

京都大学防災研究所 正員 ○早瀬吉雄

角屋 睦

岡 太郎

まえがき 内水河川は普通の河川に比べると非定常性は弱いが入入条件、下流条件などが複雑である。また不定流の数値計算法についてはこれまでに多くの提案があるが、どのような方法が最善かはよくわかっていない。本研究は、内水河川網のモデル化に先立ち、その基礎となる粗度係数と数値計算法について検討を加えたものである。

1. 不定流の粗度係数について

1) 水理実験の結果と考察

長水路(巾60cm,深さ60cm,全長150m,底:コンクリート,壁:鉛板,勾配 $1/500$)を用いて実験を行ない,測定は下流80m区間に重実をかけた。

a) 定流 下流条件を変えて行った実験によると,流れが単流に近い場合は粗度係数 n は水深変化に応じて多少変化するがその程度は差ない(図1,2)。しかし下流のせき上げ背水の影響の大きい区間ではせき上げの程度が大きくなるに伴い, n はかなり大きな値を示すようになる(図2,3)。

b) 不定流 基底流5l/s,最大流量30l/s,継続時間10,20,40分の不定流の実験を行なった。図1,2に20分洪水の n を白丸,図3に40分洪水の n を黒丸で示す。これより非定常性が強いとループを描くが,その状況は上流と,下流せき上げ領域では多少異なり,非定常性が弱くなると不等流の n に近づくことがわかる。

c) 内水河川の粗度係数 京都市南部の巨椋池干拓地の幹線排水路(土水路,河巾30m)で実測した例を図4に示す。非定常性の弱い洪水であり,流量がほぼ一定であるから,せき上げの程度が大きくなるにつれて粗度係数が大きくなっていることがわかる。

2. 不定流の数値計算について

1) 基礎式の差分化

U を未知ベクトル, F , L を U の関数として基礎式は次式で表わされる。

$$\frac{\partial U}{\partial t} = L - \frac{\partial F}{\partial x} = F \quad (1)$$

U_i^{n+1} を U_i^n の近傍でTaylor展開すると
 $U_i^{n+1} = U_i^n + \Delta t F_i^n + \frac{(\Delta t)^2}{2} (F_i^n)' + O(\Delta t^3) \quad (2)$

2次まで考慮するとCrank Nicolson型として

$$U_i^{n+1} = U_i^n + \frac{\Delta t}{2} [F_i^n + F_i^{n+1}] \quad (3)$$

またLeap frog型として

$$U_i^{n+1} = U_i^n + \Delta t \cdot F_i^{n+\frac{1}{2}} \quad (4)$$

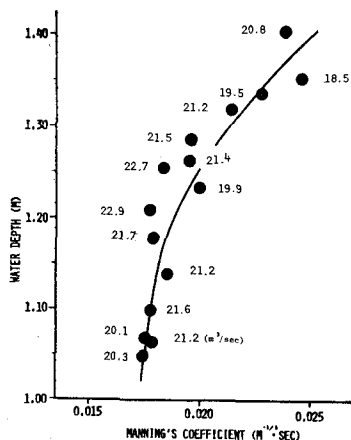


図4 粗度係数と水深の関係

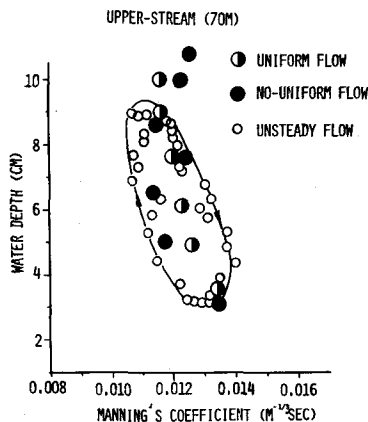
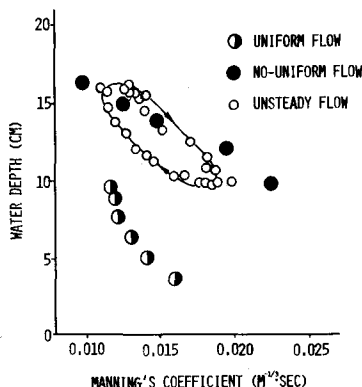
図1 粗度係数と水深の関係
DOWN-STREAM (5M)

図2 粗度係数と水深の関係

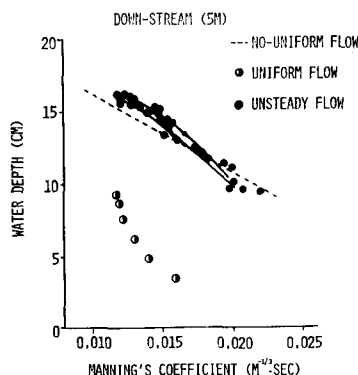


図3 粗度係数と水深の関係

(2) 式の1次だけを考慮すると

$$U_i^{n+1} = U_i^n + \Delta t \cdot f_i^n \quad (5)$$

また Friedrich 型として

$$U_i^{n+1} = (U_i^n + U_{i+1}^{n+1})/2 + \Delta t \cdot f_i^n \quad (6)$$

Forward Implicit 型として

$$U_i^{n+1} = U_i^n + \Delta t \cdot f_i^{n+1} \quad (7)$$

2) 数値計算法について

各方法を表1に示す。(a), (b)の方法では水位と流量を計算する格子奥が異なっている。(e)の方法で1ス

テップは(6)式を使う。(b), (h), (i)の方法では、オ1近似としてそれぞれ Leap Frog, 2 Step L-W, Forward Implicit を用い、打ち切り誤差が 1×10^{-4} になるまで繰返し計算を行なう。

