II-51　不定流の逆追跡について

建設省近畿地建猪名川工事々務所　正会員　橋本 健
法政大学　正会員　西谷隆亘
法政大学大学院　学生員　○砂田博文

1) はじめに

河川水の有効利用を目的に、基準地点で所要の波形を得るために、河道を上流に向って追跡して、上流端で必要な波形を求める、いわゆる不定流の逆洪水追跡へのKINEMATIC－WAVE法の適用については、前年度に報告[1]されているが、本報では基礎方程式の全項を含めた式による追跡がIMPLICIT法により試みられている。不定流の逆追跡は、上流端が調節機能をもつ施設(ダム. etc)の場合は、放流量決定システムの基礎的研究でもある。

2) 基礎方程式の比較

連続方程式: $$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \qquad (1)$$

運動方程式: $$\underset{(\text{加速度項})}{\frac{1}{g}\cdot\frac{\partial V}{\partial t}} + \underset{(\text{慣性項})}{\frac{V}{g}\cdot\frac{\partial V}{\partial x}} + \underset{(\text{水面勾配項})}{\frac{\partial H}{\partial x}} + \underset{(\text{抵抗項})}{\frac{n^2|V|V}{R^{4/3}}} = 0 \qquad (2)$$

経験的な近似式: $$Q = \alpha A^m \qquad (3)$$

河道における流水の流下過程の追跡法には、目的と必要とされる精度に応じて種々の方法がある。まず最も包括的なものは(1)式(2)式を用いるもので、いわゆる「不定流追跡」と呼ばれるものである。以下諸条件に応じて(2)式の(加速度項)、さらに(慣性項)を省略したものと(1)式と組み合わせたものが、順次「準定常流追跡」,「DYNAMIC－WAVE法」と呼ばれるものである。さらに比較的急勾配の河道では水面勾配を河床勾配で置きかえた式、あるいは経験的な近似式(3)式と(1)式を組み合せたものが、「KINEMATIC-WAVE法」と呼ばれるものである。本報では、この「KINEMATIC－WAVE法」と、上述のように運動方程式の各項を考慮した「不定流追跡」の両者により逆洪水追跡を行った結果を報告する。「不定流追跡」には、一般に大河川における長時間の追跡に、その適応性が確認されているIMPLICIT法を用いた。(以下単にIMPLICIT法と呼ぶことにする。)

3) 方法の概略

(3-1) KINEMATIC－WAVE法[1),2),4),5)]　(図-1)

KINEMATIC-WAVE法は特性曲線が1本しか存在せず、したがって計算手順が簡単であり、逆追跡においては、既知である下流端流量を変数とする特性曲線を上流に向って追跡すればよい。固定格子点を用いるために生ずる内挿による平滑化が、順追跡においては良好な結果を得たのに対して、逆追跡では差分精度が低下することを報告した[1),2)]。KINEMATICな仮定に立つ限り、Δxの考慮、あるいは実用的にはピークの尖鋭度による補正などが考えられる。

(3-2) IMPLICIT法[3),6)]　(図-2)

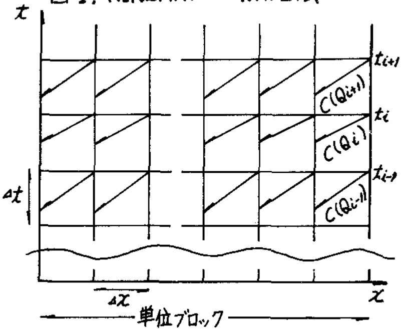
IMPLICIT法では境界条件の適用の仕方により差分式は若干異なるが、ここでは求めるtime-stepの各格子点の水位と流速を未知数とし、各方程式を立てた。単位ブロックを、さらにN個に分割し、境界条件としては、下流端ハイドログラフを与え、下流端の水位と流速は、Manningの式より推定する。したがって未知数は2N個となり、図-2のように各格子点内で4点中心差分計画による連続方程式(F),運動方程式(G)の合計2N個の方程式を立て、Newton iterationにより解を求めてゆく。順追跡においてはKINEMATIC-WAVE法と精度の上では大差なかった[3)]が、逆追跡においては、上流への波形の尖鋭化が予想され、精度の向上が期待される。

