

## はげ山における各種治山工の水保全効果

小林 忠 一<sup>①</sup>Chuichi KOBAYASHI : Hydrologic Effects of Rehabilitation  
Treatment for Bare Mountain Slopes

**要 旨**：はげ山復旧治山施工地の土砂流出防止効果についての調査事例はかなりの多いが、流出水関係についての試験調査例は少ない。この報告は、雨水流出に直接関与する表層土壌の浸透能を現地測定し、これを理水機能の比較指標とし、またプロット試験、小集水域試験で地表流出量の比較測定を行い、その結果によって治山工の水保全効果について検討したものである。

荒廢地に階段工、法切工などの治山工を行うことにより年平均流出率が、非施工地の約7~40%に抑制されることが実証された。またピーク流量を著しく低減し理水効果を高めることがわかった。法切工、階段工などの基礎工は地表流出水緩和にかなり関与し、特に施工後初期段階の林叢形成が不十分な場合、その粗密が地表流出の大小に影響する。浸透能の調査では、施工年次の新旧を問わず非施工地より高い実測値が得られ、施工により浸透性が増大することが認められた。しかし施工年次間には一貫した傾向はみられず、菌糸網層の発達が見られる古い施工地では、疎水現象によって新しい施工地より低い浸透性を示した。土壌の理水性と浸透能の相関関係では、最小容気量と粗孔隙量が高い相関を示すことがわかった。これらの試験調査結果はプロットや小集水域で得られたもので、これらと大面積流域での水保全機能との関連性の解明が今後の課題である。

## 目 次

I. ま え が き	152
II. 階段工、植栽工と地表流出	152
a. プロット試験	152
1. 試験の方法	152
2. 試験結果	154
1) 年地表流出量	154
2) 1連続降雨量と地表流出量	155
3) 最大地表流出量	157
3. 考察とまとめ	158
b. 小集水域試験	160
1. 試験の方法	160
2. 試験結果	161
1) 年流出率	161
2) 1連続降雨量と地表流出量	164
3) 流出特性	165
3. 考察とまとめ	166
III. 治山施工地の浸透能	169
1. 調査地と測定方法	169
2. 調査結果	172
3. 考察とまとめ	178
IV. む す び	181
文 献	182
Summary	184

## I. ま え が き

森林が洪水緩和、水資源の確保、土砂の生産・移動防止など人間生活環境に重要な機能を果たすことは一般に広く知られている。はげ山は元来森林であったものが、地質、気象などの素因と、乱伐、地被物の採取、山火事、煙害などの人為的誘因によって形成され、そして林地に比較して水土保全機能が著しく劣っていることは経験的によく知られている。

このようなはげ山に土木的、造林的手段によって、植生を導入し森林の復元をはかり、土壌の保全と理水機能を改善し、終局的には林地生産力の増進をも目的として行われるのが治山工である。治山工がもたらす水や土壌保全機能の改善効果については、川口<sup>4)</sup>、中島<sup>17)</sup>、福田<sup>8)</sup>、遠藤ら<sup>12)</sup>、また林野庁、都道府県の治山関係機関により現地調査研究が行われ、実験的研究としても、川口<sup>5)</sup>、緒方<sup>21)</sup>、村井ら<sup>15)</sup>、その他多くの研究が報告されている。従来この種の試験調査では、土壌侵食関係がおもきをなし水関係についての現地実測例は比較的少ない。

筆者は以前岡山県玉野地区のはげ山や、岡山市竜ノ口山で、治山工と土壌侵食、地表流出水の関係について試験を行い、また、近年治山造林地で浸透能の調査を実施した。その結果については、断片的概括的に報告<sup>13)7)~13)</sup>してきたが、今回これらを一括し、水保全機能に重点を置き総合的な考察を加えて取りまとめた。

この試験遂行、取りまとめにあたってご指導、ご助言を頂いた山形大学農学部教授遠藤治郎博士、林業試験場関西支場岸岡 孝防災研究室長に厚くお礼申し上げます。また、観測に協力いただいた関西支場防災研究室阿部敏夫、藤枝基久両技官、九州支場防災研究室岡本金夫技官に心から謝意を表する。

## II. 階段工、植栽工と地表流出

### a. プロット試験

山腹工は斜面を安定させる法切工、積工、埋設工、水路工その他の土木的基础工、植生を導入するための環境整備の意味もある階段工や、最終的な工種である植栽工に分けられる。山腹工の総合的な土砂流出防止効果については、前述したように数多くの実態調査例がみられるが、階段工と植栽工を分け雨水の地表流出についての各単独効果について吟味された事例はあまりみられない。

この試験は主として、階段工と植栽工の地表流出雨量の軽減効果を定量的に把握するため実施したものである。

#### 1. 試験方法

この試験を行った試験設備は、林相、林齢別の地表流出雨量を比較する目的で岡山試験地（当時岡山分場）岡山市祇園 954 に設定されたもので、これらの試験成績は、1942年武田<sup>26)</sup>、1944年川口<sup>6)</sup>、1953年白井・近藤<sup>23)</sup>、1960年白井・星川<sup>24)</sup>らにより報告されている。これらの試験の終了後、この設備を用いて1959年5月から山腹工の地表流出量と流出土砂軽減効果を究明する目的で新たに試験を始めたものである。したがって試験設備や測定方法については、前述武田の報告<sup>26)</sup>に記述されているので、ここではこの試験に関係する部分について述べる。山腹斜面に幅 30 m、長さ 20 m の試験区を設定し（本試験では縦に2分し2試験区とした）両側と上方を地上部約 40 cm、地下部約 30 cm、厚さ約 10 cm のコンクリート枠で囲み外周からの雨水の流入を阻止し、下方の集水部は、少し山腹を切り取って地表面を裸地状態と

Table 1. 試験区の概況  
Description of study plots

試験区 Study plots	集水面積 Area in sq. meters (m <sup>2</sup> )	傾斜 Slope in degrees (°)	地質 Geology	施工概況 Description of treatment
階段工区 Terraced plot	240.8	36	古生層 Palaeozoic	階段幅 40 cm, 階段直高 1.7 m, 階段わら工, 犬走にウィーピングラブグラス播種。1961年 5月フサアカシアを階段に穴まき。 Terrace width, 40 cm; Terrace vertical interval, 1.7 m; <i>Weeping love grass</i> seeded in strips; <i>Acacia dealbata</i> seeded in May, 1961.
対照区 Control plot	229.4	36	古生層 Palaeozoic	ウィーピングラブグラスを直高 1.7 m 間隔に筋実播。 <i>Weeping love grass</i> seeded in strips at vertical intervals of 1.7 m.

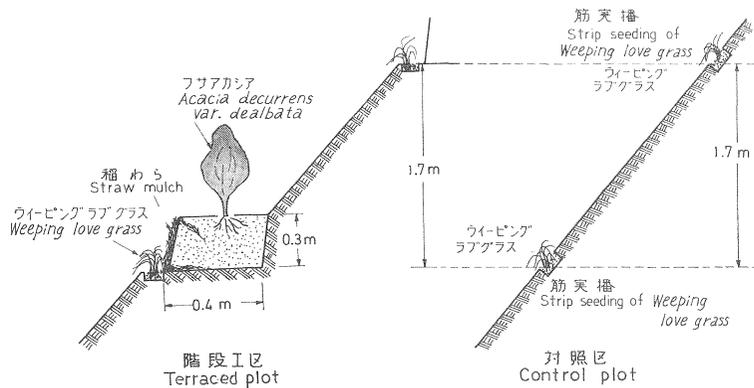


Fig. 1 施工様式図

Schematic description of treatment measures.

し、その上を粘土とモルタルでたたき固め、山腹を流下する雨水が下方に設けた受水溝に流入しやすいようにした。受水溝に流下した雨水は、導水管で測定小屋に設置した量水槽（開角 45° の三角ノッチ付）に導き簡易自記水位計により越流水位を測定した。

次に各試験区の処理方法と概況について述べる。前にも述べたように従来の試験は、主として植生状態と地表流出水の関係究明を目的としていたため、試験区内に残存していた地被植生を一様に刈り取り試験区外に除去し、その後、地下茎、根なども可能な限り掘り取り除去し裸地状態となし、6 か月経過後に Table 1 示す試験区を設定した。施工様式は Fig. 1 に示し、試験区の全体的な概観は Photo. 1 のとおりである。なお対照区は本来手を加えるべき

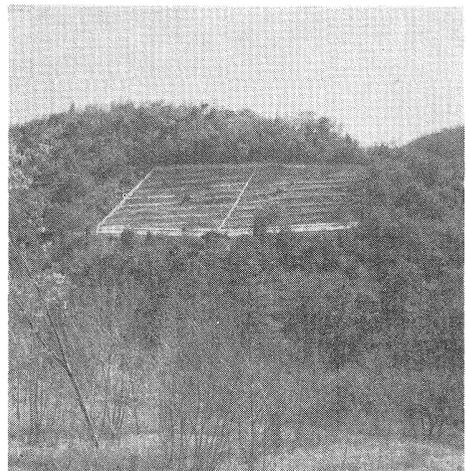
Photo. 1 試験区の概観  
A distant view of study plots.

Table 2. 年別地表流出量  
Surface runoff

年 月 Date	雨 量 Precipitation (mm)	対 照 区 Control plot		階 段 工 区 Terraced plot	
		地表流出量 Surface runoff (mm)	流 出 率 Surface runoff percentage (%)	地表流出量 Surface runoff (mm)	流 出 率 Surface runoff percentage (%)
1959.5~1960.4	828.2	61.2	7.39	28.3	3.42
1960.5~1961.4	990.1	71.3	7.20	23.0	2.32
平 均 Average	909.2	66.3	7.29	25.6	2.82

ではなく裸地状態のままにすべきであったが、6か月の予備観測中に傾斜が急峻(36°)で裸地状態のままでは降雨強度が大きい際、多量の流出土砂を出し下方の受水溝を埋め流下水が越流する現象がみられたので、ウィーピングラブリグラスの筋実播によりこの障害を避けるよう配慮した。したがってこのままでは階段工の単独効果を検討するための対照区として不適当となるため、階段工区の犬走りに対照区と同じようにウィーピングラブリグラスの筋実播を行い相殺することによって、階段工の影響を検討することとした。

試験区の施工は1959年4月、観測を開始したのは同年5月からで、1961年4月までの2年間の観測資料について検討を行ったところ、ほぼ一貫した傾向がみられたので、十分な資料とはいえないが解析がほぼ可能と判断した。引き続いて植栽工の試験に移行することとし、1961年5月に階段上にフサアカシアの穴まきを50cm間隔に行い、以前の階段工区を階段工+植栽工区とした。この観測期間は1961年5月から1964年4月までの3年間である。

## 2. 試験結果

### 1) 年地表流出量

観測資料を年別に集計したものがTable 2である。この表で年降水量が828.2mm、990.1mmと小さい値が得られたのは、豪雨の際にしばしば多量の流出土砂を生じ受水溝が埋まり流出水が溢水することがあり、この際の観測値は欠測とみなし、欠測に対応する降水量を除外したためである。階段工区と対照区の各2年間の平均流出率を比較すると、対照区の2年間平均が7.2%、階段工区では2.8%で、他の条件が両区とも同じとみなせば階段工をおこなうことにより地表流出量が約60%抑制されたことになる。次に階段工に植生を導入した場合についてみるとTable 3に示すように、3年間の平均で流出量、流出率とも、階段工+植栽工区は、対照区の約10%で地表流出量は約90%抑制されたことになり、階段工に植生を導入したことにより一層地表流出抑制効果が増強されたことが認められる。対照区の年平均流出率を基準にして、各試験区の年平均流出率の比率値を比較すると、対照区100に対し階段工区は39、階段工+植栽工区では11の値となり、その差28が植生の地表流出抑制効果とみなすことができよう。また導入植生であるフサアカシア(ウィーピングラブリグラスは両区共通であるので無視する)の成長にともなって地表流出量が漸減することがTable 3からうかがわれる。なおフサアカシアの成長と植被状態についてはTable 4に示すように成長が旺盛で、播種後約3年で5m近くの樹高成長を示し被覆率も約90%となり、短期間の植被形成には好適な樹種であり短い期間で植被効果が吟味できた。

