

遠隔地点等を対象とした極小模型による水位流量曲線の作成

宮崎大学工学部 学生会員 堀内祐輔
 宮崎大学大学院 学生会員 ○ 東俊孝
 宮崎大学工学部 正会員 入江光輝

1. はじめに

GISデータ等を活用して分布型流出モデルの空間分解能が向上している一方で、その検証に用いられる観測流量は一定規模以上の河川の限られた地点のみで得られる。流量観測地点数の制限因子は言うまでもなく水位一流量(H-Q)曲線の作成にかかる労力の大きさと、水位データが連続観測されていても流量に変換されていない。特に山間部の沢等の遠隔地はアクセスの悪さと安全性のため流量観測は実質的に不可能である。

一方、近年では安価でUAVが入手でき、SfM技術による地形モデルの作成や測量も一般的となった。また、3Dプリンタも低価格化が進み、SfMで得られた地形データを出力することもできる。そこで、本研究では山間部等の遠隔地のH-Q曲線を作成することを目的として、平常時にUAVで空撮を行ってSfMによって地形データを作成し、それを3Dプリンタで出力した模型を使って水理実験によるH-Q曲線の作成を試みた。

ただし、汎用化されている3Dプリンタは、造形サイズが一辺20-30cm程度で、水理模型としては極小となる。縮尺の小さい水理模型は特に鉛直方向への粘性の影響が強くなって模型としての再現性に問題が生じるとされる。そこで、本研究では同地点を対象に水平方向と鉛直方向の縮尺比を変えていくつかの極小模型を作成し、それぞれで実際にH-Q曲線を作成して粘性の影響について考察した。

2. 現地調査と模型の作成

(1) H-Q曲線を作成する水位観測地点

宮崎県耳川最上流部にある上椎葉ダム集水域の2地点(図-1)でUAVからの空撮を行い、地形モデルを作成した。地点1は落差7m程度の砂防堰堤が数cm程度の砂利で満砂状態となっており、堰堤が支配断面であると考え、堤体に水位計を取り付けた。一方、地点2は河川で明確な支配断面がなく、地点1よりも巨石が散在している。川幅は地点2のほうがやや広く、平常時流量も2の方が多い。同地点の側岸に水位計を設置して連続観測した。それぞれの地点の周辺をUAV(DJI社製Phantom4 Pro)で空撮し、ポイントクラウドをSfMソフト(Agisoft社製Metashape)により作成した(図-2)。

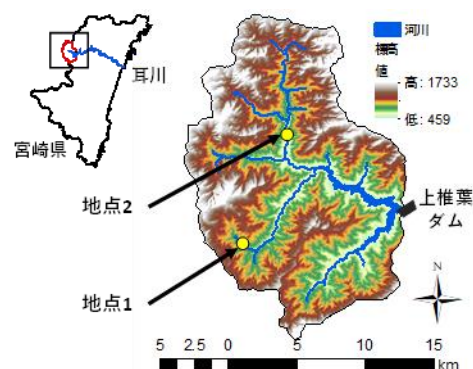


図-1 水位観測と地形モデル作成を行った地点



図-2 地点1のポイントクラウド



図-3 地点1の模型(水平・鉛直ともに1/250)

(2) 水理模型実験

上記で得られたポイントクラウドをポリゴン化して3Dプリンタ(xyzプリンティング社製ダヴィンチ1.0 Pro)で出力可能な形に加工した。縮尺は水平方向について地点1、地点2に共に1:250とし、鉛直方向の縮尺は水平方向の1倍、2倍、4倍、8倍の模型を準備した。それぞれで流量と水位を計測してフルードの相似側により現場の水位と流量に相当する値に変換してH-Q曲線を作成した。また、3Dプリンタの最大出力サイズが1辺20cmのため、2分割して模型を作成して接着した。

3. 実験結果と考察

ここでは紙面の関係から地点1に関する実験結果のみを示して考察を進める。極小模型で問題となるのは、特に浅い流れについて粘性の影響によりフルードの相似則が成り立たなくなる場合である。すなわち、鉛直縮尺の小さい模型は底面極近傍の粘性底層の影響が流

れ全体に及びやすく、得られる水位－流量曲線の信頼性も低くなると考えられる。本研究ではその影響を実験的に検証することを目的として鉛直方向の縮尺を変えた模型を複数準備して比較した。

(1) 水位－流量曲線および流路の分布

図-4に得られた水位－流量曲線を示す。鉛直方向の縮尺を水平方向と同じく1/250とした場合、他のケースと比較して同じ流量でも水位がやや高くなっており、粘性底層の影響が観測断面の水位に及んでいることを示している。一方、鉛直方向だけ縮尺を2, 4, 8倍大きくした場合については水位－流量曲線について低流量から大流量まで大差がなく、いずれも粘性底層の影響はほぼ無視しうると考えられた。

