

スリット堰堤のスリット部周辺の水理特性

国土交通省北陸地方整備局 立山砂防事務所 酒谷幸彦(現:山梨県), 西川 一
 日本工営(株) 中央研究所 ○ 貝塚和彦, 伊藤隆郭, 日本工営(株) 砂防室 長山孝彦, 田方 智
 京都大学大学院 水山高久

1. 結論: スリット型砂防堰堤において、洪水後期の低減期には小流量でも土砂が流出し、スリット幅や水理条件によっては、流出流量が過大になることが指摘されている。一方、スリット部の水理特性についてみると、平均的な流況が流量、川幅およびスリット幅・高さによって規定されることが多いにも関わらず、スリット水通し部においては、流量係数が実験的に検討¹⁾されているだけである。堰堤湛水域からスリット部の流れは、静水圧域の流れから非静水圧域の流れが混在し、しかも、スリット周辺の流れは、平面・鉛直方向の縮流²⁾⁴⁾、流れのはく離・再付着など、局所的なエネルギー損失となる形状抵抗の影響が顕著である。本研究では、今後、スリット部にシャッターや流水・流砂観測機器が設置されていく際の設計外力の評価に繋がることを想定して、スリット部の流速・圧力分布といった水理特性を明らかにしようとしている。

2. 水路実験: 水路実験で用いる砂防堰堤は、妙寿砂防堰堤を想定した(図-1)。同堰堤は、立山砂防事務所管内の常願寺川に位置する砂防堰堤であり、堰堤地点の流域面積: 115.2km²、スリット幅 7.5m、スリット高さ 8.5m(スリット高さ比= スリット高さ/ スリット幅= 1.13)の堰堤である。また、平均河床勾配は 1/30、堰堤周辺の平均川幅は 60 m である。堰堤周辺の河床材料は、平均粒径:326 mm、90%粒径:600 mm 程度である。堰堤水通し部の計画洪水流量は 1980 m³/s であり、スリット部の流量係数を 0.577($Fr=1$ 仮定)と仮定したスリット部の満水流量は約 316 m³/s である。スリットは 1 門で、右岸側にある。



図-1 妙寿砂防堰堤の位置図

(1) **流量:** 堰堤周辺の巨礫を 90% 粒径で代表させ、粗度係数 (0.045 [m-s 系]) を用いて、90% 粒径の混合砂移動限界流量を求めると 209 m³/s (約 200m³/s) となる。実験では、定常流を対象とし、流量 200 m³/s、計画洪水流量 1980 m³/s の 2 つの流量を対象とした。

(2) **模型・模型縮尺:** スリット部の流況を再現するためには、湛水域の水深が十分に大きく⁵⁾、模型の堰堤高さを大きくする必要がある。本実験では、既設の鋼製水路(幅 0.8m、深さ 1.0m、長さ 20m)を使用して検討を行ったが、水路幅(0.8m)と現地の川幅(60m)の制約条件があり、模型縮尺 λ_L の設定に制限が生じた。ここでは、対象とする現象が急縮流であることに着目して、形状損失が相似となるように、スリット幅と川幅の比(スリット幅川幅比= 0.125)を原型と模型で等しくさせる方法を用いた。これにより、川幅方向成分の縮尺 λ_B はスリット幅川幅比により規定され、一方、鉛直方向および流れ方向成分の縮尺 λ_L は、模型の堰堤高さが十分に大きくなるように設定すると、 λ_B と λ_L が異なる模型(ひずみ模型)となる。本実験では、 $\lambda_L=1/25$ 、 $\lambda_B=1/75$ (「大縮尺ひずみ模型」と設定し、ひずみ模型の影響を流況と流心沿いの水面形を比較して検討した。なお、ここでは、便宜的に、 $\lambda_L=\lambda_B=1/75$ の模型を「小縮尺無ひずみ模型」と呼ぶこととする。河床は、人工粗度を設置せず、ラワンベニヤにペンキ塗り仕上げをした固定床とした。原型値の粗度[m-s 系]は、0.0173~0.0233 であり、堰堤湛水域の流速の小さい領域で流速分布を計測し、水理学的な粗滑面について検討したところ、粗面乱流が形成されていた。また、堰堤天端下流側の断面を A 軸とし、その位置を距離に関する原点とした(堰堤断面と A 軸は、図-5 に示す)。

