

洪水伝播速度を考えた洪水時のループを伴う水位流量曲線の検討

Reproduction and Estimation of Water-level-Discharge Curve with Loop Considering Flood Propagation Velocity

北海学園大学 工学部 社会環境工学科 ○学生員 須田 優作
 北海学園大学 工学部 社会環境工学科 学生員 細野 仁矢
 北海学園大学 工学部 社会環境工学科 フェロー許士 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反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描けるような多くの高水流量観測を行うことは難しい。したがって各時点の洪水流量は、通常の流量と同様に、年間の流量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 H-Q 曲線の流量と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。ここでは昨年に引き続き問題の解決のために、既往の洪水時の資料から水位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. 流量推定の考え方

(1) 流量観測時の水面勾配と粗度の推定式

水位観測値点において洪水時の水面勾配 I は一般に以下のように表される。¹⁾

$$I = I_B + \frac{1}{\omega} \frac{\partial H}{\partial t} \quad \omega = \alpha V \quad (1)$$

$\partial H/\partial t$: 水位変化速度 t: 時間(秒) H: 水深 (m)

ω : 洪水伝播速度 I_B : 河床勾配 V: 流速

α : 洪水伝播速度の定数

α はクライツセドンの値(矩形断面では 5/3)や河道断面積 A と流量 Q の関係から求める。

水位観測所において通常は自記水位計による水位のみが観測されており、水面勾配は求めることができない。しかし水位変化速度 $\partial H/\partial t$ は算出ができるため、 I_B や ω を推定すれば、(3) 式により各時点の水面勾配 I を求めることができる。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 とすれば水位変化速度は $\Delta H/\Delta t$ である。(3) 式から求めた水面勾配 I を用いてそのときの粗度 n は以下のように求める

$$n = \frac{I}{V} \times R^{\frac{2}{3}} \times I^{\frac{1}{2}} \quad V: \text{流速実測値} \quad R: \text{径深} \quad (3)$$

(2) 流量の再現及びパラメータの最適化

上記の方法により各流量観測時点で粗度を算出し、水位と粗度の関係式 (H-n 式) を求める。また、河道断面図から洪水ごとの水位と径深(H-R)、水位と河道断面積(H-A)の関係式も求めておく。水位と粗度、水位と径深、水位と断面積の関係式が求めれば、逆に任意の時点の水位と水位上昇速度から水面勾配および流量を再現できる。河道断面を幅広長方形に近似すれば、単断面の場合は以下の (6), (7) 式で水面勾配 I と流量 Q は求められる。式の両辺に I が含まれるため、I はトライアル計算で求める。

$$I = I_B + \frac{1}{\frac{5}{3} \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} I^{\frac{1}{2}}} \frac{\Delta H}{\Delta t} \quad (4)$$

$$Q = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} I^{\frac{1}{2}} \quad (5)$$

ω および H-n 関係式を変化させて流量を求め、計算される流量と実測流量の誤差の 2 乗和 E が最小となるものを最適な流量再現とする。

$$E = (Q_{\text{実測}} - Q_{\text{計算}})^2 \quad (6)$$

3. 今回の検討

前回の検討では水位と粗度の関係が、8つの観測全てで図-1 の例に示すようにループを描いたため、水位上昇期と下降期で H-n 式を変えて 2 本の式で流量再現計算を行った。その場合単独洪水のループの再現は図-2 に示すように非常に良好であったが、水位流量曲線を 1 本線にすると図-3 のようにほとんどループが描けない。

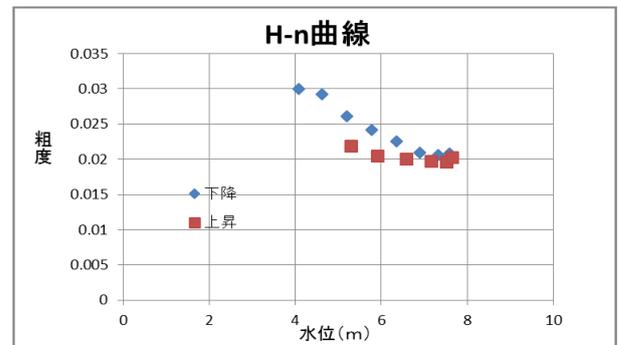


図-1 水位・粗度関係 (2005年8月)

