

(12) 河口付近における水面形について

神戸大学工学部 正員 石原安雄

京都大学工学部 准員 江崎一博

京都大学工学部 准員 榎野文命

河川が海洋に流入する河口付近の水面形は、河口付近の堤防の高さの決定などの問題に対して、重要な要素の一つである。一般に河口付近の水面形を規定する条件は河川の流量と外洋における潮位であるが、河口付近の底勾配、海底地形は非常に複雑であり、これを厳密に解明することはきわめて困難である。そこで、以下述べるような模型的な場合を考へ、とくに海洋内における定常時の水面形の特性を調べ、こうした場合の基礎的知識をうることにした。

1. 河口付近の流量の分布

図-1に示すような河口において、 x, y 方向の流速を u, v とし、 h を水深とすると、連続の条件は、定常状態に対して、

$$\partial(uh)/\partial x + \partial(vh)/\partial y = 0 \quad \text{----- (1)}$$

いま、 $Q_x = uh$, $Q_y = vh$ とおき、 $Q_x = \partial\psi/\partial x$, $Q_y = \partial\psi/\partial y$ と仮定すると、(1)式より、

$$\partial^2\psi/\partial x^2 + \partial^2\psi/\partial y^2 = 0 \quad \text{----- (2)}$$

となり、 ψ はLaplaceの微分方程式を満足するから、等角写像を利用して ψ を求めることができる。すなわち、河口に同じ強さの湧出突が分布しているとして、 Q_x, Q_y を求めると、

$$Q_x - iQ_y = Q_0/\pi \cdot \log\{(z+b/2)/(z-b/2)\} \quad \text{----- (3)}$$

となる。ここに、 $i=\sqrt{-1}$, $z=x+iy$, Q_0 は河道内の単位巾当りの流量である。

つぎに、対称軸すなわち y 軸上の水面形について考えることとする。そのため、 y 軸上の Q_y の分布を求めると、 Q_y をあらためて Q と書き、次式で与えられる。

$$Q = Q_0 \cdot 2/\pi \cdot \tan^{-1}(b/2y) \quad \text{----- (4)}$$

2. 対称軸上の水面形の基礎式

対称軸上の水面形を表わす微分方程式は、 Q が単位巾当りの流量であることを考慮すると、

$$\frac{dh}{dy} = \frac{\frac{Q}{gh^2} \frac{dQ}{dy} - \left(\frac{1}{C^2} - \frac{J}{g}\right) \frac{Q^2}{h^3}}{1 - \frac{Q^2}{gh^3}} + J \quad \text{----- (5)}$$

ここに、 C はChézyの係数、 J は y 方向の海底勾配である。つぎに、

$$\left. \begin{aligned} h/h_c &= \xi, & H/h_c &= \eta, & 2y/b &= X \\ Q/Q_0 &= q, & J \cdot b/2h_c &= j, & J_c \cdot b/2h_c &= j_c \\ H &= h - Jy, & J_c &= g/C^2, & h_c &= \sqrt[3]{Q_0^2/g} \end{aligned} \right\} \quad \text{----- (6)}$$

ただし、

で与えられる無次元量を用い、さらに $\alpha = j_c - j$ とおくと、(5)式はつぎのように変形される。

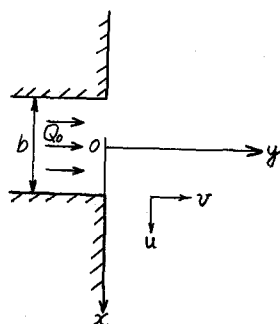


図-1

$$\frac{d\xi}{dX} = \frac{d\eta}{dX} + j = \frac{\left(-\frac{d\eta}{dX} - \alpha \frac{\eta}{\xi}\right) \frac{\eta}{\xi^2}}{1 - \frac{\eta}{\xi^3}} + j \equiv \frac{F_1}{F_2} + j \quad \text{----- (7)}$$

$$F_1 = \left(-\frac{d\eta}{dX} - \alpha \frac{\eta}{\xi}\right) \frac{\eta}{\xi^2}, \quad F_2 = 1 - \frac{\eta}{\xi^3}$$

