

ループを伴う水位流量曲線と粗度の検討

北海学園大学 フェロー会員 ○許士 達広

1. はじめに

河川管理において、水位計で観測される水位を流量に換算するために、流量観測時の水位と流量の関係から水位流量曲線(H-Q 曲線) が描かれている。緩勾配の河川下流部において洪水時に流量観測すると、通常は水位を縦軸、流量を横軸にとった場合半時計回りのループを描く。ループを描くのは水位上昇期と下降期で水面勾配が異なるため、同じ水位の流量に差が生じていることによるが、流量観測には観測体制や予算の制限があり、一つの洪水でループが確認できるような多くの高水流量観測を行うことは難しい。したがって高水流量観測実施時点以外の流量は、観測データを用いて定めた一価性の水位流量曲線により、水位から算出されており、このため洪水時には実際の流量との間で、河川管理上無視できない大きな誤差が生じることがある。ここでは問題の解決のために、既往の洪水時の資料から水位や摩擦速度と粗度係数の関係を推定し、水位上昇速度を用いて水面勾配を算出し、水位上昇期と下降期の流量ループを描く方法を検討する。

2. 従来の流量補正の問題点

従来から上記の問題点の解決のために、水位流量曲線に流量観測時点の水面勾配による補正を加える方法が提案されている。この方法では洪水時の水位上昇期と下降期の流量は水面勾配により変化するため以下のように補正を加える。観測および仮想の定常状態の添え字を a, m、流量 Q, 水面勾配を I とすると、定常状態を示す仮想流量 Q_m は観測の流量 Q_a に対し

$$Q_m = Q_a \sqrt{I_m / I_a} \quad (\dots 1)$$

で表される。しかしこの勾配による H-Q 曲線の補正には実用上の問題がある。観測の水面勾配 I_a は河川砂防技術基準では近隣の水位観測所との水位差による勾配としているが、水位観測所間の距離が一定以上になれば河床勾配の違い、河道断面の変化、支川の流入、落差工の存在などにより水位観測所間の水位差からは、正しい水面勾配は求められない。また補正法における仮想勾配 I_m は、河川砂防技術基準ではその地点の計画高水位の勾配を用いる例が示されているが、計画高水位は過去の複数の洪水実績や流出解析で出されたピーク水位を繋いだものであるから、洪水時の定常状態の水面勾配になっているとは限らない。したがってこの修正方法は必ずしも用いられていないのが実態である。なお洪水時の流量観測時に水面勾配を測定しているが、水位変動などにより精度に問題があることが知られている。

3. 流量観測時の水面勾配と粗度および流量の推定

ここでは以上の状況を踏まえ、河川水位と限られた流量観測から粗度と水面勾配を推定し、洪水時の水位流量曲線のループを描く手法を検討する。ここでは最もシンプルに kinematic wave モデルで Manning 則が成立するとして計算する。

水位観測値点において洪水時の水面勾配 I は以下のように表される。

$$I = I_B + \frac{1}{\omega} \frac{\partial h}{\partial t} \quad (\dots 2) \quad I_B : \text{河床勾配} \quad \omega : \text{洪水伝播速度}$$

$$\frac{\partial h}{\partial t} : \text{水位上昇速度} \quad t : \text{時間(秒)} \quad h : \text{水深 (m)}$$

洪水時に流量観測がされている場合 観測時間 Δt の平均として流速 V が測定される。その間の水位上昇 Δh とすれば水位上昇速度は $\Delta h / \Delta t$ である。洪水伝播速度は Manning の平均流速 V に対し、クライツ・セドンの法則により広幅長方形断面では $\omega = 5V/3$ 広幅放物線形では $\omega = 13V/9$

で表される。河床勾配 I_B は局所的な変化が大きいので、平常時の流量の平均水面勾配により与えるものとして、洪水時の時間変化はないものとする。河道を近似的に長方形断面と考えると、粗度 n が水位 h や摩擦粗度 $U^* = \sqrt{gRI}$ の関数とした時、水面勾配 I および流量 Q は以下の式で求められる。

単断面 (粗度 n が摩擦速度の関数とした時)

$$I = I_B + \frac{1}{\frac{5}{3} \frac{1}{n} R^{2/3} I^{1/2} \Delta t} = I_B + \frac{1}{\frac{5}{3} \frac{1}{f(\sqrt{gRI})} R^{2/3} I^{1/2} \Delta t} \dots 3) \quad Q = \frac{1}{n} R^{2/3} I^{1/2} A \dots 4)$$

