

メッシュ法の概念とパラメーターの同定

市 川 新

CONCEPTS ON THE GRID ANALYSIS AND THE DETERMINATION OF THEIR PARAMETERS

By Arata ICHIKAWA

Synopsis

The GRID ANALYSIS was presented as one of the simulation model for the urban storm runoff. On the hydraulic aspects, this model consists of three components; surface flow, pipe flow and river flow. Except the last flow, the linearity is assumed to hold good on the calculation of each hydrograph. This paper would verify this assumption on the linearity, by applying the actual watersheds in Tokyo, Japan.

This paper describes the linearity on the relationship between rainfall and runoff, by applying the GRID ANALYSIS to the actual watershed. The parameters dealt in this paper are the surface velocity, pipe flow velocity, the area of manhole subcatchment and the overall ratio of loss. According to several calculations, the restriction of the linearity would be shown.

1. は じ め に

都市域の雨水流出量を推定するモデルとして、メッシュ法¹⁾を提案した。この新しいモデルは、都市域内の地表面の変化・浸透施設・貯留施設等が導入されたときの雨水流出量のハイドログラフの変化を追跡する事を目的として開発したモデルである。

前報¹⁾でモデルの考え方、実際のデータの取り扱い方、計算の方法等を詳述したのでここでは繰り返さないで、要約するとどめ、本稿ではメッシュ法のパラメーターが流出量の予測にどのように影響を与えるかを、計算で求めたのでそれを中心にして紹介することとする。

2. モデルの構成

一般的に1つの物理現象を記述するためにモデルが構築される。このモデルは、物理現象を正確に記述するというより、要求される目的に必要な精度を保ちながら、簡単な操作・演算により現象を推定出来ることが要求されるのである。そこで用いられるモデルは、その現象の物理的条件の中から支配的なものを取り上げている事もあるし、物理現象とは関係ない因子で説明する事もある。

雨水流出のメカニズムは多くの要因からなり、それらの因子を全て取り上げることは出来ても、それを定量化することが困難である。そこで様々な「側面」ないし「事象」を取り上げたモデルが提案され、実用的に利用されている。流域全体をブラックボックスとして扱うモデル（例タンクモデル）、水理学的記述によるモデル（雨水流法ないし Kinematic Wave 法）、雨水流出を線型近似出来るとしたモデル（例として合理式や単位図法）があげられよう。これらとは全然別なモデルとして実験公式も存在する。

理論的には雨水流出機構を物理条件で記述出来れば、それに優るものはないが、その現象がいくつかの物

理的現象の積み重ねであることから完全に記述することが出来ず、その中の主要な機構をとり上げてモデル化していることが多い。例えば雨水流出の減衰していく傾向から指数関数型のモデル（タンクモデルともいえる）を構築したり、流域を1つの仮想水路とみたてて Kinematic Wave 法等があげられる。モデルと物理現象ないしモデル同志の相関関係を木下²⁾は数学的に説明を行っている。

さて物理現象をモデル化するに当たりいくつかの係数が使用される。合理式では流出係数、雨水流法では比例定数やベキ数をそれぞれ決定してやらねばならない。これらの係数の数値化には、理論解から与えられる場合もあるが多くの場合、実測により決定される。この係数をどのように決定するかにより、モデルの適合性そのものに影響してくる場合がある。

そのためモデル化に当っては、モデルそのものの適合性とモデルに用いられる係数の適合性の2つが同時に満足することが要求される。しかしある場合には、係数の調整によりモデルそのものが適合しているように見える事もあり、逆にモデルが正しくても係数の決定が困難であったり、その係数が他流域、他降雨等で使用出来ない場合には、モデルそのものにも疑義をもたらすことになる。

タンクモデルは、雨水流出機構の1つの表現形式であり、物理現象の説明としても優れているが、それに使用される係数の数が多く、その同定がきわめて困難であり、今の所試行錯誤でしか方法がない。逆にいえばこの係数の組合わせによってはかなり広範囲にわたって、現象を記述出来ることになる。

雨水流出機構の説明として線型性が成立つかが、長年にわたり議論されてきたテーマである。線型性が成り立つことは、モデルが簡略化出来かつその係数の決定が容易であるという利点がある。しかし雨水流出現象は複雑であり、線型性が成り立たないことが知られている。線型性が成り立たないのは現象そのものなのか、あるいは現象をマクロに見すぎたためにおきているのか、不明の点が残されている。多くの流出モデルは流域を「一まとめ (lumped)」として考えている。タンクモデルは3～4段になっているとしても、流域を一つのタンク群と考えている。又貯留関数法でも、流域を1つの貯留池と考えているのである。1つの流域といってもそれを構成する要素が多く、それぞれの要素が条件に応じて固有の対応をする事が知られており、それを1つにまとめたモデルとしては線型性が成立しない事になるとも考えられる。

もし対象とする場を小さくすれば線型性が成り立つのではなからうかという考えが出てくる。一般的には曲線は直線で近似出来、かつその対象区間を小さくすればとる程近似の精度が向上することが明らかとなっている。この考え方を流出解析に適用していくと、流域を細分化していくことにより、現象を線形近似出来るのではないかと考えられる。在来の流出モデルにおいては、流域全体を1つの単位としてとらえる（合理式、タンクモデル）ものと等時間帯に区分する（TRRL 法）等があるが、それをもっと小さくしていく事の可否は未だなされていなかった。その大きな理由は、流域を細分化すればする程、計算回数の大きくなることと、各区分単位毎に流出係数や粗度係数といった流域情報を与えてやらねばならないことが細分化を妨げていた原因である。

