

上下流端境界条件が共に存在しない場合の 洪水流の再現法に関する二、三の検討

SOME CONSIDERATIONS ON COMPUTATIONAL METHOD OF FLOOD FLOW
WITHOUT BOTH UPSTREAM AND DOWNSTREAM BOUNDARY CONDITIONS

細田尚¹・村上隆弘²・音田慎一郎³・岩田通明⁴・PUAY HOW TION⁵・柴山慶行⁵
T.HOSODA, T. MURAMAKI, S. ONDA, M. IWATA, H. T. PUAY and Y. SHIBAYAMA

¹正会員 工博 京都大学教授 工学研究科都市社会工学専攻 (〒615-8540 京都市西京区京都大学桂C1-3)

²非会員 工修 (株)大林組 (〒108-8502 東京都港区港南2-15-2品川インターシティB棟)

³正会員 工博 京都大学助教 工学研究科都市社会工学専攻 (〒615-8540 京都市西京区京都大学桂C1-3)

⁴正会員 工修 建設技術研究所大阪支社 (〒541-0045 大阪市中央区道修町1-6-7北浜MIDビル)

⁵Student Member of JSCE, MS Eng., Graduate School of Engineering, Kyoto Univ., Dept. of Urban Management

In this study, we proposed the computational method to reproduce previous flood flows without both upstream and downstream boundary conditions, considering only the available data at one middle site between upstream and downstream boundaries. Based on the theory of the method of characteristics(MOC), it is shown that unsteady flows during flood events can be reproduced numerically in the whole river course by using the data observed at only one middle site, if we compare the numerical results to observed ones on not only depth (or water level) but also time-derivatives of depth hydrograph. Then, the proposed computational method is applied to the flood flow in a model channel and is verified by comparing the reproduced boundary conditions to the reference data.

Key Words : *Unsteady open channel flows, flood flow simulation, method of characteristics*

1. はじめに

河川洪水流を再現する場合、対象区間内の流れが常流であるとする、特性曲線法に基づいて、区間の上流端および下流端それぞれで水位(水深)または流量ハイドログラフの一つを境界条件として与えて、区間内の水理量の時間変化を計算することが通例である。すなわち、二つのハイドログラフを境界条件として与えて洪水の再現計算が行われている¹⁾。

本研究では、流れが常流であることを仮定して、対象区間内の一地点において、水位(または水深)ハイドログラフ一つを与えることで、区間全域の水理量を再現することができる可能性があることを示す。これまでに、区間内二地点のハイドログラフを用いて上下流端境界条件の再現を試みた事例はあるが²⁾、一地点のみを用いた事例はないと考えられる。

上記の方法は開水路非定常流解析法の常識と整合しないと考えられるため、まず最も単純化された場において提案する方法の適用可能性を理論的に検証する。すなわ

ち、流れのない水平路床を有する一次元水槽において、左右両端で水位の時間変動が与えられる場合を考える。洪水流解析で用いられる浅水流方程式に基づいて、水槽中央で観測された水位の時間変化のみを用いて、左右両端で与えた境界条件を再現することができることを示す。

次に、一様な勾配を有するモデル河川を考え、上下流端でそれぞれ一つのハイドログラフを境界条件として与えて洪水流計算を行う。この計算結果を基準データとして、逆に区間内一地点の計算された水位ハイドログラフのみを用いて、上下流端境界条件を再現するための方法を示すとともに、基準データと比較することで提案する方法の適用可能性を示す。

2. 上下流端境界条件の再現可能性の理論的検討

長さが L で路床が水平である1次元の水槽に、一様水深 h_0 の水が湛水している状態を考える。まず、水槽左右両端の水位時間変化が与えられたときの、水槽内の水位、流速に関する浅水流方程式の二次の摂動解を導く。

導かれた摂動解に基づいて、非線形効果を考慮することで、水槽中央一地点の水深の時間変化だけから左右両端の水位時間変化を再現することができる可能性を示す。

基礎式として浅水流方程式(1)及び(2)を用いる。

[連続式]

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial hu}{\partial x} = 0 \quad (1)$$

[運動方程式]

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + g \frac{\partial h}{\partial x} = 0 \quad (2)$$

