

付録1. 池の平地区の流出機構について

菅原正巳・尾崎睿子
国立防災科学技術センター

Appendix 1. On the Runoff Structure of Ikenotai Experimental Basin

By
M. Sugawara and E. Ozaki
National Research Center for Disaster Prevention, Tokyo

目

1. 目 的…………… 153
2. 調査地区の概要…………… 153
3. 資 料…………… 153

次

4. 得られた流出機構および結果…………… 158
5. 流出機構を決定するまでの経過…………… 158

1. 目 的

本報告の目的は、阿蘇カルデラの北側の傾斜地にある農林省の池の平調査地区の流出機構を解析することである。

元来この研究は西日本の傾斜地における干害に関する研究の一環として行なわれたもので、池の平調査地区のような小流域で流出機構を解析することによって、かかる地域の水収支を明らかにし干害時にどのような洪水が起るかを明らかにすることが期待されたのである。

池の平調査地区の現地に行ってみて、この地区の河川は大降雨の際にしか水が流れないことが判った。つまりこの地区の川の流出解析をしても、洪水の解析の役に立つとは思われない。しかし、水文学的にみれば、阿蘇のカルデラのような特殊土壤でどのように水が浸透するか、どのように表流が現われるかは、きわめて興味が深い。このようにして、本報告は干害の問題からいささか離れ特殊土壤小流域における流出解析に関するものとなった。

2. 調査地区の概要

池の平地区は熊本県阿蘇郡阿蘇町大字小池字池の平にあり、各種強度降雨時の流出機構を明らか

にするとともに、自然条件および土地利用と侵食との関連について調査検討を行ない、農地保全計画樹立の基礎的な資料を得ることを目的として設置された。

地区面積は11.68 haで、その内訳は山林6.56ha 水田1.00ha、畑地2.77ha、原野1.15ha、宅地0.04ha 河川0.06ha、道路0.10haである。

この地区はカルデラの北側、外輪山の裾の傾斜した起伏の多い地形で、標高は600m内外である。本地区からの流出量は三角量水堰と日巻自記水位計により、また雨量は日巻自記雨量計により測られている。

地下水位も井戸の水位が何日おきかに測られている。

3. 資 料

本報告の解析の資料は熊本県阿蘇事務所耕地課に保管されていた、日巻自記水位計、日巻自記雨量計の記録紙から読みとった値である。

雨量、水位の記録紙は何年分があったが、不幸にして、雨量、水位の両方が揃って居るものは多くなかった。その上、昭和42年7月に自記水位計を更新する以前の水位記録には、信頼性の乏しいものが多いように感じられる。水位計がどこかに

引っかかって、うまく動かない場合が多いらしい。そう考える以外には、どうしても雨との対応がつけられない。折角の資料であるから、雨と対応をつけながら、どこまでは水位計が動き、どこで引っかかって止まったかを明らかにできないかと考え、全資料の数値化は一応してみたのであるが、事故発生率が高いらしく、42年6月以前の資料はついに利用を断念した。

昭和42年に水位計を更新したのは、古い水位計に故障が多かったからであろう。そこで今回の解析の対象は42年7月以降だけになったが、10月以降の水位記録がほとんどないので、結局42年7月から9月までの僅か3カ月の記録を利用し得たにとどまった。図-1は自記水位計のハイドログラフの一部を示している。

更新した水位計も、具合の悪い日がかなりあり始めの頃は毎日一方的に水位が下って居るし、また8月に入ると雨もないのに（水位記録紙に本日快晴と記入してある）、不思議な曲線が記録されて居る例が散見する。図-1のe)はその例である。

このような資料の中から、雨量と水位とを対照しつつ、役に立ちそうな所を選び出した。今回の解析に用いた雨量と水位の値は付表に出て居る。

雨量と水位との値は10分ごとに読みとった。10分ごとの資料をとったのは、図-1からも明らかなように、水位の時間的変化が速かたで、1時間ごとの読みとりでは、その変化を追跡できないからである。

筆者はおよその目安として、流出解析を行なう場合の時間の単位は、流域面積の平方根に比例して定めるのがよいと考えている。筆者が流出解析をした流域は何百 km^2 の程度のもが多く、それからの洪水流出解析は1時間単位ではほぼよいと思う。100 km^2 程度の流域では30分資料の方がなおよいと思うこともあるが、1時間資料しか入手できない場合が多いから、それで我慢をしている。流域面積が1,000 km^2 ～2,000 km^2 となると、2時間単位でもよいと思われるが、ふつう雨量、流量ともに時間記録で与えられているから、とくに2時間資料にせずに、1時間を単位として居る。

ずっと以前、宝川(19.06 km^2)の洪水流出解析をしたときは、10分～15分程度を時間の単位としてとる必要を認めた。19 km^2 は500 km^2 の $1/25$ であるから、500 km^2 が1時間単位でよければ、19 km^2 は $1/5$ 時間、つまり12分が適当な時間単位という

ことになる。宝川のときは、記録紙の関係で10分ごとに記録をよみとって資料としたのであった。

池の平地区の流域面積は11.68ha \approx 0.1 km^2 で、流域100 km^2 ～500 km^2 で1時間単位が適当という規則をそのまま適用すれば、時間単位は1分～2分が適当ということになる。事実、出水の際の減水の様子をみると、甚だしいときは僅か10分のうちに、流量が $1/10$ 程度に落ちる。この減衰率では5分で約 $1/3$ に落ちるわけで、これに対しては時間単位を2分～3分にしないと、減衰曲線の解析は行ないにくい。

しかしながら、1日巻きの記録紙を、2分～3分間隔でよみとることは精度上無理である。たとえ、よみとったとしても、誤差が大きすぎる。そこで10分ごとの雨量と水位とをよみとることにしたのである。

10分ごとの資料をとることになって困るのは、自記雨量計、自記水位計の時計が合わないことである。今回の解析の結果をみても、時計が合わなかったことによると思われる時間のずれがある。今回はそれについて、一切修正を行なわないことにした。読者は時計のずれを考慮に入れながら、結果をみていただきたい。

時計を一致させるためには、自記水位計、自記雨量計を同一記録紙の上に記録させる方式が望ましい。または標準時計からパルスを出して、各自記録紙に共通の時刻を入れるようにしてもよからう。

地下水位の記録は入手できなかった。

4. 得られた流出機構、および結果

流出解析は直列の貯留型モデルによって行なったが、得られた流出機構は図-2に示すように、いつものモデルとは少し異なった形になった。

この流域は火山灰地の共通の特性として、きわめて浸透がよい。しかも浸透した水は地中深く入ってしまって、この流域の川には基底流量として現われて来ない。そこで川は大雨のときにだけ流れ、ふだんはかたれている。ふつうの流域では3段または4段の直列型モデルが必要であるが、この流域では一番上の1段だけで十分である。それが図-2のIのタンクモデルである。

