PSII－5　多摩ニュータウンの河道網のフラクタル次元解析と洪水到達時間

東京都土木技術研究所　正会員　○小川　進
正会員　和泉　清

１.はじめに

著者らは、前回、流域の都市化による河川の流出特性の変化に対してフラクタル次元解析により、都市河川の線形が本流と支流とで分裂した状態にあることを指摘したが[1]、今回は多摩ニュータウンの大栗川、乞田川ならびにその下水道幹線と管路網に対し、同様にフラクタル次元解析を試み、Kinematic Wave法より導出した洪水到達時間の理論式の検証を行なった。同式はフラクタルで表現された河道改修率及び下水道整備率を含むものである。

２．フラクタルで表現された洪水到達時間

Gray[2]は、河道長Ｌと流域面積Ａとの関係に次式が成立つことを見出した。

$$L = uA^{v} \tag{1}$$

ここで、ｕ，ｖは定数である。いわゆるHackの法則といわれる式である。

この式はフラクタル次元Ｄとフラクタル下限長εとで次のように表現できる[3]。

$$L = \varepsilon^{1-D} A^{D/2} \tag{2}$$

ただし、Ｌは主河道長ないしは全河道長で、εはフラクタルの自己相似性の下限に相当する長さ（フラクタル下限長）、Ｄは主河道ないしは支流のフラクタル次元である。

上式を用いて、Kinematic Wave法により洪水到達時間t_pが次のように求められる[3]。

$$t_p = t_s + t_c \tag{3}$$

$$t_s = k\,(2\varepsilon^{1-D1})^{-p}\, r_e^{\,p-1} A^{(1-D1/2)p} \tag{4}$$

$$t_c = K\varepsilon^{1-D2} r_e^{\,P-1} A^{D2/2+P-1} \tag{5}$$

ここで、t_sは斜面流の流達時間、t_cは下水道を含めた主河道の流達時間、ｋ，ｐ，Ｋ，Ｐは斜面ないし河道の水理パラメータ、r_eは洪水到達時間内の有効降雨強度、D_1は下水管路ないし河川の支流のフラクタル次元、D_2は主河道のフラクタル次元である。

３．河道改修率と下水道整備率

自然河川のフラクタル次元は1.1～1.3であるが、人工的に建設された河道及び下水道ではそれぞれ1.0～1.1,1.3～1.6に分裂する。また河道改修ないし下水道整備の過程ではフラクタル次元の遷移が認められる。そこで河道改修率x_r、下水道整備率x_sが流域面積比で表わされたとき、（２）式を用いてフラクタル次元の導出を試みる。すなわち、未改修、未整備の流域面積A_1、河道長L_1、フラクタル次元D_1、フラクタル下限長ε_1、改修済、整備済の流域をA_2，L_2，D_2，ε_2、全流域をＡ，Ｌ，Ｄ とすると、

$$\begin{aligned} L &= L_1 + L_2 \\ &= \varepsilon_1^{\,1-D1} A_1^{\,D1/2} + \varepsilon_2^{\,1-D2} A_2^{\,D2/2} \end{aligned} \tag{6}$$

$$A_1 = (1 - x_i)\,A \tag{7}$$

$$A_2 = x_i A \tag{8}$$

ここで、x_iは$i = r$のとき河道改修率、$i = s$のとき下水道整備率である。

（６）～（８）より流域のフラクタル次元Ｄは次のようになる。

$$D = 1/\ln(\sqrt{A}/\varepsilon_1)\cdot\ln[\varepsilon^{-D1}\{(1-x_i)\}A^{D1/2}+\varepsilon_1^{-1}\varepsilon_2^{1-D2}(x_iA)^{D2/2}] \qquad (9)$$

４．解析結果

フラクタル次元解析の結果を表１に示す。大栗川の河道改修に伴ってフラクタル次元が1.05から1.01に遷移している。また下水管路は1.29～1.30と河川よりも大きな値を示しており、線形の分裂が表われている。

ところで、大栗川上流域では1975年～83年には河道改修が、乞田川流域では1970年～83年には下水道整備が中心に工事が進められており、この間の流出特性の変化はそれぞれの因子が卓越していると考えられる[4]。（４），（５），（９）式より線形の変化だけを考慮した洪水到達時間の計算結果を観測値とともに図１に示す。フラクタルによる理論式は観測結果の傾向をうまく説明していると考えられる。

５．結論

多摩ニュータウンの大栗川、乞田川流域の河道網のフラクタル次元解析を行ない、洪水到達時間の理論式より都市化による流出特性の変化を検討した。フラクタル次元は他の河川同様に分裂の傾向が認められた。またフラクタル次元をパラメータとする洪水到達時間の理論式は、河川改修及び下水道整備に伴う時間の短縮の傾向をうまく説明することができると考えられる。

参考文献

１）小川進，和泉清：都市河川のフラクタル次元解析，土木学会第44回年次学術講演会，146-147,1989.

２）Gray,D.M.:Interrelationships of watershed characteristics,J.Geophys.Res.,66(4),1215-1223,1961.

３）小川進，和泉清：都市河川のフラクタル次元解析と洪水到達時間，土木学会論文集（投稿中）

４）守田優：都市化による洪水流出機構の変化について，都土木技研年報，123-131,1985.

表１　河川・下水道のフラクタル次元

河川名	作成年	フラクタル次元
大栗川	1970	１．０５
	1975	１．０３
	1980	１．０２
	1986	１．０１
乞田下水幹線	1982	１．０１
乞田下水管路	－	１．３０
大栗下水管路	－	１．２９

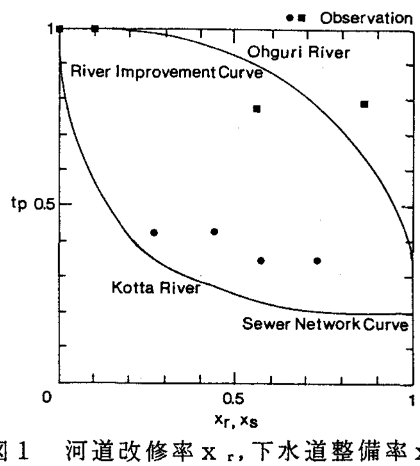

図１　河道改修率ｘｒ，下水道整備率ｘｓと洪水到達時間ｔｐ