ここに、 t ：時間、 x ：空間座標、 h ：水深、 u ：水深平均流速、 g ：重力加速度である。

水深、平均流速を以下のように摂動展開する。

$$h = h_0 + \varepsilon h_1 + \varepsilon^2 h_2 \quad (3)$$

$$u = \varepsilon u_1 + \varepsilon^2 u_2 \quad (4)$$

ここに、 $\varepsilon \equiv h_0 / L$ である。

式(3)、(4)を式(1)、(2)に代入し ε 、 ε^2 に関して整理すると以下の式が得られる。

$$O(\varepsilon): \quad \frac{\partial h_1}{\partial t} + h_0 \frac{\partial u_1}{\partial x} = 0 \quad (5a)$$

$$\frac{\partial u_1}{\partial t} + g \frac{\partial h_1}{\partial x} = 0 \quad (5b)$$

$$O(\varepsilon^2): \quad \frac{\partial h_2}{\partial t} + h_0 \frac{\partial u_2}{\partial x} = -\frac{\partial h_1 u_1}{\partial x} \quad (6a)$$

$$\frac{\partial u_2}{\partial t} + g \frac{\partial h_2}{\partial x} = -u_1 \frac{\partial u_1}{\partial x} \quad (6b)$$

式(5)に特性曲線法を適用すると、特性曲線とその上で成立する関係式(7)を導くことができる。

$$\frac{dx}{dt} = \pm \sqrt{gh_0} : \quad h_1 \pm \sqrt{\frac{h_0}{g}} u_1 = \text{const.} \quad (7)$$

次に図-1を参照して、左右両端の水深の境界条件として時間に関する1次式(8)を与えたときの1次の解を導く。

$$h_{1A} = \alpha_{1u} t_A \quad (8a)$$

$$h_{1B} = \alpha_{1d} t_B \quad (8b)$$

ここに、 α_{1u}, α_{1d} は図-1に示したように一次式を用いた場合の左右両端における水深時間変化の係数。

このとき、 $O_1 \rightarrow A$ と $O_2 \rightarrow B$ の特性曲線よりA点、B点での1次の解 u_1 は次のようになる。

$$u_{1A} = \sqrt{\frac{g}{h_0}} \alpha_{1u} t_A \quad (9a)$$

$$u_{1B} = -\sqrt{\frac{g}{h_0}} \alpha_{1d} t_A \quad (9b)$$

式(7)から式(9)を用いて $A \rightarrow C$ と $B \rightarrow C$ の特性曲線を考えることでC点での1次の解が以下のように求められる。

$$h_{1C} = (\alpha_{1u} + \alpha_{1d}) t_A \quad (10a)$$

$$u_{1C} = \sqrt{\frac{g}{h_0}} (\alpha_{1u} - \alpha_{1d}) t_A \quad (10b)$$

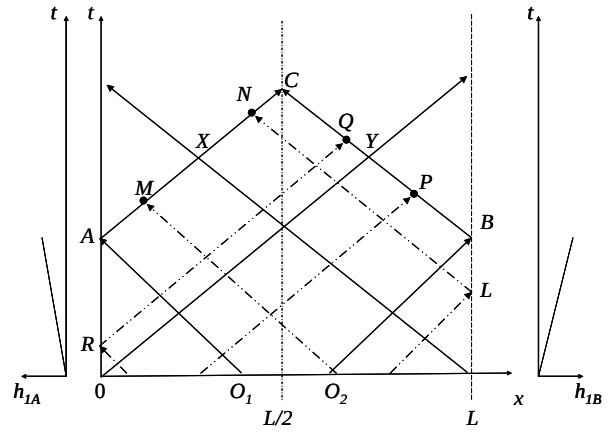


図-1 特性曲線法に基づく摂動解の導出法

式(10a)から、線形解の段階では、水槽中央の水深の時間変化を左右両端それぞれの境界条件に分解することはできないことが分かる。

次に、1次の解を用いて2次の摂動方程式(6)の解を導く。 h_2, u_2 に関する特性曲線とその上の関係式は次式で与えられる。(D/Dtは式(7)で与えられる特性曲線に沿う時間変化を表す。)

$$\begin{aligned} \frac{D}{Dt} \left(h_2 \pm \sqrt{\frac{h_0}{g}} u_2 \right) &= \frac{\partial h_2}{\partial t} \pm \sqrt{gh_0} \frac{\partial h_2}{\partial x} \pm \sqrt{\frac{h_0}{g}} \left(\frac{\partial u_2}{\partial t} \pm \sqrt{gh_0} \frac{\partial u_2}{\partial x} \right) \\ &= -h_1 \frac{\partial u_1}{\partial x} - u_1 \frac{\partial h_1}{\partial x} \mp \sqrt{\frac{h_0}{g}} u_1 \frac{\partial u_1}{\partial x} \end{aligned} \quad (11)$$

