II—16 開水路不定流数値計算の一方式(固定距離不等時隔特性曲線法)について

建設省土木研究所 正員 王 方一
(WANG, Fang-yi)

概要(1).一般形状の水路に対する特性曲線上の解を導き,従来の形との関係(2).固定距離不等時隔方式計算法の説明(3).矩形実例水路について数値計算をし観測値との比較

§1. 基本方程式と二,三の異形表示

連續式: $\frac{\partial A}{\partial t}+\frac{\partial Q}{\partial x}=q$ ------(A-1)

運動式: $\frac{1}{g}\frac{\partial U}{\partial t}+\frac{U}{g}\frac{\partial U}{\partial x}+\frac{1}{gA}\left[U\left(\frac{\partial Q}{\partial x}+\frac{\partial A}{\partial t}\right)-q\,v\cos\theta\right]$

$=i_0-\frac{\partial h}{\partial x}-i_f$ or $=-I-i_f$ [5][7] -------(B-1)

こゝに U:平均流速 q:單位幅当りの横流入量, v:横流入流速, θ:流入角度; $i_0=-dD/dx$:河床勾配, D:基準面よりの河床高; i_f:摩擦勾配$=|U|U/C^2R=n^2R^{-4/3}|U|U$; $I=\frac{\partial \eta}{\partial x}$, η:水位, h:水深

(A-1)式に $\frac{\partial Q}{\partial x}=\frac{\partial}{\partial x}(AU)$ を入れると

$A\frac{\partial U}{\partial x}+U\frac{\partial A}{\partial x}+\frac{\partial A}{\partial t}=q$ -------(A-2)

(B-1)式に(A-1)式を代入すると

$\frac{1}{g}\frac{\partial U}{\partial t}+\frac{U}{g}\frac{\partial U}{\partial x}=i_0-\frac{\partial h}{\partial x}-i_f+\frac{q}{gA}(v\cos\theta-U)$ -----

-----(AB-1)

$\partial U=\partial(Q/A)$ で表わすと

$\frac{1}{gA}\left[\frac{\partial Q}{\partial t}-\frac{Q}{A}\frac{\partial A}{\partial t}+\frac{Q}{A}\frac{\partial Q}{\partial x}-\frac{Q^2}{A^2}\frac{\partial A}{\partial x}\right]=i_0-\frac{\partial h}{\partial x}-i_f+\frac{q}{gA}(v\cos\theta-U)$ ---

------(AB-2)

or $\frac{1}{gA}\left[\frac{\partial Q}{\partial t}-\frac{2Q}{A}\frac{\partial A}{\partial t}-\frac{Q^2}{A^2}\frac{\partial A}{\partial x}\right]=i_0-\frac{\partial h}{\partial x}-i_f+\frac{q}{gA}(v\cos\theta-2U)$ ----(AB-3)

$\frac{1}{gA}\left[\frac{\partial Q}{\partial t}+\frac{2Q}{A}\frac{\partial Q}{\partial x}-\frac{Q^2}{A^2}\frac{\partial A}{\partial x}\right]=i_0-\frac{\partial h}{\partial x}-i_f+\frac{q}{gA}v\cos\theta$ ----(AB-3)′

断面のx方向の変化に関して

$\frac{\partial A}{\partial x}=B\frac{\partial h}{\partial x}+B.i_b$ -------(C)

or $\frac{\partial h}{\partial x}=\frac{1}{B}\frac{\partial A}{\partial x}-i_b$ -------(C)′

が成立する。こゝに $i_b=\frac{1}{B}\left(\frac{\partial A}{\partial \phi}\right)_{h=const}\frac{\partial \phi}{\partial x}$ [9]

