

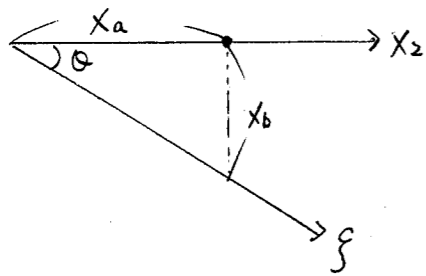
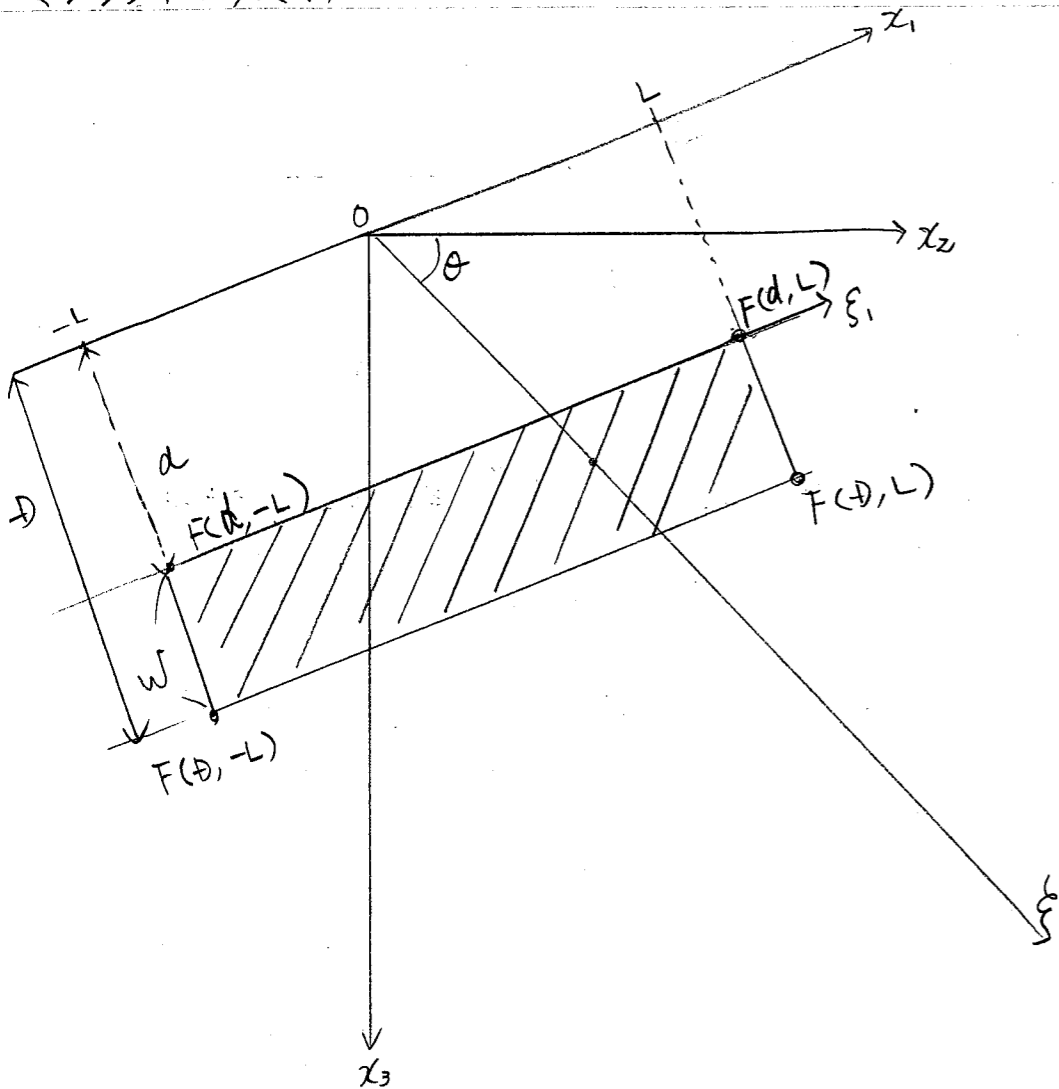
# **防災・環境分野の流体数 値解析、差分モデルによ る数値シミュレーション のアルゴリズム**

**(津波、高潮、洪水、遡  
上、海洋、河川、湖沼、  
ダム、下水道、富栄養  
化、パイプライン、地下  
水等)**

**(株) 社会情報システム  
井上幸雄**

1-1  
1992.11~

マシナハスZ(1)-



$$\cos\theta = \frac{x_a}{\xi} \quad x_a = \xi_2$$

$$\sin\theta = \frac{x_b}{\xi} \quad x_b = \xi_3$$

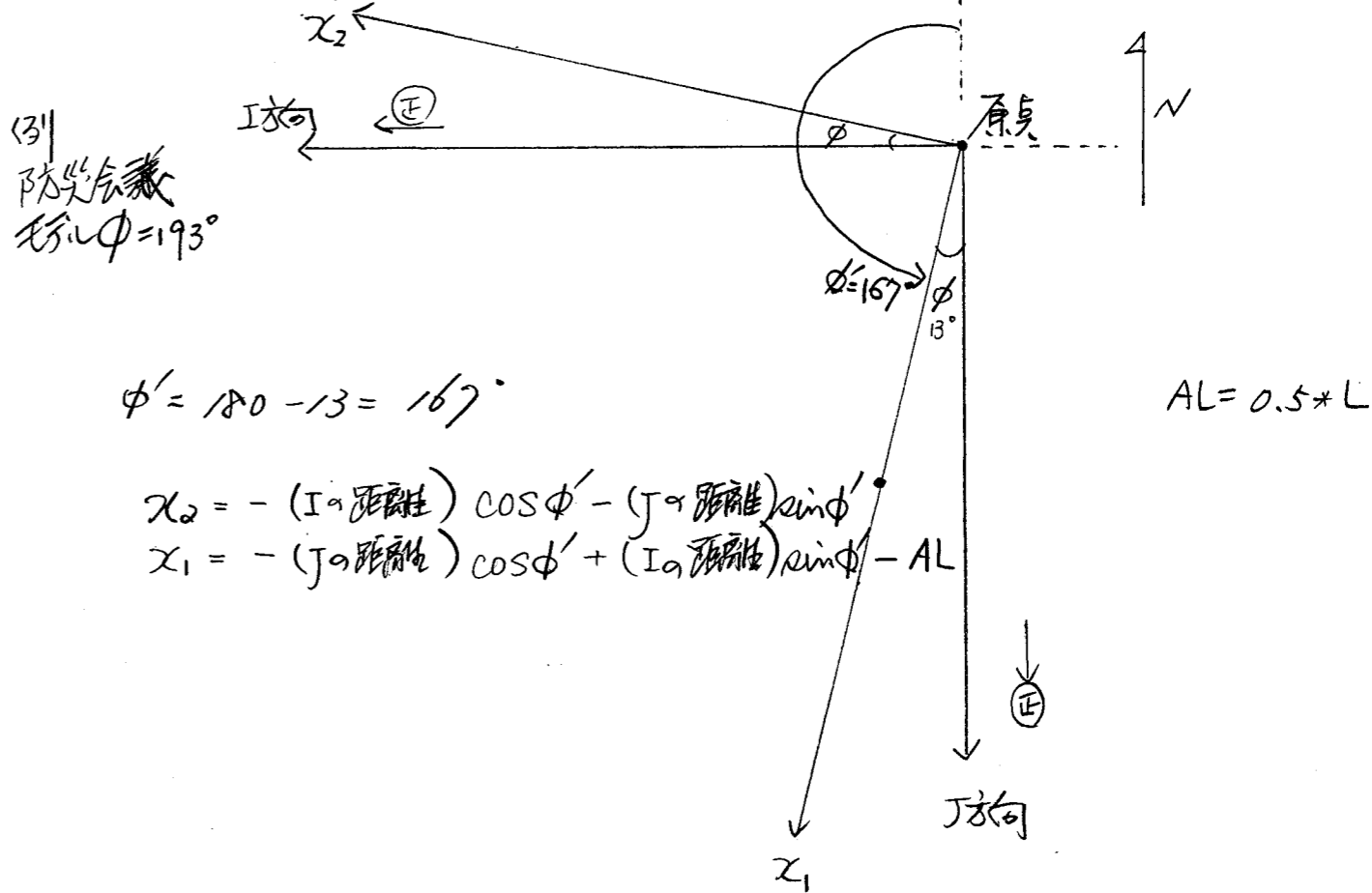
地震断層モデルの  
断層パラメータが与  
隆起量を計算する。

1992.11

東海地震の断層モデル

モデル	原長 N	E	L (km)	W (km)	H (km)	$\phi$	$\alpha$
防災会議	35.15°	138.7	120	50	5	193°	20°
石橋	35.12°	138.711	115	70	2	198°	34°

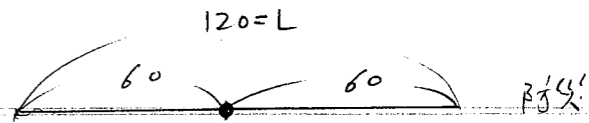
未知数 地震津波を計算する時の  $x_1, x_2$  図は N 方向と平行・垂直  
で構成 元の  $\phi$  の傾きを  $x_1, x_2$  図に合わせるために  
座標軸を回転する必要が あり (の求む)

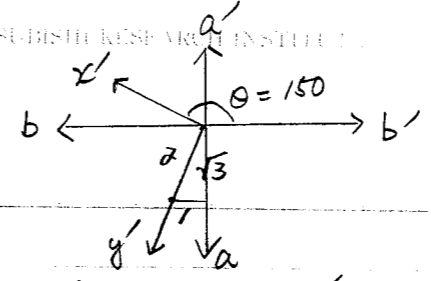


$$\phi' = 180 - 13 = 167^\circ$$

$$x_2 = -(I \text{ の距離}) \cos\phi' - (J \text{ の距離}) \sin\phi'$$

$$x_1 = -(J \text{ の距離}) \cos\phi' + (I \text{ の距離}) \sin\phi' - AL$$





$$\cos 180^\circ = -1$$

$$\sin 180^\circ = 0$$

$$b = b' \cos 180^\circ + a' \sin 180^\circ = -b' \quad \therefore b' = -b$$

$$a = a' \cos 180^\circ - b' \sin 180^\circ = -a' \quad \therefore a' = -a$$

$$x' = b' \cos \theta + a' \sin \theta = -b \cos \theta - a \sin \theta$$

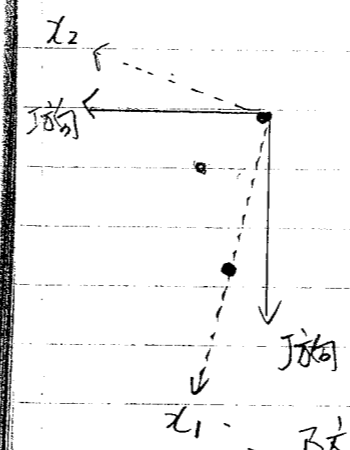
$$y' = a' \cos \theta - b' \sin \theta = -a \cos \theta + b \sin \theta$$

$$\theta = 150^\circ \text{ と } \theta \text{ は } \begin{matrix} (b', a') = (-1, -\sqrt{3}) \\ (b, a) = (1, \sqrt{3}) \end{matrix}$$

$$\sin 150^\circ = 0.5$$

$$\cos 150^\circ = -0.8659$$

$$x' = -b \cdot \cos 150^\circ - a \sin 150^\circ = (-1) \cdot (-0.8659) - (\sqrt{3})(0.5) = 0$$



$$y' = -a \cos 150^\circ + b \sin 150^\circ = -(\sqrt{3})(-0.8659) + (1)(0.5) = 2$$

防炎板  $\theta' = 13 \rightarrow 180 - 13 = 167^\circ = \theta''$

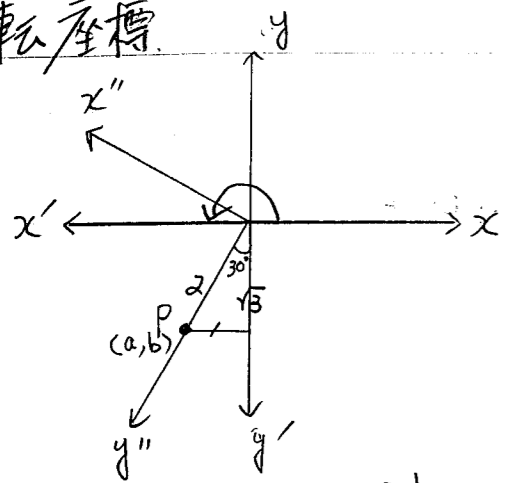
石積  $\theta' = 18 \rightarrow 180 - 18 = 162^\circ = \theta''$

$$x_2 = -(I) \cos \theta'' - (J) \sin \theta''$$

$$x_1 = -(J) \cos \theta'' + (I) \sin \theta'' \quad - AL$$

$x_2$ : z, j a deck  $z'' = z$   $x_1$ :  $z'' = z$

② 転座標



$$x' = x \cdot \cos 180^\circ + y \cdot \sin 180^\circ = -x \quad \text{--- (1)}$$

$$y' = y \cdot \cos 180^\circ - x \cdot \sin 180^\circ = -y \quad \text{--- (2)}$$

$$\theta = 150^\circ$$

$$x'' = x \cdot \cos \theta + y \cdot \sin \theta = -x' \cos \theta - y' \sin \theta \quad \text{--- (3)}$$

$$y'' = y \cdot \cos \theta - x \cdot \sin \theta = -y' \cos \theta + x' \sin \theta \quad \text{--- (4)}$$

$\theta = 150^\circ$  とすると

$$\sin 150^\circ = 0.5$$

$$\cos 150^\circ = -0.8659$$

P(a, b)	
x, y 座標	(-1, -√3)
x', y' "	(1, √3)

$x''$   $y''$  座標 について (3), (4) に (1), (2) を代入して

$$a = -x' \cos 150^\circ - y' \sin 150^\circ = (-1) \cdot (-0.8659) - (\sqrt{3}) \cdot (0.5) = 0$$

$$b = -y' \cos 150^\circ + x' \sin 150^\circ = (-\sqrt{3}) \cdot (-0.8659) + (1) \cdot (0.5) = 2$$

$$\therefore P(a, b) = (0, 2)$$

愛知県 津波作業

1993. 1. 27

海図から水深をひく。  
 波源 (この場合石橋モデルの波源)

ソースプログラム作成  
 計算領域型水深作成プログラム

津波本体 プログラム

マニシニ波源作成プログラム  
 (防災会議モデルの波源)

石橋モデル 最大 2.0m  
 計算 (図からみとった時の最大) 1.5m  
 補正値として  $1.5 / 2.0 = 0.75$

防災モデル 1.7m \* 0.75 → 1.3m

EFACOR として  
 中でかかれている

経過上で 石橋モデルよりも防災会議モデルを使用すると  
 一層おもしろい。

河川処理: 樽川, 境川, 矢作川  
 河川の水深, 川中情報資料を入手

河川津波ソース (入力 津波本体で得た河川の  
 経緯を入力して)

津波

(2) 数値モデル

津波被害状況を数値的に予測する想定手法としては、津波の運動方程式に有限差分法を適用した数値モデルシミュレーション手法を適用する。

津波の特性として、水深に比べて波長が非常に長い長波であり、海底から海面までがほぼ一様に水平運動すると考えられ、通常鉛直方向の流動は無視することができるため、次の非線型平面2次元モデル方程式によって取り扱うことができる。

・運動方程式

$$\frac{\partial M}{\partial t} + U \frac{\partial M}{\partial x} + V \frac{\partial M}{\partial y} = -g(h + \eta) \frac{\partial \eta}{\partial x} + K_h \left( \frac{\partial^2 M}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 M}{\partial y^2} \right) - \frac{gf^2}{(h + \eta)^{4/3}} M \sqrt{U^2 + V^2}$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} + U \frac{\partial N}{\partial x} + V \frac{\partial N}{\partial y} = -g(h + \eta) \frac{\partial \eta}{\partial y} + K_h \left( \frac{\partial^2 N}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 N}{\partial y^2} \right) - \frac{gf^2}{(h + \eta)^{4/3}} N \sqrt{U^2 + V^2}$$

・連続式

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0$$

ただし、

- |                   |                   |
|-------------------|-------------------|
| $t$ ; 時間          | $x, y$ ; 平面座標     |
| $M$ ; $x$ 方向の線流量  | $N$ ; $y$ 方向の線流量  |
| $U$ ; $x$ 方向の平均流速 | $V$ ; $y$ 方向の平均流速 |
| $\eta$ ; 水位       | $h$ ; 水深          |
| $g$ ; 重力加速度       | $K_h$ ; 水平渦動粘性係数  |
| $f$ ; 海底摩擦係数      |                   |

である。

河

1.3 河川津波の数値モデル

海洋津波の数値シミュレーション結果を基に、県沿岸域に自然河口を有し防災上重要な河川に対し、津波到達/遡上による水位上昇/下降を数値的に予測する。このため河川主流方向の運動の卓越性を考慮し、次の1次元数値モデルを適用する。

運動方程式

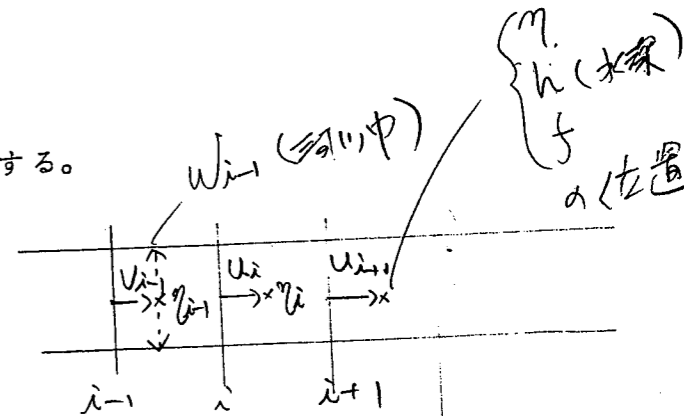
$$\frac{\partial U}{\partial t} + U \frac{\partial U}{\partial x} = -g \frac{\partial \eta}{\partial x} - R \cdot \frac{|U|}{(\eta + h)} \cdot U$$

$$R = g \cdot f^2 / (h + \eta)^{1/3}$$

保存方程式

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} (A \cdot U) = 0$$

但し、 $A$  ; 河川の断面積とする。



東京湾河川 - 1次元

運動方程式  $\frac{\partial U}{\partial t} + U \frac{\partial U}{\partial x} = -g \frac{\partial \eta}{\partial x} - f \cdot \frac{\sqrt{U^2}}{(\eta + h)} \cdot U$  (1)

$f = g \cdot n^2 (h + \eta)^{-1/3}$  ( $n=0.1$  使用)

保存方程式

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} (A \cdot U) = 0$$

$A = (h + \eta) \times w$  河川の断面積 (2)

後知河川では  $n=0.1$  使用。

式(1-2)に対して

$$\begin{aligned}
 N_{i+\frac{1}{2}j}^{n+1} = & N_{i+\frac{1}{2}j}^n - \frac{1}{2} \left( \frac{\Delta t}{\Delta s} \right) U_{i+\frac{1}{2}j} \{ N_{i+\frac{3}{2}j}^n - N_{i-\frac{1}{2}j}^n \} \\
 & - \frac{1}{2} \left( \frac{\Delta t}{\Delta s} \right) V_{i+\frac{1}{2}j} \{ N_{i+\frac{1}{2}j+1}^n - N_{i+\frac{1}{2}j-1}^n \} \\
 & + \frac{1}{2} \left( \frac{\Delta t}{\Delta s} \right)^2 U_{i+\frac{1}{2}j}^2 \{ N_{i+\frac{3}{2}j}^n + N_{i-\frac{1}{2}j}^n - 2N_{i+\frac{1}{2}j}^n \} \\
 & + \frac{1}{2} \left( \frac{\Delta t}{\Delta s} \right)^2 V_{i+\frac{1}{2}j}^2 \{ N_{i+\frac{1}{2}j+1}^n + N_{i+\frac{1}{2}j-1}^n - 2N_{i+\frac{1}{2}j}^n \} \\
 & + \frac{1}{4} \left( \frac{\Delta t}{\Delta s} \right)^2 U_{i+\frac{1}{2}j} V_{i+\frac{1}{2}j} \{ N_{i+\frac{3}{2}j+1}^n + N_{i-\frac{1}{2}j-1}^n - N_{i+\frac{3}{2}j-1}^n \\
 & \qquad \qquad \qquad - N_{i-\frac{1}{2}j+1}^n \} \\
 & - \frac{g}{2} \left( \frac{\Delta t}{\Delta s} \right) \{ \eta_{i+\frac{1}{2}j+\frac{1}{2}}^{n+1} + \eta_{i+\frac{1}{2}j-\frac{1}{2}}^{n+1} + h_{i+\frac{1}{2}j+\frac{1}{2}} + h_{i+\frac{1}{2}j-\frac{1}{2}} \} \\
 & \qquad \qquad \qquad \times \{ \eta_{i+\frac{1}{2}j+\frac{1}{2}}^{n+1} - \eta_{i+\frac{1}{2}j-\frac{1}{2}}^{n+1} \} \\
 & + K \left( \frac{\Delta t}{\Delta s^2} \right) \{ N_{i+\frac{3}{2}j}^n + N_{i-\frac{1}{2}j}^n - 2N_{i+\frac{1}{2}j}^n \} \\
 & + K \left( \frac{\Delta t}{\Delta s^2} \right) \{ N_{i+\frac{1}{2}j+1}^n + N_{i+\frac{1}{2}j-1}^n - 2N_{i+\frac{1}{2}j}^n \} \\
 & - \Delta t \cdot K_b \frac{N_{i+\frac{1}{2}j}^n \sqrt{U_{i+\frac{1}{2}j}^2 + V_{i+\frac{1}{2}j}^2}}{g n^2} / \left\{ \frac{1}{2} \left( \eta_{i+\frac{1}{2}j+\frac{1}{2}}^{n+1} + \eta_{i+\frac{1}{2}j-\frac{1}{2}}^{n+1} \right. \right. \\
 & \qquad \qquad \qquad \left. \left. + h_{i+\frac{1}{2}j+\frac{1}{2}} + h_{i+\frac{1}{2}j-\frac{1}{2}} \right) \right\}^{\frac{4}{3}} \quad (1-5)
 \end{aligned}$$

ただし

$$U_{i+\frac{1}{2}j} = \frac{1}{4} \{ U_{ij+\frac{1}{2}} + U_{i+1j+\frac{1}{2}} + U_{ij-\frac{1}{2}} + U_{i+1j-\frac{1}{2}} \}$$

式(1-3)に対して

$$\begin{aligned}
 \eta_{i+\frac{1}{2}j+\frac{1}{2}}^{n+1} = & \eta_{i+\frac{1}{2}j+\frac{1}{2}}^n - 2 \left( \frac{\Delta t}{\Delta s} \right) \{ M_{i+1j+\frac{1}{2}}^n - M_{ij+\frac{1}{2}}^n \} \\
 & - 2 \left( \frac{\Delta t}{\Delta s} \right) \{ N_{i+\frac{1}{2}j+1}^n - N_{i+\frac{1}{2}j}^n \} \quad (1-6)
 \end{aligned}$$

式(1-1)に対して

$$\begin{aligned}
 M_{ij+\frac{1}{2}}^{n+1} = & M_{ij+\frac{1}{2}}^n - \frac{1}{2} \left( \frac{\Delta t}{\Delta s} \right) U_{ij+\frac{1}{2}} \{ M_{i+1j+\frac{1}{2}}^n - M_{i-1j+\frac{1}{2}}^n \} \\
 & - \frac{1}{2} \left( \frac{\Delta t}{\Delta s} \right) V_{ij+\frac{1}{2}} \{ M_{ij+\frac{3}{2}}^n - M_{ij-\frac{1}{2}}^n \} \\
 & + \frac{1}{2} \left( \frac{\Delta t}{\Delta s} \right)^2 U_{ij+\frac{1}{2}}^2 \{ M_{i+1j+\frac{1}{2}}^n + M_{i-1j+\frac{1}{2}}^n - 2M_{ij+\frac{1}{2}}^n \} \\
 & + \frac{1}{2} \left( \frac{\Delta t}{\Delta s} \right)^2 V_{ij+\frac{1}{2}}^2 \{ M_{ij+\frac{3}{2}}^n + M_{ij-\frac{1}{2}}^n - 2M_{ij+\frac{1}{2}}^n \} \\
 & + \frac{1}{4} \left( \frac{\Delta t}{\Delta s} \right)^2 U_{ij+\frac{1}{2}} V_{ij+\frac{1}{2}} \{ M_{i+1j+\frac{3}{2}}^n + M_{i-1j-\frac{1}{2}}^n - M_{i+1j-\frac{1}{2}}^n \\
 & \qquad \qquad \qquad - M_{i-1j+\frac{3}{2}}^n \} \\
 & - \frac{g}{2} \left( \frac{\Delta t}{\Delta s} \right) \{ \eta_{i+\frac{1}{2}j+\frac{1}{2}}^{n+1} + \eta_{i-\frac{1}{2}j+\frac{1}{2}}^{n+1} + h_{i+\frac{1}{2}j+\frac{1}{2}} + h_{i-\frac{1}{2}j+\frac{1}{2}} \} \\
 & \qquad \qquad \qquad \times \{ \eta_{i+\frac{1}{2}j+\frac{1}{2}}^{n+1} - \eta_{i-\frac{1}{2}j+\frac{1}{2}}^{n+1} \} \\
 & + K \left( \frac{\Delta t}{\Delta s^2} \right) \{ M_{i+1j+\frac{1}{2}}^n + M_{i-1j+\frac{1}{2}}^n - 2M_{ij+\frac{1}{2}}^n \} \\
 & + K \left( \frac{\Delta t}{\Delta s^2} \right) \{ M_{ij+\frac{3}{2}}^n + M_{ij-\frac{1}{2}}^n - 2M_{ij+\frac{1}{2}}^n \} \\
 & - \Delta t \cdot K_b \frac{M_{ij+\frac{1}{2}}^n \sqrt{U_{ij+\frac{1}{2}}^2 + V_{ij+\frac{1}{2}}^2}}{g n^2} / \left\{ \frac{1}{2} \left( \eta_{i+\frac{1}{2}j+\frac{1}{2}}^{n+1} + \eta_{i-\frac{1}{2}j+\frac{1}{2}}^{n+1} \right. \right. \\
 & \qquad \qquad \qquad \left. \left. + h_{i+\frac{1}{2}j+\frac{1}{2}} + h_{i-\frac{1}{2}j+\frac{1}{2}} \right) \right\}^{\frac{4}{3}} \quad (1-4)
 \end{aligned}$$

ただし

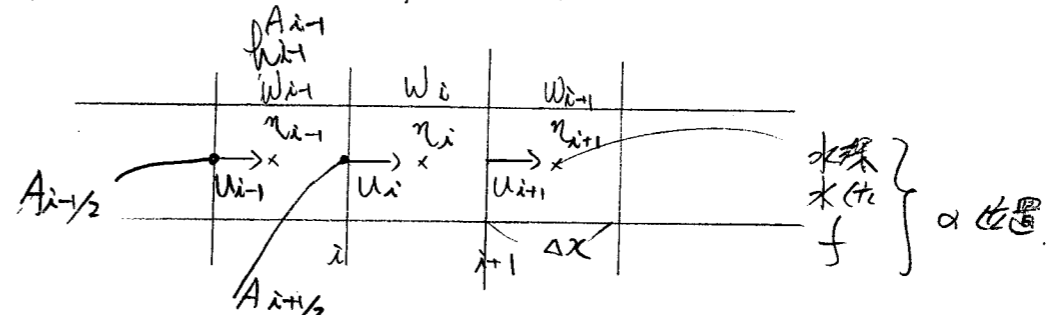
$$U_{ij+\frac{1}{2}} = 2M_{ij+\frac{1}{2}}^n / \{ \eta_{i+\frac{1}{2}j+\frac{1}{2}}^{n+1} + \eta_{i-\frac{1}{2}j+\frac{1}{2}}^{n+1} + h_{i+\frac{1}{2}j+\frac{1}{2}} + h_{i-\frac{1}{2}j+\frac{1}{2}} \}$$

$$V_{ij+\frac{1}{2}} = \frac{1}{4} \{ V_{i+\frac{1}{2}j} + V_{i-\frac{1}{2}j} + V_{i+\frac{1}{2}j+1} + V_{i-\frac{1}{2}j+1} \}$$

$$V_{i+\frac{1}{2}j} = 2N_{i+\frac{1}{2}j}^n / \{ \eta_{i+\frac{1}{2}j+\frac{1}{2}}^{n+1} + \eta_{i+\frac{1}{2}j-\frac{1}{2}}^{n+1} + h_{i+\frac{1}{2}j+\frac{1}{2}} + h_{i+\frac{1}{2}j-\frac{1}{2}} \}$$

懸濁液級別 (1-1)

河川主流方向の卓越性を考慮し、これ直交方向の流速と水位運動を重視して、1次元数値解析を行う。導出される。



Lax-Wendroff の差分式 (1) に適用すると

$$\begin{aligned} & \frac{u_i^{n+1} - u_i^n}{\Delta t} + u_i^n \frac{u_{i+1}^n - u_{i-1}^n}{2\Delta x} \\ &= \frac{1}{2} \left( \frac{\Delta t}{\Delta x^2} \right) u_i^n (u_{i+1}^n - 2u_i^n + u_{i-1}^n) \\ & - g \cdot \left( \frac{1}{\Delta x} \right) \times (\eta_i - \eta_{i-1}) \\ & - \frac{f_{i-1/2}}{(\eta+h)_{i-1/2}} \cdot |u_i^n| \cdot u_i^n \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \downarrow \\ u_i^{n+1} &= u_i^n - (\Delta t) \cdot u_i^n \cdot \frac{u_{i+1}^n - u_{i-1}^n}{2\Delta x} \\ & + \frac{1}{2} \left( \frac{\Delta t}{\Delta x} \right)^2 \cdot u_i^n (u_{i+1}^n - 2u_i^n + u_{i-1}^n) \\ & - g \left( \frac{\Delta t}{\Delta x} \right) \times (\eta_i - \eta_{i-1}) \\ & - \frac{\Delta t \cdot f_{i-1/2}}{(\eta+h)_{i-1/2}} |u_i^n| u_i^n \end{aligned}$$

$$\left. \begin{aligned} \text{但し } h_{i-1/2} &= 0.5 \times (h_i + h_{i-1}) \\ \eta_{i-1/2} &= 0.5 \times (\eta_i + \eta_{i-1}) \\ f_{i-1/2} &= g \cdot n^2 (h+\eta)_{i-1/2}^{-1/2} \end{aligned} \right\}$$

後述河川では  $n=0.1$  使用。

1993.11.22

黒部川のダムからの放水・排砂モデル(富山県)

河川 運動

モデル方程式

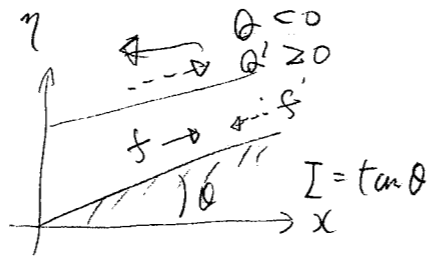
不定流

連続方程式

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0$$

運動方程式

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{Q^2}{A} + gAh \right) = -gA \left( I + \frac{n^2 |Q| Q}{A^2 R^{4/3}} \right)$$

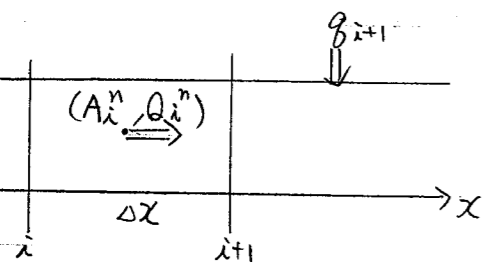
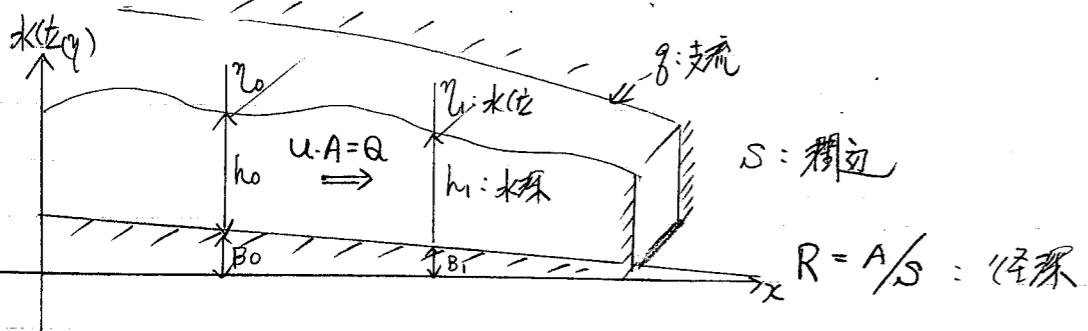


$I > 0$  の時、河口から上流へ解く時  $I > 0$  の時

- A: 断面積
- Q: 流量断面
- h: 水深
- B: 河床高
- S: 槽辺
- R: 径深

$R = R$  の範囲内では (変更)

離散化モデル



$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{Q^2}{A} \right) + gA \left( \frac{\partial h}{\partial x} + I \right) = -gA \frac{n^2 |Q| Q}{A^2 R^{4/3}} + k_x \frac{\partial^2 Q}{\partial x^2}$$

$$\frac{\partial h}{\partial x} = -\frac{3}{2200}$$

$$\frac{\partial B}{\partial x} = I = \frac{4}{2200}$$

$$\frac{\partial \eta}{\partial x} = \frac{1}{2200}$$

$$R = D + \eta$$

$$k_x \frac{Q_{i+1}^n - 2Q_i^n + Q_{i-1}^n}{\Delta x^2}$$

$$\frac{\partial \eta}{\partial x} = \frac{\eta_1 - \eta_0}{\Delta x} = \frac{(h_1 + B_1) - (h_0 + B_0)}{\Delta x}$$

$$= \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{\partial B}{\partial x}$$

$$= \frac{\partial h}{\partial x} + I$$

$$\begin{cases} A(x, t) = A(i \cdot \Delta x, n \cdot \Delta t) \triangleq A_i^n \\ Q(x, t) = Q(i \cdot \Delta x, n \cdot \Delta t) \triangleq Q_i^n \end{cases}$$

$$q_{i+1} = \frac{Q_{i+1}}{\Delta x}$$



差分方程式 ①

2段階ラプラス変換法を適用して3段階  
2nd Step / ③ ( $A_1^n \rightarrow A_1^{n+1}$ ) で

$A_1(\lambda-1)$	$A_0(\lambda)$	$A_1(\lambda+1)$
$A_3(\lambda-1)$	$A_3(\lambda)$	$A_3(\lambda+1)$
$\lambda$	$\lambda$	$\lambda+1$

1st Step for given ( $A_i^n, Q_i^n$ )

$$A_{i+1/2}^{n+1/2} = \frac{A_i^n + A_{i+1}^n}{2} - \frac{1}{2} \left( \frac{\Delta t}{\Delta x} \right) (Q_{i+1}^n - Q_i^n) + \frac{\Delta t}{2} \cdot \frac{g_i^n - g_{i+1}^n}{2}$$

$$A_{i-1/2}^{n+1/2} = \frac{A_{i-1}^n + A_i^n}{2} - \frac{1}{2} \left( \frac{\Delta t}{\Delta x} \right) (Q_i^n - Q_{i-1}^n) + \frac{\Delta t}{2} \cdot \frac{g_{i-1}^n - g_i^n}{2}$$

$$Q_{i+1/2}^{n+1/2} = \frac{Q_i^n + Q_{i+1}^n}{2} - \frac{1}{2} \left( \frac{\Delta t}{\Delta x} \right) \left[ \frac{(Q_{i+1}^n)^2}{A_{i+1}^n} + g(Ah)_{i+1}^n - \frac{(Q_i^n)^2}{A_i^n} - g(Ah)_i^n \right]$$

$$+ \frac{\Delta t}{2} \left[ g A_i^n \left\{ -I_i - \frac{n^2 |Q_i^n| Q_i^n}{(A_i^n)^2 (R_i^n)^{4/3}} \right\} + g A_{i+1}^n \left\{ -I_{i+1} - \frac{n^2 |Q_{i+1}^n| Q_{i+1}^n}{(A_{i+1}^n)^2 (R_{i+1}^n)^{4/3}} \right\} \right]$$

$$Q_{i-1/2}^{n+1/2} = \frac{Q_{i-1}^n + Q_i^n}{2} - \frac{1}{2} \left( \frac{\Delta t}{\Delta x} \right) \left[ \frac{(Q_i^n)^2}{A_i^n} + g A_i^n h_i^n - \frac{(Q_{i-1}^n)^2}{A_{i-1}^n} - g A_{i-1}^n h_{i-1}^n \right]$$

$$+ \frac{\Delta t}{2} \left[ g A_{i-1}^n \left\{ -I_{i-1} - \frac{n^2 |Q_{i-1}^n| Q_{i-1}^n}{(A_{i-1}^n)^2 (R_{i-1}^n)^{4/3}} \right\} + g A_i^n \left\{ -I_i - \frac{n^2 |Q_i^n| Q_i^n}{(A_i^n)^2 (R_i^n)^{4/3}} \right\} \right]$$

2nd Step for given ( $A_i^{n+1/2}, Q_i^{n+1/2}$ )

$$A_i^{n+1} = A_i^{n+1/2} - \left( \frac{\Delta t}{\Delta x} \right) (Q_{i+1/2}^{n+1/2} - Q_{i-1/2}^{n+1/2}) + \Delta t \cdot g_i^{n+1/2}$$

$$Q_i^{n+1} = Q_i^{n+1/2} - \left( \frac{\Delta t}{\Delta x} \right) \left[ \frac{(Q_{i+1/2}^{n+1/2})^2}{A_{i+1/2}^{n+1/2}} + g A_{i+1/2}^{n+1/2} h_{i+1/2}^{n+1/2} - \frac{(Q_{i-1/2}^{n+1/2})^2}{A_{i-1/2}^{n+1/2}} - g A_{i-1/2}^{n+1/2} h_{i-1/2}^{n+1/2} \right]$$

$$+ \Delta t \cdot g A_i^{n+1/2} \left( -I_i - \frac{n^2 |Q_i^{n+1/2}| Q_i^{n+1/2}}{(A_i^{n+1/2})^2 (R_i^{n+1/2})^{4/3}} \right)$$

但し  $g_i^{n+1/2} \triangleq \frac{Q_i^{n+1/2}}{\Delta x}$ ,  $R_i^{n+1/2} = \frac{A_i^{n+1/2}}{S_i^{n+1/2}}$

(2) 1995.3.30

$A^{n+1} \leftarrow A^n$

(NEWS v. 約め大) 大時向基

河川流量 (高橋)

変数

1st step

( $A^{n+1/2}$  ステップで差分方程式  $Q^{n+1/2}$  で使用)

$$A_{i+1/2}^{n+1/2} = \frac{A_i^n + A_{i+1}^n}{2} - \frac{1}{2} \left( \frac{\Delta t}{\Delta x} \right) (Q_{i+1}^n - Q_i^n) + \frac{\Delta t}{2} \cdot \frac{g_i^n - g_{i+1}^n}{2} \quad (1)$$

$$Q_{i+1/2}^{n+1/2} = \frac{Q_i^n + Q_{i+1}^n}{2} - \frac{1}{2} \left( \frac{\Delta t}{\Delta x} \right) \left[ \frac{(Q_{i+1}^n)^2}{A_{i+1}^n} + g(Ah)_{i+1}^n - \frac{(Q_i^n)^2}{A_i^n} - g(Ah)_i^n \right]$$

$$+ \frac{\Delta t}{2} \cdot g \cdot A_{i+1/2}^{n+1/2} \left[ I_{i+1/2} - \frac{n^2 |Q_{i+1/2}^{n+1/2}| Q_{i+1/2}^{n+1/2}}{(A_{i+1/2}^{n+1/2})^2 (R_{i+1/2}^{n+1/2})^{4/3}} \right]$$

$$= \frac{Q_i^n + Q_{i+1}^n}{2} - \frac{1}{2} \left( \frac{\Delta t}{\Delta x} \right) \left[ \frac{(Q_{i+1}^n)^2}{A_{i+1}^n} + g(Ah)_{i+1}^n - \frac{(Q_i^n)^2}{A_i^n} - g(Ah)_i^n \right]$$

$$+ \frac{\Delta t}{2} \cdot g \cdot A_{i+1/2}^{n+1/2} \cdot I_{i+1/2}$$

$$- \frac{\Delta t}{2} \cdot \frac{g n^2 |Q_i^n + Q_{i+1}^n|}{(A_{i+1/2}^{n+1/2}) (R_{i+1/2}^{n+1/2})^{4/3}} \cdot Q_{i+1/2}^{n+1/2}$$

$$\frac{\partial \eta}{\partial x} = \frac{q_1 - q_0}{\Delta x} = \frac{(h_1 + B_1) - (h_0 + B_0)}{\Delta x}$$

$$= \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{\partial B}{\partial x}$$

$$= \frac{\partial h}{\partial x} + I$$

$$\therefore Q_{i+1/2}^{n+1/2} = \frac{1}{\left( 1 + \frac{\Delta t}{2} \frac{g n^2}{(A_{i+1/2}^{n+1/2}) (R_{i+1/2}^{n+1/2})^{4/3}} \cdot \frac{|Q_i^n + Q_{i+1}^n|}{2} \right)}$$

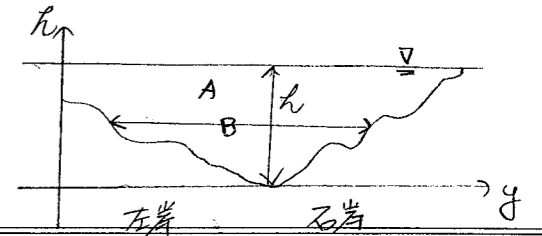
$$\cdot \left[ \frac{Q_i^n + Q_{i+1}^n}{2} - \frac{1}{2} \left( \frac{\Delta t}{\Delta x} \right) \left[ \frac{(Q_{i+1}^n)^2}{A_{i+1}^n} + g(Ah)_{i+1}^n - \frac{(Q_i^n)^2}{A_i^n} - g(Ah)_i^n \right] \right]$$

$$+ \frac{\Delta t}{2} \cdot g \cdot A_{i+1/2}^{n+1/2} \cdot I_{i+1/2} \quad (2)$$

(2) の  $A_{i+1/2}^{n+1/2}, R_{i+1/2}^{n+1/2}$  は (1) の  $A_{i+1/2}^{n+1/2}$  を使って

$$R_{i+1/2}^{n+1/2} = h_{i+1/2}^{n+1/2} \cdot S_{i+1/2}^{n+1/2}$$

河川流量 (高橋) の式で  $Q$  は  $Q_{i+1/2}^{n+1/2}$  とする  
 $\frac{\partial \eta}{\partial x} = \frac{\partial h}{\partial x} + I$  の式



SS 拡散モデル COD (BOD) 拡散モデル  $\Rightarrow$  後述

2nd step

$$A_i^{n+1} = A_i^n - \left(\frac{\Delta t}{\Delta x}\right) (Q_{i+1/2}^{n+1/2} - Q_{i-1/2}^{n+1/2}) + \Delta t \cdot g_i^{n+1/2} \quad (3)$$

$$Q_i^{n+1} = Q_i^n - \frac{\Delta t}{\Delta x} \left[ \frac{(Q_{i+1/2}^{n+1/2})^2}{A_{i+1/2}^{n+1/2}} + g(Ah)_{i+1/2}^{n+1/2} - \frac{(Q_{i-1/2}^{n+1/2})^2}{A_{i-1/2}^{n+1/2}} - g(Ah)_{i-1/2}^{n+1/2} \right] + \Delta t \cdot g \cdot A_i^{n+1} \cdot I_i - \Delta t \cdot \frac{gn^2}{A_i^{n+1} (R_i^{n+1})^{4/3}} \cdot \frac{|Q_{i-1/2}^{n+1/2} + Q_{i+1/2}^{n+1/2}|}{2} \cdot Q_i^{n+1}$$

$$\therefore Q_i^{n+1} = \frac{1}{1 + \Delta t \cdot \frac{gn^2}{A_i^{n+1} (R_i^{n+1})^{4/3}} \cdot \frac{|Q_{i-1/2}^{n+1/2} + Q_{i+1/2}^{n+1/2}|}{2}} \times \left[ Q_i^n - \frac{\Delta t}{\Delta x} \left\{ \frac{(Q_{i+1/2}^{n+1/2})^2}{A_{i+1/2}^{n+1/2}} + g(Ah)_{i+1/2}^{n+1/2} - \frac{(Q_{i-1/2}^{n+1/2})^2}{A_{i-1/2}^{n+1/2}} - g(Ah)_{i-1/2}^{n+1/2} \right\} + \Delta t \cdot g \cdot A_i^{n+1} \cdot I_i \right] \quad (4)$$

(4) (前項-河床交換)

(4)式の  $A_i^{n+1}$ ,  $R_i^{n+1}$  は(3)式から求められたものを使用する。

拡散方程式 (1次元非定常, 日積モデルに準拠)

$$\frac{\partial C_k}{\partial t} + \frac{1}{A} \frac{\partial (QC_k)}{\partial x} = \frac{1}{A} \frac{\partial}{\partial x} (D_x \cdot A \frac{\partial C_k}{\partial x}) + \frac{V_b}{R} (C_b - C_k) + \frac{1}{A} \bar{c} \cdot g$$

ここで 拡散項

$$D_x = 0.18 \left(\frac{u}{u_*}\right)^{0.5} \left(\frac{B}{R}\right)^2 \cdot R \cdot u_*$$

$u = Q/A$   
 $u_* = \sqrt{gRI}$  ... 摩擦速度  
 $\left(\frac{B}{R}\right)$ : 平均的幅水深比 本例の場合  
 $R \approx R$   
 $B \approx S$  ...  $A/R$  で表現

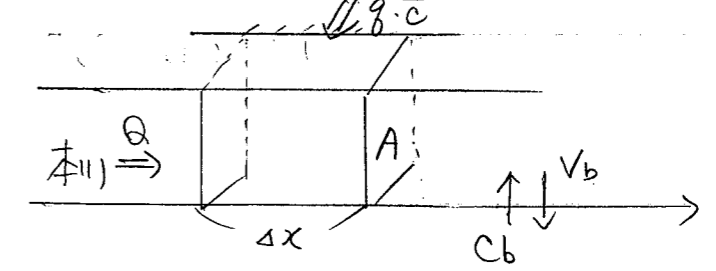
$C_k$ : 成分 index  $k=1$  - SS  $k=1$  - COD  $k=2$  - BOD

COD BOD の時  $\Delta t$  の扱い

河床交換量

$$V_b = 2.73 \times 10^{-3} u_* \cdot d_m / R$$

$d_m$ : 河床平均粒径 (0, 10, 20, ... 50cm)  
 $C_b$ : 河床孔隙水中の濁り濃度



支川流量

$g\bar{c}$   
横方向からの単位時間あたりの流入濃度負荷量

NS 差分方程式

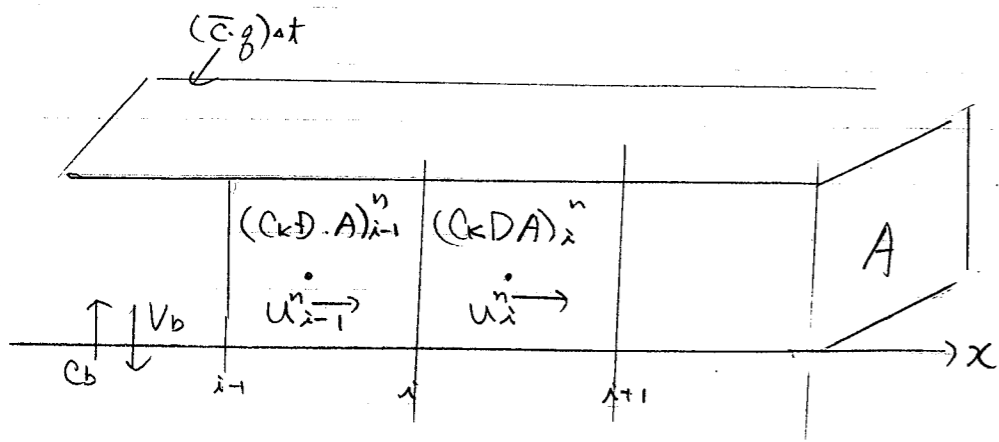
Up-Stream 法 高甲

$$\frac{Q}{A} \equiv u$$

$$\frac{\partial C_k}{\partial t} + u \frac{\partial C_k}{\partial x} = \frac{1}{A} \frac{\partial}{\partial x} (D_x \cdot A \frac{\partial C_k}{\partial x}) + \frac{V_b}{R} (C_b - C_k) + \frac{1}{A} \bar{c} \cdot g$$

$$\begin{aligned} \therefore C_{k,i}^{n+1} = C_{k,i}^n & - \left\{ u \lambda \cdot \frac{\Delta t}{\Delta x} (C_i - C_{i-1})_k^n \right\} \\ & - \left\{ u \lambda \cdot \frac{\Delta t}{\Delta x} (C_{i+1} - C_i)_k^n \right\} \\ & + \frac{1}{A \lambda^2} \cdot \frac{\Delta t}{\Delta x^2} \left\{ (D_x \cdot A)_{i+1/2}^n (C_{i+1} - C_i)_k^n - (D_x \cdot A)_{i-1/2}^n (C_i - C_{i-1})_k^n \right\} \\ & + \Delta t \frac{V_b}{R} (C_b - C_k)_i^n + \frac{\Delta t}{A} \cdot (\bar{c} \cdot g)_i^n \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \therefore (D_x \cdot A)_{i+1/2}^n & = \frac{(D_x \cdot A)_i^n + (D_x \cdot A)_{i+1}^n}{2} \\ (D_x \cdot A)_{i-1/2}^n & = \frac{(D_x \cdot A)_{i-1}^n + (D_x \cdot A)_i^n}{2} \end{aligned}$$



BOD {  
COD } 拡散モデル

拡散方程式

$$\frac{\partial C_k}{\partial t} + \frac{1}{A} \frac{\partial (QC_k)}{\partial x} = \frac{1}{A} \frac{\partial}{\partial x} (D_x \cdot A \frac{\partial C_k}{\partial x}) - \underbrace{k \cdot C_k}_{\text{NSと異なり}}$$

$C_k$ : 濃度  $k=2$  BOD  
 $k=3$  COD

$k$ : 吸着係数

よか他の1.5x-7の定義はNSαモデルに準拠。  
及び拡散係数と差分化についても同様。

圃場 流動 / 拡散 シミュレーション 黒部川下流域の農業用水への環境アセスメント

圃場内 二次元流動はポテンシャル法で求める

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0$$

$$u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = -g \frac{\partial \eta}{\partial x} + D_h \nabla^2 u$$

$$u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = -g \frac{\partial \eta}{\partial y} + D_h \nabla^2 v$$

$$\nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2}$$

$$\Downarrow$$

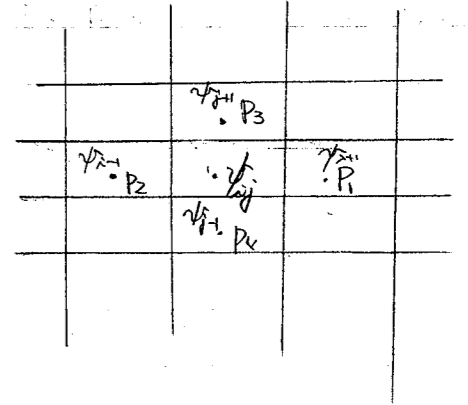
$$u = \frac{\partial \psi}{\partial x}, \quad v = \frac{\partial \psi}{\partial y} \quad \nabla^2 \psi = 0 \text{ を 反復法により解く}$$

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \quad \text{--- (1)}$$

$$\left. \begin{aligned} u &= \frac{\partial \psi}{\partial x} \\ v &= \frac{\partial \psi}{\partial y} \end{aligned} \right\} \text{--- (2) とおく}$$

$$(2) \text{ を (1) に代入して}$$

$$\frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial y^2} = 0 \quad \text{--- (3)}$$