ここで、図-1に示すように $A \rightarrow C$ 間をX点で分け、その上流側の点をM、下流側の点をNとし、1次の解を用いてそれぞれの点での式(11)右边を計算すれば次式となる。

$$\frac{D}{Dt} \left(h_2 + \sqrt{\frac{h_0}{g}} u_2 \right)_M = 3 \frac{\alpha_{1u}^2}{h_0} t_A \quad (12a)$$

$$\frac{D}{Dt} \left(h_2 + \sqrt{\frac{h_0}{g}} u_2 \right)_N = \frac{1}{h_0} (\alpha_{1d} t_L + \alpha_{1u} t_A) \quad (12b)$$

$$\times (\alpha_{1d} + \alpha_{1u}) + \frac{1}{h_0} (\alpha_{1u} t_A - \alpha_{1d} t_L) 2\alpha_{1u}$$

同様に $B \rightarrow C$ 間をY点でわけ、P、Q点での式(11)右边を計算すれば次式となる。

$$\frac{D}{Dt} \left(h_2 - \sqrt{\frac{h_0}{g}} u_2 \right)_P = 3 \frac{\alpha_{1d}^2}{h_0} t_A \quad (13a)$$

$$\frac{D}{Dt} \left(h_2 - \sqrt{\frac{h_0}{g}} u_2 \right)_Q = \frac{1}{h_0} (\alpha_{1u} t_R + \alpha_{1d} t_A) \quad (13b)$$

$$\times (\alpha_{1d} + \alpha_{1u}) + \frac{1}{h_0} (\alpha_{1d} t_B - \alpha_{1u} t_R) 2\alpha_{1d}$$

なお、A点、B点での2次の解は $O_1 \rightarrow A$ と $O_2 \rightarrow B$ の特性曲線上の関係式より次式となる。

$$h_{2A} = 0 \quad (14a)$$

$$u_{2A} = -\frac{1}{4} \sqrt{\frac{g}{h_0}} \frac{\alpha_{1u}^2}{h_0} t_A^2 \quad (14b)$$

$$h_{2B} = 0 \quad (15a)$$

$$u_{2B} = \frac{1}{4} \sqrt{\frac{g}{h_0}} \frac{\alpha_{1d}^2}{h_0} t_A^2 \quad (15b)$$

式(12a)をAからXの区間で、式(12b)をXからCの区間で積分し、C点での特性量を求めると以下ようになる。
なお、式(12b)中の t_L は式(17)で表される。

$$\left(h_2 + \sqrt{\frac{h_0}{g}} u_2 \right)_C = \frac{3}{2} \frac{\alpha_{1u}^2 L}{h_0 \sqrt{gh_0}} t_A + \frac{1}{4} \frac{t_A^2}{h_0} (-\alpha_{1u}^2 + \alpha_{1u} \alpha_{1d} + \alpha_{1d}^2) \quad (16)$$

$$t_L = 2t_N - t_A - \frac{L}{\sqrt{gh_0}} \quad (17)$$

同様にして式(13a)をBからYの区間で、式(13b)をYからCの区間で積分し、C点での特性量を求めると次のようになる。ただし、式(13b)中の t_R は式(19)で表される。

$$\left(h_2 - \sqrt{\frac{h_0}{g}} u_2 \right)_C = \frac{3}{2} \frac{\alpha_{1u}^2 L}{h_0 \sqrt{gh_0}} t_A + \frac{1}{4} \frac{t_A^2}{h_0} (\alpha_{1u}^2 + \alpha_{1u} \alpha_{1d} - \alpha_{1d}^2) \quad (18)$$

$$t_R = 2t_Q - t_A - \frac{L}{\sqrt{gh_0}} \quad (19)$$

したがって、C点での h_{2C} が以下のように得られる。

$$h_{2C} = \frac{3}{4} \frac{Lt_A}{h_0 \sqrt{gh_0}} (\alpha_{1u}^2 + \alpha_{1d}^2) + \frac{t_A^2}{4h_0} \alpha_{1u} \alpha_{1d} \quad (20)$$