Table 3. 年別地表流出量

年 月 Date	雨 量 Precipitation (mm)	対 照 区 Control plot		階段工 + 植栽工区 Terraced and seeded plot	
		地表流出量 Surface runoff (mm)	流 出 率 Surface runoff percentage (%)	地表流出量 Surface runoff (mm)	流 出 率 Surface runoff percentage (%)
1961.5~1962.4	1,126.0	69.6	6.18	12.2	1.08
1962.5~1963.4	1,045.3	69.5	6.65	4.9	0.47
1963.5~1964.4	1,384.2	45.7	3.30	2.5	0.18
平 均 Average	1,185.2	61.6	5.20	6.5	0.55

Table 4. 植 被 状 態  
Annual growth of *Acacia dealbata*

調査時期 Date of survey	根元直径 Basal diameter (cm)	樹 高 Tree height (cm)	被 覆 率 Cover density (%)	備 考 Note
1961. 12	1.4	105	34	1961年5月にフサアカシアの実播
1962. 12	3.5	368	78	<i>Acacia dealbata</i> seeded in May, 1961.
1963. 12	4.9	471	89	

この試験の地表流出水の実測値は荒廃地に比べ全体的にやや小さい値となっているが、これは一般林地を人為的に裸地状態としたのでともともと表層土の浸透性がはげ山よりよかったことによる結果と考えられる。

## 2) 1連続降雨量と地表流出量

1降雨ごとの地表流出量を雨量階級別に分け、その平均を代表値とし、対応する地表流出量も同じように平均を代表値として、階段工区、階段工+植栽工区についてそれぞれ対照区と比較したのが Table 5, 6 であり、両者の関係は  $Y=ax^b$  式に比較的よく適合するので観測回数を重みとし最小二乗法により  $a$ ,  $b$  を求めると次のとおりとなる。ただし  $Y$ : 地表流出量 (mm),  $X$ : 雨量 (mm) である。

$$\begin{cases} \text{対 照 区} & (1959.5\sim 1961.4) & Y=0.040X^{1.209} & (X>5) \\ \text{階 段 工 区} & (1959.5\sim 1961.4) & Y=0.007X^{1.450} & (X>5) \\ \text{対 照 区} & (1961.5\sim 1964.4) & Y=0.017X^{1.302} & (X>5) \\ \text{階 段 工 + 植 栽 工 区} & (1961.5\sim 1964.4) & Y=0.0004X^{1.789} & (X>5) \end{cases}$$

以上の関係式は1降雨量と地表流出量の間平均的関係を表わすものであって、同じ降雨量でも降雨前の土壌の乾湿状態や、降雨強度、継続時間などにより地表流出量はかなり変動するので、個々の観測値と関係式からの計算値が相違することがある。

各試験区の地表流出量を比較すると、階段工区、階段工+植栽工区とも降雨量の多少にかかわらず地表

Table 5. 雨量と地表流出量  
Precipitation and surface runoff

雨量階級 Class of precipitation (mm)	雨量平均 Average precipitation (mm)	観測回数 Number of observations	階段工区 Terraced plot		対照区 Control plot	
			地表流出量平均 Average surface runoff (mm)	流出率 Surface runoff percentage (%)	地表流出量平均 Average surface runoff (mm)	流出率 Surface runoff percentage (%)
0 ~ 5	2.8	20	0.066	2.4	0.133	4.8
5 ~ 10	6.7	18	0.109	1.6	0.398	5.9
10 ~ 20	14.7	15	0.374	2.5	1.033	7.0
20 ~ 30	24.2	18	0.632	2.6	1.883	7.8
30 ~ 40	34.5	6	1.147	3.3	2.202	6.4
40 以上 over	65.5	6	3.343	5.1	8.419	12.9

Table 6. 雨量と地表流出量  
Precipitation and surface runoff

雨量階級 Class of precipitation (mm)	雨量平均 Average precipitation (mm)	観測回数 Number of observations	階段工 + 植栽工区 Terraced and seeded plot		対照区 Control plot	
			地表流出量平均 Average surface runoff (mm)	流出率 Surface runoff percentage (%)	地表流出量平均 Average surface runoff (mm)	流出率 Surface runoff percentage (%)
0 ~ 5	1.4	151	0.0	0	0.003	0.2
5 ~ 10	7.7	40	0.014	0.2	0.254	3.3
10 ~ 20	15.6	29	0.075	0.5	0.674	4.8
20 ~ 30	24.4	20	0.147	0.6	0.817	3.3
30 ~ 40	34.9	10	0.166	0.5	1.346	3.9
40 以上 over	58.7	23	0.562	1.0	4.049	6.9

Table 7. 比率による比較  
Comparison of estimated surface runoff from control and treated plots percentage relatives (control=100)

試験区 Study plot	雨量 Precipitation	
	10 mm	100 mm
対照区 Control plot	100	100
階段工区 Terraced plot	29	52
対照区 Control plot	100	100
階段工 + 植栽工区 Terraced and seeded plot	9	23

流出量が対照区より少ないことは明白である。降雨量が多くなるにしたがって対照区との差が接近する傾向が、階段工区、階段工+植栽工区とも共通してみられる。階段工区と階段工+植栽工区を比較するには、観測時期に違いがあるので、直接的に比較するのは不適當で、各対照区を基準にして、降雨量 10 mm, 100 mm の際の地表流出量を関係式より求め比率で示すと Table 7 のようになる。

この数値から階段工区より階段工+植栽工区の地表流出量が少ないことが明確である。また降雨量の少ない場合が多い場合より、地表流出量抑制

効果が大きいことが定量的に明らかにされた。

次に導入植生の成長に伴って地表流出量がどのように変化するかを明らかにするため、植生導入経過

年次別に区分し、前と同じ方法で雨量階級ごとの雨量平均と地表流出量平均の回帰直線を図で示した (Fig. 2)。年地表流出量の場合と同様にここでも植生の繁茂成長にともない流出量が漸減することが知られた。

3) 最大地表流出量

水土保持上問題となる年間総流出量もさることながら、むしろ最大流出量がより重要視される。最大流出量の大小は 前述したように、土壌の乾湿状態や降雨強度に左右されることが知られているが、なかでも降雨強度が最も大きく関与するとされている。このような観点からここでも、出水ハイドログラフ上で比較的単純なピークが表われているものを摘出し、1時間最大雨量に対応させた。これを試験区別に比較したものが Fig. 3, 4 である。これらの図にもみられるようにパラツキがかなり大きく相関が低く、最大流出量を1時間最大雨量の関数として比較するのは無理であるが巨視的な比較はできる。

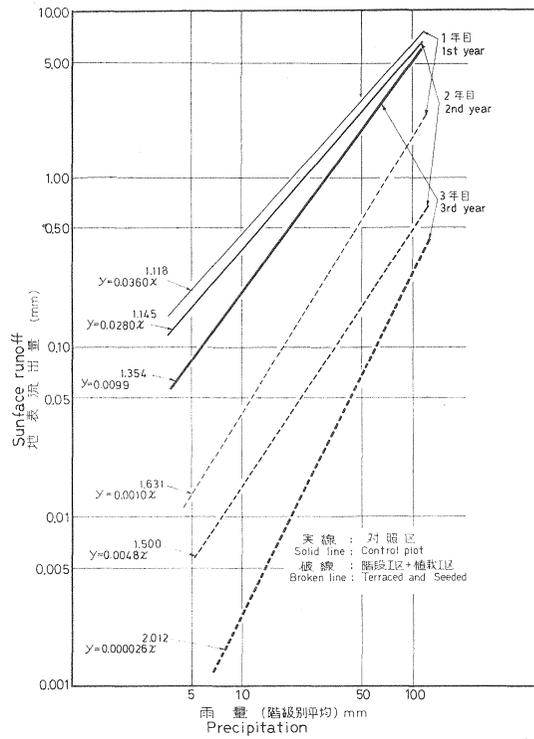


Fig. 2 経過年数別地表流出量  
Variation in the surface runoff with time.

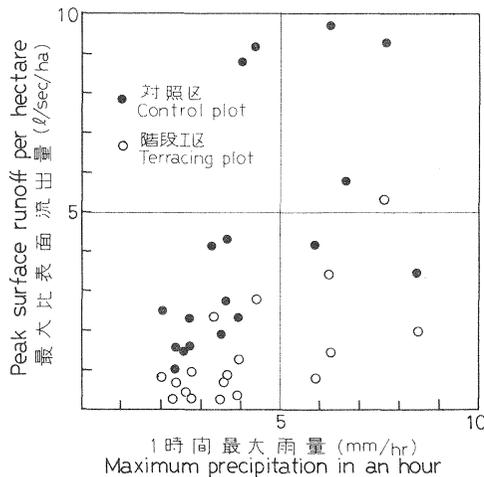


Fig. 3 ピーク流量の比較  
Comparison of peak surface runoff.

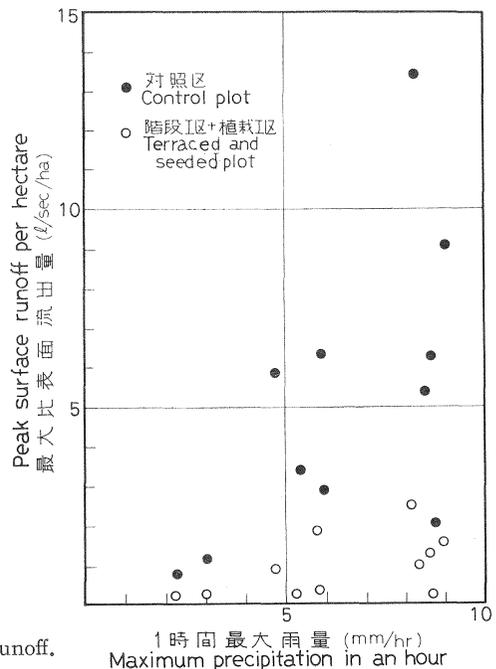


Fig. 4 ピーク流量の比較  
Comparison of peak surface runoff.

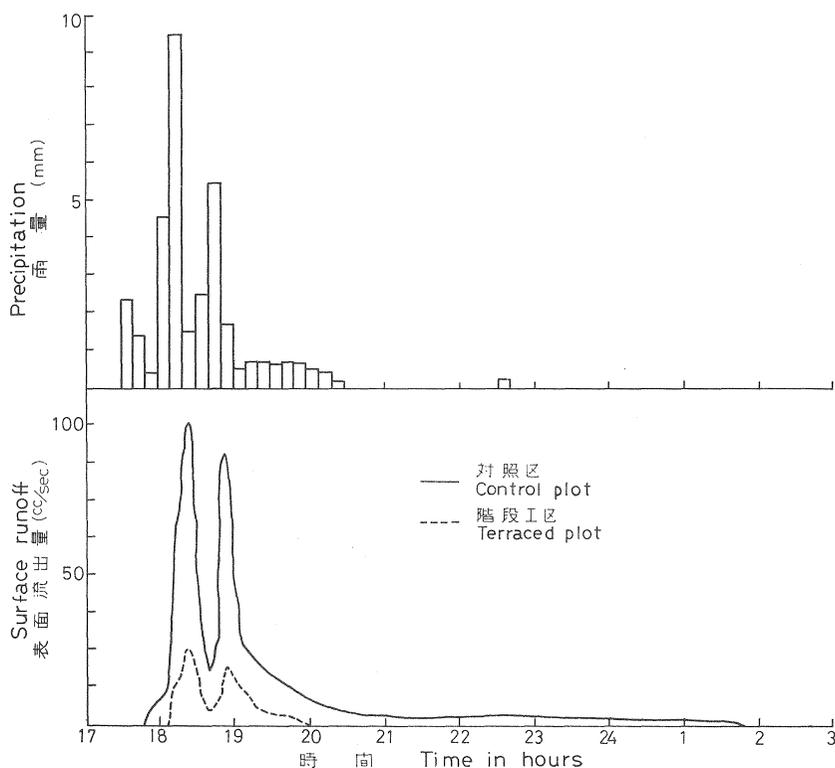


Fig. 5 ハイδροグラフの比較  
Comparison of hydrographs for the terraced plot and the control plot.