(3) を差分化する

$$\frac{\psi_{i+1}^n - 2\psi_i^n + \psi_{i-1}^n}{\Delta x^2} + \frac{\psi_{i,j+1}^n - 2\psi_{i,j}^n + \psi_{i,j-1}^n}{\Delta y^2} = 0$$

$$\Delta x = \Delta y \text{ として}$$

$$\psi_i^{n+1} = 0.25 * (\psi_{i+1}^n + \psi_{i-1}^n + \psi_{j+1}^n + \psi_{j-1}^n) \quad \text{--- (4)}$$

$\psi_{i+1}^n, \psi_{i-1}^n, \psi_{j+1}^n, \psi_{j-1}^n$  各点について  
計算値で  $\psi$  の時  $\psi_{i+1}^{n+1} = \psi_{i+1}^n$   
 $\psi_{i-1}^{n+1} = \psi_{i-1}^n$   
 $\psi_{j+1}^{n+1} = \psi_{j+1}^n$   
 $\psi_{j-1}^{n+1} = \psi_{j-1}^n$  で置き換える

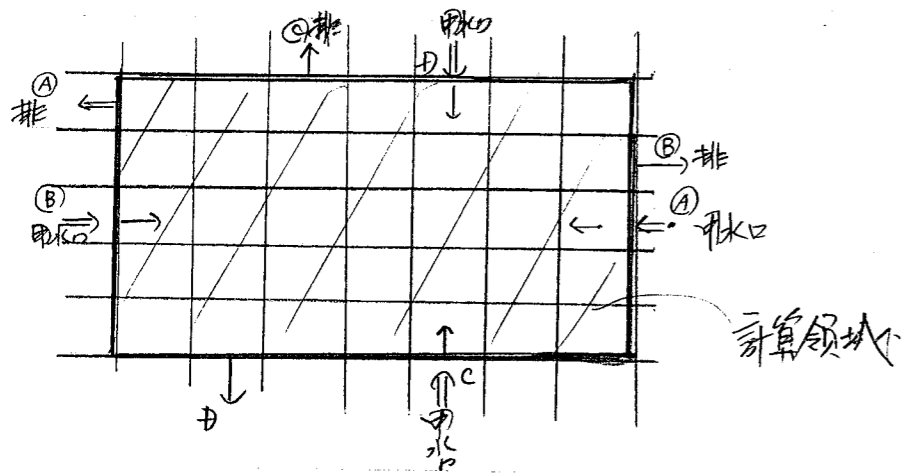
全計算点  $i, j$  に対して  $\|\psi_{ij}^n - \psi_{ij}^{n+1}\| < \epsilon$  を満たす時 収束していると見出す

$u, v$  を変換

$$u_{ij} = \frac{\psi_{ij} - \psi_{i-1,j}}{\Delta x}$$

$$v_{ij} = \frac{\psi_{ij} - \psi_{i,j-1}}{\Delta y}$$

初期条件  $\psi_{ij} = 0$  全真  
 甲水口, 排水口の流速を設定 層厚  $5\text{cm} \times 17.13$



$$u_0 = \frac{\psi_0 - \psi_{-1}}{\Delta x} \Delta x$$

① 甲水口  $\psi_{i+1} = \psi_i + \Delta x \cdot u_{0A}$  ( $u_0 < 0$ )  
 排水口  $\psi_{i-1} = \psi_i - \Delta x \cdot u_{0A}$  (" )

② 甲水口  $\psi_{i-1} = \psi_i - \Delta x \cdot u_{0B}$  ( $u_0 > 0$ )  
 排水口  $\psi_{i+1} = \psi_i + \Delta x \cdot u_{0B}$  (" )

$$v_0 = \frac{\psi_{j+1} - \psi_j}{\Delta y}$$

③ 甲水口  $\psi_{j-1} = \psi_j - \Delta y \cdot v_{0c}$  ( $v_{0c} > 0$ )  
 排水口  $\psi_{j+1} = \psi_j + \Delta y \cdot v_{0c}$  (" )

④ 甲水口  $\psi_{j+1} = \psi_j + \Delta y \cdot v_{0d}$  ( $v_{0d} < 0$ )  
 排水口  $\psi_{j-1} = \psi_j - \Delta y \cdot v_{0d}$  (" )

SS 拡散モデル ( $C_k, k=1$  沈降を含むケース)

$$\frac{\partial C_k}{\partial t} + u \frac{\partial C_k}{\partial x} + v \frac{\partial C_k}{\partial y} + \bar{w} \frac{\partial C_k}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} (D_x \frac{\partial C_k}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (D_y \frac{\partial C_k}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z} (D_z \frac{\partial C_k}{\partial z}) - k C_k$$

$$\bar{w} = w - w_s \quad w_s : \text{沈降速度}$$

SS の沈降は微細な粒子とすると

$$w_s = n \cdot k_0^{-1/n} (C_R \cdot h_R)^{1/n}, \quad n = 0.3, \quad k_0 = 1.533 \times 10^5$$

又  $1/n < 1$  の速度は適用できず  $\Rightarrow w_s = 2\text{cm/s}$  程度

その他  $u^* = \sqrt{g R I} = 0$  のため (河川)  $D_x$  の値は参考  $D_x, D_y$  は微小

SS 差分方程式

BOD  
COD) 拡散モデル

$$\frac{\partial C_k}{\partial t} + u \frac{\partial C_k}{\partial x} + v \frac{\partial C_k}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} (D_x \frac{\partial C_k}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (D_y \frac{\partial C_k}{\partial y})$$

海洋

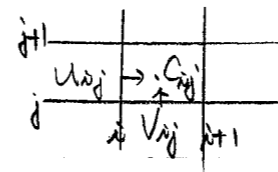
最初時ポテンシャルフローで流速  $u, v$  を計算し、このフローフィールドに基づき、日産の  $u, v$  を作成 (MRE で MRE 中の変換) して流速フィールドを入力から読み込む形式に。

- 流速  $u, v$  は日産の流速フィールドを  $100m \times 100m$  に補間して移す  
日産流速フィールド 不規則間隔  $x, y$

- 濁度拡散モデル  
拡散方程式

$$\frac{\partial C_k}{\partial t} + \frac{\partial u C_k}{\partial x} + \frac{\partial v C_k}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} (D_x \frac{\partial C_k}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (D_y \frac{\partial C_k}{\partial y}) - k_d C_k$$

$C_k$ : 濁度成分の濃度  
 $u, v$ : 直交する流速成分  
 $D_x, D_y$ : 拡散係数  
 $k_d$ : 濃度に対する土壌吸着係数



風上差分スキーム  $u > 0$   $\lambda = \frac{\Delta t}{\Delta x} = \frac{\Delta t}{\Delta y}$

$$C_{ij}^{n+1} = C_{ij}^n - \lambda \left[ \begin{matrix} u(C_i - C_{i-1}) \\ u(C_{i+1} - C_i) \end{matrix} \right] - \lambda \left[ \begin{matrix} v(C_j - C_{j-1}) \\ v(C_{j+1} - C_j) \end{matrix} \right]$$

$$+ D_x \cdot \frac{\Delta t}{\Delta x^2} (C_{i+1} - 2C_i + C_{i-1}) + D_y \frac{\Delta t}{\Delta y^2} (C_{j+1} - 2C_j + C_{j-1}) - \Delta t \cdot k_d C_{ij}$$

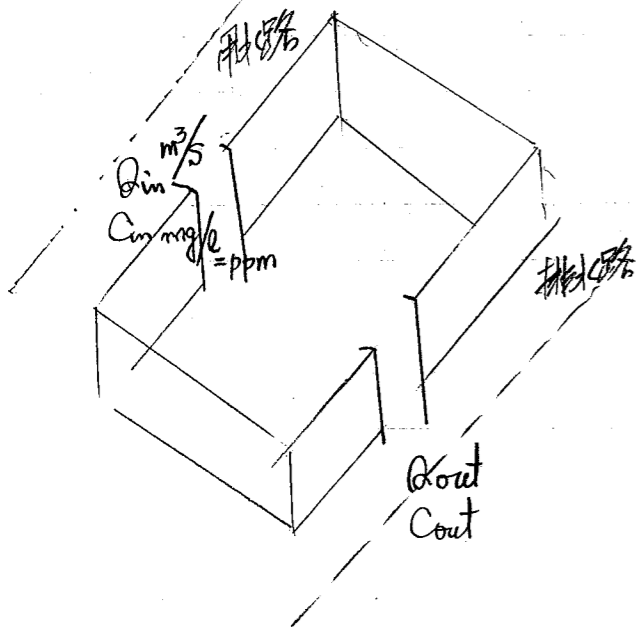
1994.1 場所 (排水口) からの流速を考慮して濃度計算は「行われている」  
排水 (排水口を仮) からの流速を考慮して定常流 (排水口) と仮定

拡散の元が弱いから  
排水口付近 (狭域) での排水からの流速を考慮して定常流 (排水口) と仮定してこの排水口 (真場所のみ) 前と同じ扱いとして方程式を解く

圃場内 (2次元)

体積量の計算式

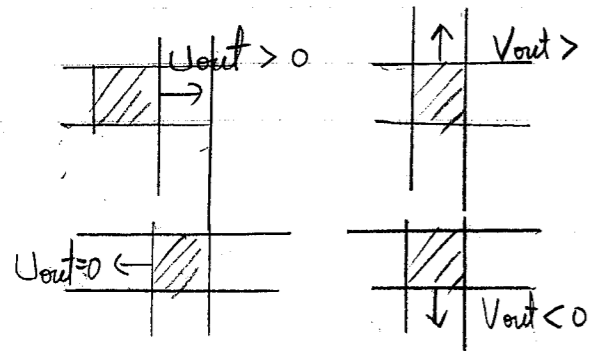
灌層:



$$S(t) = \sum_{t_0=0}^t Q_{in}(t) \times C_{in}(t) \times \alpha - \sum_{t_0=0}^t Q_{out}(t) \times C_{out}(t) \cdot \alpha$$

$$= \alpha \times \alpha \times \left[ \sum_{in} C_{in}(t) - \sum_{out} C_{out}(t) \right] \times 3600 \quad (HR)$$

ここで  $C_{in}$  は取水口での濃度値  
 $C_{out}$  は排水口での濃度 = 0 とし、このとき  
 方向性 (U, V 排水口) に従ってその前の  
 計算領域内濃度値を使用。



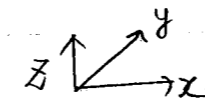
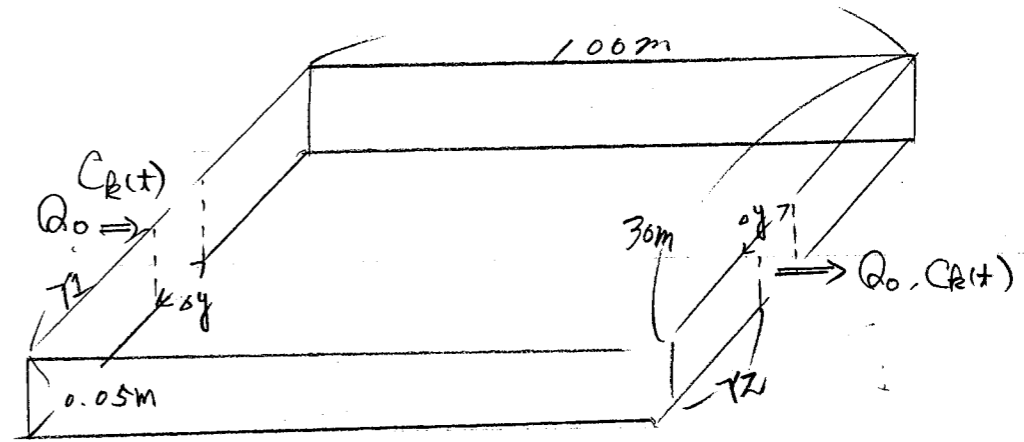
$$\alpha = 10^{-3}$$

$$[m^3/s][mg/l] = [m^3/s] \left[ \frac{10^{-6} kg}{10^{-3} m^3} \right] = 10^{-3} kg/s \rightarrow 10^{-3} kg/s \times 3600 = 10^{-3} kg$$

1 mg = 10<sup>-3</sup> g = 10<sup>-6</sup> kg  
 1 l = 10<sup>3</sup> cm<sup>3</sup> = 10<sup>-3</sup> m<sup>3</sup>

実験圃場の濁質拡散・堆積シミュレーション (3次元)

1994.2.17



$\Delta x = \Delta y = 0.3 m$   
 $\Delta z = 0.01 m$   
 $y_1, y_2$ : 取/排水口位置

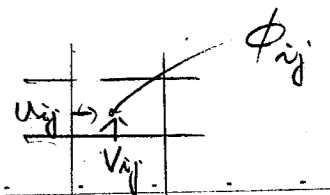
数値解析  
 準3次元流動 (定常流)  $\Rightarrow$  ポテンシャル方程式を解く

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0$$

$$u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = -g \frac{\partial \eta}{\partial x} + D_h \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right)$$

$$u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = -g \frac{\partial \eta}{\partial y} + D_h \left( \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right)$$

$\vec{v} = (u, v)$ : 平均流速の水平成分  
 各X, Yにて求めらる。



XE. 定常解 (U, V) SX3	
ITR	CPU
164	9.61
5000	91 sec (ESP4K 3000K FPU)
10000	200 sec

ポテンシャル方程式

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

$$\left. \begin{aligned} u &= \frac{\partial \phi}{\partial x} \\ v &= \frac{\partial \phi}{\partial y} \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

(2)  $\epsilon(V) = N \lambda / 2$

$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} = 0 \quad (3)$$

(3)  $\epsilon$  差を  $k$  とする

$$\frac{\phi_{i+1}^n - 2\phi_i^n + \phi_{i-1}^n}{\Delta x^2} + \frac{\phi_{j+1}^n - 2\phi_j^n + \phi_{j-1}^n}{\Delta y^2} = 0$$

$$\Delta x = \Delta y \quad \delta 11$$

$$\phi_i^{n+1} = \phi_{i+1}^n + \phi_{i-1}^n + \phi_{j-1}^{n+1} - \phi_j^{n+1} \quad (4)$$

$\phi_{i+1}^n, \phi_{i-1}^n, \phi_{j+1}^n, \phi_{j-1}^n$  各々の計算値を用いる

$$\phi_{i+1}^n = \phi_i^n$$

$$\phi_{i-1}^n = \phi_i^n$$

$$\phi_{j+1}^n = \phi_j^n$$

$$\phi_{j-1}^n = \phi_j^n$$

で置換する

全計算  $i, j$  に対して

$$\|\phi_{ij}^n - \phi_{ij}^{n+1}\| < \epsilon \quad \epsilon \text{ 満足しないときは } k \text{ を } 2 \text{ 倍して}$$

$$u_{ij} = \frac{\phi_{ij} - \phi_{i-1,j}}{\Delta x}$$

$\phi_{i-1}$  は計算値

$$u_{ij} = 0$$

$$v_{ij} = \frac{\phi_{ij} - \phi_{i,j-1}}{\Delta y}$$

$\phi_{i,j-1}$  は計算値

$$v_{ij} = 0$$

2/21.3

3次元拡散 (非定常)

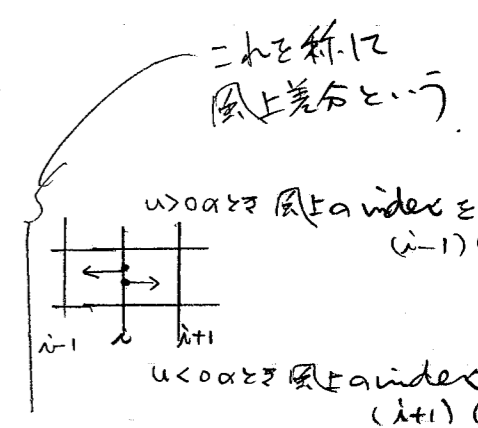
$$\begin{aligned} & \frac{\partial C_k}{\partial t} + \frac{\partial u C_k}{\partial x} + \frac{\partial v C_k}{\partial y} + \frac{\partial w C_k}{\partial z} \\ &= \frac{\partial}{\partial x} (D_u \frac{\partial C_k}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (D_v \frac{\partial C_k}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z} (D_w \frac{\partial C_k}{\partial z}) - k_d C \end{aligned}$$

$D_u$  : 水平拡散係数

$D_v$  : 鉛直 " "

$k_d$  : 吸着係数

$C_k$  : 粒径  $d_k$  の濃度



up-wind 式

$$\begin{aligned} & \frac{C_i^{n+1} - C_i^n}{\Delta t} + \frac{u}{\Delta x} \begin{cases} C_i - C_{i-1} & (u > 0) \\ C_{i+1} - C_i & (u < 0) \end{cases} \\ & + \frac{v}{\Delta y} \begin{cases} C_j - C_{j-1} & (v > 0) \\ C_{j+1} - C_j & (v < 0) \end{cases} \\ & + \frac{w_k}{\Delta z} \begin{cases} C_z - C_{z-1} & (w_k > 0) \\ C_{z+1} - C_z & (w_k < 0) \end{cases} \end{aligned}$$

$$= \frac{D_u}{\Delta x^2} (C_{i+1} - 2C_i + C_{i-1})$$

$$+ \frac{D_v}{\Delta y^2} (C_{j+1} - 2C_j + C_{j-1})$$

$$+ \frac{D_w}{\Delta z^2} (C_{z+1} - 2C_z + C_{z-1})$$

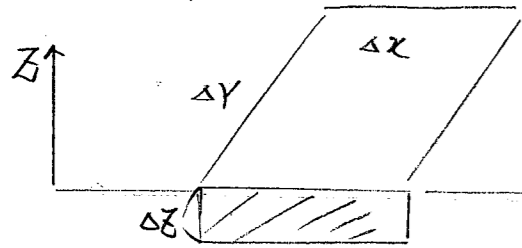
$$- k_d C_{i,j,z}$$

Boundary  $\frac{\partial C}{\partial x} = 0$  (排れ)

取れ (放れ) かつ 濃度の入出力の値  $\epsilon$  とする



堆積量の計算



ある  $X, Y = (x, y)$  の最下層内の  
( $l=1$ ) の

$$S_{ij} = \sum_{k=1}^5 C_k \Delta x \Delta y \cdot \Delta z \quad (\text{沈降速度 } W_k \quad k=1 \sim 5)$$

$$= \Delta V \cdot \sum_{k=1}^5 C_k$$

$$\Delta V = \Delta x \cdot \Delta y \cdot \Delta z$$

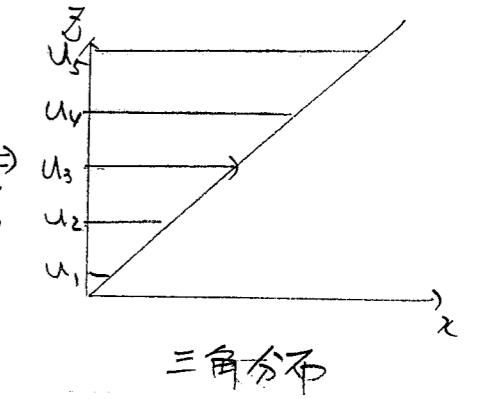
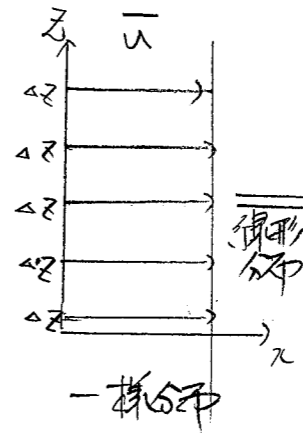
$$B_{ij} = \frac{S_{ij}}{\rho(v=0) \cdot \Delta x \Delta y}$$

10000回以上おいて定常流作成!

プログラム

流連定常計算  
US, VS

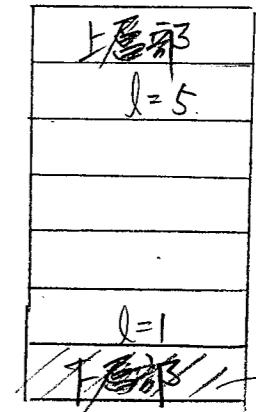
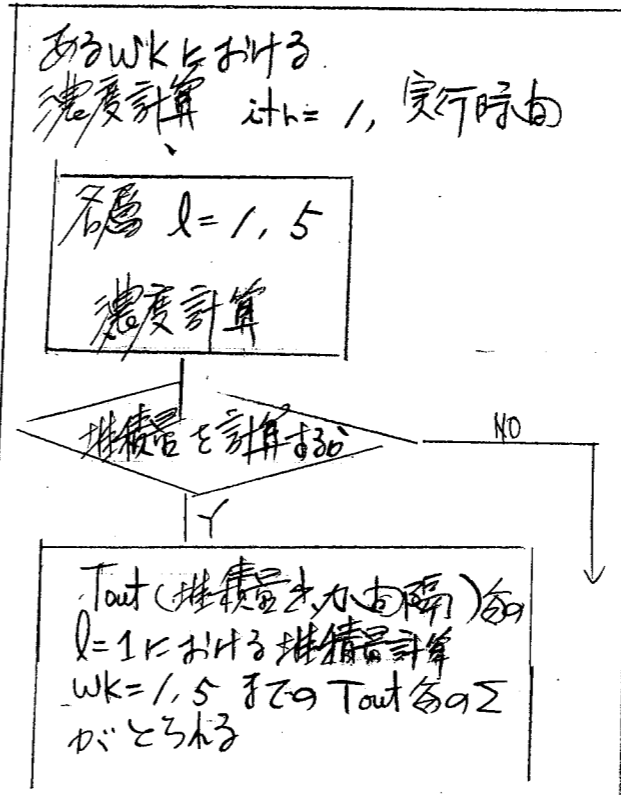
流連 US, VS の各層の  
流速  $u, v$  は補由



$$[5 \cdot \Delta z \cdot \bar{u}] = \left[ \sum_{k=1}^5 \Delta z u_k \right] = [5 \cdot \Delta z \cdot u_1]$$

$$\therefore u_k = \frac{k}{5} \bar{u} \quad v_k = \frac{k}{5} \bar{v}$$

粒径  $w_k = 1, 5$



堆積量の計算

• 堆積量の計算は  $l=1$  の層を以て計算 (最下層)

• T<sub>out</sub> は 粒径の種類 (5種類) の和 (沈降速度)

とに決まる。

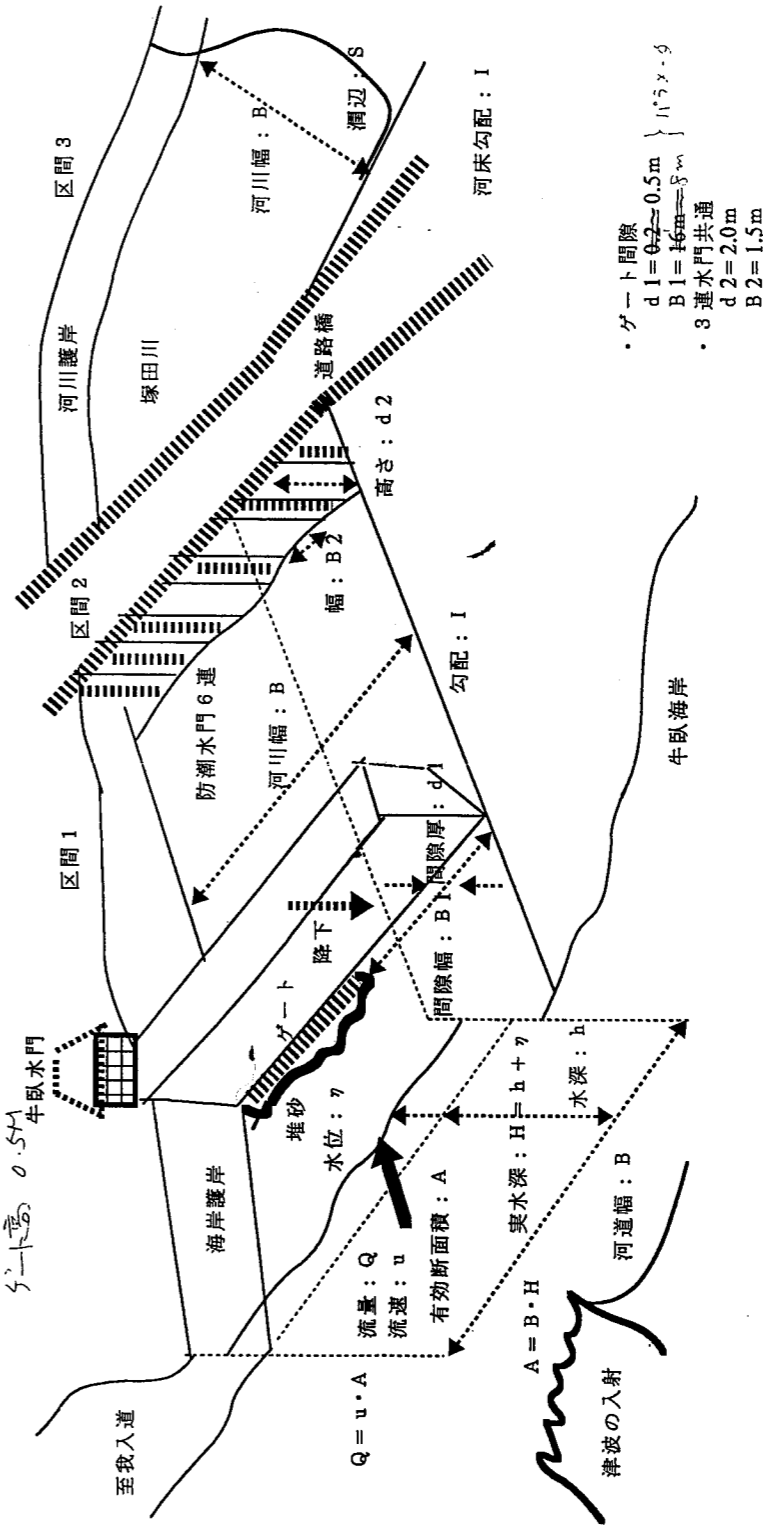
想定東海地震津波襲来に対する  
牛臥水門背後地の安全性評価検討業務

沼津市

1994. 5

牛臥水門20m幅の間隔

max T.P. 1.6 (標準) 1/17 低  
水位 8M  
水位高 0.5M



- ゲート間隙
  - $d_1 = 0.2 \sim 0.5m$
  - $B_1 = 16m \sim 5m$
- 3連水門共通
  - $d_2 = 2.0m$
  - $B_2 = 1.5m$

図1 パラメータの定義

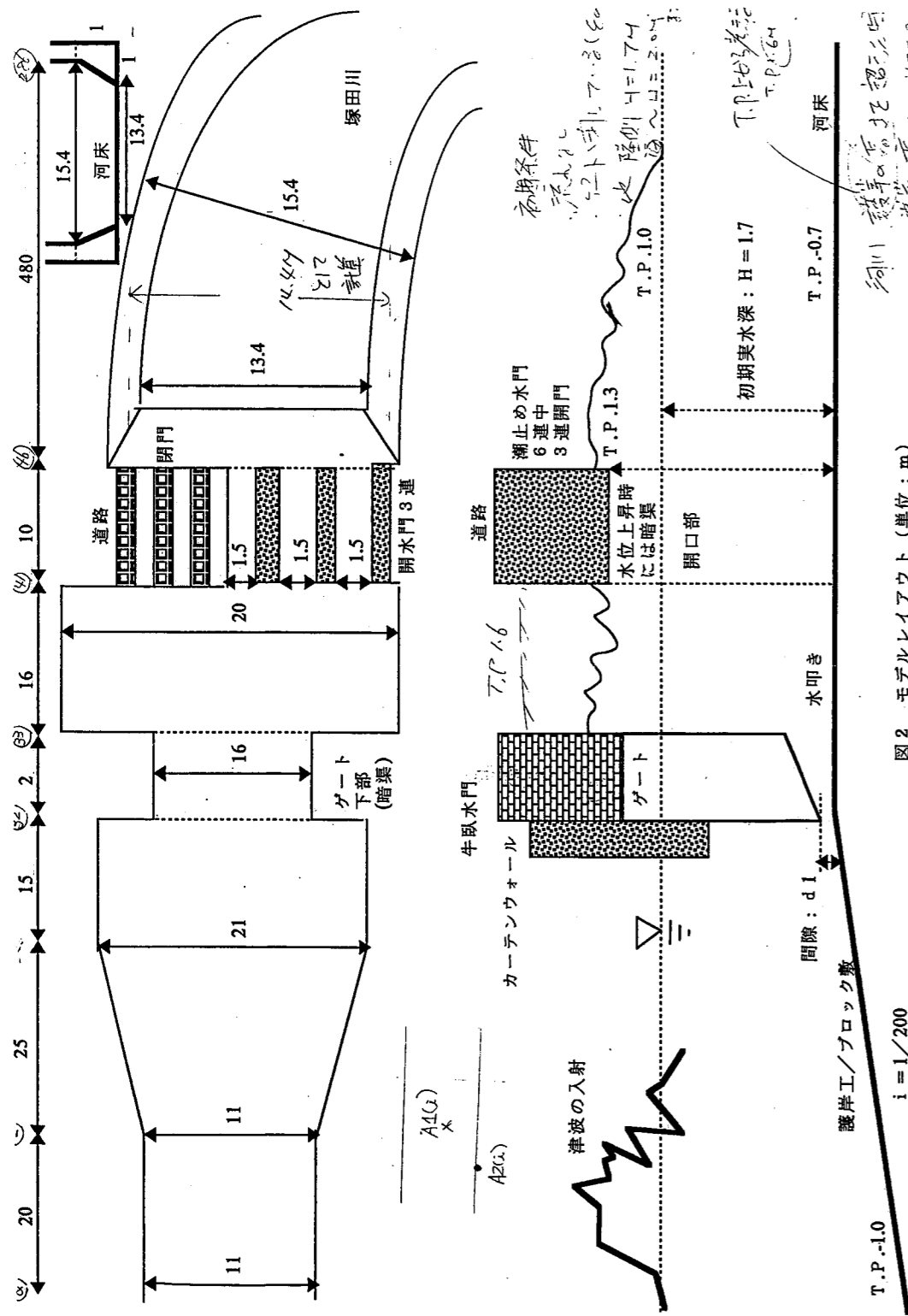


図2 モデルレイアウト (単位: m)

牛臥水門

1994.7.4 XE

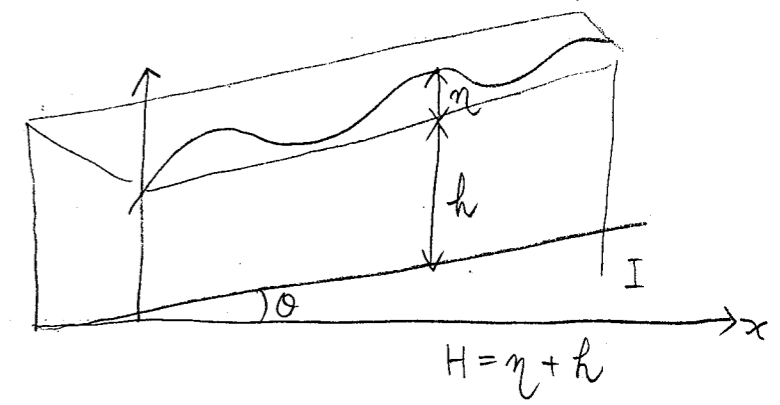
水路  
 $\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} u \cdot Q = -g \frac{\partial(A \cdot \eta)}{\partial x} - g \cdot A \frac{n^2 |Q| Q}{A^2 R^{4/3}}$$

但し

$Q = u \cdot A$   
 $A = H \cdot B$   
 $R = A/s$   
 $S$

流量  
 断面積  
 径深  
 粗度



よお  $\frac{\partial \eta}{\partial x} = \frac{\partial H}{\partial x} - I$

$I = \tan \theta$

19 第1巻 (1993.11.22)  
 高水時 = 3.5m  
 110.9m

52-1 (暗渠部) の時  
 $A_i = d_i B_i = 0.5(m) \times 8(m)$  ∴ 一定  
 堆積高さ 52-1中

$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0$   
 $\downarrow$   
 $0$

∴ Q = 一定

$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} (Q^2/A) = -g A \frac{\partial \eta}{\partial x} - g \frac{n^2 |Q| Q}{A \cdot R^{4/3}}$   
 $\downarrow$   
 $0$

∴  $\frac{\partial Q}{\partial t} = -g A \frac{\partial \eta}{\partial x} - g \frac{n^2 |Q| Q}{A \cdot R^{4/3}}$

∴  $\frac{\partial Q}{\partial t} = -g A \frac{\partial \eta}{\partial x} - g \frac{n^2 |Q| Q}{A \cdot R^{4/3}}$

1st Step

1st Step

$$A_{\lambda+1/2}^{n+1/2} = \frac{A_{\lambda}^n + A_{\lambda+1}^n}{2} - \frac{1}{2} \left( \frac{\Delta t}{\Delta x} \right) (\Theta_{\lambda+1}^n - \Theta_{\lambda}^n)$$

$$\Theta_{\lambda+1/2}^{n+1/2} = \frac{\Theta_{\lambda}^n + \Theta_{\lambda+1}^n}{2} - \frac{1}{2} \left( \frac{\Delta t}{\Delta x} \right) \left[ \frac{(\Theta_{\lambda+1}^n)^2}{A_{\lambda+1}^n} - \frac{(\Theta_{\lambda}^n)^2}{A_{\lambda}^n} \right] - \frac{1}{2} \left( \frac{\Delta t}{\Delta x} \right) [g(A \cdot \eta)_{\lambda+1}^n - g(A \cdot \eta)_{\lambda}^n]$$

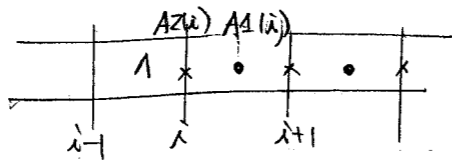
$$-\frac{\Delta t}{2} \cdot g \cdot A_{\lambda+1/2}^{n+1/2} \frac{n^2 |\Theta_{\lambda+1/2}^n| \Theta_{\lambda+1/2}^{n+1/2}}{(A_{\lambda+1/2}^{n+1/2})^2 (R_{\lambda+1/2}^{n+1/2})^{4/3}}$$

$$\Theta_{\lambda+1/2}^{n+1/2} = \frac{1}{1 + \frac{\Delta t}{2} \frac{g n^2}{A_{\lambda+1/2}^{n+1/2} (R_{\lambda+1/2}^{n+1/2})^{4/3}} \cdot \frac{|\Theta_{\lambda}^n + \Theta_{\lambda+1}^n|}{2}}$$

$$\times \left[ \frac{\Theta_{\lambda}^n + \Theta_{\lambda+1}^n}{2} - \frac{1}{2} \left( \frac{\Delta t}{\Delta x} \right) \left\{ \frac{(\Theta_{\lambda+1}^n)^2}{A_{\lambda+1}^n} - \frac{(\Theta_{\lambda}^n)^2}{A_{\lambda}^n} + g(A \cdot \eta)_{\lambda+1}^n - g(A \cdot \eta)_{\lambda}^n \right\} \right]$$

$\eta$ : 初期水深  $\varepsilon$  T.P.I.O.M と 1/2 定義 | k a z  
 $\eta$  は T.P.I.O.M  $\varepsilon$  基準  $\varepsilon$  | k 計算値

$\bullet A1(\lambda), \Theta1(\lambda)$  の計算値  
 $\times A2(\lambda), \Theta2(\lambda)$



2nd Step

2nd Step

$$A_{\lambda}^{n+1} = A_{\lambda}^n - \left( \frac{\Delta t}{\Delta x} \right) [\Theta_{\lambda+1/2}^{n+1/2} - \Theta_{\lambda-1/2}^{n+1/2}]$$

$$\Theta_{\lambda}^{n+1} = \Theta_{\lambda}^n - \frac{\Delta t}{\Delta x} \left[ \frac{(\Theta_{\lambda+1/2}^{n+1/2})^2}{A_{\lambda+1/2}^{n+1/2}} - \frac{(\Theta_{\lambda-1/2}^{n+1/2})^2}{A_{\lambda-1/2}^{n+1/2}} + g(A \cdot \eta)_{\lambda+1/2}^{n+1/2} - g(A \cdot \eta)_{\lambda-1/2}^{n+1/2} \right] - \Delta t \cdot \frac{g n^2}{A_{\lambda}^{n+1} (R_{\lambda}^{n+1})^{4/3}} \cdot \frac{|\Theta_{\lambda+1/2}^{n+1/2} + \Theta_{\lambda-1/2}^{n+1/2}|}{2} \cdot \Theta_{\lambda}^{n+1}$$

$$\Theta_{\lambda}^{n+1} = \frac{1}{1 + \Delta t \frac{g n^2}{A_{\lambda}^{n+1} (R_{\lambda}^{n+1})^{4/3}} \cdot \frac{|\Theta_{\lambda+1/2}^{n+1/2} + \Theta_{\lambda-1/2}^{n+1/2}|}{2}}$$

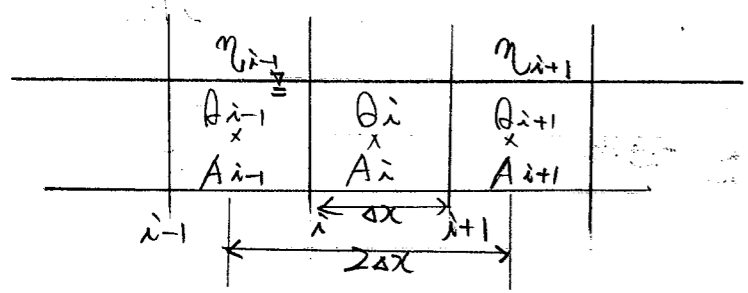
$$\times \left[ \Theta_{\lambda}^n - \frac{\Delta t}{\Delta x} \left\{ \frac{(\Theta_{\lambda+1/2}^{n+1/2})^2}{A_{\lambda+1/2}^{n+1/2}} - \frac{(\Theta_{\lambda-1/2}^{n+1/2})^2}{A_{\lambda-1/2}^{n+1/2}} + g(A \cdot \eta)_{\lambda+1/2}^{n+1/2} - g(A \cdot \eta)_{\lambda-1/2}^{n+1/2} \right\} \right]$$

$\theta^{n+1} - \theta^n$  の差  
 $\theta^2$  (52) の解  
 $\theta^1 \rightarrow \theta^3 \in$  一度は 52  
 $\theta$  と 3 の解  
 52 (暗渠) の時 ( $\frac{\Delta t}{2\Delta x} \in$  使用)

$A_i = d_i \cdot B_i = 0.5N \times A_N \quad \therefore$  一定  
 52+に... 52+  
 状態にある  
 土砂の高さ

$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0$   
 $\therefore Q =$  一定

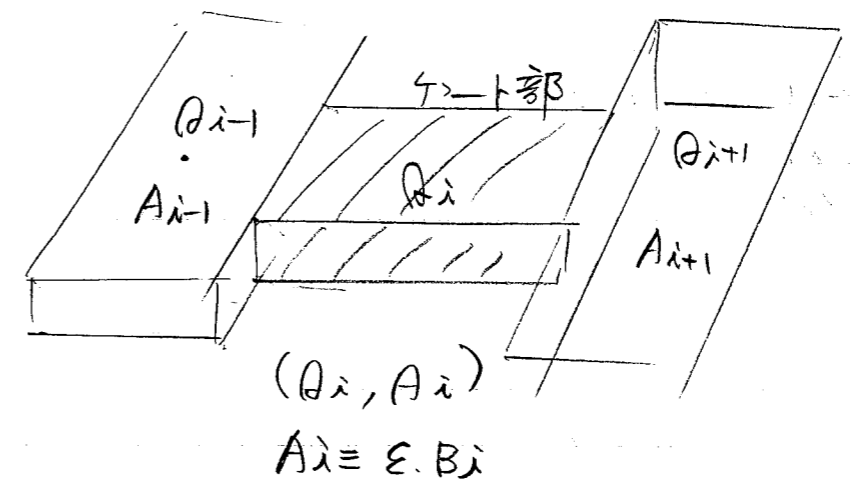
$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} (Q^2/A) = -g \cdot A \cdot \frac{\partial \eta}{\partial x} - g \cdot \frac{m^2 |\theta| Q}{A \cdot R^{4/3}}$



$A_i = d_i \cdot B_i =$  一定

$\frac{\theta^{n+1} - \theta^n}{\Delta t} = -g \cdot A_i \frac{\eta_{i+1} - \eta_{i-1}}{2\Delta x} - g \cdot f(A_i^n, \theta_i^n)$

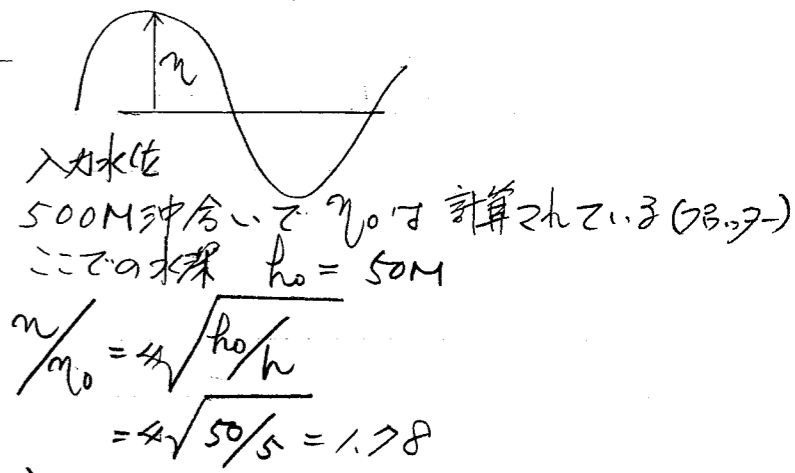
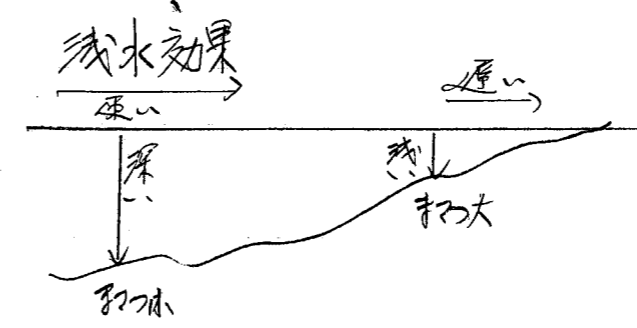
$\therefore \theta^{n+1} = \theta^n - g A_i \frac{\Delta t}{2\Delta x} \{ \eta_{i+1} - \eta_{i-1} - g (\frac{\Delta t}{2\Delta x}) f_i^n \}$   
 $\therefore f(A_i^n, \theta_i^n) = \frac{m^2 |\theta_i^n| \theta_i^n}{A_i \cdot R_i^{4/3}}$



7.7.3.4 上の設定

護岸 T.P 1.6M 水位 (η) が越えられた時

$\eta = 1.6$  とし  
 $A_i$  (断面積)  
 $R_i$  (径深)  
 $\epsilon$  再計算



入水水位の補正係数 (SFACOR) 1.78 とする

$\eta_{bound} = \eta_0 \times 1.78$  とする

計算条件

$\Delta x = 2M$

$\Delta t = 0.05 \text{ sec} (\cancel{2\Delta t = 0.1})$

河川幅 8M

河川高さ 0.5M

初期水深 T.P. 1.0M

粗度係数

河川水路 全域  $FF=0.2$  ( $FF^2=0.04$ )

河川(暗渠)  $\left\{ \begin{array}{l} \text{河川部分 } I=3/33 \text{ 等} \\ FF=0.01 \text{ } (FF^2=0.01^2) \\ \text{他 } FF=0.2 \end{array} \right.$

領域 約 560M (河川 480M)

河川水路

$SFAC = 1.78$

$m = 0.2$

(注  $m=0.12$  とする) (河川)

$\Delta t = 0.05$

実行時間 ~ 150分

指定水位長 57点 20秒毎打ち出し

$ITR = 90000$

$SX3 \text{ a CPU} = 23.56 \text{ sec}$

河川(暗渠)

$SFAC = 1.78$

$m = 0.2$  (但し暗渠  $m=0.01$ )

$\Delta t = 0.05$

実行時間 ~ 150分

指定水位長 57点 20秒毎打ち出し

$ITR = 90000$

$SX3 \text{ a CPU} = 25 \text{ sec}$

1/27/19. 安政東海 (1854) 現況, 将来ケース  
 石橋正弘 (1976)

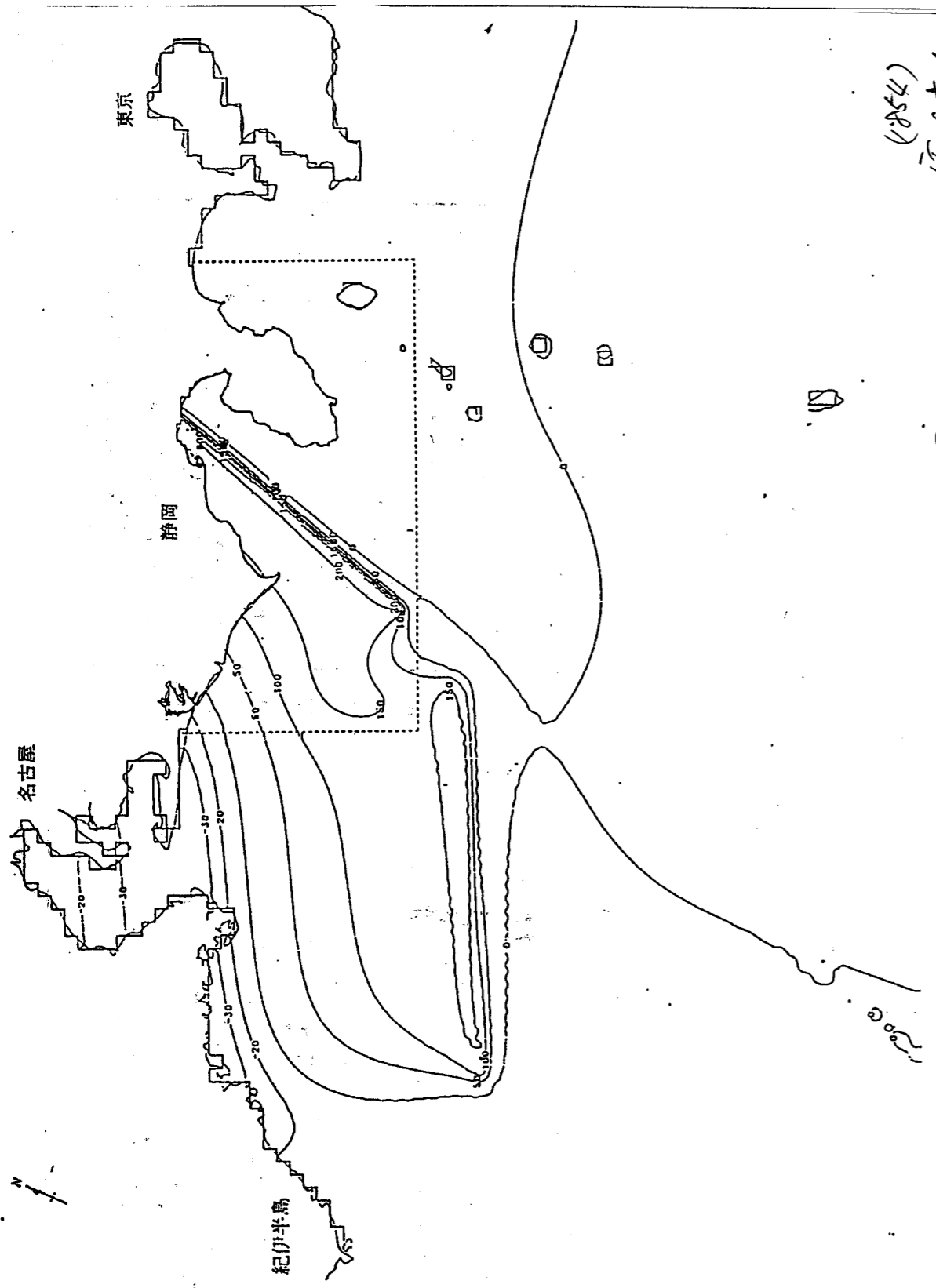
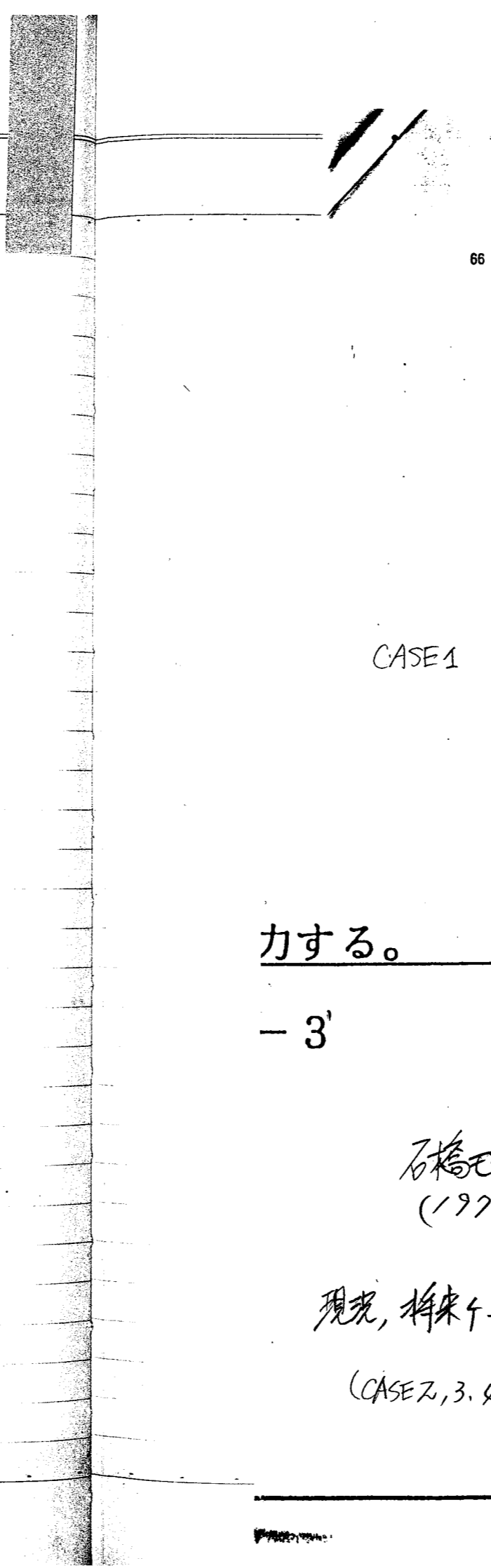


図2-2-3(1) 石橋モデルの初期水位 (cm)



CASE 1

力する。

- 3'

石橋正弘 (1976)  
 現況, 将来ケース  
 (CASE 2, 3, 4)

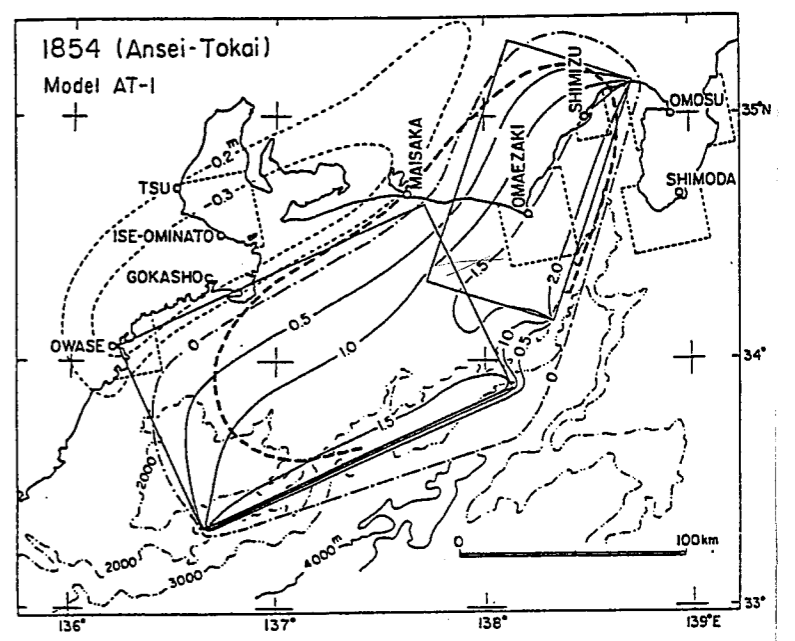
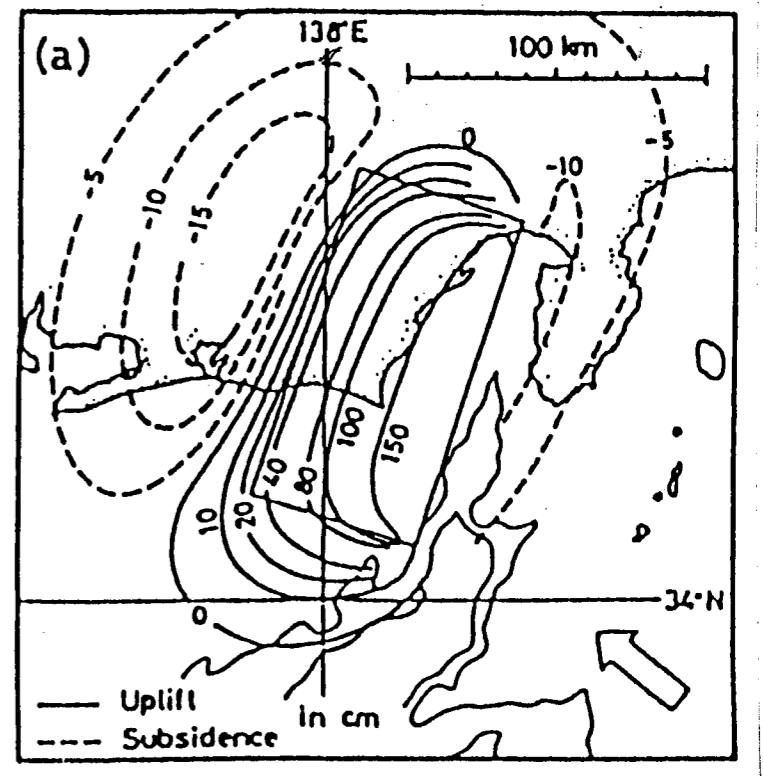
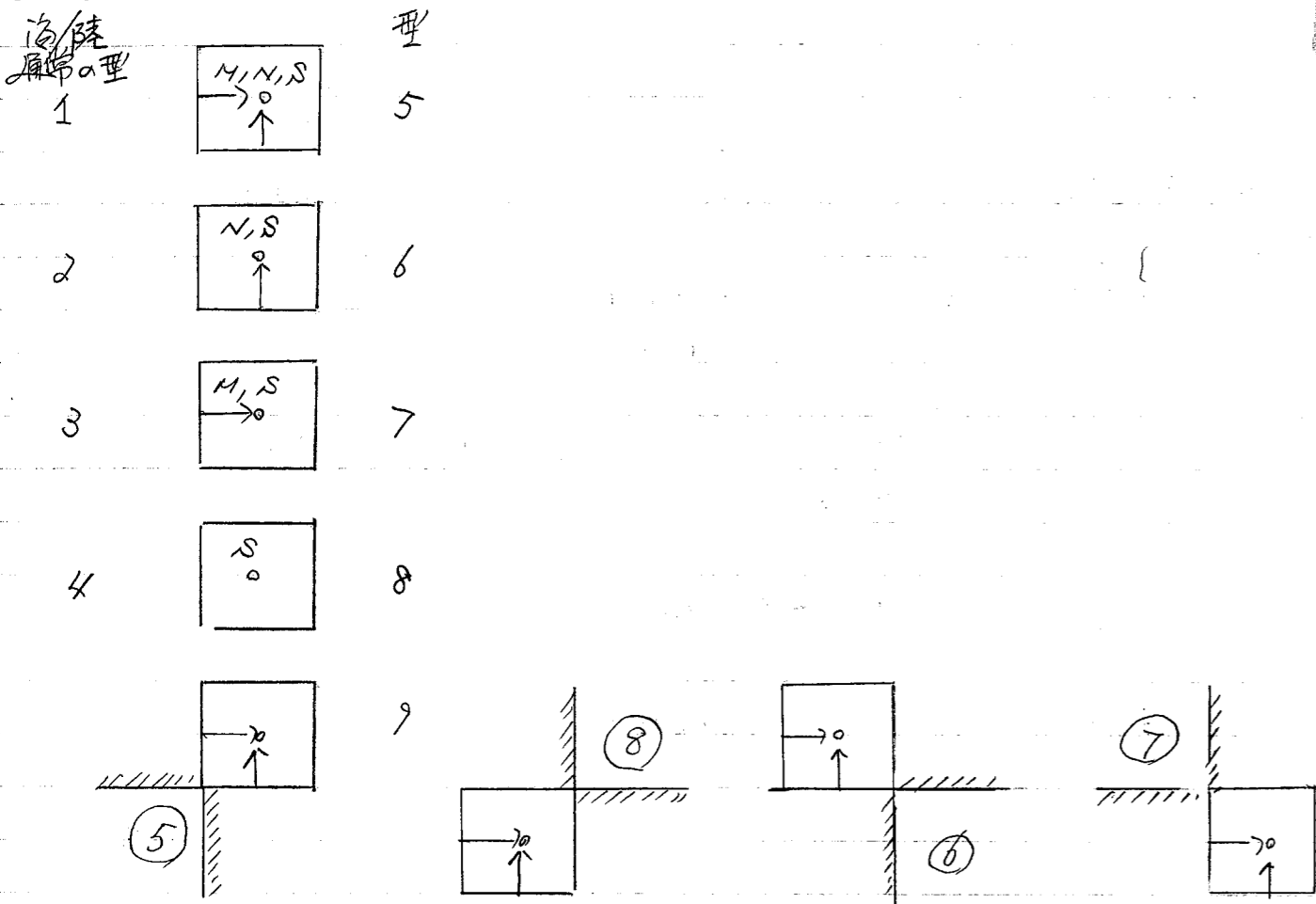


図4.1 安政東海津波の波源モデル



静岡

# 境界の処理



## プログラムの修正

shitsunami.f ソースプログラム中  
COEFZIL-4N の X-COEF } を計算する時の型修正。  
Y-COEF }

VCALC IL-4N の M } を計算する時の型  
N } & 使用する壁を型に示して 0 とする

SCALC IL-4N : 修正此

U3	U6	U9
U2	5	U8
U1	U4	U7

5a型

Uの計算時

U1, U2, U4 は 常に使用  
U7, U8 は 壁に 対して 常に 0 と する

U3a型=7 → U3=0. (8a時 自動的に 0.)