式(10a)、(20)を式(3)に代入すると、C点での水深と水

深の時間微分の時間変化は以下のように表される。

$$h|_C = h_0 + \varepsilon(\alpha_{1u} + \alpha_{1d}) t_A + \varepsilon^2 \left\{ \frac{t_A^2}{4h_0} \alpha_{1u} \alpha_{1d} + \frac{3}{4} \frac{Lt_A}{h_0 \sqrt{gh_0}} (\alpha_{1u}^2 + \alpha_{1d}^2) \right\} \quad (21a)$$

$$\frac{\partial h}{\partial t} \Big|_C = \varepsilon(\alpha_{1u} + \alpha_{1d}) + \varepsilon^2 \left\{ \frac{t_A}{2h_0} \alpha_{1u} \alpha_{1d} + \frac{3}{4} \frac{L}{h_0 \sqrt{gh_0}} (\alpha_{1u}^2 + \alpha_{1d}^2) \right\} \quad (21b)$$

式(21)を用いると、例えば α_{1u} は $h_C, dh_C/dt$ を用いて以下のように表すことができる。

$$\varepsilon^4 \left(\frac{3Lt_A^4}{4h_0 \sqrt{gh_0}} \right) \alpha_{1u}^4 + \varepsilon^3 t_A^4 \alpha_{1u}^3 + \varepsilon^2 t_A^4 \frac{\partial h}{\partial t} \Big|_C \alpha_{1u}^2 + \varepsilon \left\{ 4h_0 t_A^2 \left(h_0 - h_C + \frac{\partial h}{\partial t} \Big|_C t_A \right) \right\} \alpha_{1u} + \frac{12Lh_0}{\sqrt{gh_0}} \left(h_0 - h_C + \frac{\partial h}{\partial t} \Big|_C t_A \right)^2 = 0 \quad (22)$$

すなわち、式(22)は水槽内の一地点において、ある時刻の水深と水深の時間に関する1階微分が既知であるならば、左右境界における水深の境界条件を時間に関する1次式として再現できる可能性を示している。また、左右境界の水深の時間変化として2次式を仮定した場合、境界条件を表すパラメータは4つとなるため、水槽内一地点のある時刻に必要な量は水深と水深の時間に関する1階から3階までの微係数であることが類推される。

ただし、式(22)は境界条件のパラメータに関する4次式であるため、複数存在する解から正解を選択する方法については、正解が式(8)で与えた境界条件以前の値（この場合は静止状態なのでゼロ）に最も近い解であるかどうかなど、別途検討する必要がある。