1時間最大雨量が大きい場合にも小さい場合にも、階段工区の最大流出量は対照区に比べ少ない傾向がみられる。次に階段工区と対照区のハイδροグラフの一例を示したのが Fig. 5 である。

### 3. 考察とまとめ

一般に階段工は、雨水の流出強度を減殺し、流出水を分散せしめて浸透の機会を長くし、流出水や侵食を抑制するとともに水分貯留を増大することによって、植栽木の生育を促進する効果があるといわれている。これらは主として経験的認識のもとにいわれているのであって定量的な実証は少ないが、谷口ほか<sup>28)</sup>による模型実験や、緒方ほか<sup>21)</sup>による現地試験(ヒノキ林の伐採跡地)、小野ほか<sup>22)</sup>による小流域試験などが行われている。谷口や緒方らの模型実験では、水平階段工の地表流水の分散化はあまり期待できなく、むしろ凸部に向けての傾斜階段工が効果が大きいとされている。しかし現地試験では、各プロットの土壌条件、伐根の分布状態などが不同で、これらが複雑に関係し一定の傾向が得られなかったと報告している。小野が小流域で行った試験では、ピーク流量は低下し特に小規模の出水時の低下現象が著しく、年流出量や洪水流量には変化がない結果を得ている。本試験では、流出量、ピーク流量ともに対照区より著しく低減、緩和することが実証され、水保全の面で階段工の効果がかなり評価できる。また小野が行った試験では、年流出量に有意な差が認められていないが、これは小流域での観測結果であって、中間流出、基底流出が含まれているが、当試験は山腹斜面試験区での表面流出の観測値であって両者の比較成分が異なり、

違った結果が生じたものと判断される。小野の試験の階段工は、なだれ防止階段工で、本試験の階段工とは主目的を異にするので様式、単位面積当たりの階段延長などが相違している。階段工の様式は前者が階段切り付けのみで山腹工の筋工に類似し、後者は積苗工の一種であることや、また階段幅が0.8~1.6 m に対し本試験が0.4 m とか、階段延長が730 m/ha に対し本試験は約3,400 m/ha でかなり高密度であること、階段総面積が669 m<sup>2</sup>/ha に比べ本試験は1,360 m<sup>2</sup>/ha で、かなり稠密な工法であり、前者が林地であるのに対し裸地に施工したことが流出量軽減効果を大きくした要因にあげることができよう。階段工施工そのものが表土の耕耘的影響をもたらし浸透性の増加につながり、また雨水の表面流出が階段工に一時的に妨げられ、流速が減殺され浸透機会も増すことなどにより地表流出水が減少したのではないかと考えられる。なお一般にいわれている階段工の分散流出効果については、本試験区が平滑斜面であるためあまり評価できないように思われる。

理水問題の大きいピーク流量は、小野が行った試験結果とも類似した傾向を示し、階段工によって著しく緩和されている。ピーク流量は直接流出である表面流出が主成分であり、その点総流出量の場合と異なり両試験とも共通した成分の比較であるので、両試験が同じような傾向があらわれたものと思慮される。次にピーク流量低下の原因について考察すると、総流出量について述べたと同じように、階段工により斜面長を切断し流出強度の減殺と、階段上の停滞および浸透の増加による流出継続時間の増大などが考えられる。

土砂流出量は、おもに地表流出水による運搬作用によるもので地表流出量と密接な関係があり、前にも述べたように階段工は総流出量、ピーク流量を減少緩和する効果がみられ、総流出量は対照区の39% (2年間平均) であり当然ながら土砂流出量も抑制され、対照区の30% (2年間平均) になっている。

次に階段上に植生を導入した場合の地表流出量は、実播工実施後3年間の観測資料で植被形成も未熟で、落葉落枝による地被物も不十分であるので、植生による土壌構造の改善はまだ考えられない状態でありながら、対照区を基準にした比較で、対照区100に対し階段工区39、階段工+植栽工11となり、階段工の地表流出水抑制効果よりは劣るが未熟な植生状態相応の効果があつたものとみてよからう。当初述べたように、一般にこの種の試験は、階段工と植栽工を一緒にした山腹工について、主として土砂流出の試験調査が行われるケースが多く、地表流出水について、階段工と植栽工を分離した現地調査報告はほとんど

Table 8. 土 壌 水 分 状 態 の 比 較  
Average soil moisture content

試験区 Study plot		対 照 区 Control plot			階段工 + 植栽工区 Terraced and seeded plot		
		地 表 Surface (%)	10 cm (%)	30 cm (%)	地 表 Surface (%)	10 cm (%)	30 cm (%)
測定年月 Date	測定の深さ Depth						
	Year	Month					
1959	May	17.1	18.6	20.1	17.4	18.0	17.5
	June	17.5	19.2	20.0	17.9	18.3	18.1
and	July	16.9	18.9	19.9	17.2	18.0	17.6
1960	Aug.	17.0	19.0	20.0	17.3	18.3	17.7
	Sept.	17.2	20.2	20.2	17.6	19.4	18.0
平 均 Average		17.1	19.2	20.0	17.5	18.4	17.8

どみられないので速断できないが、この試験結果から植生の理水機能を定性的には評価していいだろう。しかし定量的には、樹種、植被状態、立地条件などにより変動するのでさらに数多くの研究事例の積み重ねが必要であろう。植生による流出量の減少は何に起因するのかを推論すると、まず考えられることは、雨水が樹冠により遮断され雨水の地表到達量が減少することや、雨滴を樹冠でいったん遮断し落下させることにより雨滴衝撃エネルギーを殺し、表層土の破壊を少なくし細土や濁水による土壌孔隙つまりを防ぎ浸透性を維持するなど多様な要因が考えられる。また植生の生理的蒸散作用によって根系の分布範囲の土壌から水分を吸収することにより、土壌が乾燥化するため、降雨時の初期損失雨量が増大することも要因の1つであろう。なお植生の活動期の土壌水分を調べたところ Table 8 に示すように、地表を除き深さ 10 cm, 30 cm はいずれも対照区より階段工+植栽工区の含水率がわずかながら低く、乾燥していることが立証された。植生のピーク流出量に及ぼす影響は、階段工ほど大きな低減効果はみられなかったが、低下の傾向は明白である。林分形成の成熟化とともに低減効果は増大することが予想される。

b. 小集水域試験

はげ山は山崩れ跡地にくらべて広範囲にわたって存在することが多く、その治山工も山崩れの場合のように流域内の山腹斜面の一部だけに施工されるのとは異なって、施工地が1つの集水域をすべてカバーするが多い。そこで、はげ山の治山工の水収支は1つの集水域において検討するべきであろう。このような観点から筆者は、治山工の工種を異にした2つの小集水域および、対照とし非施工荒地の小集水域で地表流出量の測定を試みた。治山工の工種は、積苗工と筋工でそれに非施工荒地を対照にして水保全効果を比較検討した。

1. 試験の方法

試験地は岡山県南部の玉野市日比字瓶割の玉野市有地で、花崗岩を母材とするはげ山である。各試験区の概況は Table 9, 施工様式は Fig. 6 および 7, 配置と位置図は Fig. 8, また、試験区の状態は Photo. 2, 3, 4 にそれぞれ示した。なお、試験区名はわら積苗工区, 筋工区, 対照荒地区とした。地表流出水は、各試験区の下端に 4 m<sup>3</sup> のコンクリート土砂測定タンクを設け、それに接しさらに 2.4 m<sup>3</sup> (3 m × 0.8 m × 1 m) のコンクリート量水槽 (45°Vノッチ付) を設置し自記流量計<sup>18)</sup>で観測した。雨量は1か月巻き自記雨量計により観測した。

Table 9. 試験流域の概況  
Outline of the description of study watersheds

試験流域 Study watershed	面積 Area (ha)	傾斜 Slope (°)	法切 Land grading	階段工 Ter-racing	階段間斜面被覆 Back slope covering	主林木 Dominant tree	備考 Note
わら積苗工区 Terracing with sod and straw	0.13	30	強度 Intense	あり Applied	わら伏筋播 Straw mulching and strip seeding	クロマツ <i>Pinus Thunbergii</i>	階段延長 3,000m/ha Overall length of terraces per hectare
筋工区 Strip seeding	0.15	33	弱度 Not intense	—	筋播 Strip seeding	ハナアカシア <i>Acacia Baileyana</i>	溝・筋延長 3,000m/ha Overall length of seeded strips per hectare
対照荒地区 Control	0.15	34	—	—	—	—	非施工区 Untreated (Control)

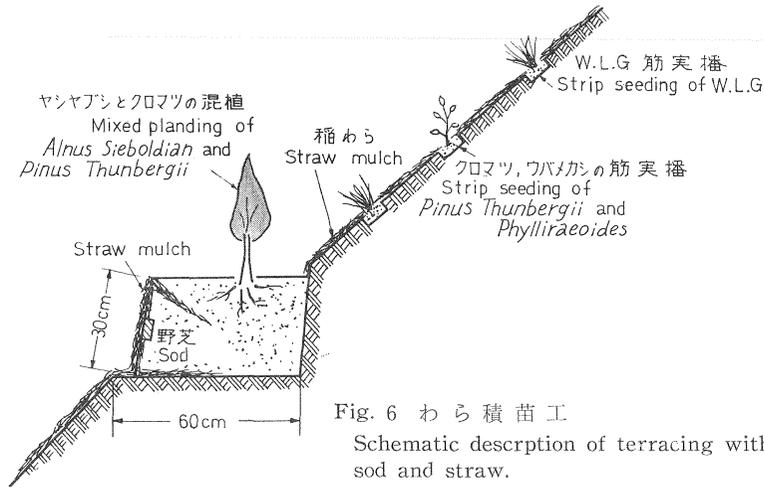


Fig. 6 わら積苗工  
Schematic description of terracing with sod and straw.

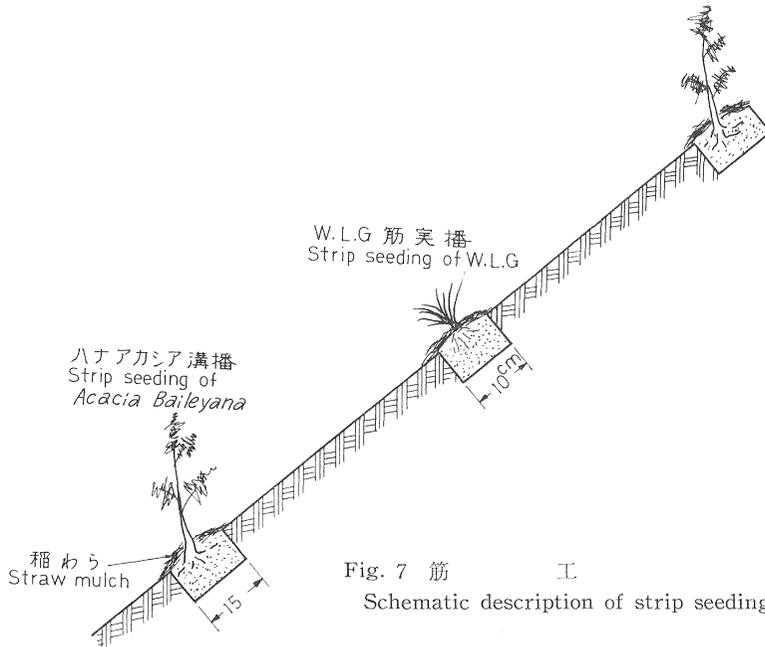


Fig. 7 筋工  
Schematic description of strip seeding.

## 2. 試験結果

1959年度で各試験区の施工は完了し、1960年度から観測を開始する計画であったが、たまたま1960年の春の異常乾燥と同年8月の集中豪雨により一部被害を受け、また1963年4月不慮の火災により保管中の観測資料が焼失汚損、さらに観測計器（自記流量計）の不調など数々の障害が生じ、完全な資料は少ない。しかし1964年、1965年には比較的満足すべき資料がえられたので、施工様式と地表流出量の関係の大まかな傾向は把握できた。

### 1) 年流出率

初期段階の資料の不足および信頼性に不十分な面があるが、治山施工によりどのように流出状態が変わ



Photo. 2 わら積苗工区  
Terracing with sod and straw.

(施工後1か月)  
One month after treatment.



Photo. 3 筋 工 区  
Strip seeding.

(施工後1か月)  
One month after treatment.

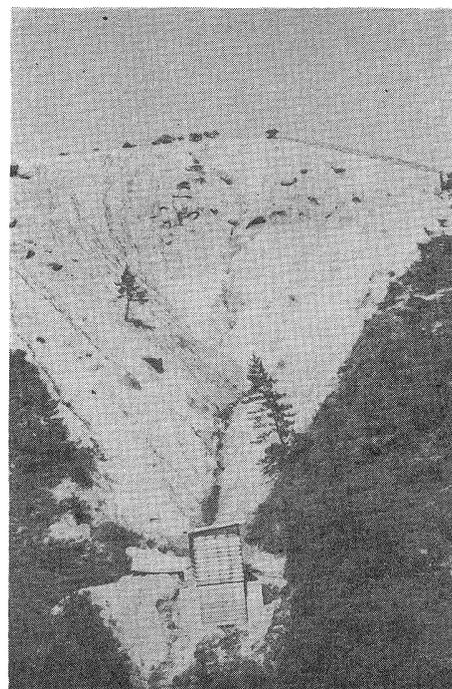


Photo. 4 対 照 荒 廢 区  
Control

(施工後1か月)  
One month after treatment.

