

メッシュ法の都市河川流域への適用—その手法と実際 (第2報)

The application of Grid Analysis to urban river basin—its method and case study II

東京大学工学部 正 員 市 川 新

建設省土木研究所 正 員 榊 原 隆

国鉄 大 口 豊

1. はじめに

筆者らは、都市域における新しい雨水流出量算定法として「メッシュ法」を提案し、その成果を発表してきた。メッシュ法は、1) 流域を10mメッシュで分割し、2) 各メッシュの流出率と雨水の移動方向を決定し、3) 流れの場として地表流と下水管流を考え、4) 雨水はメッシュからメッシュへと移動させマンホールに集め(地表流)、5) マンホールでの流量をたしあわせて懸案地点での流量を求める(下水管流) という作業を行うモデルである。前報では、数十haという小さな流域を対象とした旧モデルを改良し、数十km²の河川流域に適用可能とした新モデルの考え方を紹介し、試験流域における流量シミュレーションをおこない、実測値、旧モデルによるシミュレーション値との比較を行ったところ、新モデルが有効であることが示された。今回の研究では、雨水流出抑制型下水道の設置の有無の両ケースにおいて、流域から河道への流入量を求め、河道計算を行ったので、ここに報告する。

2. 研究の目的

都市化の進行に伴う、ピーク流量や総流出量の増加、流出時間の短縮に対処するため、総合治水事業が現在各方面で実施されている。下水道サイドでは雨水流出抑制型下水道が提案され、東京都をはじめ各地で施工されている。ここで用いられている浸透施設(透水性舗装、浸透雨水マス、浸透トレンチ)は、雨水量を減少させ、雨水流出を遅延化する効果をもつ。しかし、その効果を定量的に記述する方法、特に、流域全体にこれらの施設を組み込んだ場合の評価方法は確立されていない。

メッシュ法は、雨水の流れのうち、地表流をできるだけ細かく追跡する事に主眼をおいたモデルであり、流域を細かく(10mメッシュ)分割し、各メッシュにおいて雨水浸透施設の評価が可能であるように設計されている。

3. 流出の物理的機構とそのモデル化

1) 浸透、不浸透

地表面への降雨は、地表面の状態に応じて、浸透、滞留、流出される。都市域以外の斜面においては、浸透した雨水が一部再び地表面に現れることもあるが、都市域においては、地表面の勾配が小さく、雨水流出の実現時間が短いため、浸透した雨水は損失したものと考えてよい。

地表面の状態は様々であるが、ここでは次のように分類し、浸透面への降雨は全量損失し、不浸透面への降雨は全て流出するものと仮定する。

地表面  浸透面 ・・・不浸透面以外
不浸透面 ・・・道路、屋根、その他の舗装面

2) 流出の経路

河川に到達するまでの雨水の流下経路は、だいたい次のようであると考えられる。

降雨先 — (道路) — 道路側のマス — 下水管(排水管) — (マンホール)
U字溝

— 雨水吐口 — 河川

そこで、雨水の流れを、地表流と下水管流とに分けて考えることにする。両者の接点は本来雨水マスであるが、マスを1つ1つ評価するための1mメッシュが、次に述べるように不可能であるので、ここではマンホールを境界と仮定する。

4. モデルの記述

1) 地表流・流出率の決定

降雨量1に対し、 r だけ流出に寄与するとき、 r を流出率と呼ぶ。メッシュ法では、全てのメッシュについて流出率を求める。

旧モデルでは、メッシュ内の不浸透面の面積率を読み取り、これが流出率に等しいと仮定している。読み取りには、1:1670~1:2500の住宅地図を使用するため、メッシュ幅を限界値と思われる10mとした。

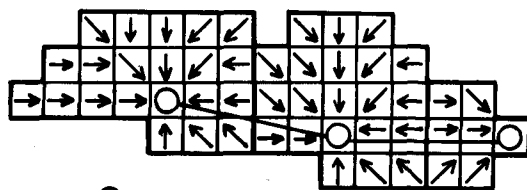
新モデルでは、国土地理院作成の細密数値情報を利用した。これは、首都圏の土地利用を19種類に分類し、10mメッシュデータで示したもので、磁気テープの形で利用可能である。あるメッシュの流出率を求めるには、そのメッシュの土地利用を知って、表1に示すような予め仮定した土地利用別流出率を当てはめればよい。

