阿蘇西麓台地における散水実験について

菊池良介*・井原邦明*・依光春実*

Summary of Sprincling Tests in the Western Plateau of Mt. Aso

Ryousuke KIKUCHI*, Kuniaki IHARA*, Kazumi YORIMITSU*

The purpose of the sprincling tests is to understand the infiltration mechanism by rainfall in the western plateau of Mt. Aso.

We had tests result that stationary infiltration capacity is 20~40 mm/hr.

In analyzing these results, we understood that groundwater recharge amount is about 38%~45% (700 mm/hr ~ 800 mm/hr) of annual rainfall.

1. はじめに

雨が降り始めると樹木による降雨遮断がおり、つぎに樹木の間を通して雨水が地上に達し、流域表面にある凹地に流れ込んで凹地貯留としてたまる。さらに降雨が続き凹地貯留が満たされ、且つ地層を覆っている表層の土壤水分が増加し(初期損失)てくると、そこに自由水面をもつ重力水帯が現われて斜面の勾配に沿って流れ出すようになる(表面流出)。一方、表層の土壤水分量が増加すると下層への雨水浸透が始まり、それは表層にある程度以上の雨水が存在する限り継続する。表層から地中へ浸透した雨水は一方では蒸発散作用をうけ、他方では土壤水分量を増加させながら更に下方へと浸透をつづけ、やがて地下水面に達して地下水を涵養する。

このように地下水の涵養源となっている雨水の浸

透は、特に、地被条件、地層、地質条件、降雨条件に大きな影響を受ける。従って、地下水の涵養量を検討するにあたって、上記の条件別の雨水の浸透量を定量的に把握しておく必要がある。

散水実験は以上のような考え方を背景に実施したもので、地下水涵養台地を代表するような地点を実験地を選び、各種条件を明確にして10m四方の実験地で散水し、その表面流出量を測定することによって、浸透量を降雨量と表面流出量の差として把握、各種条件別の雨水の地中浸透量を実験的に求めたものである。

散水実験のフローチャートを図-1に、実験地の位置を図-2に示す。

2. 地質及び土質特性

2. 1 地質

実験位置は図-2に示すように阿蘇火山山麓の菊池台地に位置し、付近の主要な地質は阿蘇溶岩類で

* 九州地方建設局 熊本工事事務所 Kyuusyu
Regional Bureau, Kumamoto Construction Office

構成されている。本地域の一般的な地質層序は表-1に示すとおりであり、その模式を図-3に、ボーリング結果は図-4に示す。

2. 2 土質

実験地における深度10mまでの散水実験前の三相

分布は図-5に示すようになっている。また室内透水試験による表層1.5mまでの透水係数は表-2のようになる。

三相分布によると深度0～5mの空隙率は70～80%、5～10mのそれは約60%となっており、これは保水性の大きさ、すなわち雨水の浸透性の大きさ

図-4 実験地のボーリング柱状

Fig. 4 Columnar section of tests point ground

表-1 実験地域の地質層序

Table 1 Geological stratigraphy in the springling tests area

時代	地質名	記号	岩質
第四紀	沖積層		砂土、土
	表土		
	河岸段丘砂礫層	T_r	礫、砂
	ローム層	L_o	火山灰、火山砂
	託麻砂礫層	G_{r2}	砂、砂礫
	菊池砂礫層	G_{r1}	◇
	阿蘇溶岩(阿蘇-4)	P_t	軽石質凝灰岩
		T_b	凝灰角礫岩
		H_a	砂礫、粘土
		W_t	溶結凝灰岩
第三紀	湖成堆積層(花房層)		
	阿蘇溶岩(阿蘇-3)		
中生代	外輪山溶岩類	A_n	安山岩
	基盤岩	B_a	変成岩、砂岩、頁岩

を示すものである。表層の透水係数は約 2.0×10^{-3} cm/sec と推定される。

3. 実験施設

実験施設の概略を図-6 に示す。

散水実験は地表面勾配を2%とし、地被条件として裸地(耕地5cm、15cm)、雑草地、降雨条件として同一降雨強度のパターンと実績型降雨パターンについて各々実施したものである。

