

溪流河道における滲漏について

木 村 大 造

On the Seepage in the Torrent Course

Daizo KIMURA

(Laboratory of Sabo Engineering)

I 序 説

治水問題の核心は積極的に水源を涵養し、消極的に洪水を防止するにある。この相反する二つの目的を同時に達成するには水源地に降下する雨量の地表流下をなるべく少くし、地下に滲透する量をなるべく多からしむるにある。この水の配分経済の問題は、山腹における地表流下、地中滲透をもつて終局とはならない。溪流河道に入つてなお水分の増減異動は連続する。普通河川における流量の観測は河川工学の方面からは河川調査設計の基礎的資料として第一に行われる所であるが、河道内における滲漏の問題として実施せられたるものはあまりないようで、殊に水源地の溪床について行われたる例は殆ど見ないようである。しかしわれわれが溪川の流水を見ると、上流のある地点において満々と貯溜してあつた水量も、下流のある地点に至りて全くその影を没して認め得ない場合が少なくない。これによつても山岳水源地の治水問題を論ずるに、この河道における滲漏増減についても等閑に付すべきでないことが判ると思う。ここに普通用いらるる「滲透」の語をさけて「滲漏」の語をとりたるは、特に意味あるわけではないけれど、また全く無意義に用いたわけでもない、滲透（英語でも Infiltration, Permeability, or Percolation 等々種々に用いられておるようだが）という場合は実質があまり大きいぬけ穴がある多孔質のものでなく比較的緻密な組織で水の浸潤するのも、吸着力、毛管力及び重力の作用によるが、この河道の滲漏の場合は緻密な部分を除外するのではないけれど、かなり疎鬆な多孔質で主として重力の作用によりて水の浸入する場合が主なりと考えらるるので、殊更に滲漏 (Seepage) の字を用いる次第である。

本学名誉教授西力造は農林省林野庁農林漁業応用試験研究費補助金によりて、昭和 29 年以来 3 年間「林地水分の消費並に移動に関する研究」を実施し来つたが、著者も亦これに協力し来りしが、特に一部として上記の問題を追究することとしたので、同先生の指導の下にこれを取りまとめ、ここに報告することとする。

II 実 験 方 法

(a) 流量観測箇所の選定

鹿児島県肝属郡垂水町鹿児島大学附属演習林内肝属川上流溪流で 9 カ所 (Fig. 1), 霧島国有林丸尾溪流で 15 カ所 (Fig. 2) をなるべく支流よりの流入のないところで、比較的水路斉一なる流身を選び流量測定箇所とした。

(b) 流量測定の方法

前記の如く選定した各流量測定箇所において流心に直角に杉丸太を架け渡し、この横断面を一方の岸より幅 50 cm 毎に区分し、各区分の中央の鉛直線内において、水面下 5 cm の深さ及び以下順