Year of observation	Study watershed			Relative runoff 比較値 Average
	わら積苗工区 Terracing with sod and straw	筋工区 Strip seeding	対照荒廃区 Control	
1963	0.8 (6)	1.1 (8)	13.3 (100)	1963
1964	2.0 (5)	11.9 (30)	39.3 (100)	1964
1965	4.7 (9)	17.9 (36)	49.7 (100)	1965
平均	2.5	10.3	34.1	平均
				(Control=100)

The figures in parenthesis denote relative runoff (Control=100)

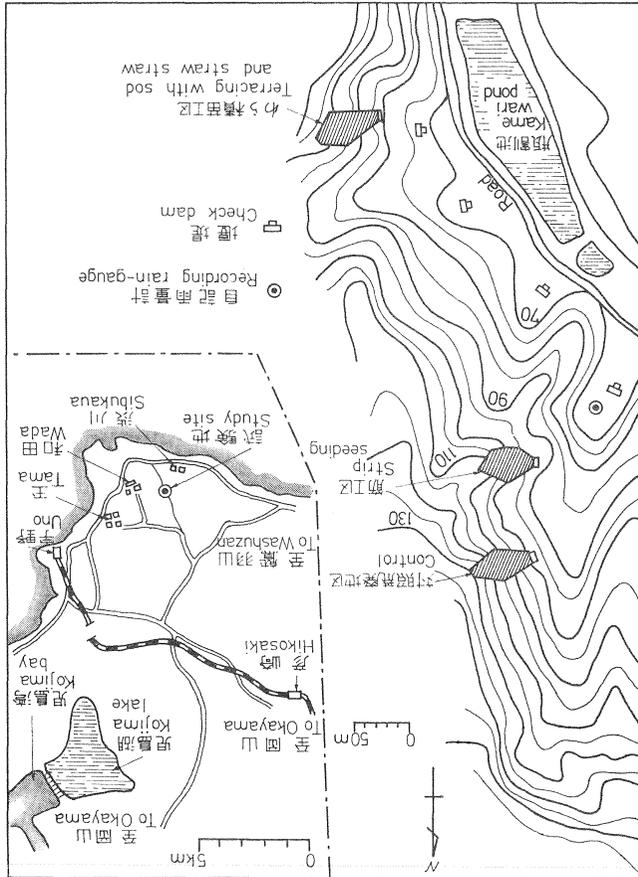
( ) は対照荒廃区を基準にした比較値

Note  
備考

Comparison of annual surface runoff percentage

Table 10. 年流出率の比較

Fig. 8 試験地位置図  
Map of Tamano study area.



るかの傾向を知る意味で年次別に流出率を比較したのが Table 10 である。

Table 10 で 1963 年の数値が異常に小さいのは、降雨強度の高い際、再三にわたり自記流量計がトラブルをおこし欠測となり、これらの比較的流出率の高い資料を除外したためである。Table 10 の流出率比較値から対照荒廃区に比べ両施工区の地表流出量が著しく少ないことがわかる。また、同じ施工区でも施工様式の違いによりかなりの差がある。わら積苗工区のように稠密な工法 (Fig. 6) と、筋工区のように法切工を弱にし、階段切り付けを省き、法面被覆も行わない簡略化した工法 (Fig. 7) とでは、年平均流出率の比較値で前者が 7 に対し後者が 30 でかなりの差が生じることがわかる。3 年間の観測資料から経年的な傾向をみるため、対照荒廃区を基準にして比較値を求め、それにより比較すると Table 10 の括弧で示したように、1963 年は異常値としても年数の経過とともにやや地表流出量が多くなる傾向がみられる。一般的傾向としては、年数の経過につれ、導入植生の成長も促進され地表流出量も漸減することが考えられるが、ここで用いた測定値は植栽後 4 年から 3 年間の資料であり、地被植生の主体であるウィーピングラブグラスの繁茂状態が養分欠乏や上層木の庇陰などにより、徐々に衰退する過程にあり、上層木の成長より地被植生の貧弱化がより大きく地表流出に影響し、このような結果になったことが想像され、これは過渡期の現象とみてよかろう。

2) 1 連続降雨量と地表流出量

前述のプロット試験で行ったと同じ手法で解析を進めるため、1963~1965 年の観測資料の整理を行い

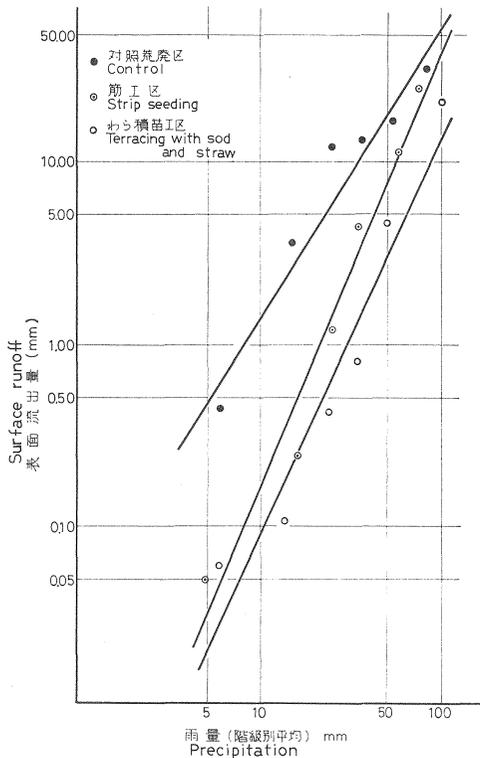


Fig. 9 雨量と表面流出量の関係  
Relation between precipitation and the resulting surface runoff.

図に示したのが Fig. 9 である。この図にみられるように、両者の関係は指数関数的関係があり、両者の関係式を求めると次のようになる。

わら積苗工区

$$\log Y = 2.183 \log X - 3.238 \quad r = 0.965$$

筋工区

$$\log Y = 2.416 \log X - 3.206 \quad r = 0.976$$

対照荒廃区

$$\log Y = 1.578 \log X - 1.419 \quad r = 0.962$$

ここで、X : 階級別平均雨量 (mm), Y : 平均地表流出量 (mm) である。

Fig. 9 からわかるように各施工区は、年次別でも述べたと同様に、対照荒廃区に比較して明らかに地表流出量が少ない。雨量が少ない場合ほど地表流出抑制効果が顕著で、雨量が増大するに連れて抑制効果が漸減し、対照荒廃区の値に接近する傾向がうかがわれる。次に階級別平均雨量と流出率の関係を試験区別にプロットしたのが Fig. 10 であり、対照荒廃区は点の散らばりは大きいですが、大胆に解釈すると 50 mm 前後以上の雨量になると流出率は 40% くらいの恒常値に達するよ

うである。それに比べ積苗工区は著しく流出率が低く雨量との関係曲線が、対照荒廃区の下向きに對し上向き曲線を示す。また、筋工区は両者の中間ではほぼ直線の型を表わし 80 mm 前後の雨量になると、対照荒廃区とほぼ同じ流出率となり、施工による地表流出量抑制効果は限界になることが推察される。わら積苗工区と対照荒廃地区の流出量が接近するのは 120 mm 前後の雨量であることが Fig. 10 から想像される。

3) 流出特性

一雨による降雨総量も表面侵食の 1 因子であるのはもちろんであるが、表面侵食に直接的に関与するのはピーク流量の大小であると考えられ、そこで施工によりどのようにピーク流量が緩和されるかを知ることも十分意義がある。したがってこの点を確めるため、1 時間最大雨量 (mm/hr) とピーク流量 (比流量  $l/sec/ha$ ) との関係を示す。わら積苗工区と対照荒廃区について図示したのが Fig. 11 である。なおこの図で、対照荒廃区に高い雨量強度の観測値が欠如しているのは、流出土砂が多量のため貯砂タンクをオーバーし量水槽を埋め自記流量計が作動しなくなったり、また流量計自体の不調などにより資料が得られなかったためである。各試験区の 1 時間最大雨量  $X$  (mm/hr) とピーク流量 (比流量)  $Y$  ( $l/sec/ha$ ) との関係を求めると相関係数  $r$  はいずれも 5% の危険率で有意であり関係式は次のとおりである。

わら積苗工区

$$Y = 2.093X - 17.126 \quad r = 0.76$$

筋工区

$$Y = 3.113X - 20.146 \quad r = 0.72$$

対照荒廃区

$$Y = 25.136X - 80.131 \quad r = 0.83$$

対照荒廃区と施工区との違いを検出するため、 $X$  にそれぞれ 10 を代入し  $Y$  を求めると、対照荒廃区が 171、筋工区が 10、わら積苗工区が 3 となり施工区のピーク流量が著しく低減されている

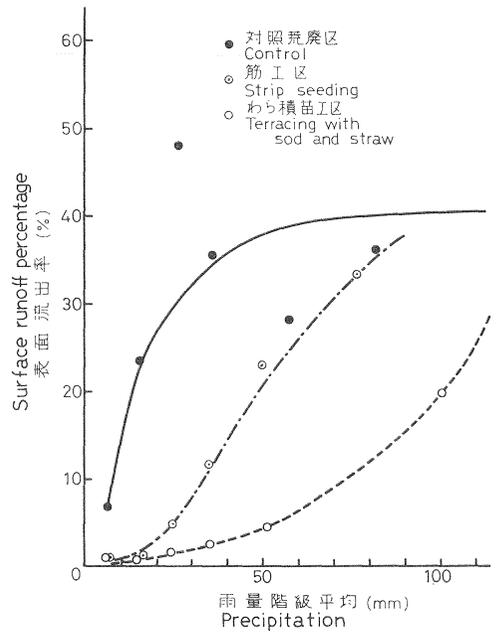


Fig. 10 表面流出率の比較  
Comparison of surface runoff percentage.

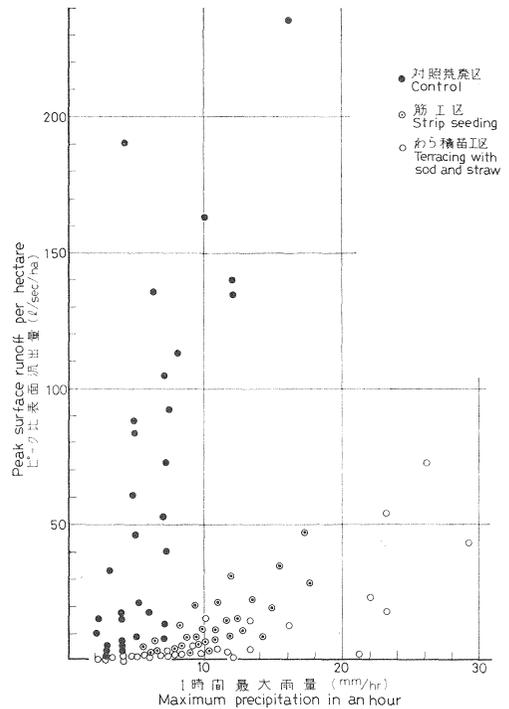


Fig. 11 ピーク流量の比較  
Comparison of peak surface runoff.

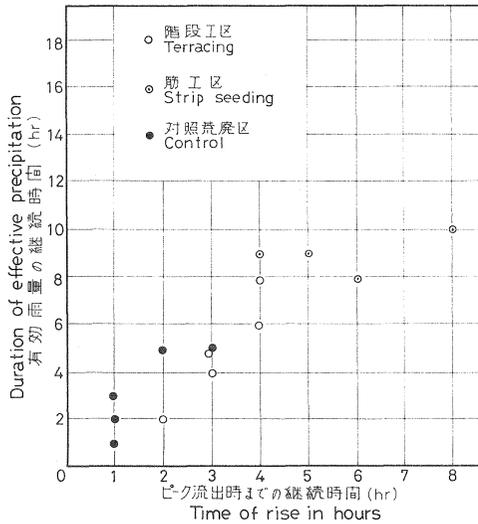


Fig. 12 流出特性の比較  
Comparison of surface runoff characteristics.

