

1. まえがき

近年、急速に進められつつある大都市周辺地域でのいわゆる都市化現象は、流域の自然環境・水文環境に多大な変化を引き起こしている。都市化による植生の破壊・不透透域の拡大・地表面粗度の低下などは、洪水ピーク流量の増大・洪水到達時間の短縮など、治水上不利な方向に働くことが常である。

河川管理・河川計画を行なおうとする場合、流出の形態を把握することが必要であるが、流域の都市化後の流出形態を予測することは極めて困難である。ほとんどの流出解析法では、既往の出水データを利用して一出水毎にパラメータの同定を行なうのが普通で、一つの流域に限っても、全部の出水に共通するパラメータを得ることは難しい。そのため、得られたモデルを用いて流出を予測することも難しい。

ここでは、都市化後の洪水流出を予測する上で有効な手段になるだろうと考えられるKINEMATIC WAVE法を用いて流出解析を行なった結果を報告するものである。

2. KINEMATIC WAVE法⁽¹⁾

計算を簡便にするために、流域を矩形な斜面部と河道よりなる幾つかの小流域に分割、モデル化して、雨水の流下過程をすべて表面流出と仮定し水理学的に追跡して流出を解析するのが、KINEMATIC WAVE法である。次の運動方程式と連続の式が用いられる。

$$Q = \alpha \cdot A^m \quad (1)$$

$$\partial Q / \partial t + \partial Q / \partial x = q(t) \quad (2)$$

ここで、 A ：流水断面積， Q ：流量， $q(t)$ ：雨量（流路単位巾当りの横流入量）， x ：流下距離， t ：時間，を表わす。(1)，(2)式にマンニングの式、 $V = \frac{1}{n} R^{2/3} I^{1/2}$ を用いる。そして特性線の理論を用いることによって、上の関係式は次のように表わすことができる。

$$q(t) \neq 0 \text{ の場合 } A(t_2) = q \cdot \Delta t \quad (3)$$

$$X(t_2) = X(t_1) + \frac{q}{\alpha} (A(t_2)^m - A(t_1)^m) \quad (4)$$

$$q(t) = 0 \text{ の場合 } A(t_2) = A(t_1) \quad (5)$$

$$X(t_2) = X(t_1) + \alpha \cdot m \cdot A(t_1)^{m-1} \cdot \Delta t \quad (6)$$

ここで、 $A(t_1) \cdot A(t_2)$ ：時刻 $t_1 \cdot t_2$ に於ける流水断面積， $X(t_1) \cdot X(t_2)$ ：時刻 $t_1 \cdot t_2$ に於ける流下距離， q ：時刻 t_1 と t_2 の間の平均降雨量（単位巾当りの平均横流入量）， $\alpha \cdot m$ ：(1)式で用いられた定数， Δt ：時刻 t_1 と t_2 の時間間隔，斜面部では $\alpha = \sqrt{I}/N$ ， $m = 5/3$ ，河道では $\alpha = \sqrt{I} \cdot C^{2/3}/N$ であり、河道断面で $R = CA^2$ と仮定すると $m = 2\sqrt{3}/3 + 1$ で表わされ、 I ：斜面（河道）勾配， N ：等価粗度を表わす。

3. 等価粗度 N

ここで言う N は、等価粗度とよばれマンニングの粗度とは若干意味の異なった性質を示す定数である。KINEMATIC WAVE法では、雨水の流出過程をすべて表面流出と仮定しているが、実際には、流出は表面流出の他に表層土中を流下する中間流出が存在する。洪水の場合、直接流出成分が卓越するので地下水流出については考えない。中間流出は表層土中を流下するので地表面を流下する表面流出よりも流れにくい。また、地表面を流下する雨水も、地表面の起伏や植生などによってさまたげられ流出時間に遅れが生じる。KINEMATIC WAVE法では、これら雨水の流下をさまたげるような要因を、等価粗度という概念を用いて表現しよう