しかし近年大型計算機が開発され、計算速度が制限因子となくなってきた事と、流域情報も計算機処理により簡便化されてきた事が、このような流域の細分化が実現可能となったのである。東大の大型計算機センターの S 680-20 では通常の計算に与えられるメモリー容量が 64M バイトであり、大きな流域において単純計算処理出来るようになっている。

次の問題として、では細分区間をどのようにすべきかという問題が出てくる。国や各県レベルで行っているメッシュ情報は 500m ないし 250m の単位であり、在来の流出解析モデルの単位に較べれば細分化されているが、実際の河川流域にあてはめると、大きすぎて取り扱いに不便な場合が多い。

国土地理院は土地細密情報として、10mメッシュで土地利用情報をテープ化し貸し出している（実際には公共団体や研究用のみであり誰でも自由に使用出来るというレベルではない）。この土地情報は地表面の用途を18分類したものであり、現在の所首都圏に限られている。流出解析に必要なデータがどの程度必要であるかについては議論の余地が多いが土地利用状況と地表面の構造とくに浸透・不浸透の差に強い相関がある事がいわれている事から、この細密情報は有用な情報の1つであろう。これを流域解析に用いるとすると、

メッシュの最小単位は10mという事となる。それ以下のメッシュも考えられるが、それに対応する各流域区分単位毎に情報を与えることが出来ないで、あまり意味をもたないものとなる。メッシュ法はこの土地細密情報を利用することを前提として開発されたモデルである。

3. メッシュ法の基本的考え方

前報で詳述したのでここでは簡条書きに示すにとどめる。

- ①流域を10mのメッシュで区分する。各単位は国土地理院の細密情報のメッシュと一致させる。
- ②各支川、排水区単位に区分し、それをメッシュ単位に書きなおす。
- ③各排水単位毎に雨水の流路と、その流路に流入する地点を求め、流入点毎に小流域を決定する。
- ④各メッシュ毎の土地利用に応じて浸透面積を仮定し、有効降雨量を $(r \times (1 - \text{浸透面積率})) = r \times \text{不浸透面積率}$ で表わす。
- ⑤各メッシュに降った雨水ないし上流から流入した雨水は小流域毎に決められた流れ方向に基づき下流のメッシュに移動する。
- ⑥排水路への流入点（便宜上マンホールメッシュという）に到達した雨水はそこで全量排水路（下水管）に流入するものとする。
- ⑦排水路ないし下水管に流入した雨水は一定流速で下流に流下するものとする。この下水管流も線形と仮定している。
- ⑧排水路ないし下水管から流出した雨水は河川ないし下水道幹線に流出するが、そこでは不定流計算により流出量を追跡する。

以上がメッシュ法の基本的流れである。この計算において仮定しなければならないパラメーターは(1)降雨の損失率、(2)メッシュ間移動速度、(3)下水管内流速、(4)河道内伝播速度である。以下それについて考察を行う。

4. メッシュ法に用いられるパラメーター

4.1 降雨の損失率

これは有効降雨を決定するパラメーターである。ここでは土地細密情報の土地利用に応じ **Table 1** のように定めている。道路の場合、舗装されていてその不浸透率は一定と考えて差支えないと思われる。しかし実際の細密情報と地形図を比較すると10mメッシュ全域が道路であるケースが少なく「道路を代表している」といって差支えないメッシュ」ないしは特定の方法で指定した場所（例えばメッシュの中心）が道路の場合その全体を道路と定義しているため、メッシュ内の一定率が道路にすぎないことが多い。そこで下水道や河

Table 1 The rate of loss for land use pattern in this calculation. () shows the ratio of each land use pattern in the object watershed

land use pattern	ratio	land use pattern	ratio
forest	0.8 (5.9)	paddy field	0.6 (-)
vegetable field	0.9 (13.7)	recreation area	0.6 (-)
vacant area	0.7 (0.4)	industrial zone	0.2 (0.2)
low houses area	0.6 (27.4)	high densed area	0.3 (3.0)
high-storied area	0.6 (1.4)	business center	0.2 (6.9)
road	0.1 (11.6)	park & green zone	0.9 (3.9)
public estate	0.3 (14.2)	river and pond	0.0 (-)

川工学で使用されているような不浸透率をそのまま適用すると誤差の原因となると考えている。

とはいえ道路とか水田・畑・森林では損失率はそれほど大きな差はないと考えられている。しかし高層住宅では、都心部のように建ぺい率が高いものから郊外の低建ぺい率地域と差がある。実際には土地の用途別規制により、法的に規制されている場合が多いのでその情報を加味してやる必要がある。

国土地理院の分類で一番問題となったのは、公有地に関するものである。公有地とは、学校・役所・公園等その定義域ないし、土地利用状況の範囲が大きく、そこでの損失率を一律に定めることが困難である。例えば、東京都内の小学校の校庭の多くは全面舗装されており校舎部分と合わせて考えると、不浸透面積率は100%に近く、雨水損失は少ないと考えられる。一方同じ公有地とされている公園（都立神代植物公園や上野公園）では全域浸透面積と考えられ、両者を同じ損失率で表現するのは問題が残る。とはいえ各メッシュ毎にその損失率を変えるというのも大変な作業となる。実際の野川流域では、公有地の面積が14.2%を占めており、その取り扱い方が、流出量の予測に大きな影響をもたらすものと考えられる。

降雨の際の損失率を決定する方法は色々提言されているが、実際のデータから実験式を組み立てたものとして Wallingford Model³⁾ があげられよう。以下にその式を示す。

$$\text{損失率 (\%)} = 0.829 \text{ PIMP} + 25 \text{ SOIL} + 0.078 \text{ UCWI} - 20.7$$

