

メッシュ法による「雨水流出抑制型下水道」の評価の研究

Study on the Evaluation of Experimental Sewer System by Grid Analysis

東京大学工学部 正 員 市 川 新
東京大学工学部 学生員 神 原 隆

1. はじめに

都市域における10ha 前後の小さな流域における雨水流出算定法として「メッシュ法」を提案し、昨年度は主としてその考え方を発表した。今回は雨水流出抑制型下水道敷設地区に適用出来るようにモデルの一部改良を行ない実降雨についてのシミュレーションを行ったので、その結果を報告する。

2. メッシュ法の基本概念と雨水流出抑制型下水道地域への適用

メッシュ法はその名の通り流域を10mメッシュにかけて、各単位（セル）毎に降雨による流出量を求め、流下方向に従って流下させ、足し合わせを行い、流末での流量を求めるモデルである（図1）。雨水の流れをできるだけ忠実に追ってゆくとうなるかを考えた結果、このように小さな単位から計算をすることになったのである。一般流域への降雨に対するシミュレーションは、図2のように良い結果を示しているものが多い。流出抑制工法施工流域へのシミュレーションは、住宅都市整備公団昭島つつじヶ丘ハイツを対象に行っているが、降雨、流量とも30分毎の観測値であり、1分毎のハイドログラフを得るメッシュ法には不向きであったことから満足のゆく結果ではなかった。今回の解析の対象流域は、通常の市街地に雨水流出抑制型下水道を施工したもので、各施設の評価のため、図1の枠組の中に、浸透能、貯留能のパラメーターを組み込んだものである（表1）。必要なデータの種類の4から8へ、パラメータの種類は5から11へと増加する。

