

名古屋大学 学生員 M.S. イスラム・カン
学生員 織田 重和
正員 高木 不折

1. まえがき

低平地の流出問題を分布系として扱った研究には、角屋・豊国の研究、西畑の研究、早瀬の研究などがあり、また、集中定数系としての研究などがなされてきた。集中定数系としての研究では、低平地を1つの貯水池・タンクに置換させ、その貯留量(水位)～流量関係を基礎として論議される場合が多いが、現在のところ、流域内部での流れの水理学的特性との関連で、この基礎的な関係がどのように近似されるかの詳細を考察したものは比較的小さい。

本報文では、将来、低平地特有のback water の効果による流出の停滞をも考慮できるよう、いわゆるTwo-step Lax and Wendroff法を用いて、上記の問題、いいかえれば低平地での貯留～流出関係を探った。ここでは議論を一般的な形で扱うように、基礎方程式を無次元量で扱った。

2. 基礎方程式

議論を簡単にするために、長方形低平地地域と水路との組み合った系を考える。周知の通り、この両者での水流についての基礎方程式は同じ形式の方程式で与えられる。その方程式は、

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial (uh)}{\partial x} = I \dots (1), \quad \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + g \frac{\partial h}{\partial x} = g(S - S_f) \dots (2)$$

で与えられる。ここに、 h :水深、 u :流速、 x :流れの距離、 t :時間、 S :河床勾配、 S_f :摩擦速度、 I :横流入量(降雨 r 又は水路への横流入量 q)

適当な基準量 x_*, t_*, h_*, u_*, r_* に対して上式を無次元化し、それぞれの無次元量を X, T, H, U, R とする。また、低平地地域についての値を添字1で、水路についての値を2で表現すると、無次元式をうる。

$$\frac{\partial H_1}{\partial T_1} + \frac{\partial (U_1 H_1)}{\partial X_1} = R_1 \quad (R_1 = R, \quad R_2 = Q_1) \dots (3)$$

$$\frac{\partial U_1}{\partial T_1} + U_1 \frac{\partial U_1}{\partial X_1} + E_1 \frac{\partial H_1}{\partial X_1} = \theta_1 S_1 - \frac{U_1^2}{H_1^{4/3}} \dots (4)$$

ここで、 $E_1 = (g^{3/25} n_1^{4/5} L_1^{0.25})/r^2$, $E_2 = (g^{3/25} n_2^{4/5} L_2^{0.25})/(r\beta)^2$, $L_1 = x_1^*$, $\beta = L_1/b$ (b :水路巾), $L_2 = x_2^*$, $\theta_1 = (g^{2/5} n_1^{3/5} L_1^{0.5})/r^2$, $\theta_2 = (g^{2/5} n_2^{3/5} L_2^{0.5})/(r\beta)^2$, n :マニング粗度係数。また、基準として、 $(gn^2 x^*)/(h_1^*)^{4/3} = 1$, $rL_1 t^*/b h_2^* = 1$, $r t^*/h_1^* = 1$ とえらぶ。

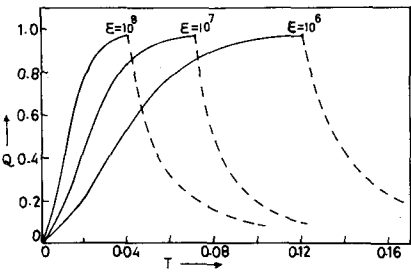


図-1 流出ハイドログラフ(低平地地域)

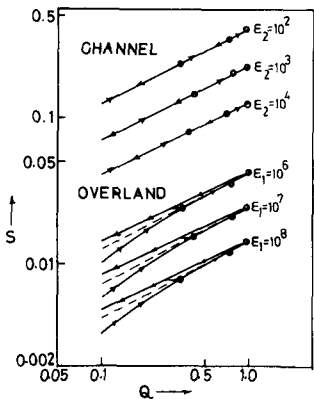


図-2 貯留～流出関係(一定降雨)

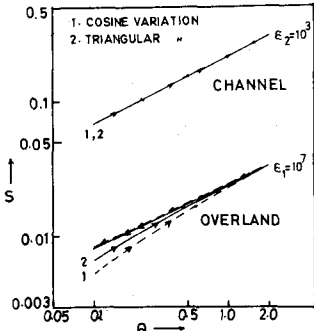


図-3 貯留～流出関係(変化する降雨)

3. 条件およびパラメータ

初期並に境界条件としては、 $T=0$ において： $U=0, H=0, X=0$ において： $U=0$ または $\frac{\partial H}{\partial X}=0, X=L$ において： $U=\sqrt{EH}$ とした。最後の条件は自由落下の条件であって、わが国の低平地にはあまり多くはないが、バングラデシュではよく見られるものである。