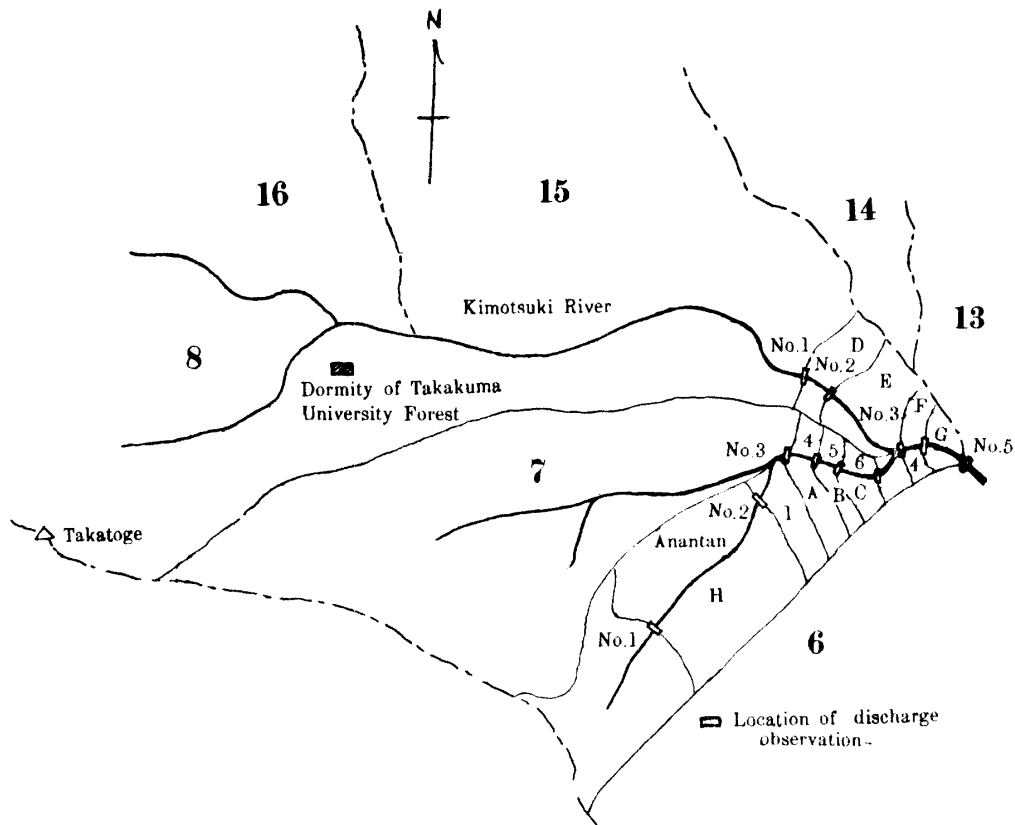


Fig. 1. Map of locations of discharge observation in Kagoshima University forest

次 10 cm 毎における流速を広井式流速計で測る、水深を縦とし流速を横にとり縦流速曲線を描き、この各小断面毎の流量を求め、これら小断面の流量の総和をもつて流量測定箇所の断面全体の流量とした。

III 実測の結果

以上の如き方法により演習林にては昭和 29 年 12 月より 31 年 6 月までの間に 10 回、霧島にては 30 年 10 月より 31 年 7 月まで 9 回流量測定した結果は Tab. 1, Tab. 2 の如くである。

これによつて見ると演習林においては、68 回中 28 回、即ち測定した回数約 41 %、水量として、 $140,215 \text{ m}^3/\text{day}$. 4.9 %、霧島においては、49 回中 25 回、即ち 51 % の場合水量としては、 $96,267 \text{ m}^3/\text{day}$, 即ち 5.3 %、下流ほど却て減少するという現象を呈していることが明かにされた。

IV 流域流出量推定

以上は測定区間の上下流両点における流量をそのまま比較するに止めたけれども、実際においては、この区間内にはその兩岸の流域より流入増加する流量がある筈であるから、これら測定区間における流量の増減を精確に追究せんとするには、これら流入量をも推定して加えなければ滲漏量の正しき値が得られない。この流域よりの流入量を推定するために、まず測定区間の兩岸の流域を現地において、地形図を参照して実測図に記入し、更にこれを基として林相図により各林相の界域を記入し、森林調査簿を参考として各林相別面積を求める。他方演習林及び霧島共に、別に林地又は草生地より流出する流量を測定するため設けた三角量水堰により実測して得た林相別単位面積当り流量が