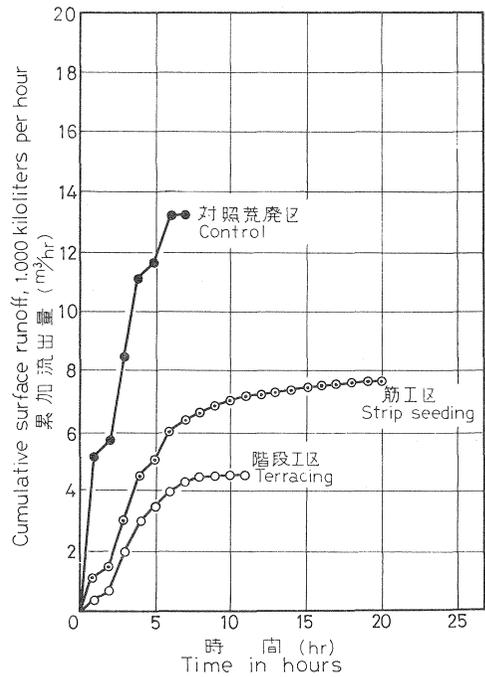


Fig. 13 累加流出曲線  
Mass surface runoff curve.

ことがわかる。プロット試験であらわした1時間最大雨量と最大比流量との関係図 (Fig. 4, 5) とこの試験での結果 (Fig. 11) を照合すると、こちらの方が対照荒廃区と各施工区との較差が大きく施工効果が高いことが示されている。前者は起伏のある地形を法切、階段工などにより整地したため、流水の分散化や、もともと浸透性が劣る土壌環境であったことなどが考えられ、ピーク流量低減効果が、前者より一層大きくあらわれたものと考えられる。

有効雨量の継続時間とピーク流出時までの降雨の継続時間との関係は Fig. 12 のとおりであって、対照荒廃区ではピーク時までの流出の時間が短いことがわかる。Fig. 13 は累加流出曲線の1例であるが、対照荒廃区は急に出水し流出時間が短いのに対し、施工区では緩慢に流出し、流出継続時間も長い傾向がみられる。

### 3. 考察とまとめ

はげ山の治山造林が、地表流出量の減少と、ピーク流量緩和とに効果が大いことが明らかになると同時に、土砂移動防止効果も極めて高いことが実証された。

近年、社会経済の著しい発展にともない水需要が増大し、水資源確保が重要性を増し森林がこの面で有益であることは多数の認めるところであり、治山造林により植生被覆を造成することは、土砂流出の防止もさることながら水資源確保上に十分意義がある。本試験は常時流水していない小集水区で、地表流出水を観測したものであり、中間流、地下水流出を含めての理水効果の言及はできないが、従来から行ってきた流域試験、プロット試験、ライシメーター試験などにより得た実測値の平均的な概数を用いて、水収支関係の検証を試みた。Table 11 は必ずしも信頼度の高い数値によるものでなく、また小集水試験区での

Table 11. 水収支表  
Water balance table

試験流域 Study watershed	対照荒廃区 Control (mm)	降雨量に 対する比率 Percentage of the rainfall (%)	筋工区 Strip seeding (mm)	降雨量に 対する比率 Percentage of the rainfall (%)	備考 Note
降雨量 Rainfall	1,496	—	1,496	—	実測値 Observed values
流出量 Runoff	表面 Surface runoff	748	269	18	実測値 Observed values
	基底 Base flow	389	269	18	推定値 Estimated values
樹冠遮断量 Net crown interception loss	—	—	299	20	実測値 Observed values
地面蒸発量 Evaporation from soil	359	24	194	13	ポットやライシメーターによる実験から求めた概数値 Values estimated from pot or lysimeter experiments
蒸散量 Transpiration	—	—	464	31	

量水観測であり、この表の数値がこの地域の水収支特性を正確に表わしているとはいえないが一応の目安にはなるであろう。

地表流出量は総流出量の中で、降雨時に直ちに渓谷流量を増加させる成分で、流量変動が激しく、濁度も高く水利用の面では一般に不利な水量であり、総流出量に対し低い比率であることが好ましい。したがって、治山工によりこの成分比率が Table 11 のように低くなることは、水保全効果が增強されたといえよう。基底流量の大小は利水、理水上の重要な因子で、この量は多いことが望ましいのであるが、Table 11 のように、対照荒廃区より施工区が7%位小さい概算値となるので、やや対照荒廃区より施工区がこの面では劣ることになる。しかし、この程度の差は誤差の範囲であり、したがって、高水流量の理水効果は顕著に認められるが低水流量については両者にあまり差異がないとみてよからう。

中野の報告<sup>19)</sup>によると、米国 Tennessee 州の Pine Tree Branch 試験では、編柵谷止工などの侵食防止工事を施工した後、各種のマツなどを流域の非林地75%に造林したことにより、地表流出量は減少し、その減少量は、期待値の11~48%の範囲であり、またピーク流量も季節に関係なく著しく減少し、中位以上のピーク流量は期待値の10~30%の範囲であるとしている。本試験では先にも述べたように、年平均流出率で施工区は対照荒廃区の7~27%であり、前者の例よりやや低い数値となっているが傾向としては類似性がみられる。

前項の山腹斜面プロット試験での年平均流出率の比較値は、対照区100に対し階段工+植栽工区が11であった。この試験では対照荒廃区100に対し、わら積苗工区が7、筋工区が30であり、施工内容や立地、試験条件が異なっているにもかかわらず同じような傾向を示している。以上の試験からも実証できるように治山工の地表流出量減少、ピーク流量緩和効果が顕著であることは普遍的とみてさしつかえなからう。

地表流出量が治山工によって減少することが明白になったのでその原因について推考する。まず考えられることは、法切工、階段工などの基礎工による地形の起伏修正や、この作業にともなう一種の耕耘効果による土壌構造の改善と地表流出水の分散化、階段工による斜面長の切断にともなう流出強度の減殺と

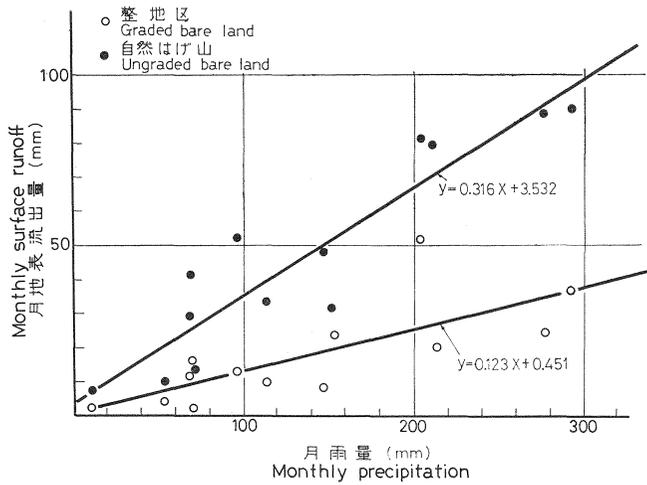


Fig. 14 法切りの表面流出量におよぼす効果  
Effects of land grading on surface runoff.

浸透能の助長、植生の樹冠保留、蒸発量による地面到達雨量の減少、樹冠、地床地被物による雨滴衝撃エネルギーの緩和と表土の目づまり防止など多岐にわたる原因が考えられる。この他にも植生の成長繁茂にもなつて、根系による土壌の団粒化、孔隙率の増大作用、落葉落枝の有機物供給と土中生物の活動によって土壌構造の改良などによる透水性の増大も影響要因であるが、ここでまとめた資料は施工後数年間のもので、土壌改良

化はあまり進んでいないと思われ、したがってこれらの影響は比較的少ないと見てよからう。

この試験では法切工、土留工、水路工などの山腹基礎工と植栽工とを区別して試験区の設定がなされていないので、どの工種が地表流出水抑制効果に影響度が大きいかについては吟味できないが、施工後の初期段階で十分な植被が形成されていない時期では、基礎工の態様に影響される面が大きい。前項の試験で

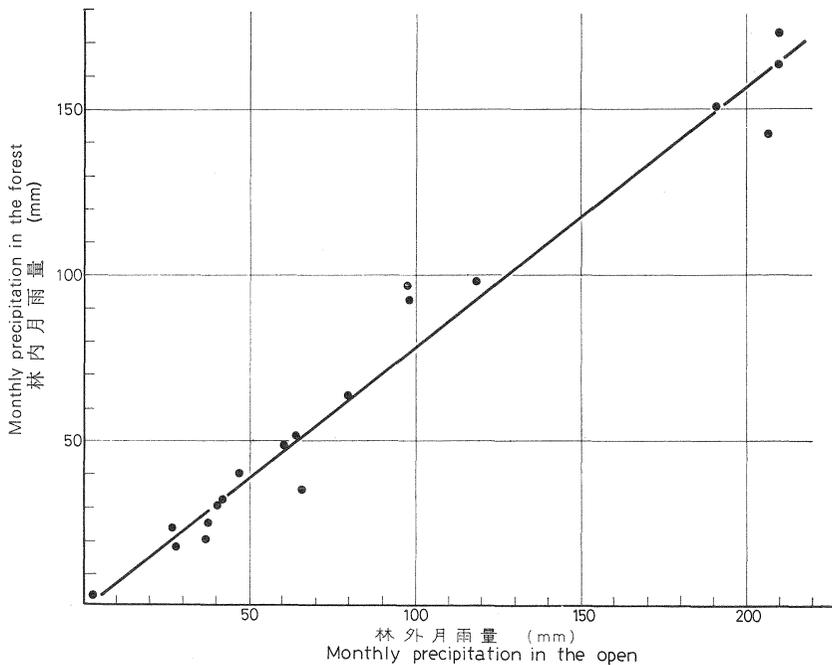


Fig. 15 林外雨量とハナアカシア林の林内雨量の関係  
Relation between gross precipitation and throughfall  
in *Acacia Baileyara* forest.

も明らかにしたように、階段工が植栽工より地表流出水抑制効果が大きいこと、また、以前この試験地に隣接するはげ山で、法切による整地区と無処理区を設定（1試験区面積 14 m<sup>2</sup>）し地表流出量の測定を行った結果では、法切区は無処理区の約 40% の地表流出量となる資料も得ている（Fig. 14）。また、わら積苗工区と筋工区との年平均流出率を比較してもわかるように、同じ施工区でも施工内容によって大差が生じる（わら積苗工区 25%、筋工区 10%）。両試験区間には樹種の相違や地形その他立地条件にも差異があるが、もっとも大きな違いは基礎工の一部である法切の強弱と階段工の有無であって、これが強く関与しこのような差が生じたものと思われる。以上の結果からも推察できるように基礎工による地表流出水抑制効果は著しく、またその態様によって大きく変化することがわかる。

次に植栽工独自の地表流出水抑制要因としては、前項でも述べたように地上部の樹冠遮断による地面到達雨量の減少、地床地被物や樹冠による雨滴衝撃力の減殺に起因する表土分散破壊作用にともない土壌孔隙をふさぐ作用の防止の結果としての浸透能の維持増強、植生の生理的吸水作用による土壌の乾燥化などをあげることができる。筋工施工地のハナアカシア林内の樹冠被覆状態の代表的場所に、普通雨量計を設置し林内雨量を測定し林外雨量と比較した結果、Fig. 15 に示すように、ほぼ林外雨量の 20% が遮断される結果が得られ、これが地表流出水抑制の一要因となっていることは間違いないであろう。

川口<sup>5)</sup>は実験箱（長さ 40 cm、幅 20 cm、深さ 15 cm）に土壌をつめ、無林地と有林地（ラクウショウ、カシ）にその箱を傾斜 30° に固定して置き、地表流出量を 3 年間測定（夏季）したところ、平均地表流出率が無林地 100 に対し有林地はラクウショウで 79、カシで 74 となり有林地が少なくなったとしている。この実験は実験箱に土壌を填充しておこなったもので実際の山地斜面とは条件が異なるが、植生の地表流出水抑制効果を表わすものであり本試験と同じ傾向である。

前にも述べたように地表流出水は降雨前の土壌の乾湿状態に影響される。白井<sup>25)</sup>が玉野地区のはげ山、治山造林地、草地、裸地に敷藁したところなどで、夏季に土壌水分を地表層、地下 10 cm、20 cm、30 cm の深さで測定した結果、裸地より治山造林地（植栽後 5 年）の含水率が地表層を除き 15~22% 少ないとしている。この現象は植生の蒸散消失を考慮すべきことを示しており、植生は初期損失量を増大させ地表流出水減少に関与することが十分考えられる。以上のように植生は、基礎工より劣るかもしれないが、地表流出水抑制効果に一定の役割を果たすことを認めることができる。なお、成林するにともない基礎工より植生の影響度が漸次増大するものと考えられる。

