整備した場合の実験では、濁水流量時（約 $19 \text{ m}^3/\text{s}$ 、河川水位 EL. 128.45 m）においても、蟹型、半蟹型、直線型のいずれの場合でも所定の取水量が確保された。所定の取水量確保の点からは、蟹型、半蟹型、直線型には差異はみられなかった。

2. 表面流について

取入れ口上流約 1 m 地点等からパンチ屑（直径 3 mm 程度の計算機の紙テープ屑）を静かに水面に投入し、取入れ口付近におけるパンチ屑の軌跡をスケッチした。結果を 図-6 に示した。図-6 においてパンチ屑の軌跡を流跡線として実線で表したが、この実線は表面流速の緩急を表すものではない。また、円形状となっているところでは、表面流が循環している領域（循環域）とみてよい。図-6 から次のような傾向をうかがうことができる。

河川流量が少ない方が取入れ口前の循環域の規模は大きい。そして、同一の河川流量、河川水位における表面流を比べると、循環域の規模は蟹型が最も大きく、また観察では最も緩流であった。半蟹型と直線型を比べると、半蟹型の方が循環域の規模は大きい。このように、循環域の規模は取入れ口前の掘削整備形状に関係しているといえよう。

3. 取水時の接近流速（河川内流速）

設計基準³⁾によると、「一般に取入れ口敷上の流速は $0.6 \sim 1.0 \text{ m/s}$ 程度を基準にする。この流速値は次の二つの条件に基づいて定められている。一つは、取水時の接近流速（取入れ口上流河川内の流速）を 0.4 m/s 以下とすることによって、農業用水路に流入して有害になる粒径 0.3 mm 以上の土砂の流入を防止することができる。もう一つは、幹線水路内において水生植物が繁茂しないよう、 0.75 m/s 以上の平均流速を与えることである。」となっている。これより、 0.3 mm 以上の土砂の流入を防止するには、 0.4 m/s 以下の接近流速を与えればよいことになる。 0.4 m/s は縮尺 $1/50$ 模型で 5.7 cm/s の流速である。

そこで、プロベラ式流向流速計（計測技研型でプロベラの直径 2 cm）を用いて取入れ口前の流速を測定した。測定は、河川の流下方向に対して 10 cm 間隔、横断方向に対して 5 cm 間隔のメッシュをミズ糸を用いて水面上につくり、その交点の水面下 1.5 cm 地点で行った。各タイプにおける測定例を 図-7 に示した。有害粒子流入の点から流況の特徴を示すと次のようである。なお、図-7 において空白となっている箇所は、水深が浅く計測を行わなかった地点が大半で、一部は当該計器の流速測定範囲の下限 (2.0 cm/s) に達しなかった場合である。また、流速値が変動している場合には測定数を増

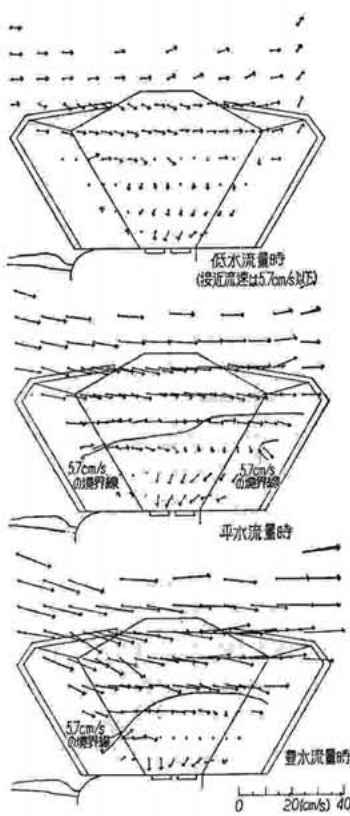


図-7(1) 蟹型における接近流速
(実線は 5.7 cm/s の境界、以下同じ)