図-2のIの容器からの表面流出は、河道に入っていくらかの変形を受ける。その変形を与える機構が図-2のIIである。容器IIからの流出が最終的な結果を与える。

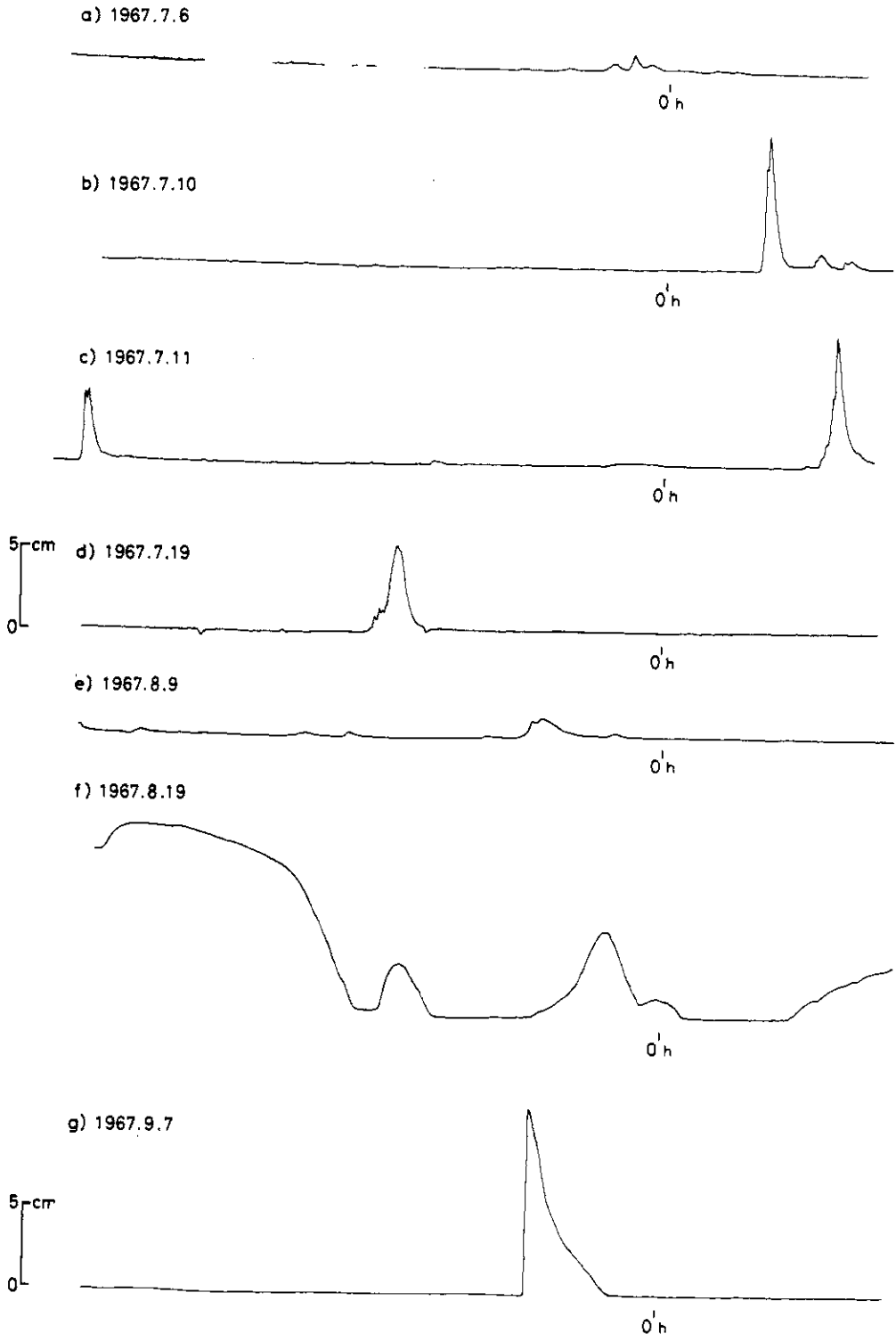


図-1

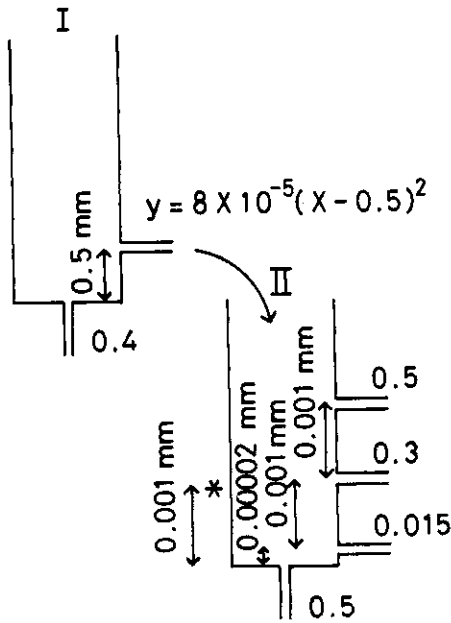


図-2

図-2のモデルについて、もう少し説明を加える。雨は容器Iに注入される。容器Iの中の水は一部は側面の孔から流出し（表面流出）、一部は底面の孔から浸透する。表面流出 Y と貯留高 X との関係は次式で与えられる。

$$Y = \begin{cases} 8 \times 10^{-5} (X - 0.5)^2 & 0.5 \leq X \\ 0 & X < 0.5 \end{cases}$$

底面の孔からの浸透 Z は貯留高に比例し、次式で与えられる。

$$Z = 0.4 X$$

ただし、 Y 、 Z は10分ごとの流出高で表わされているとする。この計算は10分間隔で時系列的に行ない、ある時点の貯留高が X ならば、その時点の

表-1

雨量	貯留高	流出高	浸透高
30	30.00	0.0696	12.00
0	17.93	0.0243	7.17
0	10.73	0.0084	4.29
0	6.43	0.0028	2.57
0	3.86	0.0009	1.54
0	2.31	0.0003	0.93
	1.39		
計		0.1063	28.50

流出高 Y 、浸透高 Z が上式で与えられるとして、計算は進行する。いま仮りに、容器Iが空の所に10分間に30mmの大雨があり、その後雨がなかったとすると（かかる雨は、稀ではあるが九州では起こり得ると思われる）、以後10分ごとの流出高、浸透高は表-1に示すようになる。結局、1時間内の流出高が約0.1mm、浸透高が28.5mmである。最初の10分間の雨量が20mmでその後雨がなければ1時間内の流出高は約0.04mm、最初の10分間の雨量が10mmでその後雨がなければ、1時間内の流出高は0.01mm程度にすぎない。この地区の浸透がいかに大きく、表面流出がいかに小さいかが判るのである。

また仮りに、10分間に20mmずつの雨が1時間降り続いて以後止んだとすると、10分ごとの流出浸透は表-2のようになり、この場合でも流出高は1mm/時の程度にすぎない。

表-2

雨量	貯留高	流出高	浸透高
20	20.00	0.030	8.00
20	31.97	0.079	12.79
20	39.10	0.119	15.64
20	43.34	0.147	17.34
20	45.86	0.165	18.34
20	47.35	0.176	18.94
0	28.23	0.062	11.29
0	16.88	0.021	6.75
0	10.11	0.007	4.04
0	6.06	0.002	2.42
	3.63		

我々が今回用いた資料のなかには、10分間に10mm程度の雨しかなく、それも長くは続かなかった。このような僅かな資料から導いた流出モデルの信頼性は乏しいと考えなければならない。そのモデルを120mm/時の豪雨までに適用するのは危険であるが、図-2の容器Iが、いかに浸透がよい構造になっているかを示すために、表-1、表-2の計算を示したのである。

図-3は図-2のIのモデルについて、流出高浸透高が貯留高といかなる関係にあるかを図示したものである。この図では、流出高は浸透高に較べて、目盛を500倍に拡大してある。500倍に拡大して、流出高と浸透高とがほぼ同程度になるから、いかに浸透が大きいかが判る。

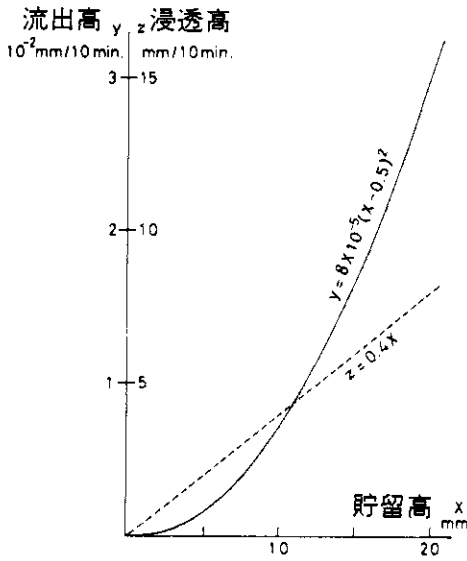


図-3

図-2の流出機構では、Iの構造が主要部分でIIは河道に入った流量に変形を与える役目である。容器IIの側面の流出孔、底面の浸透孔の所に書かれている乗数は時間で10分単位に対するもので、その流出孔にかかる水頭にこの乗数を掛けたものが、10分間の流出高となる。なお浸透の方は、貯留高が0.001mmになる点で頭打ちになり、以後一定値となる。容器IIの側面に打たれた米印は、この飽和の場所を示している。

図-4は容器IIについて、流出高、浸透高と貯留高との関係を示す。右側の図は貯留高が小さいときの拡大図で、貯留高が小さいときは浸透が大きな部分を占めるが、貯留高が大きくなると、浸透の影響は僅かで、容器IIは近似的には単なる1次遅れ系の作用をしている。図-2の容器IIの構造で特徴的なことは、流出孔のつく位置が0.00002mm、0.001mmなどと、きわめて小さい点である。

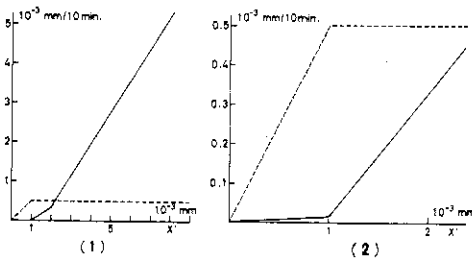


図-4

ふつうのダングモデルでは10mmとか15mmという値が現れる場所だけに異常にみえるが、容器IIは容器Iからの流出を受けて、それに変形を与える構造である。ところで容器Iからの流出が10分につき 10^{-3} mm、 10^{-2} mm程度のものであるから、容器IIの構造が 10^{-5} mm単位で表わされる程度のものになることはやむを得ない。

容器IIの一番下の流出孔は 2×10^{-5} mmの位置についている。貯留高がそれ以下のときは、水は浸透するばかりで、流出しない。この 2×10^{-5} mmに流域面積11.68haを掛けて水の体積にすると、2ℓ程度になる。このように小さな初期欠損をつけることの物理的意味は疑わしいが、側面の流出孔を底面の高さにつけて置くと、流出がいつまでも(蒸発散を計算に入れない限り、理論的には無限に)裾を引いて具合が悪いのである。このような技巧的な初期欠損構造をつけるより、貯留量が0に近づいても、浸透量が何かある正の値に近づくような方式をとる方がよいのかも知れない。

