

# 釜淵森林理水試験第3回報告

## 山腹切取階段工の理水機能

小野茂夫<sup>(1)</sup>  
川口利次<sup>(2)</sup>

### 1. ま え が き

釜淵森林理水試験地では、水源地帯における溪川の流出に関する森林の影響、すなわち森林の水文学的機能をあきらかにするため、1939年以降いわゆる対照流域法によって水文調査をおこなってきた。とくに森林と流出の関係を端的に調査するため、隣接する2小流域（1号沢：3.06ha，2号沢：2.48ha）について1939～46年の前期観測ののち、1947年に2号沢の森林を皆伐搬出処理し、もう一方の1号沢は基準流域として無処理のままの林相を維持させながら、前期、処理期ともに一貫した方法で両沢の流量観測をおこなった。この伐採処理期間は1960年までの13年間つづけられて終了した。この試験期間の資料から森林伐採の影響がいろいろな角度から解析され、これまで幾多の報告がなされている。

まず、丸山・猪瀬<sup>7)</sup>により当試験地の全般的な概況と、森林伐採による年流量、洪水流量の変化が報告されたのをはじめとして、ひきつづき高橋<sup>23)24)</sup>、中野・森沢・菊谷<sup>9)10)11)</sup>によってより詳細な流量変化が、また、地下水による減水レートについては丸山・根田<sup>8)</sup>、遠藤<sup>9)</sup>によって報告されている。

積雪からの融雪出水については四手井が雪代洪水をとりあげ<sup>17)18)</sup>、全般的な流域内融雪経過の伐採による変化は槐<sup>4)</sup>、中野・菊谷<sup>12)</sup>、小野・川口<sup>14)</sup>が報告した。

林地保全の立場からは、防災研究室<sup>15)</sup>、遠藤<sup>2)</sup>、小野<sup>13)</sup>が、そのほか、溪川水温について高橋<sup>22)</sup>が報告した。

また、水文観測資料は別に公刊され<sup>9)19)</sup>、各方面に貢献しているところである。

それらの結果や、これまで各地で実施されてきた森林理水試験成績、また、大洪水の記録などから、森林の洪水緩和能力には限界があって、考えるもっとも優良な森林が水源山地にあっても、大量の降雨を貯留して洪水をなくすることはできないことは、もはや常識となっている。有限な森林の洪水緩和機能を補うため、水源地の森林配置と並行してなんらかの土木的工作物が必要とされるわけである。

それには山腹における工法と、溪川における工法および両者の組みあわせなどが考えられている。また沢の出口において、下流に扇状地がある場合、地下への強制浸透をはかるいわゆる拡水工法なども最近おこなわれつつある。このような理水工法の必要性はこれまでもみとめられてはいるが、いまだにその工法は確立されておらず、実際の流域で試験をする必要があるというのが現状であろう。この報告は、それら理水工法中の山腹工法について試験をおこなった結果について考察したものである。

山腹工法は従来からいろいろな形でおこなわれてはいるが、もちろん洪水防止や水資源の保全をたかめ

(1) (2) 東北支場山形分場多雪地帯林業第2研究室員

る効果も目的としてはいるけれども、施工の動機は主として荒廃地の復旧であり、期待される成果そのものもそれに比重がかかっていたともいえよう。階段工も山腹工法のひとつであって、施工の動機は北陸等でみられる造林に付随する手段であったり、なだれ防止をはかる工法であった。

なだれ防止階段工は長大な斜面を寸断しておおのの斜面長を小さくし、積雪の移動を分断することによってなだれを防止する機能をもつが、積雪のみならず、斜面上を傾斜に沿って移動する水分についても同じようなことが考えられる。すなわち、階段工の切取りによっておおのの斜面長を小さくし、切取面は地表面積を拡大する。その結果、地表下水を抑制して河道へ到着する時間を遅らせながら浸透をうながすものと期待されよう。このような見かたをすれば階段工は山腹理水工法の一つといえるが、小規模な人工的短冊形試験区による模型の実験以外、こうした立場から検討されたことはないようであり、実際の流域に施工してその機能を試験する必要があった。

以上のようなことから、たまたま森林伐採処理期としての観測を終了する2号沢で山腹理水工法の試験を行なうことを計画し、その工種について検討した。しかし、まえにものべたとおり従来山腹理水工法の試験が実際の流域でおこなわれたことがなく、どのような工種がよいか一切不明であった。一方、2号沢ではあとでのべるように森林伐採跡地の人為的な流域管理の結果、なだれ地化したため、森林配置のための再造林にあたってはまずなだれを防止する工法を先行させなければならなかった。このため、階段工を採用するよう本場防災部および秋田営林局と協議の結果、昭和35年度中に伐採処理期としての観測期間の終了する2号沢になだれ防止階段工を施工することに決定され、1960年10月に施工完了した。なおこの階段設計にあたっては、なだれ防止工、階段造林の試験をも兼ねておこなうよう考慮された。

この試験の立案実施にあたっては、前釜淵（山形）分場防災（多雪地帯林業第二）研究室長高橋敏男技官（現北海道支場防災研究室長）、前山形分場長丸山岩三技官（現新潟大学農学部教授）、山形分場長高橋喜平技官らのご尽力され、また、この報告のとりまとめにご指導をいただいた。ここに厚く謝意を表わす次第である。

## 2. 試験の方法

1947年に皆伐した2号沢は、その後の観測期間中、地ごしらえ程度の念入りな下刈りを毎年くりかえし、さらに1953年以降は春の乾燥期に火入れをするなどの地表処理をおこなった。

当試験地は冬季の平均最深積雪が170cm（既往27年間における極は261cm）という多雪地帯に位置しているので、伐採跡地は当然積雪の影響をうける。伐採当時の伐根は斜面の積雪移動圧を支持するにたる支持力をもっているため、斜面の積雪は安定していたが、数年後からの自然腐朽のほかに火入れによって伐根そのものは焼失しないが、地表や地表近い地中の植生、根系・腐朽物の消失によって土壌と伐根々系の緊縛力が低下した。この結果、積雪の移動圧により伐根が押し倒されたり、引き抜かれたりして転落するにいたり、ついになだれの発生をみるようになった。そして伐採後12年の1959年の観察では2号沢流域の大体半分ぐらいが常習なだれ地と化し、流域全般が荒廃地へと移行しているようであった。