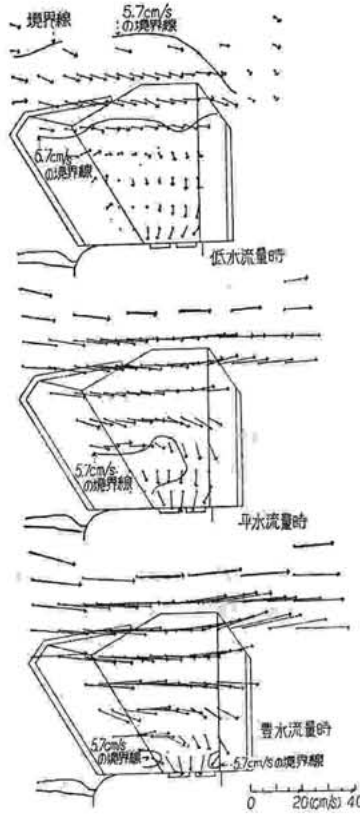


図-7(2) 半蟹型における接近流速

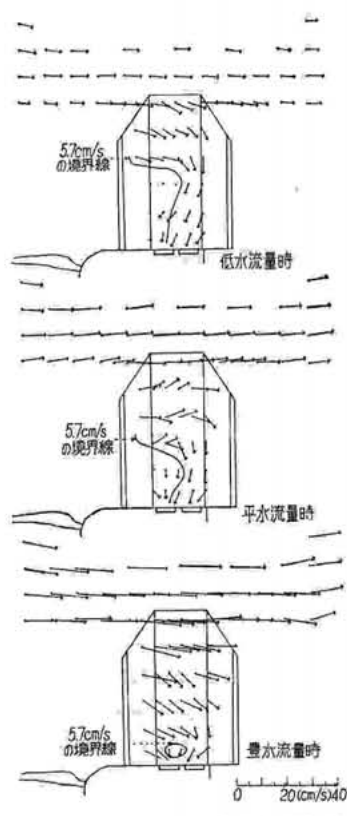


図-7(3) 直線型における接近流速

して平均的な値を示した。

まず、図-7 において 5.7 cm/s の境界に実線を挿入すると流況は明確に区分される。蟹型では豊水流量になっても取入れ口前に 5.7 cm/s 未満の領域が存在するが、半蟹型では平水流量になると取入れ口からミオ筋まで 5.7 cm/s 以上の流速域でつながる。また、直線型では取入れ口前に蟹型のような 5.7 cm/s 未満の領域が存在するのは濁水流量までである。このように、河川流量、河川水位が同じであっても、取入れ口前の掘削整備の形状によって取入れ口前の 5.7 cm/s 未満の領域は著しく異なっている。そして、5.7 cm/s の流速（有害粒子が流入する流速）の点からは半蟹型と直線型の形状は実用上不適であるといえよう。

4. 微砂の挙動

各タイプ（蟹型、半蟹型、直線型）において、実験砂（2~0.1 mm）を取入れ口前の本川河床にさまざまな状態で敷設し通水してみたが、いずれのタイプの場合にも顕著な土砂の移動、局所的な洗掘等の特徴はみられなかった。一方、各タイプの本川寄りの下流側法面付近に

において水面上方から静かに 2~0.1 (mm) の少量の微砂を投入すると微砂の動きが肉眼で観察できた。この方法により観察された各タイプにおける微砂の挙動は次のようである。

平水流量時において、直線型では取入れ口から微砂の流入が観察され、半蟹型では直線型に比べ幾分衰えるものの微砂の流入がみられ、蟹型では微砂の流入は認められなかった。取入れ口付近に達するまでの微砂の移動は、浮遊的な移動が主であり、移動は間欠的であった。下流側法面近傍の流れは法面形状等による流線のはく離に伴う局所的な渦に主に支配される流れで、微砂の浮遊的かつ間欠的な挙動は、局所的な渦の流況を反映しているといえよう。実験によると、下流側法面勾配 1 : 4 の蟹型では不明確であるが、1 : 2 の直線型と半蟹型の場合には局所的な渦が生じており、この渦は螺旋的な流れを呈して取入れ口に向い、この流れに微砂が浮遊しながら取入れ口から流入していた。このように、取入れ口からの土砂流入は、河川の流下方向における掘削の法勾配にも関係しているといえよう。

なお、最上川頭首工付近等で土砂粒径を調べたところ、最上川頭首工の東北東約5kmの最上川に築造されている三郷堰頭首工の地点とほぼ同じで、現地平均粒径は2.18cm程度であり、これを岩垣の式を用いて1/50模型の粒径に換算すると0.64mmである⁶⁾。実験に用いた2~0.1(mm)の微砂は、現地における砂粒径を模型粒径にした程度のものでよい⁹⁾。

5. 出水時の実験

取入れ口前を全く掘削整備しない状態、蟹型、半蟹型、直線型の計4組の各状態で、図-6, 7と同様の方法で、出水時における表面流と水面下1.5cm地点の流向流速を調べた。その結果、4組における顕著な差異はみられなかった。蟹型における流向流速の測定例を図-8に示した。以上の実験結果を先述の掘削整備形状の適否を評価する三つの指標からまとめると次のようである。