U6a型=7 → U6=0. ( " " )

U9a型=9 → U9=0.

U6a型=7 or 8 and U9a型=7 → U9=0.

Vの計算時

V1, V2, V4 は 常に使用  
V3, V6 は 壁に 対して 自動的に 0 と する

V7a型=6 → V7=0. (8a時 自動的に 0.)

V8a型=6 → V8=0. ( " " )

V9a型=9 → V9=0.

V8a型=6 or 8 and V9a型=6 → V9=0.

6a型

V3	V6	V9
V2	6	V8
V1	V4	V7

V4, V7, V8 は 常に使用, V6, V9 は 壁に 対して 自動的に 0  
V2=0.

V4a型=6 or 8 V1=0.

V6a型=6 or 8 or 7 V3=0.

7a型

U3	U6	U9
U2	7	U8
U1	U4	U7

U2, U3, U6 は 常に使用, U8, U9 は 壁に 対して 自動的に 0.  
U4=0.

U2a型 7 or 8 U1=0.

U8a型 7 or 8 or 6 U7=0.

8a型 M, N 計算時

9a型 9a左 a型=5  
9a右 8  
自動的に 0.

9a右 a型=6 a時 or  
9a左 a型 7 又 型



将来地形 水深 想定津波 ( 瀬水, 御前崎, 下田の3港湾 )  
 水深 拡張  
 地形を現況から将来(CASE3)に直して  
 (CASE4)  
 計算条件は現況(CASE2)と同様に  
 実行.

1995.4.4  
 将来地形 CASE3  
 NO. 7258  
 岸線情報ファイル shippansui 7258  
 shispoin 7258 CPU 1012sec  
 入力ファイル shikowan3.dat (3港湾+ 東防波堤型)

1995.4.18  
 将来地形 CASE4  
 NO. 7394  
 岸線情報ファイル shippansui 7394  
 shispoin 7394 CPU 1098sec  
 入力ファイル shikowan4.dat  
 (注) CASE4 は CASE2 (現況) → CASE3 (将来地形)  
 堤防, 堤台を途中に消す  
 (CASE4 あり)

1995.6.5  
 CASE4 30分の実行 (20t = 0.5sec) CPU = 174sec

1995.6.7  
 下田港の将来地形 CASE3 CASE4 (将来地形の途中) を変更  
 CASE3: 貫通(6)の次2, 所のみ  
 CASE4: 水門あり, 東防波堤あり  
 70m以内で堤防 (3港湾+1漁港) 型 (5~9) のみ  
 VCALCT で特殊校...として (約 99 点) CPU は短縮

CPU	NO	岸線情報ファイル	振動時刻	入力ファイル	出力ファイル
856sec	CASE3	8060 shippansuicas3	shispoincas3	shikowan3.dat	shivecmm mcas3
858sec	CASE4	8055 " cas4	" cas4	" 4.dat	" cas4

潮位予測 シミュレーションプログラム 1996.12.12

経度 L (西経+, 東経-), 標準時の時差 S の地点のある時刻 t (st) の潮位  

$$\eta(t) = \sum f_i H_i \cdot \cos([Vot + U_i - m \cdot L + G_i \cdot S + \sigma_i \cdot t (st)] - \chi_i) + Z_0$$
 で計算する

$\eta(t)$ : 水位  
 分解 (60分潮に対象とする) i に対して  
 $H_i$ : 振幅 (cm) ある地点での観測結果  
 $\chi_i$ : 遅角 (度)

$Vot = a_2 S + a_3 h + a_4 p + C$   
 右式(定数項) 定数項  
 天体引数  
 $V = V(a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6)$   
 $= a_1 T + a_2 S + a_3 h + a_4 p + a_5 N + a_6 P$

$U_i, f_i$  は 1 分潮の  $U_i, f_i$  を含む  
 1/2 日分を含まれてもよい  
 $a_1 \dots a_6$  整数の 15x-9 群  
 $T$ : 平均太陽の時角  
 $S$ : 月の平均黄経  
 $h$ : 太陽 " "  
 $p$ : 近月点 " "  
 $N$ : 月の昇降点の平均黄経  
 $P$ : 近月点の " "

1 分潮の  $U_i, f_i$  を用いて  
 $f_i =$  係数1 + 係数2x cos(N) + 係数3x cos(2N) + 係数4x cos(3N)  
 $U_i =$  係数1 + 係数5x sin(N) + 係数6x sin(2N) + 係数7x sin(3N)

全分潮の  $U_i, f_i$  を含む  
 但し L2, M1 分潮は列外に Z (表の参照)  
 N: 計算日(年) - 年日として中取りをとり  
 一度計算したものは一定として使用  
 Ps: 283° (2000年の近似値) 定数として使用

$m \cdot L$  ; m は 15x-9 の a1 に相当する L は 経度  
 $S = 211.7284129.38471(Y-2000) + 13.1713(D+L)$   
 $h = 279.974 - 0.23871(Y-2000) + 0.9856(D+L)$   
 $p = 83.298 + 40.66229(Y-2000) + 0.1114(D+L)$

中取り計算 ---  
 $N = 125.071 - 19.3212(Y-2000) - 0.0529(D+L)$   
 $P = 282.937 + 0.01718(Y-2000) + 0.04067(D+L)$   
 $= 283 (-一定)$

6/95 ハウフル同 shivecplot.f { 3港湾 御前崎 瀬水 下田

給付 T, S, h, P の時刻変化

$$d_i = a_1 \cdot 15 + a_2 \cdot 0.5490 + a_3 \cdot 0.0410 + a_4 \cdot 0.0046x$$

$$T/\text{hour} = 15/h$$

$$S/\text{hour} = 0.5490/652/h$$

$$h/\text{hour} = 0.0410/686/h$$

$$P/\text{hour} = 0.0046/181/h$$

a1 ~ a4 1105X-7群

σ1, S  
σ1 (st)

σ: 標準時の時差 (-9)  
計算 (L-時刻)

σ0: 基準水面

T.C.L

chousekings

潮汐計算 V-ス  
緯度  
経度  
各地点での 60分潮の 遡向 & 概中  
計算期間

chouseki.f

期間中の水位時系列 chousekisui.out  
(潮汐)  
Σ & 8分潮

chouiplotings

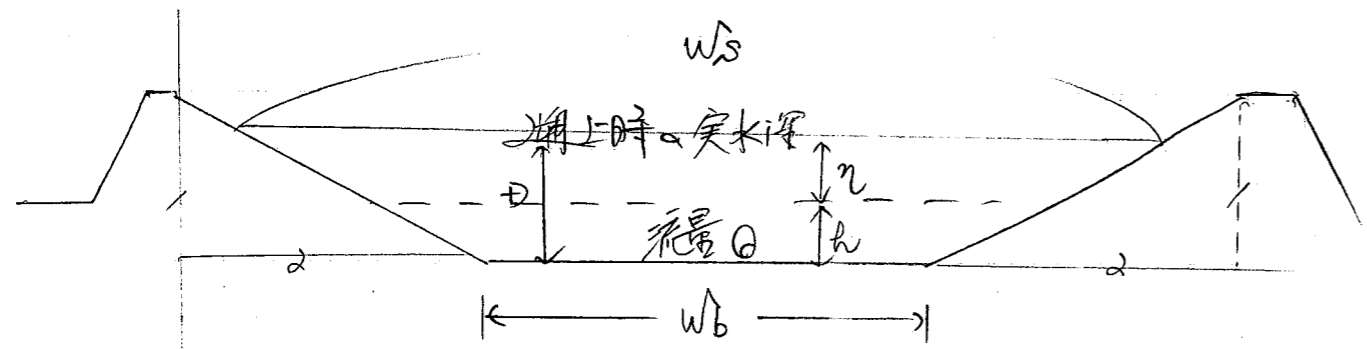
70.7-入力

chouiplot.f 潮汐時系列  
70.7-

$$ax^2 + bx + c = 0$$

$$x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

三棱形无压渠



$$D = h + \eta \quad \text{水深}$$

梯形断面  
斜度 2:1 与 3:2

$$S = w_b + z\sqrt{5}D$$

$$w_s = w_b + \alpha \cdot D$$

$$A = D \times (w_s + w_b) / 2$$

$$= D \times (w_b + \alpha D) / 2$$

$$A = D \times (w_s + w_b) / 2$$

$$= D \times (w_b + \alpha D + w_b) / 2$$

$$= D \times (w_b + \alpha D)$$

$$2D^2 + w_b D - A = 0$$

$$\therefore D = \frac{-w_b + \sqrt{w_b^2 + 8A}}{4}$$

$$w_b = \frac{A - 2D^2}{D}$$

毛元方程式 : 屈折, 回折, 研波現象を再現する非定常後向配不規則波動方程式

$$\nabla(\bar{\alpha}\nabla\eta) + i\nabla[\beta\nabla(\frac{\partial\eta}{\partial t})] + k^2\bar{\alpha}(1+i\beta)\eta + i\beta(1+i\beta)\frac{\partial\eta}{\partial t} = 0$$

$$\bar{\alpha} = \bar{c}c_g \quad (\text{Filonovの修正})$$

$$\bar{\beta} = \frac{\bar{c}}{k} \left[ -2(1-\bar{n}) + \frac{1}{2\bar{n}}(2\bar{n}-1) \{1-(2\bar{n}-1)\cosh 2k\bar{d}\} \right]$$

$$\bar{\alpha} = k\bar{c} \left[ 2\bar{n} + \frac{1}{2\bar{n}}(2\bar{n}-1) \{1-(2\bar{n}-1)\cosh 2k\bar{d}\} \right]$$

$$\bar{n} = \frac{1}{2} \left( 1 + \frac{2k\bar{d}}{\sinh 2k\bar{d}} \right)$$

(-) 付変数で代表角周波数  $\omega$  に依存すると意味する

- c: 波速
- c<sub>g</sub>: 群波速度
- k: 角波数 (2π/L)
- ∇: 水平方向の微分演算子
- η<sub>i</sub>: 成分波の水位変動
- η: 水面変動
- β<sub>0</sub>: 干渉散逸率 (減衰係数)
- d: 水深
- i: 成分の位相

d: 水深  
L: 波長  
ω: 角周波数

$$\eta_i = \text{Re} \{ m_i \exp(-i\omega_i t) \} \quad \text{実数部のみ}$$

$$\eta = \sum_{i=1}^{\infty} m_i$$

$$k = 2\pi/L$$

$$f = 1/T$$

$$\omega = 2\pi f = \sqrt{gk \tanh kd}$$

$$c = \omega/k = \sqrt{\frac{g}{k} \tanh kd}$$

$$c_g = \frac{d\omega}{dk} = \frac{c}{2} \left[ 1 + \frac{2kd}{\sinh 2kd} \right]$$

$$n = \frac{c_g}{c} = \frac{1}{2} \left[ 1 + \frac{2kd}{\sinh 2kd} \right]$$

$$cc_g = \frac{c^2}{2} \left[ 1 + \frac{2kd}{\sinh 2kd} \right]$$

$$\sinh x = \frac{e^x - e^{-x}}{2}$$

$$\cosh x = \frac{e^x + e^{-x}}{2}$$

$$\tanh x = \frac{\sinh x}{\cosh x} = \frac{e^x - e^{-x}}{e^x + e^{-x}}$$

差分方程式

$$\frac{\partial \bar{\alpha}}{\partial x} \frac{\partial \tilde{u}}{\partial x} + \bar{\alpha} \left( \frac{\partial^2 \tilde{u}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \tilde{u}}{\partial y^2} \right) + i \frac{\partial \bar{\beta}}{\partial x} \frac{\partial \tilde{u}}{\partial x \partial t} + i \bar{\beta} \left( \frac{\partial^2 \tilde{u}}{\partial x \partial t} + \frac{\partial^2 \tilde{u}}{\partial y \partial t} \right) + k^2 \bar{\alpha} \tilde{u} + i \bar{\beta}' \frac{\partial \tilde{u}}{\partial t} = C_{in}$$

$$\bar{\alpha}' = \bar{\alpha} (1 + i f_0)$$

$$\bar{\beta}' = \bar{\beta} (1 + i f_0)$$

圧入射波による強制外力項は、

$C_{in} = 0$  : 入射波の境界条件以外

$$C_{in} = \frac{\partial \bar{\alpha}}{\partial x} \frac{\partial \tilde{u}_{in}}{\partial x} + \bar{\alpha} \left( \frac{\partial^2 \tilde{u}_{in}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \tilde{u}_{in}}{\partial y^2} \right) + i \frac{\partial \bar{\beta}}{\partial x} \frac{\partial \tilde{u}_{in}}{\partial x \partial t} + i \bar{\beta} \left( \frac{\partial^2 \tilde{u}_{in}}{\partial x \partial t} + \frac{\partial^2 \tilde{u}_{in}}{\partial y \partial t} \right) + k^2 \bar{\alpha} \tilde{u}_{in} + i \bar{\beta}' \frac{\partial \tilde{u}_{in}}{\partial t}$$

強制外力による入射波の境界条件

差分方程式 離散化基礎方程式に適用した方向で時間ステップの取り方

変化したADI法で次の2段階の差分方程式を連立する

ステップ1 (1方向)  
x方向の差分に對して  $n+1$  ステップでの未知数  $\tilde{u}^{n+1}$  を含み離散化して

$$\frac{\bar{\alpha}_{i+1} - \bar{\alpha}_{i-1}}{2\Delta x} \left\{ \frac{\tilde{u}_{i+1}^{n+1} - \tilde{u}_{i-1}^{n+1}}{2\Delta x} \right\} + \bar{\alpha}_i \left\{ \frac{\tilde{u}_{i+1}^{n+1} - 2\tilde{u}_i^{n+1} + \tilde{u}_{i-1}^{n+1}}{\Delta x^2} + \frac{\tilde{u}_{i+1}^n - 2\tilde{u}_i^n + \tilde{u}_{i-1}^n}{\Delta y^2} \right\}$$

$$+ i \frac{\beta_{i+1} - \beta_{i-1}}{2\Delta x} \left\{ \frac{\tilde{u}_{i+1}^{n+1} - \tilde{u}_{i-1}^{n+1}}{2\Delta x \Delta t} - (\tilde{u}_{i+1}^n - \tilde{u}_{i-1}^n) \right\}$$

$$+ i \bar{\beta}_i \left\{ \frac{\tilde{u}_{i+1}^{n+1} - 2\tilde{u}_i^{n+1} + \tilde{u}_{i-1}^{n+1}}{\Delta x^2 \Delta t} - (\tilde{u}_{i+1}^n - 2\tilde{u}_i^n + \tilde{u}_{i-1}^n) \right\} + \frac{(\tilde{u}_{i+1}^n - 2\tilde{u}_i^n + \tilde{u}_{i-1}^n) - (\tilde{u}_{i+1}^{n-1} - 2\tilde{u}_i^{n-1} + \tilde{u}_{i-1}^{n-1})}{\Delta y^2 \Delta t}$$

$$+ k^2 \bar{\alpha}_i \frac{\tilde{u}_{i+1}^{n+1} + \tilde{u}_{i-1}^{n+1}}{2} + i \bar{\beta}'_i \frac{\tilde{u}_{i+1}^{n+1} - \tilde{u}_{i-1}^{n+1}}{\Delta t} = C_{in}$$

$$\therefore A_{ij} \tilde{u}_{i-1}^{n+1} + B_{ij} \tilde{u}_i^{n+1} + C_{ij} \tilde{u}_{i+1}^{n+1} = D_{ij}$$

∴

$$A_{ij} = -\frac{\bar{\alpha}_{i+1} - \bar{\alpha}_{i-1}}{4\Delta x^2} + \frac{\bar{\alpha}_i}{\Delta x^2} - i \frac{\beta_{i+1} - \beta_{i-1}}{4\Delta x^2 \Delta t} + \frac{i \bar{\beta}_i}{\Delta x^2 \Delta t}$$

$$B_{ij} = -\frac{2\bar{\alpha}_i}{\Delta x^2} - i \frac{2\beta_i}{\Delta x^2 \Delta t} + \frac{k^2 \bar{\alpha}_i}{2} + \frac{i \bar{\beta}'_i}{\Delta t}$$

$$C_{ij} = \frac{\bar{\alpha}_{i+1} - \bar{\alpha}_{i-1}}{4\Delta x^2} + \frac{\bar{\alpha}_i}{\Delta x^2} + i \frac{\beta_{i+1} - \beta_{i-1}}{4\Delta x^2 \Delta t} + \frac{i \bar{\beta}_i}{\Delta x^2 \Delta t}$$

$$D_{ij} = -\bar{\alpha}_i \frac{(\tilde{u}_{i+1}^n - 2\tilde{u}_i^n + \tilde{u}_{i-1}^n)}{\Delta y^2} + i \frac{\beta_{i+1} - \beta_{i-1}}{2\Delta x} \times \frac{\tilde{u}_{i+1}^{n+1} - \tilde{u}_{i-1}^{n+1}}{2\Delta x \Delta t}$$

$$+ i \bar{\beta}_i \left\{ \frac{(\tilde{u}_{i+1}^n - 2\tilde{u}_i^n + \tilde{u}_{i-1}^n)}{\Delta x^2 \Delta t} - \frac{(\tilde{u}_{i+1}^n - 2\tilde{u}_i^n + \tilde{u}_{i-1}^n) - (\tilde{u}_{i+1}^{n-1} - 2\tilde{u}_i^{n-1} + \tilde{u}_{i-1}^{n-1})}{\Delta y^2 \Delta t} \right\}$$

$$- k^2 \bar{\alpha}_i \frac{\tilde{u}_{i+1}^n + \tilde{u}_{i-1}^n}{2} + i \bar{\beta}'_i \frac{\tilde{u}_{i+1}^n - \tilde{u}_{i-1}^n}{\Delta t} + \left\{ \begin{array}{l} C_{in} \frac{\tilde{u}_{i+1}^n - \tilde{u}_{i-1}^n}{2\Delta y} \\ - i \frac{\beta_{i+1} - \beta_{i-1}}{2\Delta y} \left\{ \frac{\tilde{u}_{i+1}^n - \tilde{u}_{i-1}^n}{2\Delta y \Delta t} - (\tilde{u}_{i+1}^{n-1} - \tilde{u}_{i-1}^{n-1}) \right\} \end{array} \right\}$$

$\Delta x \neq \Delta y$  且  $\Delta x^2 \neq \Delta y^2$

$\Delta x = \Delta y = \Delta z$

兩邊乘  $\Delta x^2 \Delta t$  及  $\Delta y^2 \Delta t$  得

$A_{ij} = -(\bar{d}_{i+1} - \bar{d}_{i-1})\Delta t + 4\bar{d}_i \Delta t - i(\beta_{i+1} - \beta_{i-1}) + 4i\bar{\beta}_i$

$= (\bar{d}_{i-1} + 4\bar{d}_i - \bar{d}_{i+1})\Delta t + i(\beta_{i-1} + 4\beta_i - \beta_{i+1})$

$B_{ij} = -2\bar{d}_i \Delta t - 4i \cdot 2\bar{\beta}_i + 2\Delta t \alpha^2 k^2 \bar{d}_i' + i \cdot 4\alpha^2 \bar{d}_i'$   
 $= -2\bar{d}_i \Delta t - 8i\bar{\beta}_i + 2\Delta t \alpha^2 k^2 \bar{d}_i' + i \cdot 4\alpha^2 \bar{d}_i'$

$C_{ij} = (\bar{d}_{i+1} - \bar{d}_{i-1})\Delta t + 4\bar{d}_i \Delta t + i(\beta_{i+1} - \beta_{i-1} + 4\beta_i)$   
 $= (-\bar{d}_{i-1} + 4\bar{d}_i + \bar{d}_{i+1})\Delta t + i(-\beta_{i-1} + 4\beta_i + \beta_{i+1})$

$D_{ij} = -4\bar{d}_i \Delta t (\tilde{m}_{ij+1}^n - 2\tilde{m}_{ij}^n + \tilde{m}_{ij-1}^n) + i(\beta_{i+1} - \beta_{i-1})(\tilde{m}_{i+j}^n - \tilde{m}_{i-j}^n)$   
 $+ i \cdot 4\beta_i \{ (\tilde{m}_{i-j}^n - 2\tilde{m}_{ij}^n + \tilde{m}_{i+j}^n) - (\tilde{m}_{ij-1}^n - 2\tilde{m}_{ij}^n + \tilde{m}_{ij+1}^n) + (\tilde{m}_{ij-1}^n - 2\tilde{m}_{ij}^n + \tilde{m}_{ij+1}^n) \}$   
 $+ 2\Delta t \alpha^2 k^2 \bar{d}_i' \tilde{m}_{ij}^n + i \cdot 4\alpha^2 \bar{d}_i' \tilde{m}_{ij}^n + C_{in}$

分別求

- $A_{ij} \rightarrow AA(z, J)$
- $B_{ij} \rightarrow BB(z, J) + \frac{k^2 \bar{d}_i'}{2} + \frac{i \bar{d}_i'}{\Delta t}$
- $C_{ij} \rightarrow CC(z, J)$

- $D_{ij} \rightarrow$
- DD1 (z, J)  $\times \tilde{m}_{ij-1}^n$
- DD2 (z, J)  $\times \tilde{m}_{ij+1}^n$
- DD3 (z, J)  $\times \tilde{m}_{ij}^n$
- DD4 (z, J)  $\times \tilde{m}_{i-1}^n$
- DD5 (z, J)  $\times \tilde{m}_{i+1}^n$
- DD6 (z, J)  $\times \tilde{m}_{i-j-1}^n$
- DD7 (z, J)  $\times \tilde{m}_{i-j}^n$
- DD8 (z, J)  $\times \tilde{m}_{i-j+1}^n$

$A_{ij} = (\bar{d}_{i-1} + 4\bar{d}_i - \bar{d}_{i+1})\Delta t + i(\beta_{i-1} + 4\beta_i - \beta_{i+1})$

$B_{ij} = -2\bar{d}_i \Delta t - 8i\beta_i + 2\Delta t \alpha^2 k^2 \bar{d}_i' + i \cdot 4\alpha^2 \bar{d}_i'$

$C_{ij} = (-\bar{d}_{i-1} + 4\bar{d}_i + \bar{d}_{i+1})\Delta t + i(-\beta_{i-1} + 4\beta_i + \beta_{i+1})$

$D_{ij} = i(\beta_{i-1} + 4\beta_i - \beta_{i+1}) \tilde{m}_{i-j}^n$   
 $+ (2\bar{d}_i \Delta t - 2\Delta t \alpha^2 k^2 \bar{d}_i' + i \cdot 4\alpha^2 \bar{d}_i') \tilde{m}_{ij}^n$   
 $+ i(-\beta_{i-1} + 4\beta_i + \beta_{i+1}) \tilde{m}_{i+j}^n$   
 $+ (-4\Delta t \bar{d}_i - i \cdot 4\beta_i) \tilde{m}_{ij-1}^n$   
 $+ (-4\Delta t \bar{d}_i - i \cdot 4\beta_i) \tilde{m}_{ij+1}^n$   
 $+ i \cdot 4\beta_i \tilde{m}_{ij-1}^n - i \cdot 8\beta_i \tilde{m}_{ij}^n + i \cdot 4\beta_i \tilde{m}_{ij+1}^n + C_{in}$

$D_{ij} = \tilde{m}_{ij-1}^n \times \left[ \left( -\frac{\bar{d}_i}{\Delta y^2} - i \frac{\beta_i}{\Delta y^2 \Delta t} \right) + \left( \frac{\alpha_{j+1} - \alpha_{j-1}}{2\Delta y^2} + \frac{i(\beta_{j+1} - \beta_{j-1})}{2\Delta y^2 \Delta t} \right) \right]$   
 $+ \tilde{m}_{ij+1}^n \times \left[ \left( -\frac{\bar{d}_i}{\Delta y^2} - i \frac{\beta_i}{\Delta y^2 \Delta t} \right) + \left( -\frac{\alpha_{j+1} - \alpha_{j-1}}{2\Delta y^2} + \frac{i(\beta_{j+1} - \beta_{j-1})}{2\Delta y^2 \Delta t} \right) \right]$   
 $+ \tilde{m}_{ij}^n \times \left( \frac{2\bar{d}_i}{\Delta y^2} - i \frac{2\beta_i}{\Delta x^2 \Delta t} + i \frac{2\beta_i}{\Delta y^2 \Delta t} - \frac{k^2 \bar{d}_i'}{2} + i \frac{\bar{d}_i'}{\Delta t} \right)$   
 $+ \tilde{m}_{i-j}^n \times \left( -i \frac{\beta_{i+1} - \beta_{i-1}}{2\Delta x^2 \Delta t} + i \frac{\beta_i}{\Delta x^2 \Delta t} \right)$   
 $+ \tilde{m}_{i+j}^n \times \left( i \frac{\beta_{i+1} - \beta_{i-1}}{2\Delta x^2 \Delta t} + i \frac{\beta_i}{\Delta x^2 \Delta t} \right)$   
 $+ \tilde{m}_{i-j-1}^n \times \left[ \left( \frac{i\beta_i}{\Delta y^2 \Delta t} \right) + \frac{i(\beta_{i+1} - \beta_{i-1})}{2\Delta y^2 \Delta t} \right]$   
 $+ \tilde{m}_{i-j}^n \times \left( -\frac{i \cdot 2\beta_i}{\Delta y^2 \Delta t} \right)$   
 $+ \tilde{m}_{i-j+1}^n \times \left[ \left( \frac{i\beta_i}{\Delta y^2 \Delta t} \right) + \frac{i(\beta_{i+1} - \beta_{i-1})}{2\Delta y^2 \Delta t} \right]$

$$\alpha \rightarrow \bar{\alpha} \quad n \rightarrow \tilde{n}$$

ステップ2 (方向)の差分に対して  $n+2$  ステップ2の初期値  $\tilde{\eta}^{n+2}$  を含む離散化を行う

$$\frac{\alpha_{i+1} - \alpha_{i-1}}{2\Delta x} \left\{ \frac{\eta_{i+1,j}^{n+1} - \eta_{i,j}^{n+1}}{2\Delta x} \right\} + \alpha_i \left\{ \frac{\eta_{i,j}^{n+1} - 2\eta_{i,j}^{n+1} + \eta_{i+1,j}^{n+1}}{\Delta x^2} + \frac{\eta_{i,j}^{n+2} - 2\eta_{i,j}^{n+2} + \eta_{i+1,j}^{n+2}}{\Delta y^2} \right\}$$

$$+ i \frac{\beta_{i+1} - \beta_{i-1}}{2\Delta x} \left\{ \frac{(\eta_{i+1,j}^{n+1} - \eta_{i,j}^{n+1}) - (\eta_{i+1,j}^n - \eta_{i,j}^n)}{2\Delta x \Delta t} \right\}$$

$$+ i\beta_i \left\{ \frac{(\eta_{i-1,j}^{n+1} - 2\eta_{i,j}^{n+1} + \eta_{i+1,j}^{n+1}) - (\eta_{i-1,j}^n - 2\eta_{i,j}^n + \eta_{i+1,j}^n)}{\Delta x^2 \Delta t} + \frac{(\eta_{i,j}^{n+2} - 2\eta_{i,j}^{n+2} + \eta_{i+1,j}^{n+2}) - (\eta_{i,j}^{n+1} - 2\eta_{i,j}^{n+1} + \eta_{i+1,j}^{n+1})}{\Delta y^2 \Delta t} \right\}$$

$$+ k^2 \alpha_i' \frac{\eta_{i,j}^{n+2} + \eta_{i,j}^{n+1}}{2} + i\beta_i' \frac{\eta_{i,j}^{n+2} - \eta_{i,j}^{n+1}}{\Delta t} = C_{in}$$

∴

$$E_{ij} \eta_{i,j-1}^{n+2} + F_{ij} \eta_{i,j}^{n+2} + G_{ij} \eta_{i,j+1}^{n+2} = H_{ij}$$

$$E_{ij} = \frac{\alpha_i}{\Delta y^2} + \frac{i\beta_i}{\Delta y^2 \Delta t} \left[ \frac{-(\alpha_{i+1} - \alpha_{i-1})}{4\Delta y^2} + \frac{-i(\beta_{i+1} - \beta_{i-1})}{4\Delta y^2 \Delta t} \right]$$

$$F_{ij} = -\frac{2\alpha_i}{\Delta y^2} - \frac{i2\beta_i}{\Delta y^2 \Delta t} + \frac{k^2 \alpha_i'}{2} + \frac{i\beta_i'}{\Delta t}$$

$$G_{ij} = \frac{\alpha_i}{\Delta y^2} + \frac{i\beta_i}{\Delta y^2 \Delta t} \left[ \frac{\alpha_{i+1} - \alpha_{i-1}}{4\Delta y^2} + i \frac{(\beta_{i+1} - \beta_{i-1})}{4\Delta y^2 \Delta t} \right]$$

$$H_{ij} = -\frac{(\alpha_{i+1} - \alpha_{i-1})}{2\Delta x} \left\{ \frac{\eta_{i+1,j}^{n+1} - \eta_{i,j}^{n+1}}{2\Delta x} \right\} - \alpha_i \left\{ \frac{\eta_{i,j}^{n+1} - 2\eta_{i,j}^{n+1} + \eta_{i+1,j}^{n+1}}{\Delta x^2} \right\}$$

$$- i \frac{(\beta_{i+1} - \beta_{i-1})}{2\Delta x} \left\{ \frac{(\eta_{i+1,j}^{n+1} - \eta_{i,j}^{n+1}) - (\eta_{i+1,j}^n - \eta_{i,j}^n)}{2\Delta x \Delta t} \right\}$$

$$- i\beta_i \left\{ \frac{(\eta_{i-1,j}^{n+1} - 2\eta_{i,j}^{n+1} + \eta_{i+1,j}^{n+1}) - (\eta_{i-1,j}^n - 2\eta_{i,j}^n + \eta_{i+1,j}^n)}{\Delta x^2 \Delta t} - \frac{(\eta_{i,j}^{n+2} - 2\eta_{i,j}^{n+2} + \eta_{i+1,j}^{n+2})}{\Delta y^2 \Delta t} \right\}$$

$$- k^2 \alpha_i' \frac{\eta_{i,j}^{n+1}}{2} + i\beta_i' \frac{\eta_{i,j}^{n+1}}{\Delta t} + C_{in}$$

$$+ \frac{i(\beta_{i+1} - \beta_{i-1})}{2\Delta y} \left( \frac{\eta_{i+1,j}^{n+1} - \eta_{i,j}^{n+1}}{2\Delta y \Delta t} \right)$$

70/50E

$$\begin{aligned} E_{ij} &\rightarrow EE(\tau, \mathcal{J}) \\ F_{ij} &\rightarrow FFZ(\tau, \mathcal{J}) + \frac{k^2 \alpha_i'}{2} + \frac{i\beta_i'}{\Delta t} \\ G_{ij} &\rightarrow GZ(\tau, \mathcal{J}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} H_{ij} &= HH1(\tau, \mathcal{J}) \times \tilde{\eta}_{i-1,j}^{n+1} \\ &= HH2(\tau, \mathcal{J}) \times \tilde{\eta}_{i+1,j}^{n+1} \\ &= HH3(\tau, \mathcal{J}) \times \tilde{\eta}_{i,j}^{n+1} \\ &= HH4(\tau, \mathcal{J}) \times \tilde{\eta}_{i,j-1}^{n+1} \\ &= HH5(\tau, \mathcal{J}) \times \tilde{\eta}_{i,j+1}^{n+1} \\ &= HH6(\tau, \mathcal{J}) \times \tilde{\eta}_{i-1,j}^n \\ &= HH7(\tau, \mathcal{J}) \times \tilde{\eta}_{i,j}^n \\ &= HH8(\tau, \mathcal{J}) \times \tilde{\eta}_{i+1,j}^n \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} H_{ij} &= \tilde{\eta}_{i-1,j}^{n+1} \times \left( \frac{\alpha_{i+1} - \alpha_{i-1}}{4\Delta x^2} - \frac{\alpha_i}{\Delta x^2} + i \frac{\beta_{i+1} - \beta_{i-1}}{4\Delta x^2 \Delta t} - \frac{i\beta_i}{\Delta x^2 \Delta t} \right) \\ &- \tilde{\eta}_{i+1,j}^{n+1} \times \left( \frac{\alpha_{i+1} - \alpha_{i-1}}{4\Delta x^2} + \frac{\alpha_i}{\Delta x^2} + i \frac{\beta_{i+1} - \beta_{i-1}}{4\Delta x^2 \Delta t} + \frac{i\beta_i}{\Delta x^2 \Delta t} \right) \\ &+ \tilde{\eta}_{i,j}^{n+1} \times \left( \frac{2\alpha_i}{\Delta x^2} + i \frac{2\beta_i}{\Delta x^2 \Delta t} - i \frac{2\beta_i}{\Delta y^2 \Delta t} - \frac{k^2 \alpha_i'}{2} + \frac{i\beta_i'}{\Delta t} \right) \\ &+ \tilde{\eta}_{i,j-1}^{n+1} \times \left[ \left( \frac{i\beta_i}{2\Delta y^2 \Delta t} \right) - \frac{i(\beta_{i+1} - \beta_{i-1})}{4\Delta y^2 \Delta t} \right] \\ &+ \tilde{\eta}_{i,j+1}^{n+1} \times \left[ \left( \frac{i\beta_i}{2\Delta y^2 \Delta t} \right) + \frac{i(\beta_{i+1} - \beta_{i-1})}{4\Delta y^2 \Delta t} \right] \\ &+ \tilde{\eta}_{i-1,j}^n \times \left( -i \frac{\beta_{i+1} - \beta_{i-1}}{4\Delta x^2 \Delta t} + i \frac{\beta_i}{\Delta x^2 \Delta t} \right) \\ &- \tilde{\eta}_{i,j}^n \times \left( i \frac{2\beta_i}{\Delta x^2 \Delta t} \right) \\ &+ \tilde{\eta}_{i+1,j}^n \times \left( i \frac{\beta_{i+1} - \beta_{i-1}}{4\Delta x^2 \Delta t} + i \frac{\beta_i}{\Delta x^2 \Delta t} \right) \end{aligned}$$

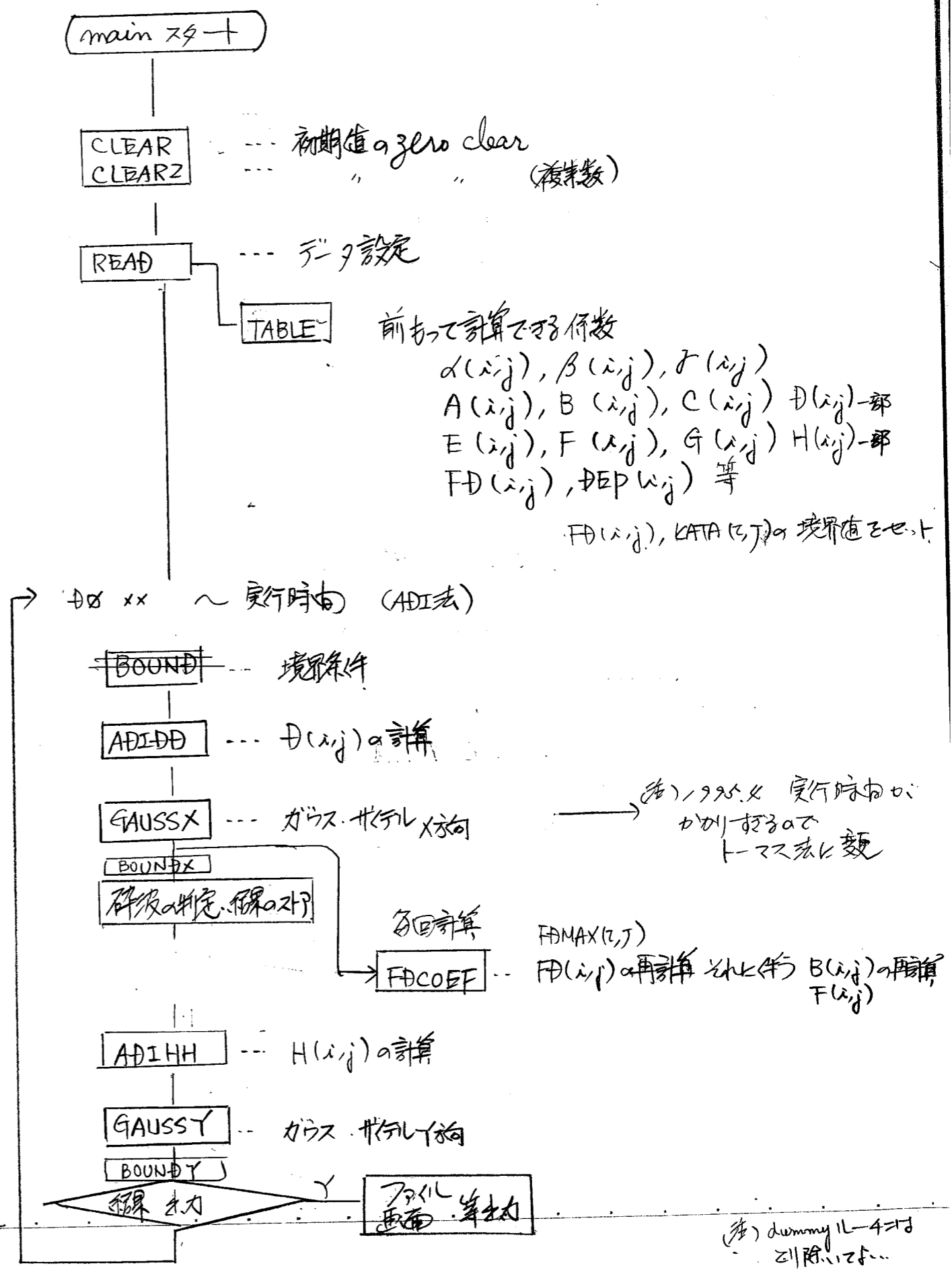
収束条件  
 $\|q_0 - q_1\| = \|(a_0 + b_0i) - (a_1 + b_1i)\|$   
 $= \sqrt{(a_0 - a_1)^2 + (b_0 - b_1)^2} \leq \epsilon \rightarrow$  収束

複素数  $CABS(z)$   
 $z = x_1 + x_2i$   
 $y = |z| = (x_1^2 + x_2^2)^{1/2}$

複素数  
 $z = x + yi$   
 $|z| = \sqrt{x^2 + y^2}$   
 $e^z = e^{x+yi} = e^x \cos y + ie^x \sin y$   
 $\sin z = \sin(x+yi) = \frac{e^{y+i} - e^{-y-i}}{2} \sin x + i \frac{e^y - e^{-y}}{2} \cos x$   
 $\sqrt{z} = \sqrt{x+yi} = u + iv$   
 $u = \left( \frac{\sqrt{x^2+y^2} + x}{2} \right)^{1/2}$   
 $v = \frac{y}{2u}$

$(a+bi)(c+di) = (ac-bd) + (ad+bc)i$   
 $\frac{a+bi}{c+di} = \frac{ac+bd}{c^2+d^2} + \frac{bc-ad}{c^2+d^2}i \quad (c+di \neq 0)$

$e^{iy} * e^{-iy} = 1$   
 $e^{iy} = e^0 \cos y + ie^0 \sin y = \cos y + i \sin y$   
 $e^{-iy} = e^0 (\cos(-y)) + ie^0 (\sin(-y)) = \cos y - i \sin y$   
 $\therefore (\cos y + i \sin y)(\cos y - i \sin y) = \cos^2 y + \sin^2 y = 1$





FD MAX(I, J)  $S_{Dmax}$  の計算

砕波  $\alpha$  定義

$$h_b = 0.53 - 0.3 \exp(-3\sqrt{\frac{d_b}{L_0}}) + 5.3 \tan^3 \beta \exp(-45(\sqrt{\frac{d_b}{L_0}} - 0.1)^2)$$

$\tan \beta$ : 海底勾配  
 $L_0$ : 沖波波長  
 $d_b$ : 水深

$h_b = 0.8 \times h_b'$  (規則波  $\alpha$  80%)

砕波時 波頂位置で、振幅  $|\eta|$  と水深  $d$  の比  $\alpha = |\eta|/d$  である

$t > t_b$  の時 砕波時

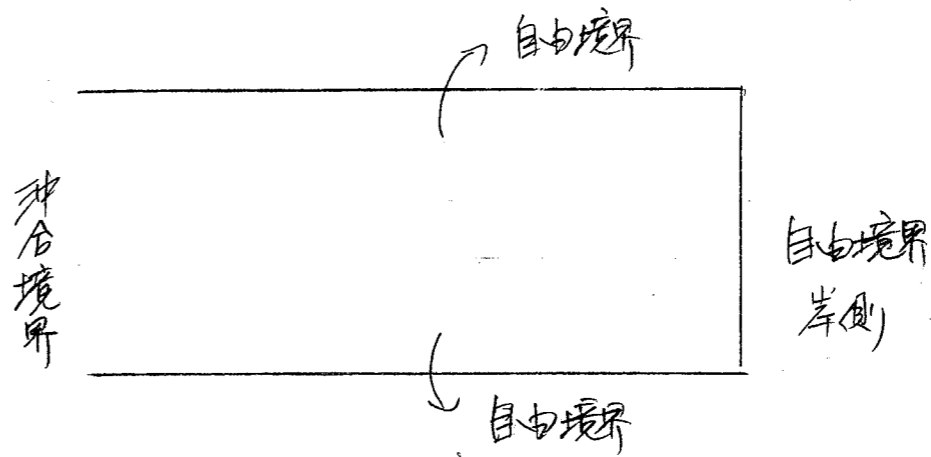
砕波減衰係数の計算

$$S_{Dmax} = 5/2 \tan \beta \sqrt{\frac{1}{k_0 d}} \sqrt{\frac{t - t_r}{t_s - t_r}}$$

$t_s = 0.4 \times (0.57 + 5.3 \tan \beta)$   
 $t_r = 0.135$

$d$ : 水深  
 $k_0$ : 沖波波数  
 $t_r$ : 波再生

境界条件



自由境界

$$\frac{\partial \eta}{\partial x} = -\frac{1}{\sqrt{gd}} \frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{i\bar{\omega}}{\sqrt{gd}} \eta$$

$d$ : 水深  
 $g$ : 重力  
 $\bar{\omega}$  代表角周波数

$i = N_x + 1$ : 境界

$$\frac{\eta_{N_x+1}^{n+1} - \eta_{N_x-1}^{n+1}}{2\Delta x} = -\frac{1}{\sqrt{gd}} \frac{\eta_{N_x}^{n+1} - \eta_{N_x}^n}{\Delta t} + \frac{i\bar{\omega}}{\sqrt{gd}} \eta_{N_x}^{n+1}$$

$$\eta_{N_x+1}^{n+1} = -\frac{2\Delta x}{\sqrt{gd} \cdot \Delta t} (\eta_{N_x}^{n+1} - \eta_{N_x}^n) + \frac{i \cdot 2\Delta x \cdot \bar{\omega}}{\sqrt{gd}} \eta_{N_x}^{n+1} + \eta_{N_x-1}^{n+1}$$

ここで  $A_{N_x+1} \eta_{N_x-1}^{n+1} + B_{N_x+1} \eta_{N_x}^{n+1} + C_{N_x+1} \eta_{N_x+1}^{n+1} = D_{N_x+1}$

$A_{N_x+1} = -\sqrt{gd} \Delta t$

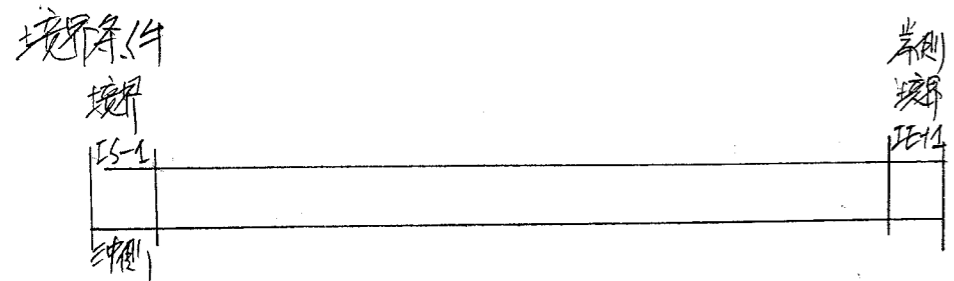
$B_{N_x+1} = 2\Delta x - 2i\bar{\omega} \Delta x \Delta t$

$C_{N_x+1} = \sqrt{gd} \Delta t$

$D_{N_x+1} = 2\Delta x \eta_{N_x}^n$

$$\begin{bmatrix} A_{i-1} & B_{i-1} & C_{i-1} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ A_{N_x+1} & B_{N_x+1} & C_{N_x+1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \eta_{i-1}^{n+1} \\ \eta_{i-1}^n \\ \eta_{i-1}^{n-1} \\ \vdots \\ \eta_{N_x-1}^{n+1} \\ \eta_{N_x}^{n+1} \\ \eta_{N_x}^n \\ \eta_{N_x}^{n-1} \\ \eta_{N_x+1}^{n+1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} D_{i-1} \\ \vdots \\ D_{N_x+1} \end{bmatrix}$$

沖側 ( $i-1 = \text{Boundary}$ )  
 $A_{i-1} \eta_{i-1}^{n+1} + B_{i-1} \eta_{i-1}^n + C_{i-1} \eta_{i-1}^{n-1} = D_{i-1}$   
 $A_{i-1} = 1$   
 $B_{i-1} = 0$   
 $C_{i-1} = 0$   
 $D_{i-1} = \eta_{i-1}^{n+1}$



岸側: 自由液面と底面  
 上下側  $\frac{\partial \eta}{\partial x} = -\frac{1}{\sqrt{gd}} \frac{\partial \tilde{\eta}}{\partial t} + \frac{i\omega}{\sqrt{gd}} \tilde{\eta}$

沖側 入射型  $\tilde{\eta} = \tilde{\eta}_{in}$  (5.23)

→ ↑ J方向

$$\begin{bmatrix} A_1 & B_1 & C_1 \\ A_2 & B_2 & C_2 \\ A_3 & B_3 & C_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \eta_1 \\ \eta_2 \\ \eta_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} D_1 \\ D_2 \\ D_3 \end{bmatrix}$$

J方向  
 $A_1 \rightarrow E_1$   
 $B_1 \rightarrow F_1$   
 $C_1 \rightarrow G_1$   
 $D_1 \rightarrow H_1$   
 とおきかえればよい