今,具体的な断面形について i_b を求めると

$A=ah^s$ の断面形では:

$$\left.\begin{aligned} i_b=i_{b1}&=\frac{1}{B}\left[h^s\frac{\partial a}{\partial x}+ah^s\cdot\log_e h\frac{\partial s}{\partial x}\right]\\ &=\frac{h}{as}\frac{\partial a}{\partial x}+\frac{h}{s}\log_e h\frac{\partial s}{\partial x}\\ &=\frac{\omega^2}{ga}\frac{\partial a}{\partial x}+\frac{\omega^2}{g}\left[2\log_e\omega+\log_e\frac{s}{g}\right]\frac{\partial s}{\partial x}\\ &\text{こゝに, } B:\text{水面幅}=a.s.h^{s-1};\ \omega=\sqrt{gA/B}=\sqrt{gh/s}. \end{aligned}\right\}\text{···(C-a)}$$

矩形断面では $s=1$, $a=b=B$; $i_{b1}=\frac{h}{B}\frac{\partial B}{\partial x}=\frac{\omega^2}{gB}\frac{\partial B}{\partial x}$

$A=b_0h+mh^2$(台形)の断面では:

$$\left.\begin{aligned} i_b=i_{b2}&=\frac{1}{B}\left[h\frac{\partial b_0}{\partial x}+h^2\frac{\partial m}{\partial x}\right]\\ &=\frac{h}{B}\frac{\partial b_0}{\partial x}+\frac{h^2}{B}\frac{\partial m}{\partial x}\\ &\text{こゝに, } B=b_0+2mh;\ b_0:\text{底幅};\ m:\text{側壁勾配} \end{aligned}\right\}\text{···(C-b)}$$

(C)′式を(AB-1)式に入れると

$\frac{1}{g}\frac{\partial U}{\partial t}+\frac{U}{g}\frac{\partial U}{\partial x}+\frac{1}{B}\frac{\partial A}{\partial x}=J+\frac{q}{gA}(v\cos\theta-U)$ ------(AB-4)

こゝに $J=i_0+i_b-i_f$。書きかえると

$\frac{1}{gA}\left[\frac{\partial Q}{\partial t}-\frac{Q}{A}\frac{\partial A}{\partial t}+\frac{Q}{A}\frac{\partial Q}{\partial x}+\left(\frac{gA}{B}-\frac{Q^2}{A^2}\right)\frac{\partial A}{\partial x}\right]=J+\frac{q}{gA}(v\cos\theta-U)$ ---

------(AB-5)

(AB-4)式の $\frac{U}{g}\frac{\partial U}{\partial x}$ を省略すると

$\frac{1}{g}\frac{\partial U}{\partial t}+\frac{1}{B}\frac{\partial A}{\partial x}=J+\frac{q}{gA}(v\cos\theta-U)$ -----(AB-4)′

or $\frac{1}{gA}\left[\frac{\partial Q}{\partial t}-\frac{Q}{A}\frac{\partial A}{\partial t}+\frac{gA}{B}\frac{\partial A}{\partial x}\right]=J+\frac{q}{gA}(v\cos\theta-U)$ -----(AB-5)′

(AB-5)′の左辺中二項をも無視するときは

$\frac{1}{gA}\frac{\partial Q}{\partial t}+\frac{1}{B}\frac{\partial A}{\partial x}=J+\frac{q}{gA}(v\cos\theta-U)$ -----(AB-5)″

§2. 特性曲線上の解

(A-2),(AB-4)式および $\frac{\partial U}{\partial x}dx+\frac{\partial U}{\partial t}dt=dU$ -----(D)

と $\frac{\partial A}{\partial x}dx+\frac{\partial A}{\partial t}dt=dA$ ----(E) より $\frac{\partial A}{\partial x}$ を求め, $\frac{0}{0}$ とおくと

$$\left\{\begin{aligned} &dx/dt=\Xi\text{ 上にて},\ dU+\frac{\omega}{A}dA=\hat{M}\\ &\hat{M}=g\cdot\frac{dx}{\Xi}\left[J+\frac{q}{B\omega^2}(v\cos\theta-U+\omega)\right] \end{aligned}\right\}\text{------(1-a)}$$

$$\left\{\begin{aligned} &dx/dt=\Psi\text{ 上にて},\ dU-\frac{\omega}{A}dA=\hat{N}\\ &\hat{N}=g\cdot\frac{dx}{\Psi}\left[J+\frac{q}{B\omega^2}(v\cos\theta-U-\omega)\right] \end{aligned}\right\}\text{-------(1-b)}$$

