

全国の砂防堰堤の形状を考慮した水通し断面付近での流量計測における実験的研究

日本工営(株) ○渡部春樹, 松岡 暁, 木佐洋志, 木村詩穂, 伊藤隆郭

国土技術政策総合研究所 西脇彩人(現: 静岡河川事務所), 山越隆雄(現: 水管理・国土保全局砂防部)

1. はじめに

砂防基本計画や流域監視等に活用することを目的とし、全国各地で流砂量観測が行われている。水位計測もその一つであり、取得した水位データから流量換算が行われている。また、山地河川は急勾配であることに加え、堰堤近傍では流れの3次元性の影響が指摘¹⁾されており複雑な水理現象が想定される。また、複数の堰堤透過部形状を対象に実験的に水深-流量関係を整理した例もある²⁾。

不透過型砂防堰堤周りの流況や水理特性を水路実験で把握し、流量計測に資する基本的な情報を得たため、本稿にて報告する。

2. 実験条件と計測

(1) **水路諸元**: 水路幅800mm×有効延長20mの直線水路を用いた。(2) **模型縮尺**: 模型上の越流水深を30mm程度確保できるよう1/50に設定した。(3) **模型の種類**: 水路内への堰堤模型の設置、模型縮尺、堰堤諸元を考慮し、堰堤の半分を取り込む半幅模型を採用した³⁾。(4) **堰堤諸元**: 流砂水文観測所台帳の内、不透過型砂防堰堤を対象として情報収集(東北地整: 3基, 関東地整: 5基, 北陸地整: 7基, 中部地整: 4基, 九州地整: 1基)を行い、全国平均の諸元を基本とした。この中で、堤高の大小(20m, 7m)や勾配の大小(1/52.1, 1/22.7)も設定した。(5) **流量**: 計画規模流量の全国平均値を最大値とし、それ以下の流量も設定し、定常流で与えた。(6) **水路の分類**: Run1の734m³/sにおいて、限界水深は2.49m, 等流水深(粗度係数 $n = 0.040$)は1.85mであり、急勾配水路(S水路)に分類される。(7) **水通し幅/川幅比**: 既往文献¹⁾において堰堤近傍での3次元的な流れの影響が指摘されている。水通し幅/川幅比はこれらの流れに寄与することから実験条件の一つとした。川幅は流量によって変わるため、計画規模および小規模(5年確率)を想定し、それぞれにおいて水通し幅/川幅比を設定した。(8) **堆砂域の状況**: 未満砂を想定した。(9) **実験ケース**: 上記を踏まえ合計4ケースを設定した。(表-1) (10) **その他**: 堰堤水通し部では完全越流で流下するように、水通し部中央に幅10mm程度のアクリル板を設置した。(11) **水位および流速計測**: 水位は土研式のポイントゲージを用いて計測した。流速はプロペラ式の流速計を用いて計測した。左岸側壁から2.5m(模型値: 50mm)の位置で縦断方向に水位および流速を計測した。流速は各位置で水深方向に1m(模型値: 20mm)ピッチで計測した。

3. 実験結果

(1) 流況

図-1に水通し幅/川幅比が0.68(Run1)の堰堤周りの流況を示す。平面的にみた場合、袖部の背面は死水域になる。袖部により堆砂域では平面的かつ深さ方向に縮流および旋回流が発生する。袖部がある場合は、堰堤周辺で3次元的な流れが形成される。一方、水通し幅/川幅比が1.0の場合は、袖部の影響がないため平面的な縮流や旋回流は発生しない(図-2)。

(2) 水位縦横断

図-3に水通し幅/川幅比が0.68(Run1)と1.0(Run2)の水位縦断図を、限界水位および全エネルギー線と共に示す。水位の状況が見やすいよう水通し部周辺を拡大して表示した。袖部がある場合は、堰堤近傍において縮流が発生するため、見かけ上の流下幅が減少する。そのため、有効な流下幅を用いて限界水位を算出した。限界水位と計測水位の交点が限界流の発生地点となり、Run1では堰堤天端付近で支配断面が発生する。一方で、Run2では9m地点に支配断面が現れるがそれ以外の位置は射流で流下していることがわかる。袖部によるせきあげの有無が影響しているものと考えられる。水通し付近は、ダム軸方向にいくにつれ全エネルギーと計測水位の値がずれていき、流れの加速域になっている。

表-1 実験ケース

Run	水通し幅/川幅比	流量 (m³/s)	河床勾配	堰堤形式	堰堤諸元									
					堤高 (m)	水通し幅 (m)	法勾配	袖高 (m)	天端幅 (m)	川幅 (m)				
1	0.68 (計画規模)	734,600,500,300,100	1/30 (1.91°)	不透過	15.0	40.0	10.6 (上流) 10.2 (下流)	5.0	3.0	58.8				
2	1.0 (小規模)									40.0				
3	0.68 (計画規模)	734	1/52.1 (1.10°) 1/22.7 (2.53°)			40.0								58.8
4			1/30 (1.91°)							20.0 7.0				