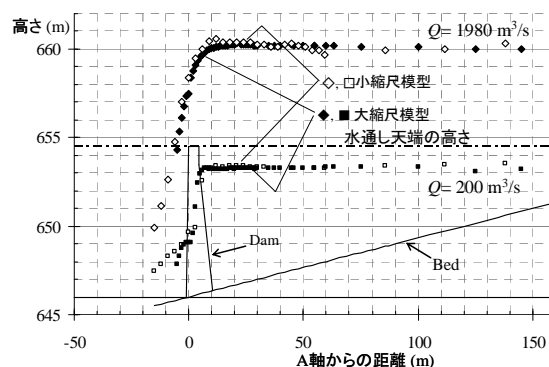


図-2 流心沿いの水面形の比較 (小縮尺無ひずみ模型と大縮尺ひずみ模型)

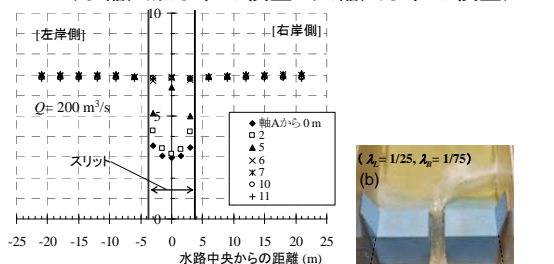


図-3 水位の横断分布

図-2 は、大縮尺模型と小縮尺模型の水面形の比較、図-3 は、水位の横断分布(大縮尺模型)、図-4 は流況の比較である。流心沿いの水面形をみると、スリット下流側の噴流・ナップ部分での大・小縮尺模型の両者の違いは見られるが、堰堤湛水域からスリット部における違いは小さい。さらに、流量 1980 m³/s の時の小縮尺模型の湛水域内の水面形には小縮尺の影響による水面の擾乱が見られる。

大縮尺ひずみ模型(図-4(b))を川幅方向のひずみを取り除いた流況(図-4(c))に変換して、小縮尺無ひずみ模型の流況(図-4(a))と比較すると、堰堤湛水域からスリット部における縮流やスリット部の流況を見る限り、幅方向のひずみの影響が小さいようである。そこで、本実験では、堰堤高さを大きく再現するために、大縮尺ひずみ模型を用いた。

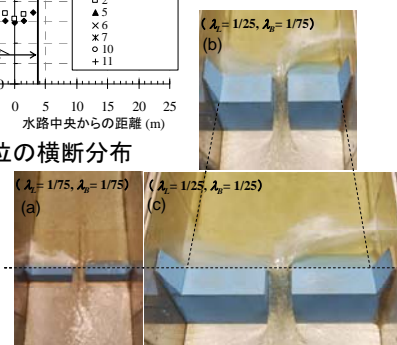


図-4 流況の比較 (小縮尺無ひずみ模型と大縮尺ひずみ模型)

3. 流速分布・圧力分布: 計測は、スリット部から堰堤湛水域における流心を対象とした。流速分布は、高速流域では、ピト

一管を用いて計測し、その他は、プロペラ式流速計を用いて計測した。底面圧力は、水路中心(流心)の位置にピエゾ孔を設置し、マンメータで計測した。圧力分布は、底面圧力計測のピエゾ孔とピトー管の静圧管をU字管に接続し、両者の差圧を計測して求めた。なお、水面形は、流心沿いにポイントゲージを用いて計測した。

