

II-124 表面流出についての現地実験とその解析

建・土研 正員 木下 武雄

“ “ 松原 重昭

“ “ 橋本 健

1. はじめに

都市化によってもたらされる洪水流出の質的变化(降雨損失あるいは洪水流下)については、実測資料に基づき数年前から徐々に明らかにされてきた¹⁾。一方、流出現象を小試験地にて精度よく追跡する方法としては、室内模型実験、数値実験、現地観測などがある。現在、小試験地を設けて調査しているが、雨待ちでもあり能率が悪い。また、数値実験にしても基礎的な数値に不明な点が多すぎる。

そこで、われわれのとった方法は、(i)野外実験として、できるだけ大きな試験地にて人工的な雨を降らせ、(ii)この結果を数値実験で電算機上にて再現し、(iii)必要な係数を逆算し、現実の流域への拡張を数値実験で行なう、といったものである。本報告の焦点は主として、(i)、(ii)に1つはった。また、それに関連し、表面流出の発生条件を知るために、ライシメーターによって弱雨における表面流出に関する簡単な検討も行なってみた。

2. 散水実験

試験地は、東京都面都の多摩丘陵の一角で、落合(草地、自然斜面)および瓜生(ローム・裡地・未建築造成宅地)の二区であった。散水は、エンジンポンプおよび鉄管によって配水し、スプリンクラーによって行なった。この装置では400㎡の広さに100mm/hr程度の散水ができる。

落合では、斜面を6m×10mに区切り、スプリンクラー12箇をもって散水した。試験面からの流出は、薄鉄板を用いた集水路によって流量測定のため、開角30度の三角堰に導いた。

瓜生では、造成された12m平方の宅地一區画をそのまま試験面とし、流出はモルタルを内張りした水路で集めた。

散水用のスプリンクラーは、ともに12箇を使用した。強度の分布を確認するため、試験面上に各30箇、24箇のカンを配置した。

〔結果〕

表-1は実験結果の一覧である。No.6は集水路の漏水等の不備により、またNo.9は散水用水の払底のため、ともに他のケ

表-1 実験一覧表

散水 No.	月 日	散水開始 時刻	地 点	強度 mm/h	散水時間 min	散水量 mm	流出量 mm	ピーク 流出量 cm ³ /s	ピーク 流出高 mm/h	ピーク 流出係 数	流出率
1	7:22	17:11	落 合	87.2	60.00	87.2	45.6	650.2	37.2	0.426	0.523
* 2	7:24	14:30	“	76.6	64.00	81.7	26.1	596.5	35.8	0.467	0.319
* 3	“	16:50	“	72.4	40.51	49.5	19.9	650.2	36.0	0.497	0.402
* 4	7:29	11:29	“	83.9	90.00	125.8	65.0	518.0	31.1	0.371	0.517
* 5	“	15:15	“	73.2	60.00	73.2	40.6	435.0	26.1	0.357	0.555
6	8:12	13:00	瓜 生	45.5	48.00	36.4	2.2	293.6	7.3	0.160	0.060
* 7	8:14	11:00	“	45.2	40.00	30.1	11.1	1082.6	27.1	0.598	0.361
* 8	“	14:00	“	48.6	21.30	17.4	7.6	1110.6	27.8	0.571	0.437
9	8:28	13:00	“	41.0	22.56	15.7	1.3	327.9	9.3	0.227	0.003

ースと異っている。
なお、表-1にあげた期間を含む7月30日～8月11日の間には、30mm程度の降雨しかなく、表土は常に乾燥していた。

3. 数値実験

数値実験に際しては、表面流入の供給をあらわすモデルと、試験面・集水路における流れをあらわすモデルを設定した。

〔表面流入の供給〕

降雨損失を、時間的に2つに区分した。まず、全降雨が損失にまわる初期損失である。この部分は散水実験に際しても明瞭に認められ、急傾斜の草地なら遮断、平坦な裸地なら凹地貯留によって、水は試験面上に全て滞留する。次いで表面流出が発生し出すと急速に発達する。このときは、いくつかの検討の結果、HORTON型の浸透損失がよく適合することがわかった。