表1 メッシュ法のデータとパラメータ
※印は流出抑制工法流域の解析に必要な

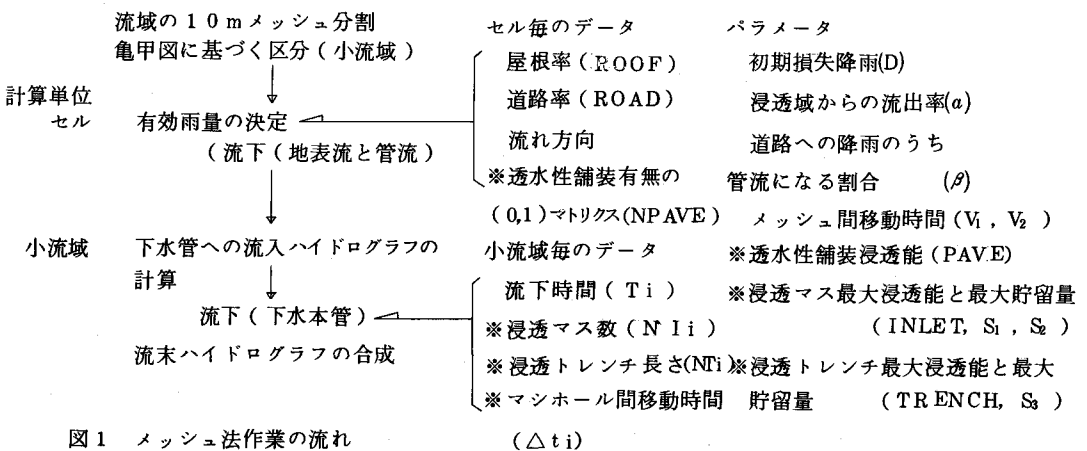


図1 メッシュ法作業の流れ

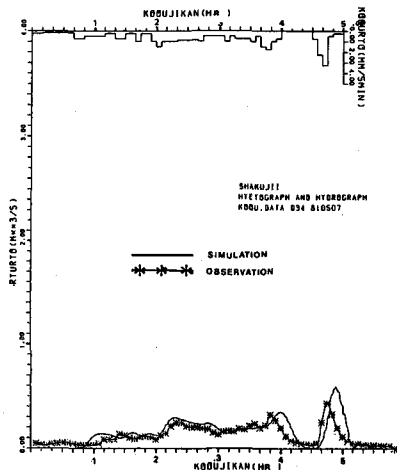


図2 シミュレーション結果と実測値との比較

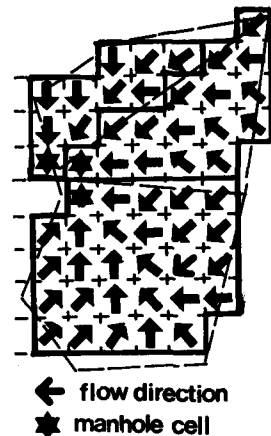


図3 流れ方向図

3. 雨水流出抑制型下水道

「雨水流出抑制型下水道」は、下水道の中に浸透、貯留機能を持つ施設を置いて、流出絶対量の削減，ピーク流量のカットや遅滞化を積極的に行おうとするもので、東京都をはじめとする各自治体、住・都公園等で実験的に工事が行われ、既にいくつかは完成し観測が行われている。

浸透・貯留のユニットプロセスとしては、次のようなものがある。

浸透：※透水性舗装、※浸透マス、※浸透トレンチ（浸透管）、※ストレーナー付浸透井、浸透LU側溝
貯留：※マンホール内貯留、メガネ貯留、遠まわし管、※管内貯留

※印は、今回の対象流域にあるものだが、このうち、①透水性舗装、②浸透マス、③浸透トレンチを取り上げ、評価を行う。

4. モデルの記述－浸透施設の組み込み

1) 有効雨量の決定

地表面すなわち降雨の落下場所を、①浸透域、②屋根、③道路（屋根以外の不透透域）の3つに分ける。小流域の末端に相当するセル－マンホールセルまでの流出形態を、地表流 Q_1 と管流 Q_2 に分ける。ここであるセル内の道路が透水性舗装であれば、道路への降雨の一定割合が浸透すると考える。このとき、 Q_1 、 Q_2 を次のように書く。（記号は表－1を参照）

$$Q_1 = R \times (ROOF + ROAD * (1 - \beta) * (1 - PAVE)^{NPAVE}) \quad R \text{ は 予 め } D \text{ を 差 し 引 い た 降 雨 量}$$

$$Q_2 = R \times (ROAD * B * (1 - PAVE)^{NPAVE} + [(1 - ROOF - ROAD) * a]) \quad () \text{ は 降 雨 強 度 大 の と き 有 効 と なる 演 算 子}$$

2) マンホールセルまでの流下

各セルで決定した Q_1 、 Q_2 をマンホールセルへむけて勾配に従い移動させる。その方向は将棋の王様同様上下左右斜の8方向を取り得る。セル間移動時間は、地表流は5分(V_1)管流は1分(V_2)とする。

また移動する雨は、移転先が全域浸透域であっても浸透しないものとする。

マンホールセルまでの流れに関して、実際には管など埋設されていない所に管流を考慮するのはおかしいが地表流のみの一元流によるものより、地表流、管流の二元流でメッシュ間移動時間を変えた方がシミュレーションの結果がよくなるが多かったため、全ての小流域で、二元流を採用することにしている。

3) マンホールセルから流末までの流れ

今回の解析の対象流域は、道路部に、④下水本管のみが敷設された区域と、⑤下水本管の他、浸透マスと浸透トレンチを組合せた「浸透施設水路」が道路の両側に設置された区域の2つから成り立っている。そこで各小流域を④、⑤に色分けし、別々に計算を行い最終的に両者を足し合わせて流末ハイドログラフを求めることにする。

④区域

小流域毎の各マンホールセルに於けるハイドログラフを地表流、管流それぞれに求め、双方足し合わせたものを $M_i(t)$ とすると、(i はマンホールセルの通し番号、 t は時間)④区域のみの合計流量 Q_A は、

$$Q_A = \sum_i M_i(t - T_i) \quad T_i: i \text{ 番目のマンホールセルから流末までの流下時間で、代表流速 (1.5 m/sec) から推定した値}$$