(1) 水面形・流速分布: 図-5 は、水位、ピエゾ水頭、全エネルギーの縦断分布、図-6 は流速分布、図-7 は圧力分布の測定データである。スリット部周辺の全エネルギーは、流心の流速分布の測定値を用いて算定した。流速分布をみると、堰堤湛水域では対数型の流速分布、スリット入り口から出口では、河床近傍の流速が大きい分布形となる。一方、圧力分布をみると、湛水域からA軸に近づくに従って、その静水圧分布からのズレが大きくなっている。

流速分布は、堰堤断面が矩形の堰堤模型を用いた過去の実験データ⁶⁾と同様の結果である。過去のデータでは、A軸での流速分布がほぼ三角形分布であった。本実験のように、実際の堰堤断面の形状を想定した模型実験では、A軸付近の分布形状が複雑な分布形となり、しかも、図-3に示すような水位の横断分布も異なるため、堰堤堤体の上流側法面の形状および天端厚さの流れに及ぼす影響が大きいものと推察される。

(2) 圧力分布: 図-8 は、軸Aからの距離を堰堤高さで基準化して、底面圧力の静水圧からのズレ(各断面における水深 $h(x)$ で基準化)を示したものである。従前の研究⁶⁾では、A軸での水深で基準化され、無次元距離が約1.0の断面が静水・非静水圧域の境界であると示されたが、ここでは、基準化の指標として堰堤形状を取り込むことを主眼として、堰堤高さを選んだ。本実験においても、ほぼ同様の結果が得られ、図-8と図-5(ピエゾ水頭)を併せてみれば、静水・非静水圧域の境界は無次元距離が1.2~1.5程度の位置と推察される。この結果については、更なるデータの蓄積によって検討する必要があるが、スリット堰堤の流出部および湛水域内の静水圧境界断面の2つの情報が得られ、水理・河床変動計算を行う際の境界条件の候補断面となる有用な情報である。なお、側壁における負圧⁷⁾は計測されなかった。

(3) 最大流速・流量係数: スリット部の最大流速の縦断分布をみる。最大流速は、図-6のデータを $\sqrt{2gh(x)}$ を用いて無次元化した。これによると、A軸からの距離に対して、上に凸の滑らかな曲線上状に最大流速が減少するため、図-5の全エネルギー線と併せれば、未計測断面における最大流速の予測も可能であると考えられる。

図-10、図-11は、スリット堰堤における流量係数 C を求めたものであり、本実験のデータには、堰堤湛水域の最大水深を用いた。堰堤天端に水面が到達するまでは、ほぼ $C=0.5$ の一定値であり、水通し天端から越流すると流量係数が0.8程度まで直線的に増加する傾向にある。本実験のデータのうち、堰堤天端を越流しないデータを水山ら¹⁾のデータと比較した。スリット幅と水通し幅の比が0.1~0.15での流量係数が異なることが分かる。これは、部分スリットなどスリット形状の違いに起因すると考えられるが、今後の検討課題としたい。

4. 結論: 砂防堰堤のスリット部における流速分布・圧力分布を計測し、静水・非静水圧域の境界の位置、スリット部の最大流速の特性および流量係数に関する新しい知見が得られた。また、水路側壁近傍の流速や縮流に関する測定・解析に係る必要性も明らかとなった。圧力分布については、種々のスリット形状に対しても検討し、別報で示す予定である。

参考文献: 1) 水山高久ら: 新砂防, 42, 4, 28-30, 1989, 2) 芦田和男: 京大防災研年報, 5号A, 223-251, 1962, 3) 石原藤次郎ら: 第10回水理講演会論文集, 99-104, 1966, 4) 名合宏之: 土木学会論文報告集, 第264号, 77-86, 1977, 5) 建設省土木研究所: 土木研究所資料, 第2803号, 1989, 6) 田方 智ら: 平成13年度砂防学会研究発表会概要集, 130-131, 2001, 7) 水山高久ら: 新砂防, 49, 6, 34-36, 1997.