4) 結果ならびに考察

変断面を用い、下流端に仮想の三角波形(Δt=1 hour, Q_{max}=800 m³/sec)を与え、上流へ1600 m (Δx=100 m)逆追跡し

た結果を図-3に示す。これを見ると両手法とも上流への低減が見られる。KINEMATIC-WAVE法による低減は上述のように内挿による平滑化によるものであるが、IMPLICIT法による低減は次のように考えられる。IMPLICIT法は(2)式の各項を考慮しているため各種条件が厳しく、そのために生ずる解の振動が問題となった。この振動は放置しておくと次の段階で解が収束しない原因となるため、各単位ブロック毎に求めた流量を加重平均により均す作業を行った。このために上流波形が低減したと思われる。これに対処するためには単位ブロック長を長くとり、加重平均の回数を減らすことが考えられるが、後述するように、断面特性(H-A-Q-P-R関係)の変化等を考えると、この長さにも限界があるようである。さらにIMPLICIT法の問題点としては、射流水位に収束する可能性、ならびに断面特性の変化する点での不連続性による解の振動等、解の収束、安定についてのチェックが必要であり、各種条件(境界条件,断面特性,Δx,Δtの間隔 etc)が厳しく非常に面倒である。なお著者らの方法は、下流端の水位,流速をも未知数であるとするAmeinの方法[6]とは異なり、下流端の水位,流速は既知として計算を進めている。

図-1. KINEMATIC-WAVE法



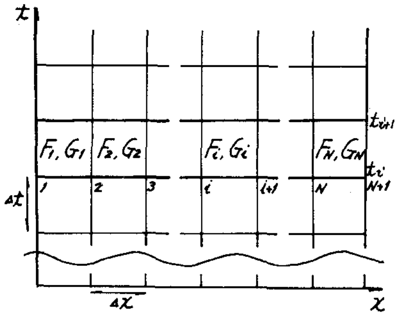


図-2, IMPLICIT法

5) おわりに

IMPLICIT法は運動方程式の各項を考慮しているので、上流への波形の尖鋭化が期待されたが、条件の厳しさから結局、便宜的方法をも導入しなければならず、期待された成果は得られなかった。一方KINEMATIC-WAVE法は、計算手順,各種条件も簡単であり、計算時間も短い等を考え合わせれば、KINEMATIC-WAVE法は、基礎方程式が不充分とは言え、逆追跡においても有用な追跡方法ではないだろうかと思われる。今後、上述の問題点の充分な比較,検討が必要である。実際河道での逆追跡結果の比較等は講演時に示したい。

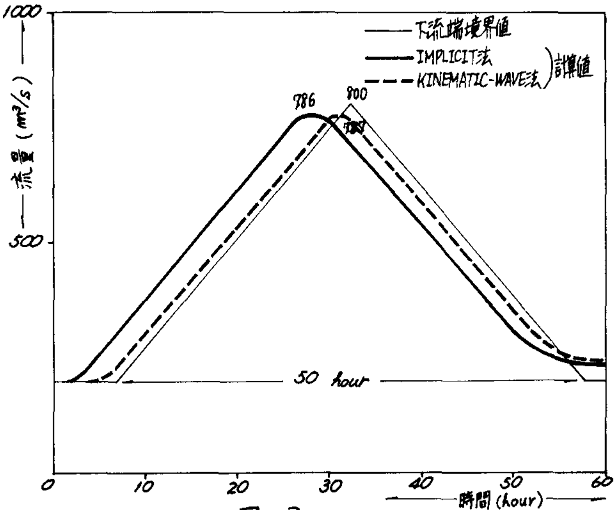


図-3

参考文献: 1) 石崎,橋本,西谷,砂田; KINEMATIC-WAVE法による不定流の逆追跡,第32回年講第2部, PP257-258, 1977. 2) 橋本,西谷,砂田; KINEMATIC-WAVE法による不定流の逆追跡,土木技術資料, Vol.20, NO.1 JAN, PP21-26, 1978. 3) 西谷,清水,砂田; KINEMATIC-WAVE法とIMPLICIT法による洪水追跡の比較,第5回関東支部年講第2部, PP65-66, 1978. 4) T.S.Eagaleson; Dynamic Hydrology, Mcgrow-Hill, PP331-336, 1970. 5) J.J. Stoker; Water Waves, Inter-Science, PP469-481, 1957. 6) Michael Amein and Ching S. Fang; Implicit Flood Routing in Natural Channels, Journal of the Hydraulics Division, PP2481-2500, 1970.