

京都大学工学部 正員 高樺琢馬
京都大学工学部 正員 池淵周一
鹿島建設 正員 田川寿美

1. まえがき；自然域の都市化にともなう洪水が頻発する事態に対処するには，都市化域特有の流出機構に立脚した流出解析法の確立が必要である。そのためには，都市化進行を的確に示すパラメーターの定式化がなされねばならない。本研究は，宅地化された丘陵地において，流路整備を中心に出流機構の解明に努めた。解析法としてKinematic Wave法を採用し，都市化を示すパラメーターとして等価粗度の定式化を行った。定式化の手法としては，ハイエトグラフをハイドログラフに変換する仲立ちとなる伝播時間のうち，流域全体を万遍なく関連させる意味から，流域の全地尺から最下流地尺までの伝播時間の平均したものに着目した。そして，流路網をも含めて考える場合と，全体を等価斜面とした場合との平均総伝播時間の一致を定式化の原則とした。なお，降雨はすべて有効降雨とし，流域全体の流出状態が定常となったときを想定する。

2. 格子状流路をもつ一樣流域平均総伝播時間；図1のような流域を設定し，この流域全体の平均伝播時間を求めるために，単位流域において図2の4つの伝播型に分類した。おのこの平均伝播時間は，Kinematic Wave法より求め図に付記した。そして，それらの平均伝播時間を，その伝播型の流域全体の個数と関連雨量とを軽重率として加重平均し，複合流域の平均総伝播時間を求めると次式になる。

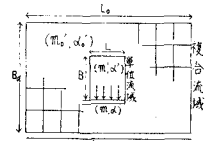


図1. 格子状流路をもつ一樣流域

$$\bar{t}_T = \frac{C_1}{C} \left(\frac{1}{1+m} \right) \left(\frac{B}{\alpha(B_0)^{m-1}} \right)^{\frac{1}{m}} + G \left(\frac{1}{1+m} \right) \left(\frac{L}{\alpha(B_0)^{m-1}} \right)^{\frac{1}{m}} \quad (1)$$

$$G = \left\{ C_2 + \sum_{\mu=1}^{\infty} C_{3\mu} \left((1+\mu)^{\frac{1}{m}+1} - \mu^{\frac{1}{m}+1} \right) + \left(\frac{1+m}{m} \right) \sum_{\nu=1}^{\infty} C_{4\nu} \nu \right\} / C \quad (2)$$

C: 単位流域数, $C_1, C_2, C_{3\mu}, C_{4\nu}$: 型I, II, III, IV伝播数

上式において，Gで示した無次元数は流路整備状況を示す重要な指標であり，単位流域数C，複合流域形状，流路網型に関連するが，図3の4つの流路網パターンを考え回帰分析により平均化すると，

$$G = \{1.247(\log \beta)^2 + 1.683\} C^{0.344} \quad (3)$$

が得られた。ここに， β は流域を矩形等価斜面としたときの流路長の等価斜面長に対する比であり，流域形状と表現する。

3. 流路網平均勾配；図4の複合流域内にかなり流路網が整備されたとき，その流路網の平均勾配 $\bar{i}_0$ は，平均流路伝播時間の一致を条件とすると，

$$\bar{i}_0 = \bar{i} = \frac{\mathcal{L}^{-0.375} \mathcal{L}_0 I_1 + n \mathcal{B}_0 I_2}{\mathcal{L}^{0.375} \mathcal{L}_0 + n \mathcal{B}_0^{0.375}} \quad (4)$$

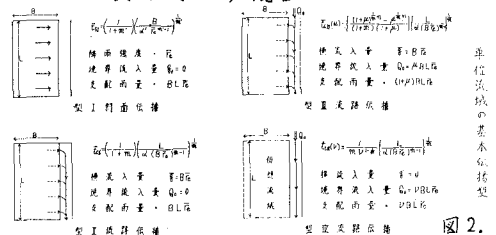


図2.

型I: 側面伝播型 伝播時間: $t_1 = \frac{B}{\alpha(B_0)^{m-1}}$
型II: 直線伝播型 伝播時間: $t_2 = \frac{L}{\alpha(B_0)^{m-1}}$

型III: 直線伝播型 伝播時間: $t_3 = \frac{L}{\alpha(B_0)^{m-1}}$
型IV: 直線伝播型 伝播時間: $t_4 = \frac{L}{\alpha(B_0)^{m-1}}$

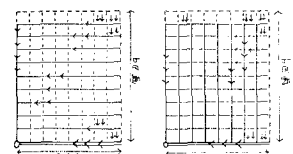
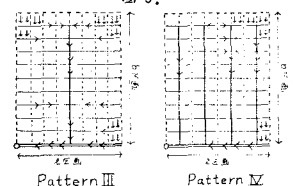
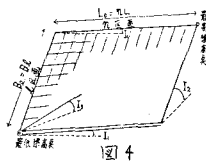


図3.



