II—17　市街地域の雨水流出モデルに関する研究

金沢大学工学部　正会員　高瀬信忠
同上　同上　○宇治橋康行

1.まえがき　都市の雨水流出解析に対してこれまで多くの貯留型モデルが提案されてきている．なかでも英国で開発されたR.R.L.法[1]は，流出現象を比較的よくフォローし，都市域の流域特性をふまえたモデルであり，山口ら[2]によりわが国でもその有用性が確かめられている．しかしながらこの方法では，下水管網での遅滞，貯留流出関係が中心となり，流域斜面での降雨流出過程に対する考慮がなされていない欠点がある．ここでは斜面における降雨流出過程を浸透域，不浸透域に分けて取り扱う貯留型モデルを提案するとともに，その実流域への適用結果について報告する．

2.モデル構成　1)雨水損失モデル　雨水損失は，不浸透域に対しては凹地貯留D_iのみを考慮し，浸透域に対しては凹地貯留D_p及び(1)式のHortonの浸透能方程式に従う浸透損失を考慮する．凹地貯留の満たされてゆく過程はLinsley[3]らの示した近似式(2)式を用いる．ただし凹地からの浸透損失は考えない．

$$f(t)=f_c+(f_0-f_c)\exp(-mt) \quad \text{——(1)}, \qquad S_d=D\{1-\exp(-P_e/D)\} \quad \text{——(2)}$$

ここに，$f(t)$は浸透能，f_0は初期浸透能，f_cは最終浸透能，mは定数，tは時間，S_dは凹地が満たされてゆく過程での貯留量，Dは凹地貯留量，P_eは累加雨量である．

2)地表面流モデル　周知のように都市域は不浸透域と浸透域とが混在しており，これが大きな特徴となっている．これを最小単位の部分流域に分割して，雨水流を追跡計算することは必ずしも不可能な事ではないが，極めて繁雑であり実用的とは言えない．そこで本モデルでは，下水管網の取り扱いと関連して斜面流に対して以下のような集中化を行う．すなわち，不浸透域に対しては，流域内の不浸透域からの全流出量，つまり下水管網への不浸透域からの全流入量，と不浸透域での全貯留量の関係に等しい貯留流出関係をもつ置換斜面を考える．置換斜面の斜面幅は河道長に等しくとり，斜面長は全不浸透面積と置換斜面の面積が同じになるようにした矩形斜面とする．斜面上の流れはManningの抵抗則に従う等流であるとする．従って斜面上の流れの基礎式と斜面上での貯留方程式及び貯留量の連続式は各々次のようになる[4]．

$$\frac{\partial h_i}{\partial t}+\frac{\partial q_i}{\partial x}=r_{ei} \quad \text{——(3)}, \qquad h_i=k_i q_i^{P} \quad \text{——(4)}, \qquad P=0.6, \qquad k_i=(N_i/\sqrt{I})^{P} \quad \text{——(5)}$$

$$S_i=\frac{k_i l_i}{(1+P)}q_i^{P} \quad \text{——(6)}, \qquad \frac{dS_i}{dt}=r_{ei}-q_i \quad \text{——(7)}$$

ここに，h_iは流れの水深，q_iは斜面単位幅当りの流出量，r_{ei}は有効降雨強度，N_iは斜面の粗度，Iは斜面勾配，S_iは斜面単位幅当りの貯留量，l_iは斜面長，添字iは不浸透域を表わす．

浸透域に対しても全く同様の貯留方程式及び貯留量の連続式が得られる．3)下水管渠網及び河道流モデル　下水管渠網における貯留方程式は，下水管が満管になるまでを対象として下水管渠での流れをKinematic Waveで近似して求めた．すなわち，流域に一定強度の雨が降り続いた状態での各下水管渠での貯留量をKinematic Waveの基礎式から求めこれを積分して，その時の流量に対する貯留量とする．この計算を数種類の流量に対して行ない，これを両対数紙上にプロットすれば直線となるので，その

切片と勾配とから貯留方程式の係数K_s及び指数P_sを定めた．河道での貯留方程式は，下水管渠での場合と同様，河道流をKinematic Waveで近似して(8)式の貯留方程式を求めた．

$$S_c = \frac{k_c l_c}{1+P_c} Q_c^{P_c} \quad \text{——} (8) , \qquad A_c = k_c Q_c^{P_c} \quad \text{——} (9)$$