こゝに, B:水面幅, $\omega=\sqrt{gA/B}$; $\Xi=U+\omega$, $\Psi=U-\omega$

(C)式を(1-a),(1-b)式に入れると

$$\left\{\begin{aligned} &dx/dt=\Xi\text{ 上にて},\ dU+\frac{g}{\omega}dh=M;\\ &M=g\frac{dx}{\Xi}\left[i_0-i_f-\delta\cdot i_b+\frac{q}{B\omega^2}(v\cos\theta-U+\omega)\right] \end{aligned}\right\}\text{-----(2-a)}$$

$$\left\{\begin{aligned} &dx/dt=\Psi\text{ 上にて},\ dU-\frac{g}{\omega}dh=N;\\ &N=g\frac{dx}{\Psi}\left[i_0-i_f+\delta\cdot i_b+\frac{q}{B\omega^2}(v\cos\theta-U-\omega)\right] \end{aligned}\right\}\text{----(2-b)}$$

を得る。こゝに $\delta=U/\omega$: Froude数.

$A=ah^s$の断面では: (C-a)式を(2-a),(2-b)に入れると

$dx/dt=\Xi$ 上にて, $dU+2s\,d\omega=M$ -------(3-a)

$dx/dt=\Psi$ 上にて, $dU-2s\,d\omega=N$ --------(3-b)

ただし $\omega=\sqrt{gh/s}$, $B=ash^{s-1}$, $i_b=i_{b1}$

矩形断面では (3-a),(3-b)式において $\omega=\sqrt{gh}$ $s=1$, $i_b=\frac{h}{B}\frac{\partial B}{\partial x}=\frac{\omega^2}{gB}\frac{\partial B}{\partial x}$ を用いる.

$A=b_0h+mh^2$ の断面では: (2-a),(2-b)式を $i_b=i_{b2}$, $B=b_0+2mh$, $\omega=\sqrt{gh(1-\frac{mh}{B})}$ として用いる.

任意の $A=A(h)$, $B=B(h)$ が既知である断面であれば $\omega=\sqrt{gA/B}$ と i_b は計算出来,その断面に対する式が得られる.

次に (1-a),(1-b)式に $dU=\frac{dQ}{A}-\frac{Q}{A}\frac{dA}{A}$ を代入すれば

$$\left\{\begin{array}{l} dx/dt=\Phi \text{ 上にて}, \quad dA-\frac{dQ}{\Psi}=B.\hat{E}; \\ \hat{E}=\frac{dx}{1-\delta^2}\left[J+\frac{q}{B\omega^2}(v\cos\theta-U+\omega)\right] \end{array}\right\} \text{-----}(4\text{-}a)$$

$$\left\{\begin{array}{l} dx/dt=\Psi \text{ 上にて}, \quad dA-\frac{dQ}{\Phi}=B.\hat{F}; \\ \hat{F}=\frac{dx}{1-\delta^2}\left[J+\frac{q}{B\omega^2}(v\cos\theta-U-\omega)\right] \end{array}\right\} \text{-----}(4\text{-}b)$$

を得る。この二式は (A-1), (AB-5), (E)式および

$$\frac{\partial Q}{\partial x}dx+\frac{\partial Q}{\partial t}dt=dQ \qquad \text{-------}(F)$$

より $\partial A/\partial x$ を求め, $\frac{0}{0}$ とおいても得られる.

