B27

ハイドログラフ一つのみを用いた洪水流の逆解析法に関する二，　三の検討

Some Considerations on the Inversion Method for Flood Flows with One Hydrograph

○細田尚・Wai Thwe AUNG・白井秀和・音田慎一郎・Hamid BASHIRI ATRABI
○Takashi HOSODA・Wai Thwe Thwe・Hidekazu SHIRAI・Shinichiro ONDA・Hamid BASHIRI ATRABI

This paper describes some considerations on the reproduction method of flood flows using one water stage hydrograph. The background of this study is explained in brief showing a computational method applied to the reproduction of flood flows in Uji River. In this study, the frame work is shown to ascertain the theoretical basis of the computational method, which seems to be incompatible with the classical theory of hydraulics based on Method of Characteristics.

１．研究の経緯

本研究は，河川区間内一地点の水位ハイドログラフ一つのみを用いて区間内の洪水流を再現する計算手法とその理論的根拠について二，三の検討を行ったものである．これまでに，図-1 に示した河川に対して，中間地点の水位ハイドログラフ（図-3 下段の図）に適合するように上下流端の流量，水位ハイドログラフを再現する計算手法を提案した [1]．またその根拠に関して，底面摩擦を無視した基礎式を用いて現象の非線形性に基づいた証明

