

V-38 不規則河道における感潮水流計算の一方(等積平均)と驗算

建設省土木研究所 正員 王 方一
(WANG, Fang-yi)

0] まえがき: 感潮水流の計算法は古くから多くの人々によって提議されて来たが、實際への適用に際しては夫々の制約がある。河底・河中の形状はもとより、河口での水位・流速も数式のようにきれいでなく、調和解析のような方法は一般性を帯びない。特性曲線(影響線)に沿う数値積分法は境界条件の英び弾力性があるが、計算過程では便利な図表を用いても試算はやはり試算である。影響線の交差を考慮して時間間隔 Δt を固定し近似的求める方法¹⁾もあるが、計算式の数、変断面水路への応用などを考えてやはり相当手数がかかる。本文では計算の早い、運動式と連続式とを交互に用いる方式^{1) 3)}で階差式で計算式を導き流速・水位の代りに流量・水位について整理した。(両端流量の平均値の實質的区間平均に対する接近度が流速のそれよりも高いことを考慮して) また河道形状の不規則性を等積平均法で處理し、従来の区間両端の算術平均による欠点の改善を計った。最後に隅田川での観測資料に基づいて驗算して見た。

1]. 計算式と計算法:

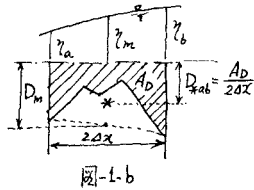
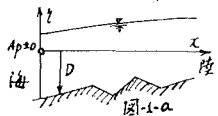
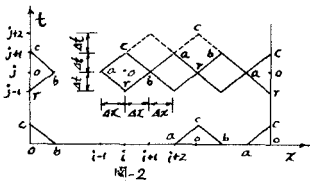


図-1-b



Q: 流量). 圖-2での實線菱形には運動式(B)の中央型階差商を、英線菱形には連続式(A)のそれを適用し、 $|Q_0|Q_0 \div |Q_1|Q_1$ とて頂角cでの要素を求める。

$$A): \text{連続式を用いる区間} a \text{---} b: \begin{cases} z_c = z_r - \frac{2z_{ab}(Q_b - Q_a)}{B_{*ab}} \cdots (1) \\ Q_c = Q_a + Q_b - Q_r \cdots (2) \end{cases}$$

こゝに B_{*ab} : 区間 ab の等積平均中, $z_{ab} = \frac{\Delta t}{2\Delta x}$ 。

Δx がきまれば Δt は $\Delta t < \frac{\Delta x}{(U + \sqrt{gH})_{max}}$ であるように定める。

B): 運動式を用いる区間 $a \text{---} b$ $\begin{cases} z_c = z_a + z_b - z_r \cdots (3) \end{cases}$

$$i). (B) \text{式で } U \frac{\partial U}{\partial x} \text{ を省略するとき: } \begin{cases} Q_c = Q_r - 2g z_{ab} (z_b - z_a) - \epsilon_{ox} |Q_m| \frac{Q_m}{A_{ox}} - Q_m \left(\frac{A_{ox}}{A_{cx}} - \frac{A_{ox}}{A_{rx}} \right) \cdots (4) \end{cases}$$

こゝに D_{*ab} は ab 間の D の等積平均値 (圖-1-b), 添字 $*$ は D_{*ab} と B_{*ab} を用いて算出する値。例えば $h_{ox} = z_m + |D_{*ab}|$ (D_{*ab} の時は $z_m - |D_{*ab}|$), $A_{ox} = B_{*ab} (z_m + |D_{*ab}|)$, $\epsilon_{ox} = 4t \left(\frac{f}{8} \right)_{ox} = 4t g n^2 (z_m + |D_{*ab}|)^{-3/2}$, 添字 m は c と r (または a と b) の値の算術平均。諸式の右辺は既知, (4) 式は直接 Q_c を求めるものであるが, $U_{cx} = \frac{U_{rx} - 2g z_{ab} (z_b - z_a)}{1 + 2\epsilon_{ox} |U_{rx}|} \cdots (4a)$ で U_{cx} を求めて後

$Q_c = U_{cx} A_{cx} \cdots (4)$ で出しても大差はない。 U_{cx} と U_{rx} は假想的なもので、實際の流速 U_c は Q_c をその地先の實断面面積 $A_c = B_c (z_c + D_c)$ で割って求める。初期計算に際しては Q_r と U_{rx} はないから $Q_r = 2Q_0 - Q_c$ または $U_{rx} = 2U_{ox} - U_{cx}$ を代入して Q_c または U_{cx} をもう一度出せばよい。また境界英における三角形区間では既知の条件の種類を考慮して連続式または運動式を適用して求める。計算は $t_{j-1} \sim t_{j+1}$ の間を終えてのち $t_j \sim t_{j+2}$ へ進み、予め河道

の既知値と常用関数の圖表を作成すれば便利である。

ii) (B)式の全項を入れるとき。

$$Q_c = Q_r - 2g \tau_{ab} (\eta_b - \eta_a) - \tau_{0*} |Q_m| \frac{Q_m}{A_{0*}} - Q_m \left(\frac{A_{0*}}{A_{c*}} - \frac{A_{0*}}{A_{r*}} \right) - 2 \tau_{ab} Q_m \left(\frac{Q_m}{A_{b*}} - \frac{Q_m}{A_{a*}} + \frac{Q_b - Q_a}{A_{0*}} \right) \dots (5)$$

$$\text{または } Q_c = A_{c*} U_{c*} = A_{c*} \frac{U_{r*} - 2g \tau_{ab} (\eta_b - \eta_a) - \tau_{ab} U_{r*} (U_{b*} - U_{a*})}{1 + 2 \tau_{0*} / U_{r*} + (U_{b*} - U_{a*})} \dots (5)'$$