流出率は、下水道施設設計指針と解説の、工種別基礎流出係数の標準値、用途別総括流出係数の標準値を参考として決定した。

2) 地表流・移動方向の決定

地表流は、降雨先からマンホールまでの流れである。メッシュ図を用いてこの流れを表現すると、図1のようになる。時間間隔 dt の間の降雨量を R 、メッシュの面積を A とすると、 RrA の雨水が隣接したメッシュに移動する。この雨水は移動先の雨水と合わさり、次の dt の間にさらに下流側のメッシュへと移動する。雨水は最後にマンホールのあるメッシュ(マンホールメッシュ)に到達する。雨水の移動速度は、「メッシュ間移動速度」と呼び、このモデルにおける重要なパラメータの1つである。

旧モデルでは、下水道台帳の系統図、亀甲図を基として移動方向を手作業で求めている。新モデルでは、メッシュとマンホールの位置関係から方向を自動的に図2のように定める方法を用いている。マンホールの位置、多角形近似した流域の境界点の座標値は、デジタイザーを用いて入力する。



○ マンホール

→ 移動方向

図1 メッシュ図

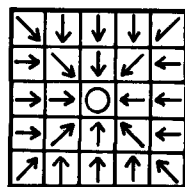


図2 移動方向

3) 下水管流

下水管流は、マンホールから雨水吐口（あるいは流量観測地点）までの流れである。下水管の設計流速は、下流にゆくに従って大きくなるが、その変動幅は小さい。また、下流部で流量が増加するがその変動に対しては、断面を大きくすることによって対応しているので、下水管内流速は一定として各マンホールから吐口までの流下時間を求めた。さらに各吐口の抱える流域の面積は小さく、マンホールから吐口までの距離が小さいので、下水管内の貯留効果は無視した。

吐口地点での流量ハイドログラフは、マンホールでの流量ハイドログラフの和である。その際、流下時間だけずらせて足し合わせる。

5. 試験流域でのシミュレーション

新モデルの評価のため、実測流量、旧モデルとの比較を行う。対象流域は、東京都下水道局の下石神井試験地で、吐口までの下水管に、水位計を設け、流量測定を行っている。土地利用状況と用いた流出率を表1に示す。シミュレーションに際するパラメータは、初期損失量 2mm、メッシュ間移動速度 3分/10m、流下時間=流下距離/流下速度(2.5m/s)である。結果を図3に示す。

波形をみると、新モデルは旧モデルとよく一致しており、自動化、省力化をはかった新モデルが、手作業の旧モデルに十分代わりうる事がわかった。しかし、ピーク流量は大きく異なっている。その理由として、流出率の与えかたが挙げられる。各土地利用の割合にそれぞれの流出率を掛けた総括流出率と、ピーク流量について、新旧両モデルを比較すると、表2のように新モデルの方が総括流出率大きい。その分ピーク流量も大きくなっている。旧モデルに合わせることを考えると、新モデルの流出率を下げればよい。しかし、何の項目をどれくらい減少させればよいかを物理的に求めることは困難である。この点は今後の検討課題としたい。

6. 河道計算—その1

石神井川流域のうち、最上流から練馬大橋までの13km²において、雨水吐口流域からの流出量をインプットとした河道計算を行った。

計算方法は、水理公式集例題集の例題2.6を用いた。これは、連続式(1)と運動方程式(2)を連立させた不定流計算である。計算間隔は、dt=20秒、dx=100mである。計算に用いた仮定は次の通りである。

- 1) コンクリート三面張りの矩形断面とする。
- 2) (2)式で第3項、5項のみを考える。
- 3) 流入水は、上流側に影響を及ぼさない。
- 4) 100km²当たり0.5m³/sの基底流量を上乗せする。
- 5) 水路幅変化による水頭損失は無視する。

$$\frac{\delta h}{\delta t} + \frac{\delta(vh)}{\delta x} = 0 \quad (1) \quad \frac{\eta}{g} \frac{\delta h}{\delta t} + \alpha_v \frac{\delta v}{\delta x} - i + \frac{\delta h}{\delta x} + \frac{n^2 v |v|}{h} = 0 \quad (2)$$

h:水深、v:流速、i:河床勾配、n:マンニングの粗度係数

図4、5は、シミュレーションの結果である。シミュレーションは、現状型と流出抑制型の双方行っている。現状型で用いた流出率は、前節と同様である。流出抑制型は、表3に示す3つの土地利用に関して流出率を小さくしたものである。シミュレーション値は実測流量のパターンをよく追跡している。図5では、実測値はむしろ流出抑制型に近いが、これは内水氾濫など別の要因で河川への流入量が減少したものと思われる。