容器IIからの浸透が頭打ちになり、そして流出が大きくなり出す 10^{-2} mmは、水の体積にすると約100ℓである。また頭打ちになったときの浸透高は10分につき 0.5×10^{-3} mmで、水の体積にして10分につき約60ℓである。

付表および付図-1、付図-2は得られた結果を示す。

付表のP、Hは記録紙からよみとった雨量と水位である。QはHから算出した流出高で 10^{-3} mm/10分を単位にして示してある。Q̄、H̄は雨量から図-2の機構で算出した推定流量および推定水位である。

付図-1は算出された流量を実測と比較するため、これを片対数方眼紙上に図示したもので、流量0に対する対数値が $-\infty$ になる不便を逃れるため、流出高に 10^{-6} mm/10分を加え、その値を片対数方眼紙上に描いたものである。

付図-2は実測水位と推定水位とを比較したものである。

付図-1、付図-2をみると、よく合っている所もあるが、今回は一応この程度で諦めることにしたい。

実測と推定とが合わないなかで、一番目立つのが、7月19日の出水で推定が過大に出、9月7日の出水で推定が過小に出ていることである。しかしこの二つの出水の際の雨量と水位との記録をみ

表-3

月・日・時	P	H	月・日・時	P	H
7. 19. 15	0	1. 0	9. 7. 19	0	0
	1. 0	8. 0		1. 0	0
	6. 5	12. 6		2. 5	0
	3. 0	15. 0		3. 0	0
	8. 5	40. 0		3. 0	0
	9. 5	50. 0		6. 0	0
16	5. 0	38. 0	20	7. 5	108. 0
	0. 5	16. 0		3. 5	94. 0
	0	7. 0		1. 5	82. 0
	0	5. 0		0. 5	66. 0
	0	3. 0		0. 5	50. 0
	0	2. 4		0	43. 0

ると、表-3のように、9月7日の方が雨が少ないのに、水位は2倍以上に上っている。流量にすると約7倍である。このようなことは、考え難いことである。一つの考え方として、雨量の地点による変動の大きさに原因を求めることができる。7月19日には、たまたま雨量計の所に雨が多く降ったが、流域全体としてはあまり降らなかった。9月7日はその逆であった。このようなことは考えられないことではない。流域がいくら狭くても雨量の地点変動はかなり大きいのが常である。そこで筆者は流域の広さに関係なく、数地点の雨量がほしいと、原則的に考えている。流域が小さいからと言って、1地点の雨量からではよい結果が得られない場合がある。さて、雨の地点による変動が大きいのは事実であるが、表-3に示すようなことが、雨の地点変動だけから生じたかどうかについては、実は少し疑問がある。9月7日の正午少し前に、0.5mm、0.4mm、9.0mmと20分間に13.5mmという、かなりの雨が降っているのに、水位は全く上昇していない。これだけの雨が降って、水が全く出て来ないのも変であるし、その9月7日の20時になって、0の水位が突然108mmにはね上るのも少し変である。水位計がどこかに引っかかって動かずに居たのが、はずれた勢いで行き過ぎて、高い水位を示したのかも知れない。このような測定上の過誤についても疑問が残るが、今となっては検証の方法がない。

筆者が最初不思議に思ったのは、7月11日の出水であった。6時までは推定のあり方が実測より20分あまり先行している。これは時計のずれであ

ろう。ところが6時半頃の出水では、推定が50分ほど遅れる。このずれは、雨の地点変動の貴に帰するには大きすぎる。長いこと疑問に思っていたが、実は6時頃に記録紙をとり換えているのである。そう気がついて眺めると、7月12日の6時まで、ほぼ40分~50分程度、推定が実測より遅れている。時刻の修正を念頭に置いてみれば、7月11日~12日の水位、流量は、実測と推定とがよく合っているとみてよかろう。

今回の解析は、資料不足の点もあって、不満の点も多いが、もう少し資料が揃ったところで、再び解析を行ないたい。

5. 流出機構を決定するまでの経過

池の平の現地を訪れ、記録紙を送って貰うことを頼んだとき、池の平地区の昭和42年度の報告書を貰った。これには10個の出水につき、雨量、水位、流量の時間資料が出ている。そこで、これを資料にして、予備的計画を行なってみることにした。試算の結果は否定的であった。資料に何かの誤りがあるに違いない。どんな流出機構を考えても、この雨量と流量とは結びつかないと感じた。

記録紙が届いてみると、水位計がうまく動いて居ない場合が多いことが判った。雨量、流量の資料が揃っているものの中から、具合の悪いものを除いて行くと、結局42年7月~9月だけが残った。その10分資料を用いて、解析が始った。

報告書の時間資料を用いてした予備計算がNo.1~No.6と、6回行なってあったので、10分間資料による試算はNo.7から始まった。No.7は見当をつ

けるための試算で、これがきわめて過大な推定を与えることから、No.8 への大幅な修正が行なわれた(図-5)。

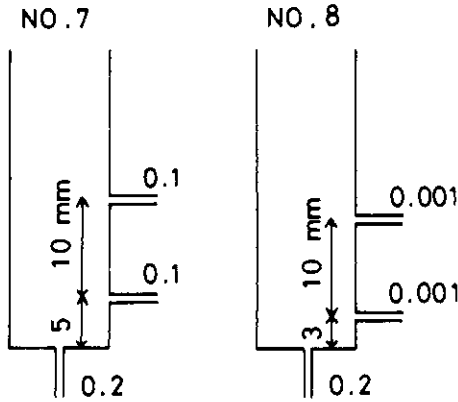


図-5

No.8 による推定流量の hidroグラフの裾の引き方を実測に合わせるために、表面流出にさらに変形を与える必要があると考え、図-6 の方式を用いることにした。これは図-2 の最終の流出機構と大体同じ方法で、およその形はこれで定まったと言える。

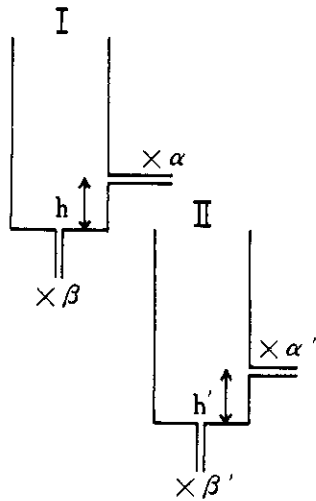


図-6

図-6 に文字で示したパラメーターの値を種々変えながら、表-4 に示すように、試算 No.9 ~ No.13 が行なわれた。No.13 の後、No.14, No.15 と、No.8

表-4

	容器 I			容器 II		
	α	β	h	α'	β'	h'
No.9	0.001	0.2	5	0.3	0	0
No.10	0.001	0.3	7	0.5	0	0
No.11	0.001	0.2	5	0.3	0.2	0.01
No.12	0.002	0.3	3	0.4	0.1	0.001
No.13	0.002	0.3	4	0.6	0.1	0.001

の貯留型に近い定数を持つ一段の貯留型が試算された。実はこのあたりで、少しプログラムに誤りがあったて混乱した。

No.14, No.15 の後、再び河道による変形を与える方式に戻った。ただし図-7 に示すように、容器

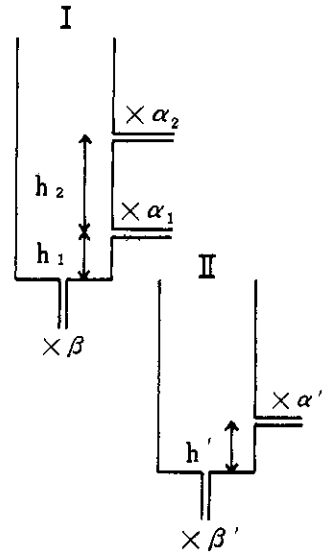


図-7

I の側面に 2 個の流出孔をつけた。この方式でパラメーターの値を変えながら、No.16 から No.22' まで、表-5 に示すように 12 回の試算が行なわれた。

No.22'' の試算で、一応かなりよい結果が出たと考え、1 月あまり試算を休止した。

No.16 ~ No.22'' のモデルで、容器 I の構造はあまり変化させていない。この容器 I の構造では、10 分間に 1 mm 程度の雨が降り続いても、表面流出は出て来ないのである。それは容器 I の側面の下側の流出孔が底から 2 ~ 3 mm の所についていること、また底面の浸透孔の係数が大きく、水通しがよい