しかし、当地は冬季以外の気候は温和で適度の湿気があり、しかも森林の伐採跡地で十分な陽光があって草本類の繁茂するのによい条件なので、山腹は消雪後すばやく草本類に被覆される。なだれ跡地でもカヤがいち早く侵入し、カタクリ・トリアシショウマ・ゼンマイその他のシダ類におおわれる。下部のなだれ堆積地にはカヤ・ササ・イタドリ・アカソ・ヤマグワが、また河道にはミゾソバ・スゲ類が密生した。

これらの植生は日常の雨水による浸食に対して非常に有効な防護作用を発揮したので、みかけ上、土砂流出は問題にならなかった。もっとも当地は大豪雨に見舞われることがなかったため、河道出口における土砂流出が問題にならなかったまでで、もし記録的な大豪雨がひとたびおそえば植生による土砂抑制限界が破れ、大量の土砂流出をみたのではないかと想像される。結局、1960年の階段施工時の2号沢は、冬季には常習なだれ地、夏季には草本類の被覆でかろうじて浸食を防止している耐食性の劣った地被状態の流域ということになる。

このような流域において山腹理水工法の試験をおこなうことになったが、その工法として前記のとおりなだれ防止階段工を採用した。

通常、なだれ防止のための階段工の幅員は施工対象地の最深積雪と等しくとり、斜面上の配置は垂直距離で階段幅員の7倍が限度で、5.5~6倍ならばよいとされている<sup>20)</sup>。当地は積雪の質的な面からその位置の特徴を考察すれば、高橋の積雪地帯区分<sup>21)</sup>によってあきらかなように、北陸地方とはかなり異なった様相を示している。当地ではこれまで階段工を施工したケースがなく、北陸地方の階段工の理論・方法をそのまま当地に導入しうるかどうかわからず、階段工そのものの効果を試験する必要もあった。それらを考慮した結果、設計は Fig. 1, Fig. 2 にしめすとおり、幅員は0.8, 1.2, 1.6mの3種とし、垂直配置は幅員の6, 8, 10倍の3種として、現地地形に応じて適宜組み合わせた。

施工は、真室川営林署治山係鈴木 昭技官(現向町営林署治山係長)が非常な苦勞をされながら1960年10月に行なったが、当試験地は地形が急峻で土壌層も浅く、工事は困難をきわめた。とくに岩盤の露出していたような箇所では、その岩質が凝灰質頁岩で爆破の能率が悪く、工費の関係から一部の設計を変更せざるを得ない状態であった。

工事終了後の現地調査では、階段の切取り延長距離は1,810mになり、切取り総面積は1,660m<sup>2</sup>となった。これは2号沢流域面積(2.48ha)の6.7%に相当する。Fig. 3に平面図を示す。通常なだれ防止階段工の切取り面積は、施工対象地の面積に対して15%程度の値をとるものであるが、当試験地ではその半分以下となった。つまり、一般的な施工基準からみればかなり弱度の施工であるといえるが、これはまえにものべたように試験的な要素をとりいれて階段の垂直配置を、従来階段工のなだれ防止機能の限界といわれている幅員の7倍をさらに上まわる10倍とした

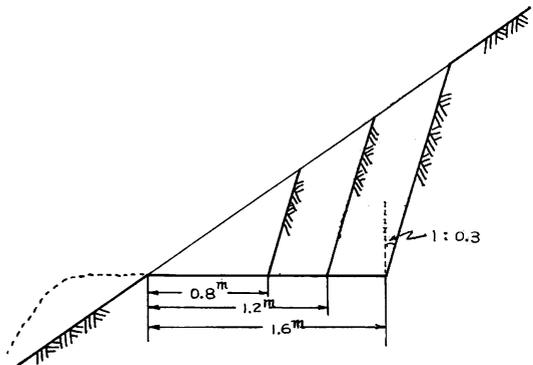


Fig. 1 階段工の寸法  
Measurements of terrace.

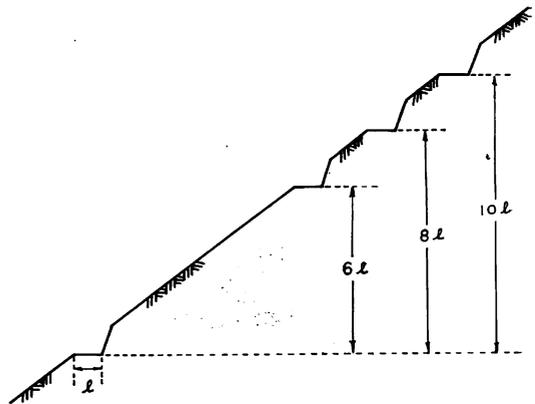


Fig. 2 階段工の垂直的配置  
Vertical disposition of terrace.

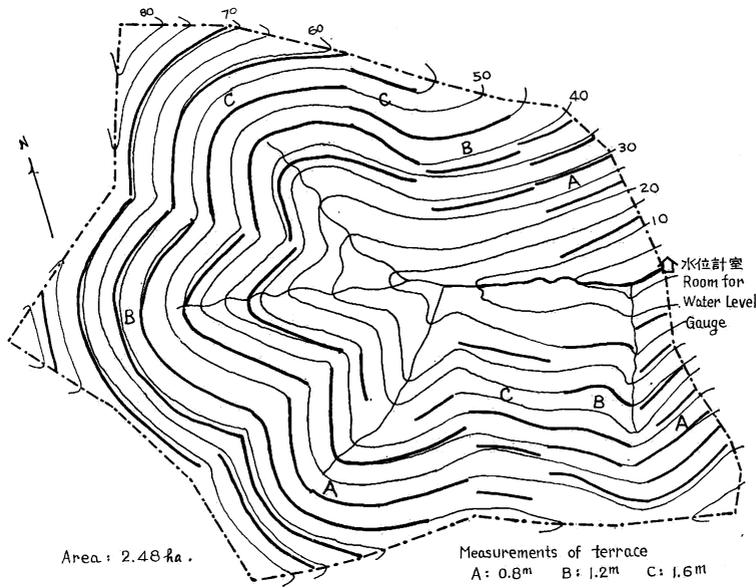


Fig. 3 階段工施工平面図  
Plane figure of terracing work system.