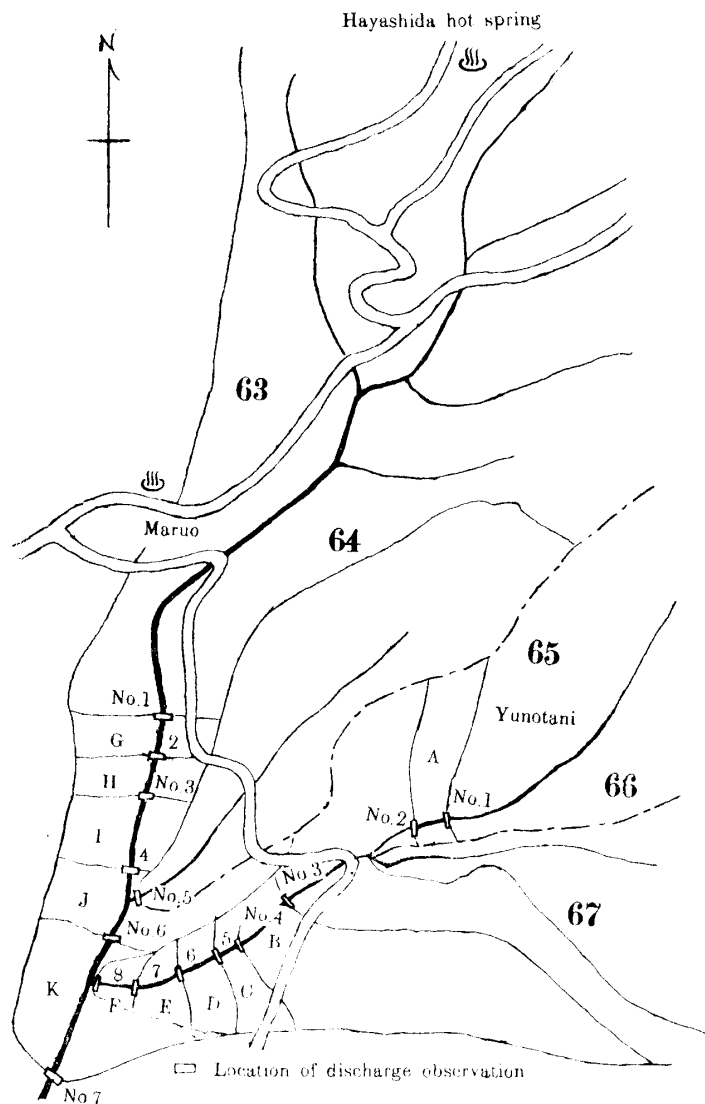


Fig. 2. Map of locations of discharge observation in Kirishima national forest

Tab. 1 Discharge in the torrent course at Kagoshima University forest

Sections of observation	Discharges at the upper stream m^3/day	Discharge at the lower stream m^3/day	Increases & decreases of the discharge m^3/day
Date of observation		Dec. 25, 1954	
A	43,350	41,950	- 1,400
B	41,950	41,300	- 650
C	41,300	43,700	+ 2,400
D	7,850	6,300	- 1,550
E	50,000	53,800	+ 3,800
F	53,800	50,990	- 2,810
G	50,990	58,000	+ 7,010
Date of observation		March 6, 1955	
A	37,000	40,100	+ 3,100
B	40,100	30,950	- 9,150
C	30,950	39,150	+ 8,200
D	7,360	6,135	- 1,225
E	45,250	46,850	+ 1,600
F	46,850	46,000	- 850
G	46,000	51,500	+ 5,500

Sections of observation	Discharges at the upper stream m^3/day	Discharge at the lower stream m^3/day	Increases & decreases of the discharge m^3/day
Date of observation April 9, 1955			
A	34,200	38,550	+ 4,350
B	38,550	35,250	- 3,300
C	35,250	34,350	- 900
D	11,280	10,040	- 1,240
E	44,400	50,700	+ 6,300
F	50,700	46,000	- 4,700
G	46,000	52,100	+ 6,100
Date of observation May 14, 1955			
A	33,950	33,400	- 550
B	33,400	29,950	- 3,450
C	29,950	35,480	+ 5,530
D	25,500	27,600	+ 2,100
E	63,000	59,600	- 3,400
F	59,600	63,550	+ 3,950
G	63,550	69,900	+ 6,350
Date of observation June 13, 1955			
A	31,000	36,000	+ 5,000
B	36,000	29,800	- 6,200
C	29,800	31,400	+ 1,600
D	47,600	47,150	- 450
E	78,500	73,500	- 5,000
F	73,500	73,550	+ 50
G	73,550	89,800	+ 16,250
Date of observation June 25, 1955			
A	34,450	40,770	+ 6,320
B	40,770	31,280	- 9,490
C	31,280	35,250	+ 3,970
D	60,600	50,500	- 10,100
E	35,750	85,000	+ 49,250
F	85,000	86,000	+ 1,000
G	86,000	90,750	+ 4,750
Date of observation Oct. 26, 1955			
A	39,550	42,850	+ 3,300
B	42,850	42,350	- 500
C	42,350	46,650	+ 4,300
D	11,100	15,250	+ 4,150
E	61,900	37,700	- 24,200
F	37,700	80,400	+ 42,700
G	80,400	60,750	- 19,650
Date of observation Dec. 11, 1955			
A	38,100	41,000	+ 2,900
B	41,000	37,180	- 3,820
C	37,180	41,100	+ 3,920
D	7,420	10,720	+ 3,300
E	51,800	50,300	- 1,500
F	50,300	43,900	- 6,400
G	43,900	56,750	+ 12,850
Date of observation Jan. 11, 1956			
H	27,220	36,000	+ 8,780
I	36,000	34,800	- 1,200
A	34,800	37,250	+ 2,450
B	37,250	33,600	- 3,650

Sections of observation	Discharges at the upper stream m^3/day	Discharge at the lower stream m^3/day	Increases & decreases of the discharge m^3/day
C	33,600	35,650	+ 2,050
D	5,150	6,480	+ 1,330
E	42,150	47,350	+ 5,200
F	47,350	48,900	+ 1,550
G	48,900	52,200	+ 3,300
Date of observation		June 14, 1956	
D	27,280	14,400	- 12,880
F	22,280	42,350	+ 20,070
G	42,350	45,600	+ 3,250
Total	2845,760		+279,880 -140,215

Symbols of each section of observation.