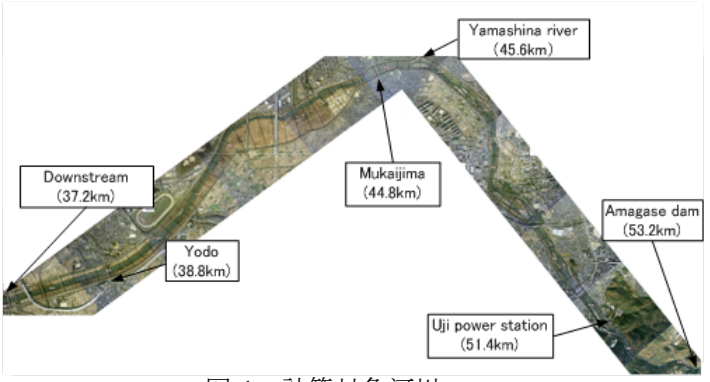

図-1　計算対象河川

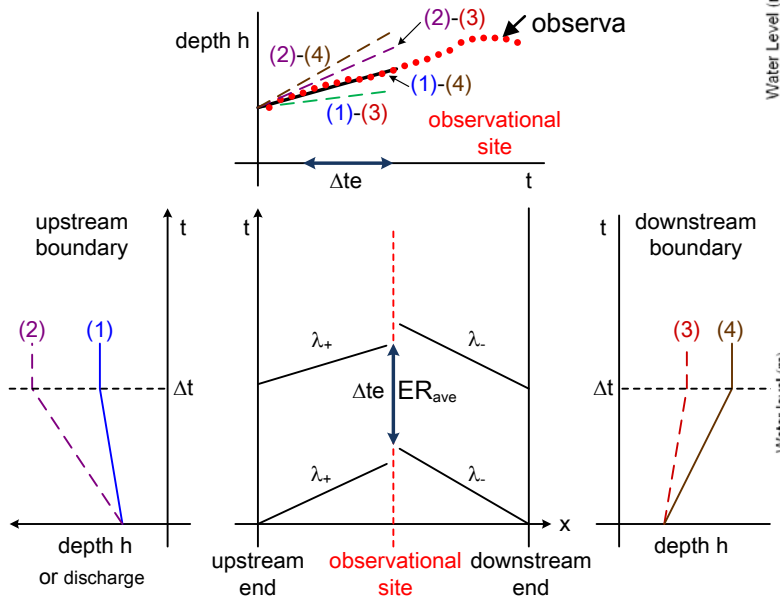

図-2　逆解析手法の概念図

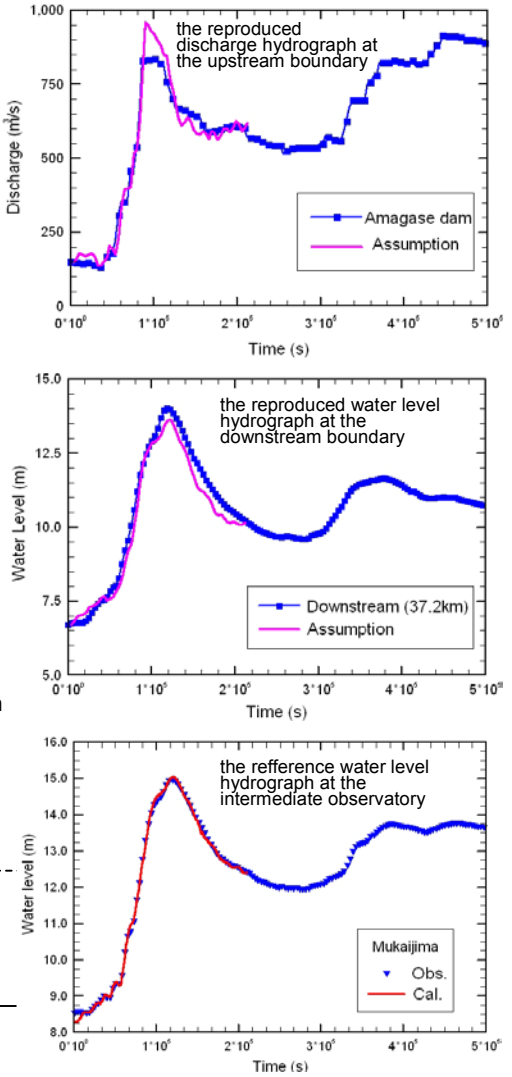

図-3　洪水流の逆解析結果

を行った．

２．理論的根拠に関する検討のフレームワーク

本研究では，底面摩擦を無視しない基礎式系を用いて，中間地点の水位ハイドログラフ一つのみを用いて区間内の洪水流を再現することを理論的に検討するための枠組みを示す．

基礎式は通常の開水路非定常流の基礎式であり，式(1)および(2)で構成される．

$$\frac{\partial h}{\partial t}+\frac{\partial hu}{\partial x}=0 \tag{1}$$

$$\frac{\partial u}{\partial t}+u\frac{\partial u}{\partial x}+g\frac{\partial h}{\partial x}+g\frac{\partial h}{\partial x}=g\sin\theta-c_f\frac{u^2}{h} \tag{2}$$

ここに，x は空間座標，t は時間，h は水深，u は断面平均流速，g は重力加速度の大きさ，θ は水路床勾配，c_f は摩擦係数を表す．

基礎式を無次元化した後，微小な無次元パラメータ ε を用いて h，u を次のように展開する．

$$h=1+\varepsilon h_1+\varepsilon^2 h_2+\cdots \tag{3}$$

$$u=1+\varepsilon u_1+\varepsilon^2 u_2+\cdots \tag{4}$$

まず，時間のべき乗級数として与えられた境界条件の下で線形解を導くことを考える．本研究では h_1，u_1 を c_f を微小パラメータとして次のように展開する方法を用いる．

$$h_1=h_{10}+c_f h_{11}+c_f{}^2 h_{12}+\cdots \tag{5}$$

$$u_1=u_{10}+c_f u_{11}+c_f{}^2 u_{12}+\cdots \tag{6}$$

$c_f{}^0, c_f{}^1$ および $c_f{}^2$ で括られる関係式を導出後，本研究では射流状態を想定して図-4 に示した特性曲線網を用いて解析解を導く．