ことや、幅員不足および施工不能地があったからである。なお、切り取り施工完了後の11月に、露岩地・階段法面・法底および掘取り土石のいちじるしい堆積地以外の全面にスギを植栽した。

この報告は、2号沢に階段工を施工した1960年10月を境とし、施工以前の5か年(1956~1960年)を施工前期間(Calibration period, 略してC.Pとする)とし、1961~1964年までの4か年間に施工後期間(Treatment period, 略してT.Pとする)として、対照流域法によって巨視的かつ定性的な見かたではあるが、一応、その流出に及ぼす変化の有無を検討したものである。

水文観測の設備・方法は釜淵森林理水試験第1回報告<sup>7)</sup>とまったく同様であるのでそれを参照されたい。ただし、1956年以降は1, 2号沢とも従来使用してきた簡易縦型自記水位計をスチーブンスF型自記水位計にとりかえたが、流量に関する精度にはなんらの影響もない。

観測は川口・小野が、自記紙の読取流量計算は川口および山形分場第2研究室井上技官が、またこの報告のとりまとめは小野・川口が行なったものである。

### 3. 試験の結果

#### 3.1. 年流出量および洪水流量

CP・TPの両期間の年降水量、年流出量および対照流域(1号沢)に対する2号沢の比を求めた結果Table 1のとおりとなった。

1号沢に対する2号沢の比のCP・TPの平均は1.09および1.11となっている。この2組ではサンプル数が少なすぎるであろうが、一応統計的手法によって検討すればつぎのとおりとなった。

CPのグループを $X_1 \dots X_4$ とし、TPのグループを $Y_1 \dots Y_4$ として、2組の変数の系列の変動から推定して、両者の母集団は共通であるかどうか、いわゆる分散系列の均斉性の検定をおこなった。それぞ

Table 1. 階段施工前後の年流出量の比較  
Comparison of annual runoff for the periods before and after terracing.

処理前期間 Calibration period					処理期間 Treatment period				
水年 Water year Dec.~ Nov.	降水量 Precipi- tation (mm)	年流出量 Annual runoff		比 Ratio No.2/ No.1	水年 Water year Dec.~ Nov.	降水量 Precipi- tation (mm)	年流出量 Annual runoff		比 Ratio No.2/ No.1
		No. 1 (mm)	No. 2 (mm)				No. 1 (mm)	No. 2 (mm)	
1956	2707	2019	2295	1.13	1961	2795	2345	2630	1.12
1957	2485	1956	2148	1.10	1962	2636	2082	2387	1.14
1958	2730	2193	2396	1.09	1963	2670	2466	2705	1.10
1959	2799	2154	2265	1.05	1964	2582	2257	2467	1.09
平均 Average				1.09	平均 Average				1.11

Table 2. 階段施工前後の洪水流量の比較  
Comparison of storm flow for the periods before and after terracing.

洪水流量 Storm flow (mm)				洪水流量 Storm flow (mm)			
処理前期間 Calibration period				処理期間 Treatment period			
起年月日 Date	流域 Watershed		比 Ratio No.2/ No.1	起年月日 Date	流域 Watershed		比 Ratio No.2/ No.1
	No. 1	No. 2			No. 1	No. 2	
1956.8. 3~ 8. 6	18.52	20.68	1.12	1961.6.25~ 6.29	60.06	64.95	1.08
8. 7~ 8.11	45.15	54.38	1.20	6.30~ 7. 5	159.63	166.15	1.04
10.31~11. 4	30.05	38.58	1.28	7. 6~ 7.12	83.09	89.32	1.06
1957.7. 5~ 7.10	190.37	214.06	1.12	7.16~ 7.19	61.80	65.07	1.05
8.28~ 9. 1	35.18	44.83	1.27	8.26~ 8.29	40.14	56.90	1.39
11. 7~11.10	35.18	38.06	1.08	11.17~11.20	112.15	107.91	0.96
1958.7.19~ 7.21	26.43	39.11	1.48	1962.7.10~ 7.16	111.12	126.24	1.13
7.22~ 7.26	78.49	93.42	1.19	8.26~ 9. 1	108.86	140.00	1.29
7.27~ 8. 3	279.09	297.27	1.16	9. 2~ 9. 6	93.95	96.40	1.02
9.16~ 9.20	66.79	69.84	1.04	11. 3~11. 6	69.09	75.71	1.12
10.13~10.20	108.89	117.44	1.08	1963.5.24~ 5.28	75.24	81.27	1.18
1959.5. 4~ 5. 6	40.86	42.39	1.03	7.16~ 7.20	95.90	96.60	1.01
7. 9~ 7.12	173.27	169.49	0.98	7.22~ 7.27	88.37	87.69	0.99
7.22~ 7.26	81.69	84.97	1.04	8.22~ 8.26	77.92	96.07	1.23
8.21~ 8.23	46.89	53.70	1.14	9.15~ 9.24	140.34	162.04	1.16
8.26~ 8.30	71.67	76.54	1.07	10.29~11. 2	53.50	58.35	1.09
9. 1~ 9. 3	49.99	42.68	0.86	1964.6.27~ 6.30	24.16	30.42	1.26
9.24~ 9.30	39.84	52.51	1.32	7. 1~ 7. 4	75.79	80.75	1.06
1960.7. 3~ 7. 7	87.80	95.56	1.09	7. 5~ 7.16	182.80	159.26	0.87
7.13~ 7.17	70.08	69.95	1.00	7.17~ 7.21	83.15	92.55	1.11
8.11~ 8.15	37.57	49.25	1.31	8.31~ 9. 7	125.52	164.32	1.31
				10. 5~10.11	65.21	70.23	1.08
平均 Average			1.14	平均 Average			1.11

れの標本分散不偏推定量を求め、両者の比  $F_0$  によって  $F$  検定をすれば  $F_0 < F$  となり、母集団分散は共通であることがわかった。さらに、両系列の共通分散不偏推定量から  $t_0$  を出し、 $t$  検定をすれば  $t_0 < t$  であり、両系列の平均値間の差は有意なものではないことがわかった。すなわち、階段施工によって年流出量に変化を生じたとはいえない。

つぎに、降雨によりハイドログラフ上に顕著な出水が認められた際の資料から、1 出水期間の流量を求め年流出量同様に、CP・TP 両期間にわけて整理すれば Table 2 のとおりとなった。この流量計算にあたっては、基底流量を差し引いていないが、当試験地のような地形の急峻な小流域においては、減水が早く、総流量からみれば基底流量のしめる割合はごくわずかであるし、また、対照流域法を用い両期間とも同じ方法によって相互間の比較をする関係から、障害にはならないであろう。

この大きな降雨による出水量の 1 号沢に対する 2 号沢の比の、CP・TP の両期間について、それぞれ  $X_1, X_2, \dots, X_{21}, Y_1, Y_2, \dots, Y_{22}$  として、年流量とまったく同様の手法によって検定した結果、母集団分散は共通で、平均値間の差は有意ではないことがわかった。これも年流出量と同じく、階段施工によって出水量に差が生じたとはいえない。