- A.....Anatan No. 3 — No. 4
 B..... // No. 4 — No. 5
 C..... // No. 5 — No. 6
 D.....Kimotsuki River No. 1 — No. 2
 E.....Kimotsuki River No. 2 }
 Anatan No. 6 } — Kimotsuki River No. 3
 F.....Kimotsuki River No. 3 — No. 4
 G..... // No. 4 — No. 5
 H.....Anatan No. 1 — No. 2
 I..... // No. 2 — No. 3

Tab. 2 Discharge in the torrent course at Kirishima national forest

Sections of observation	Discharges at the upper stream m^3/day	Discharges at the lower stream m^3/day	Increases & decreases of the discharge m^3/day
Date of observation		Oct. 16, 1955	
A	13,750	12,820	- 930
B	14,650	12,530	- 2,120
C	12,530	13,680	+ 1,150
D	13,680	17,040	+ 3,360
E	17,040	20,450	+ 3,410
F	20,450	14,840	- 5,610
G	26,980	58,100	+ 31,120
H	58,100	47,260	- 10,840
I	47,260	39,000	- 8,260
J	40,700	48,200	+ 7,500
K	63,000	52,950	- 10,050
Date of observation		Dec. 27, 1955	
A	4,460	2,990	- 1,470
B	4,349	7,080	+ 2,731
C	7,080	5,300	- 1,780
D	5,300	8,930	+ 3,630
E	8,930	4,460	- 4,470
F	4,460	3,910	- 550
G	18,130	24,250	+ 6,120
H	24,250	24,500	+ 250
I	24,500	15,700	- 8,800
J	16,300	26,000	+ 9,700
K	29,930	26,200	- 3,730

Sections of observation	Discharges at the upper stream m^3/day	Discharges at the lower stream m^3/day	Increases & decreases of the discharge m^3/day
Date of observation		April 18, 1956	
A	1,270	1,140	- 130
B	1,270	874	- 396
C	874	579	- 295
D	579	1,192	+ 613
E	1,192	1,305	+ 113
F	1,305	1,140	- 165
G	2,879	4,915	+ 2,036
H	4,915	2,394	- 2,521
I	2,394	3,360	+ 966
Date of observation		June 3, 1956	
A	33,800	34,550	+ 750
B	47,350	38,200	- 9,150
C	38,200	46,050	+ 7,850
D	46,050	49,000	+ 2,950
E	49,000	52,800	+ 3,800
F	52,800	51,500	- 1,300
G	72,350	67,500	- 4,850
H, I	67,500	72,000	+ 4,500
J	76,750	87,900	+ 11,150
K	139,500	139,200	- 300
Date of observation		July 3, 1956	
B	87,400	84,000	- 3,400
Date of observation		July 4, 1956	
B, C, D, E, F	151,200	151,800	+ 600
Date of observation		A. M. on July 5, 1956	
B, C, D, E, F	104,400	112,800	+ 8,400
Date of observation		P. M. on July 5, 1956	
B, C, D, E, F	95,000	97,750	+ 2,750
Date of observation		A. M. on July 6, 1956	
B, C, D, E, F	83,600	77,850	- 5,750
Date of observation		P. M. on July 6, 1956	
B, C, D, E, F	75,150	71,900	- 3,250
Date of observation		A. M. on July 7, 1956	
B, C, D, E, F	60,750	63,100	+ 2,350
Date of observation		P. M. on July 7, 1956	
B, C, D, E, F	71,400	65,250	- 6,150
Total	1,844,707		+127,799 - 96,267

Symbols of each section of observation

A.....Yunotani No. 1 — No. 2 C..... // No. 4 — No. 5
 B..... // No. 3 — No. 4 D..... // No. 5 — No. 6