### III. 治山施工地の浸透能

表面流出は降雨強度が浸透能を超過した時に生じるので、浸透能の大小は雨水の地表流出量に直接的に関与する。したがって、この浸透能を治山施工地で測定すれば、水保全機能の相対的比較指標となしうるであろう。ここでは治山工のこの機能がどのようにあらわれるか、その実態を明らかにするため行った調査結果を取りまとめたものである。

#### 1. 調査地と測定方法

調査地は、岡山県玉野地区（玉野市日比字瓶割）、兵庫県六甲地区（芦屋市奥池、神戸市再度山）、滋賀県大津地区（大津市桐生）の治山施工地である。なお対照地として、それぞれ近接の非施工荒地を選んだ。調査地の概況は Table 12 に、土壌断面は Fig. 16 に示した。

測定には、平田式山地浸透計の散水部分および給水タンクを改良し、散水量の安定をはかるため流量計

Table 12. 浸透能調査地の概況  
Description of infiltration in the study sites

調査場所 Study area	調査地名 Study site designation	傾斜 Gradient (°)	方位 Aspect	地質 Geology	土壌型 Soil type	植 被 Vegetative cover	疎密度 Crown density (%)	主林木 樹 高 Height of dominant trees (m)	施 工 年 度 Year of treatment
芦屋市奥池 Okuike, Ashiya city	六甲 I Rokko	31	NE	花崗岩 Granite	Im	ク ロ マ ツ <i>Pinus Thunbergii</i> オオバヤシャブシ <i>Alnus Sieboldiana</i> ミツバツツジ <i>Rhododendron dilatatum</i>	75~85	4~6	1955
芦屋市奥池 Okuike, Ashiya city	六甲 II Rokko	30	S	花崗岩 Granite	Im	ク ロ マ ツ <i>Pinus Thunbergii</i> オオバヤシャブシ <i>Alnus Sieboldiana</i> ヤマハンノキ <i>Alnus tinctoria</i> var. <i>globra</i>	70~85	5~6	1955
神戸市再度山 Futatabisan, Kobe city	六甲 III Rokko	30	NNE	花崗岩 Granite	Im	ク ロ マ ツ <i>Pinus Thunbergii</i> オオバヤシャブシ <i>Alnus Sieboldiana</i> リ ヨ ウ ブ <i>Clethra barrinervis</i> ミツバツツジ <i>R. dilatatum</i>	75~95	7~14	1903
芦屋市奥池 Okuike, Ashiya city	六甲 IV Rokko	31	SW	花崗岩 Granite	Ba	ア カ マ ツ <i>Pinus densiflora</i> ソ ヨ ゴ <i>Ilex pedunculosa</i> ミツバツツジ <i>R. dilatatum</i>	80~100	12~15	アカマツ天然林 Natural forest of <i>Pinus densiflora</i>
芦屋市奥池 Okuike, Ashiya city	六甲 V Rokko	30	NEE	花崗岩 Granite	Er	な し Bare land	—	—	非 施 工 Untreated
玉野市玉 Tama, Tamano city	玉野 I Tamano	30	SW	花崗岩 Granite	Im	ク ロ マ ツ <i>Pinus Thunbergii</i> ヤマハンノキ <i>Alnus tinctoria</i> var. <i>globra</i> オオバヤシャブシ <i>Alnus Sieboldiana</i>	70~80	6~8	1954
玉野市日比 Hibi, Tamano city	玉野 II Tamano	29	N	花崗岩 Granite	Im	ク ロ マ ツ <i>Pinus Thunbergii</i> オオバヤシャブシ <i>Alnus Sieboldiana</i>	70~75	4~6	1959
玉野市日比 Hibi, Tamano city	玉野 III Tamano	32	NW	花崗岩 Granite	Er	な し Bare land	—	—	非 施 工 Untreated
大津市桐生 Kiryu, Otsu city	桐生 I Kiryu	30	W	花崗岩 Granite	Ba	ア カ マ ツ <i>Pinus densiflora</i> ク ロ マ ツ <i>Pinus Thunbergii</i> ヒメヤシャブシ <i>Alnus pendula</i> オオバヤシャブシ <i>Alnus Sieboldiana</i> ヒ サ カ キ <i>Eurya japonica</i>	90~100	16~18	1897
大津市桐生 Kiryu, Otsu city	桐生 II Kiryu	30	SW	花崗岩 Granite	Er	な し Bare land	—	—	—

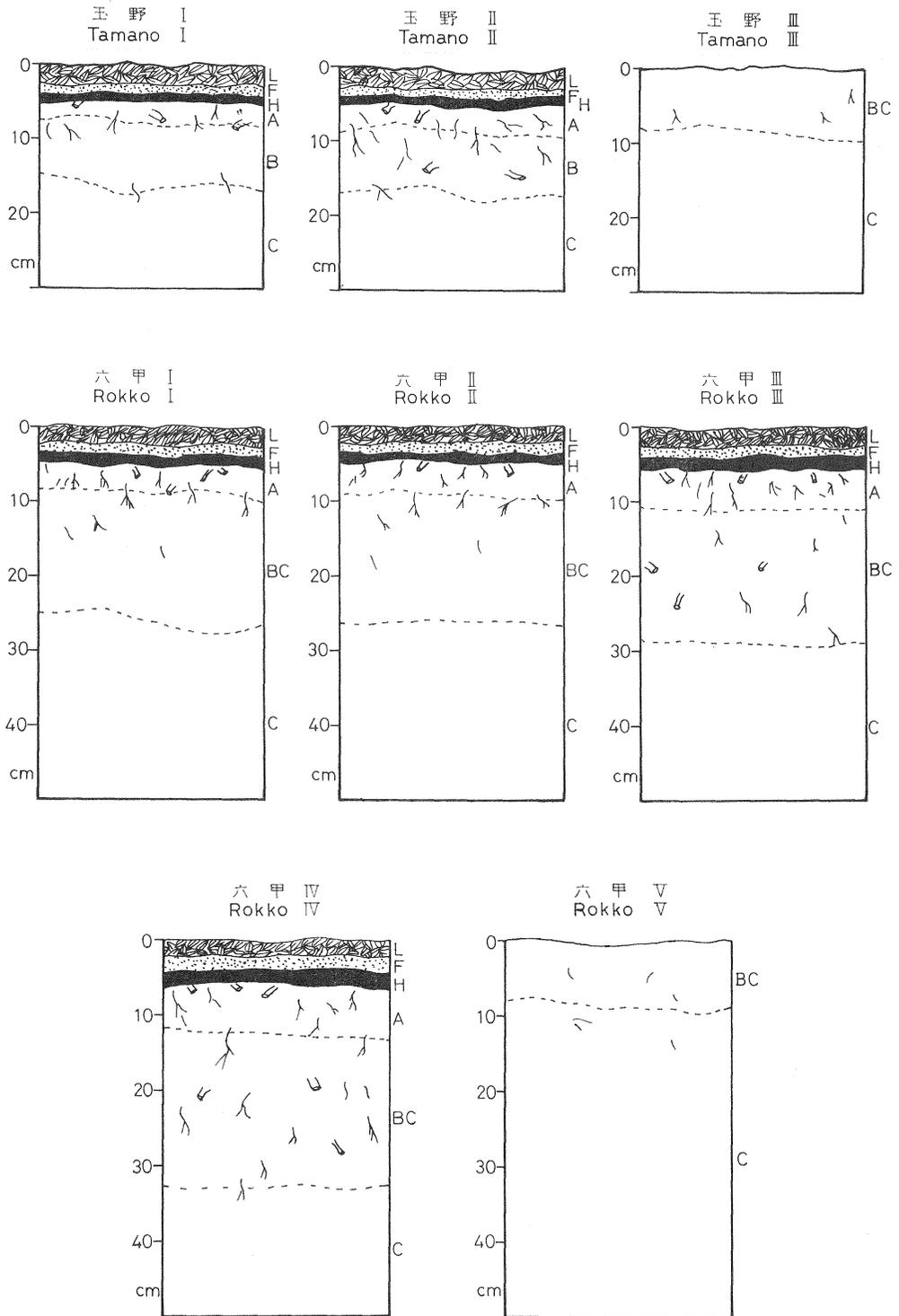


Fig. 16 浸透能調査地の土壤断面  
Soil profiles in each infiltration study site.

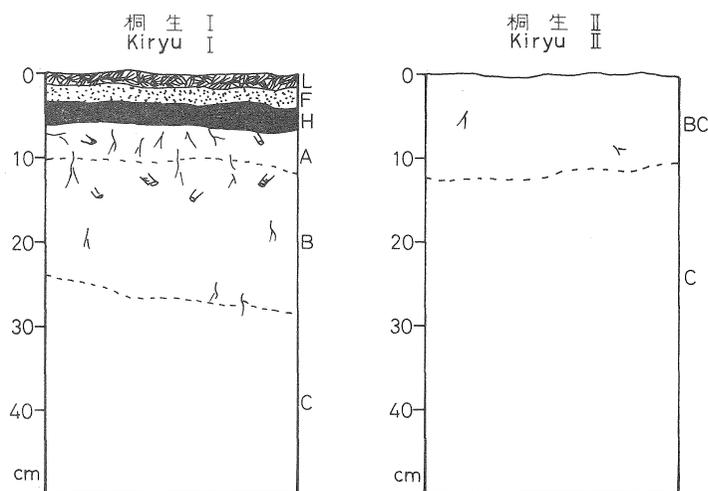


Fig. 16 (つづき) (Continued)

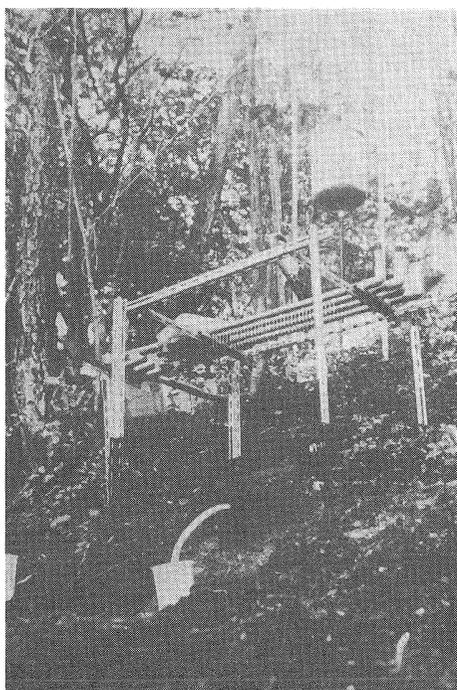


Photo. 5 散水型山地浸透計  
Rainfall simulator infiltrometer.