(C)式を (4-a),(4-b) に代入すると

$$\left\{\begin{array}{l} dx/dt=\Phi \text{ 上にて}, \quad dh-\frac{dQ}{B\Psi}=E; \\ E=\frac{dx}{1-\delta^2}\left[i_0-i_f+\delta^2 i_b+\frac{q}{B\omega^2}(v\cos\theta-U+\omega)\right] \end{array}\right\} \text{----}(5\text{-}a)$$

$$\left\{\begin{array}{l} dx/dt=\Psi \text{ 上にて}, \quad dh-\frac{dQ}{B\Phi}=F; \\ F=\frac{dx}{1-\delta^2}\left[i_0-i_f+\delta^2 i_b+\frac{q}{B\omega^2}(v\cos\theta-U-\omega)\right] \end{array}\right\} \text{----}(5\text{-}b)$$

を得る. $dh=d\eta+i_0dx$ であるから (5-a),(5-b)は

$$\left\{\begin{array}{l} dx/dt=\Phi \text{ 上にて}, \quad d\eta-\frac{dQ}{B\Psi}=S; \\ S=\frac{dx}{1-\delta^2}\left[\delta^2(i_0+i_b)-i_f+\frac{q}{B\omega^2}(v\cos\theta-U+\omega)\right] \end{array}\right\} \text{----}(6\text{-}a)$$

$$\left\{\begin{array}{l} dx/dt=\Psi \text{ 上にて}, \quad d\eta-\frac{dQ}{B\Phi}=W \\ W=\frac{dx}{1-\delta^2}\left[\delta^2(i_0+i_b)-i_f+\frac{q}{B\omega^2}(v\cos\theta-U-\omega)\right] \end{array}\right\} \text{----}(6\text{-}b)$$

となる. 次に (A-1), (AB-5)'', (E) と (F)式より

$$\left\{\begin{array}{l} dx/dt=+\omega \text{ 上にて}, \\ dA+\frac{dQ}{\omega}=Bdx\left[J-\frac{q}{B\omega^2}(v\cos\theta-U+\omega)\right] \end{array}\right\} \text{----}(7\text{-}a)$$

$$\left\{\begin{array}{l} dx/dt=-\omega \text{ 上にて} \\ dA-\frac{dQ}{\omega}=Bdx\left[J-\frac{q}{B\omega^2}(v\cos\theta-U-\omega)\right] \end{array}\right\} \text{---}(7\text{-}b)$$

を得, (C)式を入れれば

$$\left\{\begin{array}{l} dx/dt=+\omega \text{ 上にて}, \\ dh+\frac{dQ}{B\omega}=dx\left[i_0-i_f-\frac{q}{B\omega^2}(v\cos\theta-U+\omega)\right] \end{array}\right\} \text{----}(8\text{-}a)$$

$$\left\{\begin{array}{l} dx/dt=-\omega \text{ 上にて} \\ dh-\frac{dQ}{B\omega}=dx\left[i_0-i_f-\frac{q}{B\omega^2}(v\cos\theta-U-\omega)\right] \end{array}\right\} \text{---}(8\text{-}b)$$

水位で表わすと

$$dx/dt=+\omega \text{ 上}; \quad d\eta+\frac{dQ}{B\omega}=dx\left[-i_f-\frac{q}{B\omega^2}(v\cos\theta-U+\omega)\right] \text{----}(9\text{-}a)$$

$$dx/dt=-\omega \text{ 上}; \quad d\eta-\frac{dQ}{B\omega}=dx\left[-i_f-\frac{q}{B\omega^2}(v\cos\theta-U-\omega)\right] \text{----}(9\text{-}b)$$

(5)〜(9)式は一般形状に適する式で $B(h)$, $A(h)$ が既知であれば $\omega=\sqrt{gA/B}$, $R \fallingdotseq A/B$, i_b は算出出来る.