E.....	//	No. 6 — No. 7	J.....	//	No. 4 } — No. 6
F.....	//	No. 7 — No. 8			No. 5 }
G.....	Maruo	No. 1 — No. 2	K.....	//	No. 6 } — Maruo No. 7
H.....	Maruo	No. 2 — No. 3	Unotani	No. 8 }	
I.....	//	No. 3 — No. 4			

既知であるから、これとそれぞれの林相別の面積との相乗積の総和を求めて、それぞれの区間の流出量として計算したるものが Tab. 3, Tab. 4 である。

Tab. 3 Seepage and spring in the torrent course at Kagoshima University forest

Sections of observation	Areas of basin <i>ha</i>	Distance of each observation points <i>m</i>	Run off of the basins <i>m³/day</i> (A)	Discharges at the upper stream <i>m³/day</i> (B)	Run off of each sections <i>m³/day</i> (A+B)	Discharges at the lower stream <i>m³/day</i>	Increases & decreases of discharge <i>m³/day</i>
Date of observation			Dec. 25, 1954				
A	1.71	64	3	43,350	43,353	41,950	— 1,403
B	1.12	87	2	41,950	41,952	41,300	— 652
C	1.14	58	2	41,300	41,302	43,700	+ 2,398
D	2.32	68	5	7,850	7,855	6,300	— 1,555
E	2.92	239	9	50,000	50,009	53,800	+ 3,791
F	1.18	48	3	53,800	53,803	50,900	— 2,813
G	1.44	79	3	50,990	50,993	58,000	+ 7,007
Date of observation			March 6, 1955				
A	1.71	64	51	37,000	37,051	40,100	+ 3,049
B	1.12	87	34	40,100	40,134	30,950	— 9,184
C	1.14	58	34	30,950	30,984	39,150	+ 8,166
D	2.32	68	70	7,360	7,430	6,135	— 1,295
E	2.92	239	88	45,250	45,338	46,850	+ 1,512
F	1.18	48	35	46,850	46,885	46,000	— 885
G	1.44	79	43	46,000	46,043	51,500	+ 5,457
Date of observation			April 9, 1955				
A	1.71	64	68	34,200	34,268	38,550	+ 4,282
B	1.12	87	45	38,550	38,595	35,250	— 3,345
C	1.14	58	46	35,250	35,296	34,350	— 946
D	2.32	68	93	11,280	11,373	10,040	— 1,333
E	2.92	239	117	44,400	44,517	50,700	+ 6,183
F	1.18	48	47	50,700	50,747	46,000	— 4,747
G	1.44	79	58	46,000	46,058	52,100	+ 6,042
Date of observation			May 14, 1955				
A	1.71	64	188	33,950	34,138	33,400	— 738
B	1.12	87	123	33,400	33,523	29,950	— 3,573
C	1.14	58	125	29,950	30,075	35,480	+ 5,405
D	2.32	68	255	25,500	25,755	27,600	+ 1,845
E	2.92	239	320	63,000	63,320	59,600	— 3,720
F	1.18	48	130	59,600	59,730	63,550	+ 3,820
G	1.44	79	159	63,550	63,709	69,900	+ 6,191
Date of observation			June 13, 1955				
A	1.71	64	205	31,000	31,205	36,000	+ 4,795
B	1.12	87	134	36,000	36,134	29,800	— 6,334
C	1.14	58	137	29,800	29,937	31,400	+ 1,463
D	2.32	68	278	47,600	47,878	47,150	— 728
E	2.92	239	350	78,500	78,850	73,500	— 5,350
F	1.18	48	142	73,500	73,642	73,550	— 92
G	1.44	79	173	73,550	73,723	89,800	+ 16,077