① 蟹型、半蟹型、直線型のいずれの場合にも所定の取水量が確保された。② 有害粒子の流入に関して、表面流、取水時の接近流速、微砂の挙動の点から実験的検討を行ったところ、同一の河川流量、河川水位であっても取入れ口前の掘削整備形状によって流況は著しく異なっていた。そして、蟹型の形状ではとくに問題となる点はなかったが、半蟹型と直線型の形状は実用上不適であった。③ 出水時の実験では、蟹型、半蟹型、直線型の各形状には顕著な流況の差異は認められず、いずれのタイプも治水上問題がないと思われた。

このように、有害粒子の流入の点において蟹型、半蟹型、直線型では差異があり、この差異は取入れ口前の掘削整備の形状によるものといえよう。

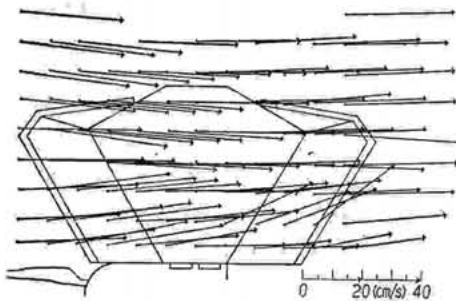


図-8 出水時における流向流速

(河川流量 825.94 m³/s, 河川水位 EL. 131.50 m の場合)

IV. むすびに

最上川頭首工における取入れ口前の河道(岩盤)をどのように掘削整備したらよいかを把握するため、縮尺1/50の模型を製作して実験を行った。その結果、図-5(1)に示す蟹型での掘削整備が適当であった。このタイプは

実験によると有害粒子の流入防止の点で有効であった。

本実験結果を基に、取入れ口前の掘削整備形状として蟹型が選出され、取入れ口における除塵機取付工事と共に、'86年度末、現地に施工された。施工後2年を経過したが、聞き取り調査によると、取水量確保、土砂流入防止、治水(出水時)のいずれの点においてもとくに問題はなかった。

さて、設計基準⁹⁾によると、河川内の流速は0.4 m/s以下とし、取入れ口前の流速0.6~1.0 (m/s)に移行させるということである。連続の式を用いてこの関係を変形すると、河川内の通水断面積 A_2 は取入れ口数上での通水断面積 A_1 の(1.5~2.5)倍以上の断面積にするという関係になる。つまり、 $A_2/A_1 \geq (1.5 \sim 2.5)$ の関係である。このことは、0.4 m/s から 0.6~1.0 (m/s) に流れをスムーズに移行させるには、一般に取入れ口を基点とした末広形状(扇形状)になることを意味する。本実験で取扱った蟹型の形状はこれに合致しており、この点からみても蟹型形状は妥当といえよう。

しかし、取入れ口前の基本的形状は一般に末広形状になるにしても、 $A_2/A_1 \geq (1.5 \sim 2.5)$ の関係式を用いて直接河川内の通水断面積(本川寄りの掘削整備の底幅等)を算出することはできない。本実験で示したように、本川寄りの掘削部分(河川内)では本川主流部の影響等を受けるからである。

本川の流況等とも関わり、取入れ口前の流況は複雑であって、現状では具体的な事例に応じて水理模型実験等により取入れ口前の掘削整備形状を検討しなければならないと思われる。最上川頭首工のように河道の岩盤を土砂流入防止の点等から掘削整備する場合等において、本報が参考になれば幸いである。

実験に際し、山形大学農学部'86年度卒後藤誠二氏の協力をいただいた。研究に際し、東北農政局最上川中流農業水利事業所('87春、閉所)、最上川中流土地改良区の職員各位にご支援、ご鞭達をいただいた。記して謝意を表する次第である。

引用文献

- 1) 山形県山形平野土地改良事務所：山形盆地を開く最上川疎水事業、pp.1~18 (1981)
- 2) 東北農政局最上川中流農業水利事業所：事業誌最上川中流、pp.95~99 (1987)
- 3) 農林水産省構造改善局：土地改良事業計画設計基準、頭首工、p.148 (1978)
- 4) 建設省東北地方建設局山形工事事務所：五十年のあゆみ、p.134 (1984)
- 5) 川合 亨：水理実験に基づく河川作物の水理設計(その2)一頭首工の土砂吐とダム洪水吐一、農誌、46(6)、pp.45~49(1978)
- 6) 前川勝朗・中村 均・相沢周一・清野真人：三郷堰頭首工の水理設計について、農誌、51(2)、pp.33~40 (1983)

[1989. 4. 24. 受稿]