ここに PIMP は不浸透率, UCWI は湿り度, SOIL は土壌条件を示すものである。この式は流域を雨水マス単位（約500～5000m²）にとり 雨水マスへの流入量をガリメーターで計測し、実験式にまとめ上げたものである。これによると不浸透面積率、土壌条件はそこで一定値をとるものであるが、湿り度といって先行条件に左右される因子が入っている。実際の雨水流出条件をみると全降雨期間一定比率が流出（表面流）となることは少ないので、降雨条件に関する因子を入れる必要があろう。しかし今の所、英国で行なわれているようなミクロな計測が日本では行なわれていないので、有効降雨の推定はブラックボックスとならざるをえず、メッシュ法においてこの細密情報を使う場合には困難を伴ない今後の研究にまつ所が多い。

4.2 メッシュ間移動速度

1つのメッシュから隣接のメッシュへの移動する速度を決定しなければならない。地表流に限っていうと、この移動速度は、地表流の水深、地表流の幅、地表面の勾配、同粗度によって決定されるので、メッシュ毎に又時間毎にきめる必要があろう。しかし一方でメッシュ法の前提となる線形性が成り立つものとするれば、そのステップのとり方は一定であるのが望ましい。すなわち、時間的・空間的にメッシュ間移動速度が一定であるのが望ましい。

両方の立場を統合して流域全体に対して「代表的な移動速度」がとればよいので、その代表値を模索しておく必要がある。実際にこの流出を実測するための技術手段は開発されていない。そこで水理学的条件から推定する方法によらざるをえない。広く用いられている公式は Kerby 式⁴⁾ であり、流域の平均勾配と平均粗度から推定するものである。このメッシュ間移動速度が流出量の推定にどのようにきいてくるのかは今後検討すべき課題である。

4.3 下水管内の流れ

メッシュ法では下水管内の流れを線型近似している。この仮説が成り立つかが第1の問題点である。実際の下水管は接合部・合流地点やマンホールがあり、単純な水路としておきかえることは出来ないと考えられている。だからといってその条件をすべて入れて下水管内の流れをシミュレートすることも実際問題としては不可能に近い、小流域であり下水管を1ないし2つの幹線として取り扱える場合には、豊国⁵⁾ らの一連の研究があるが、それ以外では例が少ない。

下水管の設計に当っては流速を制御することを重要なテーマとして行っている。下水管内における流速の変化により、汚濁物質の沈殿の発生をさけるためである。そこで下流の流速は上流のそれより大きくなるようにしているが、地形から下流流速をそれ程大きくとることが出来ない。その理由は流速を大にするために

は勾配を大きくしなければならないが、それが下水管の深さを大きくすることになり施工・運転管理上から望ましい事ではないからである。このような状況から、一般的には下水管流の追跡において、流速一定と仮定し押し出し流れ (plug flow ないし piston flow) とみなすことが多く、本メッシュ法でもこの考え方を踏襲し流速一定とする。

5. 各パラメーターの感度解析

前節で各パラメーターの意味や仮説値のとり方について述べたが、本節では各パラメーターに実際の数値を入れた場合どのような変化を示すかを考察することとする。

5.1 マンホールメッシュ支配面積の大きさ

Fig.1 に模式的にマンホールメッシュの支配面積をかえたときのハイドログラフの変化を示した。この計算においては5分間で10mmの降雨 (2mm/分の降雨が5分間継続した) と仮定し、メッシュ移動時間を1分としたときのものである。ハイドログラフの▲印はマンホールメッシュの周辺の區部 (計40メッシュ) からの流出に相当し、□印は▨部を加え (計60メッシュ)、■印は▩部を加えたもの (計80メッシュ)、○印は▨部を加えた計100メッシュ、●印は□部を加えた120メッシュとしたときのそれぞれのハイドログラフを示している。各マーク毎の最遠点からマンホールメッシュ迄の時間は▲□■○●印でそれぞれ3分、4分、4分、5分、5分であるが、ピーク流出量発生時刻でいうと、それぞれ4分、5分、5分、6分、6分となっていることがよみとれる。又ピーク流量もそれぞれの流域面積 (メッシュ数) に比例している事がわかる。この場合降雨継続時間が5分であり、●印の到達時間に等しいので、このような結果がえられるのであるが、もし降雨継続時間が最大到達時間より小さい時 (逆にメッシュ間移動時間が2倍の2分となると、最大到達時間は10分となる) このような単純な比例関係はえられない。

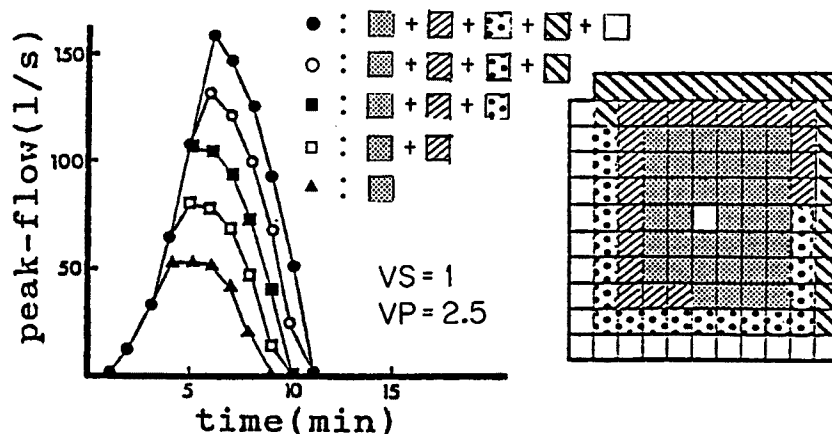


Fig. 1 Comparison of the hydrographs.