Sections of observation	Areas of basin <i>ha</i>	Distance of each observation points <i>m</i>	Run off of the basins <i>m³/day</i> (A)	Discharges at the upper stream <i>m³/day</i> (B)	Run off of each sections <i>m³/day</i> (A+B)	Discharges at the lower stream <i>m³/day</i>	Increases & decreases of discharge <i>m³/day</i>
Date of observation June 25, 1955							
A	1.71	64	137	34,450	34,587	40,770	+ 6,183
B	1.12	87	90	40,770	40,860	31,280	- 9,580
C	1.14	58	91	31,280	31,371	35,250	+ 3,879
D	2.32	68	186	60,600	60,786	50,500	- 10,286
E	2.92	239	234	85,750	85,984	85,000	- 984
F	1.18	48	94	85,000	85,094	86,000	+ 906
G	1.44	79	115	86,000	86,115	90,750	+ 4,635
Date of observation Oct. 26, 1955							
A	1.71	64	10	39,550	39,560	42,850	+ 3,290
B	1.12	87	7	42,850	42,857	42,350	- 507
C	1.14	58	7	42,350	42,357	46,650	+ 4,293
D	2.32	68	14	11,100	11,114	15,250	+ 4,136
E	2.92	239	18	61,900	61,918	37,700	- 24,218
F	1.18	48	7	37,700	37,707	80,400	+ 42,693
G	1.44	79	9	80,400	80,409	60,750	- 19,659
Date of observation Dec. 11, 1955							
A	1.71	64	5	38,100	38,105	41,000	+ 2,895
B	1.12	87	3	41,000	41,003	37,180	- 3,823
C	1.14	58	3	37,180	37,183	41,100	+ 3,917
D	2.32	68	7	7,420	7,427	10,720	+ 3,293
E	2.92	239	9	51,800	51,809	50,300	- 1,509
F	1.18	48	4	50,300	50,304	43,900	- 6,404
G	1.44	79	4	43,900	43,904	56,750	+ 12,846
Date of observation Jan. 11, 1956							
H	11.80	468	71	27,220	27,291	36,000	+ 8,709
I	49.15	93	295	36,000	36,295	34,800	- 1,495
A	1.71	64	10	34,800	34,810	37,250	+ 2,440
B	1.12	87	7	37,250	37,257	33,600	- 3,657
C	1.14	58	7	33,600	33,607	35,650	+ 2,043
D	2.32	68	14	5,150	5,164	6,480	+ 1,316
E	2.92	239	18	42,150	42,168	47,350	+ 5,182
F	1.18	48	7	47,350	47,357	48,900	+ 1,543
G	1.44	79	9	48,900	48,909	52,200	+ 3,291
Date of observation June. 14, 1956							
D	2.32	68	51	27,280	27,331	14,400	- 12,931
F	1.18	48	26	22,280	22,306	42,350	+ 20,044
G	1.44	79	32	42,350	42,382	45,600	+ 3,218
Total				2,895,760			+228,235 -143,746

かように推定流出量を加える時は、更に一層各区間にて漏水するものと推定すべき量は大となり、回数においては、演習林は 68 回中 30 回、即ち 44% の場合漏水量は 143,746 m^3/day 、即ち 5%、霧島にては 49 回中 28 回、即ち 57% の場合 132,248 m^3/day 、即ち 7.2% 滲漏するものと推定せられるが、これは普通の地表流出水量だけ計算に入れた結果であつて、実際においてはなお河道中に一旦地中に滲透した地下水の湧出が相当存することは、現に前掲諸表の示す如く下流断面における流量が上流より増加しおるもの相当多大であることよりしても明かである。故に他の区間、即ちここにては流量増加せず滲漏ありたりと推定したる半数内外の区間にては亦一方では湧出したる量もあり

