

建設省土木研究所 正会員 ○ 寺野 文雄
大豊建設 小林 正

1. まえがき.

これまでに多くの洪水流出計算法が提案され実用に供されてきた。これらの大多数は流出という現象の多様性を流域の地表状態の相違の面から検討するという立場はとらず降雨と流出の応答特性を追求するものである。一方最近になって都市域のような工種の異なる地表面の複合された流域からの流出を計算する方法が提案されている。これらのモデルでも主な問題点は降雨のうちの河道へ流出する部分の推定法にいくつかの問題が含まれている。そこで表面流出が卓越するよう都市域の、工種の違による流出の変化を定量化する手段として、現地実験による流出量の測定結果を用いることが考えられる。ここで実施した現地実験は、このような工種ごとの流出特性を把握し実際の流量計画に反映させるための資料を得る目的で行なったものである。この実験は日本住宅公団、南多摩開発局の御協力を得たこととここに記して感謝の意を表します。 図1 自然斜面散水実験

2. 実験概要

実験は住宅公団多摩ニュータウン建設用地内の、粗造成の終了段階の裸地(20m×20m)と土地造成の行なわれていない沢の斜面(30m×20m)を使用して行なわれた。粗造成地は10°程度の傾斜でほぼ平坦に行なわれてあり、雑草がまばらに生えている。地盤は盛土で構成され、関東ローム、粘土、砂、礫の混合土である。この実験での散水方法はスプリンクラー8個を配置し、消火栓から水を供給して行なった(実験シリーズA)。自然斜面の沢は勾配が18°位の斜面で雑草、笹、灌木が繁生している(図1)。オーガーボーリングの結果では、表面から3cm位は落葉層で、10cm程の深さまでは笹の根が密に張っている。腐植土の厚さは場所的に差があり20~90cmで



表1 散水実験一覽表

実験番号	A-1	A-2	A-3	A-4	A-5	A-6	A-7	A-8	B-1	B-2	B-3	B-4
散水強度	43.4 mm/h	43.0	41.0	60.3	54.3	89.3	77.1	87.0	85.3	57.8	56.8	101.3
散水時間	30 min	30	31.5	28.3	51	18	11.7	25.2	180	180	360	260
流出開始時間	5 min	2	6	3	7	2	1	1	58	60	74	20
終散水量	21.7mm	21.5	21.5	28.5	45.3	26.8	15.0	36.5	255.9	173.4	338.7	438.8
終流出量	4.4mm	12.8	10.1	14.4	28.7	11.8	9.0	21.6	32.0	24.4	53.5	127.8
終浸透量	17.3mm	8.7	11.4	14.1	16.6	15.0	5.9	14.9	223.9	149.0	285.2	311.0
初期損失量	3.6mm	1.4	4.1	3.0	6.3	3.0	1.3	1.5	82.5	57.8	69.7	30.4
平均浸透能	34.6mm/h	17.4	21.7	29.9	19.5	50.0	30.3	35.5	24.6	50.0	47.5	71.8
流出率	0.20	0.60	0.47	0.51	0.63	0.44	0.61	0.59	0.13	0.14	0.16	0.29
ピーク流出高	17.7mm/h	29.9	31.4	45.0	48.8	63.0	57.8	54.2	22.7	21.6	23.4	47.3
流出係数	0.41	0.70	0.77	0.75	0.90	0.71	0.75	0.62	0.27	0.37	0.41	0.47
散水前含水比	—	—	23.8	31.4	32.5	28.4	—	31.7				
散水後含水比	—	30.3%	—	41.2	35.0	35.9	—	36.7				

ある。腐蝕土層の下は関東ロームである。同地 1.0×2.0 mの矩形区画を設け、斜面の下端の一边に深さ20 cm程の溝を設け集水路とした。集水路にはセメントモルタルを張って漏水を防いだ。散水はレインガンによって行った(実験シリーズB)。散水量は転倒マス型雨量計6台、貯留型雨量計4台を設置して測定した。流出量は30°三角堰で水位を自記記録して測定した。

3. 実験結果

1) 実験シリーズA 散水の初期には散水量のほぼ全量が浸透する。地表が湿潤状態になるにつれて、粘土質のところや凹地に水たまりが生じてくる。そして水たまりが大きくなり水みちを成長させて流出しはじめる。しだいに斜面全体に水面が生じるようになり、水みち流出と薄層流の流出が集水路に流れ込む。実験は40、60、80 mm/h 程度の散水強度で散水時間を変えて行われた。得られた時間流出量曲線は前期降雨と散水強度の違いによってそれぞれ異なる形態にならなかつた。したがって次の三種に大別される。①地盤が良く乾燥している、散水中の浸透能の低下が小さく流出量の増加が散水期間中持続する場合(A-1)。②地層の保湿度が大きくて急速に浸透能が低下し最終浸透能に達しないもので、流出は急な立ちあがりをしてしだいに流出量の増加が少なくなり定常状態に達する場合(A-2.5, 7.8)。③①と②の中間で浸透能の低下が除々に進みしだいに最終浸透能に近づくもので流出はゆるやかな立ちあがりをして、しだいに流出量の増加が小さくなり、遅く場合(A-3, 4, 6)。