5.2 マンホール支配面積の大きさとハイドログラフ

実際の流域では Fig.1 に示すようにマンホール支配面積が正方形となる事はまれである。そこで Fig.2 に総括損失率の比較的似かよった2つの流域 (より具体的にいえば土地利用状況が同じといえる) のハイドログラフを示した。1つの群は106メッシュ、他の群は77メッシュ (それぞれ1.06ha, 0.77haに対応する) ものであるが2つのハイドログラフはほとんど差が認められない。このことから、土地利用状況の似かよった流域では小流域の面積が同じならハイドログラフはほぼ同じであるといつて差支えないようである。

Fig.2 では2つの流域群を同時に示しているが両者の流域面積の大きさに応じてピーク流量に差がある。

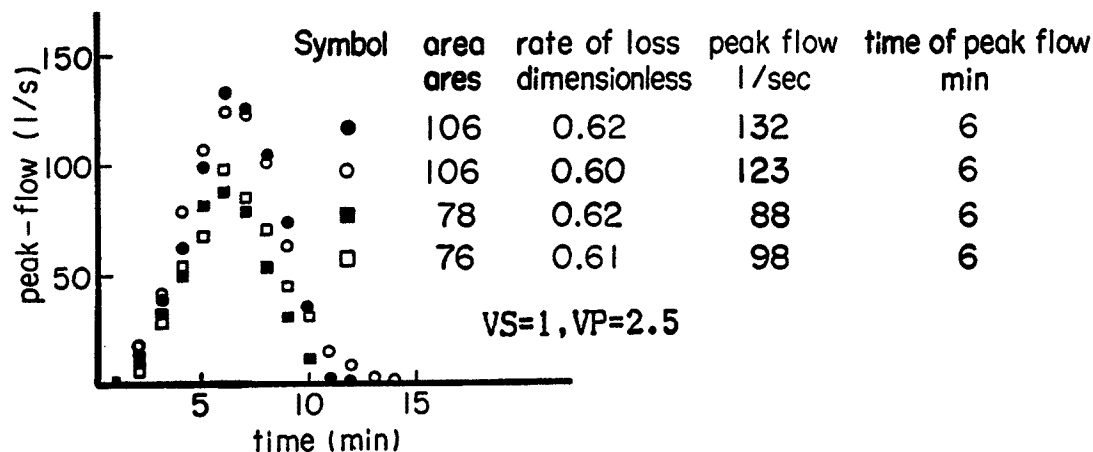


Fig. 2 Hydrograph for the actual subcatchment.

Fig. 3 は流域面積とピーク流出量の関係を実際の流域で比較したものである。両者は直線で近似しても差支えないものと思われるが一部の流域ではこの直線から乖離しているものがある。これは流域内の土地利用状況の差から生じたものであろう。

Fig. 4, 5 は流域面積がほぼ同じ(74と77メッシュ)であるが形状と土地利用が異なる場合のハイドログラフを示したものである。2つのハイドログラフに差があるのは当然であるが、両者が完全に異なるとはいいきれない。とくにピーク流量の推定をシミュレーションの目的とする場合には、2つのハイドログラフは一致しているといって差支えなからう。

5.3 土地利用状況の差によるハイドログラフの差

Fig. 6 は流域面積が同じであるが総括損失率が異なる場合のハイドログラフを示したものである。当

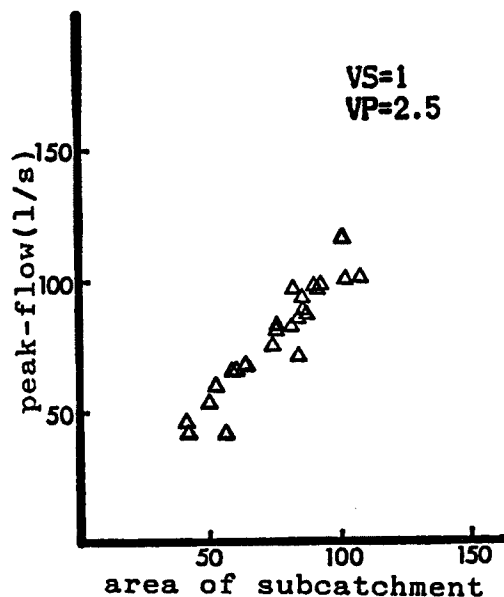


Fig. 3 Relation between area (ares) and peak-flow.

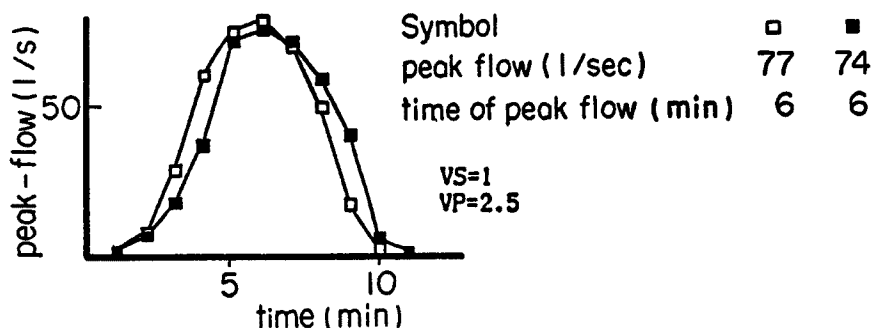


Fig. 4 Comparison of hydrograph with same area.