とする。土地利用による斜面部の等価粗度は、多くの研究で求められている、その値の一部を整理して表-1に示す。

土 地 利 用 状 況	等価粗度(m ² s)	調査流域・面積(km ²)
丘陵の一部に宅地造成が行なわれた 階段状宅地造成地区	0.1 ~ 0.2 0.05	堂の川 0.788
畑地・水田の丘陵部よりなる 山地部の多い	0.2 ~ 0.4 0.4 ~ 0.8	岩屋川 2.928 安祥寺川 4.531
低平な水田・市街地と丘陵地との面積がほぼ等しい 裸地の多い	0.6 ~ 1.1 0.3	旧安祥寺川 大戸川
潤葉樹林が過半をしめる林相豊かな 竹林	1.0 0.8	由良川 大野川 0.02~0.05
水田	1.0 ~ 2.0	天神川 0.11~0.41
区画割・道路整備ができるが、相当裸地面積が残る排水路整備済 道路舗装かなり進む、下水路整備不十分	0.1 0.05	〃 〃
舗装されるべき面積の50%以上舗装され下水路整備ほぼ十分	0.01	〃
舗装されるべき面積の舗装・下水路整備完了	0.005	〃
市街地斜面部	0.01	天神川 0.04~0.27
公園部	0.2	〃
山地部	0.8	〃
水路	0.004~0.006	

表-1 等価粗度 ⁽²⁾⁽³⁾⁽⁴⁾

4. 調査流域の概要

調査流域として多摩ニュータウン試験地が選ばれた。多摩ニュータウンは流域面積約40km²で東京西部の多摩市と八王子市にまたがる多摩川水系大栗川、乞田川流域に位置する。この流域は海拔100~200mの高さで西に高く東に低い丘陵地で、上部に関東ローム層、次は稲城砂層から成り、下部には厚い礫層が分布している。

この流域のうちで、自然流域を代表するものとして南大沢流域をあげることができるが、当流域は、大栗川右支川山口川右支川であり、流域面積1.08km²の多摩川沿いに発達した河岸段丘に位置し、火山灰の堆積による比較的厚いローム層より成る。

多摩ニュータウン試験地には、谷が広く発達しており、南大沢流域はその谷の一つである。土地利用状況は、山地41%、畑地42%、水田1%、である。低水時の流量は多くなく、流量は刃形四角堰の越流量より求められている。図-1に多摩ニュータウン試験地の概略図を示す。

5. 調査流域に於ける計算

5-1. ハイドログラフの分離と有効雨量
自然流域の等価粗度Nを求めるために、南大沢に於いて試算を行なう。この試算に於いて、直接流出成分を分離するためには、基底流量を一定とする方法を用いた。有効雨量は、累加雨量-累加流出高の関係(図-2に示す)を用いて一次流出率、飽和雨量を求め、決定した。

5-2. 等価粗度Nの値

KINEMATIC WAVE法では、等価粗度Nが重要な役割をしめることは前に述べた流域が都市化することによって自然状態よりも

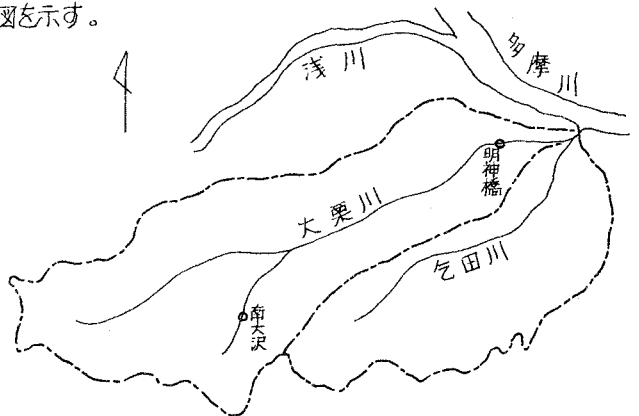


図-1 多摩ニュータウン試験地流域図

斜面部の N が小さくなることは当然であり、表-1より、自然流域の表土はぎが行なわれた状態の流域では N は $1/2$ 程度になり、都市化された状況では、さらに $1/10$ 程度になるものと考えられる。