3) 計算結果と考察

a) 非定常性の強い場合 前述の10分洪水を対象として区画80mの上、下流水位を境界条件として各方法で計算を行なった。その結果の1例として下流から10m, 38m, 70m 地点の最大流量を図5に示す。表1にこのときの Δt , Δx , 全計算時間および(総流入量-総流出量)-貯留量の値を示す。運動連続式に(6)式を用いたFriedrich型では計算は安定であるが誤差が累積されて全体での流量の連続条件を満足しない。

b) 非定常性の弱い場合 前述の40分洪水について計算した結果を図6に示す。図5と比較して若干のまとまりがみられる。非定常性が弱くなると各方法による計算結果には大差がなく、(2)式の2次以上の項が小さくなることから予測できる。

c) 内水河川1の適用結果 前述の巨椋池の幹線排水路における不定流に適用した結果の1例を図7に示す。非定常性が極度に弱いので、どの方法の計算結果も大差なくむしろ粗度係数の選定に問題があることが同図よりうかがわれる。すなわち、せき上げ領域では、その程度に応じて n を変化させないと全体としてのハイドログラフの再現性はよくなるようである。

あとがき 以上の検討の結果、内水河川の不定流計算はどの方法を用いても大差はないが、粗度係数のとり方に注意を要すること、および運動式は1次近似でもよいが連続式は精度よく近似する必要があることがわかった。なお、これらの結果にもとづき内水はんらん型の流出モデルの検討を進める予定である。計算は京大大型計算機センターのFACOM 230-60を使用した。

No.	Name	motion eq.	con- tinuity eq.	Δt sec	Δx m	peak disch- arge	(I-O)-W	com- puted time	Mark
(a)	Leap Frog	(5)	(4)	0.25	2	29.412	-5.3802	67.9	○
(b)	Modified Leap Frog	(3)	(4)	1	2	29.57	-2.909	47.1	●
(c)	Staggered	(4)	(4)	1	2	29.25	6.116	67.2	●
(d)	Modified Staggered	(6)	(4)	1	2	29.39	0.096	44.1	●
(e)	2 Step Lax Wendroff	(4)	(4)	1	2	29.21	10.700	82.9	●
(f)	Forward Implicit	(7)	(7)	1	2	29.38	0.696	80.7	●
(g)	M. Forward Implicit	(7)	(3)	1	2	29.39	0.400	85.6	●
(h)	Crank Nicolson 1	(3)	(3)	1	2	29.23	-1.334	396.1	●
(i)	Crank Nicolson 2	(3)	(3)	2	2	29.43	7.827	100.0	●

(I-O)-W: (Inflow - Outflow) - Water Storage

Computer: FACOM 230-60

表1 各方法の比較

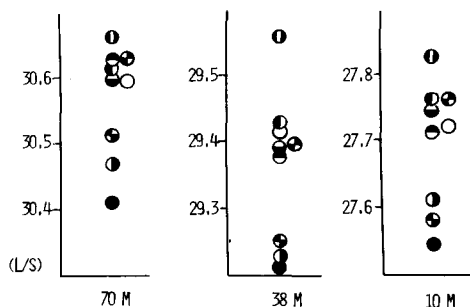


図5 各方法の計算結果(10分洪水)

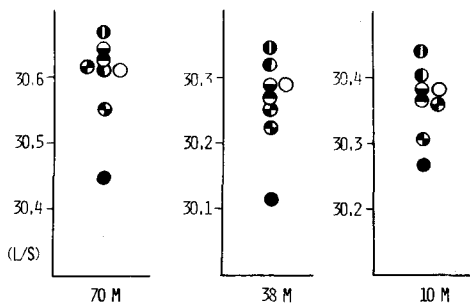


図6 各方法の計算結果(40分洪水)

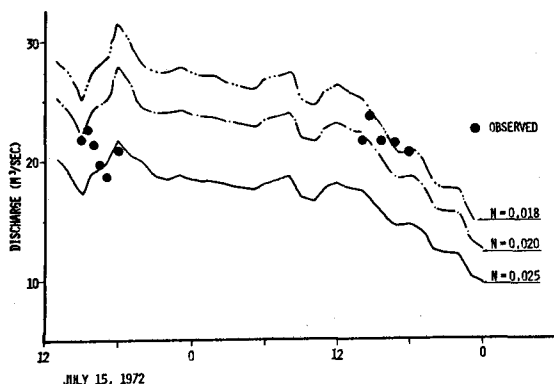


図7 内水河川の不定流計算結果