表-5

	容 器 I					容 器 II		
	α_1	α_2	β	h_1	h_2	α'	β'	h'
Na 16	0.001	0.001	0.3	3	3	0.5	0.05	0.01
Na 16'	0.001	0.001	0.3	3	3	0.5	0.02	0.005
Na 16''	0.001	0.001	0.3	3	3	0.5	0.01	0.007
Na 17	0.001	0.001	0.3	2	2	0.7	0.005	0.007
Na 18	0.001	0.001	0.3	2	5	0.7	0.002	0.007
Na 19	0.001	0.001	0.3	3	10	0.7	0.001	0.005
Na 20	0.001	0.001	0.5	3	10	0.5	0.001	0.005
Na 21	0.001	0.001	0.5	2	10	0.5	0.001	0.005
Na 21'	0.001	0.001	0.5	2	10	0.5	0.001	0.007
Na 21''	0.001	0.001	0.5	2	10	0.5	0.002	0.006
Na 22	0.001	0.001	0.5	2	10	0.5	0.002	0.005
Na 22'	0.001	0.001	0.5	2	10	0.5	0.005	0.005

ことから明らかであろう。ところが現実にはそのような雨でも、僅かな流出が起こるらしい。あるいは流域のどこかで、もう少し大きい雨が降り、そこからの流出で僅かな流出が見られるのかも知れないが、元来筆者のモデルは、そのような雨量の変動の統計的効果までを含むことができるはずのものである。水理学的に考えれば流域からの流出は複雑である。それを全般的に眺め、それとほぼ同様の効果を持つような近似をするのがモデルの役目である。

さて、僅かな雨に対して僅かな流出を出すためには、容器 I の底面に近く、小さな流出孔をつければよい。そうすると、流出孔の数を沢山にしなければならない。そこで流出孔を無限個つけた場合、つまり流出高と貯留高の関係を折れ線関数で近似するのではなく、滑らかな曲線で近似する方がよからうと考えた。その滑らかな曲線として、まず放物線を想定した。従来もときどき用いて、よい結果を得ている方式である。

方式変更に伴い、試算モデルの番号は Na 101 から打つことにした。まず試算したのは図-8の方式で、Na 101 には次の係数を用いた。

$$Y = 6 \times 10^{-3} X^2, Y' = 2.5 X'^2$$

$$h = h' = 0, \beta = 0.5, \beta' = 0.005$$

Na 101 は容器 II の構造が悪く、推定値はゆるやかな裾を引きすぎる。Na 101 の容器 I の構造は、Na 22' のものとかかり似て居て、以後も容器 I の構造はあまり変化しなかった。

Na 101 がよい結果を与えなかったので、容器 II

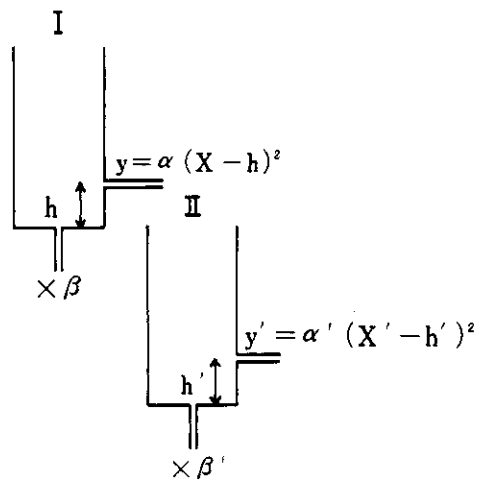


図-8

をふつうの貯留型機構（側面の流出孔1個）に変え、図-9の方式を試みることにした。Na 102 ~ Na 106 の5回の試算の後、容器 II なしで、放物線方式の容器 I だけでどのような結果が出るか試算した。試算 Na 107 ~ Na 111 の5回の試算の結果、どうしても2段目の河道変形が必要であると思われた。

そこで再び容器 II をつけ加えることにし、Na 112 を試みた。図-9の構造が思わしい結果を与えないので、図-8の方式に戻ることになった。容器 I、II ともに放物線型の貯留型にする構造である。Na 101 が悪い結果を与えたのは、係数 α' が小

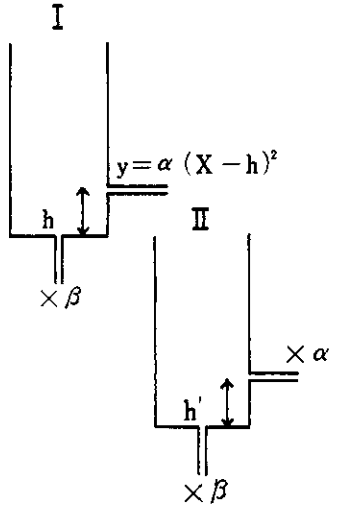


図-9

さかったからである。思い切って大きくすればよ
かろうとNo. 113～No. 115の試算が行なわれた。表
-7には比較のためにNo. 101の係数も出して置い
た。

この方式でもよい結果が得られなかったので、
容器IIをふつうの貯留型構造に戻すことにした。
ただし図-10に示すように、側面の流出孔の数を
ふやすことにした。

この方式でNo. 116からNo. 125まで、10回の試算
が行なわれた。どう工夫してみても、小さな出水
の形がよくなる。流量のハイドログラフをみ
て判るように、減衰率はきわめて大きいし、容器
IIにおいては、流量が大きくなったとき、大部分
の水は直ちに流出するように作らないと実測に合
わない。そのためには $\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3$ を大きくする
必要がある。事実No. 124, No. 125では $\alpha_1 + \alpha_2 +$
 $\alpha_3 = 0.7$ である。一方、貯留高以上の水を出す訳

表-6

	容 器 I			容 器 II		
	α	β	h	α'	β'	h'
No. 102	6×10^{-5}	0.5	0	0.5	0.005	0.005
No. 103	6×10^{-5}	0.5	0	0.5	0.015	0.002
No. 104	6×10^{-5}	0.5	2	0.5	0.015	0.002
No. 105	6×10^{-5}	0.5	1	0.5	0.015	0.002
No. 106	6×10^{-5}	0.5	0.5	0.5	0.015	0.002
No. 107	6×10^{-5}	0.5	0.5			
No. 108	6×10^{-5}	0.5	1			
No. 109	6×10^{-5}	0.3	1			
No. 110	6×10^{-5}	0.3	1.5			
No. 111	6×10^{-5}	0.3	2			
No. 112	6×10^{-5}	0.5	0.5	0.5	0.02	0.001

表-7

	容 器 I			容 器 II		
	α	β	h	α'	β'	h'
No. 101	6×10^{-5}	0.5	0	2.5	0.005	0
No. 113	6×10^{-5}	0.5	0.5	8.0	0.01	0
No. 114	6×10^{-5}	0.5	0.5	7.0	0.01	0.001
No. 115	6×10^{-5}	0.5	0	5.0	0.01	0.005

には行かないから、 $\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \beta' < 1$ にする
必要がある。したがって $\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3$ を大きくす
ると β' は小さくしなければならない。一方 β'
を小さくすると推定流量の裾の引き方が実測と合

わなくなる。 $\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3$ と β' とをともに大きく
とり、しかも $\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \beta' < 1$ を満足させる
ためには、貯留高が大きくなるにつれて β' が小
さくなる構造を作ればよい。たとえば浸透高が飽

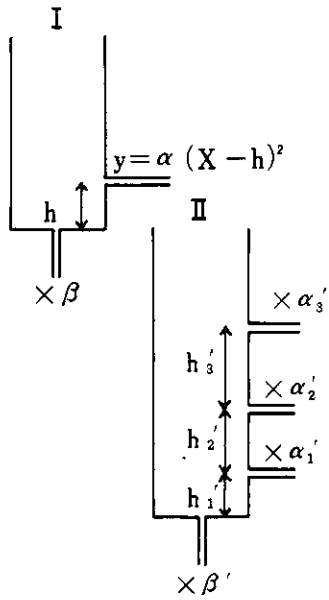


図-10

和するような構造を作ればよい。その最も簡単なものとして、図-11に示すように貯留高 h_0 までは直線的に増大し、 h_0 からは一定値になる方式をと

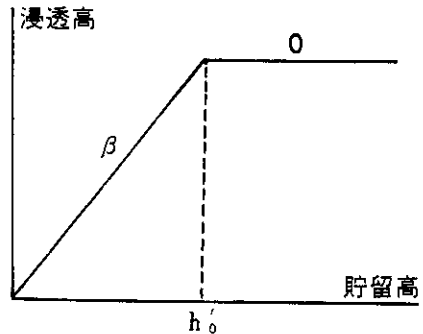


図-11

ることとした。

図-10の構造の容器IIに、図-11の浸透高飽和の性質を加えて、No.126からNo.134までの試算が行なわれた。No.134が図-2の最終機構である。

表-8

	容器 I			容器 II						
	α	β	h	α'_1	α'_2	α'_3	β	h'_1	h'_2	h'_3
No.116	6×10^{-5}	0.5	0	0.2	0.3		0.02	0.0002	0.0008	
No.117	6×10^{-5}	0.5	0	0.3	0.3		0.1	0.0001	0.0001	
No.118	6×10^{-5}	0.5	0	0.02	0.1	0.4	0.1	0.0001	0.0002	0.0002
No.119	6×10^{-5}	0.5	0	0.02	0.1	0.4	0.05	0.001	0.001	0.001
No.120	6×10^{-5}	0.5	0	0.001	0.4		0.1	0.001	0.002	
No.121	6×10^{-5}	0.5	0	0.001	0.1	0.3	0.1	0.001	0.001	0.001
No.122	10×10^{-5}	0.3	0	0.001	0.1	0.3	0.1	0.001	0.001	0.001
No.123	8×10^{-5}	0.4	0	0.001	0.1	0.3	0.1	0.001	0.001	0.001
No.124	8×10^{-5}	0.4	0	0.1	0.2	0.4	0.1	0.0005	0.0015	0.003
No.125	8×10^{-5}	0.4	0	0.3	0.4		0.1	0.0002	0.005	