ただし $t - T_i < 0$ では $M_i = 0$

となる。

マンホール1(2)から流末までの流下時間を T_1 (T_2)
マンホール1(2)での流入量を Q_1 (Q_2)、流末流量を Q_E とする

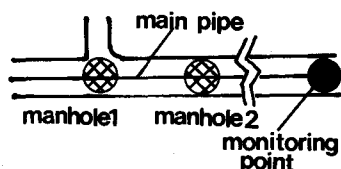


図4 ④区域道路平面図

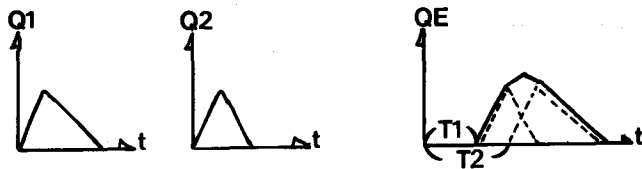


図5 流量の合成

⑤区域

「浸透施設水路」の浸透マスは図7のような二連マスになっている。左マスが泥溜で、道路からの降雨と上流側トレンチからの降雨はまずここに入る。ここでは浸透がおこらない。雨水の流入が続き、水位が一定高さ以上になると右マスへ越流する。右マスではまずマスの浸透、次にトレンチの浸透があり、浸透しきれなかった分が残る、これもある水位以上になると本管へ流入する。マスでは全降雨期間一定の比率で浸透するものとするが、トレンチでは、まわりの碎石の空隙が満たされた時点で浸透が止まり、下流側のマスへと雨水の移動が起こるというモデルを考えた。

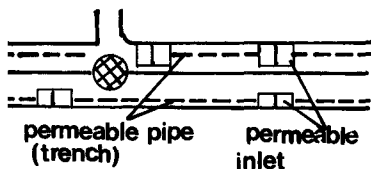


図6 ⑤区域道路平面図

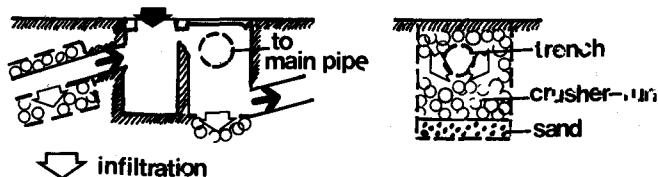


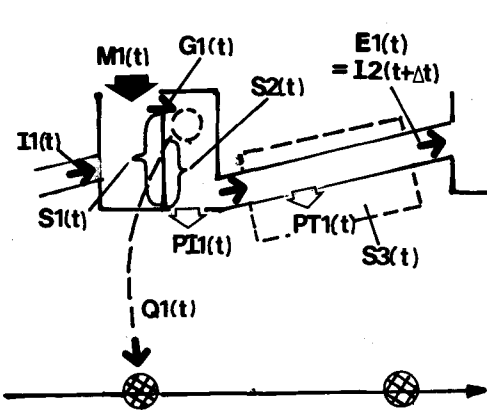
図7 同立面図

このモデルは各マス毎で考えなければならないが、本モデルでは、マンホールセル単位で取扱うことにしている。すなわち、小流域区域にマスが n コあれば浸透量、貯留量はそれぞれ単位量の n 倍としている。

以上の考え方で浸透マス、浸透トレンチを評価する。図 8 は、この考えを図化したもの、表 2 は各量の計算を示す。M は㊸区域のものと同概念である。E の行きつく先には浸透井があり、ここでも浸透が行われる。すなわち、㊸区域のみの合計流量 Q^B は

$$Q^B = \sum Q_i(t - \tau_i)$$

ただし $t - T_i < 0$ では $Q_i = 0$



- I : 上流側トレンチからの流入量
- M : マンホールセルでの流入量
- PI : 浸透マスでの浸透量
- PT : 浸透トレンチでの浸透量
- E : 下流側浸透トレンチへの流出量
- Q : 本管への流入量
- Δt : マンホールセル間移動時間