### 3.2. ピーク流量

集水流域に降雨があればそれに応じて出水がおこり、測水所の自記水位計に出水ハイドログラフがえがかれる。異常出水がある場合、とくに問題になるのはそのときの瞬間最大流量である。積算した総流出量がひとしいふたつの出水を想定したとき、きわめて短時間に流出した場合と、長時間にわたって徐々に流出した場合とでは、その下流地域に対する影響力は大いに差がある。前者ではハイドログラフの曲線が鋭角で、ピーク流量（瞬間最大流量）も大きい、後者では鈍角でピーク流量も小さいであろう。このような見地から異常出水の際のハイドログラフ上からピーク流量を検討した。

CP・TP を通じて、できるだけ数多く両沢のピーク流量をひろい出し、単位面積あたりの流量（比流量、 $m^3/sec/km^2$ ）に換算して毎回のピーク流量について 1 号沢に対する 2 号沢の比  $r$  を求めた。ゆえに、1 号沢と 2 号沢のピーク流量が等しいときは  $r=1$  となり、1 号沢 < 2 号沢であるときは  $r > 1$  となる。

横軸に 1 号沢のピーク流量をとり、縦軸にそのピーク流量のおこったときの  $r$  の値をプロットすれば Fig. 4 のとおりとなった。

図の破線で囲んだ部分は CP、実線で囲んだ部分が TP の分布範囲であり、両者は異なる分布をしていることがわかる。さらに  $r$  の値をその階級別に頻度分布を求めれば Fig. 5 のとおりとなつて、CP・TP 両期間における  $r$  の分布の差異がよりあきらかになってくる。

かつて高橋<sup>23)</sup>が、1948~1954 年の資料から森林の伐採の影響を解析したなかで、 $r$  の頻度分布は正規分布を示し、

$$r = 1.11 \pm 0.21 \dots\dots\dots (1)$$

であると報告した。とくに流量の小さいとき、すなわち降雨量が小さく、小規模な出水のときほど  $r$  の分散がひろがる。これは 2 号沢流域の土壌が乾燥しているときは流出がおさえられてピーク流量が小さくなり、湿っているときほど小降雨にもかかわらずピーク流量の値が大きくなり、したがってそれらを総合した全体としての分散が大きくなると指摘している。

また、中野・菊谷<sup>11)</sup>が同沢における 1948~1958 年の資料から森林伐採がピーク流量に及ぼす影響について、降雨強度とピーク流量の関係を解析したところ、やはり小降雨の際にはパラツキがあることがたし

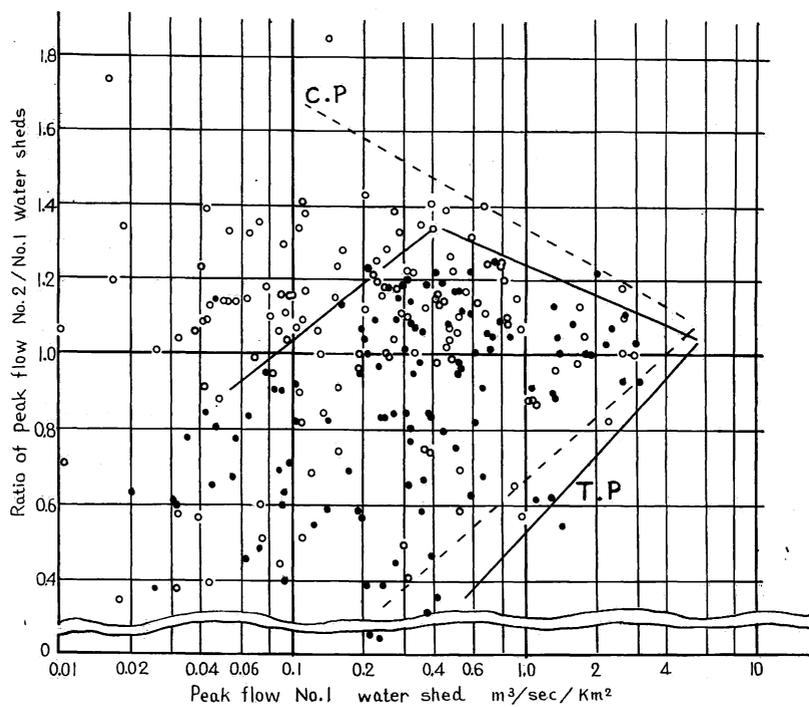


Fig. 4 CP, TP におけるピーク流量 (2号沢/1号沢) 比の変化  
Variations in the ratio of peak flow for the C.P. and T.P.

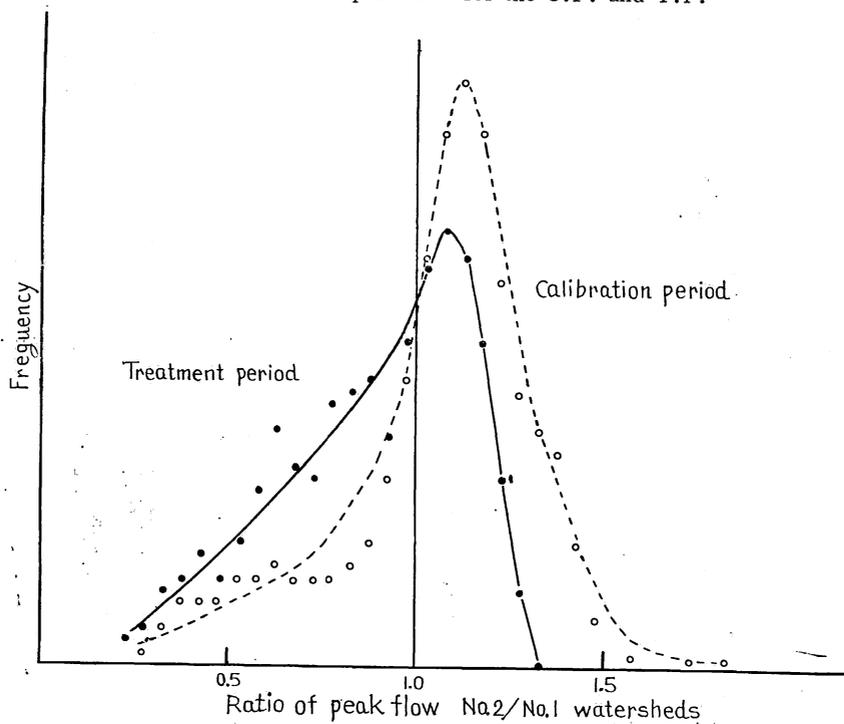


Fig. 5  $r$  (No. 2/No. 1) の 頻度 分布  
Frequency distribution of the ratio of peak flow.