を付設した散水型山地浸透計<sup>27)</sup>を用いた。なお、観測の様子は Photo. 5 に示した。1 調査地で 2~4 か所を測定プロットとし、その測定プロットは、各調査地の代表的な場所の階段工間斜面 (傾斜 30°) に設定した。測定プロット面積は 900 cm<sup>2</sup> (30 cm × 30 cm) とし、両側に鉄枠側板を約 5 cm 差し込み、下端に土壌断面をとり、A 層と B 層の境目に受水板を差し込んだ。散水範囲は幅 50 cm、長さ 20 cm で、測定プロットの外の両側 10 cm 幅にも散水を行い、横方向への浸透拡散を少なくした。散水は 40~450 mm/hr の範囲内で行い、流出水量を一定の時間間隔 (1~2 分) で計測し、ほぼ定常値に達するまで継続した。ここでいう浸透能は、定常値に達した時の流出強度を、散水強度から差し引いて求めたもので、終期浸透強度 mm/hr を指す (以後、終期浸透強度とする)。土壌の理学的性の測定は、国有林野土壌調査方法書<sup>20)</sup>に準じて行った。

## 2. 調査結果

### A. 玉野地区

1954 年と 1959 年の施工地および近接の非施工荒地で調査した。各測定プロットの散水強度別の終期浸透強度を図で示したのが Fig. 17 である。この図でわかるように、この程度の散水強度下においては、散水強度増にともない終期浸透強度も増大し、両者の関係は直線回帰であらわされる。散水強度  $i$ 、終期浸透強度  $\phi$ 、回帰直線が  $\phi = i$  直線に交わる点  $i_0 (= \phi_0)$ 、直線の方向係数  $k$  とすると、

$$\phi = \phi_0 + k(i - i_0) = k_i + (1 - k)\phi_0$$

であらわされる。

この調査では終期浸透強度の最大値 (浸透能) は計測していないので、各測定プロット間の直接的比較はむずかしい。そこで間接的な比較として、自然降雨量の最大を 100 mm/hr と想定し、これを各測定プロットの散水強度と終期浸透強度の関係回帰式に代入し、対応する終期浸透強度 ( $\phi_{i=100\text{mm/hr}}$ ) を、そのプロットの浸透性をあらわす相対的な比較指標とみなした。各測定プロットの  $\phi_{i=100\text{mm/hr}}$ ,  $k$ ,  $\phi_0$  を表示したのが Table 13 である。

非施工荒廢地の玉野 III と施工地の玉野 I (1954 年施工), 玉野 II (1957 年施工) の散水強度別終期浸透強度を比較すると, Fig. 17 にみられるように明らかに非施工荒廢地より両施工地が高い終期浸透強度を示している。なお施工年次の違いによる差はほとんどみられない。浸透指標を比べると Table 13 のように, 施工地 (玉野 I・II) の  $\phi_{i=100\text{mm/hr}}$  が非施工荒廢地 (玉野 III) より約 2.5 倍高い値を示し, また,  $\phi_0$ ,  $k$  の数値も非施工荒廢地より施工地が大きく, 施工により浸透性が増大されたことが想像される。このように施工地が高い浸透性を示すようになった要因は, 施工時の法切, 階段工などで土壌が耕耘され土壌構造が変化したこと, 植生の成立に基づく粗腐植質層の形成, 土壌構造の改善などが考えられる。

浸透能は直接的に土壌の理化学性に影響されると思われるので, 各測定プロット周辺から採土し理化学性を

Table 13. 玉野における各調査地の浸透指標  
Infiltration indexes for Tamano study sites

調査地 Study site	$\phi_{i=100\text{mm/hr}}$ (mm/hr)	$\phi_0$ (mm/hr)	$k$
玉野 I Tamano	84.4	55.2	0.651
玉野 II Tamano	83.2	29.8	0.761
玉野 III Tamano	32.7	19.8	0.162

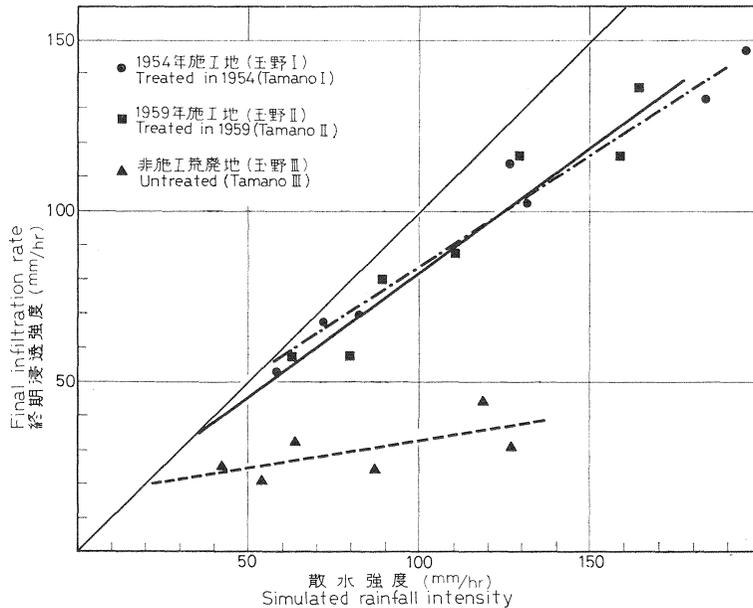


Fig. 17 玉野における散水強度と終期浸透強度の関係  
Relation between simulated intensity and final infiltration rate in Tamano.

調べた。結果は Table 14 のとおりで、非施工荒地より施工地がかなり良好である。堤<sup>80)</sup>の報告によると、治山造林による林地の理学性の変化はなかなか進まず、法切によって機械的に破碎され、このことにより理学性に变化が起こるとしてあり、この調査での施工地の理学性が、非施工荒地より良いのも、植生がもたらすより、主に基礎工の影響が大きいように思われる。

B. 六甲地区

玉野地区と施工年次にあまり差のない 1955 年施工地と、1903 年施工の古い施工地、また、この地区の代表的林相であるアカマツの天然林、それに対照地として非施工荒地について調査した。調査地の概況は前記した Table 12, 土壤断面は Fig. 16 のとおりである。

各調査地の散水強度別の終期浸透強度実測値を表示したのが Table 15 である。

この散水強度範囲では、両者の関係が玉野地区と同じように直線関係がみられたので、前と同じ手法で各調査区の浸透指標を求めたのが Table 16 である。

非施工荒地より施工地の  $\phi_i=100\text{mm/hr}$  が大きく、これは玉野地区とも共通した傾向である。施工年次の比較的新しい調査地の六甲 II (1955 年施工) と、古い施工地である六甲 III (1903 年施工) の  $\phi_i=100\text{mm/hr}$  を比較すると、新しい施工地より古い施工地が僅少ながら低い値を示している。またアカマツ天然林地の六甲 IV は古い施工地の六甲 III よりさらに著しく低く、浸透性が劣るようである。

Table 14. 玉野における調査地土壤の理学性  
Physical properties of soil in Tamano study sites

調査地 Study site	試料No. Number of samples	容積重 Bulk density (g/100cc)	最大容水量 Max. water holding capacity (%)	最小容気量 Min. air holding capacity (%)	孔隙量 (%) Porosity (%)			透水性 Percolation rate (cc/min)	終期浸透強度 $\phi_i=100\text{mm/hr}$ Final infiltration rate (mm/hr)
					全 Total	細 Ca- pillary	粗 Non-ca- pillary		
玉野 I Tamano	1	114.6	38.2	37.3	75.5	18.4	57.1	146	91
	2	121.0	31.8	25.2	57.0	15.8	41.2	136	77
平均 Average		117.8	35.0	31.3	66.3	17.1	49.2	141	84
玉野 II Tamano	1	137.8	35.2	11.8	47.0	16.9	30.1	134	82
	2	115.8	39.0	19.8	55.0	17.2	37.8	120	89
平均 Average		126.8	37.1	15.8	51.0	17.1	34.0	127	86
玉野 III Tamano	1	147.0	30.1	15.6	45.7	12.6	33.1	6	41
	2	160.2	30.1	11.4	41.5	10.6	30.9	45	28
平均 Average		153.6	30.1	13.5	43.6	11.6	32.0	26	35

注) 1) 試料採取深 0~5cm

Note) Sampling depth 0~5cm

2) 終期浸透強度は散水強度 100mm/hr の際の推定値

$\phi_i=100\text{mm/hr}$  denotes the estimated infiltration rate for the rainfall intensity of 100mm per hour.

Table 15. 六甲における散水強度別の  
終期浸透強度Final infiltration rates for different  
intensities of simulated rainfall in  
Rokko study sites

調査地 No. Study site No.	散水強度 Simulated rainfall intensity (mm/hr)	終期浸透強度 Final infiltration rate (mm/hr)
六 甲 I Rokko	59	54
	96	86
	180	155
六 甲 II Rokko	100	95 (93)
	200	190 (176)
	300	280 (258)
	400	369 (321)
六 甲 III Rokko	100	88
	200	170
	300	255
	400	340
六 甲 IV Rokko	100	29
	200	91
	300	157
	400	229
六 甲 V Rokko	33	18
	56	25
	99	35
	182	58

注) ( ) は表層土除去

Note) The figures in parenthesis denote the in-  
filtration of the soil from which the sur-  
face layer was removed.Table 16. 六甲における各調査地の浸透指標  
Infiltration indexes for study sites in Rokko

調査地 Study site	$\phi_i=100$ mm/hr (mm/hr)	$\phi_0$ (mm/hr)	$k$
六 甲 I Rokko	88.6	32.0	0.832
六 甲 II Rokko	96.7 (97.1)	62.5 (87.6)	0.912 (0.766)
六 甲 III Rokko	87.1	18.9	0.841
六 甲 IV Rokko	26.6	—	0.666
六 甲 V Rokko	36.1	12.8	0.266

注) ( ) は表層土除去

Note) The figures in parenthesis denote the in-  
filtration of the soil from which the sur-  
face layer was removed.Table 17. 六甲における調査地土壌の理化学性  
Physical properties of soil in Rokko study sites

調査地 Study site	試料 採取深 Sampling depth (cm)	容積重 Bulk density (g/100cc)	最大 容水量 Max. water holding capacity (%)	最小 容気量 Min. air holding capacity (%)	孔 隙 量 (%) Porosity (%)			透水性 Percola- tion (cc/min)	終期浸透 強 度 $\phi_i=100$ mm/hr Final infiltration rate (mm/hr)
					全 Total	細 Ca- pillary	粗 Non-ca- pillary		
六 甲 I Rokko	0~5	108.9	25.9	32.4	58.3	13.8	44.5	62	89
	6~11	139.7	16.7	30.5	47.2	9.9	37.3	55	
六 甲 II Rokko	0~5	111.5	31.9	25.4	57.3	13.9	43.4	126	97
	6~11	148.3	18.7	25.5	44.2	12.5	31.7	107	
六甲 III-A Rokko	0~5	109.4	43.9	12.3	56.2	19.9	36.3	150	87
	6~11	136.2	38.8	8.7	47.5	13.8	33.7	200	

Table 17. (つづき) (Continued)

調査地 Study site	試料採取深 Sampling depth (cm)	容積重 Bulk density (g/100cc)	最大容水量 Max. water holding capacity (%)	最小容気量 Min. air holding capacity (%)	孔隙量 (%) Porosity (%)			透水性 Percolation (cc/min)	終期浸透強度 $\phi_i=100$ mm/hr Final infiltration rate (mm/hr)
					全 Total	細 Ca- pillary	粗 Non-ca- pillary		
六甲 III-B Rokko	0~5	100.7	48.6	10.5	59.1	24.1	35.0	80	87
	6~11	135.6	34.9	12.7	47.6	12.9	34.7	216	
平均 Average	0~5	105.1	46.3	11.4	57.7	22.0	35.7	115	
	6~11	135.9	36.9	10.7	47.6	13.4	34.2	208	
六甲 IV-A Rokko	0~5	116.5	51.1	2.5	53.6	27.6	26.0	120	27
	6~11	121.4	48.9	4.3	53.2	19.4	33.8	156	
六甲 IV-B Rokko	0~5	71.8	62.6	6.9	69.5	32.1	37.4	220	
	6~11	118.5	42.5	7.5	50.0	21.5	28.5	356	
平均 Average	0~5	94.2	56.9	4.7	61.6	29.9	31.7	170	
	6~11	120.0	45.7	5.9	51.6	20.5	31.2	256	
六甲 V Rokko	0~5	142.6	35.6	9.2	44.8	13.5	31.3	26	36
	6~11	156.4	29.9	7.1	37.0	11.2	25.8	16	

Table 18. 桐生における散水強度別の終期浸透強度  
Final infiltration rates for different intensities of simulated rainfall in Kiryu study sites

調査地 Study site	自然状態 Natural condition		表層土除去 Removal of surface soil	
	散水強度 Simulated rainfall intensity (mm/hr)	終期浸透強度 Final infiltration rate (mm/hr)	散水強度 Simulated rainfall intensity (mm/hr)	終期浸透強度 Final infiltration rate (mm/hr)
桐生 I-A Kiryu	59	27	59	39
	109	44	107	51
	197	71	195	74
桐生 I-B Kiryu	55	40	56	52
	109	70	107	74
	189	96	217	103
	319	112	320	103
桐生 II-A Kiryu	428	112	438	104
	100	36		
	200	59		
	300	69		
桐生 II-B Kiryu	400	70		
	100	42		
	200	66		
	300	72		
	400	76		

アカマツ天然林地の  $\phi_i=100\text{mm/hr}$  が著しく低いのは、後述するように菌糸網層の発達による疎水現象が主な原因のように思われる。土壤の理化学性は Table 17 に示すとおりであり玉野地区と同様に施工地が非施工荒地よりやや良好の傾向がみられる。