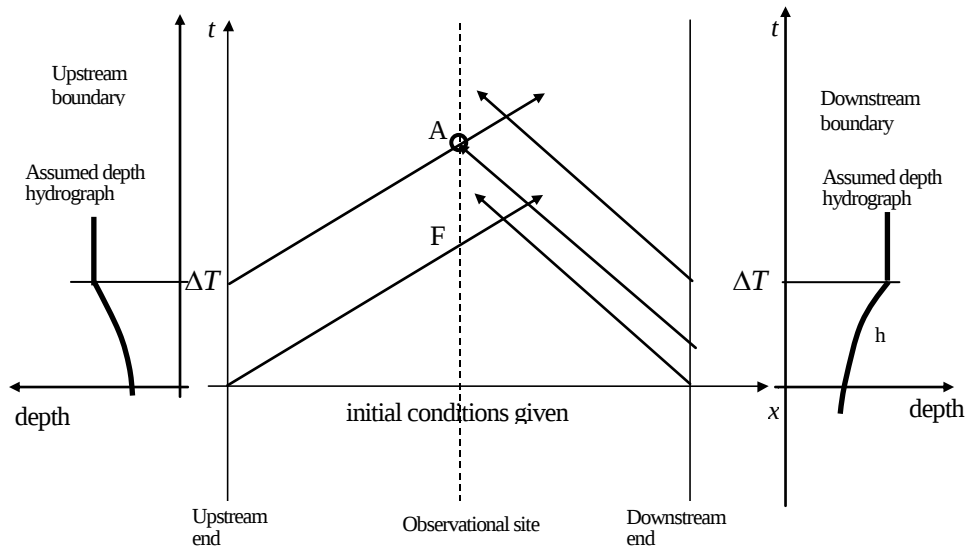


図-2 区間内一地点のハイドログラフを用いて両端境界条件を再現する手法の説明

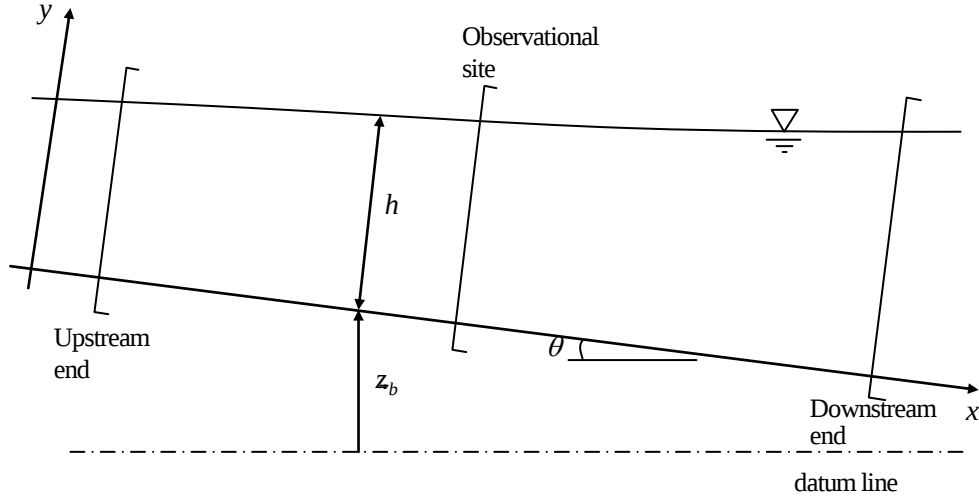


図-3 モデル河川と座標系及び記号の説明図

3. モデル河川の洪水流計算結果を用いた上下流端境界条件の再現法の検討

次に、単純なモデル河川を考え、既知の上下流端境界条件の下で洪水流計算を行い、計算結果を基準データとする。計算結果（基準データ）から得られるモデル河川内一地点の水深ハイドログラフのみを用いて上下流端水深ハイドログラフを再現する方法について検討する。

(1) 本研究で用いる再現法の概要

図-2に本研究で用いる境界条件の再現手法の説明図を示した。手法を要約すれば以下になる。

i. 左右端において時間区分帯 $t_0 \sim t_0 + \Delta T$ の間のハイドログラフを以下の二次式で仮定する。 $t_0 + \Delta T$ 以後は図-2に示したように一定値を与える。

$$\text{上流端: } h(t) = h(t=t_0) + \alpha_1(t-t_0) + \alpha_2(t-t_0)^2 \quad (23a)$$

$$\text{下流端: } h(t) = h(t=t_0) + \beta_1(t-t_0) + \beta_2(t-t_0)^2 \quad (23b)$$

ここに、 $\alpha_1, \alpha_2, \beta_1, \beta_2$ は二次式のパラメータであり、一つ前の時間区分帯で同定された二次式によって与えられる $\alpha_1, \alpha_2, \beta_1, \beta_2$ の周辺で値を変化させて誤差計算を行うことで $t_0 \sim t_0 + \Delta T$ の値を同定する。

ii. 特性曲線法に基づき図-2中の点Aの水理量を計算する。本研究では、簡単のため固定格子点を用いた1次精度の上流差分を用いる¹⁾。

iii. 式(23a,b)は、上下流端で水深と水深の時間に関する1階、2階の微係数が与えられ、3階微分以降はゼロであることを示している。すなわち、後述の時間微係数の関係式を用いれば、式(23)の境界条件の下で、水深と水深の時間微係数を計算することができる。一方で、参照点Aの水深ハイドログラフは既知なので、点Aでの水深の時間に関する微係数は既知である。ここでは、未知数は $\alpha_1, \alpha_2, \beta_1, \beta_2$ の四個であることから、参照点Aにおい

て水深と時間に関する1階から3階までの微係数の四個の計算値が基準値と一致すればパラメータ値を決定できる。

iv. 水深と1階から3階までの時間微係の計算値がそれぞれすべて基準値と一致することは実際上あり得ない。そこで本研究では、四個のパラメータをi. で述べたように変化させ、次式で定義される誤差を計算し、誤差を最小にするパラメータを同定値とした。（後出の表-1参照）

$$\begin{aligned} ERROR = & \frac{|h_{cal} - h_{ref}|}{h_{ref}} + \frac{\left| \frac{\partial h}{\partial t}_{cal} - \frac{\partial h}{\partial t}_{ref} \right|}{\frac{\partial h}{\partial t}_{ref}} \\ & + \frac{\left| \frac{\partial^2 h}{\partial t^2}_{cal} - \frac{\partial^2 h}{\partial t^2}_{ref} \right|}{\frac{\partial^2 h}{\partial t^2}_{ref}} + \frac{\left| \frac{\partial^3 h}{\partial t^3}_{cal} - \frac{\partial^3 h}{\partial t^3}_{ref} \right|}{\frac{\partial^3 h}{\partial t^3}_{ref}} \end{aligned} \quad (24)$$