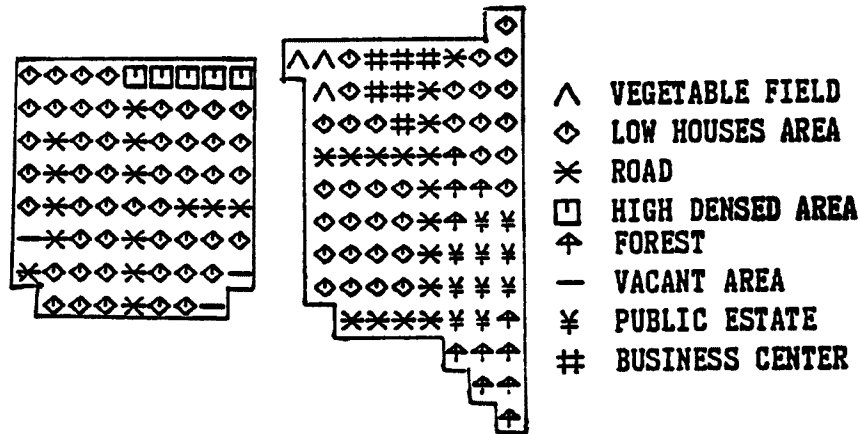


Fig. 5 Distribution of land use pattern of the watershed used in Fig. 4.

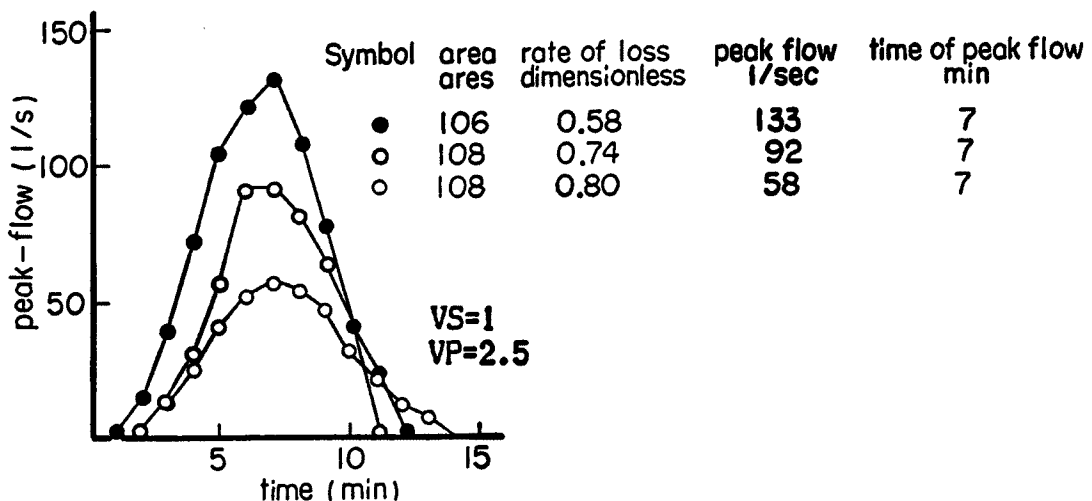


Fig. 6 Comparison of the hydrographs with different overall ratio of loss.

然の事ながら流出係数が小さければピーク流出量は小さくなっている。

Fig. 7 は総括損失率とピーク流量との関係をプロットしたものであり、両者が直線で近似できることがわかる。

5.4 到達時間とハイドログラフ

マンホールメッシュは実際の下水管の配置図の断面積の変更点、合流点、方向転換点等の通常の下水管の設計の際に設置されと思われるマンホール位置におくこととしている。このマンホールメッシュの配置がマンホールの支配面積（小流域面積）を決定することとなる。Fig. 1, 2 で取り上げた小流域の面積は60~110メッシュであり、それが実際の流域でどのような位置にあるのかを Fig. 8 でみてる。これは石神井川流域の2つの下水道吐口をとり上げ、

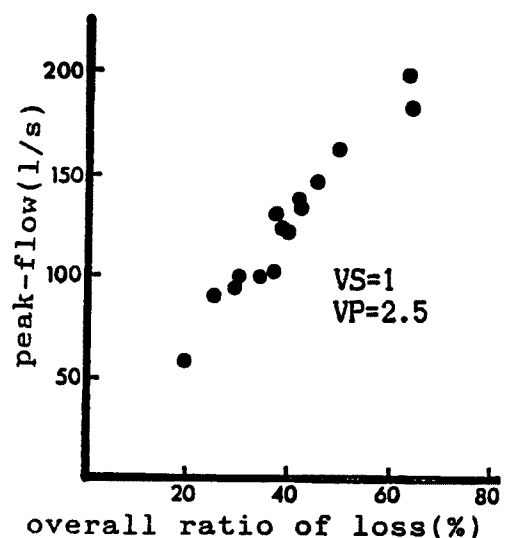


Fig. 7 The relation of the peak and the overall ratio of loss.

