

水面勾配を用いた流量算出手法の提案

中央大学大学院 学生員 ○井垣友孝
中央大学理工学部 フェロー会員 山田正

中央大学大学院 学生員 高木宏郎
中央大学大学院 学生員 Quimpo Maritess

1. はじめに

現在、日本において河川流量を算出する際には、流量を測定する地点において先に水位と流量を観測し、それを基に水位-流量曲線（H-Q 曲線）を作成している．その後はリアルタイムで測定する水位をこの水位-流量曲線にあてはめて流量を算出する．しかしながら、主に洪水時における水位と流量の観測値をプロットした場合にはループを描くことがあり、一つの水位に対して流量が二価性を示す．これは洪水上昇期と下降期の水面勾配の違いに起因する．水位-流量曲線はそれらの水位と流量の観測値を一本の線で結ぶため、ある水位に対して得られる流量が実際と異なる場合がある．これは水位-流量曲線から流量を算出する際の精度向上には無視できない．近年、河川情報の公開が進む中で、提供される流量データの精度に関する要求が高まっている．このような背景を踏まえ、著者等は流量算出手法の精度向上を目的として研究を進めている．

2. 本研究の内容

2-1. 通水能の定義

H と Q の関係が二価性を有するのは洪水による水位の上昇時と下降時の水面勾配の違いに起因する．この二価性に対処するため、山田ら¹⁾の提案した手法を以下に示す．まず河川の流れを局所的に等流と仮定し、連続式(1)とManningの平均流速公式(2)から流量・水面勾配と水深の関係について(3)式を導く．

$$Q = A \cdot V \quad (1) \quad V = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} \cdot I^{\frac{1}{2}} \quad (2) \quad Q = \frac{1}{n} R(h)^{\frac{2}{3}} A(h) I^{\frac{1}{2}} \quad (3) \quad Q = K(h) I^{\frac{1}{2}} \quad (4)$$

ここに、 Q :流量[m³/s]、 A :断面積[m²]、 V :平均流速[m/s]、 n :Manningの粗度係数[s/m^{1/3}]、 R :径深[m]、 I :水面勾配である．また水深に比べて水路幅が十分に広い広幅断面水路とみなすと R と A は水位 h の関数となる．ここで(3)式の $1/nR(h)^{2/3}A(h)$ を K とおくと、(4)式のようになる． K は通水能を意味する． K は水位の変化による n 、 R の変化を含む係数である．山田ら¹⁾はこの K と水位の関係が一価性を有することを示し、水位-通水能曲線（H-K曲線）を作成した．さらに別に測定した I を用いてH-K曲線から Q を一意的に導く方法を提案した．既存の研究では一次元性を有する流れ、二次元性を有する流れを対象としてH-K曲線が有用性を示すことが証明されてきた．その際、水面勾配 I は流下方向の二地点の水位差を測定し、二地点間の距離で割ることによって求められてきた．この方法を二点測定法と定義する．

2-2. 一地点からの水面勾配算出

以下に、洪水の伝播速度に関する kinematic wave の近似適用範囲において、一地点で水面勾配を測定する方法を示す．図-1 のように洪水波を表すと水面勾配 I は(5)式のように表される．また、洪水を擬似的に等流とみなすと $c=5/3v$ と表すことができ、水深を未知数とし、連続式は(6)式のように書き表される．

$$I = \frac{H_2 - H_1}{\Delta x} = -\frac{\partial H}{\partial x} \quad (5) \quad \frac{\partial h}{\partial t} + c \cdot \frac{\partial h}{\partial x} = 0 \quad (6)$$

ここで、水深を $h=H-z$ と表し(6)式に代入すると、(7)式のように表される．(5)式を(7)式に代入し、河床勾配を i_0 とすることにより、水面勾配に関して(8)式が得られる．

$$\frac{\partial H}{\partial t} + c \cdot \left(\frac{\partial H}{\partial x} - \frac{\partial z}{\partial x} \right) = 0 \quad (7) \quad I = i_0 + \frac{1}{c} \cdot \frac{\partial H}{\partial t} \quad (8)$$

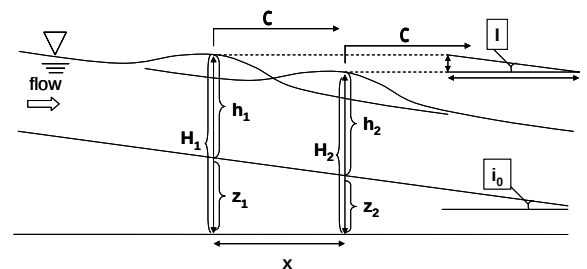


図-1 洪水波の模式図

キーワード 流量 水面勾配 水位流量曲線 通水能

連絡先〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27 中央大学 T E L 03-3817-1805 E-mail : igaki-tomotaka@civil.chuo-u.ac.jp

ここに、 I :水面勾配、 i_0 :河床勾配、 c :洪水伝播速度[m/s]、 v :平均流速[m/s]、 H :水位[m]、 t :時間[s]である。この式から河床勾配を先に求め、 $c=5/3v$ と表すことで一地点の流速と水位の時間変化から水面勾配の算出が可能となる。二点測定法は正確に水面勾配を算定することができるが、2ヶ所の水位観測施設が必要である。一方、2ヶ所の観測地点を設けることが困難な場合、観測地点を1ヶ所にする事ができる。この方法を一点測定法と定義する。本研究では一次元不定流計算の結果を用いて、一地点から水面勾配が求められることを証明する。