複断面

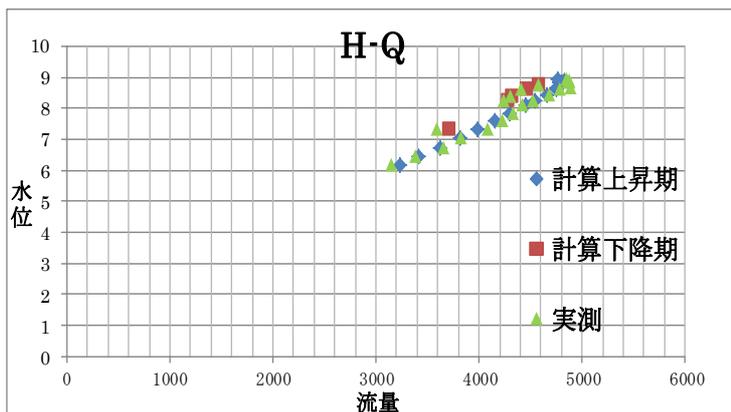
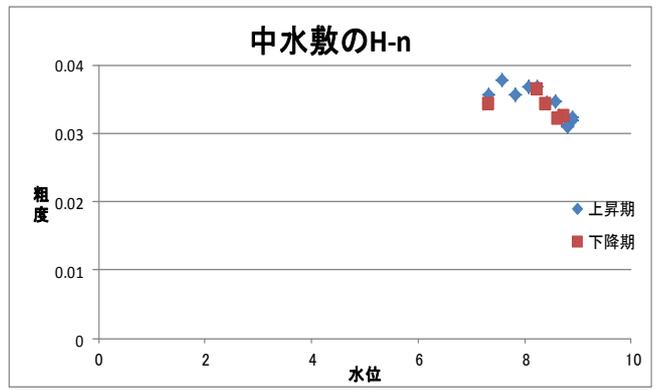
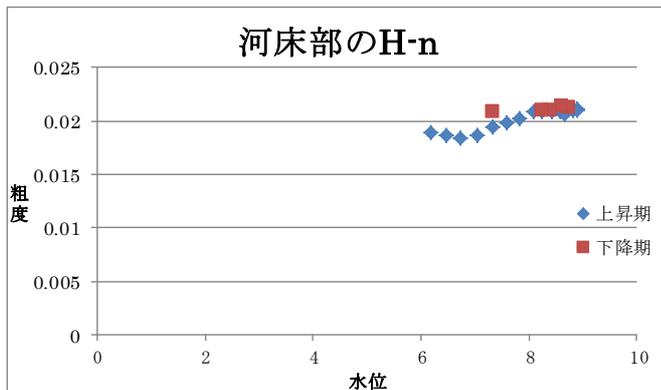
$$I = I_B + \frac{1}{\frac{5}{3} \left(B_1 \frac{1}{n_1} R_1^{2/3} I^{1/2} + B_2 \frac{1}{n_2} R_2^{2/3} I^{1/2} + B_3 \frac{1}{n_3} R_3^{2/3} I^{1/2} \right) \Delta t} \dots 5) \quad R : \text{径深}, \quad A : \text{流下断面積}$$

$$Q = \frac{1}{n_1} R_1^{2/3} I^{1/2} A_1 + \frac{1}{n_2} R_2^{2/3} I^{1/2} A_2 + \frac{1}{n_3} R_3^{2/3} I^{1/2} A_3 \quad 6)$$

水位変動の実測値 $\Delta h / \Delta t$ とその時の径深、水深や摩擦速度に対応する粗度を用いて式3) または5) から対応する水面勾配 I をトライアルで計算する。流量 Q は水面勾配 I が定まれば式4) または6) から求めることができる。観測流量と計算流量を比較して、一致するように I_B の値と n の式を調整する。再現が良好であれば、河床や樹木の状況が観測した洪水とあまり変化しない期間においては、水位から新たな出水に対する流量ループが推定できる。

4. 計算例

2011年9月の出水において、一時間程度の間隔で高水流量観測が行われた例を示す。粗度係数 n と摩擦速度 U^* および水位との関係式を検討すると、河道の樹木の影響で図のように水位 H と粗度 n の関係が得られた。河道を単断面とすると勾配変化点周辺で適合しないため、複断面として水位から各部分の粗度を推定し、水面勾配および流量を計算して、実測に近い水位と流量のループが再現された。



参考文献

建設省河川砂防技術基準(案) 同解説調査編 p 52~53
 本永・山田他：水位 - 通水能曲線を利用した新しい計算法 土木学会論文集 (B1) Vol.68, No.4, 2012