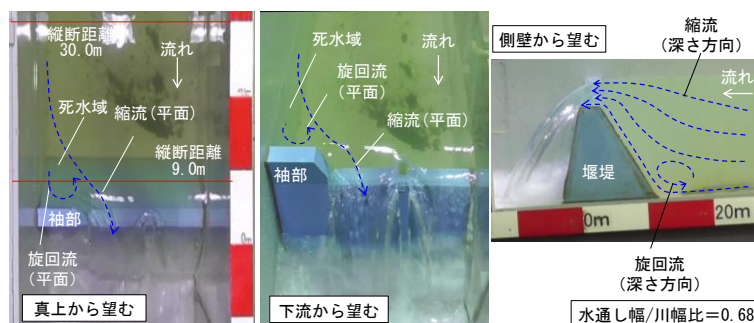


図-1 堰堤周りの流況 (Run1)

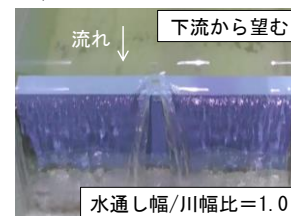


図-2 堰堤周りの流況

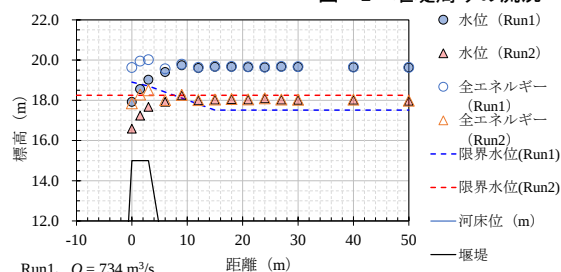


図-3 水位縦断図 (Run1)

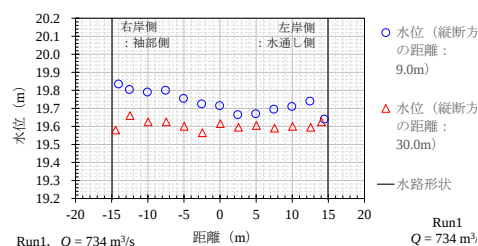


図-4 横断水位 (Run1)

図-4はダム軸から9mおよび30m地点の横断水位を示す。ダム軸近傍の9m地点では横断方向の水位にバラつきがあり袖部側(右岸側)の水位が高くなるが30m地点では水位が凡そ一定になる。袖部によるせきあげの影響範囲の違いと考えられる。

(3) 流速分布

図-5にRun1の水通し部～堆砂域の流速分布を示す。既往研究¹⁾によれば、水通し天端の水深方向の流速分布は、天端上流端の形状が角ばっている場合、天端近傍に最大流速が生じ、天端上は流速が小さくなる。また、縦断方向にみた場合は、段落ちによる落水の影響を受けて天端周辺は流れが加速する。今回の結果では、水通し部は天端上に最大流速が生じる三角形型の分布であり、既往検討と同等の特性であった。また、縦断方向にみた場合、ダム軸では最大流速が発生しており流れの加速域である。

堆砂域では水面近傍に最大流速が生じる流速分布である。

(4) 水深-流量関係

図-6、図-7、図-8に水深-流量関係を整理した。接近流速の影響の有無を確認するために速度水頭(ダム軸から50m地点の流速を採用)を含む値も示した。流量係数別の台形堰の越流公式から得られる関係も実線および破線で示した。

(a) 水通し幅/川幅比が0.68の場合

図-6にRun1の水深-流量関係を示す。水通し部の越流水深(ダム軸, ダム軸から1.0m, 1.5m, 3.0m位置), 堆砂域の最大水深を用いた。越流水深を用いた場合, 流量係数は0.75から1.30程度の範囲内にあり, 水深の計測位置の違いで値が大幅に異なる。一般的に用いられる流量係数よりも大きな値を示しており, 水通し部での流れの加速域の影響が流量係数に加味されたものと考えられる。

一方, 堆砂域の最大水深(ダム軸から12mの位置)や堤高の1倍上流側に離れた位置(15m)の水深を用いると流量係数は0.60程度で一定値になる。速度水頭の有無でも同等の位置にプロットされており, 接近流速が水深-流量関係に与える影響はないようである。