図 8 ㊸区域での流下モデル

表 2 各量の計算

$U = I + M + R1$	R1	G			
$U < S1$	U	0			
$> S1$	S1	$U - S1$			
$F = G + R2$	PT	R2	PT	E	Q
$F < INLET$	F	0	0	0	0
$< INLET + PT$	INLET	0	$F - INLET$	0	0
$< INLET + PT + S2$	INLET	$F - (INLET + PT)$	$TRENCH(*0)$	$0(*TRENCH)$	0
$> INLET + PT + S2$	INLET		$TRENCH(*0)$	$0(*TRENCH)$	$F - (INLET + PT + S2)$

- S1 (定数) 左マスでの最大貯留量
- S2 (定数) 右マス
- S3 (定数) トレンチでの最大貯留量
- INLET (定数) マスでの最大浸透量
- TRENCH (定数) トレンチでの
- G 右マスへの越流量
- R1 左マスでの貯留量
- R2 右マスでの
- R3 トレンチの貯留量
- U 左マスの総流量
- F 右マスの
- * $\sum PT > S3$ の場合

5. シミュレーション結果

対象流域、対象降雨の諸元と現地図を表3と図9に、シミュレーション結果を図10.11、表4に示す。

表3 諸元

対象流域 練馬区石神井町7丁目 9.35ha
 うち
 浸透域59%、屋根域25%、道路域16%
 ④区域4.35ha、⑤区域5.00ha
 対象降雨 1982年9月12日 9:00~19:00
 観測地点 練馬区石神井町7丁目、保健所
 総降雨量 157mm、最大降雨強度 8mm/5分

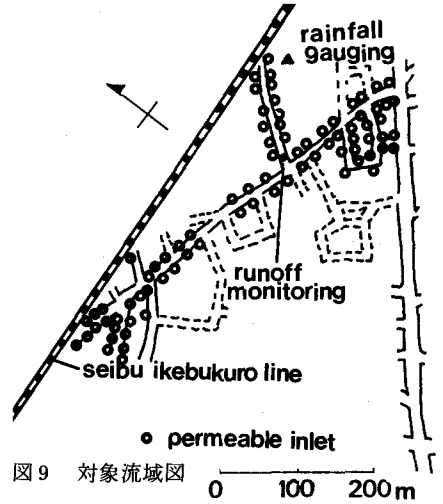


図9 対象流域図

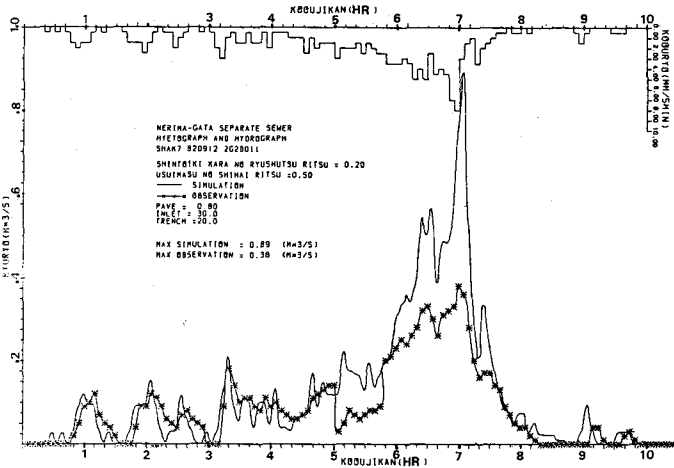


図10 シミュレーション結果と
 実測ハイドログラフ
 (case 3)