ここに、ref, およびcal はそれぞれ点Aの基準データと数値計算結果を表す。

(2) 基礎式系

図-3に示す単純なモデル河川を対象に具体的な計算手法の検討を行うため、基礎式系として以下に示す単位幅の浅水流方程式を用いる。

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial hu}{\partial x} = 0 \quad (25)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + g \frac{\partial h}{\partial x} = \sin \theta - \frac{\tau_{bx}}{\rho h} \quad (26)$$

ここに、 x :空間座標、 t :時間、 h :水深、 u :水深平均流速、 g :重力加速度、 θ :河床勾配、 ρ :水の密度、 τ_{bx} :せん断応力ベクトルの x 方向成分。

せん断応力は摩擦係数 c_f を用いて次式で評価した。

$$\frac{\tau_{bx}}{\rho} = c_f u |u| \quad (27)$$

前節で述べたように、本研究では水理量の時間微係数の関係式も同時に解くため、時間微係数に関する基礎式系を以下に示す。ただし、紙面の都合上、時間に関する1階微係数のみ記述する。これらの関係式は、上下流どちらか一方の境界条件が存在しない場合の解析法にすでに用いられている³⁾。

$$\frac{\partial h_1}{\partial t} + u \frac{\partial h_1}{\partial x} + h \frac{\partial u_1}{\partial x} + u_1 \frac{\partial h}{\partial x} + h_1 \frac{\partial u}{\partial x} = 0 \quad (28)$$

$$\frac{\partial u_1}{\partial t} + u_1 \frac{\partial u}{\partial x} + u \frac{\partial u_1}{\partial x} + g \frac{\partial h_1}{\partial x} =$$

$$c_f \frac{u^2}{h^2} h_1 - 2c_f \frac{u}{h} u_1$$

ここに、 h_1 と u_1 は次式で定義される。(2章の h_1 、 u_1 と定義が異なるが混同の恐れがないため以後同一記号を用いる。)

$$h_1 \equiv \frac{\partial h}{\partial t}, u_1 \equiv \frac{\partial u}{\partial t} \quad (30)$$

高階微係数の関係式も同様に導かれる。また、式(25)、(26)と式(28)、(29)の特性曲線とその上の関係式は以下ようになる。

$$\frac{\partial h}{\partial t} + (u \pm \sqrt{gh}) \frac{\partial h}{\partial x} \pm \sqrt{\frac{h}{g}} \left\{ \frac{\partial u}{\partial t} + (u \pm \sqrt{gh}) \frac{\partial u}{\partial x} \right\} =$$

$$\pm \sqrt{\frac{h}{g}} \left(g \sin \theta - \frac{\tau_{bx}}{\rho h} \right)$$

(31)

$$\frac{\partial h_1}{\partial t} + (u \pm \sqrt{gh}) \frac{\partial h_1}{\partial x} \pm \sqrt{\frac{h}{g}} \left\{ \frac{\partial u_1}{\partial t} + (u \pm \sqrt{gh}) \frac{\partial u_1}{\partial x} \right\}$$

$$= \left(-\frac{\partial u}{\partial x} \pm \sqrt{\frac{h}{g}} c_f \frac{u^2}{h^2} \right) h_1 + \left\{ -\frac{\partial h}{\partial x} \mp \sqrt{\frac{h}{g}} \left(\frac{\partial u}{\partial x} + 2c_f \frac{u}{h} \right) \right\} u_1 \quad (32)$$

4. 数値計算結果の考察

(1) 基準データの作成

図-3のモデル河川の対象区間距離を20kmとし、河床勾配1/2000、摩擦係数を0.01と設定した。計算格子間隔 Δx を50m、時間間隔 Δt を2(sec)とした。

図-4の上段と下段に示した上下流端境界条件のもとで洪水流の再現計算を行い中間地点の基準データを得た。

(2) 境界条件の再現に関する考察

図-5にハイドログラフの時間を分割して順次、上下流端境界条件を再現する過程を示した。すなわち、上下流端において同一の時間区分帯で $\alpha_1, \alpha_2, \beta_1, \beta_2$ を仮定することで水深ハイドログラフを与え、洪水流の再現計算を行う。一つ前の時間区分帯で同定されたハイドログラフによって与えられる $\alpha_1, \alpha_2, \beta_1, \beta_2$ の値の周辺でパラメータを変化させて誤差計算を行った。一つの時間区分