表-9

	容器 I			容器 II							
	α	β	h	α'_1	α'_2	α'_3	β	h'_1	h'_2	h'_3	h'_0
No.126	8×10^{-5}	0.4	0	0.1	0.5		0.4	0.0002	0.01		0.01
No.127	8×10^{-5}	0.4	0.2	0.1	0.5		0.4	0.0001	0.005		0.005
No.128	8×10^{-5}	0.4	0.2	0.1	0.5		0.4	0.00001	0.002		0.002
No.129	8×10^{-5}	0.4	0.5	0.1	0.5		0.4	0.00001	0.002		0.002
No.130	8×10^{-5}	0.4	0.5	0.05	0.6		0.5	0.00002	0.004		0.004
No.131	8×10^{-5}	0.4	0.5	0.01	0.6		0.3	0.00002	0.002		0.002
No.132	8×10^{-5}	0.4	0.5	0.03	0.6		0.5	0.00005	0.002		0.002
No.133	8×10^{-5}	0.4	0.5	0.03	0.3	0.5	0.5	0.00005	0.001	0.001	0.002
No.134	8×10^{-5}	0.4	0.5	0.015	0.3	0.5	0.5	0.00002	0.001	0.001	0.001

付 表

	P	H	Q	~ Q	~ H		P	H	Q	~ Q	~ H
7. 6.19	0. 0. 0. 0. 0.	1.0 0. 0. 0. 0.	0.000227 0. 0. 0. 0.	0. 0. 0. 0. 0.	0. 0. 0. 0. 0.	7.11. 7	0.5 0. 0. 0. 0.	1.6 0. 0. 0. 0.	0.000736 0. 0. 0. 0.	0.092061 0. 0. 0. 0.	11.0 4.9 3.7 2.9 2.4 2.1 1.5
7. 6.20	0.5 0. 0. 0. 0.5 0.	0. 0. 0. 0. 2.0 0.	0. 0. 0. 0. 0.001287 0.	0. 0. 0. 0. 0. 0.	0. 0. 0. 0. 0. 0.	7.11. 8	0.5 0. 0.5 0.5 0.	1.0 0. 0. 0. 0.	0.000227 0. 0. 0. 0.	0.012069 0.006175 0.003394 0.002094 0.001493 0.000640	4.9 3.7 2.9 2.4 2.1 1.5
7. 6.21	0. 0. 0. 1.0 0. 0.	1.0 0. 0. 0. 0.6 0.	0.000227 0. 0. 0. 0.000063 0.	0. 0. 0. 0.000055 0. 0.	0. 0. 0. 0.6 0. 0.	7.11. 9	0. 0. 0. 0. 0. 0.	0. 0. 0. 0. 0. 0.	0. 0. 0. 0. 0. 0.	0.000160 0. 0. 0. 0. 0.	0.9 0. 0. 0. 0. 0.
7. 6.22	0.5 0. 0.5 0.5 2.0 2.0	2.4 4.0 3.0 1.4 4.0 8.0	0.002029 0.007278 0.003545 0.000527 0.007278 0.041168	0. 0. 0. 0.000005 0.005014 0.013401	0. 0. 0. 0.2 3.4 5.1	7.11.11	0. 0. 0. 0. 0. 0.	0. 0. 0. 0. 0. 0.	0. 0. 0. 0. 0. 0.	0. 0. 0. 0. 0. 0.	0. 0. 0. 0. 0. 0.
7. 6.23	0. 0.5 1.0 3.5 0. 1.5	3.6 4.0 4.6 3.0 0.8 0.6	0.005592 0.007278 0.010321 0.003545 0.001340 0.000063	0.009521 0.006419 0.005902 0.209744 0.124377 0.112042	4.5 3.8 3.7 15.3 12.4 11.9	7.11.12	0. 0. 0. 0. 0. 0.	0. 0. 0. 0. 0. 0.	0. 0. 0. 0. 0. 0.	0. 0. 0. 0. 0. 0.	0. 0. 0. 0. 0. 0.
7. 7. 0	1.5 0.5 0. 0. 1.0 0.5	1.0 1.0 1.0 1.0 0.4 0.2	0.000227 0.000227 0.000227 0.000227 0.000023 0.000004	0.134440 0.040768 0.009392 0.004615 0.003414 0.002545	12.8 8.0 4.4 3.3 3.0 2.6	7.11.13	0. 0. 0. 0. 0. 0.	0. 0. 0. 0. 0. 0.	0. 0. 0. 0. 0. 0.	0. 0. 0. 0. 0. 0.	0. 0. 0. 0. 0. 0.
7. 7. 1	0. 0.5 0. 0. 0.5 0.5	0.2 0.6 1.0 1.0 0.6 0.2	0.000004 0.000063 0.000227 0.000227 0.000063 0.000004	0.001239 0.000769 0.000237 0.000125 0. 0.	2.0 1.6 1.0 0.8 0. 0.	7.11.14	0. 0. 0. 0. 0. 0.	0. 0. 0. 0. 0. 0.	0. 0. 0. 0. 0. 0.	0. 0. 0. 0. 0. 0.	0. 0. 0. 0. 0. 0.
7. 7. 2	1.0 0. 0.5 0. 0.5 0.	0.2 0. 0. 0. 0. 0.	0.000004 0. 0. 0. 0. 0.	0.000980 0.000510 0.000441 0.000081 0.000056 0.	1.8 1.4 1.3 0.7 0.6 0.	7.11.15	0. 0. 0. 0. 0. 0.	0. 0. 0. 0. 0. 0.	0. 0. 0. 0. 0. 0.	0. 0. 0. 0. 0. 0.	0. 0. 0. 0. 0. 0.
7.11. 2	0. 0. 10.0 4.0 0.5 0.	0. 0. 0. 0. 13.0 60.0	0. 0. 0. 0. 0.138578 0.341830	0. 0. 4.568000 6.312939 3.098573 0.915112	0. 0. 52.6 59.9 45.1 27.7	7.11.16	0. 0. 0. 0. 0. 0.	0. 0. 0. 0. 0. 0.	0. 0. 0. 0. 0. 0.	0. 0. 0. 0. 0. 0.	0. 0. 0. 0. 0. 0.
7.11. 3	0. 0. 1.0 0. 1.0 3.0	48.0 19.0 6.0 4.0 3.6 4.0	3.630275 0.357866 0.020055 0.007278 0.005592 0.007278	0.195075 0.014120 0.008852 0.004581 0.003692 0.042664	14.9 5.2 4.3 3.3 3.0 8.1	7.11.17	0. 0. 0. 0. 0. 1.5 0.5	2.0 1.0 0. 0. 0. 0. 0.	0.001287 0.000227 0. 0. 0. 0. 0.	0. 0. 0. 0. 0. 0.000900 0.001258	0. 0. 0. 0. 0. 1.7 2.0
7.11. 4	0.5 0. 0. 0. 2.5 0.	4.0 4.4 7.0 9.0 4.6 3.0	0.007278 0.009236 0.029484 0.005264 0.010321 0.003545	0.016556 0.009165 0.004648 0.002123 0.007650 0.005361	5.6 4.4 3.3 2.4 4.1 3.5	7.11.18	0. 0. 0. 0. 0. 0. 0.	0. 0. 0. 0. 0. 0. 0.	0. 0. 0. 0. 0. 0. 0.	0.000599 0.000140 0. 0. 0. 0. 0.	1.5 0.8 0. 0. 0. 0. 0.
7.11. 5	0. 0. 0. 0. 0.5 0.	3.0 5.0 6.6 4.0 2.4 0.	0.003545 0.012713 0.025450 0.007278 0.002029 0.	0.002793 0.001222 0.000443 0.000065 0. 0.	2.7 2.0 1.3 0.6 0. 0.	7.11.19	0. 0. 0. 0. 0. 0. 0.	0. 0. 0. 0. 0. 0. 0.	0. 0. 0. 0. 0. 0. 0.	0. 0. 0. 0. 0. 0. 0.	0. 0. 0. 0. 0. 0. 0.
7.11. 6	0. 0. 0. 0. 0.5	0. 0. 10.0 36.0 18.0 8.0	0. 0. 0.071918 1.768460 0.312621 0.041168	0. 0. 0. 0. 0. 0.	0. 0. 0. 0. 0. 0.	7.11.20	0. 0. 0. 0. 0. 0. 0.	0. 0. 0. 0. 0. 0. 0.	0. 0. 0. 0. 0. 0. 0.	0. 0. 0. 0. 0. 0. 0.	0. 0. 0. 0. 0. 0. 0.
7.11. 7	0. 0. 6.0 0.5 0.5	4.0 3.0 2.0 2.0 2.0	0.007278 0.003545 0.001287 0.001287 0.001287	0. 0. 0.737036 0.604433 0.245380	0. 0. 25.4 23.4 16.3	7.11.21	0. 0. 0. 0. 0.	0. 0. 0. 0. 0.	0. 0. 0. 0. 0.	0. 0. 0. 0. 0.	0. 0. 0. 0. 0.