$A=ah^s$ のとき: B, i_b , ω は (C-a)式のものを用い

$A=b_0h+mh^2$ のとき: B, i_b は (C-b)より ω は $\sqrt{gh(1-\frac{mh}{B})}$ より算出する。項を適当に省略した その他の場合の解はこゝでは省略。

従来の解との関係:

①. (1-a),(1-b)式において $q=0$, $i_b=0$ とすれば Arhangelskii (1947) と Lin (1956) の式と一致する. ②. (4-a),(4-b)式は Guyot-Nougaro-Thirriot (1960) の式に比して $\frac{q\,dx}{\omega^2(1-\delta^2)}(v\cos\theta-U)$ だけ多くなっている. ③. (3-a),(3-b)式において $s=1$, $a=b=B$, $q=0$ とすれば 岸 (1953) の式と; $q=0$, $i_b=0$ とすれば Ye (1956) の式と; $q=0$, $\frac{\partial s}{\partial x}=0$ とすれば 上田 (1960) の式と; また $\theta=90^\circ$, $\frac{\partial s}{\partial x}=0$ とすれば 末石 (1961) の式と一致する. ④. (9-a),(9-b)式において $q=0$ とすれば Holsters (1947) の式と一致する. ⑤. Ye[6] (1956) は (A-1) と (AB-4)' より解を出したと説明しているが, 基本式 (AB-4)' は左辺に項 $\frac{U}{g}\frac{\partial U}{\partial x}$ が書き忘れ, また特性式の項にも misprint があるのじゃないかと思われ(解の形より考えて), 結論は見送る.

§3. 計算方式の説明

(3-a),(3-b) 式を適用する場合を例に取り, 海側 x_0 での $\omega_{x_0}(t)$; 陸側境界点 x_n での $U_{x_n}(t)$ が既知, また等区間に区分した矩形水路とする。

(i). 中間区分点の場合: 図-1において 点 ⑩, ⑫ ⑬ を a, b, e と考え, t_a, ω_a, U_a, t_b, ω_b, U_b が既知で $t_0=\frac{1}{2}(t_a+t_b)$, $\omega_0=\frac{1}{2}(\omega_a+\omega_b)$, $U_0=\frac{1}{2}(U_a+U_b)$ は求めたとする。(a-d) 線上に (2-a) 式を, (b-e) 線上に (2-b) 式を差分化すると

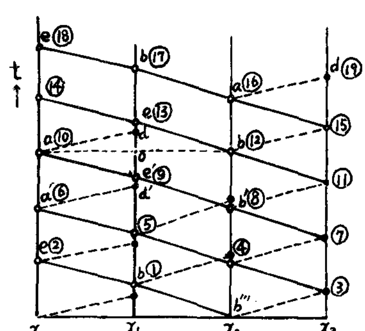

図-1

$$U_d+2\omega_d-(U_a+2\omega_a)=M_{ad} \qquad \text{--------}(10\text{-}a)$$

$$U_e-2\omega_e-(U_b-2\omega_b)=N_{be} \qquad \text{--------}(10\text{-}b)$$

を得る。M_{ad} は $\omega_{ad}=\frac{1}{2}(\omega_a+\omega_d)$, $U_{ad}=\frac{1}{2}(U_a+U_d)$ で算出したMの値を意味する。(i_f は $=g^{4/3}n|U|U/\omega^{8/3}$ で計算, $\omega=\sqrt{gh}$). 次に

$$(\omega_d-\omega_0)/(\omega_e-\omega_0)=\zeta \text{ or } \omega_d=\zeta\omega_e+(1-\zeta)\omega_0 \quad \text{----}(11\text{-}a)$$

$$(U_d-U_0)/(U_e-U_0)=\zeta \text{ or } U_d=\zeta U_e+(1-\zeta)U_0 \quad \text{-----}(11\text{-}b)$$

とおく。こゝに $\zeta=\Delta t_{od}/\Delta t_{oe}$; $\Delta t_{od}=t_d-t_o=t_a+\Delta t_{ad}-t_o$; $\Delta t_{oe}=t_e-t_o=t_b+\Delta t_{be}-t_o$

$\Delta t_{ad}=\Delta x_{ad}/\Phi_{ad}$; $\Delta t_{be}=\Delta x_{be}/\Psi_{be}$.