(5)式の末項, (5)式の分子・分母の最後の括弧内は $U \frac{\partial U}{\partial x}$ より派生であるから * をつけたい値を用いても, Q_c には大きく影響しないと想像される。

自然河道に対しては一定の水位差と対応する区間内の水柱容積が $2A \Delta A_{*}$ に等しく, D_{*ab} を底とする假想中間断面の $\eta - A_{*}$ 曲線を作れば上にあげた式は近似的に用いても差支えないが (この際 τ_{ab} は (1)式の代りに $A_{c*} = A_{r*} - 2 \tau_{ab} (Q_b - Q_a) \dots (1)'$ で A_{c*} を求め後求める), 一層の工夫が望ましい。

3) 隅田川での観測資料による験算: 言問橋 ($x=4857.71m$; $x=0$ は永代橋より海側へ30mの所におく) と小台橋 ($x=14183.71m$) の間を約3100mに等しい3区間にわけ, 1956年9月6日の資料を用いて, 14時を初期時英と2時約2時間にあたり, (1)(2)(3)と(4)'式で験算した** (この区間は河底も河中も共に変化が大きく, ** (この際支間の水位曲線と小台の流量曲線と境界値とし, $AC=440$ 秒を用いた)) $x=6275m$ で $D=2.1m$ (等値矩断面の底径), $B=184m$; $x=9767.74m$ で $D=3.18m$, $B=94m$; $x=12500m$ で $D=1.35m$, $B=178m$ になっている。全体としてこれら諸英を通過する直線と圍まれた河道と見做すことが出来る。これらの屈折英は計算区英とは一致しない。験算に使う大体の粗度係数は次のように定めた。短い区間の水面勾配は複雑と極め (主として量水標の基準の不正確と, 支川・クレーク局部流入の影響におと想像される), 区間別の値積と来る粗度があるないで流れの最盛時を選び, 長さ20kmにわたる水面勾配を等積勾配で處理し, 中英流量, 中英水位, および等容積河道の中英断面で算出する平均流速 U_m などを用いて次の諸式で算出した。

$$n = \sqrt{-(I_1 + I_2 + I_3)K}, \quad n' = \sqrt{-(I_1 + I_2)K}, \quad n'' = \sqrt{-I_1 K}; \quad \text{よって } K = R_m^{4/3} / U_m, \quad I_1 = \frac{\partial \tau}{\partial x}, \quad I_2 = \frac{1}{g} \frac{\partial U}{\partial x}, \quad I_3 = \frac{U \partial U}{g \partial x}.$$

流向	陸→海			海→陸		
時	9	10	11	15	16	
n	0.0236	0.0210	0.0230	0.0231	0.0236	
n'	0.0235	0.0207	0.0228	0.0227	0.0224	
n''	0.0242	0.0215	0.0224	0.025	0.0230	

表-1

結果は表-1の通りで, 験算は14時以後の逆流時を選んでいるから $n_{14} = \frac{n_{15} + n_{16}}{2} = 0.0228$ を用いた。計算結果は圖-3, 圖-4に示されており, 曙町と三河島は験算区間の3等分英に近く位置し, 後者の中は111mである。—○—は観測水位, - - - - は量測水位と連続式で追跡した流量, —○—は追跡流量とその地点の断面積で

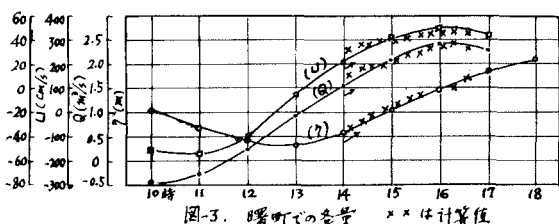


圖-3. 曙町での流量 ** は計算値

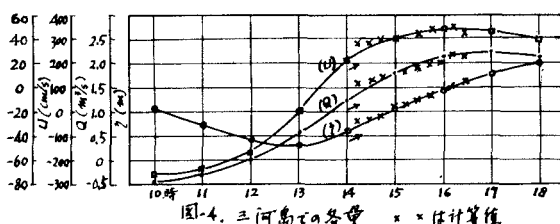


圖-4. 三河島での流量 * は計算値

求めた流速, ** は本文の方法で計算した値である。水位の一致度は高いが流速の相違は $5cm/s$ 程度である。他の方法との比較, n の変化による影響, 全項を入れる場合などは別の機会に譲る。

4) 結語: この方法は断面変化の大きい所でも他の條件で許される最大区間を使用することから, 計算速度では他の手続の計算法より早い。この小文の提出は海峯研先輩細井忠義, 高永技友の助によるもので, 数値計算の大部分は日大学生松井細毛両君に頼りて。

文献: 1) Dronkers and Schonfeld: <Tidal computations in shallow water>, proc. A.S.C.E. No. 714, 84-1, 1955

2) Stokes, J.J.: <water waves>, New York, 1957, 8.11-5.

3) Schuur, E.: <Anwendung des "Differenzenverfahrens" bei der Tidewellenberechnung in den von den Gezeiten beeinflussten Flüssen>, Der Bauingenieur, 34. Jg (1959) H. 6

以上 (1960-3-25)