Tab. 4 Seepage and spring in the torrent course at Kirishima national forest

Sections of observation	Areas of basin <i>ha</i>	Distance of each observation points <i>m</i>	Run off of the basins <i>m</i> ³ /day (A)	Discharges at the upper stream <i>m</i> ³ /day(B)	Run off of each sections <i>m</i> ³ /day (A+B)	Discharges at the lower stream <i>m</i> ³ /day	Increases & decreases of discharge <i>m</i> ³ /day
Date of observation			Oct. 16, 1955				
A	4.08	70	316	13,750	14,066	12,820	- 1,246
B	11.88	105	594	14,650	15,244	12,530	- 2,714
C	1.40	75	84	12,530	12,614	13,680	+ 1,066
D	1.92	100	115	13,680	13,795	17,040	+ 3,245
E	1.27	115	76	17,040	17,116	20,450	+ 3,334
F	0.94	80	56	20,450	20,506	14,840	- 5,666
G	3.05	100	214	26,980	27,194	58,100	+ 30,906
H	2.34	125	176	58,100	58,276	47,260	- 11,016
I	3.52	166	282	47,260	47,542	39,000	- 8,542
J	5.30	170	265	40,700	40,965	48,200	+ 7,235
K	7.52	330	526	63,000	63,526	52,950	- 10,576
Date of observation			Dec. 27, 1956				
A	4.08	70	4	4,460	4,464	2,990	- 1,474
B	11.88	105	12	4,349	4,361	7,080	+ 2,719
C	1.40	75	1	7,080	7,081	5,300	- 1,781
D	1.92	100	2	5,300	5,302	8,930	+ 3,628
E	1.27	115	1	8,930	8,931	4,460	- 4,471
F	0.94	80	1	4,460	4,461	3,910	- 551
G	3.05	100	3	18,130	18,133	24,250	+ 6,117
H	2.34	125	30	24,250	24,280	24,500	+ 220
I	3.52	165	35	24,500	24,535	15,700	- 8,835
J	5.30	170	27	16,300	16,327	26,000	+ 9,673
K	7.52	330	75	29,930	30,005	26,200	- 3,805
Date of observation			April 18, 1956				
A	4.08	70	8	1,270	1,278	1,140	- 138
B	11.88	105	24	1,270	1,294	874	- 420
C	1.40	75	3	874	877	579	- 297
D	1.92	100	4	579	583	1,192	+ 609
E	1.27	115	3	1,192	1,195	1,305	+ 110
F	0.94	80	2	1,305	1,307	1,140	- 167
G	3.05	100	104	2,879	2,983	4,915	+ 1,933
H	2.34	125	80	4,915	4,995	2,394	- 2,601
I	3.52	165	120	2,394	2,514	3,360	+ 846
Date of observation			June. 3, 1956				
A	4.08	70	12	33,800	33,812	34,550	+ 738
B	11.88	105	36	47,350	47,386	38,200	- 9,186
C	1.40	75	4	38,200	38,204	46,050	+ 7,846
D	1.92	100	6	46,050	46,056	49,000	+ 2,944
E	1.27	115	4	49,000	49,004	52,800	+ 3,796
F	0.94	80	3	52,800	52,803	51,500	- 1,303
G	3.05	100	763	72,350	73,113	67,500	- 5,613
H,I	5.86	290	1,465	67,500	68,965	72,000	+ 3,035
J	5.30	170	1,325	76,750	78,075	87,900	+ 9,825
K	7.52	330	1,880	139,500	141,380	139,200	- 2,180
Date of observation			July. 3, 1956				
B	11.88	105	3,564	87,400	90,964	84,000	- 6,964
Date of observation			July. 4, 1956				
B,C,D,E,F	17.41	475	5,397	151,200	156,597	151,800	- 4,797

Sections of observation	Areas of basin <i>ha</i>	Distance of each observation points <i>m</i>	Run off of the basins m^3/day (A)	Discharges at the upper stream m^3/day (B)	Run off of each sections m^3/day (A+B)	Discharges at the lower stream m^3/day	Increases & decreases of discharge m^3/day
Date of observation			A. M. on July. 5, 1956				
B,C,D,E,F	17.41	475	5,571	104,400	109,971	112,800	+ 2,829
Date of observation			P. M. on July. 5, 1956				
B,C,D,E,F	17.41	475	5,571	95,000	100,571	97,750	- 2,821
Date of observation			A. M. on July 6, 1956				
B,C,D,E,F	17.41	475	5,745	83,600	89,345	77,850	- 11,495
Date of observation			P. M. on July. 6, 1956				
B,C,D,E,F	17.41	475	5,745	75,150	80,895	71,900	- 8,995
Date of observation			A. M. on July. 7, 1956				
B,C,D,E,F	17.41	475	5,397	60,750	66,147	63,100	- 3,047
Date of observation			P. M. on July. 7, 1956				
B,C,D,E,F	17.41	475	5,397	71,400	76,797	65,250	- 11,547
Total				1,844,707			+102,654 -132,248

と推考し得ないわけではないから、これらに実際幾分の湧出増加ありたりとすれば、滲漏の量は更に遙かに多大であつたと推断せざるを得ない。

V 結 論

実験並びに推論の示す如く、水源地における治水問題を研究するには、単に独り地表流水、地中滲透に注意するに止まらず、更に河道における滲漏、湧水についても充分考慮しなければならない。この実験によれば、Tab. 1 及び Tab. 2 から明らかなる如く、河道にて滲漏の生ずる頻度は鹿児島大学演習林で 41%、霧島国有林で 51% であつた。

R é s u m é

It is concluded from the experiment and consideration that the problem of flood control needs thorough investigation not only of surface running-water and percolation in the hillside, but also of seepage and spring water in the torrent course. In this experiment, as seen from Tab. 1 and 2, the frequency of occurrence of the seepage in the torrent course was 41% in the Kagoshima University Forest and 51% in the Kirishima national forest.