等区間であれば $\Delta t_{od}=\Delta t_{ad}-\frac{1}{2}\Delta t_{ab}$; $\Delta t_{oe}=\Delta t_{be}+\frac{1}{2}\Delta t_{ab}$; $\Delta t_{ab}=t_b-t_a$.

(11-a), (11-b) を (10-a) に入れ, (10-b) 式とより ω_e を求めれば

$$\omega_e=\frac{1}{4}\left\{\zeta^{-1}(\Gamma_a+M_{ad})-\Lambda_b-N_b+(1-\zeta^{-1})\Gamma_0\right\} \quad \text{-----}(12\text{-}a)$$

(10-b) 式より $U_e=\Lambda_b+2\omega_e+N_{be}$ -----(12-b)

こゝに $\Gamma=U+2\omega$; $\Lambda=U-2\omega$.

第1回の算出値は

$$\omega_{e[1]}=\frac{1}{4}\left\{\zeta_{[0]}^{-1}(\Gamma_a+M_{ad[0]})-(1-\zeta_{[0]}^{-1})\Gamma_0 -\Lambda_b-N_{be[0]}\right\}$$

$$U_{e[1]}=\Lambda_b+2\omega_{e[1]}+N_{be[0]}$$

$$\omega_{d[1]}=\zeta_{[0]}\omega_{e[1]}+(1-\zeta_{[0]})\omega_0$$

$$U_{d[0]}=\zeta_{[0]}U_{e[1]}+(1-\zeta_{[0]})U_0$$

で求め, [0] は右辺に入れる最初の代入値を意味する。 第n回の計算値は上の四つの式を [1]→[n], [0]→[n-1] で書きかえた式を用る。 $|\omega_{e[n]}-\omega_{e[n-1]}|$ と $|U_{e[n]}-U_{e[n-1]}|$ が希望する範囲内におさまるまで逐次計算すればよい。 第n回の ω_e と U_e が決定値であれば t は $t_{e[n-1]}=t_b+\Delta t_{be[n-1]}$; $t_{d[n-1]}=t_a+\Delta t_{ad[n-1]}$ を使って差支えない。 実際上, 最初値を次のように選べば $\omega_{e[1]}$, $U_{e[1]}$, $\omega_{d[1]}$, $U_{d[1]}$, $t_{e[0]}$ 即ち試算なしに実用上の精度を得ることが出来る。 即ち $\omega_{d[0]}=\omega_a+\Delta\omega_{a'd'}$; $U_{d[0]}=U_a+\Delta U_{a'd'}$,

$\omega_{e[0]}=\omega_b+\Delta\omega_{b'e'}$; $U_{e[0]}=U_b+\Delta U_{b'e'}$.

こゝに $\omega_{a'd'}$ は $\omega_{d'}-\omega_{a'}$ を意味する.

初期において a', d', b', e' が存在しないときには $\omega_{d[0]}=\omega_{e[0]}=\omega_0$; $U_{d[0]}=U_{e[0]}=U_0$ を用る.

(ii). 海側境界点

$$U_{e[1]}=\Lambda_b+2\omega_{e[1]}+N_{be[0]}$$

こゝに $\omega_{e[1]}=\omega_{x_0}(t=t_{e[0]})$; $t_{e[0]}=t_b+\dfrac{\Delta x_{be}}{\Psi_{be[0]}}$

$\Psi_{be[0]}=U_{be[0]}-\omega_{be[0]}$;

$\omega_{e[0]}=\omega_b+\Delta\omega_{b'e'}$ or $=2\omega_b-\omega_{b'''}$ or $=\omega_0$

$U_{e[0]}=U_b+\Delta U_{b'e'}$ or $=2U_b-U_{b'''}$ or $=U_0$ (初期)

(iii) 陸側境界点

$$U_{d[1]}=\Gamma_a-2\omega_{d[1]}+M_{ad[0]}$$

こゝに $\omega_{d[1]}=\omega_{x_n}(t=t_{d[0]})$; $t_{d[0]}=t_a+\dfrac{\Delta x_{ad}}{\Phi_{ad[0]}}$