4. 実験結果

4. 1 浸透能

同一降雨強度と実績降雨のパターンの代表的なハイドログラフを図-7 に示す。

それによると同一降雨強度パターンの場合、降雨開始後しばらくすると流出量は一定量に取れんし始

める。その後取れんしたと考えられる状態における

《降雨強度》-《流出高》は最終浸透能 f_c と定義され、それに至るまでの浸透能曲線は Horton¹⁾ により次のように定義されている。

$$f_t = f_c + (f_o - f_c) e^{-at}$$

ここに、 f_t ; t 時における浸透能 (mm/hr)

f_c ; 最終浸透能 (mm/hr)

f_o ; 初期浸透能 (mm/hr)

a ; 減衰定数 (1/hr)

t ; 時間 (hr)

同一降雨強度(ケース1~14)の代表的なケースの浸透能曲線を図-8 に示した。それらの図より推定した Horton の定数は表-3 に示すとおりである。それによると浸透能について次のような結論が得られた。

- 1) ノズルを上向きに設置したケース5以降の実験では、最終浸透能は10~20mm/hr という結果になり、地被条件、降雨強度の差異による最終浸透能のオーダ的な違いはみられない。ケース1~4ではノズルを下向きに設置したため雨滴が地面を叩き透水性が低下したので最終浸透能は上記の値より小さくなっていると考えられる。
- 2) 実験地周辺で実施した現場透水試験による最終浸透能は20~40mm/hr で、この最終浸透能を cm/sec 単位に変換すると 3×10^{-4} cm/sec ~ 1×10^{-3} cm/sec となる。
- 3) ケース15~20の実績降雨型について《浸透量》

表-2 表層の透水係数

Table 2 Coefficient of permeability in the surface course

深度(m)	透水係数(cm/sec)	採取状態	深度(m)	透水係数(cm/sec)	採取状態
0.5	2.45×10^{-3}	不攪乱	1.5	1.98×10^{-3}	不攪乱
	1.43×10^{-3}	攪乱		2.17×10^{-3}	攪乱
1.0	2.26×10^{-3}	不攪乱	平均	2.0×10^{-3}	
	1.91×10^{-3}	攪乱

図-5 実験地の三相分布 (実験前)
Fig. 5 Three-phase states of tests point ground

/《降雨量》を浸透率(表-3 では1－流出率)と定義し、降雨経過時間と浸透率の変化を表-4 に示す。それによると浸透率に降雨強度を乗じたものが浸透能 f_t に相当し、降雨経過時間が4 時間以上の場合浸透能 f_t は15～30mm/hr となる。これらは同一降雨型の実験(ケース1～14)で得られた

最終浸透能にほぼ相当している。

4. 2 浸透量

実験地内の深度0.3m、0.6m、1.2m に設置した電気容量式土壌分計の測定記録によると、深度1.2m 地点の水分変動は深度0.6、0.9m 地点のそれに比較

図-6 実験施設
Fig. 6 Sprincling tests institution

図-7 ハイドログラフ
Fig. 7 Sprincling tests hydrograph

するとかなり小さくなっており、実用的には1.2m 地点を透過した水分量は大部分が地下水帯へ到達すると看做しても差いつかえないことがわかった。したがって本検討では1.2m 地点を透過した水分量を