かめられ、この原因として同様に流域の乾湿条件や降雨条件をあげている。なお、同報告では 1 時間最大雨量が 22mm 以上になると、2 号沢の伐採前に比較しての増量が急激に増大する傾向がみられたが、本報告では雨量との関係をとらず、ピーク流量そのものをもって比較した関係で、みかけ上ははっきりせず、まったく同様の手法で解析した高橋の報告と似たものとなった。すなわち、CP の  $r$  の分布は、

$$r_c = 1.07 \pm 0.30 \dots\dots\dots (2)$$

となった。高橋の報告した (1) 式と数値が若干異なるが、これは主としてとりあげた期間内における雨量階級別頻度などの降雨条件の差や、ごくわずかではあるが、流域状態の経年変化によるものと思われる。しかしながら、基本的には大差がないとみてよいのではないだろうか。

TP においては、

$$r_t = 0.88 \pm 0.25 \dots\dots\dots (3)$$

となり分布がだいぶ異なっている。全体として低い方へ移行したが、もっとも顕著な変化として流量の小さいときの 2 号沢のピークが低下したことが指摘されよう。そして、流域の土壌の乾湿条件にあまり左右されず、常に 2 号沢のピークが小さくなったといえよう。

### 3.3. 規 準 減 水 曲 線

ある流域について、無降雨期間で、蒸発散のないときの地下水供給による流出量の減水レートを求めれば、その流域からの流出に関する規準的な固有性質が検出できる。

高橋<sup>29)</sup>は釜淵における蒸発散の調査からつぎのように論じている。

蒸発量は夜間 (21 h~7 h) においては小さく年間を通じてほぼ一定である。また、蒸散は日の出とともに始まり、正午から 14 時ごろにかけてもっとも盛んになる。そして夜にむかってしだいに減じ、夜半から早期にかけて全く停止するか、きわめてわずかの蒸散がみとめられる程度である。したがって、寒候季の夜半から暁方にかけての減水状態の、時間的変化を解析すれば蒸発散に影響されないその流域固有の規準的減水曲線が得られる。そして当試験地では、冬期は融雪による流出の影響があるので採用できず、積雪直前の 11 月の資料から規準減水曲線を求めた。

それは、2 号沢の森林伐採による規準減水曲線の変化の有無を検出したものであったが、本報告でも同一試験地を対象にした試験を続行した関係で、ここでもまったく同一手法を踏襲して階段施工による規準減水曲線の変化の有無を調査した。

流域に積雪のない 10 月、11 月の資料のうち、降雨がやんでから 4 時間以上経過して直接流出が終了した後の、夜半 0 時から 4 時までの流量を  $q_0$  とし、それにひきつづく 4 時から朝の 8 時までの流量を  $q$  (mm) とし、両者の関係を求めた。CP、TP の期間ごとに両対数紙にプロットしたものが Fig. 6-(a)、(b) である。(a) は CP、(b) は TP で、それぞれ 1・2 号両沢をまとめてある。図であきらかなように  $q_0$ 、 $q$  両者の関係を求めると、

$$\log q = 0.95 \log q_0 - 0.06$$

となり、1 本の線上に整然と集中し、CP、TP 別や沢別の差はまったく見いだせない。ただし、これは資料の採用範囲が減水期間のもの限定されるので、4 時間流量で  $q_0$ 、 $q$  は 2 mm 以下の場合である。また、 $q_0$  が 0.1mm 以下にまで減水してくると減水レートが小さくなり、0.08mm 程度になるとそれより下はほとんど減水しなくなり  $q_0 = q$  となるので、ここで扱った減水曲線の範囲は、0.08~2.00mm に限られる。

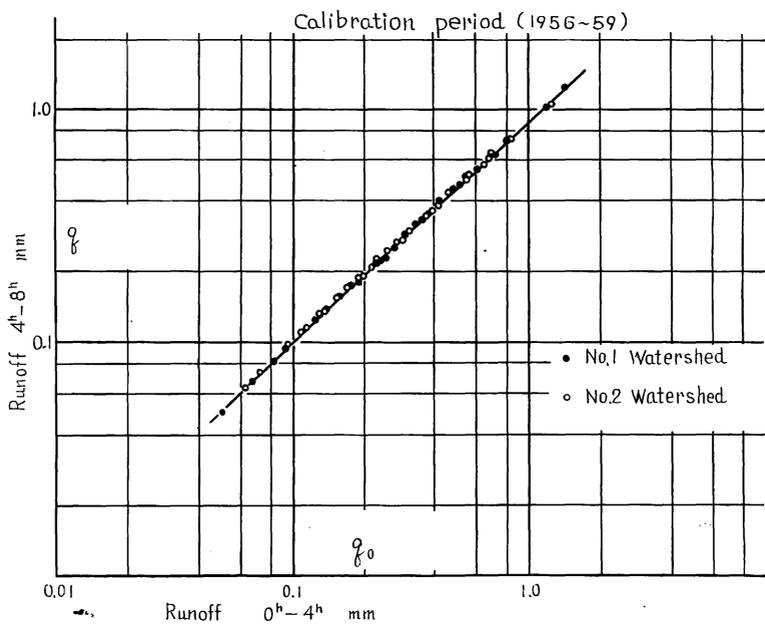


Fig. 6-a 規準減水曲線  
Normal depletion curve.

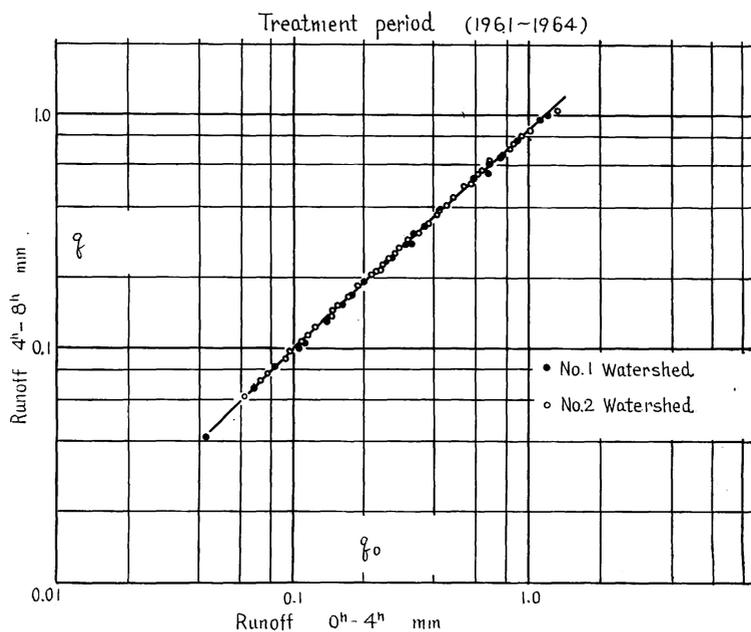


Fig. 6-b 規準減水曲線  
Normal depletion curve.