5-3. 流域分割について

多摩ニュータウン試験地をモデル化するために、2万5千分の1の地図及び航空写真を用いて流域を45の小流域に分割し、それらを矩形にモデル化し、斜面長・河道長・斜面勾配・河道勾配・河道断面形状などの要素を求めた。流域を分割するにあたっては、分割流域内の土地利用状況がなるべく同じで、勾配もなるべく一定と考えられるように分割することを考慮した。

5-4. 降雨データについて

計算例として、昭和44年10月25日降雨を選んだ、当降雨は総雨量93.5mm、直接流出高37mmである。累加雨量-累加流出高の関係(図-2)より、一次流出率0.3、飽和雨量85mmとする。

5-5. 試算結果について

N をいろいろと変化させてハイドログラフの再現性を確かめてみたところ、 $N=2.0$ の場合が最も再現性がよかった。その結果を図-3に示す。再現性が良いかどうかという評価は洪水ピーク流量および洪水ピーク時間の計算値が観測値とよく合うかどうかによって決定した。ここでは洪水流出を解析することを目的としているので、低水部分には注目しないことにした。計算ハイドログラフの逓減部分は実測値にくらべて急速な逓減をしている。この傾向はどの場合にもみとめられ、流出をすべて表面流出と仮定するKINEMATIC WAVE法の欠点を示しているものと思える。

他の降雨に対しても同様の計算を行なったが、やはり $N=2$ の場合のハイドログラフの再現性が最も良かった。

5-6. 明神橋流域に於ける計算

上の結果を用いて、大栗川・明神橋地点に於いて解析を行なった。この流域の土地利用状況は、都市化部分9%、表土はぎが行なわれた部分11%、自然状態部分80%である。等価粗度は、自然流域で $N=2$ 、表土はぎの行なわれた流域で $N=1$ 、都市化された流域で $N=0.1$ とした。自然流域で一次流出率は0.3となるが、都市化部流域に於ける流出データがないために、都市化部流域で一次流出率を0.8と仮定した。表土はぎの行なわれた流域では0.6と仮定した。

計算結果を図-4に示す。計算ハイドログラフは、洪水ピーク流量、洪水ピーク時間ともに、実測とかなりよく一致していると考えてよい。南大沢に於ける試算の場合と同様に、計算値の逓減部分が急すぎるが、直接流出成分しかとり扱っていないのでやむを得ない。