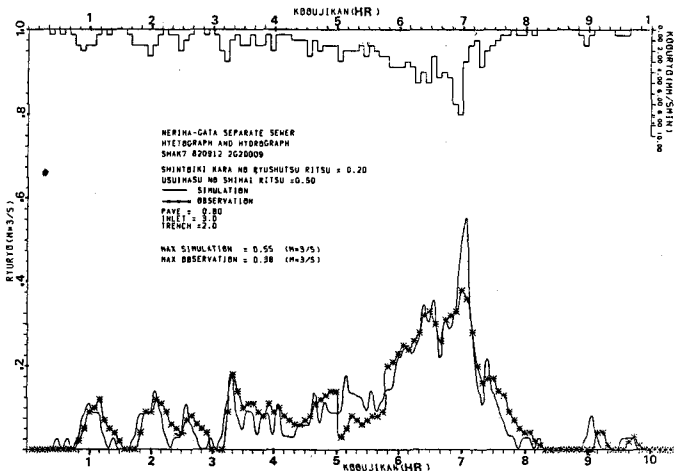


図11 シミュレーション結果と
 実測ハイドログラフ
 (case 4)

6. 考察と今後の課題

表4は浸透パラメータを変化させたときのシミュレーション結果をまとめたものである。case 1は浸透貯留のパラメータ共に0としており、雨水浸透工法施工前の状態をあらわす。case 1bは浸透のパラメータのみ0としたものである。case 3はcase 2よりかなり大きく浸透能を見込んだもの。case 4は㊤区域からのみの流出によるものである。

総流出量の比較を行うと実測値に最も近いのはcase 4であるから、浸透工法施工区域(㊤区域)からは殆ど流出がない状態でないと推定されるが、このためには従来の実験値より1～2オーダー高い浸透能を各浸透施設が持たねばならない。このことは、ピーク流量が実測値が低く出てくると合わせて今後の課題としたい。

case 5～7で簡単な感度解析を行い、各浸透施設の効果を推定する。総流出量において、case 1bの値からcase 5～7の値を引いたものが、各浸透単独の際の浸透効果となり、透水性舗装、浸透マス、浸透トレンチそれぞれ1.7mm、0.7mm、1.1mmとなる。これをcase 1の値から差し引くと、それぞれ63.2mm、64.2mm、63.8mmとなる。純粋に雨水抑制施設の効果を考えるならば、各caseからcase 4の値を引いたもので考えるべきであり、これによると純総出量は29.9mm、30.9mm、30.5mmとなり、削減率はcase 1の値と比べて5%、2%、3%となる。合計では10%である。これは浸透のみを考えた場合であり、マス、トレンチでの貯留を考えると、38%となる。マス、トレンチでの貯留効果が大きいことが推定される。

本研究を進めるにあたって、東京都下水道局第二建設事務所の方々からは貴重なデータを提供していただき、また向井正直氏にはメッシュデータ作製の労を煩わせた。これらの方々に厚く感謝いたします。

表4 浸透パラメータ変化とシミュレーション結果

case	PAVE	INLET (ℓ/sec)	TRENCH (ℓ/sec)	最大流出量 (m ³ /sec)	総流出高 (mm)
1	0.	0	0	1.03	64.9
2	0.4	3.0	2.0	0.95	52.9
3	0.8	30.0	20.0	0.89	48.3
4	㊤区域のみ流出			0.55	33.3
5	0.4	0	0	0.99	54.6
6	0	3	0	0.97	55.6
7	0	0	2	1.00	55.2
実測値				0.98	34.4
1b	0	0	0	1.01	56.3

参考文献

- 1) 東京都下水道局第2建設事務所他：雨水抑制型下水道とメッシュ法による雨水流出抑制効果の評価、1982
- 2) 市川他、雨水流出抑制とその評価のための流出解析法の提案、東京大学工学部総合試験所年報、第41巻
- 3) 市川他：メッシュ法による都市域の雨水流出機構の解析、第27回水講、1983