ここに、

したがって、(4)式を(7)式に代入して特性を調べれば、対称軸上の水面形の性質をみることができる。すなわち、(4)式から $\eta = (2/\pi) \cot^{-1} X$ 、したがって、

$$d\eta/dX = -(2/\pi) \cdot \left\{ 1/(1+X^2) \right\} \quad \text{----- (8)}$$

となり、この場合の F_1, F_2 はつぎようになる。

$$F_1 = \left(\frac{2}{\pi} \frac{1}{1+X^2} - \alpha \frac{\eta}{\xi} \right) \frac{\eta}{\xi^2}, \quad F_2 = 1 - \frac{\eta^2}{\xi^3} \quad \text{----- (9)}$$

3. 水面形の特性

こうした場合の水面形については、(7)式の特異点の性質を調べればよい。(9)式で $\alpha = 2/\pi$ とおいて $F_1=0, F_2=0$ の曲線を計算すると図-2のようになり、 X が小さいところで両曲線が2点で交わる場合がある。そこで、 j_c, j を変数として、特異点の存在範囲および性質を図示すると図-3のようになる。図中同一の領域に二つの特異点が表示されているものは上述の曲線が2点で交わる場合で、鞍状点が必要上流側に現われることを証明することができる。したがって、特異点が存在する場合には、外洋の水位によっていろいろの水面形が現われ、河口付近の水面形の特性をみることができる。図-4は $j_c=1, j=0.5$ の場合の水面形を計算した例で、この場合の特異点は結節点である。すなわち、外洋の水位が高い場合には全領域にわたって常流であるが、水位がA曲線以下に下ると、河口で射流があらわれ跳水して常流に変わる。さらに、B曲線以下となると、跳水せずに射流から常流に移り変ることとなる。

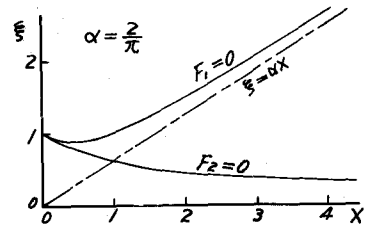


図-2 $F_1=0, F_2=0$ の曲線

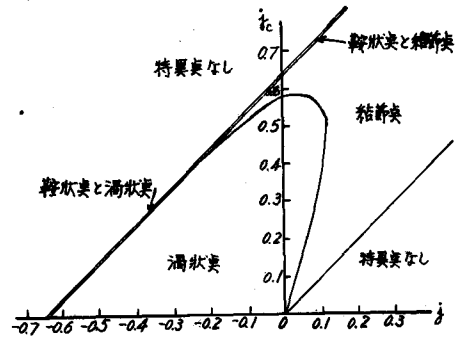


図-3 特異点の存在領域図

つぎに河道内における水面形は普通の排水路と同様に求められるが、河道と海洋の接合点では、この場合 $F_1=0, F_2=0$ の曲線が不連続となるから、適当な遷移領域を挿入する必要がある。

終りに、本研究に当り始終御指導を賜った京大石原藤次郎教授に深く感謝するものである。

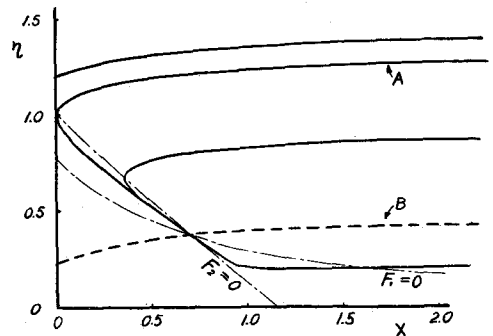


図-4 水面形の計算例