

ループを伴う水位流量曲線と粗度の検討

A Study on the Loop Formed Water-Level-Discharge Curve and Roughness Coefficient

北海学園大学工学部社会環境工学科 ○フェロー 許士 達広 (Tatuhiko kyoshi)
 北海学園大学工学部社会環境工学科 小川 和揮 (Kazuki Ogawa)
 北海学園大学工学部社会環境工学科 中島 悠太 (Yuuta Nakajima)
 北海学園大学工学部社会環境工学科 小塚 雄治 (yuuji Koduka)

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ためである。流量観測時以外の通常時に観測所で測定されるのは水位のみであり、水面勾配は観測されない。また洪水時の流量観測には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流量観測を行うことは難しい。このため少ない高水流量観測時以外の流量は、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、このためループを描く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ている。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て、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 、水面勾配を I とすると、定常状態を示す仮想流量は

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

で表される。この仮想流量は図-1の実線のようにばらつきが小さく、破線の観測流量に比べて一価性に近いループを描き、これから仮想流量の H-Q 曲線を作成する。各時点の流量 Q_a は、この仮想流量の H-Q 曲線で実測水位から Q_m を求めさらに実測の水面勾配を用いて

$$Q_a = Q_m \sqrt{I_a / I_m} \quad \dots 2)$$

により求められる。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。実際の水面勾配 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。しかし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、求める観測所の正しい水面勾配は求められない。また洪水時の流量観測時に水面勾配を測定しているが、精度に

問題があることが知られている。

さらに補正法における仮想勾配 I_m はその地点の計画高水位の勾配を用いているとしている。しかし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、洪水時の平均的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あまり用いられていないのが実態である。

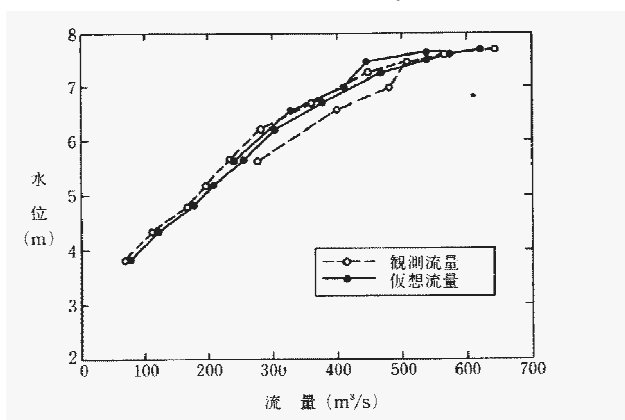


図-1 水面勾配による水位流量曲線の補正の例

3. 粗度推定の問題点

水位から流量を算出する場合に、水面勾配同様に問題なのが河床の粗度である。粗度は一般に洪水時の洪水痕跡から逆算することが行われているが、計画規模の洪水実績が無かったり、痕跡が不明瞭な場合があり、河川計画には経験的な値を含め総合的に判断されている。河川管理の上では、計画の値とは別に実河川におけるそのときの状態に応じた粗度が必要となるが、低水路の粗度は流速等によって変化することが知られており、植生の季節的変化も影響する。さらに高水敷と低水路など標高により異なる粗度を、一つの水位から求めなくてはならない。このためその時点に応じた粗度の推定は難しいとされ、洪水時の水位から流量を推定することの困難性の要因となっている。

4. 流量観測時の水面勾配と粗度の推定

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 モデルでマニング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。

$$I = I_B + \frac{1}{\omega} \frac{\partial h}{\partial t} \quad \dots 3)$$

I_B : 河床勾配 ω : 洪水伝播速度

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

洪水時に流量観測がされている場合 一定時間 Δt の平均として流速 V が観測される。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。