$\Phi_{ad[0]}=U_{ad[0]}+\omega_{ad[0]}$

$\omega_{d[0]}=\omega_a+\Delta\omega_{a'd'}$ or $=\omega_0$ (初期)

$U_{d[0]}=U_a+\Delta U_{a'd'}$ or $=U_0$

座標の取り方で ω_d, U_d を先きに求めたい時には $\xi=\zeta^{-1}$ とおき, 前と同様に扱えば

$$\omega_d=\frac{1}{4}\left\{\Gamma_a+M_{ad}-\xi^{-1}(\Lambda_b+N_{be})-(1-\xi^{-1})\Lambda_0\right\} \quad \text{------}(13\text{-}a)$$

$$U_d=\Gamma_a-2\omega_d+M_{ad} \quad \text{------}(13\text{-}b)$$

を得る.

水深に比して河床の不規則性がはげしい場合には (6-a), (6-b) 式を用いる.

$$\eta_d=\zeta\eta_e+(1-\zeta)\eta_0 \quad \text{--------}(14\text{-}a)$$

$$Q_d=\zeta Q_e+(1-\zeta)Q_0 \quad \text{--------}(14\text{-}b)$$

を (6-a) に入れ, (6-b) とより

$$\eta_e=\Big\{B_{be}\Phi_{be}(\eta_b+W_{be})-Q_b -\zeta^{-1}\left[B_{ad}\Psi_{ad}(\eta_a+S_{ad})-Q_a\right] -(1-\zeta^{-1})(B_{ad}\Psi_{ad}\eta_0-Q_0)\Big\} \quad \text{-----}(15\text{-}a)$$

$$Q_e=Q_b+B_{be}\Phi_{be}(\eta_e-\eta_b-W_{be}) \quad \text{-----}(15\text{-}b)$$

また

$$\eta_e=\xi\eta_d+(1-\xi)\eta_0 \quad \text{------}(16\text{-}a)$$

$$Q_e=\xi Q_d+(1-\xi)Q_0 \quad \text{------}(16\text{-}b)$$

とおくと

$$\eta_d=\Big\{B_{ad}\Psi_{ad}(\eta_a+S_{ad})-Q_a -\xi^{-1}\left[B_{be}\Phi_{be}(\eta_b+W_{be})-Q_b\right] -(1-\xi^{-1})(B_{be}\Phi_{be}\eta_0-Q_0)\Big\} \quad \text{-----}(17\text{-}a)$$

$$Q_d=Q_a+B_{ad}\Psi_{ad}(\eta_d-\eta_a-S_{ad}) \quad \text{-----}(17\text{-}b)$$

を得る

(15-a)式の右辺は h_{ad}, Φ_{ad}, Ψ_{ad}; h_{be}, Φ_{be}, Ψ_{be}を含んでをり矩形の場合には次のように算出する. $\Phi_{ad}=U_{ad}+w_{ad}$; $\Psi_{ad}=U_{ad}-w_{ad}$;

$$w_{ad}=\sqrt{gh_{ad}}\ ;\ U_{ad}=\frac{Q_a+Q_d}{2B_{ad}h_{ad}}\ ;$$

$$h_{ad}=\frac{1}{2}(\eta_a+\eta_d)-D_{ad}.$$

D_{ad}は$D_{\#ad}$, B_{ad}は$B_{\#ad}$ (#は区間等積平均値)を定数として予め作成しておけば不規則性の影響はかなり除去出来る。最初値の選び方は前の場合と同じ。

関数形で表わせない横断面河道のような場合は, 式中の $U=Q/A$, $w=\sqrt{gA/B}$; および $i_f=n^2R^{-4/3}|U|U$ を算出するために予め区分点および区間平均値に対する A-η, B-η, R-η の諸曲線を作成しておく. 計算式の形は同じである。