地下水帯への補給量(地下水涵養量)と仮定し、その場合の0~1.2m の不飽和浸透解析結果を表5に示す。

それによると1.2m 地点を透過する水分量は、浸

図-8 浸透能曲線
Fig. 8 Infiltration curve of springling test

表-3 散水条件及び結果
Table 3 Terms and results of springling tests

CASE	降雨強度 (mm/hr)	総降雨量 (mm)	地被条件	全体流出率	浸透率	初期浸透能			減衰定数 α (1/hr)	適 用	初期損失量	
						f_0 (mm/hr)	f_c (mm/hr)	σ (mm/hr)			時間 (分)	浸透量 (mm)
1	60	170	耕深 5cm	0.76	0.24	52	8	2.7			7	6.0
2	80	217	〃 〃	0.84	0.16	—	10	—			3	4.2
3	100	269	〃 〃	0.93	0.07	—	3	—			2	3.3
4	60	177	〃 15cm	0.71	0.29	65	8	2.1			10	10.0
5	20	82	雑 草	0.20	0.80	21.3	14.0	0.6			14	5.0
6	40	160	〃	0.50	0.50	41.6	15.5	1.92			10	6.9
7	60	242	〃	0.60	0.40	62.7	21.5	3.84			7	7.3
8	20	81	耕深 5cm	0.07	0.93	21.1	17.5	—		同 一	25	8.8
9	40	160	〃 〃	0.46	0.54	41.3	16.0	1.08			10	6.9
10	60	240	〃 〃	0.54	0.46	62.3	22.0	2.7		降雨強度型	4	4.2
11	20	80	耕深 15cm	0.03	0.97	20.8	—	—			—	—
12	40	160	〃 〃	0.13	0.87	41.5	—	—			13	9.0
13	60	241	〃 〃	0.47	0.53	62.4	—	—			6	6.2
14	40	239	〃 5cm	0.58	0.42	41.2	11.5	1.02			8	5.5
15	一山型	264	雑 草	0.41	0.59	—	—	—		S.40年7月型	—	—
16	二山型	261	〃	0.24	0.76	—	—	—		S.46年7月型	—	—
17	均一型	241	〃	0.36	0.64	—	—	—		S.52年6月型	—	—
18	一山型	249	耕深 15cm	0.38	0.62	—	—	—		S.40年7月型	—	—
19	二山型	250	〃 〃	0.19	0.81	—	—	—		S.46年7月型	—	—
20	均一型	250	〃 〃	0.20	0.80	—	—	—		S.52年6月型	—	—

表-4 浸透率(実績降雨型)
Table 4 Infiltration ratio (the past hyetograph)

年 度	地 被 条 件 時 間 降 雨 強 度	雑 草 地				裸 地				備 考
		0～2	2～4	4～6	6～8	0～2	2～4	4～6	6～8	
53 年 度	25mm/hr 以下	0.9	0.9	0.9	0.9	0.95	0.95	0.9	0.85	
	25～40mm/hr	0.9	0.9	0.5	0.5	0.95	0.9		0.6	
	40～60mm/hr							0.75		
	60mm/hr 以上	0.85	0.5		0.4 ～0.6		0.5		0.5	
52 年 度	20mm/hr	0.5	0.8	0.7						
	40mm/hr	0.3	0.5	0.5						
	60mm/hr		0.35	0.30						
	20mm/hr					1.0	0.9	0.85		耕深 5cm
	40mm/hr					0.6	0.5	0.4		耕深 5cm
	60mm/hr					0.45	0.45	0.35		耕深 5cm
	20mm/hr					1.0	0.95	0.95		耕深 15cm
	40mm/hr					0.95	0.90	0.65		耕深 15cm
	60mm/hr					0.7	0.40	0.30		耕深 15cm
	40mm/hr					0.55	0.40	0.30		耕深 15cm

表-5 浸透量と透過量
Table 5 Infiltration and percolation amounts

項	降雨量 R	透過量 I	浸透率 $I/R \times 100$	中性子水分計 12 ～10.0m 水分増加 量 P	$P'/R \times 100$	$P'/I \times 100$	テンシオメータ 0～0.3m 間の保水 量 S1	電気容量 式水分計 0.3～1.2 m間の保 水量 S2	0～1.2m 間の保水 量 S=S1+S2 +10	1.2m地点 透過量 P=I-S	$P/R \times 100$	$P/I \times 100$	備 考
ケース	(mm)	(mm)	%	(mm)	%	%	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	%	%	
15	264	155	59	40	15	26	29	79	118	37	14	24	雑 草
16	241	154	64	—	4	9	21	40	71	83	34	54	〃
17	250	203	81	97	39	48	31	62	103	100	40	40	〃
18	261	199	26	—	—	—	7	37	54	145	56	73	裸 地
19	249	153	61	—	—	—	10	45	65	88	35	58	〃
20	250	201	80	89	36	44	20	69	99	102	41	51	〃