当試験地において、階段を施工しても規準減水曲線には変化がないということは、降雨にともなう地表および地表付近の浅層からの直接流出終了後の、比較的土壌の深い層や、岩脈にそって移動する水分、地下水からの流出に対しては影響をあたえないものと解釈されよう。

#### 4. 考 察

以上の結果のなかで、階段施工による影響と思われる顕著な現象としてはピーク流量の低下があげられる。また、年流出量は資料が少ないので断定はできないが、変化の傾向はないものようであり、個々の降雨による出水のたびごとの流量にも変化はみとめられなく、直接流出終了後の深層から供給される水分の規準減水曲線にも変化がないことがわかった。

ペーパーの著書、土壌物理学<sup>1)</sup>のなかで、アメリカのウイソコンシン州ラクロスにおける農耕地の浸食防止のため階段化 Terracing の試験をおこなった例があるが、それによると階段化されていない土地では、降雨開始後 18 分間に急速な流出が生じたが、階段化したところではそれより約 7 分おくれて緩やかな流出がはじまり、最大流量は無階段地では、10.75 feet<sup>3</sup>/sec、階段地では 4.5 feet<sup>3</sup>/sec であった。すなわち、階段化することによってピーク流量が抑制され、約 2.5 分の 1 程度になったことを指摘している。

また、林業試験場関西支場岡山分場において、傾斜 36° の斜面に幅 40cm の階段工を施工した小プロット試験区を設定して、地表流下水量の実測をおこなった結果<sup>10)</sup>では、1959年5月から翌年の1960年3月までの11か月の総雨量718.6mmに対し、階段工区の地表流下水量が22.5mmで3.1%、筋播工区では56.1mmで7.8%であって、階段工区の地表流下水量は筋播工区の40%程度にとどまる。すなわち階段の地表水抑制効果がいちじるしいと報告している。このときのハイドログラフ上ではピークが筋播工区に比較して階段工区がいちじるしく低く、降雨の強弱に対する流量曲線が緩慢であり、ピークおよび流下開始、終了が若干おけている。

以上のことから、階段工の切り取りが山腹斜面における水分移動におよぼす影響として、斜面長を切断して流下水の流下速度を緩和し、流下水の集中化を避け分散流下させながら浸透を助長すること等をあげている。このような小プロット試験区によってのモデル実験的研究の成果と比較して、本報告の、相当のひろがりをもった現実の1流域における測定結果でも、ピーク流量の抑制という面では同じ傾向をしめした。

また、ペーパーは、階段を切ることは流出速度を減らすほどには、とくに土壌の透水性のよい場合以外には全流出量を有効に抑えることはないとのべているが、本報告の結果でも年流量・出水時の総流出量には変化がみとめがたく、傾向は一致する。

当試験地は土壌層が浅く、地形が急峻で、とくに2号沢では森林伐採後の人為的な流域管理で荒廃地化したので、かつて第1回報告のなかでのべられた土壌調査結果よりも悪化し、流域の一部には露岩箇所もあった。この試験地において、遠藤が季節別に日減水レートの解析をしたところ、季節別に減水レートが異なることを見いだし、日常の河川流量は蒸発散の影響をうける比較的浅層からの水分供給によるものであると報告した<sup>9)</sup>。さらに無降雨日数が長くつづけば、より深層からの地下水供給のみによる流出となることが推察される。しかし、急峻な地形をもつ小流域では山体に対する脈状地下水の容積比はわずかであり、地下水は主として岩石のきれつにふくまれ、これが基底流量の供給源になると金子がのべているように<sup>5)</sup>、当試験地においても流域の保水能力は小さく、日常の流出は蒸発散の影響をうけるような比較的浅層にふくまれる水分と、岩脈にふくまれるわずかの水分とから構成されているものとみてよい。

こうした流域の山腹に階級を切り取ったところ、規準減水レートには変化がなかったという結果がでた

が、これは流域の本来の保水能力が小さいことや、岩脈にふくまれるわずかの水分にまで、階段工の切取りが影響を及ぼすとは考えられないことからすれば当然のことかもしれない。

なお、小規模なプロット試験でのハイドログラフでは、出水開始時刻およびピーク流量の起こる時間が無処理区にくらべ階段工区では遅れることが観測されているが、当試験地のハイドログラフからはそうした現象は見いだせない。当試験地における階段工の施工程度は、まえにものべたように、通常実施されているなだれ防止階段工の施工基準の半分にもみえないもので、単純な斜面におけるプロット試験にみられるような徹底した効果がみられないのは当然と考えられる。

以上のべたことと、現地における観察とから、山腹階段工法について考察する。

山地の集水域を細かく観察すると、水分の浸透のよい膨軟な土壌の厚い箇所と、不透水性の箇所がある。不透水性の箇所としては河道およびその付近の河原などや、裸地・露岩地・侵食溝・林道切取り面・路面・山腹地被破壊地・人畜跡地などがあげられ、弱い雨によっても地表流下水をみるような箇所であり、金子良はこれを「水みち」といつている。

また、沢の出口から河道を上流にたどれば、いくつかの支・分流があり、さらに小規模な水路があってこれが最終的には湧泉や水みちに連絡していることが観察される。いくつかの水みちの合流した小規模な流路では、降雨のあったとき雨水の流下するのがみとめられるが、終了すると短時間に流下水がみとめられなくなる野溪の状態のものや、露岩付近における水分の浸出などから常に湿っていて、減水期間の流量の供給源を兼ねているものなどがある。この水みちを集めて成る流路を横断して階段工を施工した箇所では、降雨時、階段工切取り上部から流下してくる水分が法面を伝いながら階段の法底に達して、階段上に広がり、階段上から浸透しきれなかった水分は、傾斜の方向に集中してふたたび流路を構成して下方へ流下する。階段工はなだれ防止を目的とした水平階段であるので、このときの拡散する面積はたいして大きくならない。そのようなことを各階段ごとにくりかえしながら、ある時間かかって沢に到達して流出に加わる。ところが、雨量強度がある値以上になると、階段の影響がうすれ、階段上が流水に連絡され、連続水流となつてすみやかに流下をはじめる。これは、階段工が地表水の移動に対する抑制作用の限度をこえた状態といえる。山腹の膨軟な箇所に施工された階段上では、こうした現象はほとんど見受けられず、切取法面から少量ずつ水分が浸出してくるのが観察され、それがかなりの降雨強度になつても、水みち流路における地表連続水流のようにはならない。