(b) 水通し幅/川幅比が1.0の場合 図-7に堆砂域の水深を用いた場合の水通し幅/川幅比別(0.68, 1.0)の水深-流量関係を示す。水通し幅/川幅比が1.0の場合, 流量係数は1.20程度になり, 水通し幅/川幅比が0.68の場合と比較して大きな値になる。図-3に示すように射流で流下するため, 堆砂域内の流れ(水位)が安定し難く, 今回のように流量係数が一定値にならない可能性も考えられる。

(c) その他堰堤諸元の違いによる影響 図-8には堆砂域の水深を用いた場合の河床勾配別の水深-流量関係を示す。河床勾配が異なる場合でもほぼ同じ位置にプロットされており河床勾配による影響はないようである。また, 堤高を変えた場合においても, 流量係数は0.6程度になり堤高の違いによる影響はないようである。

5. おわりに

不透過型砂防堰堤周辺の水理特性を把握し現地での流量計測に資する情報を得た。袖部の影響がある場合, 堰堤近傍では, 縮流の発生, 流れの加速域になる等複雑な水理特性が確認され, これらを踏まえた流量観測が求められる。今回は, 未満砂の状態を想定したが, 堰堤の堆砂状況(満砂時)によっても水理特性が変わる可能性があるため, 追加で情報収集を行う予定である。

参考文献: 1) 吉川ら, 土木研究所報告, 第103号, p.123-137, 1960 2) 伊藤ら, 砂防学会誌, Vol.68, p.23-34, 2015 3) 渡部ら, 土木学会年次学術講演会講演概要集, II-239, p.477-478, 2010

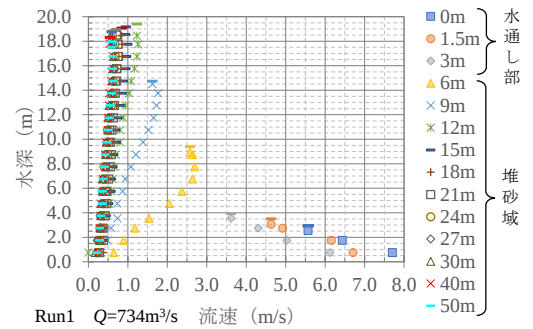


図-5 流速分布 (Run1)

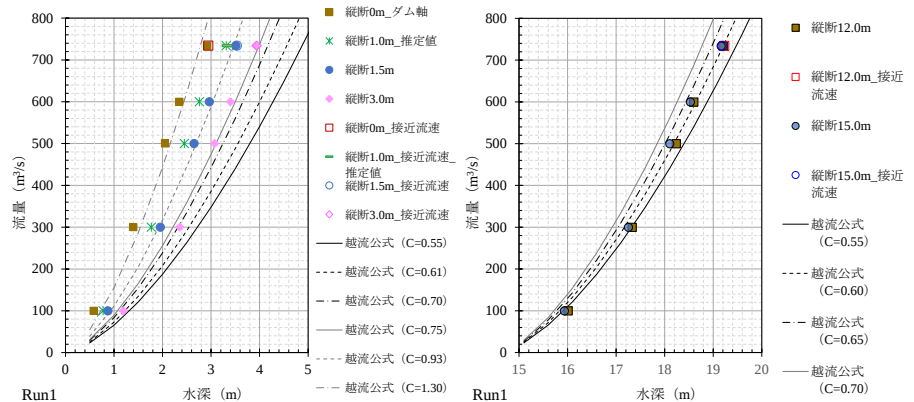


図-6 水深-流量関係 (左: 越流水深を採用, 右: 堆砂域の水深を採用)

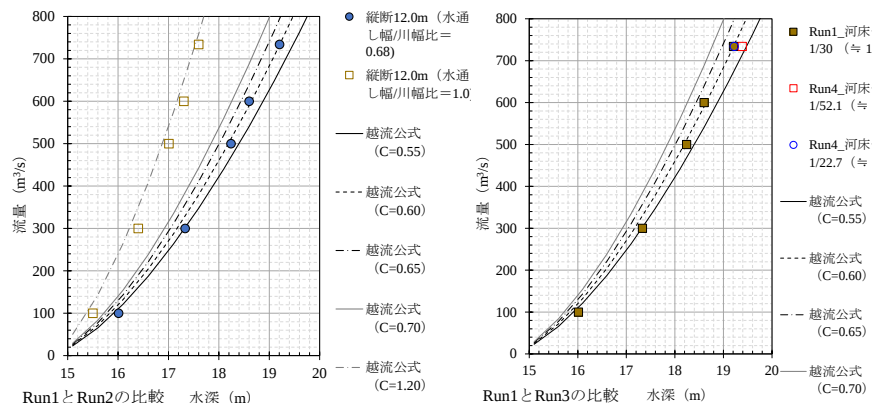


図-7 水深-流量関係 (水通し幅/川幅比別)

図-8 水深-流量関係 (河床勾配別)