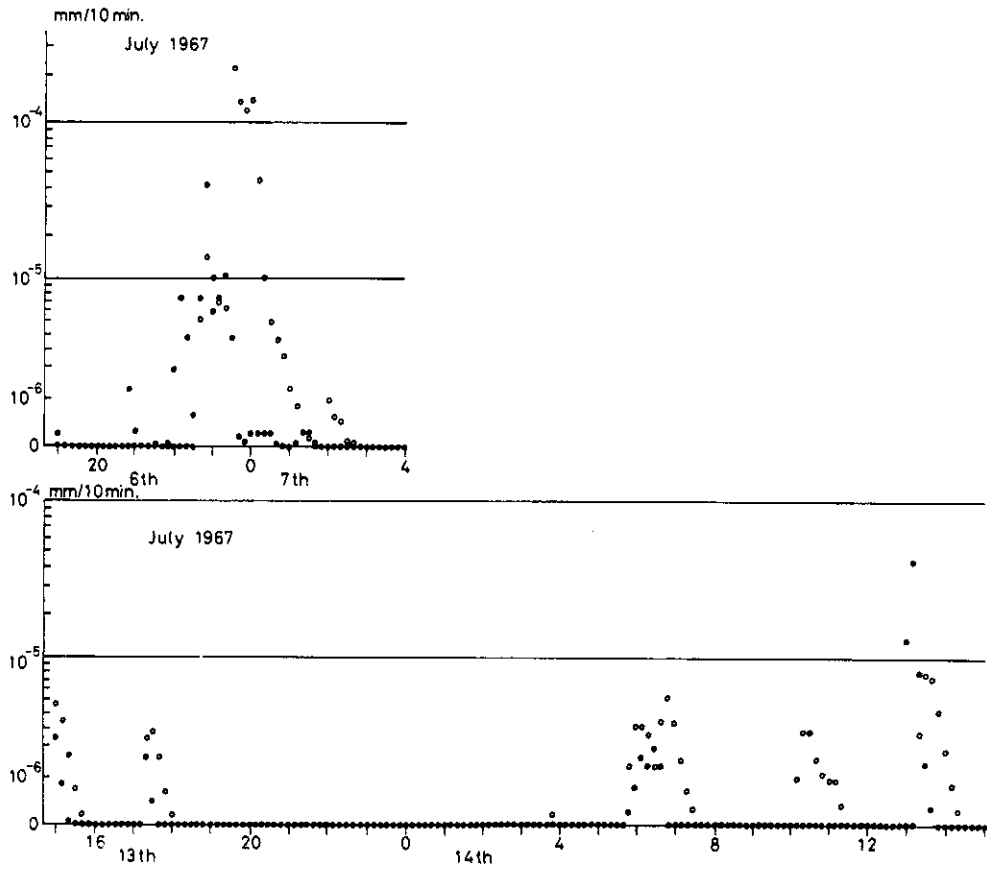
付表一 つづき

	P	H	Q	Q̄	H̄		P	H	Q	Q̄	H̄
7.11.21	0. 0. 0.	0. 0. 0.	0. 0. 0.	0. 0. 0.	0. 0. 0.	7.13.17	0. 0. 2.0 0.5	0. 0. 2.2 1.2	0. 0. 0.001633 0.000359	0. 0. 0.002407 0.002749 0.001508 0.000597	0. 0. 2.6 2.7 2.1 1.5
7.11.22	0. 0. 0. 0.5 0. 0.5	0. 0.4 1.0 1.4 1.0	0. 0.000223 0.000227 0.000527 0.000527 0.000227	0. 0. 0. 0. 0.	0. 0. 0. 0. 0.	7.13.18	0. 0. 0. 0. 0.	0. 0. 0. 0. 0.	0. 0. 0. 0. 0.	0.000139	0.8 0. 0. 0. 0.
7.11.23	0.5 0.5 0.5 0.5 0.5	1.0 1.0 0.8 0.2 0.	0.000227 0.000227 0.00063 0.000004	0. 0.000166 0.000402 0.000593 0.000735 0.000834	0. 0.9 1.3 1.6 1.7	7.13.19	0. 0. 0. 0. 0. 0.	0. 0. 0. 0. 0. 0.	0. 0. 0. 0. 0. 0.	0. 0. 0. 0. 0. 0.	
7.12.0	0. 0.5 0. 0. 0. 0.	0. 0. 0. 0. 0.	0. 0. 0. 0. 0.	0.000320 0.000238	1.1 1.0	7.13.20	0. 0. 0. 0. 0.	0. 0. 0. 0. 0.	0. 0. 0. 0. 0.	0. 0. 0. 0. 0.	
7.12.1	0. 0. 0. 0.5 0.	0. 0. 0. 0. 0.	0. 0. 0. 0. 0.	0. 0. 0. 0. 0.	0. 0. 0. 0. 0.	7.13.21	0. 0. 0. 0. 0.	0. 0. 0. 0. 0.	0. 0. 0. 0. 0.	0. 0. 0. 0. 0.	
7.12.2	0. 0. 0. 0. 0.	0. 0. 0. 0. 0.	0. 0. 0. 0. 0.	0. 0. 0. 0. 0.	0. 0. 0. 0. 0.	7.13.22	0. 0. 0. 0. 0.	0. 0. 0. 0. 0.	0. 0. 0. 0. 0.	0. 0. 0. 0. 0.	
7.12.3	0. 0. 0. 0. 0.	0. 0. 0. 0. 0.	0. 0. 0. 0. 0.	0. 0. 0. 0. 0.	0. 0. 0. 0. 0.	7.13.23	0. 0. 0. 0. 0.	0. 0. 0. 0. 0.	0. 0. 0. 0. 0.	0. 0. 0. 0. 0.	
7.12.4	0. 0. 0. 1.0 0. 1.0	1.0 0.6 0.6 5.0 15.0 42.0	0.000227 0.000063 0.000063 0.012713 0.198182 2.599918	0. 0. 0. 0.000000 0. 0.000669	0. 0. 0. 0.0 0. 1.5	7.14.0	0. 0. 0. 0. 0. 0.	0. 0. 0. 0. 0. 0.	0. 0. 0. 0. 0. 0.	0. 0. 0. 0. 0. 0.	
7.12.5	4.0 5.0 4.5 4.0 1.5 0.5	58.0 30.0 15.0 10.0 7.0 4.0	8.671789 1.121088 0.198182 0.071918 0.029484 0.007278	0.173069 2.934277 5.102691 5.854133 3.612898 1.479725	14.2 44.1 55.0 58.1 47.9 33.5	7.14.1	0. 0. 0. 0. 0. 0.	0. 0. 0. 0. 0. 0.	0. 0. 0. 0. 0. 0.	0. 0. 0. 0. 0. 0.	
7.12.6	0.5 0.5 0. 0. 0.5 0.	3.0 0. 0. 0. 0. 0.	0.003545 0. 0. 0. 0. 0.	0.411819 0.178753 0.013867 0.006779 0.003497 0.001566	20.1 14.4 5.2 3.9 3.0 2.2	7.14.2	0. 0. 0. 0. 0. 0.	0. 0. 0. 0. 0. 0.	0. 0. 0. 0. 0. 0.	0. 0. 0. 0. 0. 0.	
7.12.7	0. 0. 1.0 0.5 0. 0.	0. 0. 0. 0. 0. 0.	0. 0. 0. 0. 0. 0.	0.000610 0.000146 0.000406 0.000604 0.000195	1.5 0.8 1.3 1.5 0.9	7.14.3	0. 0.5 0.5 0.5 0.5	0. 0. 0. 0. 0.	0. 0. 0. 0. 0.	0. 0. 0. 0. 0.000166 0.9	
7.12.8	0. 0.5 0. 0. 0. 0.	0. 0. 0. 0. 0. 0.	0. 0. 0. 0. 0. 0.	0. 0. 0. 0. 0. 0.	0. 0. 0. 0. 0. 0.	7.14.4	0. 0. 0. 0. 0. 0.	0. 0. 0. 0. 0. 0.	0. 0. 0. 0. 0. 0.	0. 0. 0. 0. 0. 0.	
7.13.15	2.5 0. 0. 0. 0. 0.	2.6 1.6 0.4 0. 0. 0.	0.002479 0.000736 0.000023 0. 0. 0.	0.004500 0.003232 0.001609 0.000632 0.000157	3.3 2.9 2.2 1.5 0.9	7.14.5	0. 0. 0. 0. 0. 1.0	0. 0. 0. 0. 0. 0.	0. 0. 0. 0. 0. 0.	0. 0. 0. 0. 0. 0.000005 0.001310	
7.13.16	0. 0. 0. 0. 0. 0.	0. 0. 0. 0. 0. 0.	0. 0. 0. 0. 0. 0.	0. 0. 0. 0. 0. 0.	0. 0. 0. 0. 0. 0.	7.14.6	1.0 0.5 0.5 0.	1.6 2.2 2.0 2.4	0.000736 0.001633 0.001287 0.002029	0.003048 0.002989 0.002514 0.001265	2.8 2.8 2.6 2.0