透量のほぼ50%に相当するという結果が得られた。

4. 3 含水量

浸透した雨水の鉛直方向への移動の機構を解明するために、表層0～0.3mをテンシオメータ、0.3～1.2mを電気容量式土壌水分計、0～10mを中性子水分計により測定した。その結果によると、《散水量》—《表層流出量》として表現される浸透量と深度0～10mまでの散水前の土壌水分量の差はほぼ同じ値を示し総量的な解析を中性子水分計測定結果によって行っても良いという結論が得られた。また水

分量の変化を含水率で示した例を図-9に示す。それによると散水終了後においても土壌中の最大含水量は70%程度であることから飽和度は90～95%となる。従って、空隙は全て雨水によって満たされているわけではなく大部分の空隙が雨水で満たされている不飽和の状態であることが明らかになった。

5. 検討(地下水涵養の推定)

モデル地区における散水実験結果を自然降雨に適用して地下水涵養量を推定する。ここで降雨資料は、

図-9 中性子水分計測定結果例 (CASE 20)

Fig. 9 Measurement example by neutron moisture gauge

合志観測所のものを使用した。

地下水涵養量推定の計算条件は次のとおりである。

- (1) 降雨資料は時間雨量を用いるものとし、その浸透率は表-4を参考にして次のように仮定する。

降雨強度	25mm/hr未満	25～40mm/hr	40～60mm/hr	60mm/hr以上
浸透率	0.9	0.7	0.6	0.5

ただし対象降雨は時間雨量5mm以上か、連続降雨でその合計雨量が10mm以上とする。

- (2) 地下水涵養量として前述の1.2m地点透過量を採り、それは浸透量の50%とする。従って、浸透量の50%は蒸発量となる。

- (3) 時間雨量が欠測の場合は日雨量を用いるものとし、日雨量10～40mmについてはその90%浸透量、10%を表面流出とする。この場合地下水涵養量は日雨量の45%となる。

日雨量40mm以上の場合は雨量の80%を浸透量、20%を表面流出量とする。この場合地下水涵養量は日雨量の40%となる。日雨量10mm以下は全て蒸発量とみなす。

以上の条件で昭和48年～昭和52年の5年間につい

て地下水涵養量、表面流出量および蒸発散量を計算すると表-6に示すようになる。

表-6によると、合志台地のように地表面勾配が緩やかで畑地が多いところでは年間の平均的な表面流出量は約10～11% (180～210mm)と推定された。このときの蒸発散量は900mm程度である。そして、最終的に地下水として涵養できる量は約38% (700mm程度)と推定される。また、時間雨量5mm以下、連続雨量10mm以下の雨量を考慮すると地下水涵養量は約45% (約800mm)となる。

6. あとがき

散水実験では地下水涵養量を把握するため、降雨量、表面流出量、土壌水分量を測定し、鉛直方向水分移動量を推定した。この水分移動量を把握するために、電気容量式土壌水分計、中性子水分計による土壌水分量の測定を行い、降雨前と降雨後の深度毎の水分量変化について検討した。土壌中の水分移動は不飽和浸透流 (透水係数が土壌水分量により変化する)であり、浸透量を求めるには土壌中の定常状