粗度は洪水に変化するが、水位粗度関係がループを描くのは不自然である。ループの開きは(3)式の ω が影響するため、 ω の係数 α を変化させ水位と粗度 (H-n) 関係と流量再現状況を調べた。

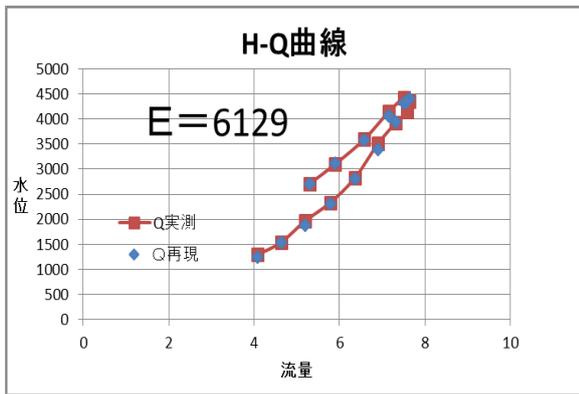


図-2 流量再現 H-n 関係式 2 本

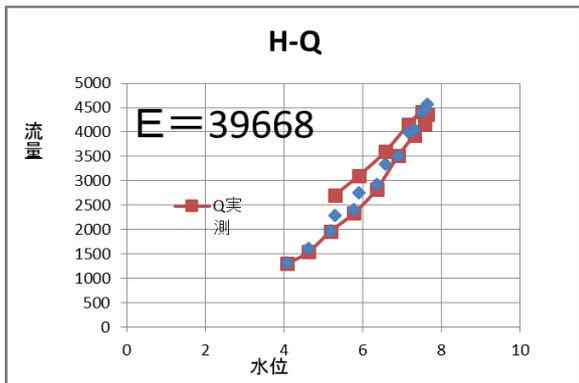


図-3 流量再現 H-n 関係式 1 本

4. 洪水ごとに α を変化させたときの流量再現性

図-4の例に示すように、実際の洪水における観測所の時間水位変化から洪水伝播速度を見る。各洪水について水位ピーク時刻と観測所間の距離から、 ω および α を算定すると表-1 のようになり、 α が一般に言われる $5/3$ よりもかなり小さくなっていることが分かる。なお月形の α は岩見沢大橋 - 月形間と奈井江 - 月形間の値の平均であり、石狩大橋の水位は潮位の影響があるため、岩見沢大橋の α は月形・岩見沢大橋間の値としている。

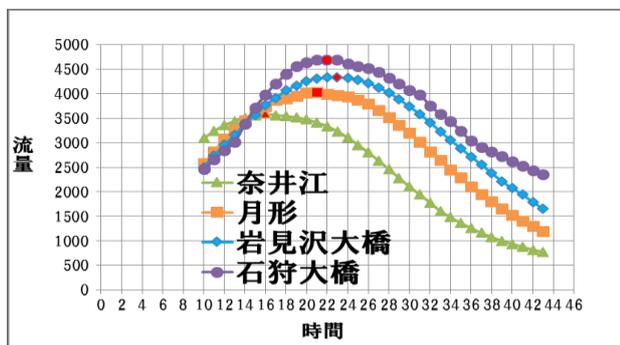


図-4 各観測所のピーに直線を当てはめて8月)

表-1 ピーク水位から見た各洪水の α

α	2005年8月	2005年9月	2009年	2011年
岩見沢大橋	1.01	0.468	0.8865	0.3907
月形	0.755	0.9122	1.0561	0.3436