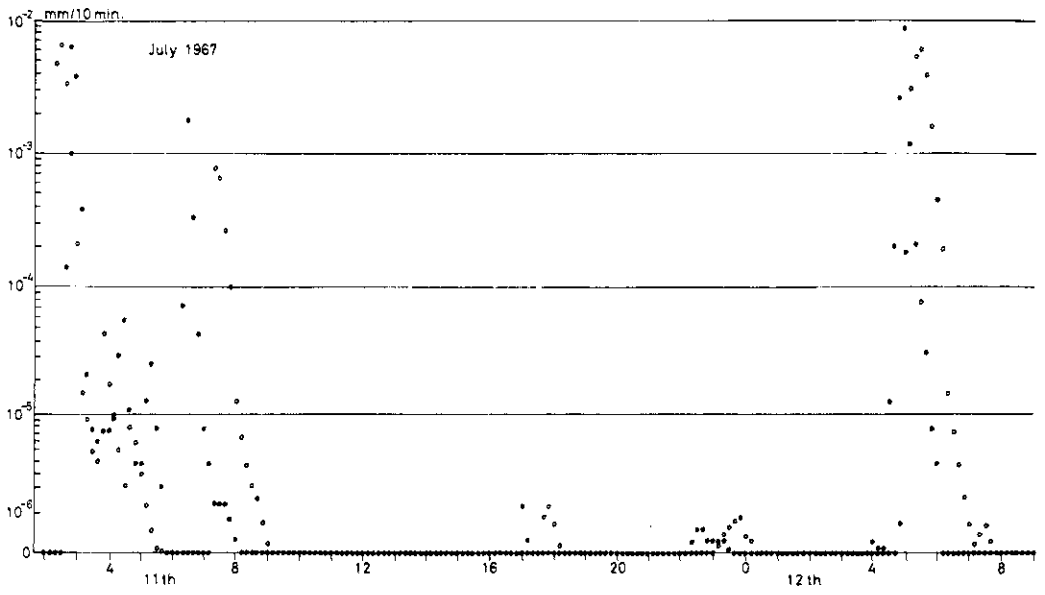
付録1. 池の平地区の流出機構について 菅原・尾崎

付表一つづき

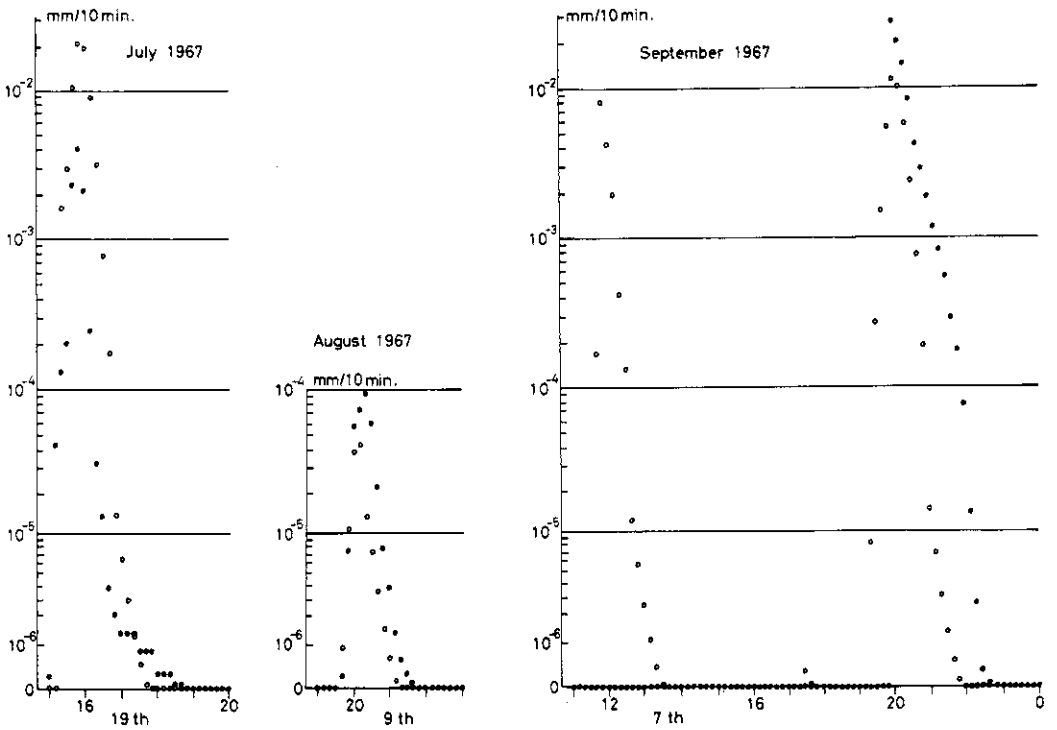
	P	H	Q	~ Q	~ H		P	H	Q	~ Q	~ H
7.14.6	1.5 1.0	2.0 0.	0.001287 0.	0.003317 0.005030	2.9 3.5	8.9.20	0.5 0. 0.	11.0 9.0 6.0	0.091268 0.055284 0.020055	0.012303 0.006840 0.003318	4.9 3.9 2.1
7.14.7	0. 0. 0. 0.5 0.	0. 0. 0. 0. 0.	0. 0. 0. 0. 0.	0.003126 0.001474 0.000565 0.000224 0.	2.9 2.1 1.4 1.0 0.	8.9.21	0. 0. 0. 0. 0.	3.0 2.0 1.4 1.0 0.2	0.003545 0.001287 0.000527 0.000227 0.000063 0.000004	0.000558 0.000121 0. 0. 0. 0.	1.4 0.8 0. 0. 0. 0.
7.14.8	0.5 0.5 0. 0.	0. 0. 0. 0.	0. 0. 0. 0.	0. 0. 0. 0.	0. 0. 0. 0.	9.7.11	0. 0. 0. 0.5 9.0	0. 0. 0. 0. 0.	0. 0. 0. 0. 0.	0. 0. 0. 0. 0.159648 7.793127	0. 0. 0. 0. 13.8 65.2
7.14.9	0. 0.5 0. 0. 0.	0. 0. 0. 0. 0.	0. 0. 0. 0. 0.	0. 0. 0. 0. 0.	0. 0. 0. 0. 0.	9.7.12	0. 1.0 0. 0. 0.	0. 0. 0. 0. 0.	0. 0. 0. 0. 0.	3.888779 1.793268 0.384929 0.121468 0.011234 0.005338	49.3 36.2 19.6 12.3 4.8 3.5
7.14.10	0. 1.5 1.0 0.5 0.5	0. 0. 0. 0. 0.	0. 0. 0. 0. 0.	0. 0.000963 0.002722 0.002755 0.001473 0.000987	0. 1.8 2.7 2.7 2.1 1.8	9.7.13	0. 0. 0. 0. 0.	0. 0. 0. 0. 0.	0. 0. 0. 0. 0.	0.002439 0.001033 0.000351 0.000020	2.6 1.6 1.2 0.4
7.14.11	0.5 0.5 0. 0. 0.5 0.	0. 0. 0. 0. 0. 0.	0. 0. 0. 0. 0. 0.	0.000846 0.000837 0.000312 0.000001 0. 0.	1.7 1.7 1.1 0.1 0. 0.	9.7.14	0. 0. 0. 0. 0. 0.	0. 0. 0. 0. 0. 0.	0. 0. 0. 0. 0. 0.	0. 0. 0. 0. 0. 0.	0. 0. 0. 0. 0. 0.
7.14.12	0. 0. 0.5 0.	0. 0. 0. 0.	0. 0. 0. 0.	0. 0. 0. 0.	0. 0. 0. 0.	9.7.15	0. 0. 0. 0. 0. 0.	0. 0. 0. 0. 0. 0.	0. 0. 0. 0. 0. 0.	0. 0. 0. 0. 0. 0.	0. 0. 0. 0. 0. 0.
7.14.13	0. 0. 2.0 1.5 0.5 0.	5.0 8.0 4.0 2.0 1.0 0.	0.012713 0.041168 0.007278 0.001287 0.000227 0.	0. 0. 0.002651 0.007156 0.006562 0.003774	0. 0. 2.7 4.0 3.8 3.1	9.7.16	0. 0. 0. 0. 0. 0.	0. 0. 0. 0. 0. 0.	0. 0. 0. 0. 0. 0.	0. 0. 0. 0. 0. 0.	0. 0. 0. 0. 0. 0.
7.14.14	0. 0. 0. 0. 0. 0.	0. 0. 0. 0. 0. 0.	0. 0. 0. 0. 0. 0.	0.001769 0.000708 0.000193 0. 0. 0.	2.3 1.6 0.9 0. 0. 0.	9.7.17	0. 0. 0. 1.0 0.5 0.	0. 0. 0. 0. 0. 0.	0. 0. 0. 0. 0. 0.	0. 0. 0. 0.000000 0.000282 0.000017	0. 0. 0. 0. 1.1 0.4
7.19.15	0. 1.0 6.5 3.0 8.5 9.5	1.0 8.0 12.6 15.0 40.0 50.0	0.000227 0.041168 0.128163 0.198182 2.301370 4.020328	0. 0. 1.531945 2.852312 10.065047 19.633693	0. 0. 34.0 43.6 72.2 94.3	9.7.18	0. 0. 0. 0. 0. 0.	0. 0. 0. 0. 0. 0.	0. 0. 0. 0. 0. 0.	0. 0. 0. 0. 0. 0.	0. 0. 0. 0. 0. 0.
7.19.16	5.0 0.5 0. 0. 0.	38.0 16.0 7.0 5.0 3.0 2.4	2.024396 0.232882 0.029484 0.012713 0.003545 0.002029	17.499316 8.300952 2.952398 0.714384 0.159117 0.012649	90.0 65.8 44.2 25.1 13.7 5.0	9.7.19	0. 1.0 2.5 3.0 3.0 6.0	0. 0. 0. 0. 0. 0.	0. 0. 0. 0. 0. 0.	0. 0.000009 0.007991 0.257684 1.437605 5.194963	0. 0.3 4.2 16.7 33.1 55.4
7.19.17	0. 0. 0. 0. 0. 0.	2.0 2.0 2.0 1.6 1.6 1.6	0.001287 0.001287 0.001287 0.000736 0.000736 0.000736	0.006060 0.002789 0.001203 0.000433 0.000060 0.	3.7 2.7 1.9 1.3 0.6 0.	9.7.20	7.5 3.5 1.5 0.5 0.5 0.	108.0 94.0 82.0 66.0 50.0 43.0	27.567402 19.483011 13.847490 8.048154 4.020328 2.757450	11.105567 9.421959 5.345663 2.211821 0.711002 0.175469	75.1 70.3 56.0 39.4 25.0 14.3
7.19.18	0. 0. 0. 0. 0. 0.	1.0 1.0 1.0 0.8 0.6 0.2	0.000227 0.000227 0.000227 0.000063 0.000063 0.000004	0. 0. 0. 0. 0. 0.	0. 0. 0. 0. 0. 0.	9.7.21	0. 0. 0. 0. 0. 0.	36.0 30.0 26.0 22.0 17.0 14.0	1.768450 1.121088 0.783917 0.516289 0.270993 0.166785	0.013411 0.006477 0.002991 0.001301 0.000481 0.000083	5.1 3.8 2.8 2.0 1.3 0.7
8.9.19	0. 0. 0. 0. 1.5 2.5	0. 0. 0. 0. 1.0 4.0	0. 0. 0. 0. 0.000227 0.007278	0. 0. 0. 0. 0.000900 0.010378	0. 0. 0. 0. 1.7 4.6	9.7.22	0. 0. 0. 0. 0. 0.	10.0 5.0 2.6 1.0 0.4 0.	0.071918 0.012713 0.002479 0.000227 0.000023 0.	0. 0. 0. 0. 0. 0.	0. 0. 0. 0. 0. 0.
8.9.20	1.5 1.0	9.0 10.0	0.055264 0.071918	0.035327 0.040056	7.5 7.9		0. 0.	0. 0.	0. 0.	0. 0.	0. 0.