降雨条件は、(i)時間的に一定のもの、(ii)強度が $R(t) = (1 - \cos \frac{2\pi t}{T_r})$, (iii) $R(t) = 2(1 - \frac{t}{T_r})$ と時間的に変化する場合 (T_r : 継続時間) の3種。

河床勾配は $S_1 = S_2 = 0, 10^{-4}, 10^{-3}, 10^{-2}$ の場合を一応念頭においている。また、 $E_1 = 10^6, 10^7, 10^8, E_2 = 10^2, 10^3, 10^4, \theta_1 = 10^0, 10^1, 10^2, \theta_2 = 10^4, 10^5, 10^6$ の場合について計算した。

4. 計算結果

図-1は一定降雨の場合の低平地よりの流出ハイドログラフの一列である。図-2は一定降雨の場合の貯留量 $S \sim$ 流量 Q 関係を無次元量で示したものである。水路部については上昇部・低減部でそれぞれ1本の直線で表わされ、また、低平地部についても平均的には1本の直線で表わされることがわかる。この場合の誤差は略5~10%程度である。図からわかるように、これらの直線は平行であって、 $S = C\sqrt{Q} / \varepsilon^m \dots (5)$ の形式に書きうる。

この関係を時間的に変化する降雨条件、また、継続時間の異なる場合についてチェックしたのが図-3、4であって、 $S \sim Q$ 関係が降雨継続時間に独立であること、低減部ではいずれの場合でも1本の $S \sim Q$ 関係で示されうること、また、上昇部であってもこれらの関係はわずかな誤差で与えられうることがわかる。これらの関係を次元量で示せば、 $s = K\sqrt{q}, K = c\beta^n a L^d / r i g^f$ であって、低平地については： $a = 0.45, d = 1.19, i = 0.037, f = 0.007, w = 0, c = 1$ 、水路については： $a = 0.654, d = 1.2, i = 0.124, f = 0.039, w = 0.376, c = 0.9$ となる。

一方、種々の勾配の場合について、低平地域からの流出ハイドログラフ、 $S \sim Q$ 関係を示したのが、図-5、6である。 $S_0 = 10^{-4}$ の場合には、 $S \sim Q$ 関係は上昇・低減部でほとんど一致しているが、これより河床勾配が大きくなる場合と小さくなる場合とではループの回転方向が逆になっている。水路についての同様な計算結果(図-7)では、河床勾配が 10^{-3} までの範囲では、 $S \sim Q$ 関係はほとんど1本の曲線となるが、勾配が 10^{-2} より大きくなると、上昇・低減部が分かれてループをえがくようになる。勾配が大きくなった場合のループについては従来からも指摘されたとおりであるが、ほとんど水平に近い状態でもループを画いている事実、またそのループの方向が逆になっていることは興味深い。この事実は、 $S \sim Q$ 関係を基礎とする集中定数系としての扱いなどでは念頭に置いておく必要があろう。

5. まとめ

ここでは主として貯留量~流出流量の関係に焦点を合わせたが、低平地での流出における特徴ともいべきせき上げにとまなう湛水と、流出の停滞といった問題についても現在研究を進めている。

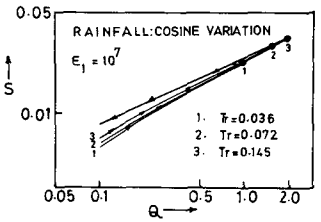


図-4 貯留~流出 (継続時間の異なる変化の降雨)

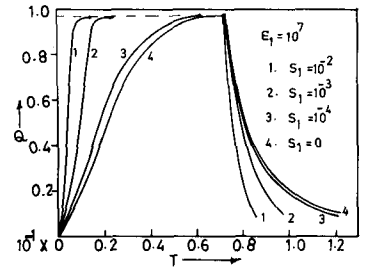


図-5 流出ハイドログラフ (種々の勾配をもった低平地域)

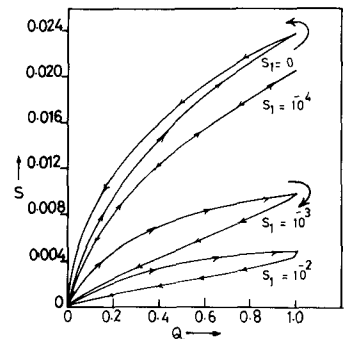


図-6 貯留~流出 (勾配のちがう低平地域)

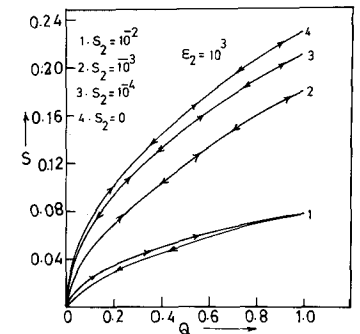


図-7 貯留~流出 (勾配のちがう水路)