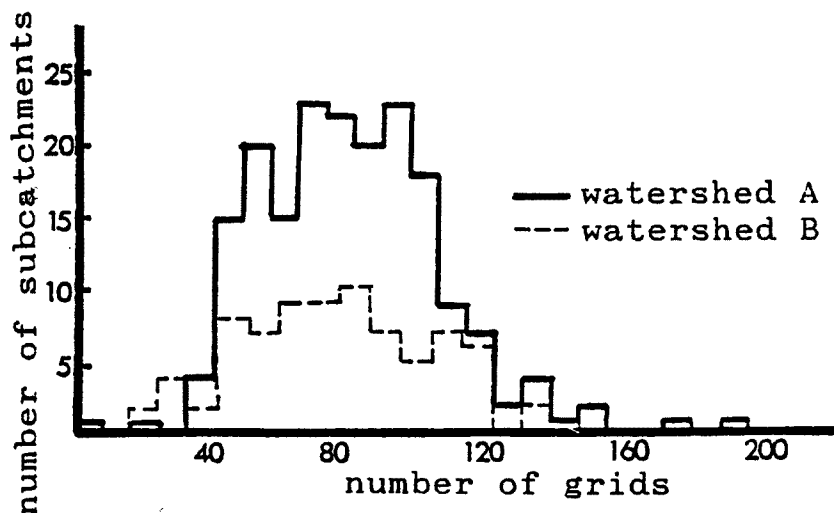


Fig. 8 The distribution of the AMn.

そこでのマンホールメッシュ毎の支配面積と流域内での数を示したものである。吐口 A, B の 2 つをとり上げているが 2 つの流域の概況は付録に示しておいたが, B 流域は A 流域の半分以下である。この図からわかるようにマンホール支配面積は 200 メッシュ以下であるが 40~120 の範囲に入っていることがわかる。

Fig. 9 は小流域を正方形としたときのマンホール迄の到達時間（一般的表現とすればステップ数）とそのメッシュ数を示すものである。例えば 1 ステップでマンホールメッシュに到達するメッシュ数は 8（マンホールメッシュの外側の 8 メッシュ）であり, 2 ステップでマンホールに入るのは 16 メッシュとなる。1 ステップ増加するたびに増加するメッシュ数は $n \times 8$ (n : ステップ数) で表わされ, 合計は $(2n+1)^2$ である。この事から 40~120 メッシュというのはステップ数でいうと 2~5 ステップということになる。実際には正方形でないので Fig. 10 のような関係となる。2 以上 7 ステップ以下ということになる。

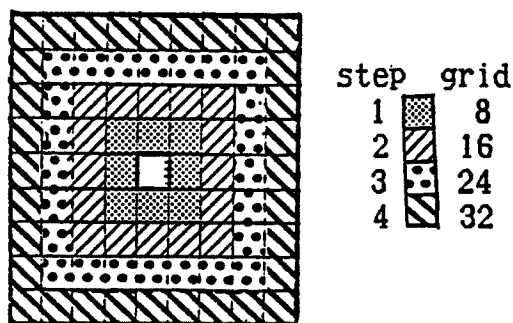


Fig. 9 Conceptual image of subcatchment.

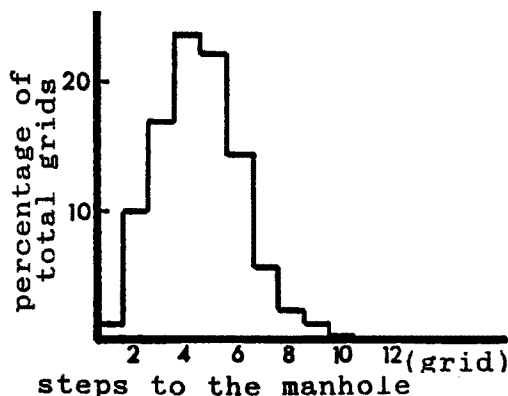


Fig. 10 Steps to the manhole grid.

5.5 流域内のマンホール数

河川に吐口をもつ下水管や排水路等に流入してくる流域は一定であり, そこに到るまでの下水管（排水施設）も既に存在していると考えている。そしてマンホールメッシュは下水管設計の際設置が要求される所に配置するというのが本メッシュ法の考え方であるが, この原則が正しいのかどうかの検証を必要とする。そ

ここで、マンホールメッシュを間引いてかつ同じ要領でマンホール支配面積を決定するというモデルを用いて雨水流出量の計算を行ったのが Fig. 11 である。在来の方法ではマンホール数が189であるが、新しいモデルの場合は、マンホール数を100とした場合であり、1つのマンホール毎の平均流域面積が1.9倍となったことと同義である。このようにするとピーク流量は $7.9\text{ m}^3/\text{s}$ から $6.7\text{ m}^3/\text{s}$ と約25%程低下することが明らかとなった。この事は、マンホールに到達する迄の時間を大きくすることにより地表面で貯留することを意味しその結果ピーク流出量が小さくなっているのである。この場合損失率は変えていないので総流出量は変わっていない。また、ピーク流量の発生時間が2分しかおくれ出てこないことが試算された。なおB流域で同じ計算をやってみた所同じような傾向がえられた。

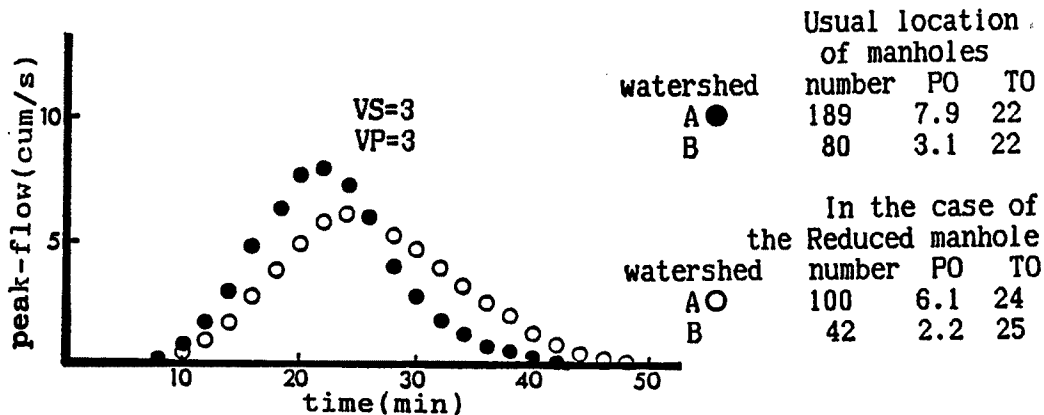


Fig. 11 The comparison of the hydrographs for the number of the manholes.