C1 ≠ 0 可決

C1 ≠ 0 可決

$$A_1 \eta_1 + B_1 \eta_2 + C_1 \eta_3 = D_1$$

C1 ≠ 0 可決

$$\frac{A_1}{C_1} + \frac{B_1}{C_1} + 1 = \frac{D_1}{C_1}$$

(-C2) ≠ 0 可決

$$\frac{A_1}{C_1}(-C_2) + \frac{B_1}{C_1}(-C_2) - C_2 = \frac{D_1}{C_1}(-C_2)$$

+

$$\frac{A_2}{C_1} + \frac{B_2}{C_1} + \frac{B_1}{C_1}(-C_2) = \frac{D_2}{C_1} + \frac{D_1}{C_1}(-C_2)$$

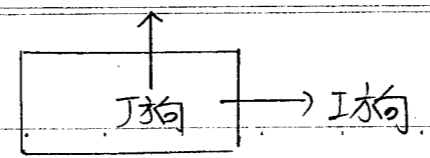
B' ≠ 0 可決

$$\frac{A_2}{C_1} + \frac{B_2}{C_1} + \frac{B_1}{C_1}(-C_2) = \frac{D_2}{C_1} + \frac{D_1}{C_1}(-C_2)$$

B' ≠ 0 可決

$$\frac{A_2}{C_1} + \frac{B_2}{C_1} + \frac{B_1}{C_1}(-C_2) = \frac{D_2}{C_1} + \frac{D_1}{C_1}(-C_2)$$

(2)



$$\begin{bmatrix} A_{n-1} & B_{n-1} & C_{n-1} \\ A_n & B_n & C_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \eta_{n-2} \\ \eta_{n-1} \\ \eta_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} D_{n-2} \\ D_{n-1} \\ D_n \end{bmatrix}$$

J方向  
 $A_n \rightarrow E_n$   
 $B_n \rightarrow F_n$   
 $C_n \rightarrow G_n$   
 $D_n \rightarrow H_n$   
 とおきかえればよい

An ≠ 0 可決

$$A_n \eta_{n-2} + B_n \eta_{n-1} + C_n \eta_n = D_n$$

An ≠ 0 可決

$$1 + \frac{B_n}{A_n} + \frac{C_n}{A_n} = \frac{D_n}{A_n}$$

(-An-1) ≠ 0 可決

$$\frac{A_{n-1}}{A_n} + \frac{B_{n-1}}{A_n} + \frac{C_{n-1}}{A_n} = \frac{D_{n-1}}{A_n}$$

+

$$\frac{A_{n-1}}{A_n} + \frac{B_{n-1}}{A_n} + \frac{C_{n-1}}{A_n} = \frac{D_{n-1}}{A_n}$$

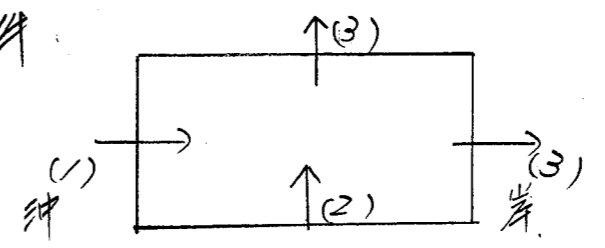
0

$$\frac{B_{n-1}}{A_n} + \frac{C_{n-1}}{A_n} = \frac{D_{n-1}}{A_n} - \frac{A_{n-1}}{A_n}$$

A' ≠ 0 可決

$$\frac{B_{n-1}}{A_n} + \frac{C_{n-1}}{A_n} = \frac{D_{n-1}}{A_n} - \frac{A_{n-1}}{A_n}$$

境界条件



場所kにて境界条件  
 Thomas法 (マトリックス) を  
 解く 必要

計算領域

IS ~ IET+1  
 JS-1 ~ JET+1

但し JET+1 の時 C' の計算を行わなければならない  
 0 ≤ i < j

(2)

ト-マズ法

A (2H) の場合  
係数を以下のように操作して解く

$$\begin{bmatrix} b_1 & c_1 \\ a_2 & b_2 & c_2 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{N-1} & b_{N-1} & c_{N-1} \\ a_N & b_N & c_N \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \eta_1 \\ \eta_2 \\ \vdots \\ \eta_{N-1} \\ \eta_N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} d_1 \\ d_2 \\ \vdots \\ d_{N-1} \\ d_N \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} 1 & c'_1 \\ & 1 & c'_2 \\ & & \vdots \\ & & 1 & c'_{N-1} \\ & & & 1 & c'_N \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \eta_1 \\ \eta_2 \\ \vdots \\ \eta_N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} d'_1 \\ d'_2 \\ \vdots \\ d'_N \end{bmatrix}$$

1番目の変換は

$$c'_1 = \frac{c_1}{b_1}$$

$$d'_1 = \frac{d_1}{b_1}$$

2番目の変換は

$$c'_2 = \frac{c_2}{b_2 - a_2 c'_1}$$

$$d'_2 = \frac{d_2 - a_2 d'_1}{b_2 - a_2 c'_1}$$

例,  
 $\eta_{i+1} \eta_{N+3}$   
順次求める

$$\eta_N = d'_N$$

$$\eta_i = d'_i - \eta_{i+1} c'_i$$

ト-マズ法 悪条件化 (対角の誤差)

を避けるため

$$|b_i| > |a_i| + |c_i|$$

必要条件

入射角の境界条件

$$\frac{\partial \bar{\alpha}}{\partial x} \frac{\partial \tilde{\eta}}{\partial x} + \frac{\partial \bar{\alpha}}{\partial y} \frac{\partial \tilde{\eta}}{\partial y} + \bar{\alpha} \left( \frac{\partial^2 \tilde{\eta}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \tilde{\eta}}{\partial y^2} \right) + i \frac{\partial \bar{\beta}}{\partial x} \frac{\partial \tilde{\eta}}{\partial x \partial t} + i \frac{\partial \bar{\beta}}{\partial y} \frac{\partial \tilde{\eta}}{\partial y \partial t} + i \bar{\beta} \left( \frac{\partial^2 \tilde{\eta}}{\partial x \partial t} + \frac{\partial^2 \tilde{\eta}}{\partial y \partial t} \right) + \bar{k}^2 \bar{\alpha}' \tilde{\eta} + i \bar{\beta}' \frac{\partial \tilde{\eta}}{\partial t} = C_{in}$$

$$\bar{\alpha}' = \bar{\alpha} (1 + i f_0)$$

$$\bar{\beta}' = \bar{\beta} (1 + i f_0)$$

と離散化して

$$C_{in} = \frac{\partial \bar{\alpha}}{\partial x} \frac{\partial \tilde{\eta}_{in}}{\partial x} + \frac{\partial \bar{\alpha}}{\partial y} \frac{\partial \tilde{\eta}_{in}}{\partial y} + \bar{\alpha} \left( \frac{\partial^2 \tilde{\eta}_{in}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \tilde{\eta}_{in}}{\partial y^2} \right) + i \frac{\partial \bar{\beta}}{\partial x} \frac{\partial \tilde{\eta}_{in}}{\partial x \partial t} + i \frac{\partial \bar{\beta}}{\partial y} \frac{\partial \tilde{\eta}_{in}}{\partial y \partial t} + i \bar{\beta} \left( \frac{\partial^2 \tilde{\eta}_{in}}{\partial x \partial t} + \frac{\partial^2 \tilde{\eta}_{in}}{\partial y \partial t} \right) + \bar{k}^2 \bar{\alpha}' \tilde{\eta}_{in} + i \bar{\beta}' \frac{\partial \tilde{\eta}_{in}}{\partial t}$$

$D(i,j)$   
 $H(i,j)$

既知の値から次のように微分係数を設定する

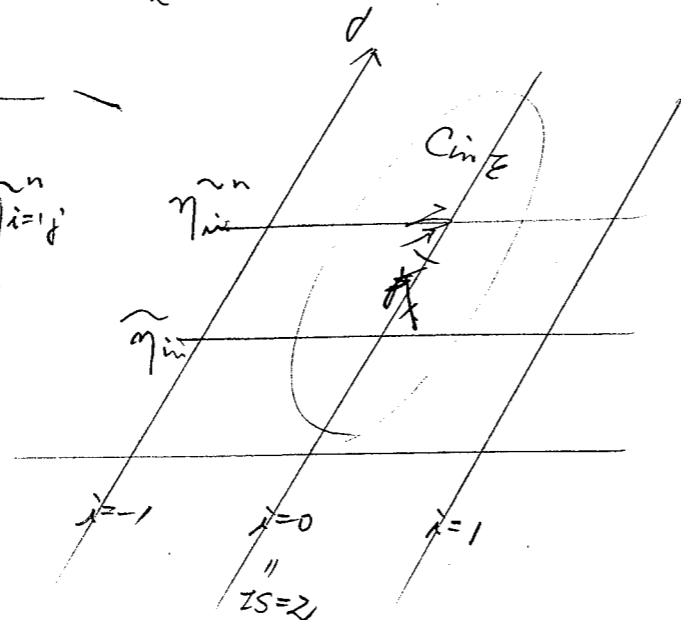
$$D(i,j), H(i,j) \in \lambda \text{ の } \tau \quad \left. \begin{matrix} 1 \leq i \leq n \\ 2 \leq j \leq n-1 \end{matrix} \right\} \eta \in \mathbb{R}$$

$$\frac{\partial \tilde{\eta}_{in}}{\partial x} = \frac{\tilde{\eta}_{i=0,j}^n - \tilde{\eta}_{i=-1,j}^n}{\Delta x} = \frac{\tilde{\eta}_{i=0,j}^n - \tilde{\eta}_{in}^n}{\Delta x}$$

$$\frac{\partial \tilde{\eta}_{in}}{\partial y} = \frac{\tilde{\eta}_{in,j+1}^n - \tilde{\eta}_{in,j-1}^n}{2 \Delta y}$$

$$\frac{\partial^2 \tilde{\eta}_{in}}{\partial x^2} = \frac{\tilde{\eta}_{i=-1,j}^n - 2\tilde{\eta}_{i=0,j}^n + \tilde{\eta}_{i=1,j}^n}{\Delta x^2}$$

$$\frac{\partial \tilde{\eta}_{in}}{\partial t} = \frac{\tilde{\eta}_{in}^n - \tilde{\eta}_{in}^{n-1}}{\Delta t}$$



$\bar{\alpha}_{i,j}$  は  $(i,j) \in \text{使用}$   
 $\bar{\beta}_{i,j}$

y 微分は  $i = i_s - 1$  で行うこと。

y 微分  $(i_s - 1, j)$   
で行う

$i_s - 1 = \text{Boundary}$

$$\frac{\alpha_{i_s} - \alpha_{i_s-1}}{\Delta x} \frac{\eta_{i_s}^n - \eta_{i_s-1}^n}{\Delta x} + \frac{\alpha_{i_s,j+1} - \alpha_{i_s,j-1}}{2 \Delta y} \frac{\eta_{i_s-1,j+1}^n - \eta_{i_s-1,j-1}^n}{2 \Delta y}$$

$$+ \alpha_{i_s,j} \left[ \frac{\eta_{i_s-1}^n - 2\eta_{i_s}^n + \eta_{i_s+1}^n}{\Delta x^2} + \frac{\eta_{i_s-1,j+1}^n - 2\eta_{i_s-1,j}^n + \eta_{i_s-1,j-1}^n}{\Delta y^2} \right]$$

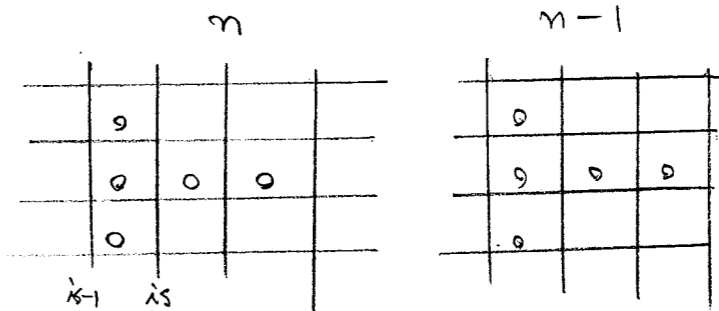
$$+ i \frac{\beta_{i_s} - \beta_{i_s-1}}{\Delta x} \left[ \frac{(\eta_{i_s}^n - \eta_{i_s-1}^n) - (\eta_{i_s}^{n-1} - \eta_{i_s-1}^{n-1})}{\Delta x \Delta t} \right]$$

$$+ i \frac{\beta_{i_s,j+1} - \beta_{i_s,j-1}}{2 \Delta y} \left[ \frac{(\eta_{i_s-1,j+1}^n - \eta_{i_s-1,j-1}^n) - (\eta_{i_s-1,j+1}^{n-1} - \eta_{i_s-1,j-1}^{n-1})}{2 \Delta y \Delta t} \right]$$

$$+ i \beta_{i_s,j} \left[ \frac{(\eta_{i_s-1}^n - 2\eta_{i_s}^n + \eta_{i_s+1}^n) - (\eta_{i_s-1}^{n-1} - 2\eta_{i_s}^{n-1} + \eta_{i_s+1}^{n-1})}{\Delta x^2 \Delta t} + \frac{(\eta_{i_s-1,j+1}^n - 2\eta_{i_s-1,j}^n + \eta_{i_s-1,j-1}^n) - (\eta_{i_s-1,j+1}^{n-1} - 2\eta_{i_s-1,j}^{n-1} + \eta_{i_s-1,j-1}^{n-1})}{\Delta y^2 \Delta t} \right]$$

$$+ \bar{k}^2 \bar{\alpha}'_{i,j} \eta_{i_s-1}^n$$

$$+ i \bar{\beta}' \frac{\eta_{i_s-1}^n - \eta_{i_s-1}^{n-1}}{\Delta t}$$



2007501 J方向のみと33

c1  $\eta_{is+1j}^n$

$$-\frac{\alpha_{isj} - \alpha_{is-1j}}{\Delta x^2} + \frac{\alpha_{isj}}{\Delta x^2} - \frac{2\alpha_{isj}}{\Delta y^2} - \frac{i(\beta_{isj} - \beta_{is-1j})}{\Delta x^2 \Delta t}$$

$$+ \frac{i\beta_{isj}}{\Delta x^2 \Delta t} - \frac{2i\beta_{isj}}{\Delta y^2 \Delta t} + k^2 \alpha_{isj} + \frac{i\alpha_{isj}'}{\Delta t}$$

~~c2~~  $\eta_{is+1j}^n$

$$-\frac{\alpha_{isj} - \alpha_{is-1j}}{\Delta x^2} - \frac{2\alpha_{isj}}{\Delta x^2} + \frac{i(\beta_{isj} - \beta_{is-1j})}{\Delta x^2 \Delta t} - \frac{2i\beta_{isj}}{\Delta x^2 \Delta t}$$

~~c3~~  $\eta_{is+1j}^n$

$$\frac{\alpha_{isj}'}{\Delta x^2} + \frac{i\beta_{isj}}{\Delta x^2 \Delta t}$$

c4  $\eta_{is-1j+1}^n$

$$-\frac{\alpha_{isj+1} - \alpha_{isj-1}}{4\Delta y^2} - \frac{i(\beta_{isj+1} - \beta_{isj-1})}{4\Delta y^2 \Delta t} + \frac{\alpha_{isj}'}{\Delta y^2} + \frac{i\beta_{isj}}{\Delta y^2 \Delta t}$$

c5  $\eta_{is+1j+1}^n$

$$\frac{\alpha_{isj+1} - \alpha_{isj-1}}{4\Delta y^2} + \frac{i(\beta_{isj+1} - \beta_{isj-1})}{4\Delta y^2 \Delta t} + \frac{\alpha_{isj}'}{\Delta y^2} + \frac{i\beta_{isj}}{\Delta y^2 \Delta t}$$

c6  $\eta_{is+1j}^{n-1}$

$$\frac{i(\beta_{isj} - \beta_{is-1j})}{\Delta x^2 \Delta t} - \frac{i\beta_{isj}}{\Delta x^2 \Delta t} + \frac{2i\beta_{isj}}{\Delta y^2 \Delta t} - \frac{i\alpha_{isj}'}{\Delta t}$$

~~c7~~  $\eta_{is+1j}^{n-1}$

$$-\frac{i(\beta_{isj} - \beta_{is-1j})}{\Delta x^2 \Delta t} + \frac{2i\beta_{isj}}{\Delta x^2 \Delta t}$$

~~c8~~  $\eta_{is+1j}^{n-1}$

$$-\frac{i\beta_{isj}}{\Delta x^2 \Delta t}$$

c9  $\eta_{is-1j+1}^{n-1}$

$$\frac{i(\beta_{isj+1} - \beta_{isj-1})}{4\Delta y^2 \Delta t} - \frac{i\beta_{isj}}{2\Delta y^2 \Delta t}$$

c10  $\eta_{is+1j+1}^{n-1}$

$$-\frac{i(\beta_{isj+1} - \beta_{isj-1})}{4\Delta y^2 \Delta t} - \frac{i\beta_{isj}}{\Delta y^2 \Delta t}$$

Δx, Δyの非定常係数配不規則移動の考慮

/adi/adisim.f

Y-スラッシュプログラム テータはプログラム内定義  
(入射方向の境界条件あり)

/adi/adisimcin.f

Y-スラッシュプログラム  
(入射方向の境界条件あり)

main

READ : テータ設定  
TABLE : 前もって計算する係数設定  $\alpha(i,j), \beta(i,j), t(i,j)$   
 $A(i,j), B(i,j), C(i,j), \epsilon, \theta(i,j)$  α-部  
 $E(i,j), F(i,j), G(i,j)$  と  $H(i,j)$  α-部  
 $FD(i,j), \theta EP(i,j), kATA(i,j)$   
入射方向のテータ  $CC1(i,j) \sim CC0(i,j)$  等

→) x x x ~ 実行時由

沖側入射級(境界値)設定

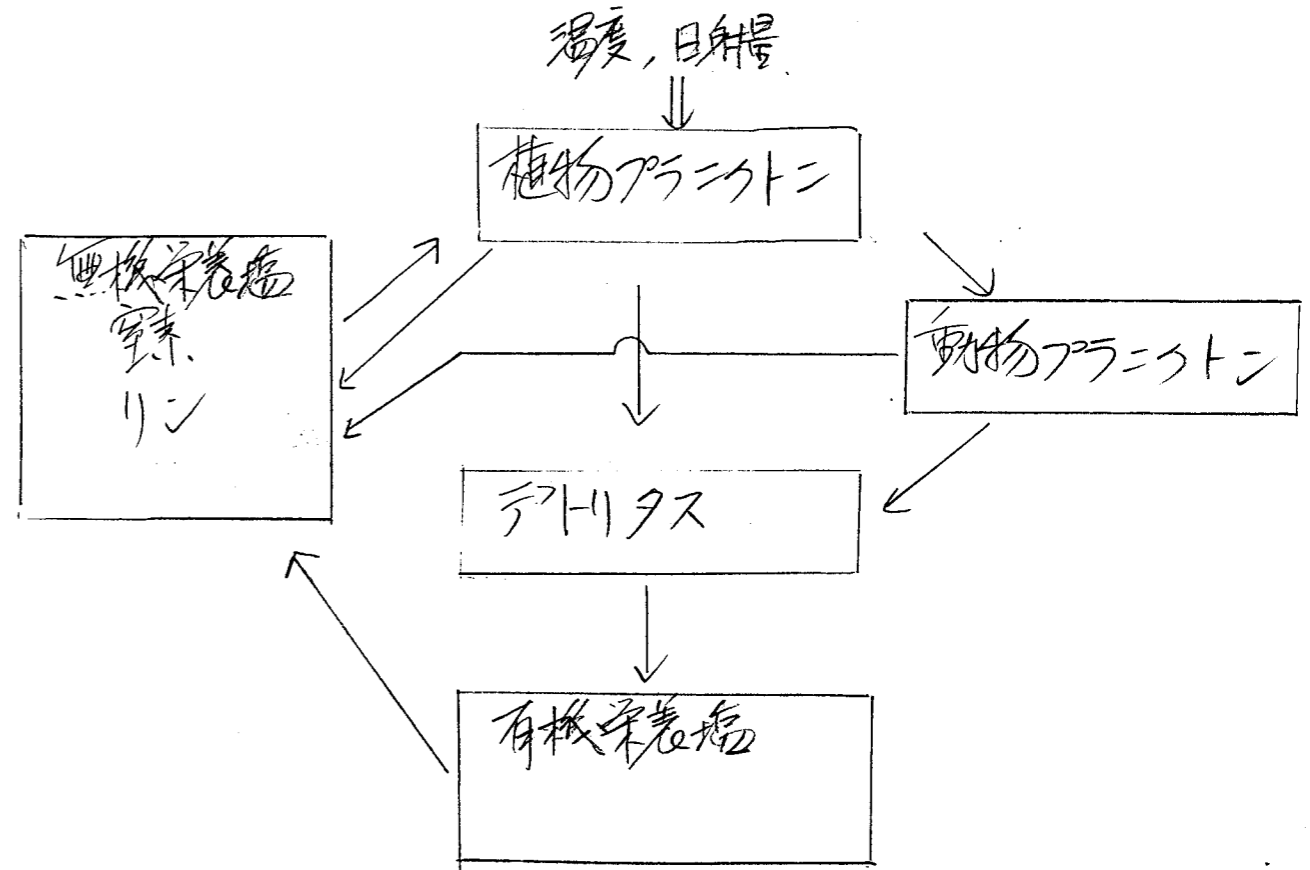
ADIDD CIN(i,j) θ(i,j) α計算  
TOMAXS トマックスは X方向に解く, 境界設定

FDCOEF 解級判定 : FDMAX(i,j), FD(i,j) α計算

ADIHH CIN(i,j) H(i,j) α計算  
TOMAST トマックスは Y方向に解く, 境界設定

水位計算  
印字出力

〈佐島湖〉 富栄養化シミュレーションモデルの構築  
生態系と水質環境の水質モデル 1995.2.1



COD : 酸素の要求量 (CODの高...という場合は酸素消費が多い)  
 DO : " 溶解量 (溶け残りの) というときは水の量

植物アライメントは 酸素を要求するので 水の量が多くなる...

植物アライメント  
 動物  
 デトリタス  
 リン  
 各々独立した  
 物質として計算し、その  
 各物質毎に換算係数  
 で変換する

fueiyo.f 富栄養化ソース  
 Sueiyoplottedata リン、植物アライメント、動物アライメント、デトリタス 温度データ  
 Sueiyoplot2.f (説明) (365日) 70.7... (値 0.0 ~ 1.0 K. 値を動かして 1.0 ~ 1.5 K. まで)

$\Delta t = \text{○}$  日単位

植物プラクトン

$$(植物プラクトン濃度変化) = (栄養塩摂取による増殖) - (枯死) - (動物プラクトンによる捕食)$$

(M)  $G_M$   $k_M$   $E_Z$

$$\frac{\partial M}{\partial t} = (G_M - k_M - E_Z) \cdot M$$

(g/m<sup>3</sup>・日) (g/m<sup>3</sup>・日)

$G_M$ : 1/日

$$G_M = G_{max} \cdot 1.07^{T-20} \cdot \frac{I}{k_I + I} \cdot \text{Min} \left( \frac{C_{ZP}}{k_{mp} + C_{ZP}}, \frac{C_{ZU}}{k_{mn} + C_{ZU}} \right)$$

(1/日) 単位

$I, k_I$ : lux  $\sim$  cal/cm<sup>2</sup>/日  
 $k_{mp}, C_{ZP}, k_{mn}, C_{ZU}$ : g/m<sup>3</sup>

$k_M$ : 1/日

$E_Z$ : 1/日

$$E_Z = C_g \cdot Z$$

(g/m<sup>3</sup>)

$C_g$ : (m<sup>3</sup>/g動物プラクトン・日)

$I$ : 日照量  $DL$ : 日照時間  $k_I = I_{max}/6$   
 $I = I_{max} \sin^3 \left( \frac{\pi}{DL} \cdot t \right)$

動物プラクトン

$$(動物プラクトン濃度変化) = (\delta \cdot a_{pz} \cdot C_g \cdot M) - (k_z)$$

Z (植物プラクトン濃度, 同単位)  $k_z$

$$\frac{\partial Z}{\partial t} = (\delta \cdot a_{pz} \cdot C_g \cdot M - k_z) Z$$

同化率  $\delta$

$k_z$ : 1/日

$a_{pz}$ : (g動物プラクトン/g植物プラクトン)

$C_g \cdot M$ : (m<sup>3</sup>/g動物プラクトン・日)  $\cdot$  (g/m<sup>3</sup>)

$\frac{dN}{dt} = (P_{0k} - P) \cdot \text{植物死}$   
 $(N_i \equiv \text{総窒素の量})$   
 $(\text{無機窒素の濃度変化}) = - (\text{植物フラクトンによる吸収})$   
 $+ (\text{有機物分解}) : \text{直接有機物に分解される有機物}$   
 $+ (\text{植物フラクトン枯死・呼吸による窒素塩同帰})$   
 $+ (\text{動物死})$

$\frac{dI}{dt} = \alpha \text{時 } IN = IP \text{ とする}$

$$\frac{\partial C_{IN}}{\partial t} = -a_N \cdot G_M \cdot M + a_N' \cdot k_i \cdot C_i + a_N \cdot t_1 \cdot k_M \cdot M + a_N'' \cdot t_2 \cdot k_Z \cdot Z$$

係数  
 $a_N : gN/g \text{ 植物死}$   
 $G_M : 1/\theta$   
 $k_i : 1/\theta$   
 $C_i : mg/l$   
 $a_N' :$   
 $a_N'' : gN/g \text{ 動物死}$   
 (計算上  $C_i = D(1,1)$  とする)

係数  
 $t_1$   
 $t_2$

デトリタス (フラクトンの死骸)  
 $(\text{デトリタスの時均変化}) = (\text{植物フラクトンの枯死})$   
 $+ (\text{動物死})$   
 $+ (\text{動物死})$   
 $- (\text{デトリタスの分解})$   
 $- (\text{デトリタスのバクテリアによる有機物分解})$

有機物による窒素

$$\frac{\partial D}{\partial t} = a_{PD} (1 - t_1) \cdot k_M \cdot M + (1 - \sigma) a_{PD} \cdot C_g \cdot Z \cdot M + a_{ZD} (1 - t_2) \cdot k_Z \cdot Z - S_D \cdot D - k_D \cdot D$$

$a_{ZD}, a_{PD} : (g \text{ デトリタス } / g \text{ 植物フラクトン死})$   
 $S_D : (1/\theta)$

$u = u(t)$  変数  $u = u(t)$  による微分方程式

$$\frac{du}{dt} = f(t, u)$$

$$u_{m+1} = u_m + \Delta t \cdot f(t_m, u_m; \Delta t)$$

$$\therefore \phi(t, u; \Delta t) = \frac{1}{\Delta t} (\phi_1 + 2\phi_2 + 2\phi_3 + \phi_4)$$

$$\phi_1 = f(t, u)$$

$$\phi_2 = f(t + \frac{\Delta t}{2}, u + \frac{\Delta t}{2} \phi_1)$$

$$\phi_3 = f(t + \frac{\Delta t}{2}, u + \frac{\Delta t}{2} \phi_2)$$

$$\phi_4 = f(t + \Delta t, u + \Delta t \phi_3)$$



ルニテ 7.7.

$$g_1 = f(t_n, y_n)$$

$$g_2 = f(t_n + \frac{h}{2}, y_n + \frac{h}{2}g_1)$$

$$g_3 = f(t_n + \frac{h}{2}, y_n + \frac{h}{2}g_2)$$

$$g_4 = f(t_n + h, y_n + hg_3)$$

$$y_{n+1} = y_n + h(\frac{1}{6}g_1 + \frac{1}{3}g_2 + \frac{1}{3}g_3 + \frac{1}{6}g_4)$$

ニテ  $y'(t) = 1 + y(t)^2$   $y(0) = 0$  と  $1/2$   
 $y(\pi/4)$  を計算

$\pi \rightarrow 70^\circ$   $h = \pi/4 \approx 0.78540$

$y_0 = 0$   $g_1 = 1$

$y_0 + \frac{h}{2}g_1 = 0 + \frac{0.78540}{2} \cdot 1 = 0.39270$   $g_2 = 1 + 0.39270^2 = 1.1542$

$y_0 + \frac{h}{2}g_2 = 0 + \frac{0.78540}{2} \cdot 1.1542 = 0.45326$   $g_3 = 1 + 0.45326^2 = 1.2054$

$y_0 + h \cdot g_3 = 0 + 0.78540 \cdot 1.2054 = 0.94676$   $g_4 = 1 + 0.94676^2 = 1.8963$

$\therefore y_1 = y_0 + 0.78540(\frac{1}{6} \cdot 1 + \frac{1}{3} \cdot 1.1542 + \frac{1}{3} \cdot 1.2054 + \frac{1}{6} \cdot 1.8963)$   
 $= 0.99687$

$y' = (e^{at})' = ae^{at}$

$\frac{dy}{dt} = ay$

$y(0) = 1$   
 $a = 0.1$

$y = e^{at}$

$\frac{y^{n+1} - y^n}{\Delta t} = ae^{at}$

$\therefore y^{n+1} = y^n + \Delta t \cdot y^n$

PROGRAM : RUNGE-KUTTA

FNF(AA, X) = AA\*EXP(AA\*X)  
 FFF(AA, X) = EXP(AA\*X)  
 FNY(AA, Y) = AA\*Y

$y' = ae^{ax}$   
 $y = e^{ax}$   
 $y = ay$

$(e^{ax})' = ae^{ax}$

ルニテ 7.7 を解く.  
 1995. 12. 12  
 Sanaru/RUNGE.f

```

9      DX = 0.1
10     XX = 0.00
11     YY = 1.
12     BY = 1.
13     AA = 0.5
14     DO 10 I=1,10
15         AK1 = DX*FNF(AA, XX)
16             X2 = XX+DX*0.5
17         AK2 = DX*FNF(AA, X2)
18         AK3 = DX*FNF(AA, X2)
19             X4 = XX+DX
20         AK4 = DX*FNF(AA, X4)
21         YY2 = YY+(AK1+2.*AK2+2.*AK3+AK4)/6.
22
23         BK1 = DX*FNY(AA, BY)
24             Y2 = BY+BK1*0.5
25         BK2 = DX*FNY(AA, Y2)
26             Y3 = BY+BK2*0.5
27         BK3 = DX*FNY(AA, Y3)
28             Y4 = BY+BK3
29         BK4 = DX*FNY(AA, Y4)
30         BY2 = BY+(BK1+2.*BK2+2.*BK3+BK4)/6.
31
32     YYY = FFF(AA, XX)
33     WRITE(6,1000) I, XX, YY2, AK1, AK2, AK3, AK4, YY
34     WRITE(6,1000) I, XX, BY2, BK1, BK2, BK3, BK4, BY
35     WRITE(6,1100) YYY
36     YY = YY2
37     BY = BY2
38     XX = XX+DX
39
40     CONTINUE
41     FORMAT(2X, 'I X Y K1 K2 K3 K4, PY', I2, 7F10.6)
42     FORMAT(22X, 'YYY', F10.6)
    
```

ルニテ 7.7 の結果

Step No.	X	$y_{n+1}$	k1	k2	k3	k4	$y_n$
1	0.000000	1.051270	0.050000	0.051266	0.051266	0.052564	1.000000
1	0.000000	1.051270	0.050000	0.051250	0.051281	0.052564	1.000000
		YYY	1.000000				
2	0.100000	1.105170	0.052564	0.053894	0.053894	0.055259	1.051270
2	0.100000	1.105170	0.052564	0.053878	0.053910	0.055259	1.051270
		YYY	1.051270				
3	0.200000	1.161833	0.055259	0.056657	0.056657	0.058092	1.105170
3	0.200000	1.161833	0.055259	0.056640	0.056675	0.058092	1.105170
		YYY	1.105170				
4	0.300000	1.221401	0.058092	0.059562	0.059562	0.061070	1.161833
4	0.300000	1.221401	0.058092	0.059544	0.059580	0.061071	1.161833
		YYY	1.161834				
5	0.400000	1.284023	0.061070	0.062616	0.062616	0.064201	1.221401
5	0.400000	1.284023	0.061070	0.062597	0.062635	0.064202	1.221401
		YYY	1.221402				
6	0.500000	1.349856	0.064201	0.065826	0.065826	0.067493	1.284023
6	0.500000	1.349856	0.064201	0.065806	0.065846	0.067493	1.284023
		YYY	1.284025				
7	0.600000	1.419065	0.067493	0.069202	0.069202	0.070953	1.349856
7	0.600000	1.419065	0.067493	0.069180	0.069222	0.070954	1.349856
		YYY	1.349858				
8	0.700000	1.491821	0.070953	0.072750	0.072750	0.074591	1.419065
8	0.700000	1.491821	0.070953	0.072727	0.072771	0.074592	1.419065
		YYY	1.419067				
9	0.800000	1.568308	0.074591	0.076479	0.076479	0.078416	1.491821
9	0.800000	1.568308	0.074591	0.076456	0.076502	0.078416	1.491821
		YYY	1.491824				
10	0.900000	1.648717	0.078416	0.080401	0.080401	0.082436	1.568308
10	0.900000	1.648716	0.078415	0.080376	0.080425	0.082437	1.568308
		YYY	1.568312				

$y = ae^{ax}$   
 $y = ay$   
 $y = e^{ax}$

4次 Runge-kutta法

1/6 次方

h: 刻幅

$$y_{n+1} = y_n + \frac{k_1 + 2k_2 + 2k_3 + k_4}{6}$$

$$k_1 = hf(x_n, y_n)$$

$$k_2 = hf(x_n + \frac{h}{2}, y_n + \frac{k_1}{2})$$

$$k_3 = hf(x_n + \frac{h}{2}, y_n + \frac{k_2}{2})$$

$$k_4 = hf(x_n + h, y_n + k_3)$$

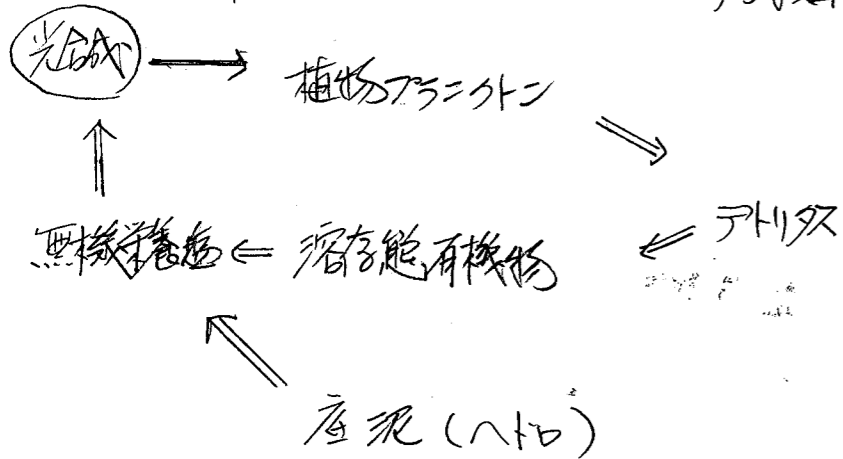
単位  $mg/l = 10^{-3}g / 10^{-3}m^3 = g/m^3 = ppm$

$ug/l = 10^{-6}g / 10^{-3}m^3 = 10^{-3}g/m^3$

$1ug/l = 10^{-6}$

$T = 16.7 - 10.7 \cos(2\pi(t-204)/365)$

変数の単位を統一する (リン換算) 1996.2.19x7



静岡早稲本  
次名湖・佐鳴湖  
富栄養化モデルの概

(動物アライメントは佐鳴湖の少量のため無視)

sanaru / pfueiyo.f

Y-プログラム

fueiyoplata

fueiyoplat2.f

24年7007

fueiyoplat3.f

549.7007

cpu 2-54年でも  
4~5sec

植物アライメント

$\frac{dM}{dt} = (GM - kM)M$

$GM = G_{max} \cdot 1.06^{T-20} \cdot f_I \cdot \frac{C_{zp}}{k_{np} + C_{zp}}$

$f_I = \frac{1}{\epsilon \cdot z_e} \ln \left[ \frac{I_0 + k_I}{I_0 \cdot \exp(-\epsilon \cdot z_e) + k_I} \right]$

リン酸態リン (PO<sub>4</sub>-P : 無機態)

$\frac{dC_{zp}}{dt} = (-GM + kM \cdot kM) \cdot M + k_s \cdot S + \frac{P_0}{\delta}$

底泥からの無機リンの溶出  
溶解有機物の無機化

デトリタス

$\frac{dD}{dt} = (1 - kM) \cdot kM \cdot M - S_D D - k_D \cdot D$

溶解性有機物

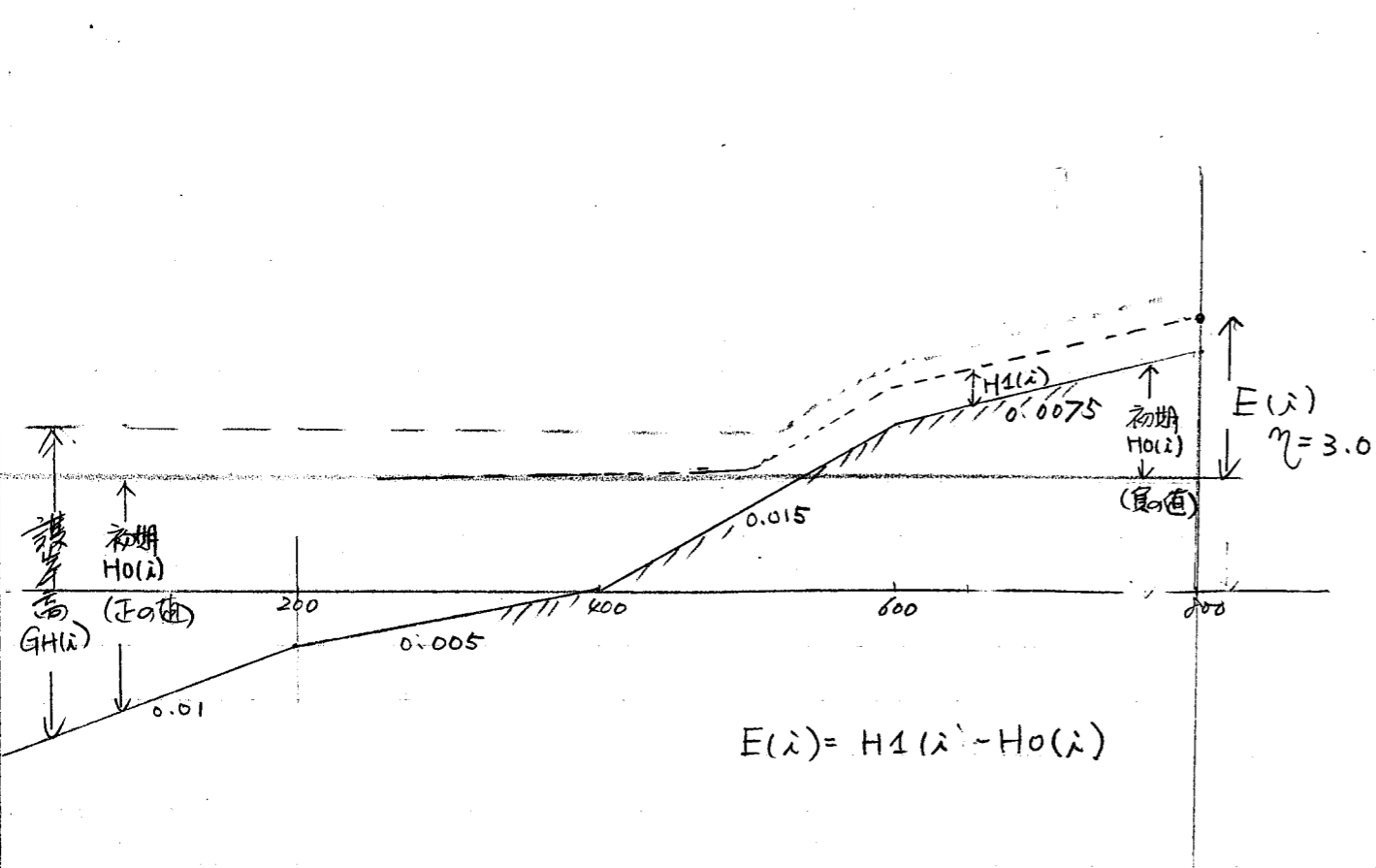
$\frac{dS}{dt} = k_D \cdot D - k_s \cdot S$

COD :

- 注) 水温は 佐鳴湖 平成元年~5年の公共用水調査の平均値使用
- 調査結果の各変数値 (GM等) はその結果を踏まえて決定
- 日射量は 御前崎 1974~90年までの平均値使用

例 T.P 1.0 (D.L 2.0) を基準面と考えると

作図



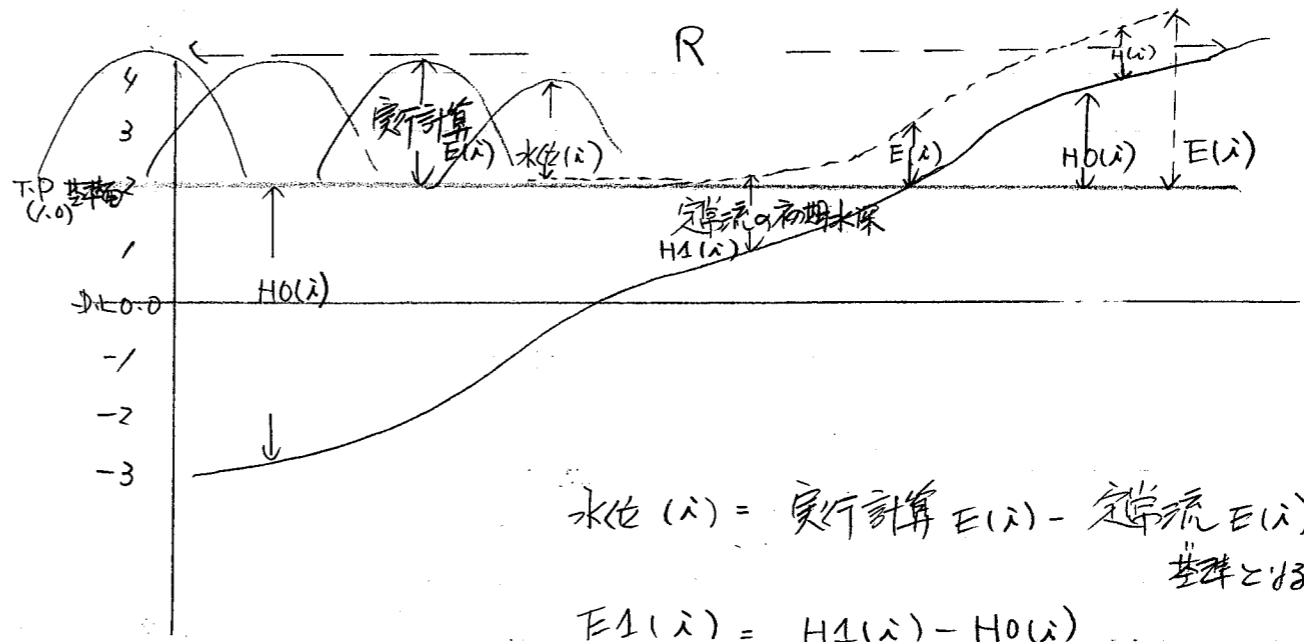
$$E(x) = H1(x) - H0(x)$$

計算水位  $H1(x)$   
 水位  $E1(x)$   
 護岸高  $GH(x)$

この地点の河床高を 0.0 とする  
 基準面 (D.L 2.0) を 0.0 とする

入力データ D.L 値でいれる  
 ↓ プログラム内で  
 この地点の河床高を 0.0 とする  
 $GH(x) = GH(x) \text{ 入力データ} - \text{河床高}$

相度係数 m を決める



$$\text{水位}(x) = \text{実行計算 } E(x) - \text{定常流 } E(x)$$

基準とする

$$E1(x) = H1(x) - H0(x)$$

基準面 T.P 1.0 の水位

R : 入力最大値 (基準面からの高さ) を延べ河床高とす。このときの距離を R とし、このときの潮上 0.4 とする。

この場合

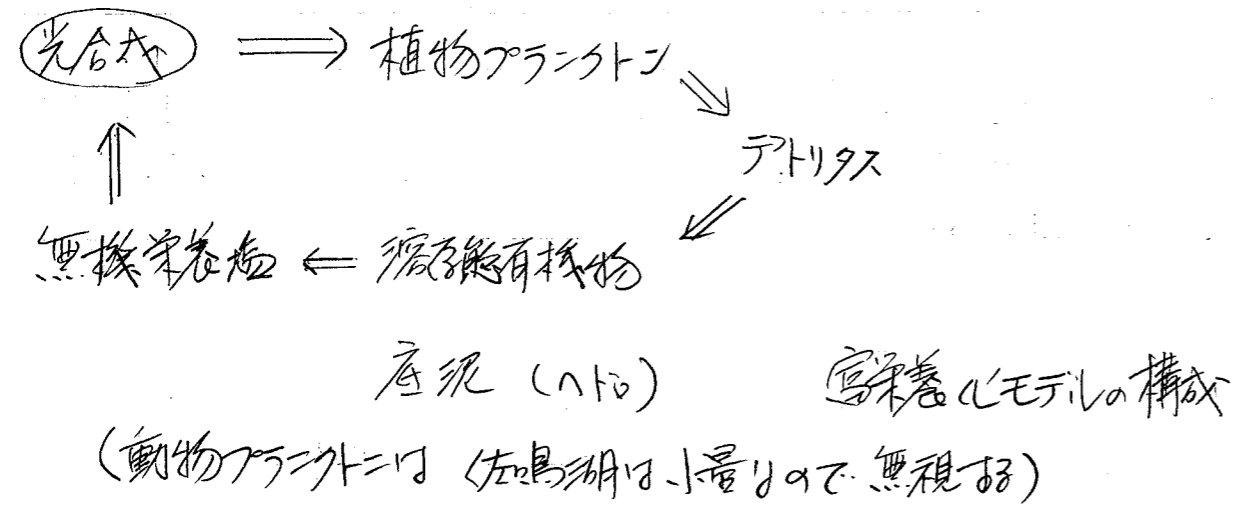
潮上より  $\text{水位}(x) > E$   $E$  : 小で定常流  $\propto E(x)$  のプラスの値を打ち切る

↓

この R を満足する R を決める  
 水位 (R 地点) = 0.0 とする R を決める

1996. 2. 19 x 20 1) 演算で富栄養化シミュレーションを解く  
(変数単位統一)

1996. 6. 17



植物プランクトン

$$\frac{\partial M}{\partial t} = (G_M - k_M) \cdot M \quad T: \text{水温} (^{\circ}\text{C})$$

$$G_M = G_{max} \cdot 1.06^{T-20} \cdot f_I \cdot \frac{C_{ZP}}{k_{mp} + C_{ZP}}$$

$$f_I = \frac{1}{E \cdot Z_e} \ln \left[ \frac{I_0 + k_I}{I_0 \cdot \exp(-E Z_e) + k_I} \right]$$

自然対数

リン酸態リン (PO<sub>4</sub>-P : 無機態)

$$\frac{\partial C_{ZP}}{\partial t} = (-G_M + k_M \cdot k_M) \cdot M + k_s \cdot S + \frac{R_e}{S}$$

底泥からの無機リンの溶出速度  
溶存有機物の無機化

テトリタス

$$\frac{\partial D}{\partial t} = (1 - k_M) \cdot k_M \cdot M - S_D \cdot D - k_D \cdot D$$

溶存有機物

$$\frac{\partial S}{\partial t} = k_D \cdot D - k_S \cdot S$$

sanarucnconsm.f	concsim.f	←
conlumconsm.f	nagasm.f	←

COD:

(注) 水温は 佐鳴湖 平成元年~5年の 公共用水調査の 平均値使用  
調査結果の 対応変数値 (GM等) は その結果を踏まえて決定。  
日射量は 御前崎 1974~90年までの 平均値使用

流量 m <sup>3</sup> /s	COD	リン
西川	0.246	3.575
新川	0.940	4.950
御前崎 (沼橋)	0.026	2.0
COD	0.246 × 3.575 + 0.940 × 4.95 + 0.026 × 2.0 = 5.58 → 5.379	
リン	0.246 × α <sub>1</sub> + 0.940 × α <sub>2</sub> + 0.026 × α <sub>3</sub> = 0.1045 → 0.18	
	0.08	0.09
		0.01

作業中 1996. 6. 28	X <sub>2</sub> ≡ 100M	EXCEL	リン計算式 (L <sub>0</sub> )
sanarudep/100.dat	sadep/100.dat	領域-型作成のデータ	減少は 全に
sananukata.f	sakata.f	"	0.18
sanakumaga/100.f	maga/100.f	糸	0.165
sanahumaga/100.dat	naga/100.dat	テ	0.15
sanahuconc/100.f	conc/100.f	COD, 富栄養化	リン (濃度) の減少率を使用
sanahuplot/100.f	plot/100.f	7年時系列 (COD) 70.0%	
confor-p/100.f	pconfor.f	糸	
vecpdat/100.f	pvector.f	糸	
sanarusyn.dat	synsetsu.dat	濃度計算, 糸計算時の濃度	
sanarucnconcin.f	cnconsim.f	糸 + 0.1 (20% (2HR)) の流速, 糸計算	

1997.1.25 XE

松崎港

下ス /  
2

堤防  
有  
無 (-部)

津波堤防の効果検証

実行時局

~ 3HR

(UT-αで約45分位)

2σt = 0.5sec

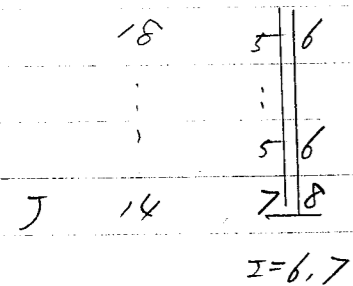
最大水深 6M

拡散

B18 (80m) ⇒ 30m<sup>2</sup>/s

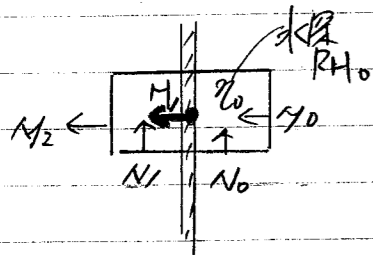
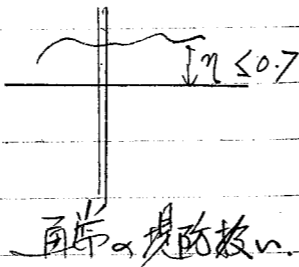
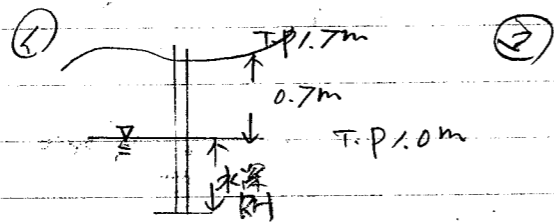
B19 (40m) ⇒ 25m<sup>2</sup>/s

堤防α (α=0.2) 0.7m断面系列



VCALCT IL-4で

松崎港の左側堤防αα  
水位α: 0.7mを起元とする



$\eta_0 > 0.7$

$M_1$ を計算する

$(Q, \eta_0)^{n+1}$ を計算する

$$(\eta_0, \theta)^n \longrightarrow (\eta_0, \theta)^{n+1}$$

$$\eta_0 \leq 0.7 \longrightarrow M_1 = 0$$

$$\eta_0 > 0.7 \longrightarrow M_1^{n+1} = \frac{M_0^n + M_2^n}{\eta_0 + RH_0} \cdot (\eta_0 - 0.7)$$

$N_1, N_2$ は通常の堤防αと対比 (αα場α水深)

堤造物

各ヶ所において

B19 α

岸線情報リスト

観測水位点 (20点) 松崎港αα 水位時系列 ~ 3HR  
へ3H1回 5分(90分) 1枚 表示 1m/s

(1997.1.25 計算 松崎港 ~ 3HR)

最大沼

1997.2.24

番号	名称	最大沼	備考
18	松崎港 (二科II) 河口 (14, 47)	5.7m	
16	那賀 岩科II) 河口 (9, 13)	4.0m	
19	岩科II) 河口 (11, 3)	3.2m	
14	那賀 岩科II) 河口 (14, 4)	3.2m	
前②	2次規定最大沼	DL 6.3m (計算値 4.0m)	岩科II) 河口 (14, 4) 6.0m (計算値 5.7m)

今回 (1997.2) 松崎港の津波計算結果 (2次規定値αα)

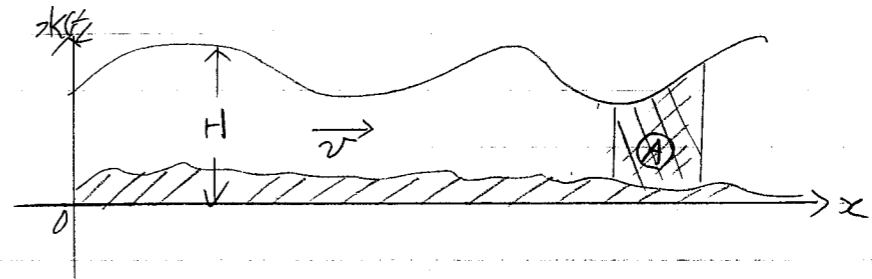
名称	最大沼	補正値	使用
(二科II) 河口 (14, 47)	5.7m		αα 対入沼αα 使用
岩科II)	4.0m (3.2m) (松崎)		"
岩科II)	4.0m (3.2m)		"

河川αα 護岸, 河床高, 河川中の 計画αα 使用

パイプ内の流動シミュレーション

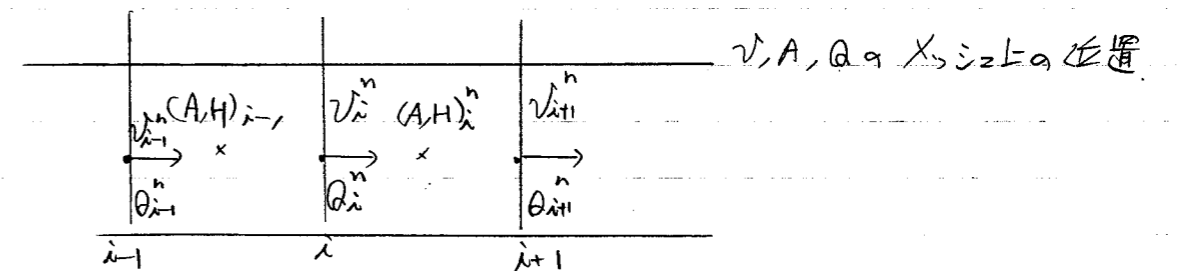
1997.1.24

非水路のシミュレーションモデル  
非保形断面空間を適用



$$\frac{\partial v}{\partial t} + v \frac{\partial v}{\partial x} + g \frac{\partial H}{\partial x} = -g \frac{n^2 |v| v}{R^{4/3}} \quad (1)$$

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \quad (2)$$



↑  
 $\frac{d}{dt} v, Q, A, k$  変  
 suihogg. for

(1) ランクスゴエボフ法

$$\frac{v_i^{n+1} - v_i^n}{\Delta t} + v_i \frac{v_{i+1}^n - v_{i-1}^n}{2\Delta x} - \frac{\Delta t}{2} \left( \frac{\partial v}{\partial x} \right)^2 (v_{i+1}^n - 2v_i^n + v_{i-1}^n)$$

△は括弧項

$$+ g \frac{H_i^n - H_{i-1}^n}{\Delta x} = -g \frac{n^2 |v_i^n| v_i^n}{R^4}$$

$$\therefore v_i^{n+1} = v_i^n - \frac{\Delta t}{2\Delta x} (v_{i+1}^n - v_{i-1}^n) \cdot v_i^n + \frac{1}{2} \left( \frac{\Delta t}{\Delta x} v_i^n \right)^2 (v_{i+1}^n - 2v_i^n + v_{i-1}^n) - g \frac{\Delta t}{\Delta x} (H_i^n - H_{i-1}^n) - g \cdot \Delta t \cdot \frac{n^2 |v_i^n| v_i^n}{R^4}$$

(2) 4-7° 7D.7法

$$\frac{A_i^{n+1} - A_i^{n-1}}{2\Delta t} + \frac{Q_{i+1}^n - Q_i^n}{\Delta x} = 0$$

$$Q_i^n = (A \cdot v)_i^n = \frac{A_i^n + A_{i-1}^n}{2} \cdot v_i^n$$

$$Q_{i+1}^n = (A \cdot v)_{i+1}^n = \frac{A_{i+1}^n + A_i^n}{2} \cdot v_{i+1}^n$$

$A(H) = A$  (Hの中, or 管径, or 函数)  $A \rightarrow H \in \text{おぼろ}$

$$A_i^{n+1} = A_i^{n-1} + \frac{\Delta t}{\Delta x} \left[ (A_i^n + A_{i-1}^n) v_i^n - (A_{i+1}^n + A_i^n) v_{i+1}^n \right]$$

pipe. for

管径 (パイプ径)

pipekukei. for.