7. 河道計算—その2—雨水流出抑制型下水道を評価したシミュレーション

前節における流出抑制型のシミュレーションは、流出率を一律に減少させたもので、対象流域内の地域特性を考慮していない。次に、下水道未整備地域の一部(133ha)に雨水流出抑制型下水道が施工された場合を考えてみる。

雨水流出抑制型下水道の評価方法は次の通りである。

透水性舗装による浸透は、土地利用区分の 11.道路 においてのみおこると仮定し、降雨の8割が浸透すると考えた。浸透は降雨先のみで起こり、隣接メッシュから流入してきた雨水に関しては、浸透を考えない。

浸透マス、浸透トレンチによる浸透は、マンホールにおいておこると仮定した。その理由は、これらの浸透施設は、ある程度流集した雨水を浸透させる働きを持つからである。マンホールにおける流量から、与えられた浸透能(マス1基 50l/分、トレンチ1m 60l/分)に流域内の施設数を乗じたものを差し引いた流量が下水管流となるものとした。

シミュレーションの結果を図6に示す。雨水流出抑制型下水道の施工により、現状に比してピーク流量が20%減少する。

8. おわりに

都市河川流域における下水道流量の算定法として、メッシュ法を提案し、河川流域への適用を行った。新モデルの大きな特徴は、土地利用別の流出率を使用したことで、これによりパラメータ数が増大し、メッシュ法の性格が、物理的なモデルから数学的なモデルへと変化してしまった。広い流域を細かいメッシュで解析する場合に、このことはどうしても避けられないことであった。今回のシミュレーションでは、流出率に対する吟味を十分行わずに先へ進んだので、今後は、試験流域でのシミュレーション例を多くして、より確からしい流出率を求めた上で、河道計算を行うことが必要であると考えられる。

謝辞：本研究の実施にあたって、東京都下水道局第二建設事務所、東京都土木技術研究所の方々に貴重なデータの提供等大変御世話になりました。ここに深甚なる謝意を表します。

参考文献

- 1) 市川他「都市域における新しい雨水流出シミュレーションモデルの提案—メッシュ法」
水利科学 28-1(1984)
- 2) 市川他「メッシュ法の都市河川流域への適用—その手法と実際」 水利科学 28-6(1985)
- 3) 市川他「メッシュ法の都市河川流域への適用—その手法と実際」 水講第29回(1985)

表1 土地利用別流出率とメッシュ数

土地利用	流出率	下石神井試験地	A橋までの流域
1. 山林、荒地	0.2	9	3062
2. 田	0.4	0	28
3. 畑	0.1	327	17188
4. 造成地	0.3	0	257
5. 空地	0.3	126	6826
6. 工業用地	0.8	0	617
7. 低層住宅	0.4	830	42299
8. 密集住宅	0.7	76	9713
9. 中、高層住宅	0.4	32	3747
10. 産業、業務	0.8	122	8546
11. 道路	0.9	290	23193
12. 公園、緑地	0.1	17	6021
13. 公共施設用地	0.7	214	10311
14. 河川、港湾	1.0	0	550
15. その他	0.5	0	0
計		2043	132358