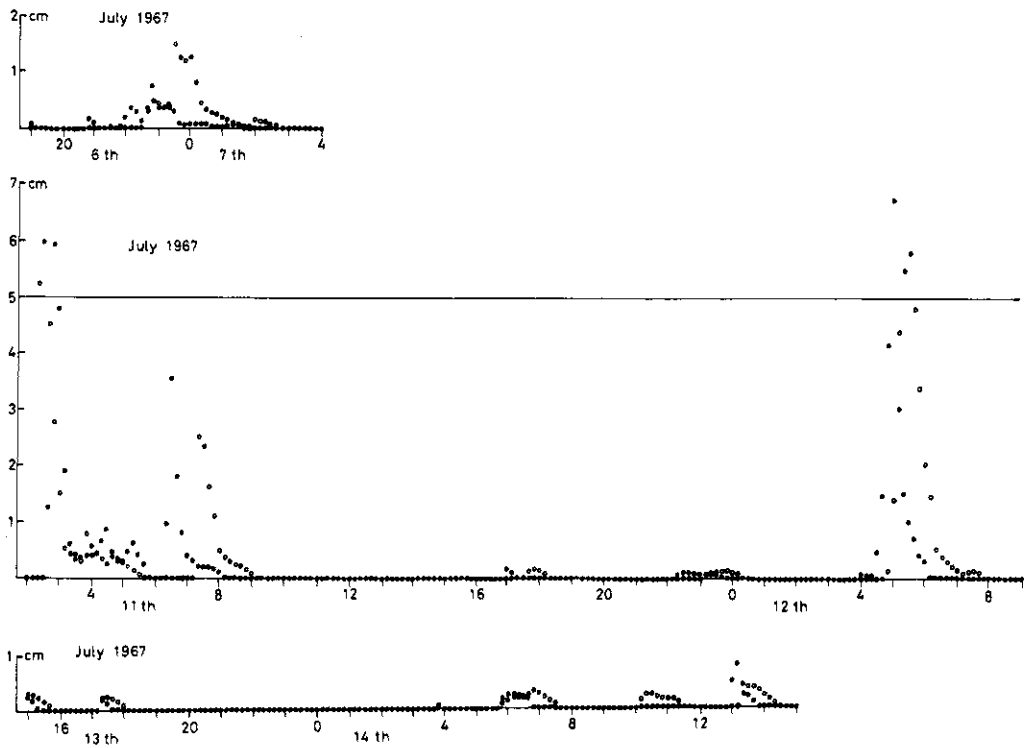
付図-1.1



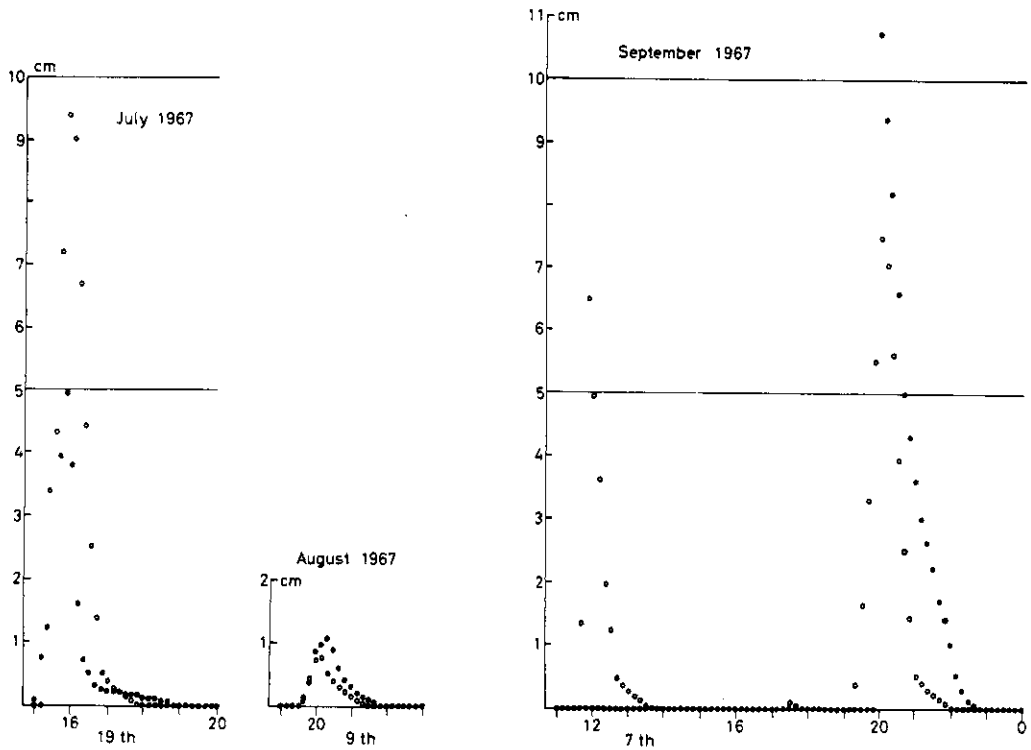
付図—1.2



付図—1.3



付図—2.1



付図—2.2