洪水伝播速度はマンニングの平均流速 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ため、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流量観測で V が与えられた時の水面勾配 I は以下で求められる。

$$I = I_B + \frac{1}{5V/3} \frac{\Delta h}{\Delta t} \quad \dots 4)$$

I が分かった時マンニングの粗度係数 n は 5) 式より求められる。

$$n = \frac{1}{V} R^{2/3} I^{1/2} \quad \dots 5)$$

n : マンニングの粗度係数 R : 径深

I : 水面勾配 V : 流速

R は観測点の横断面から水深 H との式を算出しておけば直接求まる。このようにして流量観測時の粗度を求める。

5. 流量観測の無い時の粗度係数、水面勾配、流量の求め方

問題は流量観測が無いときに水位 H から水面勾配の変化を考えた洪水時の流量 Q を求め、 $H-Q$ 曲線のループを描くことである。これには流量観測の無い時の粗度 n と水面勾配 I を推定する必要がある。前節において求めた洪水観測時の粗度 n とそのときの摩擦速度 U^* との関係式を求めると、任意の時点の U^* から n を推定することが可能となる。

$$n = f(U^*) \quad \dots 6) \quad U^* = \sqrt{gRI} \quad \dots 7)$$

5) 式から観測時の粗度 n 、7) 式から摩擦速度 U^* を求めてプロットし、それに最適な関数 f を決定する。関数形としては直線、2～5 次の多項式、指数、対数などが考えられ、それらの AIC が最小のものに物理的妥当性も考えながら決定する。AIC は次式で表される。

$$AIC = n \log \sigma^2 + 2k \quad \dots 8)$$

σ^2 : 誤差分散 n : データ数 k : パラメータ数

AIC で 6) 式の粗度係数の関数形 f を定め、水位 H に対する径深 R を用いて、任意の時点の水面勾配 I は以下の 9) 式を用いて、トライアルで定める。

$$I = I_B + \frac{1}{5 \frac{1}{3 f(\sqrt{gRI})} R^{2/3} I^{1/2} \Delta t} \frac{\Delta h}{\Delta t} \quad \dots 9)$$

I を定めた時、粗度 n は $U^* = \sqrt{gRI}$ から 6) 式で求められ、その時の流量は河道断面積 A として

$$Q = \frac{1}{n} R^{2/3} I^{1/2} A \quad \dots 10)$$

で求められる。

6. 計算例

対象観測箇所では 2010 年、2011 年の 2 カ年で 25 回の高水流量観測が行われ、このうち 21 回は 2011 年 9 月の出水である。高水流量観測ごとに粗度係数 n と摩擦速度 U^* を計算して関係を示すと、図-2 のようになる

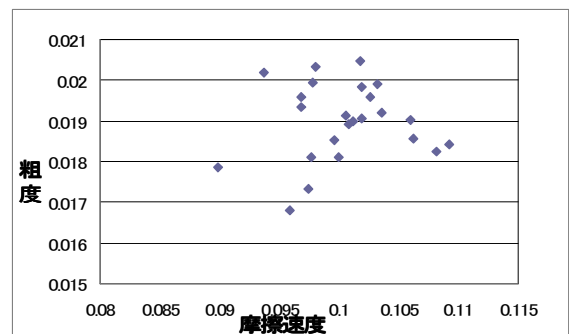


図-2 粗度と摩擦速度の関係

粗度係数は、流量観測の精度や地形変化を厳密に計算していないことや、水位や流速により変化することなどのために図-2 に示すようにかなりばらつきがある。通常は粗度 n は摩擦速度の関数とするが、この場合は無相関として平均をとり一定値とした。9) 式から洪水期間の水面勾配、10) 式から流量を計算し、観測データと水位流量関係を比較すると図-3 のようになる。

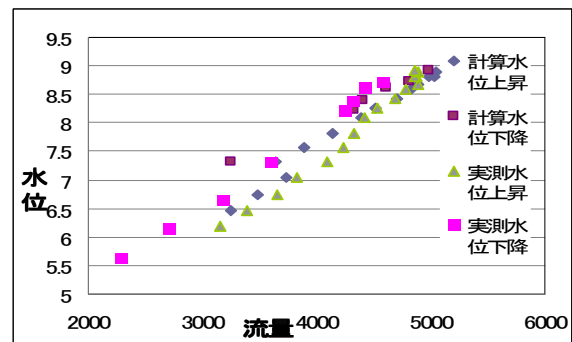


図-3 水位流量関係の観測と計算の比較

観測された点と計算された点を比べると、ばらつきがあるがループが描けている様子がわかる。計算は単断面としたため、径深の誤差で流量 4000m³/s 前後で差が大きくなっている。精度に多少問題はあるが、一価性の水位流量曲線に対し実際はどの程度の違いが生じているか知ることが出来、管理上の効果が期待できる。

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