矩型 (河川) 変位  $X_0 \rightarrow \phi$

pipekukei2. for

(パイプ径)

suito. for

矩型 pipekukei  $\& A_i \in \text{UVSET}$  使用  
 新II) (shinkawasuito. for  $\& \text{UVSET}$  使用)

suitoold. for

新II) (shinkawasuito. for  $\in \text{JOK}$ )

suitooldtei. for

新II) ( " )  $\&$  定常流計算

suihogg. for

矩型 <sup>流</sup>suiho. for  $\rightarrow$  流量  $\& A$  変  
 (U) (0)

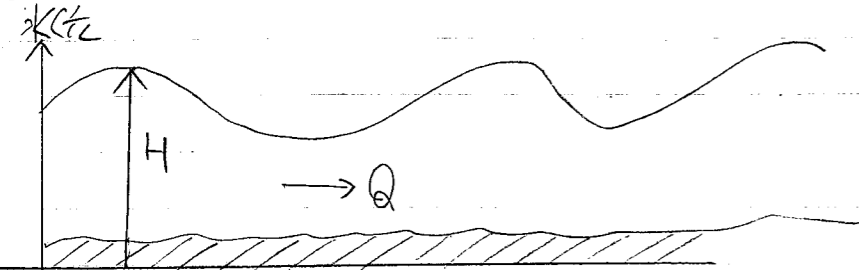
suihoggtei. for

$\downarrow$   
 $\&$  定常流計算



1997.3.2

舟水路のシミュレーション

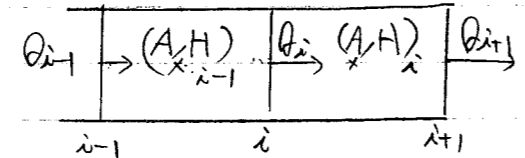


運動方程式

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + u \frac{\partial Q}{\partial x} + gA \frac{\partial H}{\partial x} = -g \frac{n^2 |Q| Q}{AR^{4/3}} \quad (1)$$

連続式

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \quad (2)$$



差分式  $\Downarrow$   
u

(1) ラングスケッチ法

$$\frac{Q_i^{n+1} - Q_i^n}{\Delta t} + u_i \frac{Q_{i+1}^n - Q_{i-1}^n}{2\Delta x} - \frac{\Delta t}{2} \left( \frac{u_i}{\Delta x} \right)^2 (Q_{i+1}^n - 2Q_i^n + Q_{i-1}^n) + gA_{i-1/2}^n \frac{H_i^n - H_{i-1}^n}{\Delta x} = -g \frac{n^2 |Q_i^n| Q_i^n}{A_{i-1/2}^n R_{i-1/2}^n} \quad (Langrangian method)$$

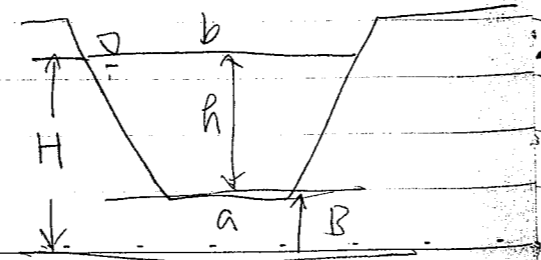
(2) 1) - ラングスケッチ法

$$\frac{A_i^{n+1} - A_i^n}{2\Delta t} + \frac{Q_{i+1}^n - Q_{i-1}^n}{\Delta x} = 0$$

$$u_i = \frac{Q_i^n}{0.5 * (A_i^n + A_{i-1}^n)}$$

$$A = (a+b) \cdot h / 2$$

$$h = H - B$$



定常流

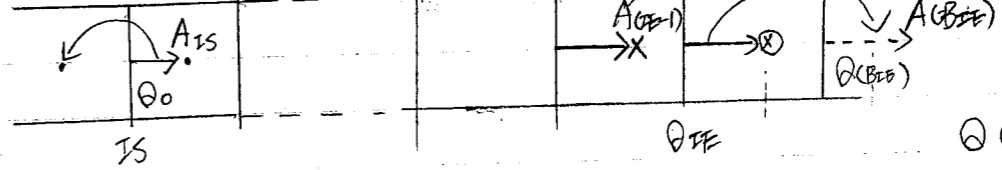
$Q_0 = 30 \text{ m}^3/\text{s}$   
(流速  $0.1 \text{ m/s}$  (水位))

swinogated. for  
Q: 定常流

$n^2 = 0.3^2$   
 $\Delta t = 0.05$  ( $\Delta t = 0.1$  秒)  
 $E(B) = 0.5$  (50cm)  
 $\alpha = 50$   
水深 3M  
定常流  $IR = 43200$  (9M) 計算、2.13

$$Q(IS) = Q_0$$

$$A(B) = A(IS)$$



$$Q(BFE) = Q(IE)$$

$$A(BFE) = A(IE-1)$$

Q E x 1 と 13 時の Boundary

$$Q(B=IS) = Q_0$$

$$E(B) = E(IS)$$

$$Q(B) = Q(IE)$$

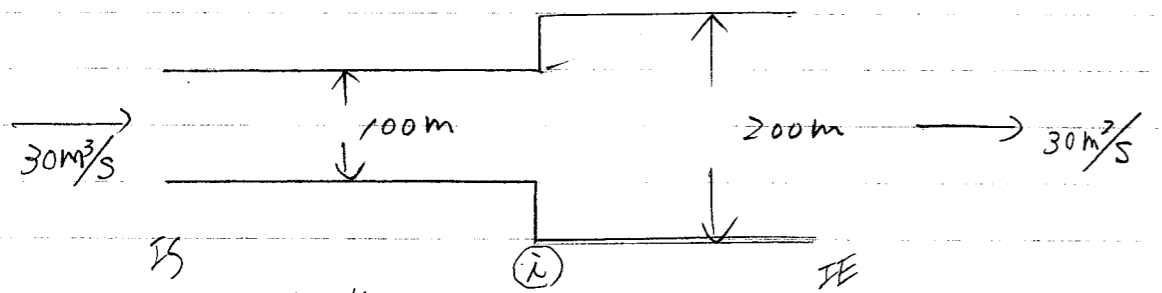
$$E(B) = E(IE-1)$$

計算領域

$A = IS, IE$   
 $Q = IS+1, IE$   
(但し 交流の場合  $Q = IS2, IE2$ )  
 $IS2-1 < Q, A$   
13 時の Boundary  
 $\alpha > 13$

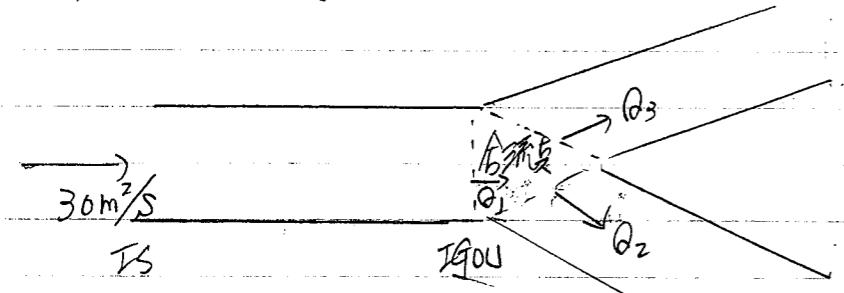
Suinozetei for

1997.3.5



定常流  $Q_0 = 30 \text{ m}^3/\text{s}$  のとき 水深一定  
 計算領域  $\approx 30 \text{ m}^2/\text{s}$  で計算  
 $i$  -  $IE$  区間は  $IS$  -  $i$  区間の流速の  
 半分とする

河川の2つに分れる

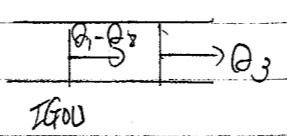
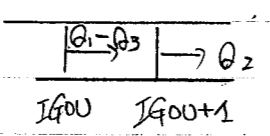
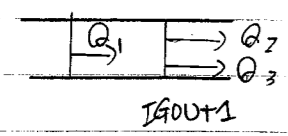


$Q_1 \approx Q_2 + Q_3$  で流量が保存される

$Q_1$  の計算

$Q_2$  の計算

$Q_3$  の計算



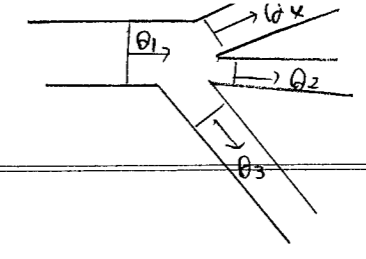
$Q(IGOU+1) = Q_2 + Q_3$

$Q(IGOU) = Q_1 - Q_3$

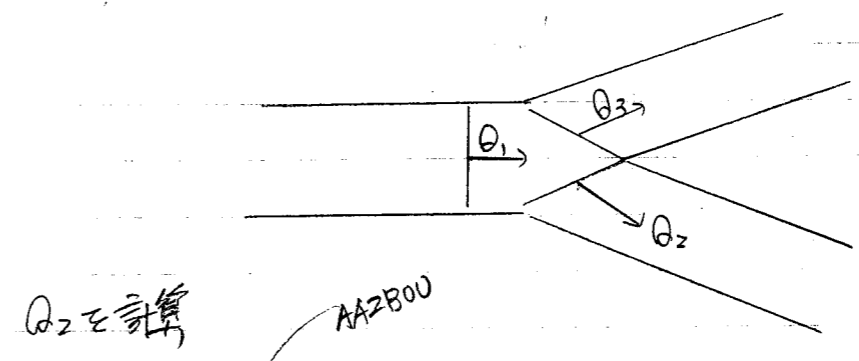
$Q(IGOU) = Q_1 - Q_2$

と各所の  $Q$  境界を考慮

(注) Suinotokyo for 3河川にわける



O.K 1997.3.7



$Q_2$  の計算

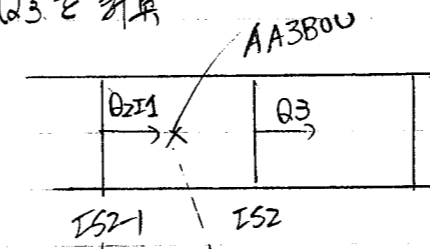
$Q_{2I1} = Q_1 - Q_3$

$AA2BOU = A1(IGOU) + 2 * C1 * (Q_{2I1} - Q_2(IGOU+1))$

- $A_{2I1}$
- $H_{2H1}$
- $S_{2H1}$
- $R_{2H1}$
- $E_{2H1}$

$\Rightarrow Q_2(IGOU+1)$  の計算  
 計算時使用

$Q_3$  の計算



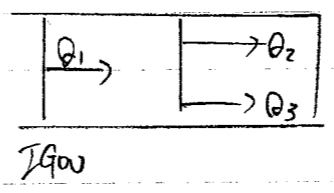
$Q_{2I1} = Q_1 - Q_2$

$AA3BOU = A1(IGOU) + 2 * C1 * (Q_{2I1} - Q_3(IGOU+1))$

- $Q_2(IGOU+1)$
- $A_{2I1}$
- $H_{2I1}$
- $S_{2I1}$
- $R_{2I1}$
- $E_{2I1}$

$Q_3(IGOU)$  の計算  
 計算時使用

$Q_1$  の計算



$Q_2 Q_3 = Q_2 + Q_3$

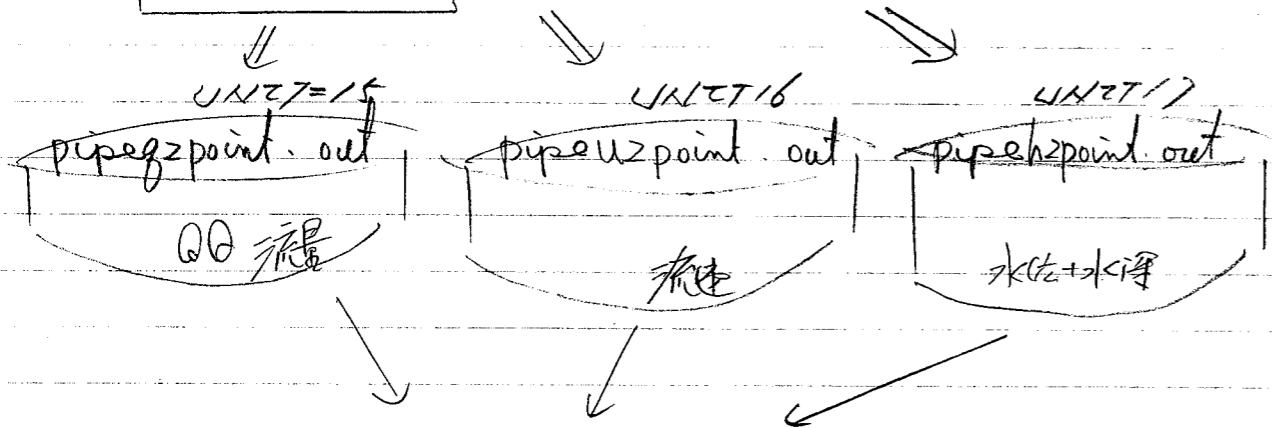
$A_3(IGOU) = A1(IGOU) + 2 * C1 * (Q_2(IGOU) - Q_2 Q_3)$

$\Rightarrow$  "HRFUNC"  $\rightarrow H_2, S_2, R_2, E_2$  の計算  $Q_3(IGOU)$  の計算時使用

1997.3.17

pipe2ei-for  
 ICASE  
 1: 円型  
 2: 矩型

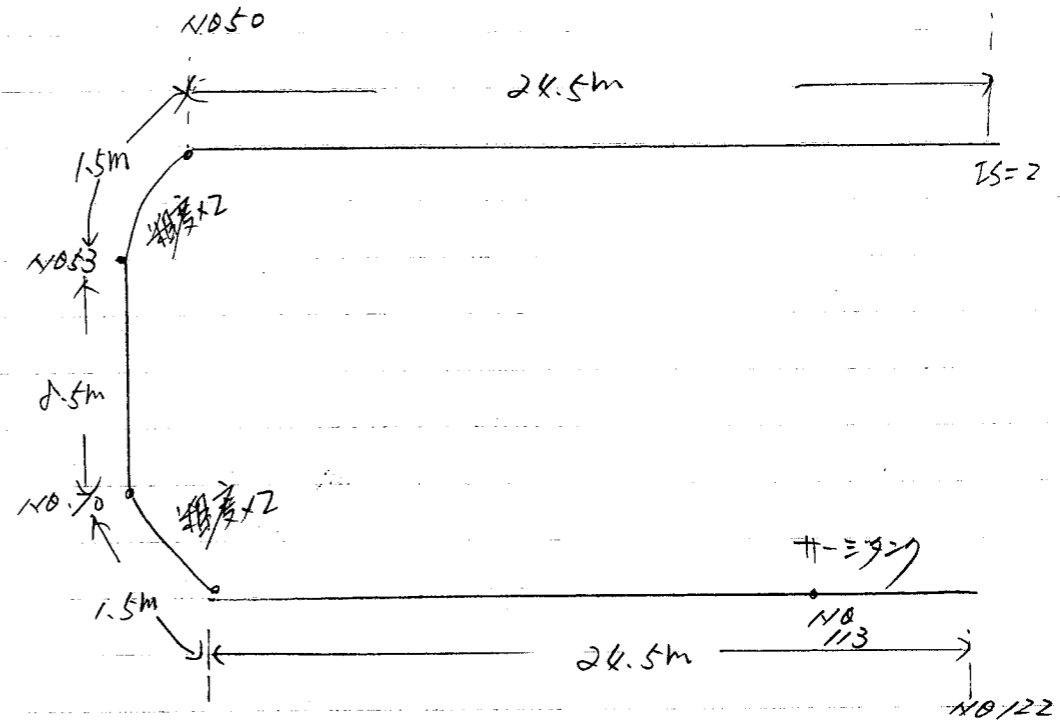
ラスタサイズは107  
 11-70-70 } E使用



VZP200  
 (圧力+水深)

大阪・下水道環状11号管の流動  
 洪水シミュレーション

3.17.97  
 7号管と12  
 2号管実行



11号管 円型  
 7号管と12  
 初期条件 ②管に  
 輸水が流入して  
 始発

実行時間 ~ 10分 (d-300 cpu 約4分)  
 $\Delta t$  0.005 sec (CTR=120000)  
 $\Delta x$  0.5 m  
 RR(半径) 0.1 m  
 $n^2$ (粗さ) 0.03<sup>2</sup>

1-21  $\rightarrow$   $Q(zs) = 0.002 \sin(2\pi t/60.) + 0.006$

2  $Q(zs) = 0.006 \sin(2\pi t/60.) + 0.002$

0.008 sec 0.008 (0.4 m<sup>3</sup>/min) 1.4m

6.2  
1997.5.27

パイプ

(注) オープン HSG < 2 \* H  
クローズ HSG > 2 \* H

ルネゲータ  
クローズの時  
Boundary  
 $\frac{\partial H_0}{\partial t} = \frac{Q_1 - Q_0}{A_0}$  ... スタートパイプの断面積  
 $\frac{\partial H_1}{\partial t} = \frac{Q_3 - Q_1}{A_3}$  ... 終点パイプの断面積

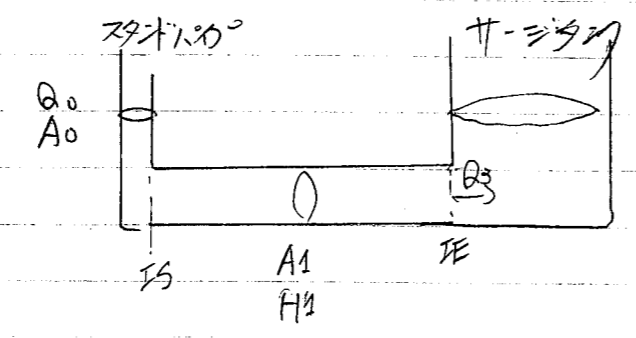
pipelei.for  
クローズの時  
Q  
オープンクローズ  
A  
ルネゲータ  
クローズの時  
スタートパイプ - 終点パイプ  
で連続性  
1997.3.2  
ルネゲータ (X参考)  
解く

ルネゲータ  
で解く  
 $\frac{\partial Q_1}{\partial t} + \frac{H_3 - H_0}{L} (gA) = -g \frac{n^2 |Q| Q}{AR^{4/3}}$   
L: パイプ全長 A: パイプの断面積  
A =  $\pi \cdot H^2$   
R =  $\pi \cdot H^2 / 4$   
= 0.5 \* H

流量  
クローズの時  
 $\frac{\partial Q}{\partial t} + u \frac{\partial Q}{\partial x} + gA \frac{\partial H}{\partial x} = -g \frac{n^2 |Q| Q}{AR^{4/3}}$

$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0$  ... オープン

$\frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial H \cdot u}{\partial x} = 0$  ... クローズ



pipeahleap.for  
変り 変り  
pipelei.for の A で  
クローズの時  
パイプ内の  
水深 < 2 \* H  
A で 解く (pipelei.for  
と同じ)  
クローズの時  
水深 > 2 \* H  
H で 解く

音速

pipeonsoku.for  
クローズの時  
Q  
H  
を解く

Implicit Scheme (6): 反復回数  
が少なくて解く

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + u \frac{\partial Q}{\partial x} + gA \frac{\partial H}{\partial x} = -g \frac{n^2 |Q| Q}{AR^{4/3}}$$

$$\frac{\partial H}{\partial t} + u \frac{\partial H}{\partial x} + \frac{a^2}{g} \frac{\partial u}{\partial x} = 0$$

(一般式)  $\frac{\partial H}{\partial t} + u \frac{\partial (H - z_0)}{\partial x} + \frac{a^2}{g} \frac{\partial u}{\partial x} = g$

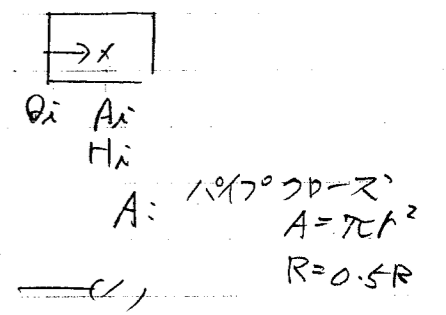
a: 音速  $a = \sqrt{\frac{\partial P}{\partial \rho}} = 330 \text{ m/s} ?$   
A: 断面積 =  $\pi r^2$   
 $u_i = Q_i / A_i$   $u^v: H$  の位置

$$\frac{H_i^{n+1} - H_i^n}{\Delta t} + u_i^v \frac{H_{i+1}^n - H_{i-1}^n}{2 \Delta x} - \frac{\Delta t}{2} \left( \frac{u_i^v}{\Delta x} \right)^2 (H_{i+1}^n - 2H_i^n + H_{i-1}^n) = 0$$

$$+ \frac{a^2}{g} \frac{u_{i+1}^n - u_i^n}{\Delta x} - \frac{\Delta t}{2} \left( \frac{a^2}{g} \right)^2 (u_{i+1}^n - 2u_i^n + u_{i-1}^n) = 0$$

(2) A の変り (6/3/97)

$$\frac{\partial H}{\partial t} + u \frac{\partial H}{\partial x} + H \frac{\partial u}{\partial x} = 0$$



AD 制御  
クローズの時  
で解く  
係数項の 2 次微分

→ 項

$$\left(\frac{\sqrt{gH}}{g}\right) \frac{\partial u}{\partial x} = H \frac{\partial u}{\partial x}$$

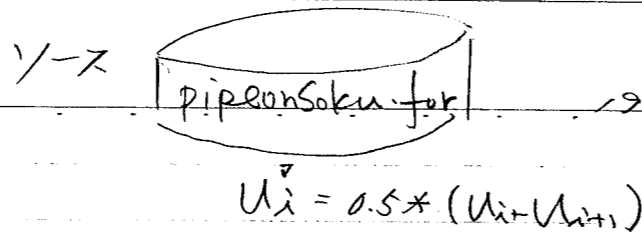
$$\frac{\partial H}{\partial t} + u \frac{\partial H}{\partial x} + \left(\frac{g}{g}\right) \frac{\partial u}{\partial x} = 0$$

$$\frac{\partial H}{\partial t} + u \frac{\partial H}{\partial x} + H \frac{\partial u}{\partial x} = 0$$

カウス+カウス

$$\frac{H^{k+1} - H^k}{\Delta t} + u_i \frac{H_{i+1}^k - H_{i-1}^k}{2\Delta x} + H_i^{k+1} \frac{u_{i+1}^k - u_i^k}{\Delta x} = 0$$

$$\therefore H_i^{k+1} = \frac{1}{\left(1 + \frac{\Delta t}{\Delta x} (u_{i+1}^k - u_i^k)\right)} \left[ H_i^k + \frac{\Delta t}{2\Delta x} u_i^k (H_{i-1}^k - H_{i+1}^k) \right]$$

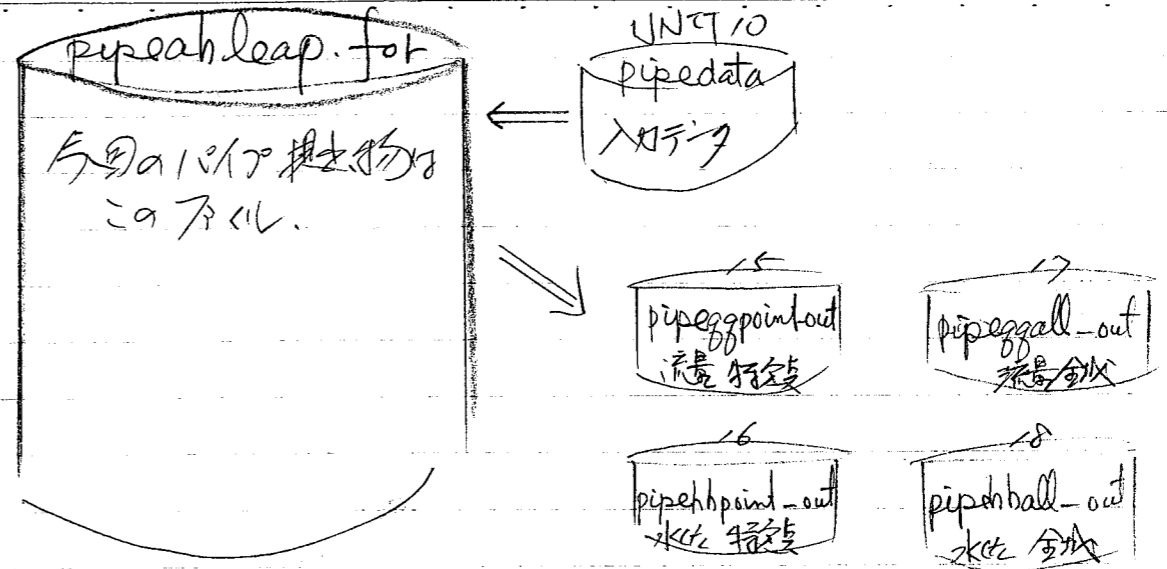


1997.6.4  
xz

掘込甲

オ-70ニ → 70-ズ → オ-70

1997.6.6



結果

運動力

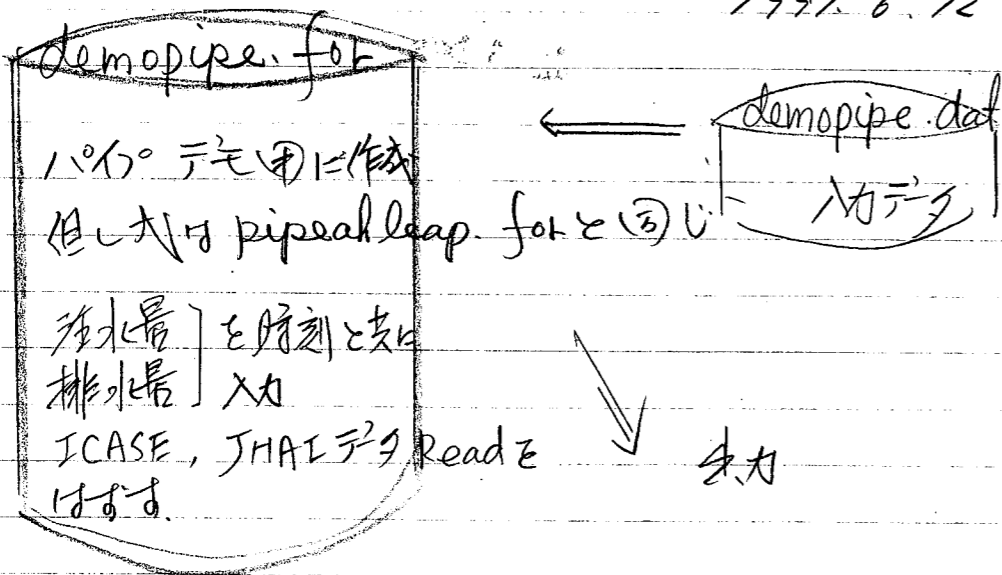
ラ、70-ズ、30-ズ、70-ズ

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + u \frac{\partial Q}{\partial x} + gA \frac{\partial H}{\partial x} = -g \frac{n^2 |Q| Q}{A R^{4/3}} + k_x \frac{\partial Q}{\partial x^2}$$

散逸項の追加

$$k_x \frac{Q_{i+1}^n - 2Q_i^n + Q_{i-1}^n}{\Delta x^2}$$

1997.6.12



パイプの寸法は作成

但し力の pipeahLeap.for と同じ

注水管] 左側と右側  
排水管] 入力

ICASE, JHAZ 等の Read して  
実行

出力

今後これ pipeahLeap.for の経路にて  
使用すること

連続力

1-70 70-70 70-ズ

例)  $k_x = 0.1$

$$\text{open} \quad \frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = \frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial u \cdot A}{\partial x} = 0$$

close

$$\frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial H \cdot u}{\partial x} = 0$$

$$\frac{H_i^{n+1} - H_i^{n-1}}{2\Delta t} + \frac{H_{i+1/2}^n u_{i+1/2}^n - H_{i-1/2}^n u_{i-1/2}^n}{\Delta x} = 0$$

$\Delta t = 0.01 \text{ sec}$

$\alpha, \beta = 0.5$

テスト

IS, IE 2 ~ 123

オ-70 = 70-ズ オ-70 =

$Q_0 = 0.0067 \text{ (m}^3/\text{s)}$

$\Delta X = 0.5 \text{ (m)}$

水径

0.01 → 1.5 → 0.01

$Q_{0MAX}$  "

$g = 9.8$

$Q_{SQOUT}$  "

$\Delta X = 0.05$  (散逸項)

$FF = 0.03$

$RR = 0.1 \text{ (m)}$  半径

$RRSTP = 0.05$  スタンプ

$RRSAT = 0.3$  サ-シタシ

計算時刻  
2~3分

計算時刻  
10分

VT-α

W-95

~~53498~~  
53508  
(534sec)

53478②  
(535sec)

木-7から70-2の2本の管  
1.54

95302  
~~94048~~  
(940sec)

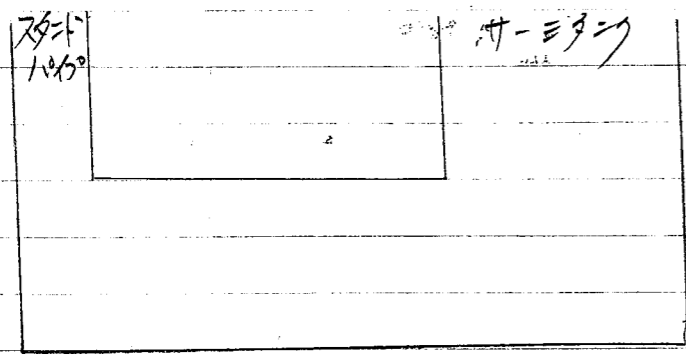
9528/  
(953sec)

70-2の5-3の管(0.0/m)  
2本の管の2本の管  
1.54

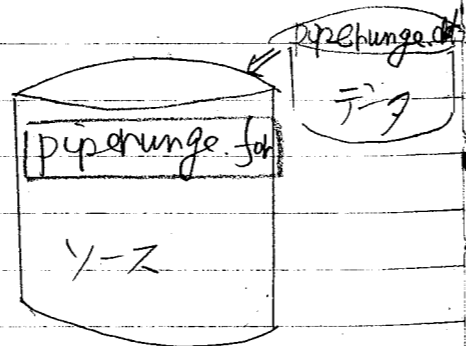
HIRFUNCを指定する

$[ABS(A(I) - SEN) < 0.0000 \text{ OR } A(I) \cdot GE \cdot SEN] \rightarrow ak$   
1.470 70-2の管

スタンバイ → サーキット  
(パイプ70-2の管)



1997.6.30



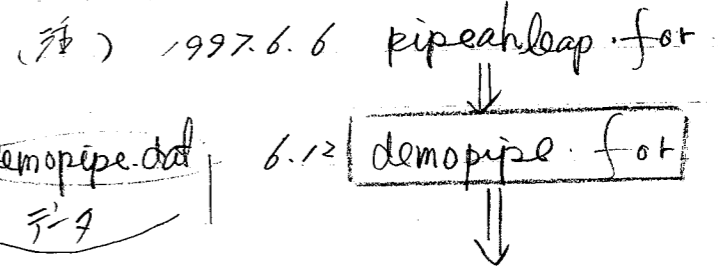
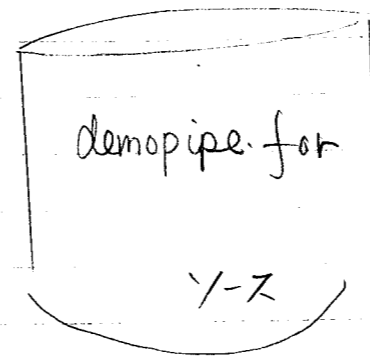
パイプを70-2の状態からスタートして  
(満水)

スタートパイプからサーキットへの流入を  
ループで計算する (パイプの流速計算)

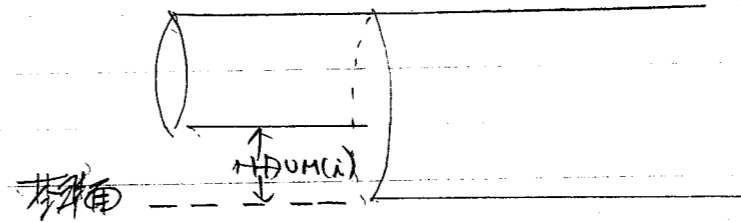
ICASE = 1 流量  $Q_1$  : 時刻  $t$  で  $Q_1$   
= 2  $Q_1 = Q_{0in} \sin(\omega t / T) + Q_0$   $\omega = 2\pi / T$

First  
pipe & F

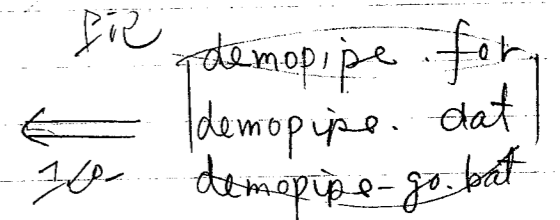
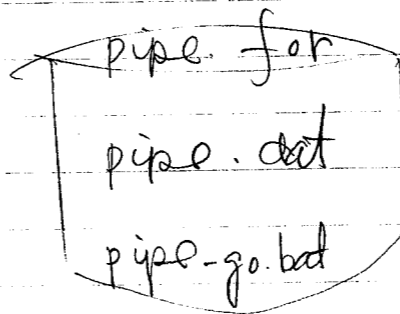
1997.7.8



1997.6.6 pipeahloop.for  
6.12 demopipe.for  
半径  $\times$  2 毎に可変  
パイプの断面の長さ  
ポット率有  
排水の開始に流入有  
(サージの水位がmaxのとき)



1997.9.10



変数 (demopipe.for 等)

- ・ 定数で  $\omega$  の実型のパイプの長さ
- ・ スタンバイ 10本可
- ・ 排水時の流量計算 (Newton法による)

ポット率 有  
半径 一定  
断面の長さ 一定  
排水の開始に流入有  
パイプ 実型の長さ

形状 ②形, 矩形, 台形, 馬蹄形  
(水深と断面の計算の要は  $\theta, A$  による)  
変数 (半... 入力形状を整備)

最小二乗法  
ガウスの消去法

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 1 & & 0 \\ & & \dots & \\ 0 & & & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} k_0 \\ \vdots \\ k_5 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} b_1 \\ \vdots \\ b_7 \end{pmatrix}$$

排水シミュレーションの件

1997.9.30 XE

井戸水ポンプ φ° のテーブル  
毎年度 損失係数

φ°	f
0	50000
10	400
20	100
...	...
80	0.30
90	0.15

管抵抗 (配管損失)

k<sub>2</sub>

f<sub>i</sub> = f(φ<sub>i</sub>)

k = f / (2gA<sup>2</sup>)  
g = 9.8 m/s<sup>2</sup>  
A<sup>2</sup> = 0.25πd<sup>2</sup>  
管径 d

(°) → ラジアラ変換

λ<sub>i</sub> = ln(φ<sub>i</sub> ラジアン)  
γ<sub>i</sub> = ln(k<sub>2</sub> f<sub>i</sub>) = ln [ f<sub>i</sub> / (2g(0.25πd<sup>2</sup>)) ]  
d<sub>i</sub>: 管径

λとγの関係を最小二乗法を用いて次式に近似

γ = k<sub>0</sub> + k<sub>1</sub>λ + k<sub>2</sub>λ<sup>2</sup> + ... + k<sub>5</sub>λ<sup>5</sup> (1)  
(ここで k<sub>0</sub> ~ k<sub>5</sub> は 近似係数を表す)

k<sub>2</sub> = exp(γ)  
管抵抗

ln(k) ≡ γ<sub>i</sub> = { k<sub>0</sub> + k<sub>1</sub>λ<sub>i</sub> + k<sub>2</sub>λ<sub>i</sub><sup>2</sup> + ... + k<sub>5</sub>λ<sub>i</sub><sup>5</sup> }

i = 1, 2, ... I I は 100 程度

λ<sub>i</sub> = ln(φ<sub>i</sub>)

最小二乗法で

γ<sub>i</sub> と (k<sub>0</sub> + k<sub>1</sub>λ<sub>i</sub> + ... + k<sub>5</sub>λ<sub>i</sub><sup>5</sup>) の差の二乗の総和を最小に  
おぼすに 係数 (k<sub>0</sub>, k<sub>1</sub>, k<sub>2</sub>, ..., k<sub>5</sub>) を求める

I (データ数)  
S = Σ<sub>i=1</sub><sup>I</sup> { γ<sub>i</sub> - (k<sub>0</sub> + k<sub>1</sub>λ<sub>i</sub> + k<sub>2</sub>λ<sub>i</sub><sup>2</sup> + ... + k<sub>5</sub>λ<sub>i</sub><sup>5</sup>) }<sup>2</sup> ⇒ 最小化

とおぼすに S を (k<sub>0</sub>, k<sub>1</sub>, ..., k<sub>5</sub>) で微分し ∂S/∂k<sub>j</sub> = 0 とおぼす

d<sub>i</sub> = γ<sub>i</sub> - (k<sub>0</sub> + k<sub>1</sub>λ<sub>i</sub> + k<sub>2</sub>λ<sub>i</sub><sup>2</sup> + k<sub>3</sub>λ<sub>i</sub><sup>3</sup> + k<sub>4</sub>λ<sub>i</sub><sup>4</sup> + k<sub>5</sub>λ<sub>i</sub><sup>5</sup>)

∂S/∂k<sub>0</sub> = 2 Σ<sub>i</sub> d<sub>i</sub> (-1) = 0

∂S/∂k<sub>1</sub> = 2 Σ<sub>i</sub> d<sub>i</sub> (-λ<sub>i</sub>) = 0

∂S/∂k<sub>5</sub> = 2 Σ<sub>i</sub> d<sub>i</sub> (-λ<sub>i</sub><sup>5</sup>) = 0

↓

ガウスの消去法で  

$$\begin{pmatrix} \Sigma & \Sigma \lambda_i & \Sigma \lambda_i^2 & \Sigma \lambda_i^3 & \Sigma \lambda_i^4 & \Sigma \lambda_i^5 \\ \Sigma \lambda_i & \Sigma \lambda_i^2 & \Sigma \lambda_i^3 & \Sigma \lambda_i^4 & \Sigma \lambda_i^5 & \Sigma \lambda_i^6 \\ \Sigma \lambda_i^2 & \Sigma \lambda_i^3 & \Sigma \lambda_i^4 & \Sigma \lambda_i^5 & \Sigma \lambda_i^6 & \Sigma \lambda_i^7 \\ \Sigma \lambda_i^3 & \Sigma \lambda_i^4 & \Sigma \lambda_i^5 & \Sigma \lambda_i^6 & \Sigma \lambda_i^7 & \Sigma \lambda_i^8 \\ \Sigma \lambda_i^4 & \Sigma \lambda_i^5 & \Sigma \lambda_i^6 & \Sigma \lambda_i^7 & \Sigma \lambda_i^8 & \Sigma \lambda_i^9 \\ \Sigma \lambda_i^5 & \Sigma \lambda_i^6 & \Sigma \lambda_i^7 & \Sigma \lambda_i^8 & \Sigma \lambda_i^9 & \Sigma \lambda_i^{10} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} k_0 \\ k_1 \\ k_2 \\ k_3 \\ k_4 \\ k_5 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \Sigma \gamma_i \\ \Sigma \lambda_i \gamma_i \\ \Sigma \lambda_i^2 \gamma_i \\ \Sigma \lambda_i^3 \gamma_i \\ \Sigma \lambda_i^4 \gamma_i \\ \Sigma \lambda_i^5 \gamma_i \end{pmatrix}$$

から k<sub>0</sub> ~ k<sub>5</sub> を求める (左表の φ° → ln φ = λ  
ラジアン)

λ ∈ (1) = λ | λ | z    γ = k<sub>0</sub> + k<sub>1</sub>λ<sub>i</sub> ...  
k = exp(γ) として k : 管抵抗を求め

A(6,7)  
NN=6  
NN+1=7

```

DO XX I=1, NN
  P=A(I, I)
  DO JJ J=1, NN+1
    A(I, J)=A(I, J)/P
  DO VV K=1, NN
    W=A(K, I)
    IF(K.EQ.1) GO TO VV
    DO VVV J=1, NN+1
      A(K, J)=A(K, J)-W*A(I, J)
    CONT
  XX

```

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} k_0 \\ \vdots \\ k_5 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A(1,7) \\ A(2,7) \\ A(3,7) \\ A(4,7) \\ A(5,7) \\ A(6,7) \end{pmatrix}$$

k<sub>0</sub> k<sub>5</sub> 等

ニュートン法  $f(x)=0$  の高次方程式  $f(x)$  の近似根がわかっているとき、これを繰り返し修正して、真の根を求める近似解法である。この方法で  $f(x)$  の導関数  $f'(x)$  が簡単に求められる形式に適用される。

ニュートン法

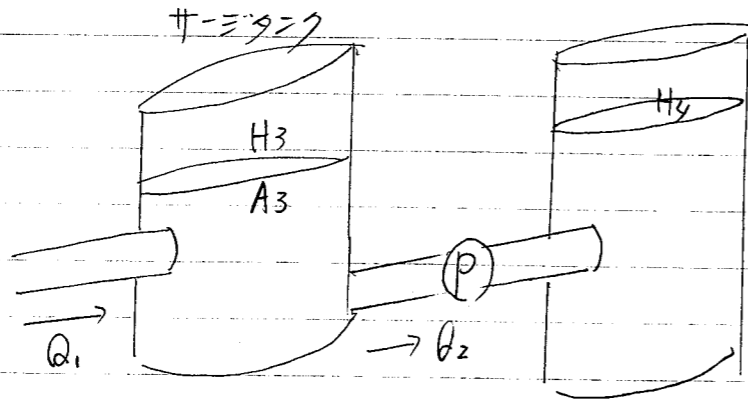
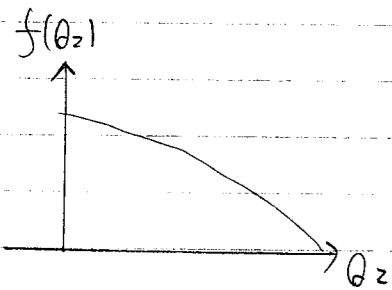
ある初期値  $\theta_2^{(0)}$  : 設定  $> 0$  とし

ニュートン法:  $\theta_2^{(i+1)} = \theta_2^{(i)} - \frac{f(\theta_2^{(i)})}{f'(\theta_2^{(i)})}$   $i = 0, 1, 2, \dots$  : 反復ステップ

$\epsilon$  (微小判定値)

$\left| \frac{\theta_2^{(i+1)} - \theta_2^{(i)}}{\theta_2^{(i)}} \right| < \epsilon$  の時  $\theta_2 = \theta_2^{(i+1)}$  とし計算終了

ポンプ特性



$H_4$  : 一定

$H_3$  :  $\rightarrow$

$\frac{\partial H_3}{\partial t} = \frac{\beta \theta_1 - \theta_2}{A_3}$   $\therefore H_3$  は計算  
 但し  $\theta_2$  は  $(H_3 - H_4)$  の変数

$\theta_2$  :  $\rightarrow$

ポンプ特性

$H = f(\theta_2) = H_4 - H_3 + k\theta_2^2$   $k$ : 前記  $n=3$  の抵抗係数  
 $f(\theta_2)$  は 3次式で表現  $H_4$ : 一定

今

$H = f(\theta_2) \equiv C_0 + C_1\theta_2 + C_2\theta_2^2 + C_3\theta_2^3$  ( $C_i$ : given) と仮定して計算

$C_0 + C_1\theta_2 + C_2\theta_2^2 + C_3\theta_2^3 = H_4 - H_3 + k\theta_2^2$  と仮定

$g(\theta_2) \equiv C_3\theta_2^3 + (C_2 - k)\theta_2^2 + C_1\theta_2 + (C_0 - H_4 + H_3) = 0$  と解く

但し  $H_3 = H_3^n$   $\therefore$  at  $t = m \cdot \Delta t$  の値

ニュートン法)  $g'(\theta_2) = 3C_3\theta_2^2 + 2(C_2 - k)\theta_2 + C_1$

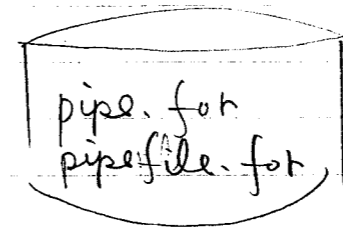
初期値  $\theta_2^{(0)}$  : 設定  $> 0$  とし

$\theta_2^{(i+1)} = \theta_2^{(i)} - \frac{g(\theta_2^{(i)})}{g'(\theta_2^{(i)})}$  (17c) の時  $\theta_2 = \theta_2^{(i+1)}$

$\theta_2 = \theta_2^{(i+1)}$  の  $\theta_2 \in m \Delta t \rightarrow m+1$  の  $\theta_2^n$  とし

$H_3^{n+1} = H_3^n + \frac{\Delta t}{A_3} [\beta \theta_1^n - \theta_2^n]$   $\therefore H_3$  は計算

VF  $\alpha$  test or / pipe の  $F_0$



再度 - 損失係数

$H_0$

係数

ニュートン

IL-4 = 96

GAUSS (7-7, 104)

GAUSS2 (7-7, 53)

NEWTON

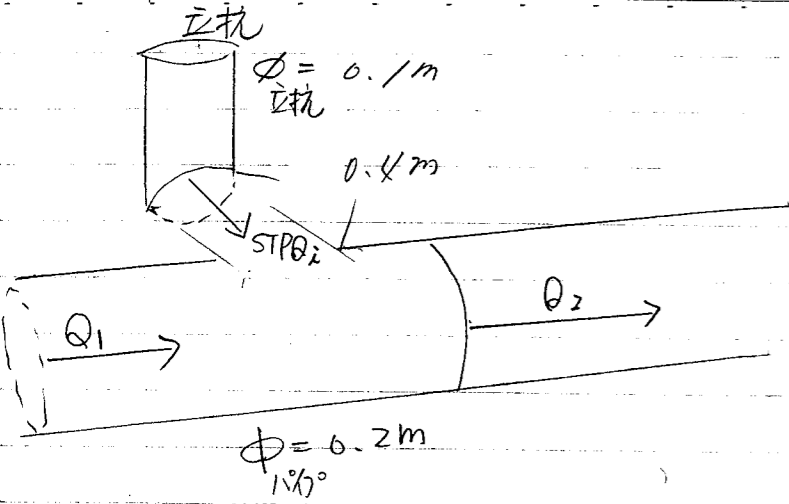
で解いている。



立杭 (本数 ≤ 10)

1997. 10. 7

水路 (パイプ・テラコタ - K 等) 及び 立杭

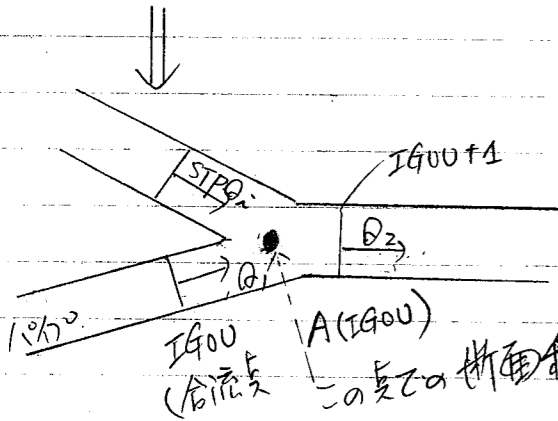


$\Delta X = 0.5m$  とする

0.4m ≒ 1X, 2分として  
立杭を2つ流す

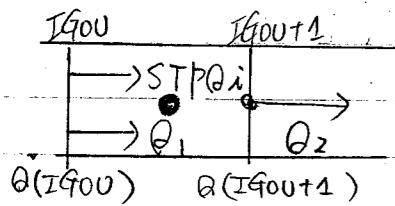
(保存則)