ここに，S_cは河道貯留量，Q_cは河道流出量，l_cは河道長，k_c及びP_cは流積A_cと流量Q_cの関係を(9)式で表わしたときの定数である．タンクモデル的に流出モデルを表現したものが図-(1)である．実際の計算においては，貯留方程式はいずれも非線形であり解析的に解けないので，貯留量の連続方程式に貯留方程式を用い，これを差分近似して2分法を用りて計算した．

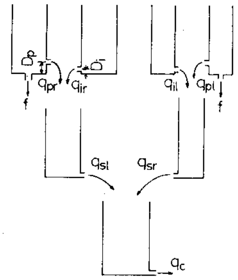

図-(1)

4.実流域への適用　本モデルの適用流域は都内谷端川流域で，この流域は下水道が100%整備されている都市河川である．流域面積5.42 Km，河道長3489m，平均地盤勾配1.44%，不浸透面積率53.1%となっている．しかし，洪水データ[5]を検討してみると不浸透面積率53.1%は大きすぎるように思われるので，実測データの流出率を考慮して，実際の計算においては不浸透面積率を40%とした．本モデルに含まれるパラメータは，凹地貯留D_i，D_p，浸透能定数f_0，f_c，m及び置換斜面の粗度N_i・N_pの計7ケであり，パラメータの同定にはPowellの共役方向法[6]を用いた．目的関数は(10)式を用いた．

$$M(x) = \left(\Sigma | Q_{ob} - Q_{cal} |^2 / N \right)^{1/2} + 10 | F_{ob} - F_{cal} | \quad \text{——} (10)$$

ここに，$M(x)$は目的関数，Q_{ob}は実測流量，Q_{cal}は計算流量，Nはデータ数，F_{ob}は実測流出率，F_{cal}は計算流出率である．なお，計算は反復回数20回程度で打ち切った．パラメータの同定は浸透域からの流出がほとんどないと思われる小出水Flood No.9（図-(2)）と浸透域からの流出もかなりあると思われる中出水Flood No.23(図-(3))の2洪水データに対して行った．同定されたパラメータは各々図中に示されているような値となり，初期浸透能f_0を除いて2つの洪水でほぼ同じ値が同定され，実測値との適合性は図-(2)，(3)に示されるように良好であった．計算結果の詳細は講演時に述べる．

（参考文献）1) M.L. Terstriep, J.B. Stall："Urban Runoff by Road Research Laboratory Method" HY6, Jour. of ASCE, 1969. November，2) 山口高志 他：都市における降雨流出調査 第2報，土木技術資料, Vol.14, No.11, 1971.11 3) Linsley 他：Applied Hydrology, McGrowHill, 1949，4) 畑，吉良：分布貯留型モデルによる流域表現と流出変化の予測，農業土木学会論文集 第68号，1977, 4，5) 土木研究所：都内谷端川・桃園川排水区水文観測資料, 1975, 3 6) M.J.D. Powell："An Efficient Method for Finding the Minimum of a Function of Several Variables without Calculating Derivatives, The Computer Journal, Vol.7, 1964.

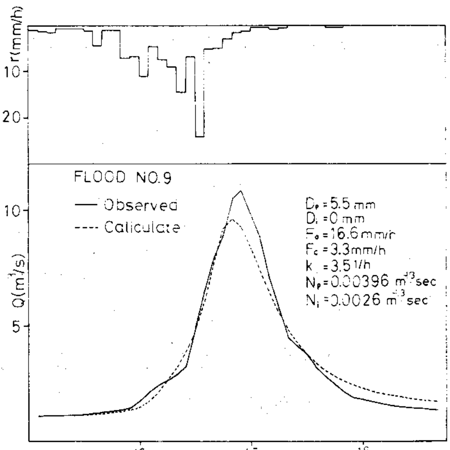

図-(2)

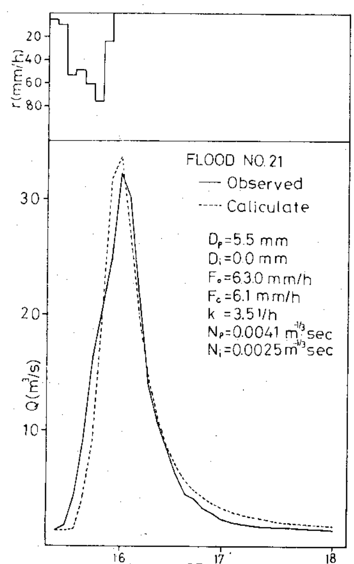

図-(3)