なお、集水路は前述のような材質であったので、損失はないものとした。

〔流れ〕

一般に斜面上における運動方程式は

$$v = a R^m I^n \quad (1)$$

とあらわせるが、ここではMANNINGの等流公式を用いた。

$$Q = A \cdot \frac{1}{n} \cdot R^{\frac{2}{3}} \cdot i^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

連続関係は、区間ごとに一樣な横流入があるものとして、

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = R - f \quad (3)$$

(2) および (3) を直接積分することにより数値実験を行なった。Rは散水強度をそのまま用い、fは(4)、(4')式とした。

$$f = R \quad (t < t') \quad (4)$$

$$f = f_c + (f_0 - f_c) \cdot e^{-k(t-t')} \quad (t \geq t') \quad (4')$$

〔結果〕

結果の1例を図-1に示す。数値実験は、表-1の米について行なった。n, f_c, kが未知のパラメータになるが、それらの推定値を表-2にあげる。f_cは、最終損失量であるが、同一の試験面でも日によってけらつく。散水No.4

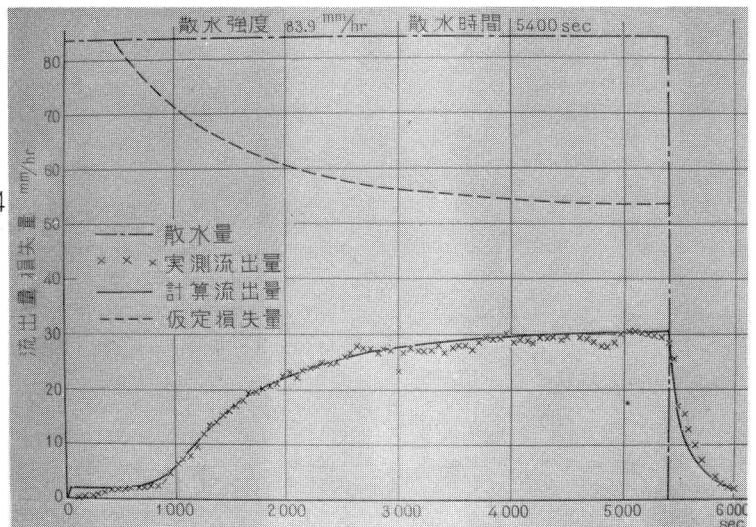


表-3は、流速・水深を散水実験と数値実験について比較したものである。測定誤差、モデル設定時の捨象などを考えうと、オーダーの上では一致しているといえよう。

(2)式についても適合性は比較的よい。

表-2 最終計算諸元

散水 No.	月 日	場 所	運動方程式の n		初期損失		HORTON 型の浸透量		
			斜面	水路	時間 (sec)	量 (mm)	初期浸透量 (fo) (mm/hr)	最終浸透量 (fe) (mm/hr)	k
2	7:24	落合	0.8	0.012	250	5.32	76.6	36.4	0.0007
3	"	"	"	"	0	0	72.4	37.4	0.004
4	7:29	"	"	"	450	10.49	83.9	57.2	0.0009
5	"	"	"	"	150	3.05	73.2	49.0	0.006
7	8:14	瓜生	0.1	"	450	5.65	45.2	17.3	0.003
8	"	"	"	"	50	0.68	48.6	22.7	0.01

表-3 実測値と計算値

散水 No.	区域	散水開始後 (sec)	斜 面				水 路			
			流速 (cm/sec)		水深 (cm)		流速 (cm/sec)		水深 (cm)	
3	A	1380	実測	モデル	実測	モデル	実測	モデル	実測	モデル
	B	1240	1.0	1.4	0.5	0.5	40 ²⁾	88	1.6	1.79
7	A	1200	0.9 ¹⁾	1.0	0.5	0.3	60 ²⁾	112	1.6	1.70
	B	1200	—	2.5	0.4	0.3	30 ²⁾	22	1.0	2.1
					0.2	0.1	50 ²⁾	22	1.0	1.0

1) 下流部6mの平均 2) 下流部3mの平均
3) 下流部5mの平均

4. 表層追加保留と表面流出の発生

土壌の保湿度と表面流出の発生条件の関係を知るため、ライシメータによる実験を行なった。これは、50 cm 立方の箱の中にローム土を詰め、下端は浸透水が自由に流出できるようにしてある。散水強度は18 ± 1 mm に統一して行なった。