今回の実験ではA-1を除いて散水の打ち切り時には流出量の増加はわずかにならなっており、いずれも最終浸透能状態になっているものと思われる。なお筒型浸透計での測定結果では変水頭試験で実験開始後50分では最終浸透能に達し、その値は30 mm/hであった。なお散水前後での2~4 cmの深さでの含水比の変化を測定したが、その変化量と初期損失量、散水量などとの関係は不明瞭であった。浸透の状態はいずれも表面上の土が湿潤化しているも5~10 cmの深さまでではそれほど水は浸透しおらず、散水前とほとんど変化のない場合もあった。

2) 実験シリーズB 実験は60、90 mm/hの二種の散水強度で3~6時間と散水時間を変えて行われたが、いずれもAシリーズの様は表面流は生じなかつた。降雨は落葉層、表土層にすみやかにしみ込み上流の斜面では水面を生じることはなかつた。下流では表土層、落葉層の上に水面を生じ表流水が流れ出る。表土層中を流れて集水路の側壁からしみ出る流出水も多い。また数ヶ所が水脈とはなると水路側壁から流れでるところもあった。集水路の深さが20 cm程度でありその深さまでの浸透流をも集めることにはなるが、水路下端の三角堰をいれた深さ1 mの穴の周囲からの流出はみられなかつた。散水開始後1時間ほどしてから流出の開始がみられるが、B-4の実験では前日に70 mm程度の降雨があったことと散水強度が大きいので20分程度で流出が始まっている。

4. 考察

実験期間中の平均浸透量を比較するとB実験がA実験のそれの約2倍程度になっている。一般に森林地では植生による表層腐蝕土層があり多孔隙で透水性が良い。これまでの林地での浸透に関する実験では表層状態によっても異なるが浸透能として100~300 mm/h程度の値が出されている。B実験ではほぼ60 mm/h程度の浸透能となっているがこれは前記のものより小さい。この違いには植生のみならず山腹の傾斜や下層土壌の違いの効果もあらわれていると思われるが、実験のステールの違いも大きくきいてきているものと思う。従来の実験での散水面積は1 m²以下のものが多く、山地に降雨があると表面流出は沢山の低地や踏台間められた小みちなどから発生しはじめることが知られているので、実験する面積とその場所が流域の浸透性を評価するために重要な要素となるであろう。

次に実験の目的のひとつである流出係数の調査を行ってみる。図2は粗造成地の散水強度とピーク流出高を示したものであるがこれらはほぼ流出係数 $f=0.76$ 程度の値を示している。これは工種別流出係数での道路その他の不浸透面の0.8に相当するようば大きな値であり、関東ロームの粗造成地では相当大きな流出係数を示す証左と思われる。昭和45年に当研究室で実験した時の実験値を図1に記入してあるがその時の値と比べても全体に大きな値となっている。しかし今回の実験でのA-1実験は一番最初の実験であって地表面が非常に乾燥していたた

め、その時の流出率が他の実験と比べて小さかったこと、昭和45年の実験でもピーク流出高の小さい実験は流出率が小さく実験場が乾燥していたことを考慮すれば、このような造成地からのピーク流出係数としては0.7~0.8のものか生じても不思議はないと考えられる。なおB系列の実験については流出ハイドログラフが上昇しつゝある段階で実験が打ち切られているため定義通りの流出係数とは若干異なるがほぼ0.4~0.5程度の値を示している。

この実験で得られた流出ハイドログラフを解析するため水理学的な流出追跡法を試みる。

連続式は

$$B \frac{dh}{dt} + \frac{dQ}{dt} = I - f$$

運動方程式は

$$Q = \frac{1}{n} B h^{5/3} i^{1/2}$$

である。この時定数として仮定しなければならぬ量に f , n があつたが浸透量は Horton の浸透能式

$$f = f_c + (I - f_c) e^{-K(t-t_0)}$$

で与えられると考え、 n は計算値と実測値が合うように決定した。 t_0 は初期損失が終る時間である。この計算で最終的に仮定された定数は、 $n=0.10$, $f_c=10\sim36 \text{ mm/h}$, $K=0.002\sim0.04$ 程度のものであつた。結果の一例を図3に示す。なお自然斜面での実験では表面流の発生が全域にわたらず斜面の下端部から生じそが上方に移動するように思われたので、こゝであげたような流出のモデル化では現象を説明し得ないと考えられたので計算は実施していない。

この実験の結果を総括すると次のようになる。

- 1) 粗造成地では自然斜面よりも流出率、流出係数とも大である。粗造成地での流出係数は0.76、自然斜面では0.45、流出率は粗造成地で0.60、自然斜面で0.3程度である。
- 2) 粗造成地での初期損失量は、初期の地表乾燥状態により異なるが2mmから4mm程度、自然斜面では30~80mm程度である。
- 3) 自然斜面では流出率が降雨強度に比べて非常に小さいが、これは表面流出に近いものだけを測定しているためで、中間流を考えると、と大きくなると考えられる。
- 4) 造成地などの小地域からの流出量は水理学的モデルで表現が可能である。その時、Horton型の浸透能式が使用できるが最終浸透能や流出係数はかなり大きく変化する。なお浸透能式で損失を表現する時、降雨の終了による浸透能の回復を考慮する必要がある。

本研究を実施するにあたり水文研究室各位の御協力を得たことを付記し感謝の意を表します。