上流端の境界条件として h_{10}, u_{10} の時間変化を式(7a,b)として与える．

$$h_{10}=\alpha_1 t+\alpha_2 t^2+\alpha_3 t^3+\cdots \tag{7a}$$

$$u_{10}=\beta_1 t+\beta_2 t^2+\beta_3 t^3+\cdots \tag{7b}$$

図-4 に示した放物線分布を与えた場合の O から射出する λ_- 線と T_E から射出する λ_+ 線で囲まれる三角形領域に対する解析解を示すと次式となる．ただし，記号の説明は省略する．

$$h=1+\Delta h,\quad \Delta h\equiv\varepsilon\left(h_{10}+c_f h_{11}+c_f{}^2 h_{12}+\cdots\right) \tag{9}$$

$$h_{10_N}=\frac{1}{2}\left\{h_{10_A}+h_{10_B}+Fr_0\left(u_{10_A}-u_{10_B}\right)\right\} \tag{10}$$

$$\begin{aligned}h_{11}=\frac{1}{2}Fr_0\Big[&(AA_0-2AB_0)(t_N-t_A)\\&+(AA_1-2AB_1)\frac{1}{2}(t_N^2-t_A^2)+(AA_2-2AB_2)\frac{1}{3}(t_N^3-t_A^3)\\&-\Big\{(AC_0-2AD_2)(t_N-t_B)+(AC_1-2AD_1)\frac{1}{2}(t_N^2-t_B^2)\\&+(AC_2-2AD_2)\frac{1}{3}(t_N^3-t_B^3)\Big\}\Big]\end{aligned} \tag{11}$$

$$\begin{aligned}h_{12_N}=&f_0\left(I_{1+},I_{1-},I_{2+},I_{2-},x_N,x_N{}^2,x_N{}^3,x_N{}^4\right)\\&+t_N f_1\left(I_{1+},I_{1-},I_{2+},I_{2-},x_N,x_N{}^2,x_N{}^3\right)\\&+t_N{}^2 f_2\left(I_{1+},I_{1-},I_{2+},I_{2-},x_N,x_N{}^2\right)\\&+t_N{}^3 f_3\left(I_{2+},I_{2-},x_N\right)\end{aligned} \tag{12}$$

式(9)～(12)は線形解が t_N に関する三次式となることを示している．すなわち，$t_N{}^0$ も含めて境界条件に含まれる4個の未知数に関する四つの関係式が存在していることを意味している．このことは，一地点の水深ハイドログラフ一つだけを用いて上流端境界の二つのハイドログラフを決定できる可能性を示唆している．ただし，$t_N{}^3$ の項は h_{12} にのみ含まれており，未知数を一意的に定めるためには少なくとも c_f の２乗の関係式を考慮する必要がある．

このように，底面摩擦を考慮した場合，線形理論からも中間地点の水位ハイドログラフ一つのみを用いて区間内の洪水流を再現できる可能性を示すことができる．今後，理論解析結果を用いていろいろな条件の下でハイドログラフを計算することで洪水流再現の可能性を実証したい．

参考文献

1) Hosoda, T., Shirai, H., Onda, S. and Shibayama, Y. : Reproduction of flood flow using only one depth- hydrograph in a river course -Theoretical background and computational method-, Proc. of 34th IAHR World Congress, pp.202-209 , 2011.

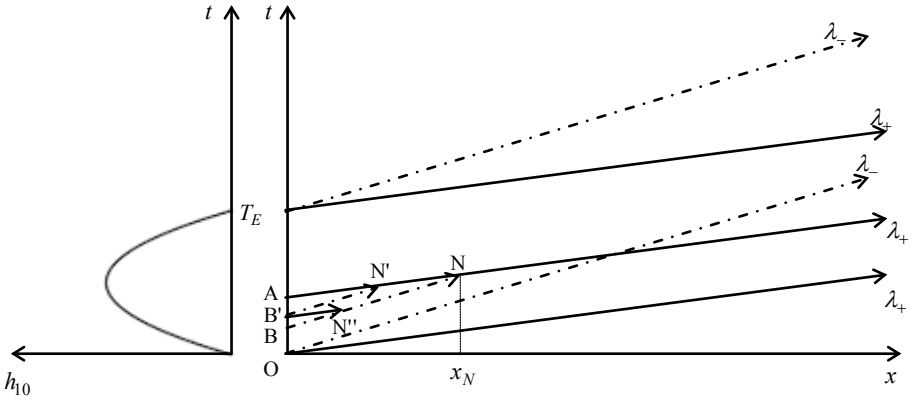

図-4　特性曲線法に基づいた近似解の導出