$Q_2 = Q_1 + STP\theta_i$  (i: 立杭)



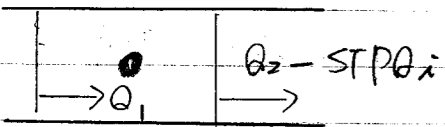
各々を計算する時  
各々の断面積 (A)  
流量 (Q)  
水深 (H)  
径深 (D) とする。

1.  $Q_2$  (IG00+1) を計算する



$Q^v(IG00) = STP\theta_i + Q_1$  (使用)  
 $A^v(IG00) = A^i(IG00) + 2 * C1 * (Q^v(IG00) - Q(IG00+1))$   
 ↓  
 これより水深, 径深を求めます

2.  $Q_1$  (IG00) を計算する



$Q^v(IG00+1) = Q_2 - STP\theta_i$   
 $A^3(IG00) = A^i(IG00) + 2 * C1 * (Q_1 - (Q_2 - STP\theta_i))$

3.  $STP\theta_i$  を計算する



$Q^v(IG00+1) = Q_2 - Q_1$   
 $STP\theta_i^3 = STP\theta_i^3 + 2 * C1 * (STP\theta_i - (Q_2 - Q_1))$

1997. 12. 8 火

(1997. 11. 3  
12. 3  
送付資料  
のノズ

立杭: 10本以下

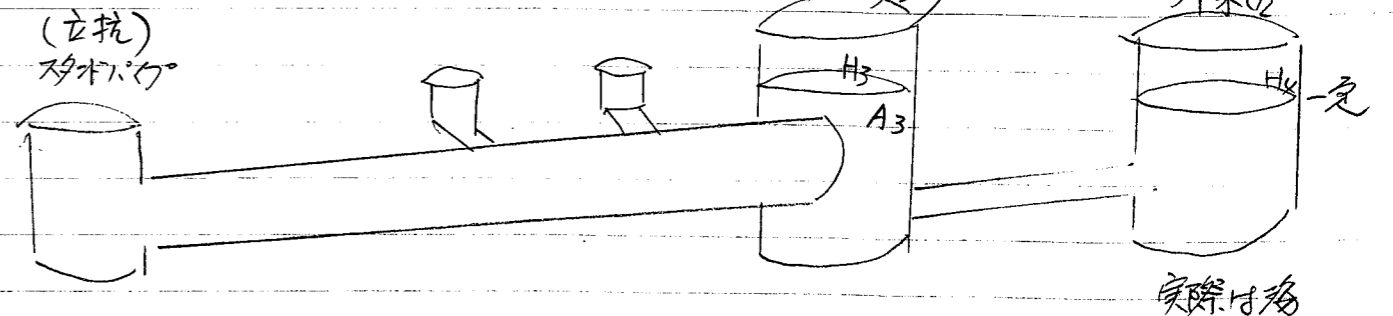
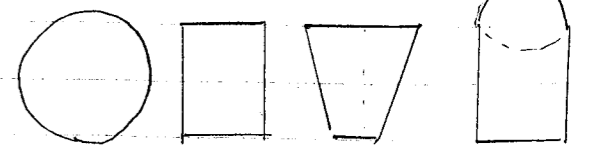
- ① 特殊 流量
- ② " 傾
- ③ 傾 流量
- ④ " 傾
- ⑤ " 傾
- ⑥ " 傾

27 / pipe  
/ test a  
pipe . for

UN27. 10  
pipe11. dat  
22. "  
33. "  
pipe00. dat

入力 = 90. (位置)  
変換 (11. 3 表 2. 0. 7)  
12. 3 0. k

パイプ形状: 円形, 矩形, 台形, 馬蹄形



平均勾配係数 (1/500 等)  
パイプの太さ 可変

H-Q 特性の近似  
最小二乗法 (傾度 - 損失係  
カス (H-Q テーブル

ポンプ特性  
ニュートン法  
管路抵抗係数 (user)

- pipe . for a 中 a
- gauss
- gauss2 IL-4 =
- QNEWTON 等

排水シミュレータの件

/test  
/pipe の Fr あり  
(pipefile.for プログラム)

1998.1.26 KE

(1) データファイルとユーザーの接続と指定

例) vip-200 ヴィスプログラムの時  
Fl32 pipefile.for

実行 pipefile.exe pipe11  
pipe11.dat 及び  
プログラム中で作成する

(CPU  
1R=180000  
pipefilezz.dat の実行時)

(2) データファイルとユーザーの指定にデータファイル名を関連付けて出力

(1), (2) 共 File I/O で作成

(3) ポンプの起動、停止水位を各ポンプに対して指定

- (4) 管路損失係数
- (5) 弁口径

GAUSSIL-4N	断面 - 弁損失係数の処理
GAUSS2	H=0 弁の処理の係数処理
QNEWTON	H=0 弁の処理

(6) 水路勾配が途中で変化

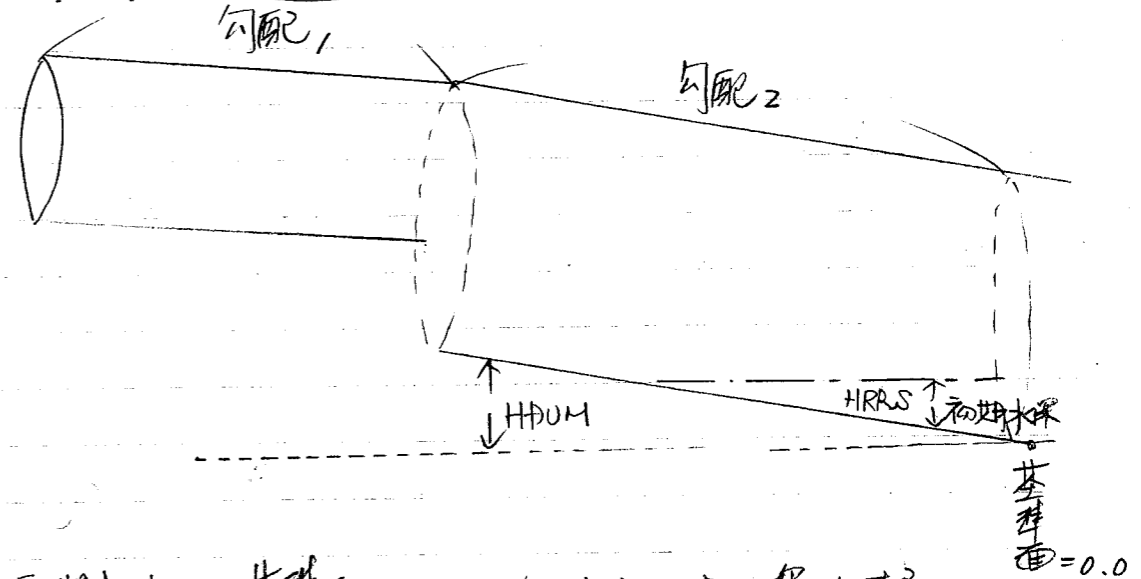
(7) 初期水深の設定

(8) 横流入部の処理

スタンプの流量と同一扱ふ  
但し流量は計算時に流入処理とする  
UVSET で処理 (JOB(N))

/test or /pipe の Fr

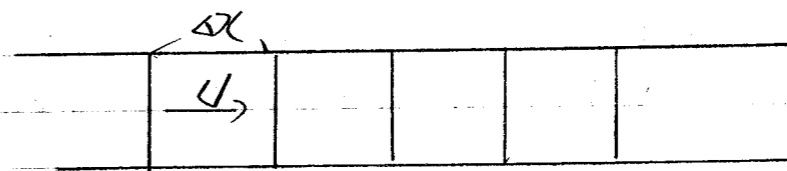
pipefile-for  
ヴィスプログラム



初期水位は基準面 = 0.0 のところから深さをとる。  
= 0.0 のところから最深水深として 0.01 とする。

(注) 流速係数

流速分散  
4007



$\Delta t$  (秒)  $\times$  勾配  $U$  (m/s)  $\times$   $X_0$  中  $\Delta x$  (m)  
を越えなければ散

$$U \frac{\Delta T}{\Delta x} < \frac{1}{2} \quad (\text{台?}) \quad \text{1次元の場合}$$

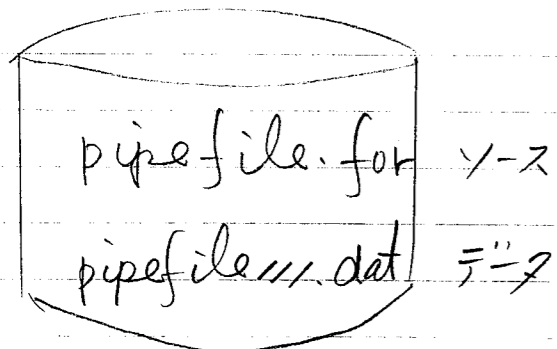
1998. 2. 26

パイプ

バルブ機能追加

各バルブの方向を指示するサージタンクの  
最大水位 (最小水位) を各バルブ毎に与える。

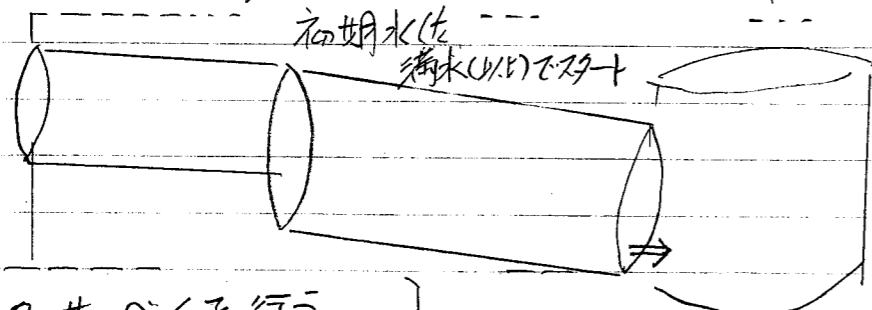
パス / test / a Fa  
パス / pipe / a Fa



1998. 8. 20  
X  
蓄水時水位と関係する  
ノース側のラウ (pipefile.for)  
3ヶ所変更

1998. 5. 22 修正  
1. 勾配でα HDUM(i) 設定 前降にて水位  
DX 97  
HDUM(i) = --- + (H1 - H2 - 1)  
\* A11(T2) \* DX  
NO. 555  
← 追加  
2  
NO. 1060  
← 追加  
3 NO. 1329 追加  
蓄水時の水位  
水位: 0.0/m 以上ある時は  
形状に拘束され水位が下がって  
いるとされる  
→ 水位 → 流量 Q3(i)  
→ 流量 Q3(i) 増加

蓄水時からスタートした時、パイプの初期水位でスタートする。パイプの初期水位は、パイプの初期水位と関係して決まる。



パイプ-サージタンク  
初期水位 HRR  
粗度係数 FF (通常 0.03)  
ポンプ台数 NPUMP  
サージ最大水位 HSETMX  
最小水位 HSETMI  
バルブ最大流量 PHAEMX

スタートの結果として  
パイプの勾配が大きい時、勾配に拘束され  
粗度を小さくすると、ポンプの流量は  
かえり、サージ最大水位は小さく  
なりやすくなる (0.1/m 以下)

# 汚染土壌内の地下水系動

マスバランスの計算

(香中研)

1997. 7. 7

〈イオン交換反応モデルの応用〉

3成分核種 ( $C_s^+$   $Ca^{2+}$   $C_{Mg}^{2+}$ ) に対して

1. 移流拡散方程式

—— (1) (i: Ca 以外の核種)

$$\theta \frac{\partial C_i}{\partial t} + \rho_b \frac{\partial g_i}{\partial t} + v \frac{\partial C_i}{\partial x} = \theta D \frac{\partial^2 C_i}{\partial x^2} - \lambda_i (\theta C_i + \rho_b g_i)$$

$\theta$ : 体積含有率 ( $\theta = f \cdot S$ , 飽和帯の場合、空隙率  $f$  に一致)

$C_i$ : 成分  $i$  の液相中濃度

$g_i$ : " " 固相中

$\rho_b$ : 見かけの密度 ( $\rho_b = (1-f) \cdot \rho$ ,  $\rho$  は真密度)

$v$ : 地下水流速,  $D$ : 分散係数,  $\lambda$ : 崩壊定数

2. 平衡方程式

$$k_{Ca}^{Cs} = \frac{g_{Cs}^{Ca} \cdot C_{Ca}}{C_{Cs}^{Ca} \cdot g_{Ca}^{Cs}}$$

$$k_{Mg}^{Cs} = \frac{g_{Cs}^{Mg} \cdot C_{Mg}}{C_{Cs}^{Mg} \cdot g_{Mg}^{Cs}}$$

—— (2)  
( $k$ : 分配係数)

$$k_{Mg}^{Cs} = \frac{k_{Ca}^{Cs}}{k_{Ca}^{Mg}} = \frac{k_{Ca}^{Cs}}{k_{Ca}^{Ca}} \cdot \frac{k_{Ca}^{Ca}}{k_{Ca}^{Mg}} = k_{Ca}^{Cs} \cdot k_{Mg}^{Ca}$$

$$= \frac{k_{Ca}^{Cs}}{k_{Ca}^{Mg}} = \frac{k_{Ca}^{Cs}}{0.8} \quad (\text{ただし } k_{Ca}^{Mg} = 0.8 \text{ のとき})$$

3. 保存方程式

$$g_{Cs} + g_{Ca} + g_{Mg} = g_T$$

—— (3)

( $k_{Mg}^{Cs}$  は  $k_{Ca}^{Cs}$  の 0.8 倍)

吸着量

(2), (3) の平衡方程式と保存方程式を連立させて吸着量 \$g\$ の代数的に求める。

$$\alpha = \frac{C_{Ca} \cdot k_{Mg}^{Cs} + C_{Mg} \cdot k_{Ca}^{Cs}}{C_{Cs} \cdot k_{Ca}^{Cs} \cdot k_{Mg}^{Cs}}$$

$$g_{Cs} = \frac{-1 + \sqrt{1 + 4\alpha \cdot g_T}}{2\alpha}$$

$$g_{Ca} = \frac{C_{Ca}}{C_{Cs} \cdot k_{Ca}^{Cs}} \left[ \frac{-1 + \sqrt{1 + 4\alpha \cdot g_T}}{2\alpha} \right]^2$$

$$g_{Mg} = \frac{C_{Mg}}{C_{Cs} \cdot k_{Mg}^{Cs}} \left[ \frac{-1 + \sqrt{1 + 4\alpha \cdot g_T}}{2\alpha} \right]^2$$

拡散方程式

1次元 (x方向)

$C_{i-1} \quad C_i \quad C_{i+1} \quad \dots \quad n$

$$\theta \frac{\partial C}{\partial t} + \rho_b \frac{\partial g}{\partial t} + v \frac{\partial C}{\partial x} = \theta D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} - \lambda (C + \rho_b g)$$

$$\theta \frac{C_i^{n+1} - C_i^n}{\Delta t} + \rho_b \frac{g_i^n - g_i^{n-1}}{\Delta t} + v \frac{C_i^n - C_{i-1}^n}{\Delta x} = \theta D \frac{C_{i+1}^n - 2C_i^n + C_{i-1}^n}{\Delta x^2} - \lambda (C_i^n + \rho_b g_i^n)$$

$$\begin{cases} v \geq 0 & C_i - C_{i-1} \\ v < 0 & C_{i+1} - C_i \end{cases}$$

$$C_i^{n+1} = C_i^n - \frac{\rho_b}{\theta} (g_i^n - g_i^{n-1}) - \frac{\Delta t}{\Delta x} \cdot \frac{v}{\theta} \cdot (C_i^n - C_{i-1}^n)$$

$$+ D \frac{\Delta t}{\Delta x^2} (C_{i+1}^n - 2C_i^n + C_{i-1}^n)$$

$$- \frac{\Delta t}{\theta} \cdot \lambda (C_i^n + \rho_b g_i^n)$$

7/57  
確認  
後述

$$C_i : \text{ueg/ml} = \text{meg/l}$$

$$g_i : \text{ueg/g}$$

$$C_i^{n+1} = C_i^n - \frac{\rho_b}{\theta} (g_i^n - g_i^{n-1}) - \frac{\Delta t}{\Delta x} \cdot \frac{v}{\theta} (C_i^n - C_{i-1}^n)$$

$\frac{\text{ueg/ml}}{(-)} \quad \frac{\text{ueg/g}}{(-)} \quad \frac{\text{ueg/cm}^3 = \text{ueg/ml}}{(-)} \quad \frac{\text{cm}}{(-)} \quad \frac{\text{cm/s}}{(-)}$

$$+ D \frac{\Delta t}{\Delta x^2} (C_{i+1}^n - 2C_i^n + C_{i-1}^n) - \frac{\Delta t}{\theta} \cdot \lambda (C_i^n + \rho_b g_i^n)$$

$\frac{\text{cm}^2/\text{s} \cdot \frac{\text{s}}{\text{cm}^2}}{(-)} \quad \frac{\text{ueg/cm}^3 \cdot \text{ueg/g}}{(-)} = \text{ueg/ml}$

5-21 (1/10, 2/10, 2/10)  $Ca^{2+} Mg^{2+}$

$$K_{Ca}^{Cs} = \frac{\beta_{Cs}^2 C_{Ca}}{C_{Cs} \beta_{Ca}}$$

$$K_{Mg}^{Cs} = \frac{\beta_{Cs}^2 C_{Mg}}{C_{Cs} \beta_{Mg}}$$

$Cs=1, Ca=2, Mg=3$  2倍

$$k_2^1 = \frac{(\beta_1)^2 C_2}{(C_1)^2 \beta_2}$$

$$k_3^1 = \frac{(\beta_1)^2 C_3}{(C_1)^2 \beta_3}$$

解法

$$\beta_1 + \beta_2 + \beta_3 = \beta_T : \text{変数}$$

$$\beta_1 = \beta_T - (\beta_2 + \beta_3)$$

$$\beta_2 = \frac{(\beta_1)^2 C_2}{(C_1)^2 k_2^1} \quad (1)$$

$$\beta_3 = \frac{(\beta_1)^2 C_3}{(C_1)^2 k_3^1} \quad (2)$$

$$\beta_1 = \beta_T - (\beta_2 + \beta_3)$$

$$= \beta_T - \left[ \frac{(\beta_1)^2 C_2}{(C_1)^2 k_2^1} + \frac{(\beta_1)^2 C_3}{(C_1)^2 k_3^1} \right] = \beta_T - \left( \frac{C_2}{(C_1)^2 k_2^1} + \frac{C_3}{(C_1)^2 k_3^1} \right) \beta_1^2$$

$$= \beta_T - \alpha \beta_1^2$$

$$(1) \quad \alpha \beta_1^2 + \beta_1 - \beta_T = 0$$

$$\therefore \beta_1 = \frac{-1 \pm \sqrt{1 - 4\alpha(-\beta_T)}}{2\alpha} > 0$$

$$= \frac{-1 + \sqrt{1 + 4\alpha\beta_T}}{2\alpha}$$

$$\alpha = \frac{C_2 \times k_3^1}{(C_1)^2 k_2^1 \times k_3^1} + \frac{C_3 \times k_2^1}{(C_1)^2 k_3^1 \times k_2^1}$$

$$= \frac{C_2 k_3^1 + C_3 k_2^1}{(C_1)^2 k_2^1 k_3^1}$$

(1), (2)  $\Rightarrow \beta_1 \in \mathbb{R} \setminus \{0\}$

$$\beta_2 = \frac{C_2}{(C_1)^2 k_2^1} \left[ \frac{-1 + \sqrt{1 + 4\alpha\beta_T}}{2\alpha} \right]^2$$

$$\beta_3 = \frac{C_3}{(C_1)^2 k_3^1} \left[ \frac{-1 + \sqrt{1 + 4\alpha\beta_T}}{2\alpha} \right]^2$$

5-23 (1/10, 1/10, 1/10)  $Co=1, Ca=2, Mg=3$

$$K_{Ca}^{Co} = \frac{\beta_{Co} C_{Ca}}{C_{Co} \beta_{Ca}}$$

$$k_2 = \frac{\beta_1 C_2}{C_1 \beta_2} \quad k_3 = \frac{\beta_1 C_3}{C_1 \beta_3}$$

$$\beta_2 = \frac{\beta_1 C_2}{C_1 k_2} \quad \beta_3 = \frac{\beta_1 C_3}{C_1 k_3}$$

(1) (2)

$$\beta_1 = \beta_T - (\beta_2 + \beta_3)$$

$$= \beta_T - \left( \frac{C_2}{C_1 k_2} + \frac{C_3}{C_1 k_3} \right) \beta_1$$

$\beta = \frac{C_2}{C_1 k_2} + \frac{C_3}{C_1 k_3}$

$$\therefore \beta_1 + \beta \beta_1 = \beta_T$$

$$\beta_1 = \frac{\beta_T}{1 + \beta}$$

(1), (2)  $\Rightarrow \beta_1 \in \mathbb{R} \setminus \{0\}$

$$\beta_2 = \frac{C_2}{C_1 k_2} \left( \frac{\beta_T}{1 + \beta} \right)$$

$$\beta_3 = \frac{C_3}{C_1 k_3} \left( \frac{\beta_T}{1 + \beta} \right)$$

T-22 (1(FD), 1(FD), 2(FD))  $\text{NO}_3^+$   $\text{Cl}^+$   $\text{SO}_4^{2+}$

$$K_{\text{Cl}}^{\text{NO}_3} = \frac{g_{\text{NO}_3} \cdot C_{\text{Cl}}}{C_{\text{NO}_3} \cdot g_{\text{Cl}}} = \frac{g_1 \cdot C_2}{C_1 \cdot g_2} = K_2' \quad \therefore g_2 = \frac{g_1 \cdot C_2}{C_1 \cdot K_2'} = \beta g_1$$

$$K_{\text{SO}_4}^{\text{NO}_3} = \frac{g_{\text{NO}_3}^2 \cdot C_{\text{SO}_4}}{C_{\text{NO}_3}^2 \cdot g_{\text{SO}_4}} = \frac{g_1^2 \cdot C_3}{C_1^2 \cdot g_3} = K_3' \quad \therefore g_3 = \frac{g_1^2 \cdot C_3}{C_1^2 \cdot K_3'} = \alpha g_1^2$$

$$g_1 = g_T - (g_2 + g_3)$$

$$= g_T - \beta g_1 - \alpha g_1^2$$

$$\therefore \alpha g_1^2 + (1 + \beta) g_1 - g_T = 0$$

$$\therefore g_1 = \frac{-(1 + \beta) + \sqrt{(1 + \beta)^2 + 4\alpha g_T}}{2\alpha}$$

$$g_2 = \beta g_1$$

$$g_3 = \alpha g_1^2$$

Time (分)  $\Rightarrow Q(\text{ml}) = 47.2 \text{ ml/hr}$   
 $= 0.01311 \text{ ml/sec}$

F22

1分  $\Rightarrow 0.01311 \text{ ml}$   
 T-21-1

F23

$$Q(\text{ml}) = 48.4 \text{ ml/hr} = 48.4 / 3600 \text{ 秒}$$

$$= 0.013444 \text{ ml/秒}$$

T-21 case(1)  $Q(\text{ml}) = 47.2 \text{ ml/hr} = 0.01311 \text{ ml/sec}$

(Cs, Ca, Mg) (2)  $Q(\text{ml}) = 45.3 \text{ ml/hr} = 0.0125833 \text{ ml/sec}$

(3)  $Q(\text{ml}) = 50.5 \text{ ml/hr} = 0.014028 \text{ ml/sec}$

T-23 (Sr, Ca, Mg)  $Q(\text{ml}) = 48.4 \text{ ml/hr} = 0.013444 \text{ ml/sec}$

F22 (NO3, Cl, SO4)

換算係数 all 1.0 追加換算100%  
 点值を代入して算出する 但し実行時間  
 $TT(i) = \text{TIME} / (24 \times 3600)$   
 日と12時間以内で

1997.7.30.FL

$$\rho \frac{\partial C_i}{\partial t} + \rho_0 \frac{\partial \delta_i}{\partial t} + v \frac{\partial C_i}{\partial x} = \rho D \frac{\partial^2 C_i}{\partial x^2} \quad \text{--- (1)}$$

$$\frac{\partial C_i}{\partial t} + v \frac{\partial C_i}{\partial x} = D \frac{\partial^2 C_i}{\partial x^2} - A \frac{\partial \delta_i}{\partial t} \quad \text{--- (2)}$$

但し  $v = \frac{v}{\rho}$ ,  $A = \frac{\rho_0}{\rho}$  とおす

↑-21 (1階, 2階, 2階)

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial \rho_{CS}}{\partial t} \\ \frac{\partial \rho_{Ca}}{\partial t} \\ \frac{\partial \rho_{Mg}}{\partial t} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} E_1 & F_1 & G_1 \\ E_2 & F_2 & G_2 \\ E_3 & F_3 & G_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{\partial C_{CS}}{\partial t} \\ \frac{\partial C_{Ca}}{\partial t} \\ \frac{\partial C_{Mg}}{\partial t} \end{bmatrix}$$

↑-23 (2階, 2階, 2階)

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial \rho_{Sr}}{\partial t} \\ \frac{\partial \rho_{Ca}}{\partial t} \\ \frac{\partial \rho_{Mg}}{\partial t} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} E'_1 & F'_1 & G'_1 \\ E'_2 & F'_2 & G'_2 \\ E'_3 & F'_3 & G'_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{\partial C_{Sr}}{\partial t} \\ \frac{\partial C_{Ca}}{\partial t} \\ \frac{\partial C_{Mg}}{\partial t} \end{bmatrix}$$

$\frac{\partial \rho}{\partial t}$  の項を係数計算にておぼわす

$$\text{(21)} \quad \frac{\partial \rho_{CS}}{\partial t} = E_1 \frac{C_{CS}^{n+1} - C_{CS}^n}{\Delta t} + (F_1 \frac{\partial C_{Ca}}{\partial t} + G_1 \frac{\partial C_{Mg}}{\partial t})_{m-1} \quad \text{--- (3)}$$

$$\frac{\partial \rho_{Ca}}{\partial t} = F_2 \frac{C_{Ca}^{n+1} - C_{Ca}^n}{\Delta t} + (E_2 \frac{\partial C_{CS}}{\partial t} + G_2 \frac{\partial C_{Mg}}{\partial t})_{m-1}$$

↑-21 (1階, 2階, 2階)  $\alpha \tau \tau \tau \tau$  ( $C_{CS}$   $C_{Ca}$   $C_{Mg}$ )

$C_{CS}$   $E_1 = -\frac{2d}{C_{CS}}$ ,  $F_1 = dM$ ,  $G_1 = dV$

$C_{Ca}$   $E_2 = -\frac{4\rho_{Ca}}{\rho_{CS}} \frac{d}{C_{CS}} - \frac{2\rho_{Ca}}{C_{CS}}$

$F_2 = \frac{\rho_{Ca}}{C_{Ca}} + \frac{2\rho_{Ca} \cdot dM}{\rho_{CS}}$

$G_2 = \frac{2\rho_{Ca} \cdot d \cdot V}{\rho_{CS}}$

$C_{Mg}$   $E_3 = -\frac{4\rho_{Mg}}{\rho_{CS}} \frac{d}{C_{CS}} - \frac{2\rho_{Mg}}{C_{CS}}$

$F_3 = \frac{2\rho_{Mg} \cdot dM}{\rho_{CS}}$

$G_3 = \frac{\rho_{Mg}}{Mg} + \frac{2\rho_{Mg} \cdot dV}{\rho_{CS}}$

後掛換  
 $C_{CS} = C_{CS}$   
 $C_{Ca} = C_{Ca}$   
 $C_{Mg} = Mg$  } とす

但し  $\alpha = \frac{C_{Ca} k_{Mg}^{CS} + C_{Mg} k_{Ca}^{CS}}{C_{CS}^2 \cdot k_{Ca}^{CS} \cdot k_{Mg}^{CS}}$   $\beta = \frac{-1 + \sqrt{1 + 4\alpha \beta T} - 2\alpha \beta T}{2\alpha \sqrt{1 + 4\alpha \beta T}}$

$\mu = \frac{k_{Mg}^{CS}}{C_{Ca} k_{Mg}^{CS} + C_{Mg} k_{Ca}^{CS}}$   $\nu = \frac{k_{Ca}^{CS}}{C_{Ca} k_{Mg}^{CS} + C_{Mg} k_{Ca}^{CS}}$

$\rho_{CS} = \frac{-1 + \sqrt{1 + 4\alpha \beta T}}{2\alpha}$ ,  $\rho_{Ca} = \frac{C_{Ca}}{C_{CS} \cdot k_{Ca}^{CS}} (\rho_{CS})^2$

$\rho_{Mg} = \frac{C_{Mg}}{C_{CS} \cdot k_{Mg}^{CS}} (\rho_{CS})^2$



$$\left(\frac{B}{A}\right)' = \frac{BA - AB}{A^2}$$

$$(\log \beta_1)' = \frac{\beta_1'}{\beta_1}$$

(2), (3) 及び

$$\frac{\partial C_1}{\partial t} + V \frac{\partial C_1}{\partial x} = D \frac{\partial^2 C_1}{\partial x^2} - A \left( E_1 \frac{\partial C_1}{\partial t} + F_1 \frac{\partial C_2}{\partial t} + G_1 \frac{\partial C_3}{\partial t} \right)$$

$$\therefore (1 + AE_1) \frac{\partial C_1}{\partial t} + V \frac{\partial C_1}{\partial x} = D \frac{\partial^2 C_1}{\partial x^2} - A \left( F_1 \frac{\partial C_2}{\partial t} + G_1 \frac{\partial C_3}{\partial t} \right)$$

$$\therefore \frac{\partial C_1}{\partial t} = \frac{C_1^{n+1} - C_1^n}{\Delta t}$$

$$\frac{\partial C_2}{\partial t} = \frac{C_2^n - C_2^{n-1}}{\Delta t}$$

$$\frac{\partial C_3}{\partial t} = \frac{C_3^n - C_3^{n-1}}{\Delta t}$$

1. 2. 3. 前の値使用

同様

$$(1 + AF_2) \frac{\partial C_2}{\partial t} + V \frac{\partial C_2}{\partial x} = D \frac{\partial^2 C_2}{\partial x^2} - A \left( E_2 \frac{\partial C_1}{\partial t} + G_2 \frac{\partial C_3}{\partial t} \right)$$

$$(1 + AG_3) \frac{\partial C_3}{\partial t} + V \frac{\partial C_3}{\partial x} = D \frac{\partial^2 C_3}{\partial x^2} - A \left( E_3 \frac{\partial C_1}{\partial t} + F_3 \frac{\partial C_2}{\partial t} \right)$$

4-2.3 (2階, 2階, 2階) のEJIL (Csr, Cca, Cmg)

$$\tau = \frac{Cca k_{Mg}^{sh} + Cmg k_{Ca}^{sh}}{Csr \cdot k_{Mg}^{sh} \cdot k_{Ca}^{sh}}$$

$$\beta_{sh} = \frac{\beta_T}{1 + \tau} = \frac{k_{Ca}^{sh} \cdot k_{Mg}^{sh} \cdot \beta_T}{Csr \cdot k_{Mg}^{sh} \cdot k_{Ca}^{sh} + Cca k_{Mg}^{sh} + Cmg \cdot k_{Ca}^{sh}} \cdot Csr$$

$$\Delta = \frac{k_{Ca}^{sh} \cdot k_{Mg}^{sh} \cdot Csr \cdot \beta_T}{D}$$

$$\Delta \cdot D = Csr k_{Mg}^{sh} k_{Ca}^{sh} + Cca k_{Mg}^{sh} + Cmg \cdot k_{Ca}^{sh}$$

$$\frac{\partial \beta_{sh}}{\partial t} = \frac{\beta_T}{D^2} \left[ k_{Ca}^{sh} \cdot k_{Mg}^{sh} \cdot D \cdot \frac{\partial Csr}{\partial t} = k_{Ca}^{sh} \cdot k_{Mg}^{sh} \cdot Csr \frac{\partial D}{\partial t} \right]$$

$$= \frac{\beta_T}{D^2} \left[ k_{Ca}^{sh} \cdot k_{Mg}^{sh} (Csr \cdot k_{Ca}^{sh} \cdot k_{Mg}^{sh} + Cca \cdot k_{Mg}^{sh} + Cmg \cdot k_{Ca}^{sh}) \frac{\partial Csr}{\partial t} \right]$$

$$- k_{Ca}^{sh} \cdot k_{Mg}^{sh} \cdot Csr \left( k_{Ca}^{sh} \cdot k_{Mg}^{sh} \frac{\partial Csr}{\partial t} + k_{Mg}^{sh} \frac{\partial Cca}{\partial t} + k_{Ca}^{sh} \frac{\partial Cmg}{\partial t} \right)$$

$$\frac{\partial \beta_{sh}}{\partial t} = \frac{\beta_T}{D^2} \left[ k_{Ca}^{sh} \cdot k_{Mg}^{sh} (Cca k_{Mg}^{sh} + Cmg k_{Ca}^{sh}) \cdot \frac{\partial Csr}{\partial t} \right]$$

$$- k_{Ca}^{sh} (k_{Mg}^{sh})^2 \cdot Csr \frac{\partial Cca}{\partial t}$$

$$- (k_{Ca}^{sh})^2 \cdot k_{Mg}^{sh} \cdot Csr \frac{\partial Cmg}{\partial t}$$

$$= E_1 \frac{\partial Csr}{\partial t} + F_1 \frac{\partial Cca}{\partial t} + G_1 \frac{\partial Cmg}{\partial t}$$

$$E_1 = \frac{\beta_T}{D^2} \left[ k_{Ca}^{sh} \cdot (k_{Mg}^{sh})^2 \cdot Cca + (k_{Ca}^{sh})^2 \cdot k_{Mg}^{sh} \cdot Cmg \right]$$

$$F_1 = - \frac{\beta_T}{D^2} (k_{Mg}^{sh})^2 \cdot k_{Ca}^{sh} \cdot Csr$$

$$G_1 = - \frac{\beta_T}{D^2} (k_{Ca}^{sh})^2 \cdot k_{Mg}^{sh} \cdot Csr$$

70,7- VZP-200 の計算のF9  
simplified

$$g_{ca} = \frac{C_{ca}}{C_{st} \cdot k_{ca}^{sh}} \frac{g_T}{1/T} \triangleq \frac{k_{mg}^{sh} \cdot C_{ca}}{D} \cdot g_T$$

$$\frac{\partial g_{ca}}{\partial t} = \frac{g_T}{D^2} \left[ k_{mg}^{sh} \cdot D \frac{\partial C_{ca}}{\partial t} - k_{mg}^{sh} \cdot C_{ca} \frac{\partial D}{\partial t} \right]$$

$$= \frac{g_T}{D^2} \left[ k_{mg}^{sh} \cdot (C_{st} \cdot k_{ca}^{sh} \cdot k_{mg}^{sh} + C_{ca} k_{mg}^{sh} + C_{mg} k_{ca}^{sh}) \frac{\partial C_{ca}}{\partial t} - k_{mg}^{sh} \cdot C_{ca} \left( k_{ca}^{sh} \cdot k_{mg}^{sh} \frac{\partial C_{st}}{\partial t} + k_{mg}^{sh} \frac{\partial C_{ca}}{\partial t} + k_{ca}^{sh} \frac{\partial C_{mg}}{\partial t} \right) \right]$$

$$= F_2 \frac{\partial C_{st}}{\partial t} + F_2 \frac{\partial C_{ca}}{\partial t} + G_2 \frac{\partial C_{mg}}{\partial t} \geq \text{等}$$

$$E_2 \triangleq - \frac{g_T}{D^2} k_{mg}^{sh^2} \cdot k_{ca}^{sh} \cdot C_{ca}$$

$$F_2 \triangleq \frac{g_T}{D^2} (k_{ca}^{sh} \cdot k_{mg}^{sh^2} \cdot C_{st} + k_{mg}^{sh} \cdot k_{ca}^{sh} \cdot C_{mg})$$

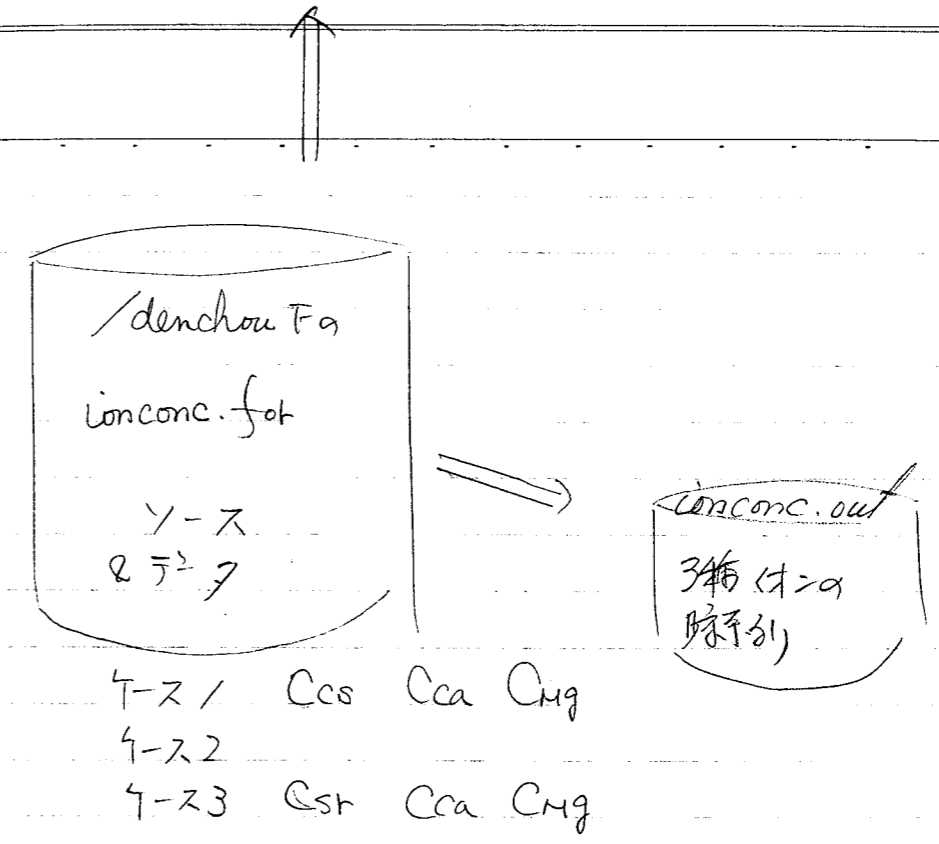
$$G_2 \triangleq - \frac{g_T}{D^2} k_{mg}^{sh} \cdot k_{ca}^{sh} \cdot C_{ca}$$

同様

$$E_3 = - \frac{g_T}{D^2} (k_{ca}^{sh^2} \cdot k_{mg}^{sh} \cdot C_{mg})$$

$$F_3 = - \frac{g_T}{D^2} (k_{ca}^{sh} \cdot k_{mg}^{sh} \cdot C_{mg})$$

$$G_3 = \frac{g_T}{D^2} (k_{ca}^{sh^2} \cdot k_{mg}^{sh} \cdot C_{st} + k_{mg}^{sh} \cdot k_{ca}^{sh} \cdot C_{ca})$$



70,7-2と12  
 $k_{ca}^{cs} = 10.0$   
 $\alpha = 1/20.0$   
 $\Delta x = 0.5 \text{ cm}$   
 $\Delta t = 0.5 \text{ sec}$   
 初期値 (0時)  
 $C_{ca0} = 0.0 \text{ mg/l}$   
 $g_{ca0} = 0.0$   
 $\alpha$  値は入力

単位  
 $C : \text{mg/ml} = \text{mg/l}$   
 $g : \text{mg/g}$

濃度換算 70,7-の単位は mg/l 使用単位 CFS系

	mg/l	換算	単位
Cs	1 mg/l	$= 1/132.9 \text{ mg/l}$	( $\div 1000$ ) mg/ml
Ca	1 mg/l	$= 1/20.04 \text{ mg/l}$	( $\div 1000$ ) "
Mg	1 mg/l	$= 1/12.15 \text{ mg/l}$	( $\div 1000$ ) "
St	1 mg/l	$= 1/43.86 \text{ mg/l}$	( $\div 1000$ ) "

但し 70,7- 濃度 1.0 時 単位は mg/l と12.15  
 $C_{ca}(i) = a \text{ mg/ml} \rightarrow P C_{ca}(i) = a \times 1000$   
 70,7- と12.15

1997.A.27

ICASE=1

(CS, CA, YG)

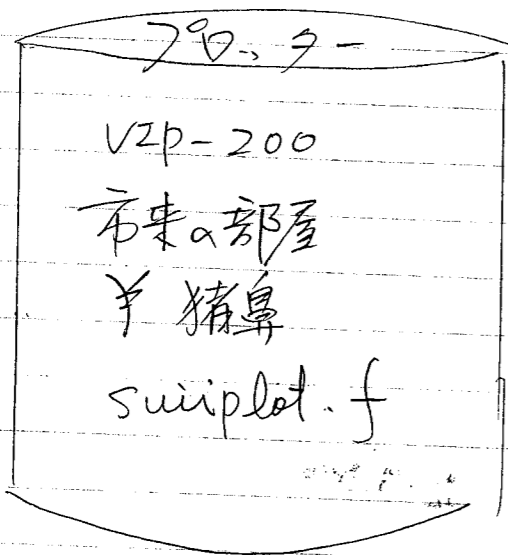
CASE 1 - D (D = 0.005, 0.05, 0.01)

2 - D

3 - D

1 - K (D = 0.02) --> CASE 1 - D (D = 0.02)

α 計 104-ス計算



```

DO XX I=1, ZTRMAX
  READ (10,*) TIME, (S(I,N), N=1, NUM)
  IF (ZONCASE.EQ.1) TT(I) = TIME * 0.01311
  "      12) " * 0.01258
  "      13) " * 0.01403
  "      3) " * 0.013444
  "      2) TT(I) = TIME / (24. * 3600.)
  
```

XX CONT

1997.9.25 xz

$$0 \frac{\partial C_i}{\partial t} + \rho_b \frac{\partial \delta_i}{\partial t} + V \frac{\partial C_i}{\partial x} = 0 \quad \frac{\partial^2 C_i}{\partial x^2}$$

$$\frac{\partial C_i}{\partial t} + V \frac{\partial C_i}{\partial x} = D \frac{\partial^2 C_i}{\partial x^2} - A \frac{\partial \delta_i}{\partial t}$$

但し  $V = \frac{V}{\theta}$ ,  $A = \frac{\rho_b}{\theta}$  である

4-72 (1階, 1階, 2階)

NOS, CL, SOX<sup>2-</sup>

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial g_{NOS}}{\partial t} \\ \frac{\partial g_{CL}}{\partial t} \\ \frac{\partial g_{SOX}}{\partial t} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} E_1 & F_1 & G_1 \\ E_2 & F_2 & G_2 \\ E_3 & F_3 & G_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{\partial C_{NOS}}{\partial t} \\ \frac{\partial C_{CL}}{\partial t} \\ \frac{\partial C_{SOX}}{\partial t} \end{bmatrix} \quad \left| \begin{array}{l} (g_1, C_1) = (g_{NOS}, C_{NOS}) \\ (g_2, C_2) = (g_{CL}, C_{CL}) \\ (g_3, C_3) = (g_{SOX}, C_{SOX}) \\ \text{と置く} \end{array} \right.$$

$\frac{\partial g_i}{\partial t}$  の項を係数 ( $E_i \sim G_i$ ) を計算しておく。

$$E_1 = \frac{1}{2t \chi C_1} \left\{ -(1+\beta)\beta - 4g_T t + 2\chi^2 - 2\chi - \beta\chi \right\}$$

$$F_1 = \frac{\beta}{2t \chi C_2} (1+\beta - \chi) = \frac{-\beta g_1}{\chi C_2}$$

$$G_1 = \frac{1}{2t \chi C_3} \left\{ 2g_T t - \chi^2 + \chi + \chi\beta \right\}$$

$$E_2 = \beta E_1 - \frac{g_1 C_2}{C_1^2 k_2^2} \quad E_3 = 2t g_1 E_1 - \frac{2C_3 g_1^2}{C_1^3 k_3^2}$$

$$F_2 = \beta F_1 + \frac{g_1}{C_1 k_2^2} \quad F_3 = 2t g_1 F_1$$

$$G_2 = \beta G_1 \quad G_3 = 2t g_1 G_1 + \frac{g_1^2}{C_1^2 k_3^2}$$

∴

$$\beta = \frac{C_2}{C_1 k_2^2}, \quad t = \frac{C_3}{C_1^2 k_3^2}, \quad \chi = \sqrt{(1+\beta)^2 + 4t g_T}$$

$$g_1 = \frac{\chi - (1+\beta)}{2t}$$

$g_T$ : 固相流量  
 $k_2, k_3$ : 選択係数  
 $k_2 = AKNOCL$   
 $k_3 = AKNOSO$

送付

1997.9.29

ICASE=2 (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>)  
1(FT) 1(FT) 2(FT)

Tru

CASE2 - con \*\* ΔΔΔΔ  
          └───┬───┘  
          深度 Q<sub>T</sub>

		mg/g
ΔΔΔΔ	01	0.01
Q <sub>TOTAL</sub>	02	0.02
	008	0.008
	005	0.005

(例)

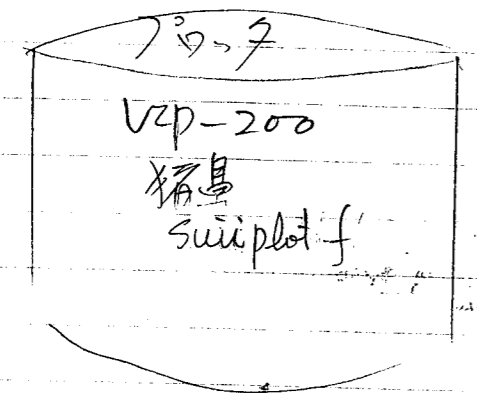
CASE2 - con 02 008

(0.005g 水中不溶物)

( 深度 0.2m  
Q<sub>T</sub> = 0.008 )

**	01	→ 0.1m
	02	→ 0.2m
	05	→ 0.5m

合計 127.1L を計算



伊東 忍

岸線情報  
kaneigansui.fot  
kaneigansui  
-go.bat

② kaneigansui.out (津及線)

④ kaneigansui.dat (入力)

kaneigan.ptn

水(左岸系列)図  
ハシケ 図

VIP-200  
市東の部屋 / 佐藤

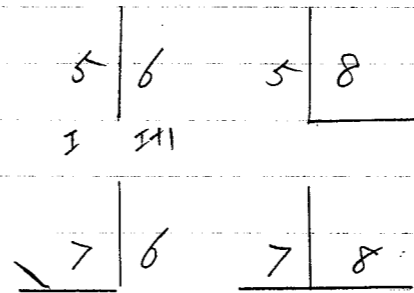
1997.10.28

堤防越流 (直交成分のみ考慮)  
伊東港 B17 (H)

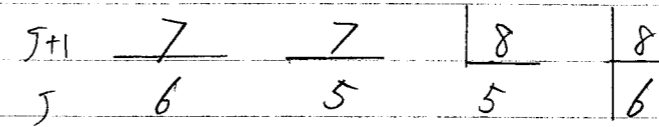
隆起量 0.25m ± 12  
堤防 D.L 3.0 = T.P 2.0  
水面 T.P 1.0  
T.P 2.0 - T.P 1.0 + 0.25 = 1.25  
隆起

越流判定 1.25m

N方向



N方向



赤松港 B19 (J)

隆起量 1.0m ± 12  
堤防 D.L 3.0 = T.P 2.0  
水面 T.P 1.0  
T.P 2.0 - T.P 1.0 + 1.0 = 2.0  
隆起

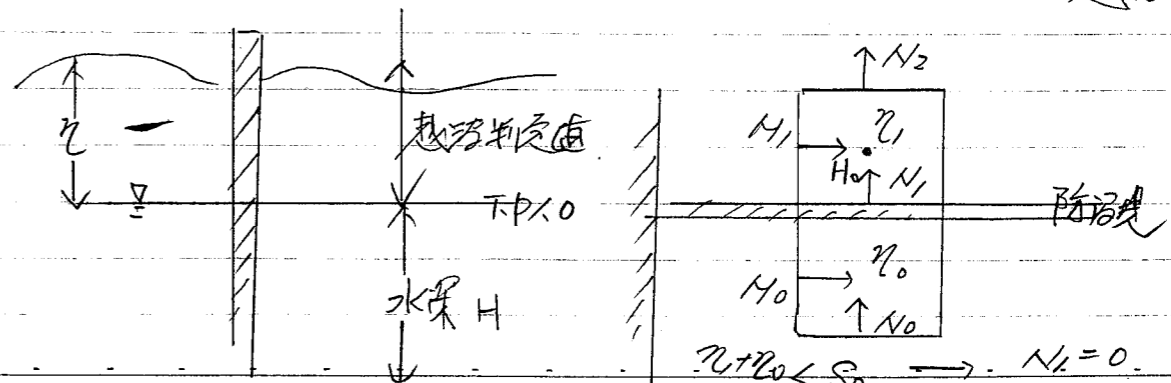
越流判定 2.0m

型 6, 8 寸 松崎港処理と同し  
下記図参

型 5, 7 寸 従来の差分式にて検討  
型判定 (H1) に行... 処理

型 7, 8 寸 下記図参

型 5, 6 寸 従来の差分式にて検討  
型判定 (J+1) に行... 処理  
越流判定値  $S_0$



$$\frac{\eta_1 + \eta_0}{2} \leq S_0 \rightarrow N_1 = 0$$

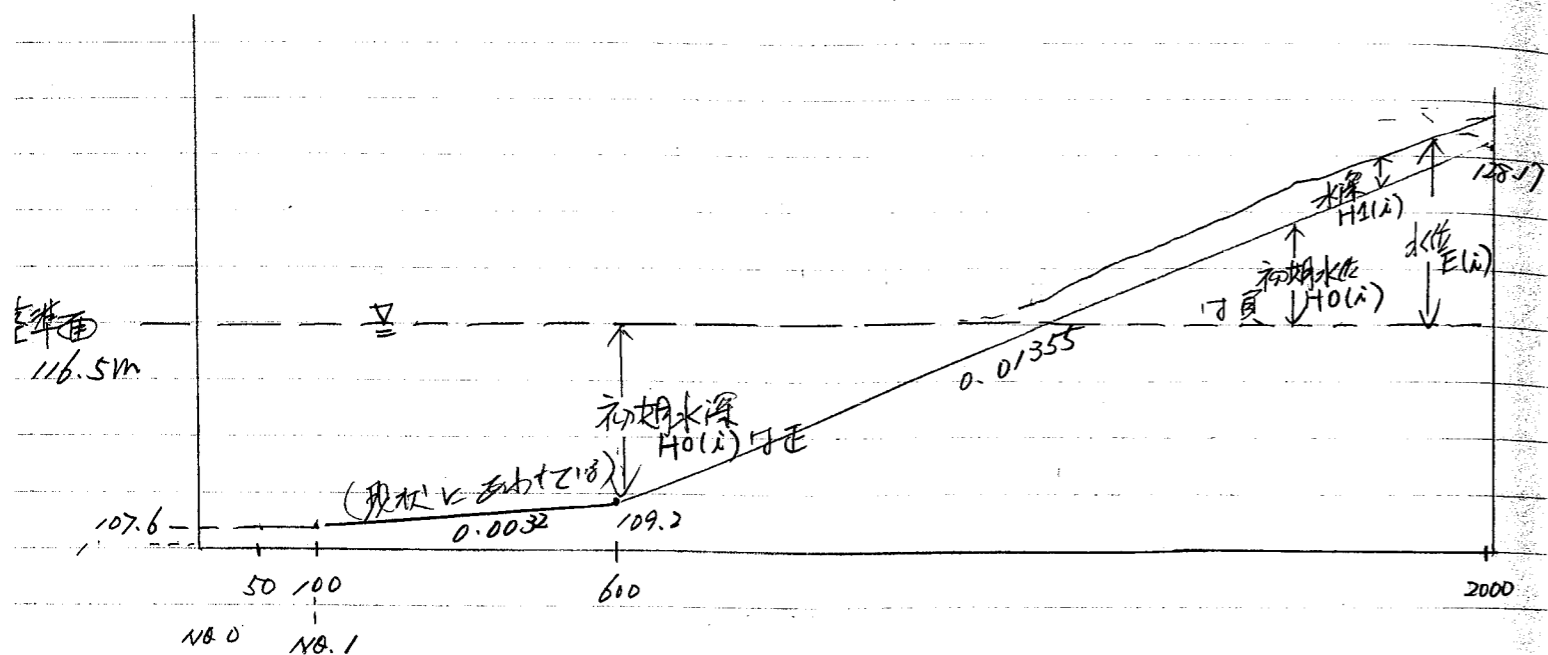
$$\frac{\eta_1 + \eta_0}{2} > S_0 \rightarrow N_1 = \frac{N_0 + N_2}{2} \left[ \frac{\eta_1 + \eta_0}{2} - S_0 \right] + H_0$$