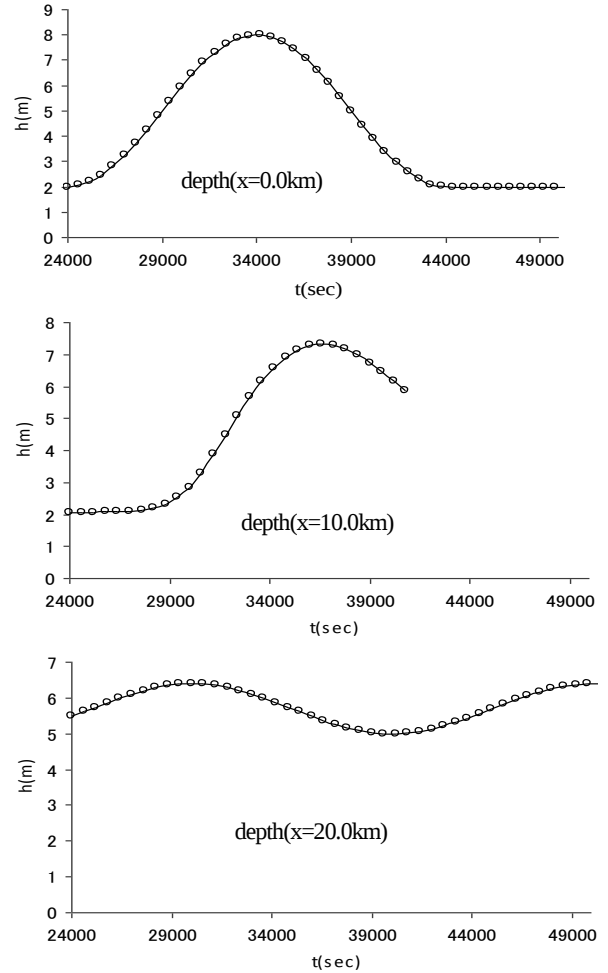


図-4 設定した上下流端境界条件（上段と下段）と中間地点の計算結果（中段）

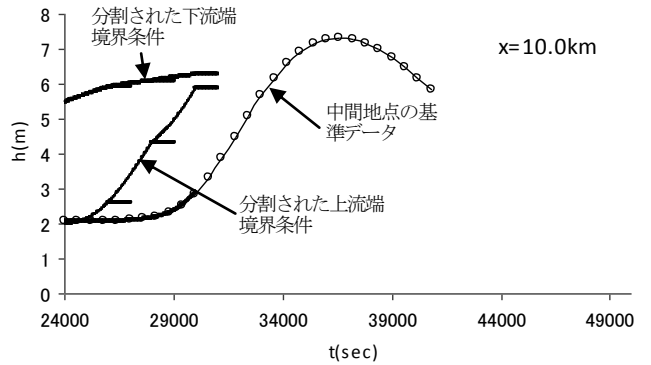


図-5 ハイドログラフの時間を分割した上下流境界条件の再現過程

帯の時間間隔は2000(sec.)とした。

時間区分帯内に上下流端から出発する特性曲線の軌跡を計算し、図-2の点Aを探す。この点Aでの水深と水深の1階から3階までの時間微係数の計算結果、及び基準データを用いて、式(24)で定義される誤差を計算する。係数 $\alpha_1, \alpha_2, \beta_1, \beta_2$ の値を変化させながら、誤差が最小になるようなパラメータ値を決める。(図-5中の境界条件の再現結果に示した横線は、図-2中の境界条件の直線部を示している。すなわち、一時間区分帯をこえたとき境界条件の水深を一定とした。)

表-1は誤差解析によってパラメータの同定を行った例

表-1 パラメータ同定のための誤差解析過程

(a) α_2, β_2 を固定した場合の誤差

$\alpha_2 = 0$		α_1					
$\beta_2 =$	2.E-08	0.0E+00	2.0E-05	4.0E-05	6.0E-05	8.0E-05	1.0E-04
β_1	2.1E-04	1.2481	1.1939	1.1370	1.0773	1.0146	0.9488
	2.3E-04	0.7462	0.6955	0.6423	0.5863	0.5274	0.4680
	2.5E-04	0.2940	0.2262	0.1582	0.0878	0.1153	0.1720
	2.7E-04	0.7990	0.8388	0.8808	0.9253	0.9724	1.0222
	2.9E-04	1.9959	2.0272	2.0606	2.0962	2.1342	2.1747
	3.0E-04	2.7565	2.7825	2.8104	2.8404	2.8727	2.9073

