(Ⅱ－17)

貯留関数型洪水流出モデルの検討

群馬高専　正員　山本好克

1．はじめに

流域への降雨から、河川の流出量を予測する流出解析法の一つである貯留関数法は、流出現象の非線形性を比較的単純な構造式で表現でき、流出計算も簡便かつ迅速にできるが、反面、パラメータの物理的意義がかなり不明確であるとされている。　が最近、斜面上の降雨の水理学的運動の基礎方程式の集中化[1]、洪水時における貯留量と流出量との２価性に関する新たな構造式の提案[2]、あるいは、この２価性を表現するいくつかの構造式を、stochasticな観点からの比較評価[3]等により、貯留関数法の基本式に関する物理的検討とその意味付けが試みられている。

ここでは、流域からの降雨の流出現象を支配するものは、河道における貯留作用と集中効果であろうとの観点から、河道における洪水流の水理学的運動に関する基礎方程式の新たな解釈とその集中化、および、貯留量と流出量との２価性構造の表現方法についての検討を行ない、これらの妥当性について、実流域での洪水流出解析例を通して考察する。

2．河道における水理学的運動とその集中化

河道における不定流の連続条件式および運動方程式は、それぞれ、式(1)、(2) で与えられる。

$$\partial A/\partial t + \partial Q/\partial x = 0 \cdots\cdots\cdots(1) \qquad \partial v/g\partial t + v\partial v/g\partial x - i + \partial h/\partial x + f'v^2/2gR = 0 \cdots\cdots(2)$$

ここに、t：時間、x：下流方向の距離、A：流水断面積、Q：流量、g：重力加速度、v：平均流速、h：水深、i：河床勾配、R：径深、f：摩擦損失係数、である。

式(1) の両辺を、河道のx方向に関して、0 からLまで積分すると次式を得る。

$$dS/dt = Q(0,t) - Q(L,t) \cdots\cdots\cdots(3), \quad ここに、\ S(t) = \int_0^L A(x,t)dx \cdots\cdots\cdots(4)$$

式(3) は、貯留関数型モデルの連続条件式を表わしている。　また、式(4) は、河道長Lの貯留量S(t) を表わしている。

一方、式(2) は、次の２つの式(5)、(6) を同時に満足させることと限定的に同等である。

$$\partial v/\partial t + v\partial v/\partial x = 0 \cdots\cdots\cdots(5) \qquad -i + \partial h/\partial x + f'v^2/2gR = 0 \cdots\cdots(6)$$

式(6) は、平均流速式に基づき、次式で表わすことができる。

$$v = bA^p \cdots\cdots\cdots(7)、\quad あるいは、\quad A = b'Q^{p'} \cdots\cdots\cdots(8)$$

ここに、b、p、b′、p′：河道の断面形状に関する定数である。

式(8) を式(4) に代入すると、次式の貯留関数型モデルにおける運動方程式の一表現形である式(9) を、また、式(7) を式(5) に代入すると式(10)を得る。

$$S(t) = \int_0^L b'Q^{p'}dx \cdots\cdots\cdots(9) \qquad \partial A/\partial t + v\partial A/\partial x = 0 \cdots\cdots\cdots(10)$$

式(10)は、洪水流が変形や減衰することなく、vなる速度で伝播することを示している。　このことは、ある区間（$x_1 \sim x_2$）の洪水流の流下において、x_1でのハイドログラフを流下速度vで　$x_1 \sim x_2$　の区間を流下に必要な時間Tだけづらして、下流x_2のハイドログラフとしてよいことを意味している。ここでは、この時間を“ずれ時間”と呼ぶことにする。

3．貯留関数型洪水流出モデルの基本式

貯留関数型モデルの基本式の１つである連続条件式は、河道における不定流の連続条件式(1) を集中化した式(3) と同等であり、一般には、流域からの降雨などの貯留域への流入量をＩで表わし、次式で与えられる。

$$dS/dt = I - Q \quad \cdots\cdots (11)$$

一方、もう１つの基本式である運動方程式は、式(9) と同等であり、次式で与えられる。

$S = kQ^{p}$ ……………(１２)　　ここに、k、p：流域の特性によって決まる定数、である。

一般に、式(12)のＳ～Ｑの関係は、２価関数となっており、このことを表現するために、木村[4]は、遅滞時間T_ℓを導入した式(13)を、Prasad[3]は、式(12)に非定常項を加えた式(14)を、また、星ら[2]は、式(14)を修正した式(15)を提案している。