三面川のダムモデル  
防犯の水深予測

7075u niigata/tokokasen-for

シミュレーション  
(新橋)

1998.3.17



$\Delta L = 116.5 - 107.6 = 8.9m$

計算領域 2km (1.95km) と設定

2kmでの河床高	128.17
基準面	116.50
上流の水深	11.67
	0.5
	12.17

$\Delta x = 50.0$

$\Delta t = 0.05$

上流  $Q_{in} = -1.15 m^3/s$

南水路 (1/100で使用) のシミュレーションモデルについて

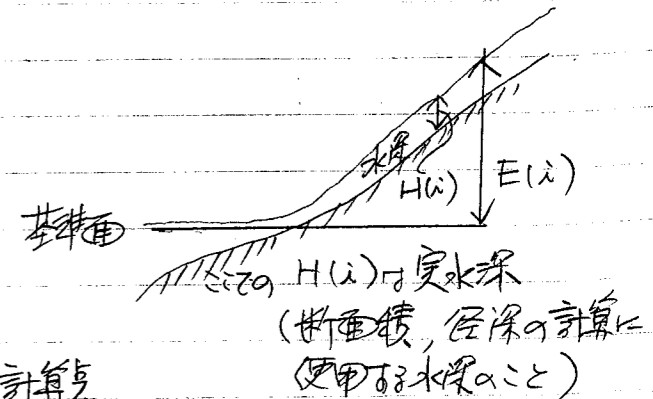
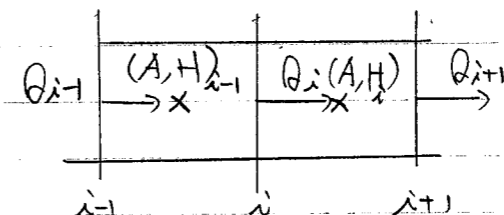
運動方程式

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + u \frac{\partial Q}{\partial x} + g \cdot A \frac{\partial H}{\partial x} = -g \frac{n^2 |Q| Q}{A \cdot R^{4/3}} \quad (1)$$

ここでHは断面のE(i)に与える  
(基準面からの水位)

連続式

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \quad (2)$$



x: A, H, R の計算

差分式-1

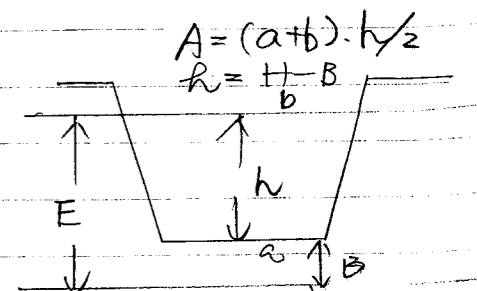
1) ランクウス法

$$\frac{Q_i^{n+1} - Q_i^n}{\Delta t} + u_i \frac{Q_{i+1}^n - Q_{i-1}^n}{2\Delta x} - \frac{\Delta t}{2} \left( \frac{u_i}{\Delta x} \right)^2 (Q_{i+1}^n - 2Q_i^n + Q_{i-1}^n) + g A_{i-1/2}^n \frac{E_i^n - E_{i-1}^n}{\Delta x} = -g \frac{n^2 |Q_i^n| Q_i^n}{A_{i-1/2}^n \cdot R_i^{4/3}}$$

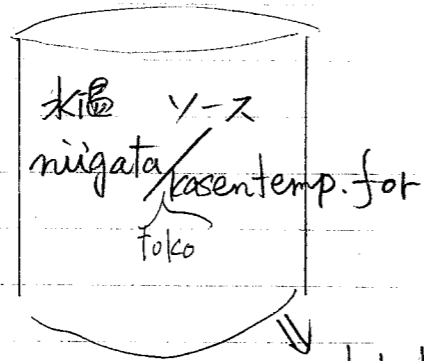
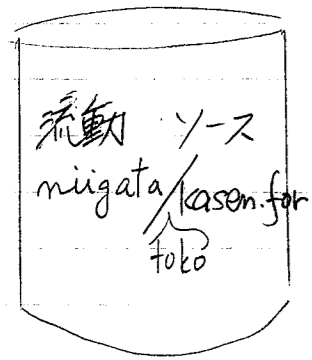
(粘性項)

(2) 1) -ラングレン法

$$\frac{A_i^{n+1} - A_i^{n-1}}{2\Delta t} + \frac{Q_{i+1}^n - Q_i^n}{\Delta x} = 0$$

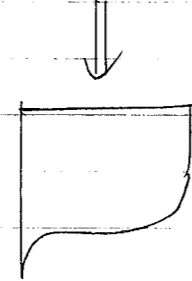
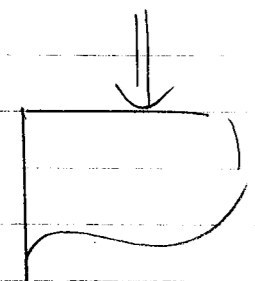
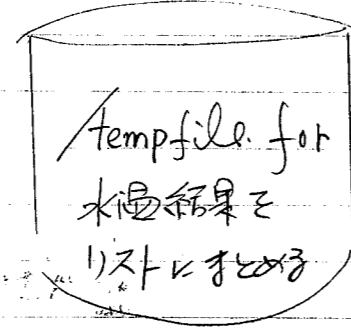
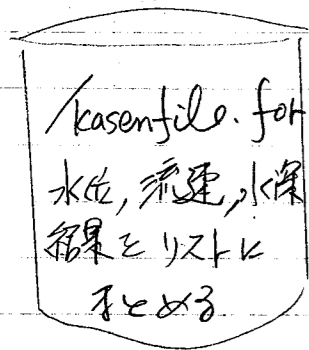


$$u_i = \frac{Q_i^n}{0.5 * (A_i^n + A_{i-1}^n)}$$



流速  
水深  
(16) tokou.v.out  
(18) tokohh.out  
(17) tokogeniki.out (河床高+水位)

(15) tokotemp.out



注) 河床高+水位, + 水深

格納列別出力  
例) tokogeniki.out = tokosuii.out (3/50'98'90)

温度

$$\frac{\partial T}{\partial t} + u \frac{\partial T}{\partial x} = D_x \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{Q}{C_v \cdot \rho \cdot h}$$

T: 水温  
u: 流速  
D<sub>x</sub>: 拡散係数  
Q: 熱量 cal/cm<sup>2</sup>·day  
C<sub>v</sub>: 比熱 1.0 cal/g·°C / cal/cm<sup>2</sup>·day = 0.11574  
ρ: 水の密度 1.0 g/cm<sup>3</sup> cal/m<sup>2</sup>·sec  
h: 水深

$$Q = Q_s - (Q_b + Q_c + Q_e) \approx Q_s = 0.93 \times (1 - 0.67 m) \cdot Q_{s0}$$

n: 雲量 0 < n < 1.0

$$Q_{s0} = 72.7 \times (\text{cal/cm}^2 \cdot \text{day}) \quad \text{北緯 } 35^\circ \text{ の } 7 \text{ 月 の 平均値}$$

T → C 213

$$C_i^{n+1} = C_i^n - \frac{\Delta t}{\Delta x} \left[ 0.5 * (U(i) + \text{ABS}(U(i))) * (C(i) - C(i-1)) + 0.5 * (U(i) - \text{ABS}(U(i))) * (C(i+1) - C(i)) \right]$$

$$+ \frac{\Delta t}{\Delta x^2} \times D_x(i) \times (C(i+1) - 2 \cdot C(i) + C(i-1))$$

$$+ \frac{\Delta t}{\Delta x} \times \frac{Q(i)}{C_v \cdot \rho \cdot h(i)}$$

ρ = 1.0 g/cm<sup>3</sup>  
↓  
1000000 g/m<sup>3</sup>

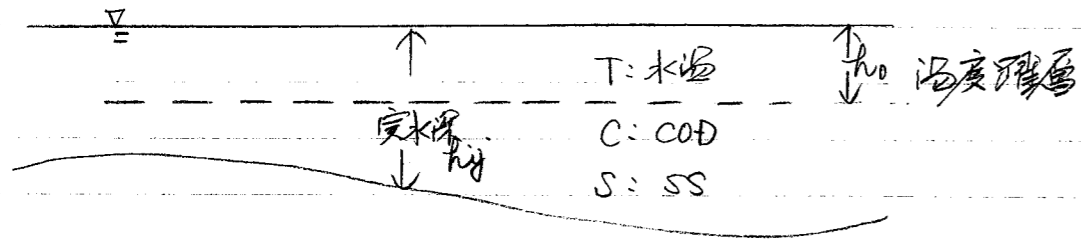
$$\frac{\text{単位} \cdot Q(i)}{C_v \cdot \rho \cdot h(i)} = \frac{\text{sec} \cdot \text{cal/m}^2 \cdot \text{sec}}{\text{cal/g} \cdot \text{°C} \cdot \text{g/m}^3 \cdot \text{m}} = \text{°C}$$

奥三面弘

水質項目 シミール - シヨウ

1998.7.31

水温, COD, SS 平水時 (7/25 ~ 9/24) 24日 60日  
 増水時 (11/18 ~ 11/21) 4日



水温

$$\frac{\partial T}{\partial t} + u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} = D_h \left( \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) + \frac{Q}{C_w \rho h_0} + D_v \frac{\partial^2 T}{\partial z^2}$$

$\frac{Q}{C_w \rho h_0}$   
↑  
日照量
 $D_v \frac{\partial^2 T}{\partial z^2}$   
↑  
底の冷却

$Q = Q_s =$  日照量

$Q_s = (1 - \alpha) \cdot Q_{s0} = 0.93 \times (1 - (1 - D) \cdot \eta) Q_{s0}$  (村田観測所)

$\alpha$ : 3.4% = 0.034

$D = 0.33$

$\eta$ : 雲量 (0 ~ 1)

$\eta = \frac{\max \frac{1}{\eta} - \text{日照量}}{\max}$   
 日照量は平均値  
 湖の平均日照量  
 欠測日付は0値で  
 入力  
 max = 24.0

$\therefore Q_s = 0.93 \times (1 - 0.67 \eta) Q_{s0}$

$Q_{s0}$ : 北緯40°E	7	748.4 cal/cm²日
	8	680.6
	9	586.7
	10	432.3

$C_w = 1 \text{ cal/g} \cdot \text{C}$

$\rho = 1 \text{ g/cm}^3$

$h_0 = 6 \text{ m}$

$D_v$  は  $D_h$  (拡散係数) の 0.1 ~ 0.001 (経験値)

$\frac{Q}{C_w \rho h_0}$  単位 sec.  $\frac{\text{cal}/(\text{cm}^2 \cdot \text{sec})}{\text{cal}/\text{g} \cdot \text{C}} \cdot \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \cdot \text{m} = \text{C}$

$\rho = 1000000 \text{ g/m}^3$   
 $Q = 10000 \text{ cal/m}^2 (24 \times 3600) \text{ sec}$   
 $\beta(75) = 0.98$   
 $\beta(60) = 0.95$   
 $\beta(30) = 0.92$   
 $\beta(0) = 0.8$   
 $\beta(10) = 0.92$

$\frac{\partial T}{\partial z^2} = \frac{T_s - T_b}{\Delta z^2}$

$\beta$  (IRAT) 日毎変  
 7/24  $\beta(1) = 0.98$   
 8/16  $\beta(0) = 0.95$   
 9/30  $\beta(0) = 0.92$

$\text{g/m}^3 \Leftrightarrow \text{mg/l}$

$1000 \text{ mg} = 1 \text{ g}$   
 $1000 \text{ l} = 1 \text{ m}^3$

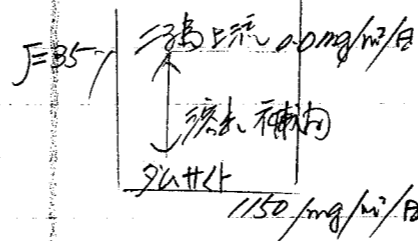
溶水速度

$150 \text{ mg/m}^2/\text{日} \rightarrow \text{mg/l}$   
 $\frac{150}{100 \times 100 \times 100} = 1.5 \times 10^{-6} \text{ mg/l}$   
 $\frac{150}{100 \times 100 \times 100} = 1.5 \times 10^{-6} \text{ mg/l}$

COD

$$\frac{\partial C}{\partial t} + u \frac{\partial C}{\partial x} + v \frac{\partial C}{\partial y} = D_h \left( \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} \right) + \frac{L(x, y)}{RH(i, j)}$$

$L$ : (x, y) での増殖係数  $L(1/\text{日})$



奥三面弘  
 溶水補肉

$1.5 \times 100 \rightarrow 150 \text{ mg/m}^2/\text{日}$   
 COD 換算係数

SS

$$\frac{\partial S}{\partial t} + u \frac{\partial S}{\partial x} + v \frac{\partial S}{\partial y} = D_h \left( \frac{\partial^2 S}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 S}{\partial y^2} \right) + \frac{W \cdot S}{RH(i, j)}$$

$W(1/\text{日})$

$W = 0.05 (1/\text{日})$

$W < 0$  のとき  $0.2$  (湖底沈降)

1999.3.1  
 COD

自浄作用の程度

$C = C_{od}$

$$\frac{\partial C}{\partial t} + u \frac{\partial C}{\partial x} + v \frac{\partial C}{\partial y} = D_h \left( \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} \right) + \frac{C_{od}}{R_{od} \cdot 8} - L \cdot C_{od}$$

$R$ : 底泥からの溶水速度

$S$ : 水質

$L$ : 流下率 (半) 自浄係数

$L = 0.05 \text{ m/日}$   
 $= 0.1 \text{ m/A}$   
 $= 0.2 \text{ m/日}$

$R_{od}$  の自浄係

$L(x, y) / RH(i, j)$

$R_{od} = L(x, y)$

9.34 - 2E行



SX-3Ea shizuoka/shivecplot.for → { 御前崎  
清水  
下田 } の連続バシ図  
 shizuoka/shivecplot2.for → 甲府  
 shizuoka/shizoplot3.for → 駿水川合流のバシ図

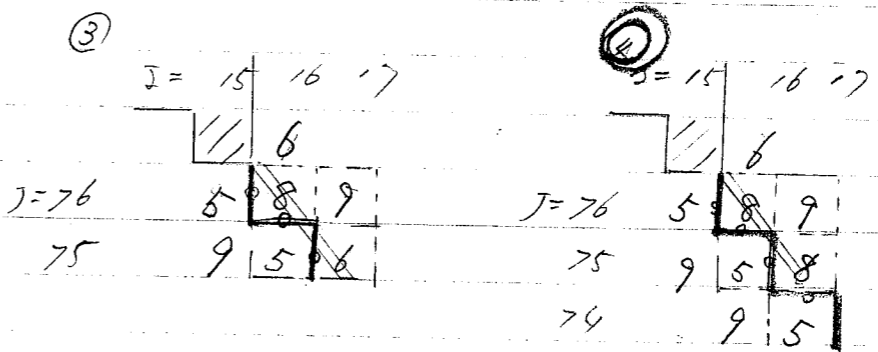
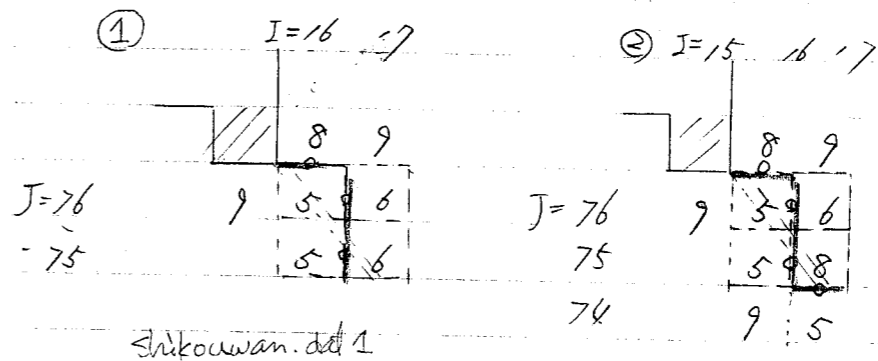
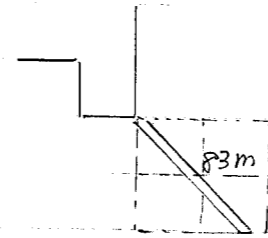
岸線情報リスト

J.C.L.  
shizuoka/shigansuiishimizu-go.bat

shigansuii.for

shiganshimizu.phn

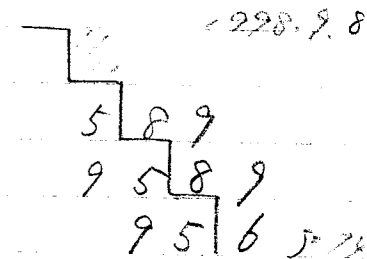
日の本地区の堤防一部変更



1998.6.2

(法奥)	①	堤2	堤5
9 79	2.190	2.037	2.00
13 76	1.989	1.914	1.9
15 75	1.867	1.834	1.8
17 74	1.832	1.758	1.75
17.77	1.794	2.037	1.85

↑  
2.10



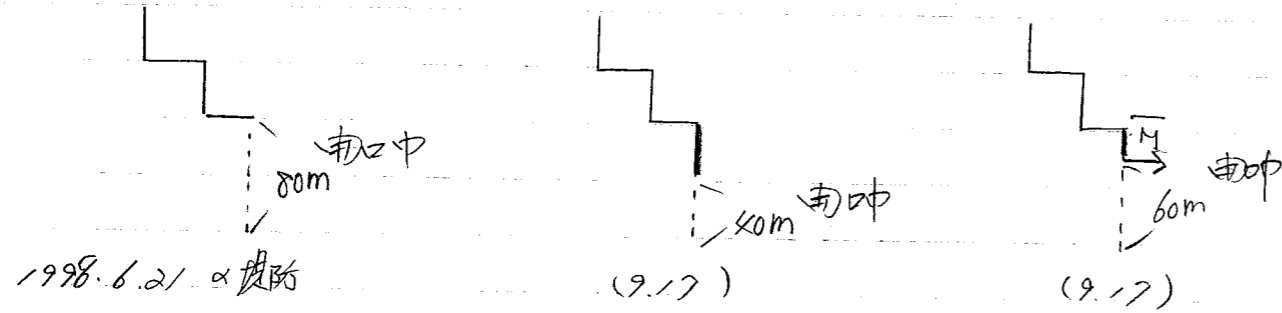
日の本地区の堤防α形時 多分 ② or ④ shikouwan2.dat 1998  
 shikouwan4.dat に換甲 shigansuikouwan.dat 1998  
 のバシ図

堤防又2階目 御前崎 粘土 50.0m/s 最低水深 -9m  
 清水 30.0m/s -6m

(注) ① 御前崎、下田等々 X 江に40mを越して  
 2階目以上 御前崎の最低水深 -12m と4階目  
 あり

日か地子  
貴防南口の長

1998. 9. 17



shimizukouwan.k.dat

shimizukouwan.s.dat  
(1部分型の変換)

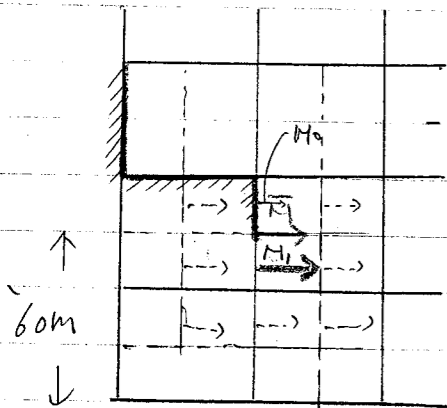
shimizukouwan.k.dat  
α型で計算する  
南口付近 20m X<sub>1</sub> 以下  
計算後 M<sub>ε</sub> 計算

1998. 9. 13

南口中 60m を計算おこなって

$$\bar{M}_{ij}^{n+1} = \bar{M} = \frac{M_0 + M_1^{n+1}}{2} = \frac{M_i^{n+1}}{2}$$

$M_1^{n+1}$  :  $x=20m$  と  $17$  の長さ  
差分式で計算



~~shimizu/shimizutsunami2.for (1998.10.22)~~

shimizu/hinodetsunami60.for  
1/2αで 20m X<sub>1</sub> 以下  
差分式

1996.10 御前崎 清水 下田 穀 甲

1998.6 清水日か地子  
計算おこな  
shimizutsunami.for

御前崎 B9  
清水 B11  
下田 B13  
長良 B15  
甲 B17  
松崎 B19  
工肥 B21

1996.12 松崎港

1997.9 松崎港

鉛直二次元

近頃は70% (概)  
この場で具体的に  
使う時にいふ

(1999.2.9)  
1998.10.28

津波の砕波 あるいは短周期波の分裂をともなう条件

- i) 1/100 程度の急勾配部が海岸線に近接 + km 程度の長さで続くこと
- ii) 水深数 10m の浅部と水深数百 m の深部との間に 1/10 程度の急勾配とよんでいると短周期波の分裂が促進される
- iii) 等水深線が直線状であるか凸型状であること

が必要である (例 日本中部地域の津波能の海底地形)

$U^{n+1} \rightarrow W^{n+1} \rightarrow \eta^{n+3/2}$  1 iteration で ok

$$U_{i,j+1/2}^{n+1} = U_{i,j+1/2}^n - \frac{\Delta t}{\Delta x} \left\{ (U_{i+1/2,j+1/2}^n)^2 - (U_{i-1/2,j+1/2}^n)^2 \right\} - \frac{\Delta t}{\Delta z} \left\{ (U_{i,j+1}^n \cdot W_{i,j+1}^n) - (U_{i,j}^n \cdot W_{i,j}^n) \right\} - g \frac{\Delta t}{\Delta z} \left\{ \eta_{i+1/2}^{n+1/2} - \eta_{i-1/2}^{n+1/2} \right\} + k_H \frac{\Delta t}{\Delta x^2} \left\{ U_{i+1,j+1/2}^n + U_{i-1,j+1/2}^n - 2U_{i,j+1/2}^n \right\} + k_V \frac{\Delta t}{\Delta z^2} \left\{ U_{i,j+3/2}^n + U_{i,j-1/2}^n - 2U_{i,j+1/2}^n \right\}$$

$$W_{i+1/2,j+1}^{n+1} = W_{i+1/2,j}^{n+1} - \frac{\Delta z}{\Delta x} \left\{ U_{i+1/2,j+1}^{n+1} - U_{i,j+1}^{n+1} \right\}$$

$$\eta_{i+1/2}^{n+1} = \eta_{i+1/2}^n - \left\{ \frac{\Delta t}{\Delta x} (U_S)_{i+1/2} (\eta_{i+1/2}^n - \eta_{i-1/2}^n) + \frac{\Delta t}{\Delta x} (U_S)_{i+1/2} (\eta_{i+3/2}^n - \eta_{i+1/2}^n) \right\} + \Delta t (W_S)_{i+1/2}$$

$U_S \geq 0$  上段  
 $U_S < 0$  下段

$$\eta_{i+1/2}^{n+3/2} = \eta_{i+1/2}^{n+1/2} - \frac{\Delta t}{2\Delta x} (U_{i+1/2}^{n+1})_{sur} (\eta_{i+3/2}^{n+1/2} - \eta_{i-1/2}^{n+1/2}) + \Delta t (W_S)_{sur}^{n+1}$$

鉛直二次元モデル

遠浅海岸での津波の浅水変形 (砕波、短周期波の分裂) を表現するモデルの概観について

運動方程式: 流速計算

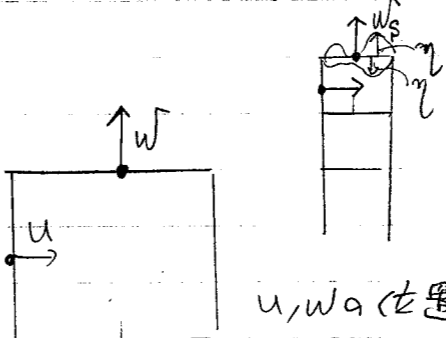
$$\frac{\partial U}{\partial t} + U \frac{\partial U}{\partial x} + W \frac{\partial U}{\partial z} = -g \frac{\partial \eta}{\partial x} + k_H \frac{\partial^2 U}{\partial x^2} + k_V \frac{\partial^2 U}{\partial z^2} \quad (1)$$

$$\frac{\partial U}{\partial x} + \frac{\partial W}{\partial z} = 0 \quad (2)$$

連続方程式: 水位計算

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + U_S \frac{\partial \eta}{\partial x} = W_S \quad (3)$$

$U$ : x 方向流速  
 $W$ : z 方向流速  
 $\eta$ : 水位  
 $U_S, W_S$ :  $U, W$  の表面値  
 $k_H$ : 水平方向移動粘性係数  
 $k_V$ : 鉛直 .. ..



(1) は非保存型であり 平面 2 次元モデルでは非保存型の形で差分化して鉛直 2 次元モデルでは伝導的 (保存型) で差分化することが多い

- (1) (2) (3) (保存型方程式) として差分化
- (1) 2 次 Central Scheme
- (2) "
- (3) 1 次 Up-Stream Scheme

初期条件

$U=0$   
 $W=0$   
 $\eta=0$

境界条件

沖合  $\eta_B =$  津波水位  
海面  $\frac{\partial U}{\partial n} = 0$

鉛直無阻壁

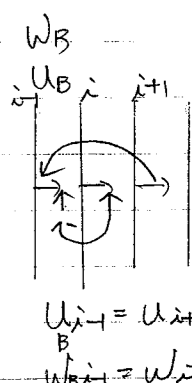
$U=0$   
 $W=0$

海面

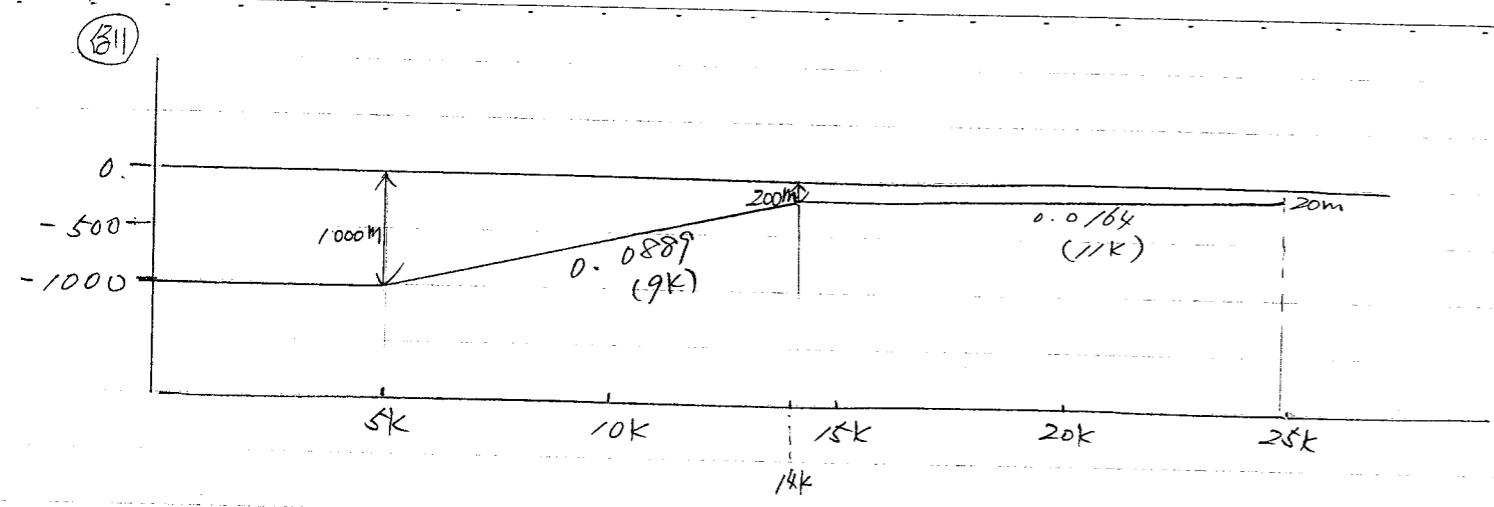
$W=0$

計算

$U \rightarrow W \rightarrow \eta$  の順

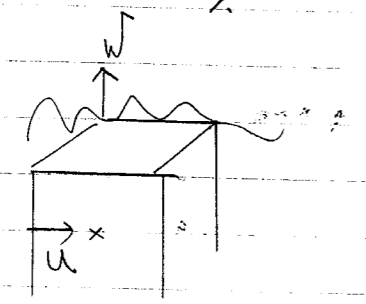


$u =$  Half slip  
 $u_s = 0.5 u_i$

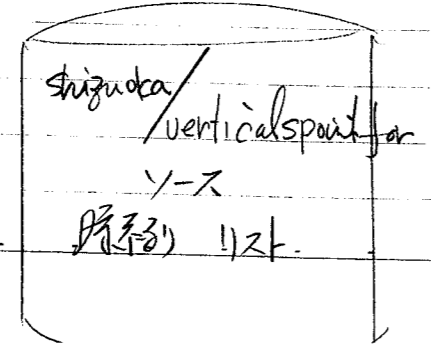
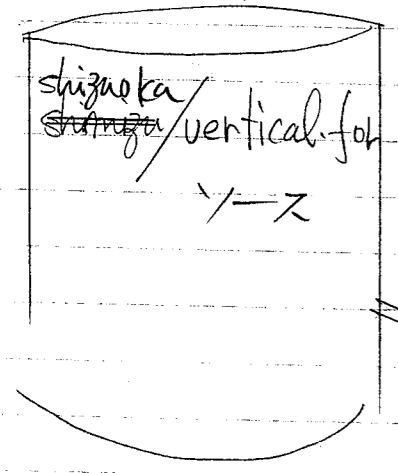


$\Delta X = 40 \text{ m}$   
 $\Delta Z = 20 \text{ m}$   
 $K_U = 10 \times 0.01 \times 0.01 \text{ m}^2/\text{s}$   
 $K_H = 10 \text{ m}^2/\text{s}$

$\eta_B = A_0 \times \sin(2\pi t / T_0)$   
600sec



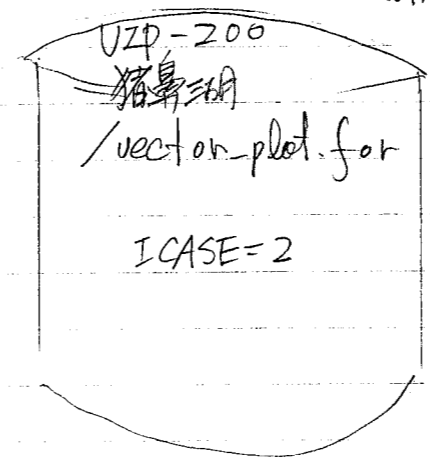
$w_{j+1}$   
 $u_j$  } 計算上段  
 水面  $\frac{\partial u}{\partial n} = 0$



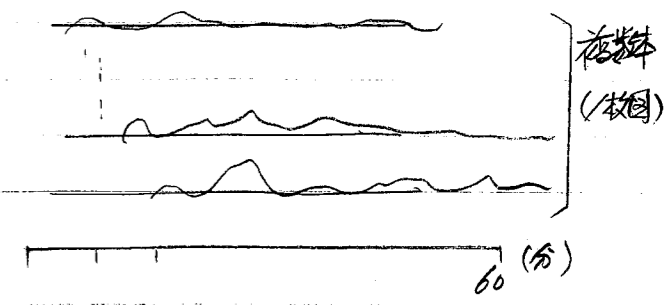
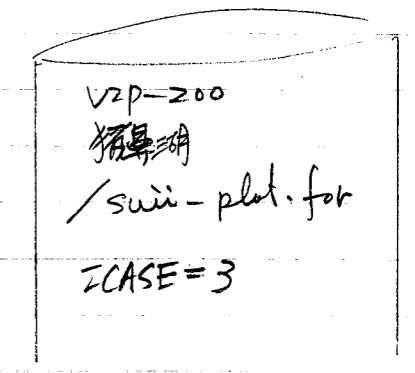
(5) 状況は OK  
 (2TR = 180000) (1998.10.16)

流速ハストム  
70.7-

(鉛直2次元)  
WFACT1: DX  
WFACT2: DT 定義



水位(増子)



増子 (数値)

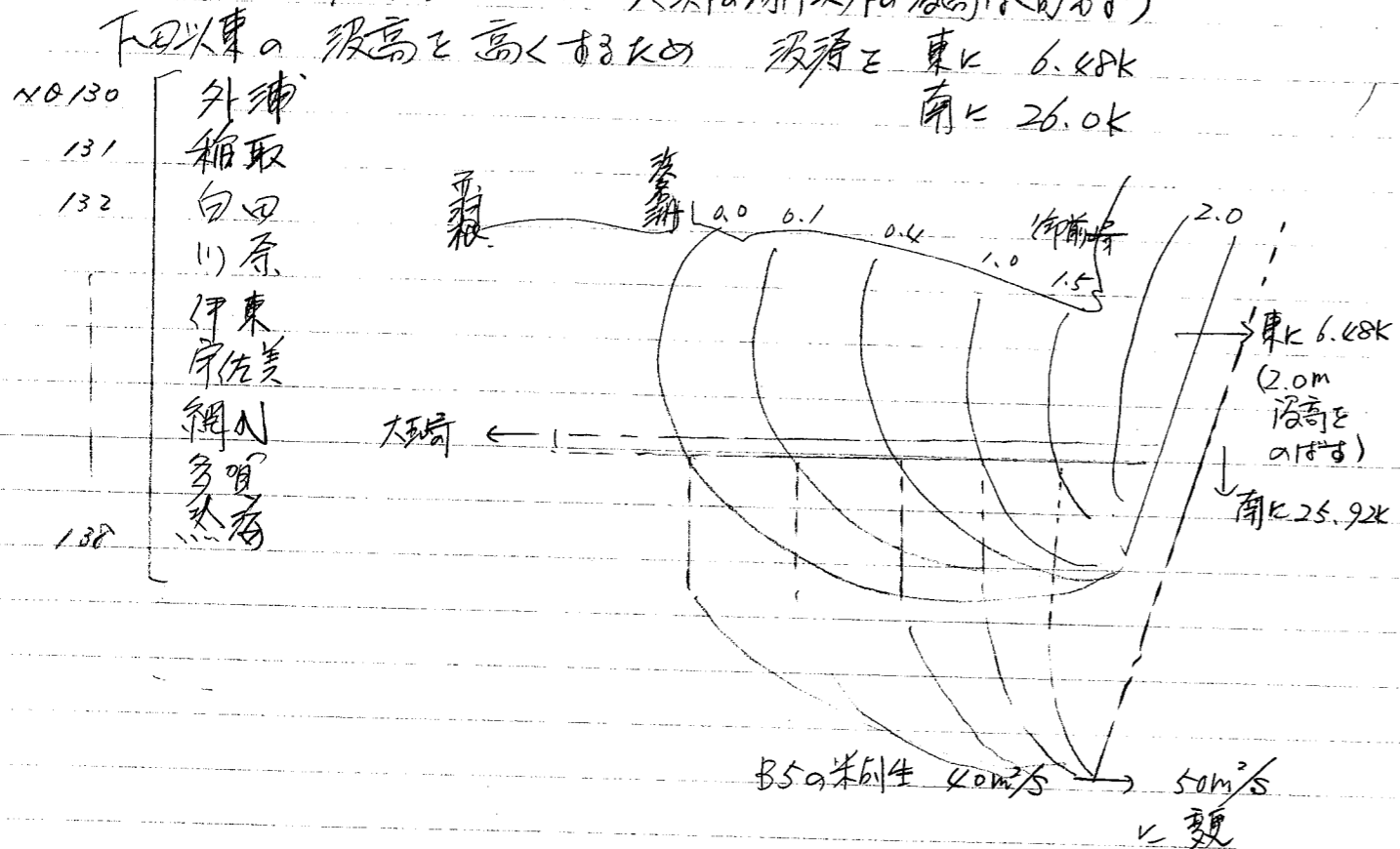
11/24  
H12.5.31 XZ.

(後名湖内波高) 外

湖内: 水位+T.P.0.7+ 現0.5 hamanaspoin. out 5  
湖外: 水位+T.P.1.0+ 現0.5  
UZP200 JZ 補正 12118  
NO. 1, 6, 10, 16, 26 (東(並), 舞阪, 宇視, 氣負, 波名川)

→ 後球

1998. 11. 24  
白羽村の1/2M(仮定) (仮定高-0.3K(仮定)) (以下場所以外の波高は自由)



shizuoka/shiganspoint\_for

shiganssui test. dat  
shispoin test. out 1

静岡 合成  
補正  
波名湖 ~ 下図に

shispoin rev. out 3

→ 後球  
H15. 1. 10 XZ  
(波) 水位時刻別に単独に70cm  
に落す shispoin rev. out 3

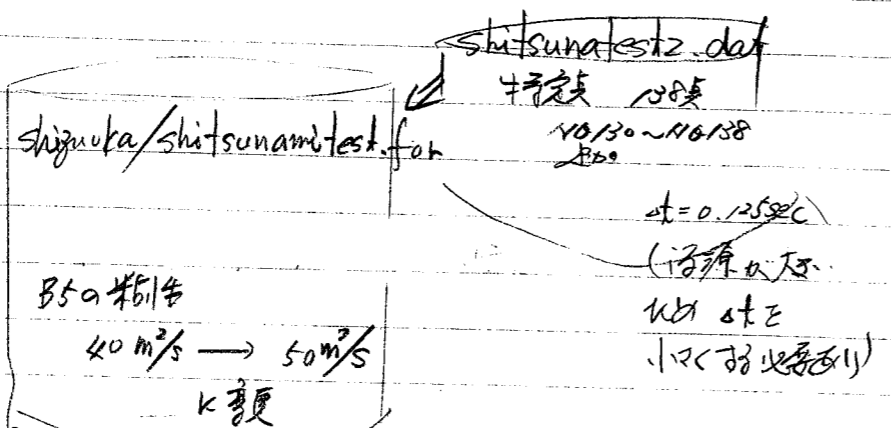
沼津	34	H13. 2. 14
沼津浦港	33	H13. 10. 22
馬込川	7	H15. 1. 10

numaguspoin\_for  
1-2 参

1999. 6. 24  
東原, 伊東, 志高市の海図 (静岡 水防技術局資料(作成))  
↑ 波高+1.0の値を記入

shizuoka/shikata test for  
0.1-4  
HAGEN XZ  
波高 東K 6.48K  
南K 26.9K  
元H3  
必要時 HAGEN XZ  
を37.7Kに

下図以降の波高は高くおろすKの波高E あり



H15-1724  
(波) 前述Kのこの修正のみで落す  
B2, B3の最低水深 3M,

shizuoka/shiganssui test\_for

shiganssui test. dat  
shispoin test. out 2  
shiganssui test. out 2

波線  
振動情報

(東K 6.48K  
南K 26.9K)

shizuoka/shiganspoint 2\_for

shiganssui test dat  
特設点 138

shispoin test. out 2

下図以降  
1.0 補正  
特設点あり

2000. 4. 11 XZ  
外浦 ~ 熱海 9 95E  
NO.130 NO.138

① 最大波高 + T.P. 1.0m ≥ 3m  
② < 3m → 3m とす

②あり 最大波高 X FACTOR + 1.0 = 3.0m.

### 并財天川 (二級河川)

図面	図面番号	縮尺
平面図・縦断面図	3-1	1/2500
	3-2	"
	3-3	"

図8-11 并財天川河管計画縦断面図

図8-12(1) 并財天川河管横断面図 (CASE.1) 河口~昭和橋

(2) " ( " ) 昭和橋~河口排水機場

(3) " (CASE.2) 河口~昭和橋

### 坊主淵川 (一級河川) 図面番号 12葉中

平面図 (1/500) 2枚 1/2 3/2

縦断面図 V=1:100, H=1:1000 1枚 3/2

横断面図 (1/100) 9枚 5/2 標準横断面 5/2 ~ 13/2 横断面

### 西大谷川

平面図 (1/1000) 1枚 3-1

縦断面図 V=1:100, H=1:1000 2枚 6-1, 6-2

横断面図 (1/100) 5枚 11-1 ~ 11-5

概要図 (平面図+縦断面図+標準横断面図)

1/500 V=1:250 H=1:2500

西大谷川治水特別対策排水計画概要図

### 并財天川

NO.13 2600m 付近に三河川と分岐する。205K 附近

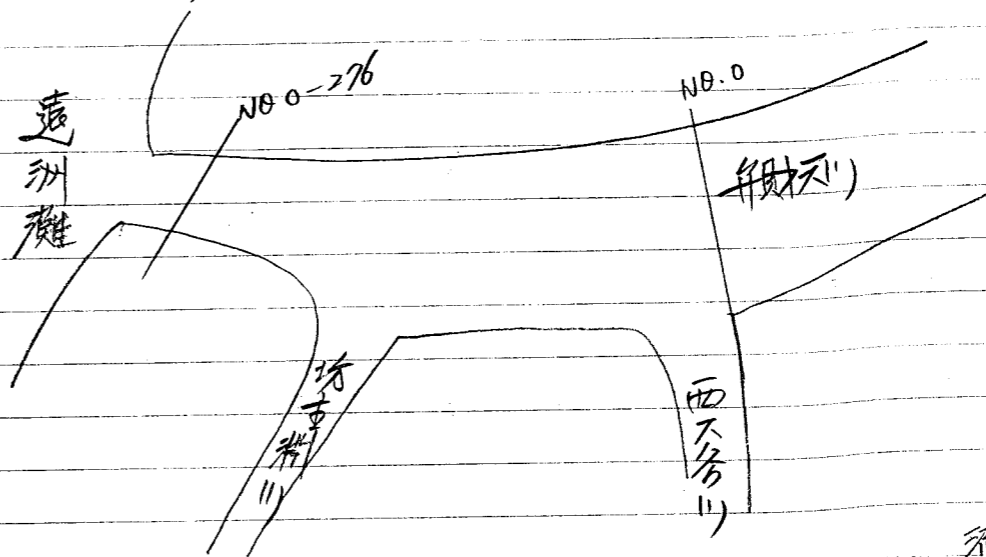
NO.18 付近に新排水路と分岐

欄門

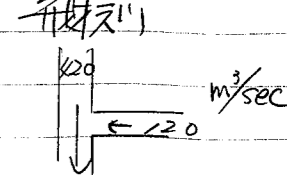
平面図の IIII の意味は?

### 并財天川, 西大谷川, 坊主淵川

11.10.8

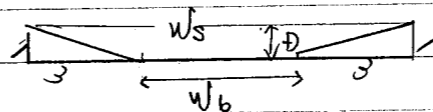


西大谷川治水特別対策  
流量配分 (排水計画図, 概要図から)



### 河川形状 (一般)

1:3α 3面張



$$S(\text{概算}) = W_b + 2\sqrt{10} \cdot D$$

$$W_s = W_b + 6D$$

$$A = D \times (W_s + W_b) / 2$$

$$= D \times (W_b + 6D + W_b) / 2$$

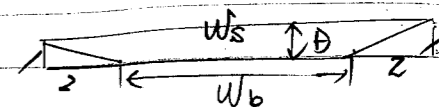
$$= D \times (W_b + 3D)$$

$$3D^2 + W_b D - A = 0$$

$$\therefore D = \frac{-W_b + \sqrt{W_b^2 + 12A}}{6}$$

C1 C2

1:2α 3面張



$$S(\text{概算}) = W_b + 2\sqrt{5} \cdot D$$

$$W_s = W_b + 4D$$

$$A = D \times (W_s + W_b) / 2$$

$$= D \times (W_b + 4D + W_b) / 2$$

$$= D \times (W_b + 2D)$$

$$2D^2 + W_b D - A = 0$$

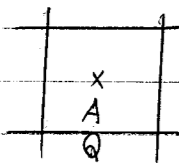
$$\therefore D = \frac{-W_b + \sqrt{W_b^2 + 8A}}{4}$$

H12.10.10 現行

2ステッププログラムの

~~kasvenzai.for~~

解いた時 単独河川は  
同時複数河川は  
Boundary の設定がうまくいかず  
現段階ではプログラムの修正が必要



A, Q の位置同じ

プログラムの  
リ-プログラム  
(水路 / pipe )  
の解法は  
o.k

から作成した

~~venzai.for~~

~~venzai3kas.for~~

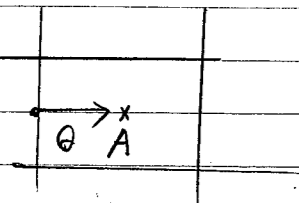
プログラムで 3河川同時解いている

定常流は 幹線川, 坊舎川, 西大谷川  
各河川 独立して解く

線形入力時の 合流点の Boundary  
を扱う時

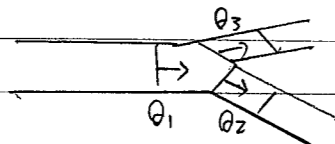


水位 (Bound) は 各河川で得られ  
計算水位値と 河川と田舎



Q, A の位置は違う

坊舎川, 西大谷川 } の水位入力とする



流量は

$Q_1 = Q_2 + Q_3$  独立している

# venzai ~ a F

2河川 同時に解く

幹線川

H10.9.20 現行

河川

合流

坊舎川

2ステッププログラムの式

プログラムのリ-プログラム

~~kastest.for~~

テストプログラム

1河川のテスト

河川中  
勾配 } が不明  
流量は保存されている

~~Suitoggetei.for (Q, A)~~

~~Suitaeetei.for (Q, A)~~

勾配は 定常流 2河川同時

解く o.k

河川

Q 対

勾配

計算範囲は  
(A, Q)

入力データは Q 流量の時と  
勾配の時と  
異なる

~~kasvenzai.for~~

幹線川 ICASE=1

坊舎川 ICASE=2

の単独河川の計算  
は o.k

2河川同時は現在  
とる (H12.9.20) 合流点  
での処理は定まる  
何もしない

~~venzai.for~~

幹線川 }  
坊舎川 }

幹線川は venzai.dat  
計画, venzaikei.dat  
坊舎川は venzai3kas.dat

~~venzaitest2.for~~

2河川同時

勾配あり

テストプログラム

o.k

必要削除  
(H10.9.20)

H12.10.24

次級参考  
(3河川同時解法)

現在 venzai3kas.go.bat venzai3kas.for  
計画, venzaikei.go.bat

(計) venzai3kas3.dat  
(計 CASE1 河川, NO.0 ~ 河川数)

幹線川

坊舎川

西大谷川

ICASE=1 幹線川  
=2 坊+西  
(現)

3 幹線(計)

(4 河川) + 坊

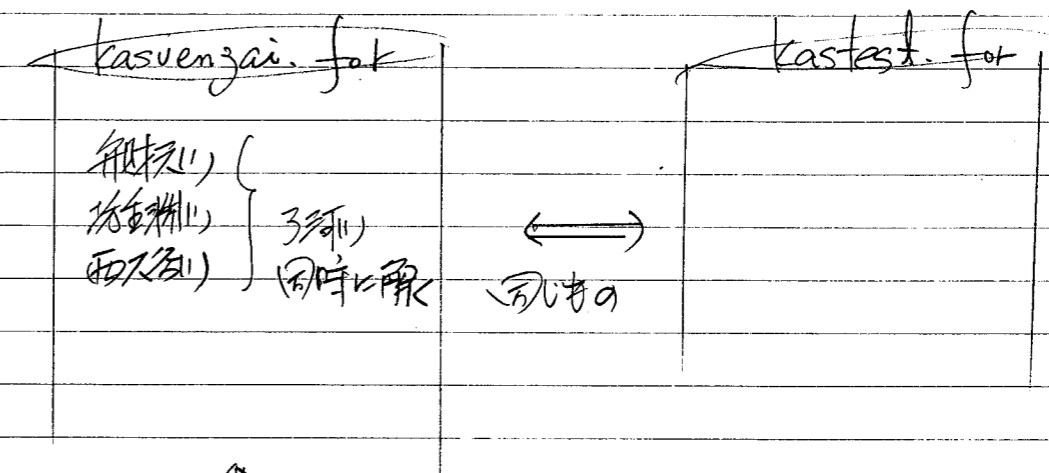
西大谷川

(水路/pipe) 基礎  
 トラクセントロフ  
 1-アブ-  
 venjai. for  
 又は venjai3 kas. for

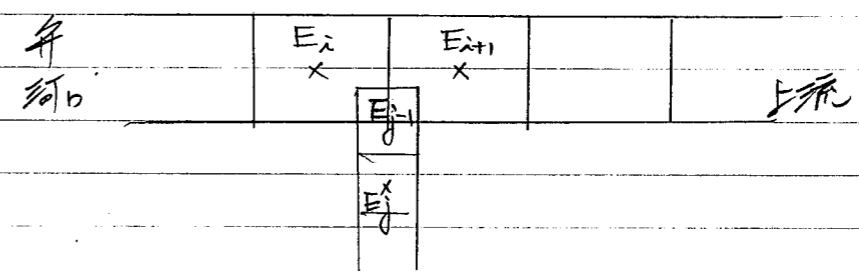
計算領域	舟橋川	増子川	西大谷川
$\Delta x$	$-0.42 + 6.2 = 6.62$	100m ~ 760m 660m	$-40m + 200m = 260m$
$\Delta t$	20m 0.05 sec		
合流点		合流点 NO. -9	合流点 NO. -2
実行時由	~ 3HR		
河川形状	1:20 3面流	1:2	1:2
粗度定常流	0.15 <sup>2</sup>	0.15 <sup>2</sup>	0.15 <sup>2</sup>
津波入力時	0.08 <sup>2</sup>	0.2 <sup>2</sup>	0.3 <sup>2</sup>
DSU	0.34 現況 0.65 計画	0.44 (現況)	1.46 (現況)
入力源	和歌山県舟橋川河口から水防隊系列 (FACTOR 2.1) E (甲)		
指定水位	10点	4点	5点
	-22 河口 入力	10 丸木橋 200m	0 0m
	-14 舟橋大橋 (-2764)	15 300m	4 80m
	-9 増子川 NO	25 橋 500m	6 橋 (126m 橋)
	-2 西大谷川	30 600m	7
	4 狭砂橋		8 160m
	26 今須橋		
	65 昭和橋		
	113 交流 大相賀新		
	157 元相橋		
	203 江三端 北橋門		

275.7° トラクセントロフ

H12.10.24

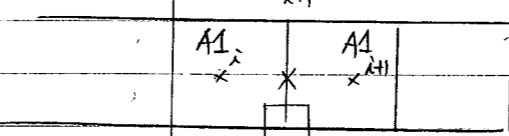


↑  
 venjai. dat  
 bouzu. dat  
 nishioya. dat  
 shispoinventev. out (2)  
 入力源



増子川 (舟橋川)  
 又は (西大谷川)  
 増子川 (西大谷川)  
 の境界条件  
 河川形状時  
 左 (IS-1) = 右 (IS)  
 右 (IS-1) = 左 (IS)  
 入力源 E(j-1) = 0.5 \* (E(i) + E(i+1))

舟橋川の Q2 と計算する時 流量  $Q_i = Q_{i+1} + Q_j$  が成立している



A2H, A1i, A1i+1 の河川形状をその寸法で  
 但 02H  $Q_{i+1} = Q_{i+1} + Q_j$  が成立するように計算

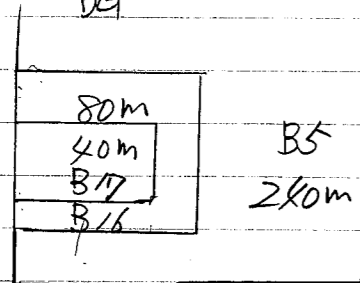


$B5(54, 96) = B16(-2, 48) = B17(20, 12)$

No. \_\_\_\_\_  
DATE \_\_\_\_\_

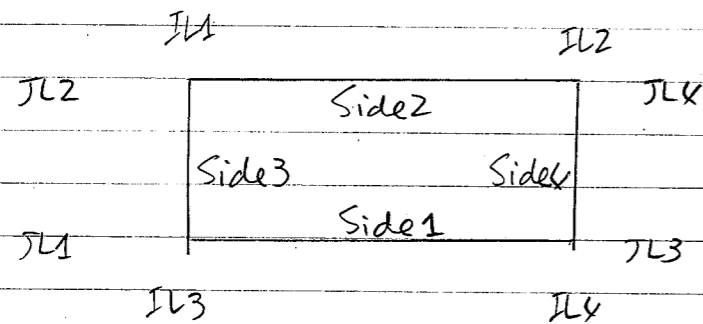
焼津 小川漁港 (80, 40m) B16, B17  
11.10.18

福田漁港  
BG



焼津 小川漁港  
BG, BH

大工  
B16 BG (15, 68)  
B17 BH (42, 110)