(b) α_2, β_2 の同定

		α_2				
		0	5E-09	1E-08	1.5E-08	2E-08
β_2	1.E-08	0.1328	0.1147	0.0967	0.0814	0.0721
	2.E-08	0.0878	0.0986	0.1143	0.0887	0.0564
	3.E-08	0.0847	0.0453	0.0313	0.0456	0.0773
	4.E-08	0.0690	0.0229	0.0388	0.0807	0.0459
	5.E-08	0.0894	0.0616	0.0257	0.0566	0.0523

である。表-1(a)は α_2, β_2 を固定し α_1, β_1 を変化させた場合の誤差の表である。表中に誤差の極小値が存在していることが確認できる。次に α_2, β_2 を変化させて表-11(a)の極小値の最小値を探すことで $\alpha_1, \alpha_2, \beta_1, \beta_2$ の推定値とした。表-1(b)においても極小値が存在していることが分かる。

上述の手順を繰り返しながら、時間区分帯を先に進めていくことで得られた境界条件の再現結果を図-6に示した。曲頂部付近の再現性がよいとはいえないが、ハイドログラフ全体をおおよそ再現していると考えられる。

(図-6中の横線は上述した図-5中の横線の意味と同一である。)

このように、一つ前の時間区分帯のハイドログラフにより計算される値の周辺でパラメータ値を変化させることで、当該区分帯のパラメータ値を同定できる可能性を示すことができた。ただし、ハイドログラフを再現する区分帯の時間間隔が大きすぎる場合には適切なパラメータ値の同定が困難になると考えられるため、時間間隔の上限値の設定については今後の課題としたい。

5. おわりに

本研究は、洪水流の再現に関して、対象区間内一地点の水深ハイドログラフだけを用いて上下流端境界条件と区間内の水量を計算する方法について検討したものである。得られた成果を要約すると以下ようになる。

- 最も単純な静止した一次元の水槽での水面波の伝播過程を浅水方程式の摂動解を用いて考察した。非線形性を考慮すれば、一地点の水深ハイドログラフから上下流端境界条件が再現可能であることを示した。
- モデル河川を用いて再現した洪水流の計算結果を基準データとして、逆に、対象区間内一地点の水深ハイドログラフから上下流端境界条件を時間区分帯毎に再現する方法を提案した。一つ前の時間区分帯のハイドログラフ

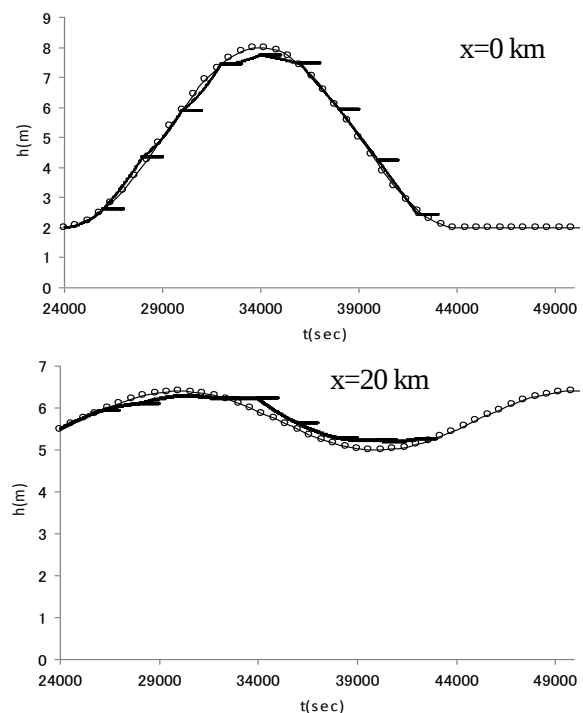


図-6 上下流端境界条件の再現結果

フにより計算される値の周辺でパラメータ値を変化させることで、パラメータ値を同定できる可能性を示した。ただし、再現する区分帯の時間間隔の上限値の設定などについては今後の課題と考えられる。

参考文献

- 例えば 井上和也：開水路非定常流の数値計算法とその水工学への応用に関する研究，京都大学学位論文，1986。
- Onda, S., Hosoda, T., Uchida, T. and Jacimovic, N.: Numerical simulation of unsteady flood flows with unknown boundary conditions Proc. of the 7th international conference of HYDROINFORMATICS 2006, Vol.3, pp.1619-1626, 2006.
- Hosoda, T., Onda, S., Iwata, M. and Jacimovic, N.: Extension of flood flow simulation without upstream and downstream boundary conditions, River flow 2008, pp.655-659, 2008.

(2009. 9. 30受付)