6. 計算結果

本稿で求められた多摩ニュータウン試験地に於ける等価粗度 N は、自然流域では2.0、表土はぎの行なわれた

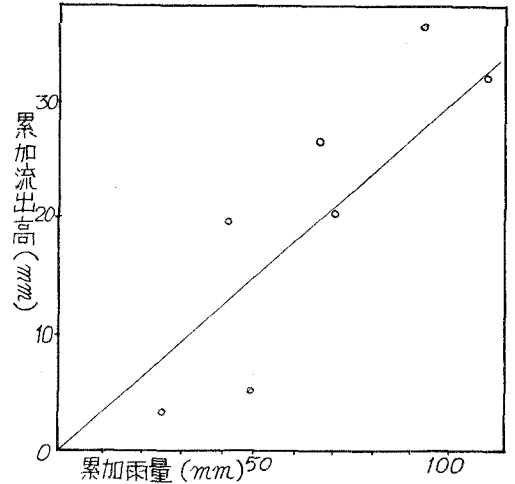


図-2 累加雨量-累加流出高

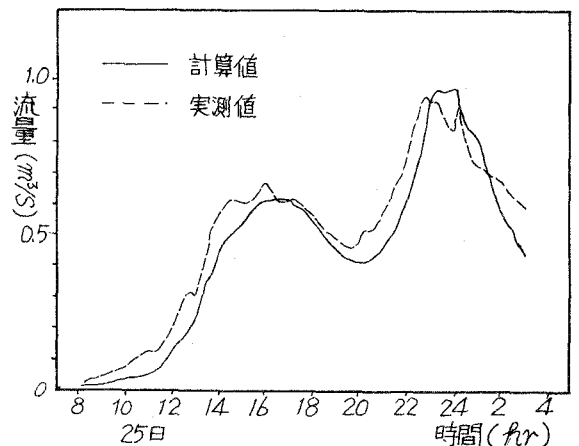


図-3 南大沢 ハイドログラフ

流域では1.0, 都市化された流域では0.1であった。この値は、表-1に示す他の自然流域の値の5-10倍にも達する。このことは、当該流域が関東ロームの厚い層で覆われていることに起因するものであると考えられる。当該流域が関東ロームの厚い層で覆われていることは、間接流出の割合を大きくするために、先の計算によって得られたハイドログラフの減水部の通減が急すぎることを原因ともなっていると考えられる。

7. 結論

以上の計算によって得られた結果より、KINEMATIC WAVE法は、洪水予測の有効な手段となり得ると思われる。ここでは例を示さなかったが、有効雨量のとりかたによっても計算ハイドログラフの波形はかなり影響をうける。

有効雨量のとりかたは、等価粗度と同様に、KINEMATIC WAVE法に於ける重要な要素であろう。しかし、今までのところ、有効雨量を決定するための絶対的な方法がないので、便宜的に、累加雨量-累加流出高の関係から、一次流出率、飽和雨量を求めて決定せざるを得なかった。

今後の課題としては、(1)流域の分割の仕方による等価粗度の変化、(2)中間流出が卓越するような流域に於ける運動方程式の形、(3)有効雨量のとりかた、(4)基底流量の分離の仕方、などがあげられるが、以上の点に留意すれば、さらに適合性のよい流出解析が可能となるであろう。

8. 謝辞

本稿を作成するにあたっては、建設省土木研究所水文研究室の方々に多大な協力を得た、また法政大学土木工学科の西谷隆巨助教授には、熱心な御指導を受けた、ここに記して謝意を表します。

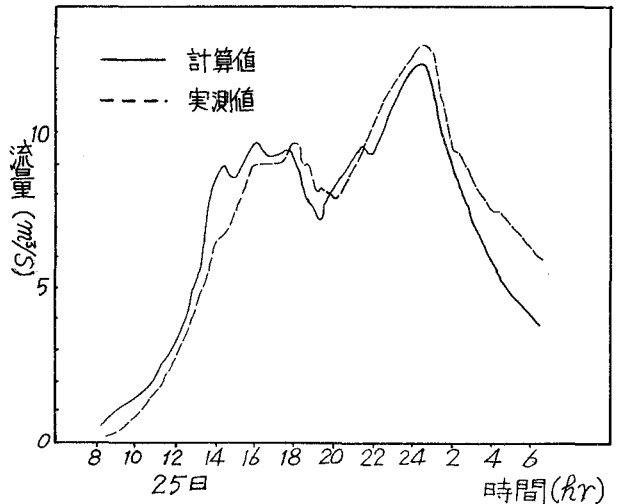


図-4 明神橋 ハイドログラフ

参考文献

- 1) 池淵周一, 高橋琢馬: 数値解析法講座 11 応用編, 流体解析Ⅱ, 土木学会誌 Vol 57-12, 昭和47年.
- 2) 豊国永次, 角屋 睦, 大橋行三: 山科川流域の流出特性について, 京大防災研年報8号, 昭和40年.
- 3) 角屋 睦, 岡 太郎, 早瀬吉雄: 丘陵地の宅地開発に伴う流出量変化の予測, 第8回自然災害総合シンポジウム講演集, 昭和46年.
- 4) 角屋 睦, 岡 太郎, 豊国永次, 福島 晟: 横大路低平地域の内水の現状と将来予測, 京大防災研報告 14B, 昭和46年.