BLOCK Side	Side 3				Side 2				Side 4				Side 1				joint 岸				
	JL1	JL2	JS1	JS2	IL1	IL2	IS1	IS2	JL3	JL4	JS3	JS4	IL3	IL4	IS3	IS4					
焼津 5-16	1	1	0	1	81	102	3	66	57	59	7	13	81	102	3	66	56	59	4	13	1:3
焼津 16-17	1	1	0	1	8	61	2	108	6	8	36	40	8	61	2	108	3	8	30	40	1:2

富士川 放水路 B5 (161, 208) 陸地量 0.0m T.P. 1.0m

3. 船高 (2.3m) の通 - (T.P. 1.0 - 陸地量 0.0) = H = 2.3

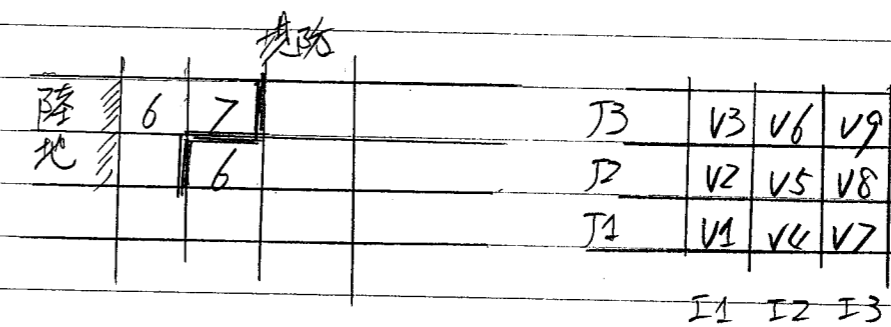
H / 計算値 = FAC

$\frac{2.3}{2.04} = FAC$   
 $2.04 = 1.127$

No. \_\_\_\_\_  
DATE \_\_\_\_\_

堤防 2m 幅 まで 陸と堤防の間の 1x 2 1.0m 幅の VT の処理

VCALCT



V5 の計算値 (I2, J2)

(I3, J2) の型 = 6 17 処理済  
1997.09

6  
00  
(I3, J2) の型 = 7 の型で  
(I3, J1) = 6 の型で  
V7 = 0  
2001.10  
処理済

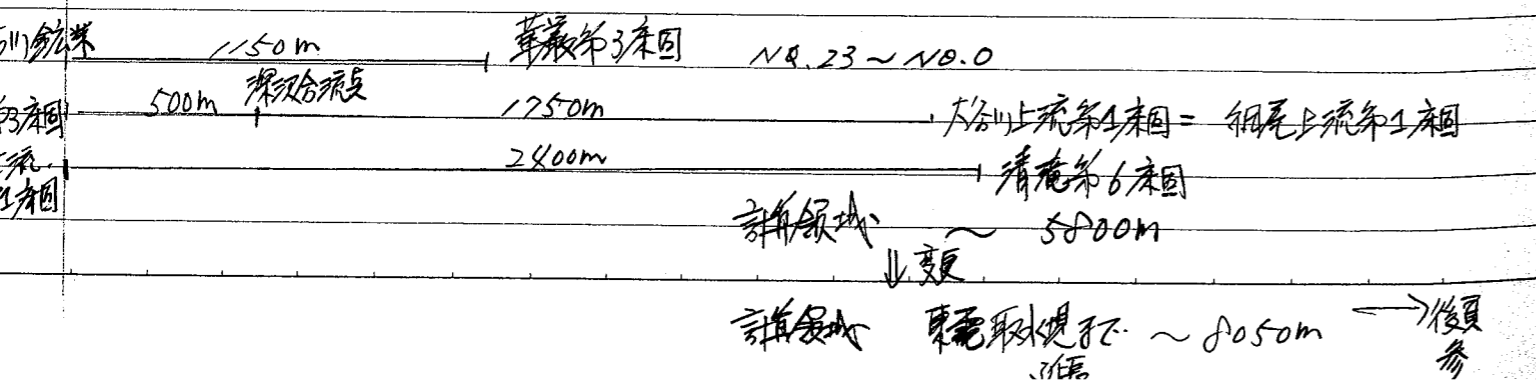
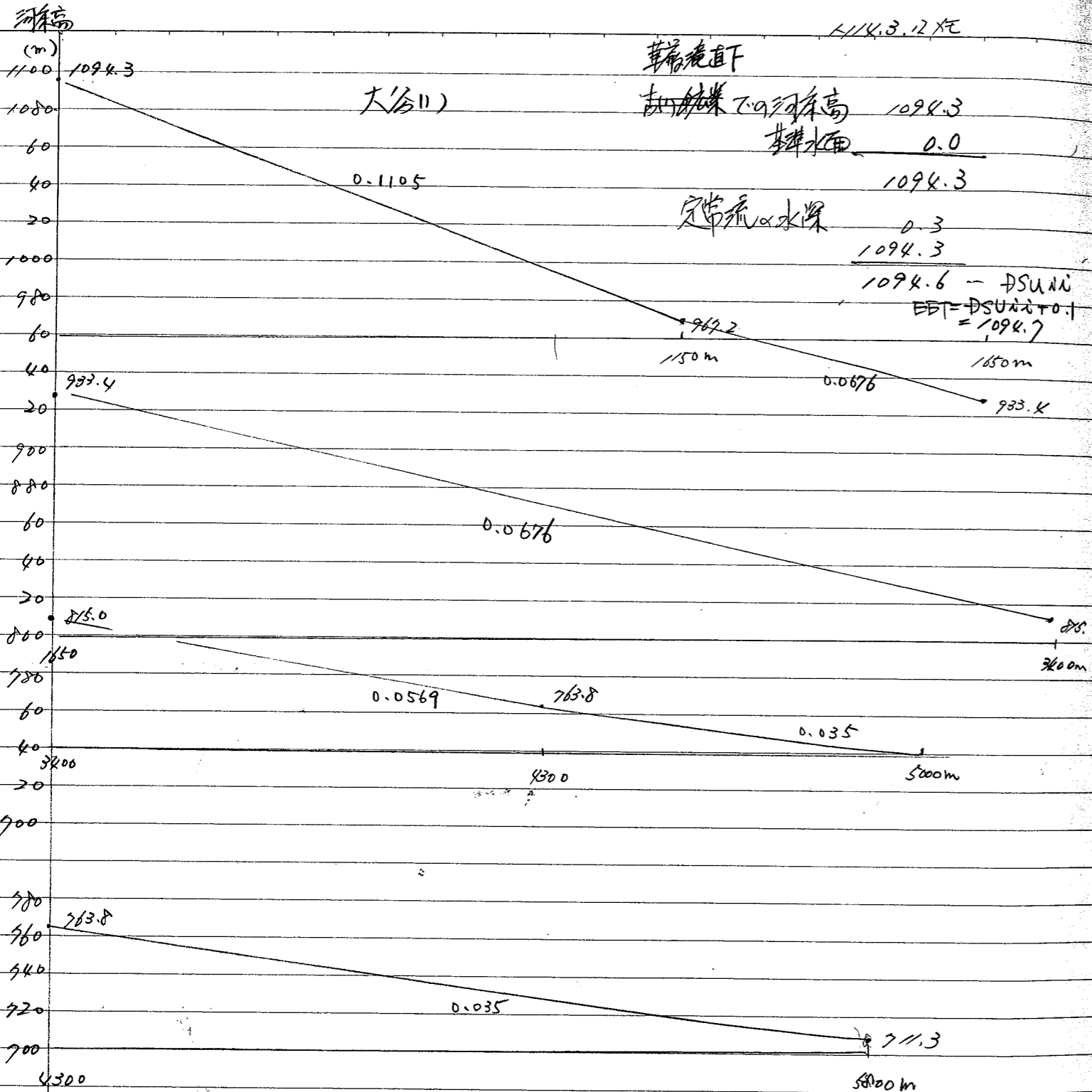
焼津漁港

11.6.18

- 最低水深 - 2M
- 粘性係数  $80m \times 2 \Rightarrow 20m^2/s$   
 $40m \times 2 \Rightarrow 10m^2/s$

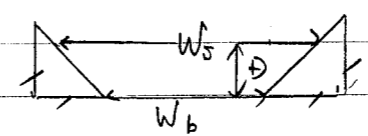
Yaezutsunami for  
汲源 全体を 汲り出す (11~17カ所)  
1割増し HAGEN 1L-A の中 (Yaezutsunami for)  
8) 1.5m  $\rightarrow$  1.65m (最大水深(掘削))

80m  
焼津 小川 40m  $\times$  2 以内 全域  
汲源 150cm 2 Yaezutsunami for  
設定してある。



# 山塊崩落による湖の津波シミュレーション

大谷川 (中善寺湖)



$$\Delta (側辺) = W_b + 2\sqrt{2}D$$

$$W_s = W_b + 2D$$

$$A = D \times (W_s + W_b) / 2$$

$$= D \times (2W_b + 2D) / 2$$

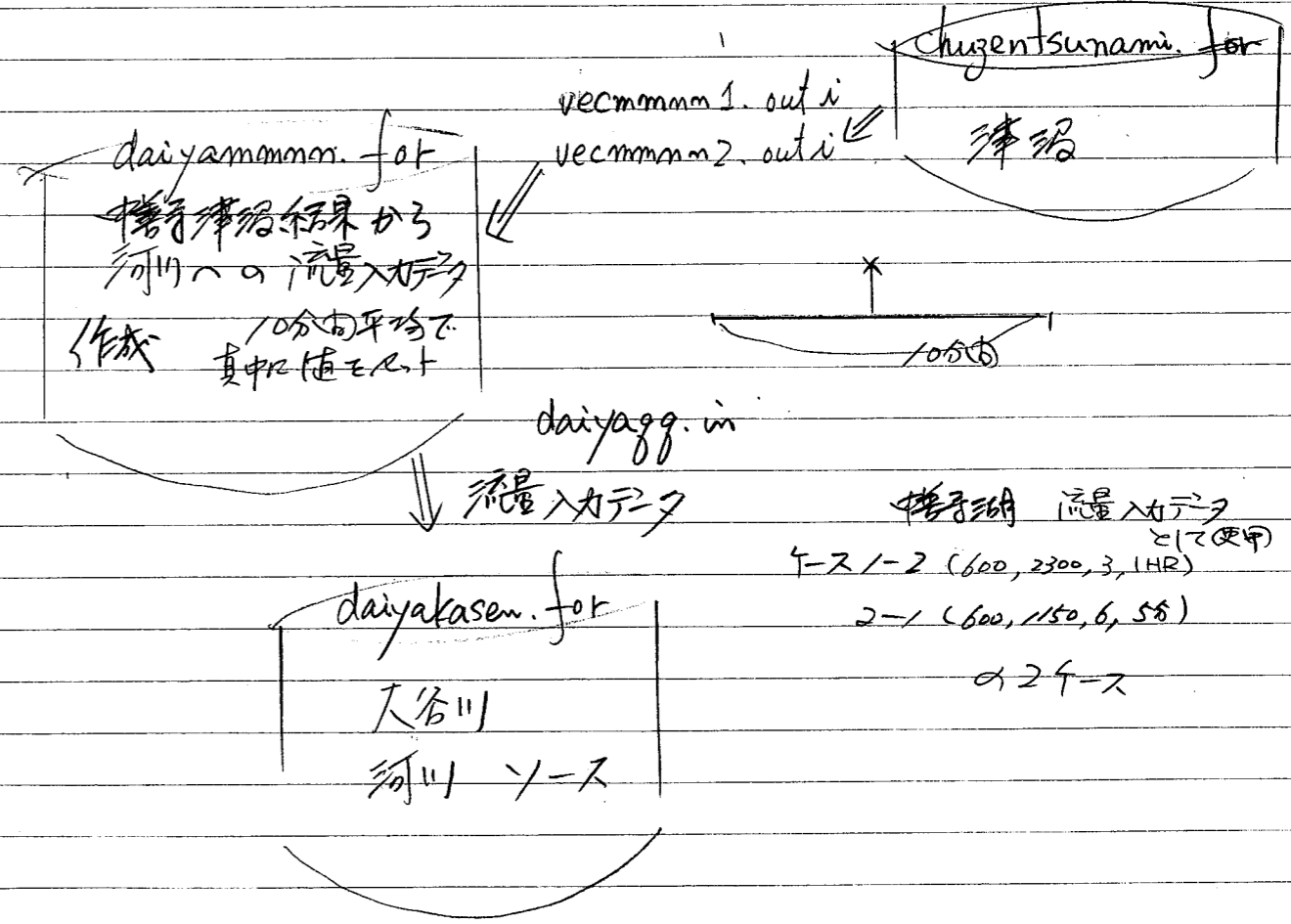
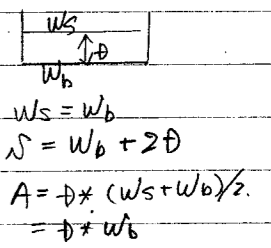
$$= D \times (W_b + D)$$

$$D^2 + W_b D - A = 0$$

$$D = \frac{-W_b + \sqrt{W_b^2 + 4A}}{2}$$

$$AAZ = 2\sqrt{2}$$

$$BBZ = 1$$



大谷川 流量入力データ (17使用)

1-2 (600, 2300, 3, 1HR)

2-1 (600, 1150, 6, 5S)

α 2ヶ-ス

新築領域 ↓ 変更

新築 東電取水施設 ~ 8050m → 後頁参照

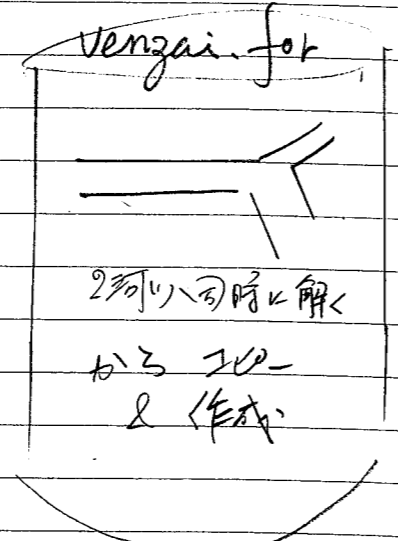
~ kasentest-for  
 実行12.2 最終  
 ~ kasen-for  
 実行12.2  
 ~ 30HR 実行約 15分位

横断面 4-2 1-2 大谷川  
 4-2 2-1 4-2 1  
 4-2 2 2-2 とおす

同い  
 7.11  
 daiyakasentest-for  
 daiyakasen-for

大谷川 河川 1-2  
 $\Delta X = 50m$   
 $\Delta t = 0.05sec$   
 $m = 0.1^2$

年時天川の  
 Lax-Wendroff + Leapfrog  
 で解く



定常流 90  $50m^3/s$  横断面  
 200  $20m^3/s$  系線  
 12.2 実行結果

ICASE=1 支川 川  
 ICASE=2 支川 列 (深沢, 湯島, 相模, 九折川)  
 4-2 1  
 4-2 2 { 30時由 実行結果 (概し 1分位 10分平均 12.2)

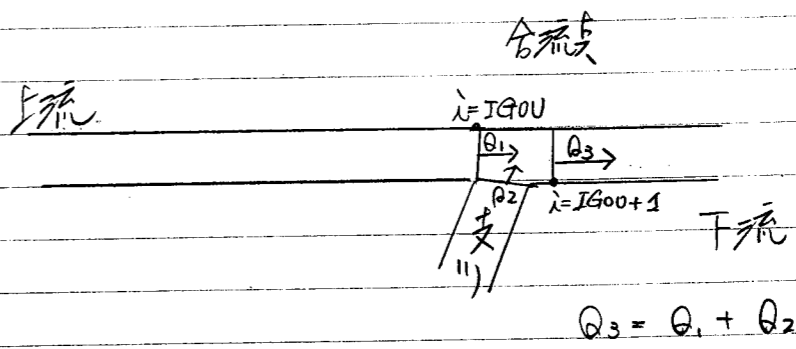
定常流作成  $\alpha$  時 下流で  $E2(i) = 0.0$  とおす  
 作成 (H0(IE))  
 $E2(IE+1) = E2(IE)$  時 定常流で済 (水位が下がらぬ)  
 $E2(IE+1) = 0.0$  とおすと  $E2(IE)$  の水深が  $H0(i)$  とおす  
 高くなる

対策 DUMMY で 距離  $E$  の 12.2 かける

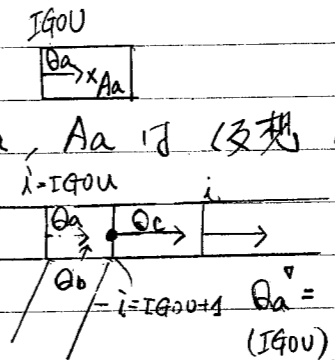
支川流有の計算 流 F流

上流  $\alpha$  流量  $\ll$  支川流量  
 の時 水深が 合流点から 上流で 少く なる  
 上流の流量  $\gg$  支川  
 $\alpha$  時と 同題也

4/11.3.11

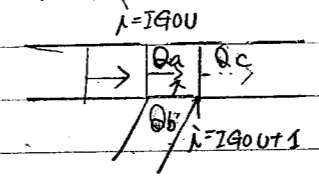


$Q_c$  を計算する時  $Q_a, A_a$  用 (交換の  $Q_a, A_a$  を使用する)



$Q_a' = Q_a + Q_b$  の  $Q$  を使用する  
 $A_a'$  を作成する時  $Q_a'$  を同様 (IGOU)

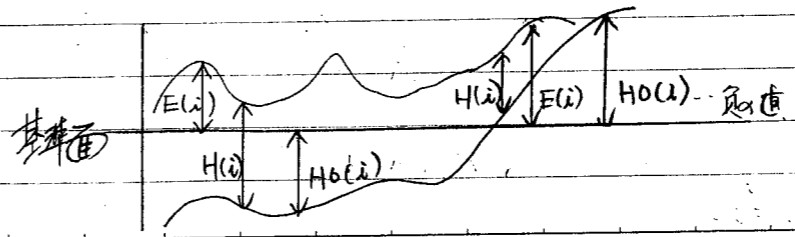
$Q_a$  を計算する時  $Q_c, A_a$  用 (交換の  $Q_c, A_a$  を使用する)



$Q_c' = Q_c - Q_b$  の  $Q$  を使用する  
 $A_a'$  を作成する時  $Q_c'$  を同様

$Q2(IGOU)$   
 $Q2(IGOU+1)$   
 $A2(IGOU)$

$\alpha$  中  $\alpha$  の値 1 の 設定  
 下流  $\alpha$  の 時 水深が 高くなる  
 12.2 かける 必要也



水深  $H(i) > 0.0$   
 $H(i)$ : 河床からの水深  
 $E(i) = H(i) - H_0(i)$

# 佐渡島の汽水湖

加茂湖

4/4.6.3

埋立地と陸との間に 6m の水路有り

湖の COD 拡散 (生活排水が流れる)

$$\frac{\partial C_k}{\partial t} + u \frac{\partial C_k}{\partial x} + v \frac{\partial C_k}{\partial y} = D_n \left( \frac{\partial^2 C_k}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 C_k}{\partial y^2} \right) - LC_k + \dots$$

L: 自浄係数

up-wind 式

$$\frac{C_{ij}^{n+1} - C_{ij}^n}{\Delta t} + \frac{u}{\Delta x} \left\{ \begin{array}{l} C_i^n - C_{i-1}^n \\ C_{i+1}^n - C_i^n \end{array} \right\} \begin{array}{l} (u > 0) \\ (u < 0) \end{array}$$

$$+ \frac{v}{\Delta y} \left\{ \begin{array}{l} C_j^m - C_{j-1}^m \\ C_{j+1}^m - C_j^m \end{array} \right\} \begin{array}{l} (v > 0) \\ (v < 0) \end{array}$$

$$= \frac{D_n}{\Delta x^2} (C_{i+1}^n - 2C_i^n + C_{i-1}^n)$$

$$+ \frac{D_n}{\Delta y^2} (C_{j+1}^m - 2C_j^m + C_{j-1}^m)$$

$$- LC_{ij}^n$$

$$COEF(S) = \Delta t * RAMDA$$

0.12 < Δt < 0.2

7.9.7.8 中 L → RAMDA の係数

Δt 値

水質改善は OK

$$2\Delta t < \frac{\Delta x}{\sqrt{2g h_{max}}} \rightarrow 2\Delta t < \frac{3}{\sqrt{2 \cdot 9.8 \cdot 2}} \approx 0.477$$

DATE 6.26

Δt = 0.2 sec

kamoko / ~

Suikokata. for

DIM (156, 304)

振幅 0.20m (埋立地前回の結果を参照)

- (20, 128) (20, 135)
- (26, 128) (20, 145)
- (32, 128) (26, 121)

埋立地 30m の水位打上げ  
 全体と同じ動き  
 24HR 約 20cm の水位変動  
 4/4.6.4.4

VT Δt 約 130分 (Δt = 0.2 sec 24HR  
 ITR = 216000回)

Suikonagata. for

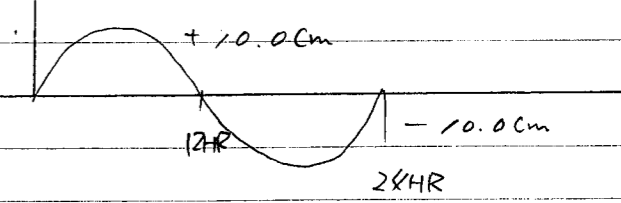
Δt = 0.2 sec, Δx = 3.0

~ 24HR 間

$$k_x = k_y = 1.0 m^2/s$$

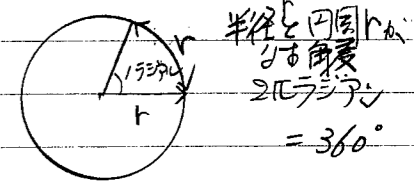
入力波

$$S_0 = 0.1 \sin(2\pi t / 24HR)$$



$$\pi = 3.1415926$$

$$S_0 = \frac{1}{2} \times \sin(2\pi t / 24HR)$$



半径と円周の角 = 360°

4/4.6.3 排水量 1674.98 m³/日  
 排水河川 13本 各河川

4/4.7.8 排水量 714 m³/日  
 (1674.98 m³/日)

VT Δt 約 60分 (Δt = 10 sec ~ 14HR  
 ITR = 120960)

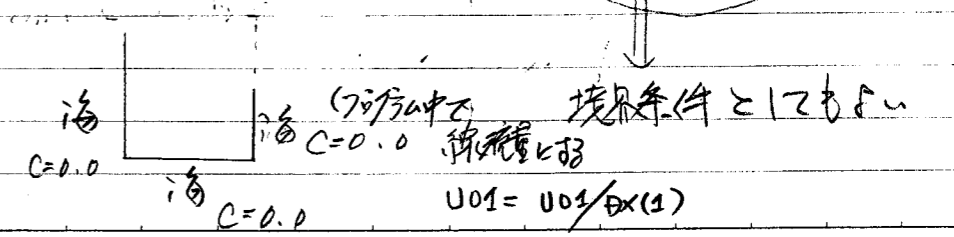
Suikokakusan. for

Δt = 10 sec

~ 14HR 間

$$k_x = k_y = 0.2 m^2/s$$

7.9.9- VZP-200  
 猪鼻 KCASE = 3  
 WFACT = 0.1



Suikosbound. data

前回の埋立地計算の  
 N(26, 128) 埋立地  
 水位を 1分毎  
 24HR 打ち上げ

15.7.7.7 孤立法



(注) H15. 4. 30 現在のFICファイルMO (Back-up) 用として落す  
(但 Kamoko, Niigata の結果を削除後の Y-S, T-9, J.C.L. のみ (1枚)  
使用 200Mバイト No. \_\_\_\_\_

H16. 4. 2  
MOK 落す時実行ファイル

全 FIC ファイル MOK 落す (Back-up 用) H14. 11. 5 現在

EXE (M:K)	(M:K)	(M:K)
H16. 4. 2	0.268	adi
H16. 4. 6) 2枚追加	0.783	Aichi
0.2	0.108	Atami
0.8	0.073	Bousou
0.1	0.085	Choui
0.1	6.93	chuzenji
4.68	0.128	denchuu
0.2	13.4	ehime
11.9	8.23	Sukude
6.21	11.1	hamanaka
9.90	2.18	imohana
2.1	1.47	Komoko
1.47	0.107	Nagaragawa
0.1	0.073	NHKtsunami
0.1	1.47	niigata
1.47	0.223	pipe
0.8	0.386	plotter
0.4	4.72	Sanaku
4.7	4.27	Shikasen
3.50	16.2	shimizu
15.9	18.0	shizusile
18.0	23.5	Shizuoka
21.4	0.8	test
0.8	1.34	Testdir
0.8	0.587	Toyama
5.83	6.27	tsunami
1.24	1.64	Venzaiten
7.68	9.38	yaezu
0.054	1.27	kokudo (未)
19.3	21.6	ooigawa
18.9	22.0	inatori
13.3	16.8	shizuokashi
19.0	20.7	tagomura

H15. 4. 30 " (1枚)  
H16. 4. 2 " (1枚)  
MO 2枚 H14. 11. 5 現在  
VT-dk 入って 全 FIC 落す  
(Y-S, T-9, J.C.L, 結果)

ファイル floppy disk 1.49Mバイト  
(BT's 2枚 6.11?) (H16. 4. 5 現在)

(A) VT-dk (1.47M) (注) H14. 11/7  
VT-dk a kamoko の結果を削除  
必要時 MO (H14. 11. 5 現在) から入る

(B) VT-dk (1.47M) (注) H14. 11/6  
VT-dk a niigata の結果を削除  
必要時 MO から入ること (H14. 11. 5 現在 9M)

客室から入った H14. 2 のデータ 追加

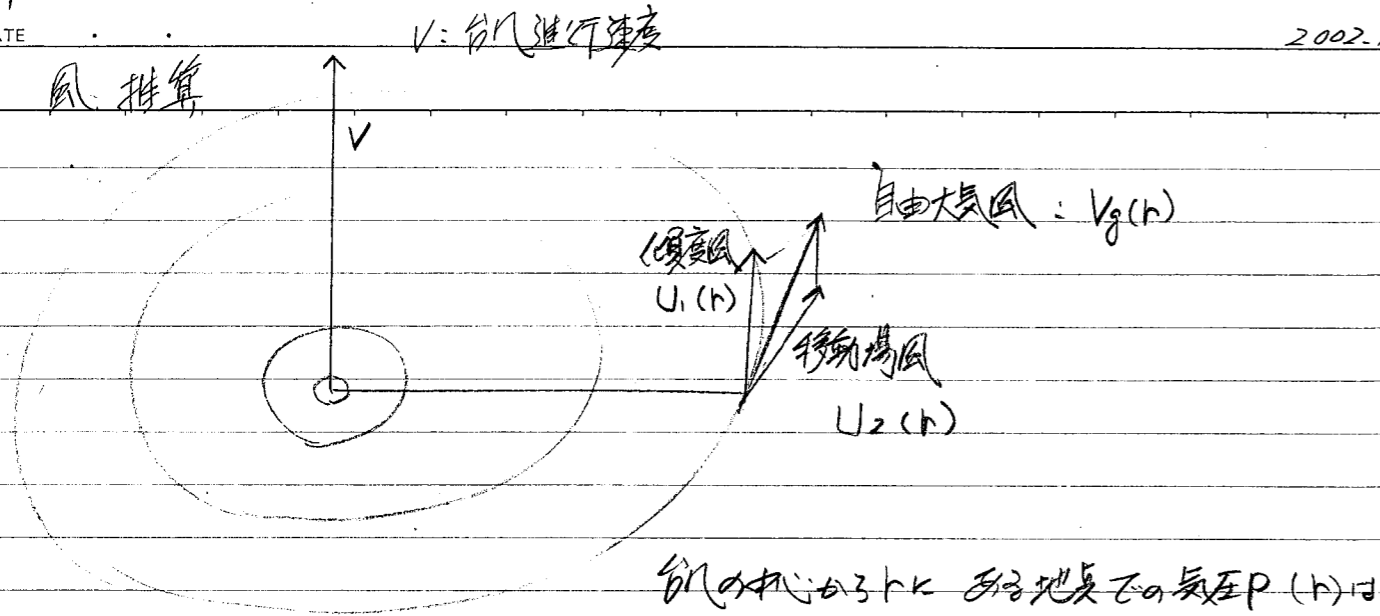
(A) (注) H15. 2 箱取の Y-S, T-9, J.C.L. 追加

H13. 10  
H14. 10?  
H14. 12. 27  
H15. 2. 24  
H15. 3. 15  
H15. 12 (但し 結果は他の MOK 列)  
Y-S, T-9 追加

計 197Mバイト (但し) 計 217.043 Mバイト

# 台風・高潮の計算

風計算



台風中心から半径 \$r\$ の地点での気圧 \$P(r)\$ は  

$$P(r) = P_c + \Delta P \cdot \exp\left(-\frac{r}{r_0}\right)$$

北緯 \$35^\circ\$ (\$N=35^\circ \Rightarrow \sin \theta = 0.5736\$)  
 地球自転の角速度 \$\omega\$ : 角速度 \$\omega = \frac{2\pi}{24 \times 3600} = \frac{\pi}{12 \times 3600} \text{ (1/sec)}\$  
 \$f\$ : 科リオリスパラメータ \$f = 2\omega \sin \theta = 1.3423 \cdot 10^{-5} \text{ (1/sec)}\$  
 \$\rho\_a\$ : 空気密度 \$\rho\_a = 1.20 \text{ kg/m}^3\$ (15°C, 1000 hPaの場合)

傾度風 \$U\_1(r)\$ は  

$$U_1(r) = -\frac{f \cdot r}{2} + \sqrt{\left(\frac{f \cdot r}{2}\right)^2 + \frac{r}{\rho_a} \frac{\partial P(r)}{\partial r}}$$

$$= -\frac{f \cdot r}{2} + \sqrt{\left(\frac{f \cdot r}{2}\right)^2 + \frac{\Delta P}{\rho_a} \frac{r_0}{r} \exp\left(-\frac{r}{r_0}\right)}$$

\$r\$ : 台風中心からの距離  
 \$r\_0\$ : 台風半径で傾度風が最大となる距離  
 \$P\_c\$ : 台風中心の気圧  
 \$\Delta P\$ : 台風中心の半径 \$r\$ で \$P(\infty) - P\_c\$

移動場の風速 \$U\_2(r)\$

$$U_2(r) = \frac{U_1(r)}{U_1(r_0)} V$$

自由大気風の風速

$$V_g(r) = U_1(r) + U_2(r)$$



海上10m (気象的推算) 海面上 10m

$$U_{10}(r) = 0.6 \times V_g$$

風速成分は約 \$30^\circ\$ (左部は風向を偏向)

$$U_{10}(x, y) = 0.6 \cdot \|V_g\| \cos\left(\theta + \frac{\pi}{6}\right)$$

$$V_{10}(x, y) = 0.6 \cdot \|V_g\| \sin\left(\theta + \frac{\pi}{6}\right)$$

但し自由大気風の絶対値は  

$$\|V_g\| = \sqrt{U_g(x, y)^2 + V_g(x, y)^2}$$

### 境界層モデルの適用

海上風ベクトルを複素数表示で表す

$$V = u + i v$$

V: 複素数 2次元

$C_D$

$\gamma$

C 等も 複素数

$u_0$

↓  
自由大気の風を補正して海上風初期値  
として反復法で計算する  
初期値の  $(u_0, v_0)^{n=1}$  から次の変数を介して次ステップの海上風  $V_0^{n=2}$  を算定する  
海面の摩擦速度と初期値設定

$$u_0 = \sqrt{C_D} V_0^{n=1}$$

$u_0$ : 海面の摩擦速度

$C_D$ : 海面抵抗係数

$$C_D = (1.290 - 0.024 * V_0^n) 10^{-3} \quad V_0^n < 8.0 \text{ m/s}$$

$$C_D = (0.581 + 0.063 * V_0^n) 10^{-3} \quad V_0^n \geq 8.0 \text{ m/s}$$

(ステップアップ時  $V_0^n$  複素数  $u_0 + i v_0$ )

を実数のベクトルに変換

して判定のこと)

$$y = 2\sqrt{C_D} z \exp(-i\pi/4) \quad C = \frac{f}{K \cdot u_0}$$

K: カルマン定数 0.4

z: 高度で海上10m

$$Kz = K u_0 \cdot z$$

$kz$ : 鉛直渦動粘性係数

$V_0$  が 未知 微分方程式の解として  $\Lambda$ -セル関数  $J_0(y), N_0(y)$  として

$$V_0^{n=2} = V_g \left[ 1 - \frac{J_0(y) N_1(y_0) - J_1(y_0) N_0(y)}{J_0(y_0) N_1(y_0) - J_1(y_0) N_0(y_0)} \right]$$

が 次ステップの海上風ベクトルとされる

$$\text{但し } y_0 = 2\sqrt{C_D} z_0 \exp(-i\pi/4)$$

$$y_\infty = 2\sqrt{C_D} z_\infty \exp(-i\pi/4) \quad \begin{matrix} z_0 \text{ 時海面} \\ z_\infty \text{ 時上空の高度} \end{matrix}$$

### 反復解法と収束

順次  $(u_0, v_0)^{n+1}$  を計算

$$V_0^{n=2} \Rightarrow u_0 \Rightarrow \sqrt{C_D} \cdot V_0^{n=2} \Rightarrow V_0^{n=3}$$

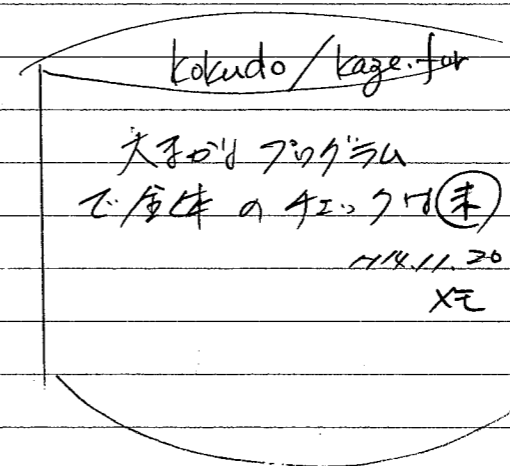
収束判定として

$$\|V_0^n - V_0^{n+1}\| \leq 0.001 \text{ (m/sec)}$$

を満足する時 最終的に  $V_0 = V_0^n$  と収束

$$V_0 = u_0 + i v_0$$

から  $(u_0, v_0)$  を所定の算度、経度上で換算する





延伸モデルを(変更)として 静岡県金城津波から取り  
 shizuoka / ~ (1998.11)

箱取魚港  
 shizuoka / ~ → imatomi / ~  
 3港湾 + 豊良 + 川原 + 松崎 + 箱取  
 B14,15 B16,17 B18,19 B20,21 変  
 3港湾 + 豊良 + 川原 + 松崎 + 箱取  
 B16, B17 B18 B19 B20 B21

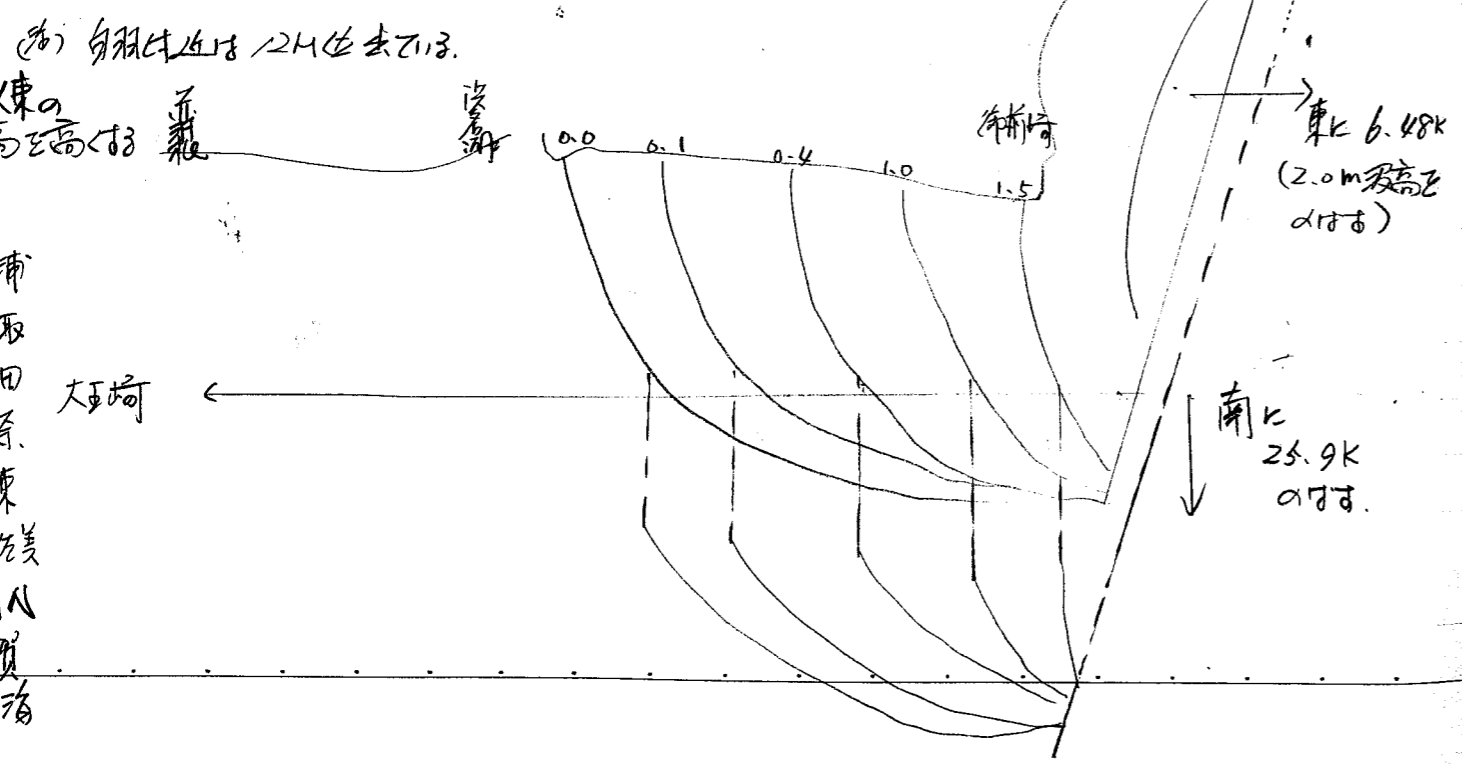
shikatatest\_for  
 延伸モデル  
 HAGEN X E Call.  
 ICASE=99  
 波源 東に 6.48k  
 南に 25.9k  
 延伸.  
 HAGEN X E 下以東の  
 波高を高めるための  
 処理

shitsunami test\_for  
 延伸モデル  
 BSの粘性 50m/s  
 B12, B13のF田港の  
 最低水深 7M  
 粘性 20m/s  
 Δt = 0.125sec  
 ~3HR 実行は VT-αで  
 約1.5倍の  
 力かき

①-2  
 3港湾 + 豊良 + 川原 + 松崎 + 箱取  
 B14,15 B16,17 B18,19 B20,21 変  
 3港湾 + 豊良 + 川原 + 松崎 + 箱取  
 B16, B17 B18 B19 B20 B21  
 毎夜出退防の時  
 (東沢川入水港(金城津波の時)に)

⑧ 波源 shikouwan-hag.dat  
 白羽付の修正列。(1998.10)  
 延伸モデルで実行する時必要  
 但し他の魚港, 港湾, 川原 (1996)の波源をふ

②) 土肥港を除く (B20, B21)  
 H15.1.11  
 松崎港での延伸モデル ~ 3HR 実行  
 (1998.11) の延伸モデル (~4HR 実行) 12月最大  
 毎夜出退防の時  
 BSの粘性 50cm/s  
 B12, B13のF田 最低水深 7M  
 B13の粘性 20m/s) ①の条件



No.	外浦	BS=50m/s F田 粘性 水深 約20m		BS=50m/s F田 粘性 水深 約20m		BS=50m/s F田 粘性 水深 約20m		BS=50m/s F田 粘性 水深 約20m	
		(~土肥港 B21) 最大沼 1998.11	(~土肥港 B21) (且しB13の 波列) 2003.1	(~松崎港 B19 土肥港を除く ①の条件 2003.1.12	テストはH15.2.19 最低水深 6M-6M 粘性 30m/s 40m/s 延伸モデル B20 B21 波列				
130	外浦	4.39	4.47	4.54	4.07	4.07			
131	箱取	3.41	3.43	3.30					
132	白田	2.03	2.01	2.10	2.69	2.37			
133	川原	1.55	1.56	1.55	1.56	1.45			
134	伊東	1.80	1.80	1.76	1.72	1.72			
135	伊佐美	1.65	1.66	1.55	1.42	1.40			
136	網代	1.38	1.38	1.38	1.45	1.44			
137	多賀	1.85	1.86	1.86	1.87	1.86			
138	熱海	2.11	2.10	2.00	2.11	2.04			

計測値 (補正前)

級の観測・推定データの統計処理：確率級高 11/11/27  
最小二乗法 1070(1997.9)の時に使甲した関数の説明から

最小二乗法とは

おのづかの測定値  $m_1, m_2, \dots, m_m$  とある値  $t$  との差の二乗の総和が最小となる  $t$  の値を最も確からしい値であるという原理に基づいて  $t$  の値を求める。

各測定値と  $t$  との差の二乗の総和を  $S$  とすると-

$$S = (m_1 - t)^2 + (m_2 - t)^2 + \dots + (m_m - t)^2$$

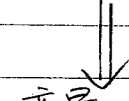
$S$  を最小にする  $t$  の値は  $\frac{dS}{dt} = 0$  を満足する値である。

$$\frac{dS}{dt} = -2(m_1 - t) - 2(m_2 - t) - \dots - 2(m_m - t) = 0$$

従って

$$t = \frac{1}{m} (m_1 + m_2 + \dots + m_m)$$

が  $t$  である。



変数が2つ以上ある場合でも

$$y_i = f(x_i) + \epsilon_i \quad \text{の関数で表わされる}$$

ここで  $x_i, y_i$  は実験値,  $\epsilon_i$  は理論値との誤差である。

$x_i$  に関する実験値  $y_i$  と理論値  $f(x_i)$  との差

$$\epsilon_i = y_i - f(x_i) \quad \text{の二乗の総和を最小にする}$$

関数  $f(x)$  を求める 即ち

$$S = \sum_{i=1}^n (y_i - f(x_i))^2 = \sum_{i=1}^n \epsilon_i^2 \quad \text{を最小にする}$$

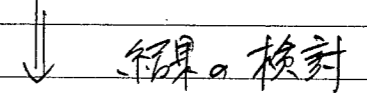
関数  $f(x)$  を求める。

この関数には次のような関数を用いる。

- (1) 1次関数  $y = a_0 + a_1 x$
- (2) 2次関数  $y = a_0 + a_1 x + a_2 x^2$
- (3) 3次関数  $y = a_0 + a_1 x + a_2 x^2 + a_3 x^3$
- (4) べき関数  $y = a x^b$
- (5) 指数関数  $y = a b^x$
- (6) 修正指数関数  $y = k - a b^x$

確率級高の時に必要とする関数

(1) 1次関数  $y = a_0 + a_1 x$



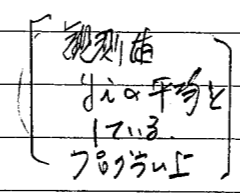
最小二乗法で求めた近似関数の実際の観測データとどれだけ適合しているかを知るために決定係数を用いる。

決定係数  $R^2$  は次の式で表わされる。

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n \{y_i - f(x_i)\}^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}$$

(1に近づくほど相関関係が強い)  
また  $R^2 = \text{SQRT}(R^2)$  の場合もある。

- ここで  $y_i$  : 観測値
- $f(x_i)$  : 近似関数  $f(x)$  の  $x_i$  における理論値
- $y_i - f(x_i)$  : 理論値に対する誤差
- $\bar{y}$  :  $y$  の平均値



観測データのばらつきを小さくする。関数  $f(x)$  のばらつきを小さくする。決定係数  $R^2$  が1に近づくほど適合度が高いことを示す。決定係数が1に近づくほど観測データのばらつきが小さくなる。近似関数のばらつきが小さいほど観測データのばらつきを小さくする。

観測データのばらつきを小さくする。理論値が観測データと一致しているほど  $\sum \{y_i - f(x_i)\}^2$  が小さくなる。決定係数  $R^2$  が1に近づくほど適合度が高いことを示す。決定係数が1に近づくほど観測データのばらつきが小さくなる。近似関数のばらつきが小さいほど観測データのばらつきを小さくする。

最小二乗法

1次関数近似

$$y = f(x) = a_0 + a_1 x$$

$$f(x) = a_0 + a_1 x$$

ε 前々頁 (1) に 添え字

$$S = \sum_{i=1}^n \{ y_i - (a_0 + a_1 x_i) \}^2$$

∴  $y_i, x_i$  実験値 (観測値)

とある

∴  $a_0$  と  $a_1$  の 関数 と する

$$S = g(a_0, a_1) \quad \therefore S \text{ を 最小に する } a_0, a_1 \text{ を 求める}$$

∴  $a_0$  に対して  $a_1$  を 定数 と して 偏微分 (  $a_0$  を 偏微分 する 時は  $a_1$  を 定数 と して 微分 し、  $a_1$  を 偏微分 する 時は  $a_0$  を 定数 と して 微分 する )  
して 0 と する 2 つ の 式 を 同時に 満足 する  $a_0, a_1$  を 求める

$$\frac{\partial S}{\partial a_0} = 2 \sum_{i=1}^n \{ y_i - (a_0 + a_1 x_i) \} (-1) = 0$$

$$\frac{\partial S}{\partial a_1} = 2 \sum_{i=1}^n \{ y_i - (a_0 + a_1 x_i) \} (-x_i) = 0$$

↓

$$n a_0 + \left( \sum_{i=1}^n x_i \right) a_1 = \sum_{i=1}^n y_i \quad \text{--- (2)}$$

$$\left( \sum_{i=1}^n x_i \right) a_0 + \left( \sum_{i=1}^n x_i^2 \right) a_1 = \sum_{i=1}^n x_i y_i$$

上式において  $n, \sum x_i, \sum y_i, \sum x_i^2, \sum x_i y_i$  は 既知データ  
∴ 直接 求めらる。 ∴ 2 式 の  $a_0, a_1$  は 未知数 と する 1 次 関数 近似  
である。 (2) 式 を 最小二乗法 と 呼ぶ 直線 回帰 の 1 次 関数 近似 と いう

∴ 1 次 関数 近似 を 解く と

$$a_0 = \frac{\left( \sum_{i=1}^n y_i \right) \left( \sum_{i=1}^n x_i^2 \right) - \left( \sum_{i=1}^n x_i \right) \left( \sum_{i=1}^n x_i y_i \right)}{n \left( \sum_{i=1}^n x_i^2 \right) - \left( \sum_{i=1}^n x_i \right)^2} \quad (3)$$

$$a_1 = \frac{n \left( \sum_{i=1}^n x_i y_i \right) - \left( \sum_{i=1}^n x_i \right) \left( \sum_{i=1}^n y_i \right)}{n \left( \sum_{i=1}^n x_i^2 \right) - \left( \sum_{i=1}^n x_i \right)^2} \quad (4)$$

∴  $a_0, a_1$  を 求める

例題 12

港湾の施設の技術上の基準、同解説 P.94~P.97 から 確率分布を 求める

統計処理を 行って 確率分布を 求め、  $\alpha$  確率に 対応する  
右側 確率に 対応する 超過 確率を 計算 今 2 つ の 個数  $N$   
大正 10 年から  $m$  番目の 確率  $\alpha$  確率  $\alpha$  と する 確率  $\alpha$  の 超過 確率  $\alpha$  と する  
超過 確率  $P$  は

$$P(H \leq x_{m,N}) = 1 - \frac{m - \alpha}{N + \beta} \quad \alpha, \beta \text{ は } 1.97x - 9 \text{ (4.4.1)}$$

分布関数	$\alpha$	$\beta$
ギンバル分布	0.44	0.12
$\beta=0.75$ ワイブル分布	0.54	0.64
0.85	0.51	0.59
1.0	0.48	0.53
1.1	0.46	0.50
1.25	0.44	0.47
1.5	0.42	0.42
2.0	0.39	0.37

順序 $m$	極大級高 $x_{m,N}$	未超過確率	正規化変数
1	7.7	$P[H \leq x]$	$h$ (4.4.4) 及び (4.4.5) に当てはまる
2	5.4	(4.4.1)式に 当てはめると	
3	5.3		
4			
5			
16	2.8		

正規化変数

$$P[H \leq x] = \exp\left\{-\exp\left\{-\left(\frac{x-B}{A}\right)^k\right\}\right\}$$

ガンマ分布 (4.4.2)

$$P[H \leq x] = 1 - \exp\left\{-\left(\frac{x-B}{A}\right)^k\right\}$$

ワイル分布 (4.4.3)

ここで  $h = \left(\frac{x-B}{A}\right)^k$

↓

$$h = -\ln\{-\ln P[H \leq x]\}$$

ガンマ分布 (4.4.4)

$$h = \left[-\ln\{1 - P[H \leq x]\}\right]^{1/k}$$

ワイル分布 (4.4.5)

データ (4.4.2), (4.4.3) に完全に適合しては  
 $x$  と  $h$  の関係の直線関係が存在する。従ってデータに  
 式 (4.4.6) の直線関係を設定し、パラメータ (A, B) を  
 最小二乗法で求めることにより、極大級高の推定式が抽出される。

$$x = \hat{A}h + \hat{B} \quad (4.4.6)$$

$x$ : 極大級高値  $x_{m,N}$   
 $h$ : 正規化変数

前ページ 8種類 の分布関数 (A, B) を与え、各分布関数に対して  
 未超過確率  $P[H \leq x]$  ( $i=1 \sim 16$ ,  $N=16$ ), 正規化変数  $h$  を計算  
 (4.4.1)式 (4.4.4), (4.4.5)式

前ページの (3), (4)  $B = a_0, A = a_1$   
 式に当てはめ、各データ A, B を求める。

↓

相関係数 (前記に決定数  $R^2$  を用いて)

$h(x, h)$  が 1 に  
 近い分布関数と置くと

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - f(x_i))^2}$$

$\bar{y} = \bar{y}_0$  の平均値  
 ( $i=1 \sim n$ )

分布関数を選定。級高の再帰期間  $R_p$  (50年確率, 30年確率等)  
 とし、次の関係が成り立つ。

$$R_p = \frac{K}{1 - P[H \leq x]}$$

ここで

$$P[H \leq x] = 1 - \frac{K}{N \cdot R_p}$$

K: 解析を行なった期間の年数  
 N: データの数  
 $R_p$ : 再帰期間 (50年と30年)  
 $P[H \leq x]$ : 未超過確率

$R_p$  に対して未超過確率  $P[H \leq x]$  を求める

↓ A (4.4.4), (4.4.5) 分布関数の該当式

$h$  (正規化変数)

↓

極大級高

$x$  ( $x = \hat{A}h + \hat{B}$  式) ( $x_{50}$  と  $x_{100}$  50年確率)

を抽出する

(注) 最小二乗法のレポートと、港橋の施設云々にて例題と同じ  
 50年, 100年 確率級高値が未知

KOKUDO / PPHAKO. for

確率級高の算出

H14.12.2 データ  
O.K

相関係数

- $h(x, h)$
- が  $\sqrt{R^2}$  値に一致

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - f(x_i))^2}$$

この時  $\bar{y}$  は  $\sum y_i$  の平均値と  
 一致する。

H14.12.2 X7

kokudo/pphako.for

294 5st 0.4

港の施設: 財団法人

α中α

級α親利 推算ααの係数  
: 確率α高計算

ガンマ分布

ワケル分布 (1~7)

αとαの係数使用招か

$x = \hat{A}t + \hat{B}$  招か

αA, Bを招か

||

相関係数

r(x, tv)が招か

招か関数

||

50年確率α高

100年確率

を招か