図-5に各模型において低流量時に見られた流路の概略位置を示す。低流量時は流れが河道全面に及ばないが、その中でも鉛直方向縮尺が小さく全体的に水深が浅くなる模型ほど流路が限られて単純な流れが見られた。粘性底層の影響が相対的に強く及ぶ場合には見かけ上の粗度が大きくなり、表面張力の影響も強く出て流れが分派しにくくなったものと考えられる。今回の水位観測地点では砂防堰堤の落差が支配断面で、横断方向にも狭窄して水位が上昇しているため、水位－流量曲線上ではあまり明確な違いとして現れなかったが、流路の水平方向の広がりには顕著な差が表れた。

(3) 粘性底層の厚さの概算

壁面近傍の粘性底層(下式(1)左辺の流速分布)と流速が対数分布を取る乱流域の間にバッファ領域がないと仮定し、2層の境界上の流速値が一致していると考え、粘性底層厚さ δ_s を概算する¹⁾。

$$\frac{U_*}{\nu} \delta_s = \frac{U_*}{\kappa} \ln \left(\frac{U_* \delta_s}{\nu} \right) + 5.5 \quad (1)$$

$$\frac{U_* \delta_s}{\nu} = 11.6 \quad (2)$$

ν は動粘性係数($\cong 10^{-2} \text{cm/sec}$), κ はカルマン定数($\cong 0.4$), U_* は摩擦速度($\cong \sqrt{gh_i}$: g : 重力加速度, h_i : 水深, i : 勾配)である。地点1の堰堤上流側の実勾配1/100程度を代入し、各水深時の粘性底層厚さを求めた。鉛直方向の縮尺を大きくした場合、勾配も大きくなっていくので粘性底層厚さはより小さくなる。それらもあわせて水深と粘性底層厚さの関係を図-6に示す。図中、許容する粘性底層厚さの仮の目安として水深の3%とした場合の直線を示した。この直線より上では粘性の影響がある程度大きくなると考えられる。水平縮尺(1/250)と鉛直が等倍の模型では目安閾値が水深1.1cmと

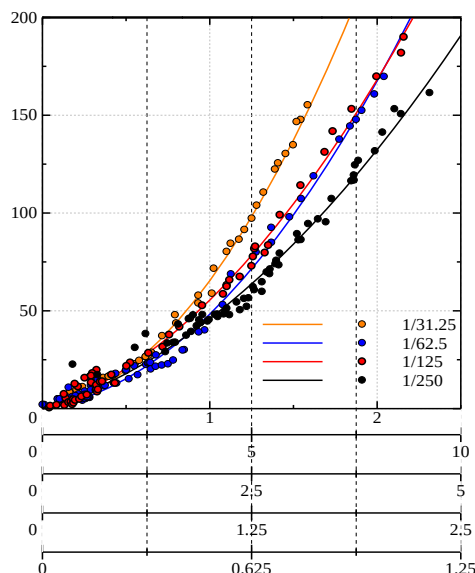


図-4 各縮尺模型で得られた水位流量曲線

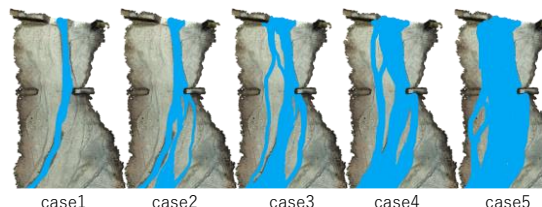


図-5 各縮尺模型の流路の概略位置

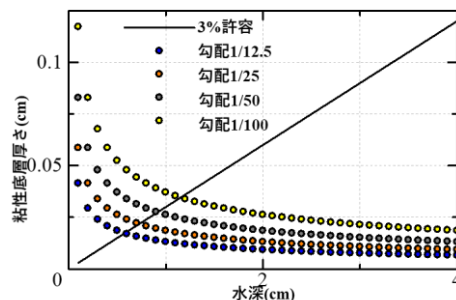


図-6 勾配別の水深と粘性底層厚さの関係

なるが、鉛直を4倍にした模型では0.7cm、実スケール水位に換算した場合がそれぞれ2.75mと0.4375mとなり、粘性の影響を無視できる水深が大きく異なる。

一方、鉛直縮尺が1/31.25の時は同じ現地流量に対して他の模型より小さい水位となった。同縮尺では流す流量が他より非常に大きく、今回作成した模型の区間長では助走が十分ではなかった可能性が高い。

4. 結論

SfMで得た地形データを3Dプリンタで出力して極小模型を作成し、水位－流量曲線の同定を試みた。鉛直方向の縮尺を大きくして粘性底層の影響を軽減し、フルードの相似側が適用できる範囲をある程度広げられ、水位流量曲線の精度が維持できると考えられた。

参考文献

- 1) 日野幹夫, 明解水理学, 丸善出版, p.100