表-6 地下水涵養量の推定
Table 6 Groundwater recharge amounts of estimation

年	昭和 48 年				昭和 49 年				昭和 50 年				昭和 51 年				昭和 52 年			
項 月	降雨量 R	表面流出量 Q	蒸散 E	発芽 P	地下水分 涵養量 P	降雨量 R	表面流出量 Q	蒸散 E	発芽 P	地下水分 涵養量 P	降雨量 R	表面流出量 Q	蒸散 E	発芽 P	地下水分 涵養量 P	降雨量 R	表面流出量 Q	蒸散 E	発芽 P	地下水分 涵養量 P
1	(58.4)	4.5	33.5	20.4	(27.3)	2.7	12.3	12.3	(51.7)	1.9	41.2	8.6	(19.2)	0	19.2	0	(43.8)	4.1	21.1	18.6
2	(115.4)	13.8	64.4	37.3	(56.6)	3.0	40.1	13.5	(96.4)	7.0	58.0	31.4	(161.1)	20.4	76.7	64.0	(61.7)	5.3	32.8	23.6
3	(75.5)	5.6	44.7	25.2	(168.8)	12.8	98.3	57.7	(53.1)	3.9	31.5	17.7	(120.8)	9.6	67.9	43.3	(125.0)	8.7	77.1	39.2
4	492.5	53.2	229.1	209.7	175.0	17.1	80.9	77.0	246.0	21.7	126.9	97.4	214.1	25.3	111.5	77.3	202.8	23.3	99.7	79.8
5	194.5	18.9	90.8	84.8	76.5	6.4	41.5	28.6	57.5	3.2	39.9	14.4	242.5	20.8	128.1	93.6	275.6	31.7	126.8	117.1
6	201.0	21.8	113.1	66.1	162.5	19.7	83.6	59.2	661.5	82.5	293.2	285.8	369.3	48.6	179.2	141.5	479.7	64.5	223.6	191.6
7	273.0	37.6	129.2	106.2	368.0	33.6	183.2	151.2	146.0	12.1	79.4	54.5	224.4	32.7	108.0	83.7	172.3	22.6	81.7	68.0
8	(23.4)	0	23.4	0	117.0	17.4	55.3	44.3	129.5	11.5	66.2	51.8	138.2	11.0	77.5	49.7	155.3	18.3	82.7	54.4
9	233.0	23.2	123.6	84.2	128.0	10.3	71.3	46.4	98.0	14.5	52.2	31.3	244.3	22.3	121.8	100.2	74.3	6.8	37.0	30.5
10	70.0	6.4	35.0	28.6	191.5	30.2	87.1	74.2	120.0	9.8	66.1	44.1	124.6	10.5	66.9	47.2	53.0	5.1	25.0	22.9
11	(18.3)	1.6	9.6	7.1	90.5	5.2	61.9	23.4	115.0	10.4	57.8	46.8	64.1	5.0	36.7	22.4	108.1	9.1	58.2	40.8
12	(12.0)	0	12.0	0	(88.5)	8.4	42.3	37.8	(81.5)	6.1	48.0	27.4	(84.6)	6.0	51.7	26.9	(53.7)	2.7	38.7	12.3
計	1766.6	186.6	910.4	669.6	1650.2	166.8	857.8	625.6	1856.2	181.6	960.4	711.2	2007.2	212.2	749.3	1805.3	200.2	904.3	698.8	
X/R ×100	100	11	51	38	100	10	52	38	100	10	52	38	100	11	52	100	100	11	50	39

計	1766.6	186.6	789.7	790.3	1650.2	166.8	741.6	741.8	1856.2	181.6	835.3	836.3	2007.2	212.2	896.9	898.1	1805.3	202.2	801.2	801.9
X/R ×100	100	11	45	44	100	10	45	45	100	10	45	45	100	11	44	45	100	11	44	45

態の深度における水分量とそのときの透水係数を把握すればよいわけであるが、実際はかなり困難であるので、一般には数値計算により水分移動を算定する必要がある。

しかし、本実験ではそのレベルまで検討するには至らず、地表からの浸透量のうち、深さ1.2m 地点透過量を実験結果より推定し、地下水涵養量とした。これは、電気容量式土壌分計による測定結果では降雨前後の深度1.2m における水分量の変化が小さいため、それ以深は定常状態と仮定したためである。これについては、今後更に検討が必要と考えられ最

終的には土壌水分のシミュレーションを地下水面までもって行って検証していく必要があろう。

本報文をとりまとめるにあたり千代田エンジニアリング(株)九州支店に協力を賜ったことをここに記し、感謝の意を表する。

参 考 文 献

Horton (1979) ; 地下水ハンドブック 建設産業調査会、p34)
(受付：1986年11月13日、受理：1987年1月31日)