5.6 地表面の流速の影響

地表面をどのような速度で流れているかの測定方法が確立されていないので、ここではシミュレーションで結果をみる事とした。Fig. 12 は地表面のメッシュ間移動速度を1分から3分に変えた場合のハイドログラフの変化を示したものである。これによるとA流域の場合、メッシュ間移動速度を1分、2分、3分とすると、ピーク流量はそれぞれ 9.2 , 8.1 , $7.0\text{ m}^3/\text{s}$ となる。メッシュ間移動時間を大きくすることは、地表面での貯留がおきることを示すものであり、その分だけピーク流出量が減少する。

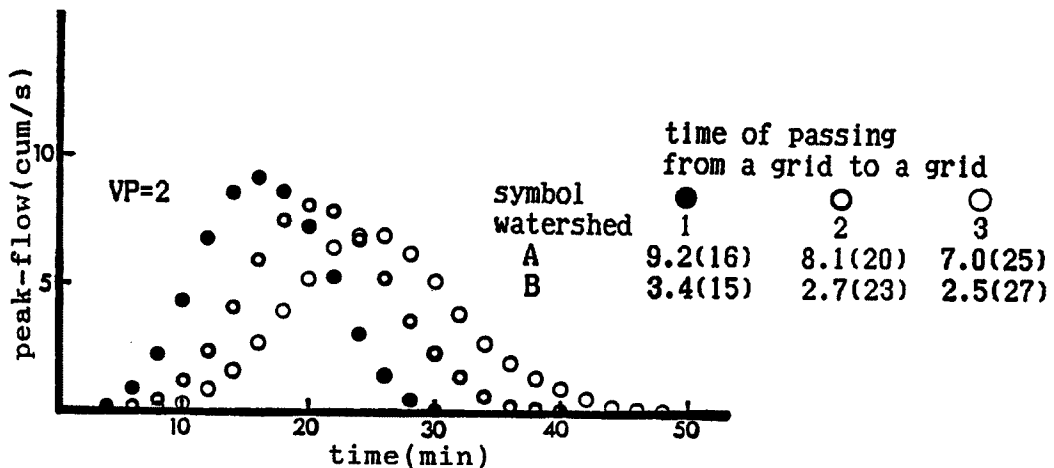


Fig. 12 Comparison of the hydrographs for the various surface velocity.

5.7 下水管内の流速の感度解析

Fig. 13 は地表面のメッシュ移動速度を一定 (1 分) としたときに下水管内の流速を1~3 m/s としたときのハイドログラフの変化を示したものである。下水管内流速が遅いということは下水管内での貯留が大きいことを意味する。3m/s の場合、ピーク流量が 12.2m³/s だったものが流速を 2m/s におさえることにより 8.9m³/s と大幅に減少することが明らかとなり、下水管内での貯留効果が大きいことがわかった。

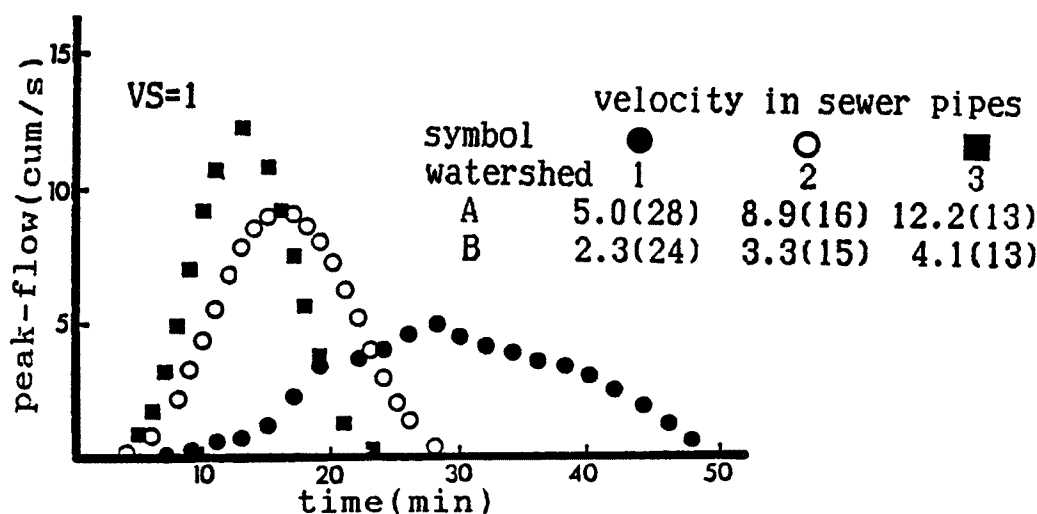


Fig. 13 The comparison of the hydrographs with the various pipe flow velocity.