となる。ここで、流路整備が進展した流域にKinematic Wave法を使用するとき、等価粗度と一致となつて使用される等価斜面の勾配としては、それが地形特性を表現すると同時に、流出機構に忠実であることが望ましいと考えられ、この流路網平均勾配を用いるのが妥当である。そこでこれを等価勾配 I_0 と名付けた。しかし、式(4)で求められるものは、地形的な平均勾配 I_0 より小さく、さらに、一般には I_1 と I_2 の算術平均より小さくなる。



4. 等価粗度；式(1)に式(3)を代入した複合流域平均総伝播時間 T_T が、等価斜面としたときのそれと一致するように定めた基礎式に次の仮定を入れる。(i)流出特性値は、Manningの抵抗則が成立するとき、(斜面) $\alpha = I^{1/2}/N$ 、 $m = 1.67$ (流路) $\alpha = 0.487 I^{1/2}/n$ 、 $m = 1.33$ である。ただし、流路は矩形とする。また等価斜面とその流路に関しても同様であり、添字 0 を付ける。(ii)単位流域は正方形、 $B=L$ 。(iii)流路網粗度と等価斜面の流路粗度の一致、 $n=n_0$ 。(iv)降雨強度の変動による影響は小さく、 $P_e = 80 \text{ mm/hour}$ として十分である。(v)流域平面形状を示す各因子を B_0, β, B の三因子で表現する。 $C = \beta(B_0/B)^2$ 、 $L_0 = \beta B_0$ 。(vi)等価勾配と流路網平均勾配の一致、 $I_0 = \bar{I}$ 。

以上の仮定のもとに、基礎式を整理すると等価粗度 N_0 は次のようになる。

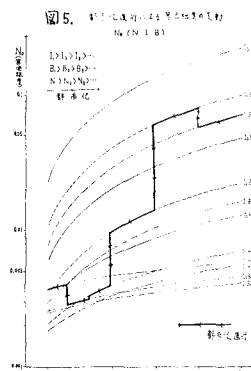
$$N_0 = \left(\frac{B}{B_0} \right)^{0.6} \left(\frac{\bar{I}}{I} \right)^{0.3} N^{0.6} \left\{ a \frac{\beta^{0.344} B_0^{0.088}}{B^{0.188} \bar{I}^{0.045}} \frac{\beta^{0.75} \bar{I}^{0.3}}{B_0^{0.1} I^{0.375}} \right\} m^{0.75}, \quad a = 1.25(\log \beta)^2 + 1.68 \quad (5)$$

ここに、式(4)式(5)の両特性値は八個の因子から決定され、これらは都市化と流出特性の観点から二種に分類される。(i)都市化の進展を示す因子； $B, N, (m), I$

(ii)流域全体の地形特性を示す因子； B_0, β, I_1, I_2

5. 都市化と等価粗度；さて、変動中の小さい流路粗度 n を除くと、都市化による流出特性の変動は、単位流域における斜面粗度 N 、斜面長 B 、斜面勾配 I の変化による次に述べる効果の重合した結果である。(i) N の減少は、流下速度を増大させ斜面伝播時間を短縮する。(ii) B の減少は、第一に斜面長短縮によって斜面伝播時間を短くする。第二に、流路流下長増大と、各流路の流量細分化による流路流下速度の低下とによって流路伝播時間を増大させる。しかし、一般に前者が後者を上回り平均総伝播時間は短縮する。(iii) I の減少は、(i)とは逆に、流下速度も低下させ斜面伝播時間を増大する。

以上のように、都市化を平均総伝播時間の短縮と考えると、因子 I だけは逆に作用するが、一般には三因子が並行して変動し、 B, N の効果が I の効果を打ち消すため、 T_T の短縮となり、等価粗度 N_0 が減少する。図5は、三因子と等価粗度の関係から都市化進行を示す概略図である。



6. あとがき；本研究では、かなり理想化された流域で等価粗度の定式化を行なった。それにもかかわらず、式(5)のように等価粗度に多数の因子がかわることは、実流域への適用に際し、そうした点への配慮の必要性を示している。特に、複合流域の大きさを示す因子 B_0 が含まれることによって、都市化域にKinematic Wave法を適用する際、等価斜面とする流域の大きさによって等価粗度が変動することを注意しなければならない。