表2 総括流出率とピーク流量

	総括流出率	ピーク流量
新モデル	0.48	1.01
旧モデル	0.39	0.63

表3 流出率の変更

7. 低層住宅	0.4	0.2
11. 道路	0.9	0.5
13. 公共施設用地	0.7	0.4

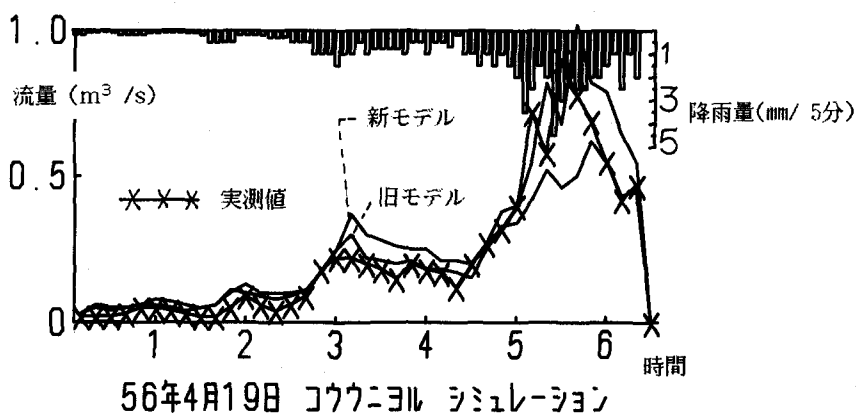


図3 下石神井試験流域における流量シミュレーション

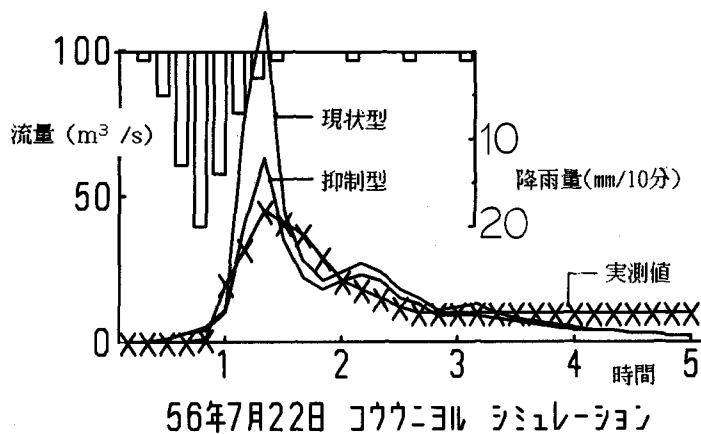


図4 河道計算その1

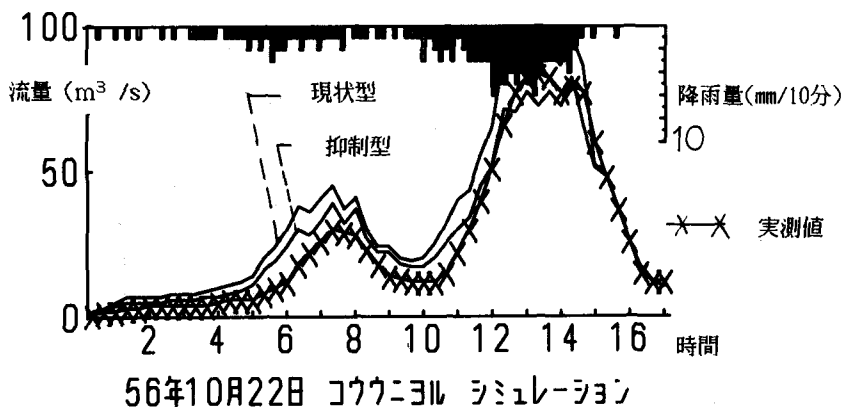


図5 河道計算その1

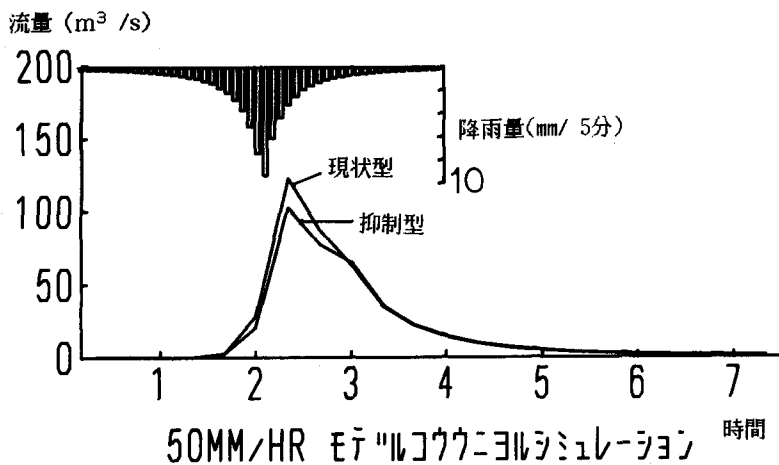


図6 河道計算その2