T Pにおけるピーク流量が、小規模な降雨による出水のときに低下したのは、以上のように水みち流路に連続水流がないか、あつてもごくわずかなときで、階段工の流水抑制限界内のときであるとみてよいであろう。

水みちに降った雨水は、水みち流路を経てきわめて短時間に河道に到達して沢の出口に流下する。このとき、流域内に多数散在する各水みち流路からの流下水の集中する時間的な配分量が、洪水上もっとも問題となるハイドログラフ上のピーク流量の大きさをきめるもっとも重要な因子であり、地表流下水、直接流出などといわれているものである。したがって、洪水防止を目的とした山腹工法を考えた場合、もっとも問題としてとりあげなければならぬことは、微地形的にみて洪水危険地形であるともいえる水みちと、とくに、いくつかの水みちからの流出を合流して沢へ流送させる水みち流路の処理であろう。

階段工の切取りによって個々の水みちは、その場所ごとに分断され、地表を流下する雨水はその速度がかなり抑制される。しかしながら降雨強度が大きくなって、いくつかの水みちからの流出を集めた水みち

流路に流下水があらわれるようになると、たとえ階段を切ってもその構造上から流水に対する抑制機能には限度があって、連続水流を許容することがわかったので、洪水防止をはかるためにはさらに地表流下水を抑制する工法の併用が必要であろう。それには、地汙りなどの心配のない山腹では、水みち流路に集中した雨水を、わずかの勾配をもたせた簡単な溝工などの施工により、浸透能に余裕のある山腹階段に誘導してそこから拡散・浸透させることもひとつの有効な手段として考えられてよいであろう。

## 5. む す び

釜淵森林理水試験地で、森林の有無が流出におよぼす影響を検討するため、1947年に2号沢の森林を皆伐し、対照区の1号沢と比較しながら流量観測をおこなった。この観測期間は1960年までつづけられたが、この間火入れをくりかえしたので、有機物が焼失して伐根と土層の緊縛力が失われ、伐根は積雪によりつぎつぎと倒され、引き抜かれて流域の半分位の箇所が常習なだれ地化するに至った。

最近、森林の洪水緩和機能についてその機構が解明されるにつれ、森林のみではその能力に限界があり、さらに万全を期するためには森林の配置と併行して、そのたらないところを補うためなんらかの土木工法の採用がのぞまれるようになってきた。それには山腹におけるものと溪川におけるものとが考えられているが、その工種・施工程度等については不明で試験をする必要があった。このため2号沢で山腹工法の試験を行なうことになったが、常習なだれ地化したため植栽にあたってはなだれを防止する必要があった。この工種として山腹切取階段工を採用し、1960年10月施工し、同年11月スギを植栽した。階段工の施工程度は通常おこなわれているなだれ防止のための施工基準の半分以下、すなわち、haあたり延長約730m、切取面積6.7%であり、弱度のものである。

なだれ防止階段工は、斜面積雪に対する作用のみならず、斜面を移動する水分に対してもその移動経路について影響するものと思われる。結局、山腹理水工法としてはいまだに確立された工法がないので、ここではなだれ防止階段工を採用し、山腹理水工法としての機能を検討したわけである。

階段施工前の5か年、施工後の4か年間の流量観測資料から、山腹切取階段工が流出に及ぼす影響を検討した結果つぎのことがわかった。

ピーク流量が低下した。とくに小規模な出水時の低下現象がいちじるしい。

年流量や洪水流量には変化がないようである。

規準減水曲線には変化がなかった。

降雨による出水時に観察したところ、小規模ないくつかの水みちからの流出を合流した水みち流路の処置がもっとも問題になるようである。水みち流路を横断して施工された階段上で、降雨強度が弱いときは水みち流路からの水流を断ち切って階段上に分散させるが、降雨強度が強くなると階段を縦に流下水が貫流して連続水流となってしまう。水みち流路からの流下水はすみやかに沢に流入し、沢の出口に到達する。これは地表流下水による直接流量の主要部をなすもので、この量、時間的配分（流下集中度）がピーク流量の大きさを支配する重大かつ直接因子である。

ゆえに、階段工の流域内水分移動におよぼす影響としては、地表付近を流下する水分に対してはかなりの抑制力があるが、水みち流路のような多量の移動水流に対しては抑制限界外で、水流を断ちきれず連続水流となることを許容する。