また各洪水で α を変化させて 3)~5)式で算定される H-n 式が一本線に近くなるようにした時の各洪水の α の値は表-2 に示すとおりであり、2005年8月洪水の岩見沢大橋の H-n 曲線を図-5、それに直線を当てはめた

流量再現を図-6に示す。

表-2 H-n 関係式を一本化に近づけたときの α

α	2005年8月	2005年9月	2009年7月	2011年9月
岩見沢	0.73	1.3	0.82	0.87
月形	0.83	0.7	0.49	1.17

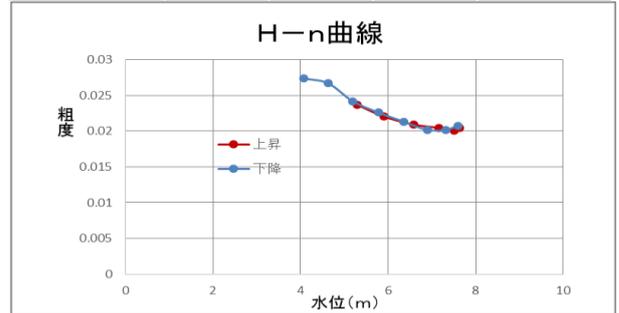


図-5 α を変化させて一本化した H-n 曲線

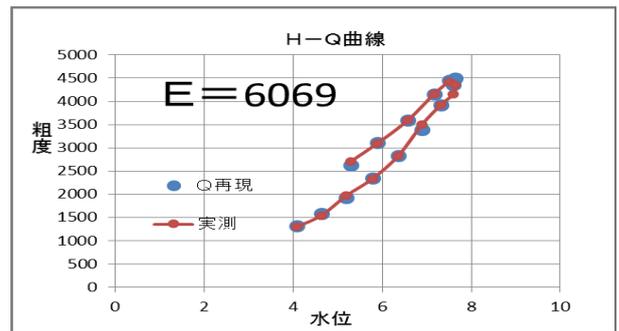


図-6 H-n 式を一本化した時の流量再現

5. α を固定させたときの各洪水の再現性

実際の管理においては洪水が来た時に洪水伝播速度 ω はわからない。 α は場所ごとに固定することが望まれる。表-2から岩見沢大橋の α を 0.8067 に固定して 2005年8月洪水の再現を行った。結果を以下に示す。

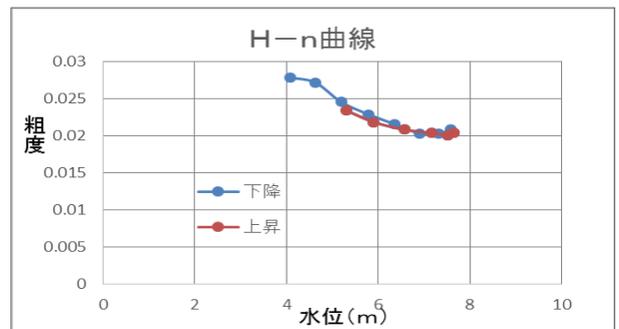


図-7 α 固定の H-n 曲線(2005年8月)

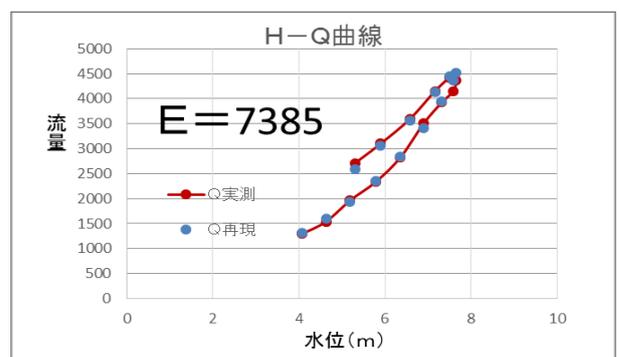


図-8 α 固定の再現曲線(2005年8月)