表層付近にあって、土湿不足を越えて土中に含まれている水分を表層追加保留量Mとする。降雨が止んだ後、水分の拡散の影響が現れない程度の期間における、表層追加保留量の減少率を考えてみる。今、近似的に減少率はM自身に比例すると考えて²⁾

$$dM/dt = -kM \quad (5)$$

$$M = M_0 \cdot e^{-kt} \quad (6)$$

降雨によって飽和した通常の上については

tは降雨後の経過時間、M₀は、最

大表層追加保留能である。図-2

はライシメータによる実験の結果

である。tく300分の範囲では、

(6)の関係が比較的良好に成立っ

ていて、M₀が0.58 mm程度で

あることがわかる。

表層追加保留能をPとすると

$$P = M_0 - M_0 \cdot e^{-kt} \quad (7)$$

図-3からkは0.0285 (1/分)

と読み、Pの単位をmm、tを分

であらわすと、

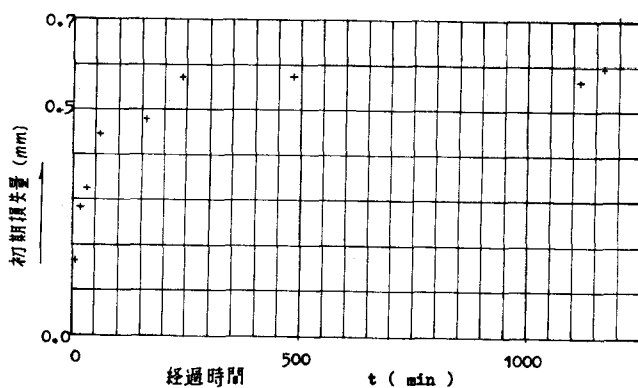


図-2 経過時間と初期浸透量

$$P = 0.58 (1 - e^{-0.00255t}) \quad (8)$$

となる。^{*}(8)式の適合度は深さ方向の分布を無視したことにより必ずしもよくはなく、むしろこれから土の含水量等と結びつけることが必要になってくるだろう。³⁾

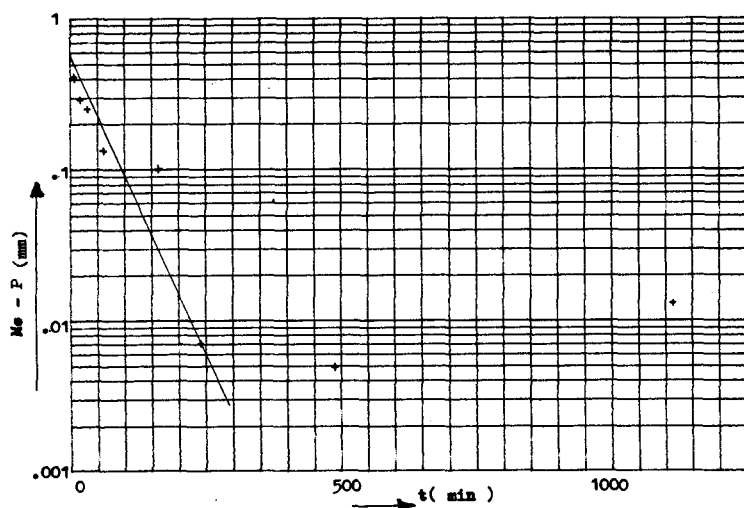


図-3 経過時間と $(M_0 - P)$

5. おわりに

散水実験において、初期損失(遮断・凹地貯留・土湿不足)が、草地で0~10 mm、裸地で1~9 mmとそ

のときどきの保湿状態によって大きく変動することが判明した。

HORTON型の指数低減が、流れの問題も含めたモデルによく適合することが確かめられた。表-2に見るように、 k の値は直前の散水の存否により one order の差異を示した。

※

P はその時点において、表層が吸水しうる水分の量と考えられる。従って降雨があったとき起こるであろう初期損失の大きさの目安となる。

参考文献

- 1) 木下武雄 「都市化による流出の変化」 土木技術資料 Vol.9, No.9
- 2) 金子 良 「滲透能に及ぼす土湿の影響」 農業土木研究 Vol.2, No.3.
- 3) 青木佑久 「雨水の浸透と表流の分離の追跡式」 年講 24回 1969.9