洪水防止（流出調節）のための山腹工法としては、水みち流路には水平階段工よりも多少の勾配のある

溝工などによって、流下水を浸透能に余裕のある山腹斜面の階段等に誘導して拡散させることがより効果的であろう。

こうした山腹理水工法としての階段あるいは溝の形と施工する量、さらに地形・土壌等の流域条件との関係についての研究が今後の問題として残されているといえよう。

#### 文 献

- 1) ベーバー(野口弥吉・福田仁志訳): 土壌物理学, 朝倉書店, (1955)
- 2) 遠藤泰造: 皆伐と治水, 北方林業, No. 64, (1962)
- 3) 遠藤泰造: 森林の伐採と日減水レートについて, 第67回日本林学会講演集, (1957)
- 4) 槐 嘉代子: 融雪と出水, 雪氷, 15-6, (1954)
- 5) 金子 良: 農業水文学, 土木雑誌社, (1957)
- 6) 林業試験場秋田支場釜淵分場: 釜淵気象流量報告, 1938~1950
- 7) 丸山岩三・猪瀬寅三: 釜淵森林理水試験第1回報告, 林試研報, 53, (1952)
- 8) 丸山岩三・根田和男: 釜淵森林理水試験第2回報告, 地下水によると認められる減水について, 林試研報, 68, (1954)
- 9) 中野秀章・森沢万佐男・菊谷昭雄: 林況変化が溪川流出に及ぼす影響の Doublemass analysis による解析, 日林誌, 42, 1, (1960)
- 10) 中野秀章・菊谷昭雄・森沢万佐男: 林況変化, とくに伐採が溪川流出に及ぼす影響(I) — 一年・豊水・平水・低水・渇水各流出量への影響 — 林試研報, 156, (1963)
- 11) 中野秀章・菊谷昭雄: 林況変化, とくに伐採が溪川流出に及ぼす影響(II) — 1連続降雨による増水量および増水ピーク流量への影響, 林試研報, 170, (1964)
- 12) 中野秀章・菊谷昭雄: 森林伐採と融雪, 日林誌, 38, 8, (1956)
- 13) 小野茂夫: 森林伐採跡地の荒廃と階段工の治山治水機能, 蒼林, 秋田営林局, 154, (1962)
- 14) 小野茂夫・川口利次: 森林伐採と融雪による出水, 林試東北支場昭和38年度研究発表会記録, (1965)
- 15) 林業試験場秋田支場釜淵分場防災研究室: 山地降水量と流出土砂量に関する調査報告書, 最上川流域における地質調査報告書, 山形県, (1954)
- 16) 林業試験場関西支場年報, No. 1, (1960)
- 17) 四手井綱英: 有無林地の流量, 特に雪代洪水について, 山形県積雪調査報告, 昭和26年度, (1956)
- 18) —————: 雪代洪水について, 雪, 7, 林業試験場防災部, (1951)
- 19) 森林理水試験地観測報告: 日降水量, 日流出量, 林業試験場, (1961)
- 20) 高橋喜平: 雪崩防止工法, 治山事業々務資料, 6, 昭和37年度治山研修用, 青森営林局, (1962)
- 21) 高橋喜平: 積雪の概要, 林試東北支場山形分場, (1963)
- 22) 高橋敏男: 釜淵の森林理水試験の概要, 一特に水温について —, 野川水温の実態, 1, 山形県, (1957)
- 23) 高橋敏男: 山地水源地からの出水, 赤川洪水調節に関する水理気象学的研究, 昭和33年度報告, 山形県治山治水総合調査協議会, 山形県, (1959)
- 24) —————: 山地からの流出量, 林試秋田支場研究ノート, 15, (1959)

**Hydrological Effect of Contour Terracing.****(Experiment on Forest Influences upon Streamflow at Kamabuchi, The Third Report.)**

Shigeo ONO and Toshitsugu KAWAGUCHI

(Résumé)

In order to establish a more effective method of mountainous watershed management for flood control and water supply conservation, it is necessary to develop the works for streamflow regulation which are applicable to and function successfully on the forested head-water land. The authors are studying the hydrological effects of contour terracing on streamflow in Kamabuchi experimental watershed. Some of the results are reported in this paper.

In October 1960, a terracing system was installed on the 2.48 hectare watershed (No. 2 watershed) on which the vegetation was regrowth after forest cutting. The system was composed of three kinds of terraces with their respective widths being 0.8, 1.2, and 1.6 meters and spaced at three kinds of vertical intervals, namely, six, eight and ten times the width (See Fig. 1, 2). On No. 2 watershed, we had many avalanches every winter after clear cutting, necessitating the constructing of terracing works to prevent young trees from snowslide damage. On the other hand, it is essential to examine the relation between the preventive effect against avalanche damage and width of terrace. For these reasons our system was constructed in the different ways mentioned above. The terracing had a total length of 1,810 meters (730 meters per hectare) and covered 1,660 square meters (0.067 hectare per hectare) in area. Sugi (*Cryptomeria japonica* D. DON) was planted on the terrace in October 1960. The experiment has been carried out by the method of paired watershed with the adjacent 3.06 hectare watershed as a control. The analysis was conducted with the data for 1956~1960 calibration period and the 1961~1964 treatment.

As a result of investigation the following became known: After installing the terracing system, peak flows, especially those in relatively light storms, were decreased. But the amounts of annual runoff and stormflow were not changed, and neither were the normal depletion curves.

As already stated, the remarkable change in streamflow caused by terracing is the decrease of the peak discharge. The major cause for decreasing the peak discharge is thought to be the surface runoff being interrupted by the terracing and spreading over the surface of terraces, and in consequence the spreading water gets more opportunities of infiltrating into soil.

But according to the field observations during heavy storms, the surface runoff occurs severely throughout the terraces in which the site characteristics are beaten track, bare ground, river-beach, block of rock and erosion rill etc. And so, for decreasing the peak discharge in these sites, it will be effective that surface runoff on slopes be guided and spread in the terraces with more permeable soil by trenches and other similar works.



Photo. 1 階段工の施工状況  
Condition of the terracing work.



Photo. 2 階段工施工前  
Before terracing.

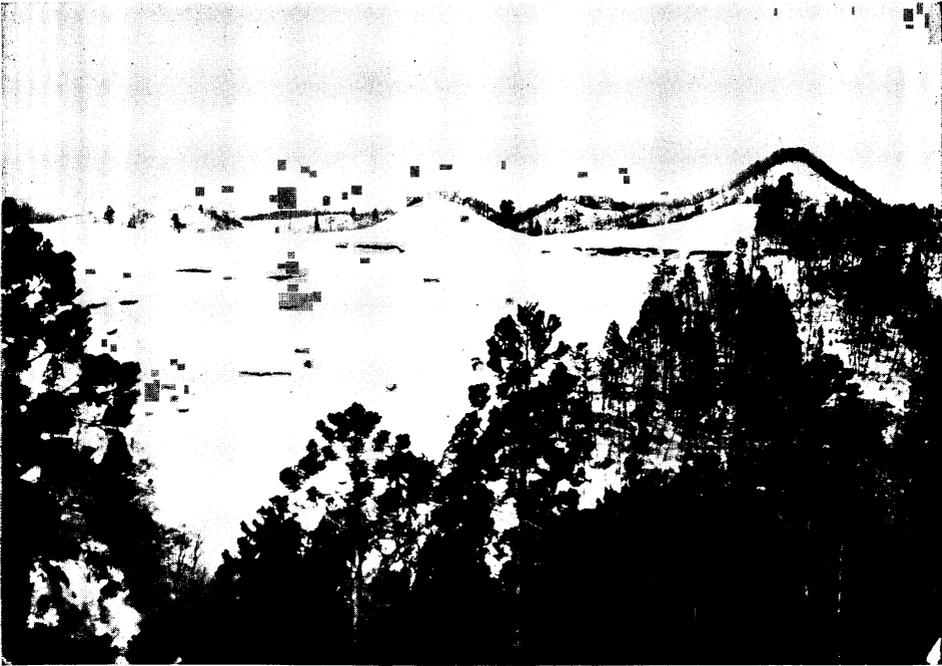


Photo. 3 施 工 後  
After terracing.