河口における水面上昇に関する研究

日本大学教授　理工学部　工学博士　久　宝　保

1. 概　説

河口における水面上昇の問題は，その背水曲線を支配し，これが河口付近の堤防の高さ設計や河口漂砂の運動に関係があるので，ここではごく基礎的な考察をすることにした。

なお，背水曲線の計算を簡略化するために，共線図表(chart) を用いると誤差は大きいが，きわめて能率的であるから，それを紹介する。

2. 基礎式

河川流の運動方程式を，

$$-i+\frac{dy_1}{dx}+\varphi(V)+\alpha\frac{d}{dx}\frac{V^2}{2g}=0$$

とし，

i：底勾配

y_1：平均水深，$=A/B$

A：流積

B：水面巾

x：流れの方向の座標による距離

$\varphi(V)$：摩擦勾配

α：Bélanger 係数（ここでは $\alpha=1.1$ とする）

V：平均流速$=\frac{1}{n}y_1^{2/3}i^{1/2}$

n：粗度係数（0.02～0.035）

また流量を Q とすると，

$$V=\frac{Q}{A}=\frac{Q}{By_1}$$

ゆえに基礎方程式は，

$$\frac{dy_1}{dx}=\frac{i-\frac{n^2Q^2}{B^2y_1^{10/3}}-\left(\frac{\alpha Q^2}{gB^3y_1^2}\frac{dB}{dx}-\frac{\alpha Q}{gB^2y_1^2}\frac{dQ}{dx}\right)}{1-\frac{\alpha Q^2}{gB^2y_1^3}}\cdots(1)$$

となる。

多くの場合に，

$$\frac{\alpha Q^2}{gB^3y_1^2}\frac{dB}{dx}\quad と\quad \frac{\alpha Q}{gB^2y_1^2}\frac{dQ}{dx}$$

とが，

$$\frac{n^2Q^2}{B^2y_1^{10/3}}$$

に比して，きわめて小さいことが多いので，

$$\frac{dy_1}{dx}\doteqdot\frac{i-\frac{n^2Q^2}{B^2y_1^{10/3}}}{1-\frac{\alpha Q^2}{gB^2y_1^3}}$$

とすることができる。ただし，B, Q, n_1, y_1 は x の関数である。ゆえにこれを解くことは一般には不可能であるから，

$$\frac{\Delta y_1}{\Delta x}\doteqdot\frac{i-\frac{n^2Q^2}{B^2y_1^{10/3}}}{1-\frac{\alpha Q^2}{gB^2y_1^3}}$$

として，図式に近似的に解く方法が考えられる。これが，共線図表を用いると簡便な理由である。

3. 射流限界

常流と射流との限界では，

$$\frac{\alpha Q^2}{gB^2y_1^3}=1$$

となり，水面勾配が無限大になるので，このような場合が河口において生ずるかどうかについて考えてみよう。すなわち，常流から射流になる場合として，

(1) Q が大きくなる場合　河川流が海水をともなって，その流量が流れにしたがって増大すると，

$$Q=\sqrt[2]{\frac{g}{\alpha}y_1^3}B$$

において限界に達する。

(2) B が小さくなる場合　河口が閉そくしていて，水面巾がせまくなる場合には常流から射流に移ることがある。

(3) y_1 が小さくなる場合　河口に堆砂があって，河川流がこれを越流する場合には，一般に限界水深とよばれる深さ，

$$y_1=\sqrt[3]{\frac{\alpha Q^2}{gB^2}}$$

に達することがある。

このようにして，河口の堆砂または河口よりやや沖へ出たところでは，限界水深に達することが多いものと推定せられる。

4. 共線図表

図―1 は限界水深

$$y_1=\sqrt[3]{\frac{\alpha Q^2}{gB^2}}$$

と，背水曲線を推定するために作製したものである。この共線図表は普通の片対数目盛の用紙を利用して，若干の計算によったものであるから，作製は簡単で容易である。したがって共線図表を利用する場合には，本図を参考にして作製することが望ましい。

図の使用方法はその番号順に行なえばよいので，説明を省略する。

ここに若干の問題となる点について説明すると，

(1) 計算の出発点の選び方　射流では上流から下流へ，常流では下流から上流へ計算する必要がある。もしも，実測された

一点があれば，現象的に正しくなくても，やむをえず常流でも射流でも前記とは反対方向に計算せざるを得ぬ場合がある。

(2) 限界水深付近の計算方法　河口では限界水深に達することが多いので，計算の出発点がない場合には，やむを得ず，まず限界水深付近を推定し，これより計算をはじめる。この場合に，Δx を小さくとると $\Delta y_1/\Delta x$ がきわめて大きくなるので，思い切って Δx を大きくとり，そこを計算の起点として，逆に限界水深の方へ逆算する。

(3) (1) 式の右辺の y_1 の取り方　(1) 式の右辺の y_1 は前に求めた点の y_1 と $\Delta y_1/2$ との和を用いるのがよいが，この場合 $\Delta y_1/2$ はまず推定しなければならない。そして，何度もくり返えして，計算による Δy_1 と推定の $\Delta y_1/2$ の2倍が一致するまでくり返えす必要がある（実際の計算ではやっかいであるが，共線図表を用いると，きわめて簡単である）。

(4) Δx の取り方　$\Delta y_1/\Delta x$ の値が小さい場合には，Δx を大きくとればよい。

以上の点を考慮すれば，かなり正しく背水曲線が求められる。なお

$$\frac{\Delta y_1}{\Delta x}=\frac{i-\dfrac{n^2Q^2}{B^2y_1^{10/3}}}{1-\dfrac{\alpha Q^2}{gB^2y_1^3}}$$

における右辺の分母分子における，

$$\frac{n^2Q^2}{B^2y_1^{10/3}} \quad と \quad \frac{\alpha Q^2}{gB^2y_1^3}$$

とは共線図表により，その後の数値は図によらないで計算するのがよいであろう。

計算例として，

$Q=1\,000\ \mathrm{m^3/sec}$, $B=100\ \mathrm{m}$, $y_1=2.4\ \mathrm{m}$,

$n=0.030$, $i=0.0065$

とすると，限界水深その他は，

$y_0=2.239\ (2.2)$

$\left(\dfrac{Q}{B}\right)^2=100\ (100)$

$\dfrac{y_1^3g}{\alpha}=123.164\ (120)$

$\dfrac{y_1^{10/3}}{n^2}=20\,567\ (21\,000)$

$\dfrac{\Delta y_1}{\Delta x}=0.0871\ (0.082)$

となり，( ) 内は図を用いた場合の値を示している。

5. 結　言

このような方法を用いて計算すると，河口の水面曲線が予想される。さらに実測水面曲線があれば，逆に粗度係数の n について吟味することができる。

図—1