$S_\ell = K' Q_\ell^{p'}$ ………(13)　　ここに、S_ℓ：みかけの貯留量、$Q_\ell(t) = Q(t + T_\ell)$、である。

$S = K_1 Q^{P_1} + K_{2P}\, dQ/dt$ ………… (14)、　　$S = K_1 Q^{P_1} + K_{2H}\, dQ^{P_2}/dt$ …………(15)

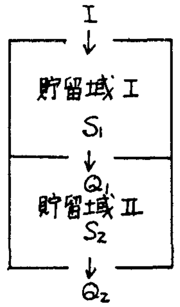
ここに、K'、p'、K_1、K_{2P}、K_{2H}、P_1、P_2：流域および／あるいは水文特性によって決まる定数、である。

高棹ら[3]は、上式で与えられる各々の貯留関数型モデルを、stochasticな観点から比較評価した結果から、式(15)で与えられるモデルが最も優れている、としている。

ここで、式(11)、(12)で表わされるモデルを、図－１に示すように２段とし、各貯留域での基本式を組み合わせて近似計算をすると次式が導出される[5]。

$$S = S_1 + S_2 \fallingdotseq k_1 Q_2^{P_1} + k_2 Q_2^{P_2} + k_1 k_2 P_1 P_2\, dQ_2^{(P_1+P_2-1)}/dt \quad \cdots\cdots (16)$$

ここで　$k = k_1 = k_2$、$p = p_1 = p_2$、$Q = Q_2$、とし、さらに、$K_1 = 2k$、$K_2 = (kp)^2$、$P_1 = p$、$P_2 = 2p - 1$、とおくと、式(15)と同型の式が導びかれる。　このことは、モデルを２段とすれば、Ｓ～Ｑの２価関係を表現できることを意味している。

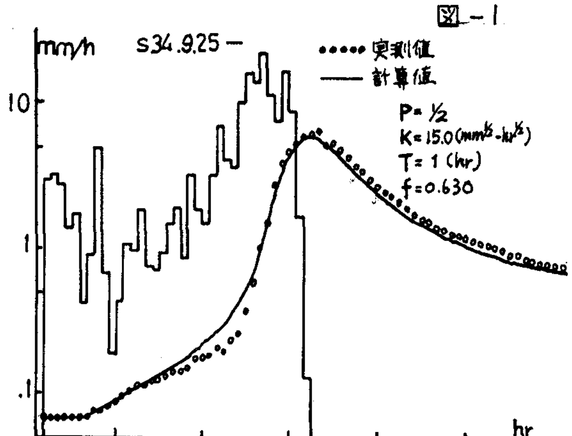


図－1

４．実流域への適用

式(11)、(12)のモデルによる流出解析では、モデルを２段とし、パラメータｋ、ｐは２段とも共通とし、各段ごとにRunge-Kutta 法を用いて解き、得られたハイドログラフを一定時間Ｔだけずらすことにより、流出ハイドログラフを求めることになる。　図－２には、利根川水系神流川流域での洪水流出解析結果の一例を示してある。なお表面流出成分の分離には、勾配急変点法を、また、有効雨量は、一定比損失雨量法を用いて推定した。

図より、計算値と実測値との適合性がかなり良好であることがわかる。



図－２　洪水流出解析例

５．おわりに

降雨の流出現象は、河道における洪水流の水理学的運動から解釈される貯留作用と集中効果とで表現できること、また、Ｓ～Ｑ関係の２価性は、２段のモデルにて表現できることなどが、１実流域例にすぎないが、確かめることができた。　今後は、中、大流域に対して、これらのことを確かめて行きたい。

［参考文献］　1)藤田：斜面長の変動を考慮した貯留関数法に関する研究、土木学会論文集、３１４号、１９８０　　2)星ほか：雨水流法と貯留関数法との相互関係、第２６回水講、１９８２　3)高棹ほか：貯留関数型洪水流出モデルの比較評価、第２９回水講、１９８５　　4)木村：貯留関数法、河鍋書店、１９７５　　5)山本ほか：遊水モデルの水理学的解釈、第４０回年講、１９８５