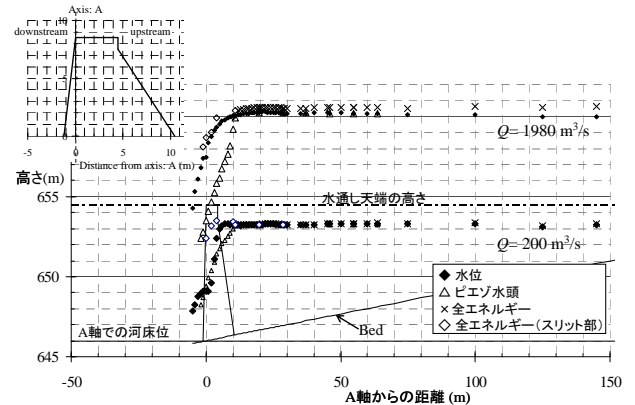


図-5 水位、ピエゾ水頭、全エネルギーの縦断分布

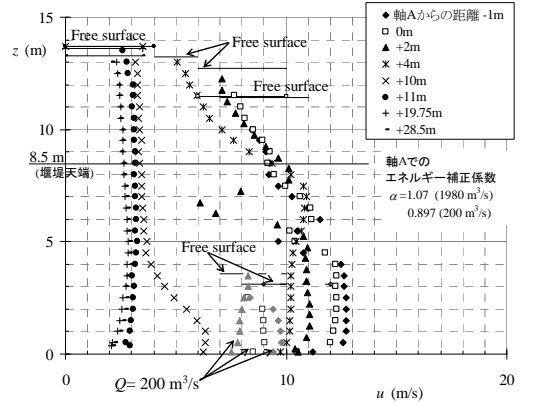


図-6 流速分布 (Q=1980 m³/s)

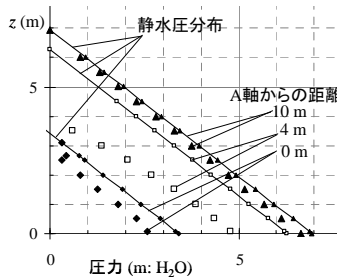


図-7 圧力分布 (Q=200 m³/s)

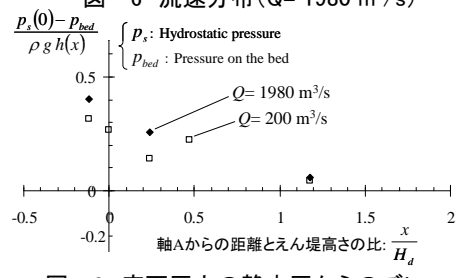


図-8 底面圧力の静水圧からのズレ

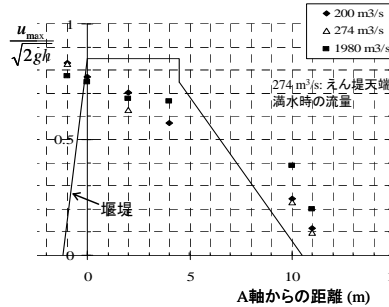


図-9 無次元最大流速の縦断分布

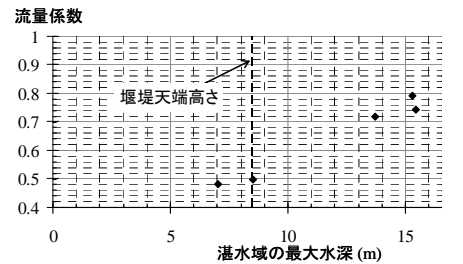


図-10 堰堤湛水域の最大水深と流量係数

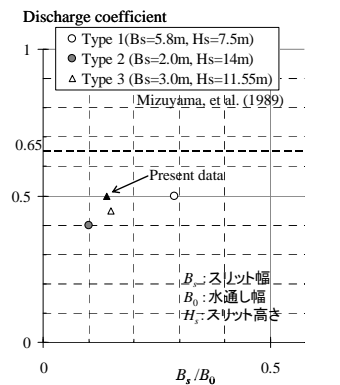


図-11 スリット幅と流量係数