5.8 2つの要因を合成させたときの感度解析

Fig. 14 は地表面のメッシュ間移動速度と下水管内の流速を同時に変化させたときのピーク流量を図示したものである。この図からもその組み合わせによりピーク流出量が 12.2 から 4.3m³/s と変化している事がわかり、パラメーターの決定に注意せねばならない事が明らかとなった。

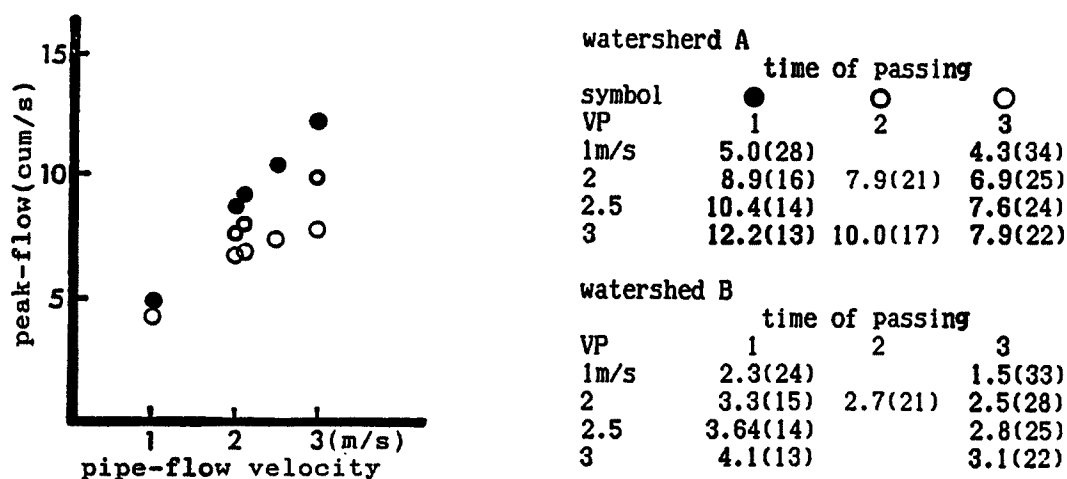


Fig. 14 Effects of VP and VS on the PO.

6. 結 論

どんなモデルでもパラメーターが使用され、その決定はきわめて困難である。本研究においてはメッシュ法を取り扱うに際して決定しなければならないパラメーターが、シミュレーション結果にどのような影響を与えるかを、数多くのシミュレーションを行ない調べたものである。その主要な結論は下記の通りである。

- (1) 小流域の大きさとピーク流量との間に極めて高い相関が認められた。
- (2) このことはメッシュ法で仮定した線型性が有効であることを示すものと考ええる。
- (3) 降雨の損失率についても流域全体の平均損失率がピーク流量と高い相関がえられた。
- (4) 小流域の面積が大きくなっても、最遠メッシュからマンホールメッシュ迄のステップ数は、小流域面積の平方根に比例するのでその効果はあまり出てこない。
- (5) 但し、同じ流域でもマンホールの数を半減させると、 $7.9\text{m}^3/\text{s}$ から $6.1\text{m}^3/\text{s}$ と 23% 減となっている。
- (6) この差は地表面での貯留効果によるものと考えられる。
- (7) メッシュ間の移動時間を 3 倍（流速でいえば $1/3$ ）にすると $9.2\text{m}^3/\text{s}$ から $7.0\text{m}^3/\text{s}$ と、24% 程ピーク流量が減じ、その効果は比較的顕著ではない。
- (8) その理由は 4. で示したようにマンホールメッシュへの平均流入距離が比較的小さいためと考えられる。
- (9) それに比して下水管内の流速の変化はハイドログラフを大きく変える。流速を $3\text{m}/\text{s}$ から $1\text{m}/\text{s}$ と $1/3$ にするとピーク流量は $12.2\text{m}^3/\text{s}$ から $5.0\text{m}^3/\text{s}$ と 60% も減ずる。
- (10) これは下水管の長さが短いといっても $1\sim 2\text{km}$ あるので流下時間が大きく影響するためである。
- (11) 表面流と下水管流の 2 つの効果を合成させると、ピーク流量は大きく変化する。しかしその場合でも表面流速の速さを 3 分と一定とするとあまり大きな変化は認められない。
- (12) 最適なパラメーターを決めるためには多くの実測を重ねていく必要がある。

本研究は榊原隆氏（現建設省土木研究所）藤田壮氏（現大成建設土木設計部）等多くの人の協力によりなされたものである。ここに記し感謝の念を捧げたい。

又、本研究の一部は文部省科学研究費（課題番号 58460173）（代表者 市川新）によったものである。

参 考 文 献

- 1) 市川 新：新しい雨水流出モデル—メッシュ法—の提案，京大防災研究所年報第 29 号 B-2, 1986, pp. 233~244.
- 2) 木下武雄：各種の流出モデルの比較，土木学会水工学に関する夏期講習会テキスト (A)，1972, pp. A-2-1~A-2-13.
- 3) 例えば Hall, M. J: Urban Hydrology, Elsevier, Applied Science Publishers, 1984, p. 214.
- 4) 例えば，建設省下水道部監修：下水道施設設計の指針とその解説，日本下水道協会，1984, p. 48.
- 5) 豊国永次・渡辺政広：大規模な都市雨水排水システムにおける流出シミュレーション，土木学会水理講演会論文集，第 31 号，1987, pp. 29-34.

付 録

1. A・B 2 流域の比較

	A	B
全流域面積 (ha)	150.72	56.52
流域内マンホール数	198	80
総括損失率	0.40	0.46
吐口までの最遠距離 (m)	2400	2640

2. 記号説明

- AMn: マンホール支配面積 (小流域面積) (アール)
Ls: 総括損失率
PMn: n 番目のマンホールのピーク流出量 (m^3/s)
PO: 吐口でのピーク流出量 (m^3/s)
TMn: n 番目のマンホールでのピーク流出量発生時刻 (分)
TO: 吐口でのピーク流出量発生時刻 (分)
VP: 下水管内流速 (m/s)
VS: メッシュ間移動速度 (分)