§4. 数値計算による験証

$q=0$の矩形水路について, (6-a), (6-b)式を用いる。$S=1$, $a=B$とし, また $\delta^2 i_o$, $\delta^2 i_b \ll i_f$; $\delta^2\ll 1$を無視して

$$S=n^2\Delta x_{ad}\,h_{ad}^{-4/3}|U_{ad}|U_{ad}$$

$$W=n^2\Delta x_{be}\,h_{be}^{-4/3}|U_{be}|U_{be}$$

として 3×1800mの三区間について数値計算を行ったところ, 図2-a, 図2-bのような結果を得た。計算値の印……は試算なしに即ち第1回の算出値 $\eta_{e(1)}$ と $Q_{e(1)}$ とを $t_e=t_{e(0)}$ に対応してプロットしたものである. 水路幅は $B_0=87m$, $B_1=161m$, $B_2=193$, $B_3=103.50m$; 水深は $h_0(t)=4.46\sim4.908m$; $h_1(t)=2.66\sim3.072m$; $h_2(t)=2.64\sim3.005m$; $h_3(t)=3.18\sim3.569m$. 程度の範囲である. 計算は計算尺によった。

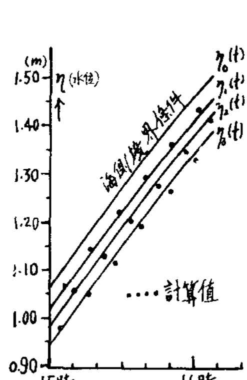

図.2a

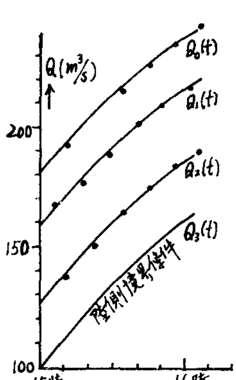

図.2b

§5. 結び

本文の計算方式は従来の不定Δx.不等Δt法および不定Δx等Δt法に比して一点を一回計算するのに幾分面倒のようであるが, 断面を構成する要素は一度処理すれば各時刻に使える利点をもっている。経験により本文のような最初値を選べば計算例のような性格をもつ水路と水理量に対して実用上の精度を試算なしに得ているが普遍的な条件の論証が期待される. 多量の計算に対処するための図解と高速計算機の使用に際しては便利であるように項の組みかえも必要があらう。

本文の出来上りは従来の人々の啓蒙および海岸研究室細井室長より与えられた便宜に負う所が大きい。

参考文献

[1]. Holsters, H: <Le Calcule…>, Revue génèle de L'hydraulique, Vol.13 (1947). [2] Архангельский, B.A: ≪расчеты …водотоках≫. изд. AH.CCCP. 1947 (科学出版社, 北京, 1954, 王承樹訳). [3] 林秉南 (Lin, B.N). a). Tran.A.G.U (1949), b) Tran.A.G.U (1952) c). <明渠不恒定流……>水利学報, 創刊号 (1956). [4]. 岸力: <特性……>土研報告, No.85 (1953). [5]. 岩垣雄一: <開水路……>学会誌 Vol.39, No.10. ('54-10). [6]. 葉秉如 (Ye, B.R): <расчет ….> изв. AH.CCCP.OTH, 1956-No.4 (王方一抄録: 学会誌 42-6, 1957-6) [7]. 岸力・王方一: <開水路……> 第13回 (1958) 年次講演概要 III-35. [8] 上田年比古: <特性…>九大工学集報 33-3, 1960-12. [9]. Guyot-Nougaro-Thirriot: < Étude …… > La Houille Blanche, 1960-No.B. [10] 末石富太郎: ≪上下水道……基礎的研究≫, 1961-7. P291. [11]. Stoker, J.J: ≪water waves≫ 1957, [12] 石原安雄: <水工学……> 高速度計算機の土木工学への応用, 学会関西支部, 1961-2。

以上, 1962-3-25