3. 再現計算

矩形断面開水路を対象として1次元不定流計算を行った。水路形状は水路延長100km、水路幅400m、低水路粗度係数0.025とした矩形断面開水路である。河床勾配を1/1000~1/10000まで変えた。上流端境界条件として図-2に示す流量ハイドログラフを与え、下流端境界条件は水位一定とする。初期条件は基底流量500[m³/s]を与え、この流量に対してManningの平均流速公式から逆算できる水深と流速を水路全域に一样に与えた。

4. 計算結果と考察

図-3は河床勾配1/5000の矩形断面開水路において上流端から50km流下した地点における

H と Q の関係である。矩形断面開水路において H と Q はループを描き二価性を示している。また上流端に与えた流量ハイドログラフごとに H と Q のループは異なっている。図-4は $K=Q\sqrt{I}$ として求めた同地点における H - K 曲線であり、上流端に与えた流量ハイドログラフに関わらず H - K 曲線は一価性を示す。図-5は同地点において上流端に流量ハイドログラフを与えたときの水面勾配と水位の時系列である。二点測定法から求めた水面勾配と一点測定法から求めた水面勾配が一致している。上流端境界条件を変えても同じ結果が得られた。図-6は水面勾配最大時(図-5、A)における二点測定法で求めた水面勾配と一点測定法で求めた水面勾配の誤差率を河床勾配毎にまとめた図である。河床勾配を変えても水面勾配最大時は誤差率が1%以内になることがわかる。

5. まとめ

本研究により得られた知見を以下にまとめる。(1)矩形断面開水路で与える洪水ハイドログラフの形状によって H - Q 曲線は変化するが、 H - K 曲線は一つの開水路については一つの曲線が定まる。(2)矩形断面開水路において二点測定法から求めた水面勾配と一点測定法から求めた水面勾配が一致する事を示した。(3)河床勾配を変化させても水面勾配最大時には二点測定法と一点測定法の誤差率が1%以内になる事を示した。

参考文献

- 1) 大原憲明・志村光一・松木浩志・山田正(1999):水面勾配を考慮することによる水位-流量曲線の二価性の補正について,土木学会年次学術講演会講演概要集第2部,54巻,pp.618-619.
- 2) 本間仁,萩原能男:新版流量計算法

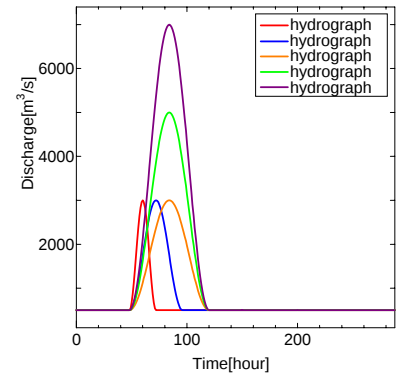


図-2 上流端に与えた流量ハイドログラフ

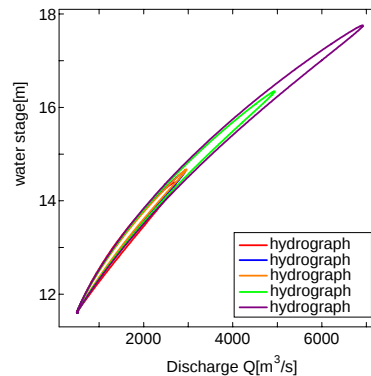


図-3 上流から50km地点における H と Q の関係

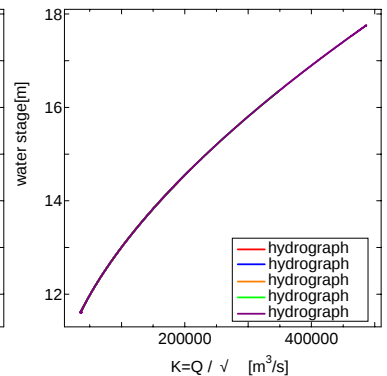


図-4 上流から50km地点における H と K の関係

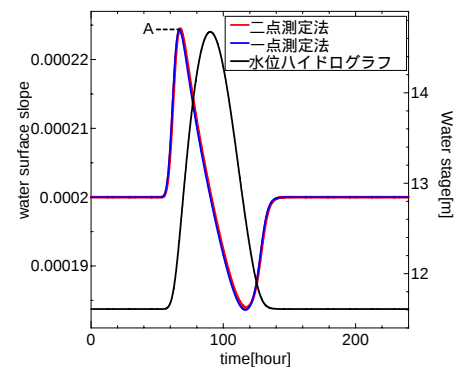


図-5 上流から50km地点における水面勾配の時系列

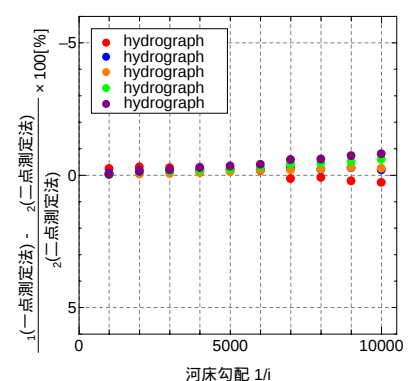


図-6 水面勾配最大時における誤差率