### C. 桐生地区

この地区は、本調査においてもっとも古い1897年の施工地で、周辺のアカマツ天然林にそんな色ないまでに成林した林地と、近接の非施工荒地で調査した。調査地の概況と土壤断面は前記 Table 12, Fig. 16 のとおりである。六甲地区の1903年施工地(六甲Ⅲ)とあまり隔りのない施工年次であるが、前者の主林木はクロマツであるのに対しこの調査地はアカマツが優占木となり、概観して林分安定度も前者よりまさっている。

調査結果は Table 18 に示したとおりであり、ここでは、自然状態で測定した後、 $A_0$  および  $A$  層上部を除去し再度測定した。前述2地区と同じように浸透指標を求め示したものが Table 19 である。

施工地と非施工荒地間の  $\phi_i=100\text{mm/hr}$  の差が意外と小さい結果を示している。施工後80年近くも経過した古い施工地でありながら平均  $\phi_i=100\text{mm/hr}$  が  $52.9\text{mm/hr}$  で著しく低い。六甲調査地の施工年のほぼ等しい調査地(六甲Ⅲ)の  $\phi_i=100\text{mm/hr}$  が  $87.1\text{mm/hr}$  であり、この調査地では六甲よりもかなり低い数値を示している。このような差があらわれたのは前にも述べたように菌糸網層発達の度合いによるものと思われる。その菌糸網層の発達とみられる層を除去した場合の  $\phi_i=100\text{mm/hr}$  は Table 19 にみら

Table 19. 桐生における各調査地の浸透指標  
Infiltration indexes for Kiryu study sites

調査地 Study site	$\phi_i=100\text{mm/hr}$ (mm/hr)	$\phi_0$ (mm/hr)	$k$
桐生 I-A Kiryu	40.5 (49.3)	12.8 (31.8)	0.318 (0.257)
桐生 I-B Kiryu	64.1 (70.8)	56.2 (66.5)	0.182 (0.129)
平均 Average	52.9	39.2	0.225
桐生 II-A Kiryu	41.8	34.3	0.112
桐生 II-B Kiryu	47.8	41.5	0.108
平均 Average	44.8	37.9	0.110

注) ( ) は表層土除去

Note) The figures in parenthesis denote the infiltration of the soil from which the surface layer was removed.

Table 20. 桐生における調査地土壤の理化学性

Physical properties of soil in Kiryu study sites

調査地 Study site	試料採取深 Sampling depth (cm)	容積重 Bulk density (g/100cc)	最大 容水量 Max. water holding capacity (%)	最小 容気量 Min. air holding capacity (%)	孔隙量 Porosity (%)			透水性 Percola- tion (cc/min)	終期浸透 強 度 $\phi_i=100\text{mm/hr}$ Final infiltration rate (mm/hr)
					全 Total	細 Ca- pillary	粗 Non-ca- pillary		
桐生 I-A Kiryu	0~5	105.6	44.1	14.9	59.0	27.8	31.2	110	41
	6~11	131.5	39.8	9.6	49.4	24.3	25.1	34	
桐生 I-B Kiryu	0~5	111.8	38.0	18.8	56.8	18.8	38.0	80	64
	6~11	116.0	32.8	22.9	55.7	21.8	33.9	40	
平均 Average	0~5	108.7	41.1	16.9	57.9	23.3	34.6	95	53
	6~11	123.8	36.3	16.3	52.6	23.1	29.5	37	
桐生 II Kiryu	0~5	139.8	44.6	0.9	45.5	15.8	29.3	29	38
	6~11	139.7	43.9	1.1	45.0	13.6	31.4	21	

れるように、除去以前よりやや大きくなっている。

土壌の理化学性は Table 20 に示すとおりであり前 2 地区と同じように、非施工荒地より施工地が良い傾向がみられるが、古い施工地であるため格別理化学性が改善されているとはいえないようである。

### 3. 考察とまとめ

この調査で測定した終期浸透強度は、散水強度が 43~400 mm/hr の範囲で実施したもので、各調査地区とも両者の関係は直線回帰で表わすことができ、前記の各表 (Table 13, 16, 19) に示したように主に浸透指標について比較してきた。まずその浸透指標のうち特に浸透性表現度の大きい  $\phi_i=100\text{mm/hr}$  について、各調査地区を一括して考察する。

各調査地区の  $\phi_i=100\text{mm/hr}$  を一括図示したものが Fig. 18 で、全調査地区とも非施工荒地に比べすべての施工地の  $\phi_i=100\text{mm/hr}$  が、程度の差はあるが、一様に大きいことを示している。施工年次別では一定の傾向がみられず、例えば玉野地区では、施工年次差が 5 年ありながら  $\phi_i=100\text{mm/hr}$  はあまり変わらない。六甲地区でも、1955 年施工地と 1903 年施工地では 52 年の違いがありながら、1903 年施工の古い施工地が 1955 年施工の新しい施工地よりやや小さい結果を示している。施工地が非施工荒地より浸透性が良好であることは一般的に認められており、この要因については前から再三にわたり述べてきたよう

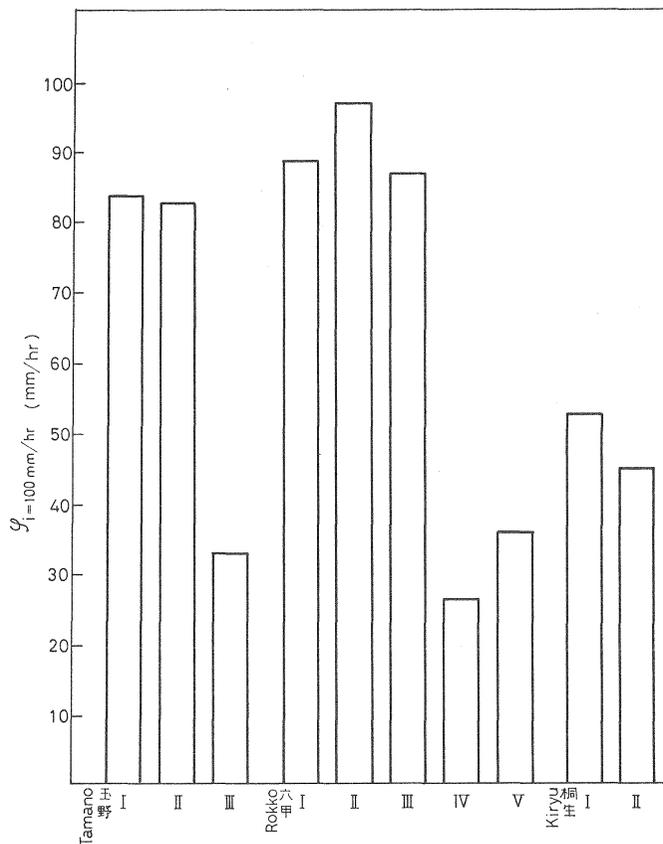


Fig. 18 各調査地の  $\phi_i=100\text{mm/hr}$  の比較

Comparison of  $\phi_i=100\text{mm/hr}$  in Tamano, Rokko and Kiryu areas.

に、施工の基礎工である法切、階段工の一連の整地作業による土壌構造の改変、植生要因としての地被物堆積、有機物供給、根系の枯死、腐敗や地中微生物の活動による土壌の団粒化と非毛管孔隙量の増大など、間接的な多種の要因が考えられる。施工後の初期段階では、法切、階段工などの基礎工による土壌構造の改善が強く関与し、その後、導入植生の成長繁茂するにしたがって、地被物の漸増、有機物の供給増などにより、土壌が改善され終期浸透強度が徐々に増強されていくのが一般的傾向であろう。しかし、この調査では六甲地区の古い施工地（六甲Ⅲ）が、新しい施工地（六甲Ⅱ）より  $\phi_{i=100\text{mm/hr}}$  値が小さく、また桐生地区の古い施工地（桐生Ⅰ）が著しく小さい  $\phi_{i=100\text{mm/hr}}$  値を示し、通常とは逆の結果となっている。この主原因は菌糸網層の発達による疎水現象によるものと推察される。古い施工地のほぼ同じ施工年次である六甲Ⅲ（1903年施工）と桐生Ⅰ（1897年施工）とを比較すると、桐生Ⅰの浸透性がかなり劣ることが認められ、この主な原因は菌糸網層の発達度合いによるように思われる。六甲Ⅲはクロマツが主林木で、アカマツは疎生し菌糸網層の形成が乏しい。それに比べ桐生Ⅰは自然侵入のアカマツが優占し、菌糸網層の発達形成が顕著である。宮崎<sup>14)</sup>がアカマツ群落とクロマツ群落で全容水量と飽水率  $\left(\frac{46\text{時間の飽水量}}{\text{全容水量}} \times 100\right)$  を測定した結果によると、いずれもアカマツ群落よりクロマツ群落が大きい値を示しており、これをもって両者の菌糸網層発達の優劣は速断できないが、全容水量、飽水率が大きいことは、浸透性が良好であることを示唆しているとみてよかろう。施工年次も古く菌糸網層の著しい形成のみられる桐生Ⅰと、比較的若い施工地で菌糸網層が未形成の六甲Ⅱについて、 $A_0$  および  $A$  層上部を除去して終期浸透強度を測定したところ、Fig. 19 に示すような結果が得られた。この図にみられるように、六甲Ⅱでは  $A_0$  および  $A$  層上部を除去したことにより終期浸透強度が、やや低下する傾向があり、また、桐生Ⅰでは  $A_0$  および  $A$  層上部を除去したことによりかえって終期浸透強度は上昇している。一般に  $A_0$  および  $A$  層上部は浸透能増強効果が大きいとされており、この層を除去することは マイナスの作用にな

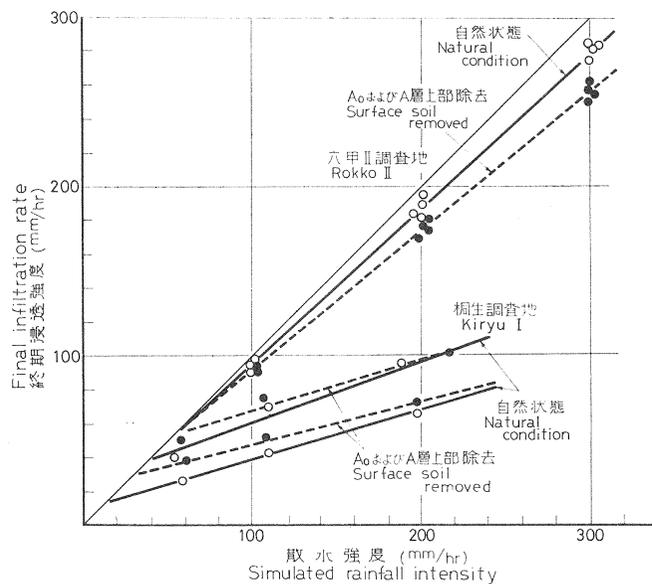


Fig. 19  $A_0$  および  $A$  層上部除去による浸透能の変化  
Changes in infiltration by the removal of the surface soil.

ることが考えられ、六甲Ⅱの調査地のように菌糸網層の発達がほとんど認められないところでは  $A_0$  および A 層上部の除去後終期浸透強度が低下している。桐生Ⅰのように菌糸網層の発達が旺盛なところでは、 $A_0$  および A 層上部を除去することによりかえって終期浸透強度が増大される傾向がみられ、これらの結果から菌糸網層の疎水性が顕著であることが傍証できる。六甲Ⅳ（アカマツ天然林）の終期浸透強度が他の施工林地に比べ著しく低いことも菌糸網層に起因するものと解される。なお、アカマツ林に発達する菌糸網層の疎水性については、宮崎<sup>14)</sup>、千葉<sup>29)</sup>によっても実証されており、水保全機能サイドからはアカマツ林はあまり望ましい林種とはいえないように思われる。

各調査地の表層土壌について理化学性を調査分析し、それを総括し、 $\phi_i=100\text{mm/hr}$  と併記したのが前記 Table 14, 17, 20 であり、この測定値から  $\phi_i=100\text{mm/hr}$  と理化学性の相関関係を検討したところ、5%水準で有意な相関関係が認められたのは、粗孔隙と最小容気量であり、村井<sup>16)</sup>の調査でも非毛管孔隙量が最も高い相関関係を示しており、同じような傾向である。粗孔隙量と  $\phi_i=100\text{mm/hr}$  の関係を図示したのが Fig. 20 で、かなり分散が大きいですが、粗孔隙量 30~40% まではほぼ直線的に  $\phi_i=100\text{mm/hr}$  が増大するのに対し、40%以上になると緩慢な曲線となり漸増することがうかがわれるが、まだ資料が不十分であり今

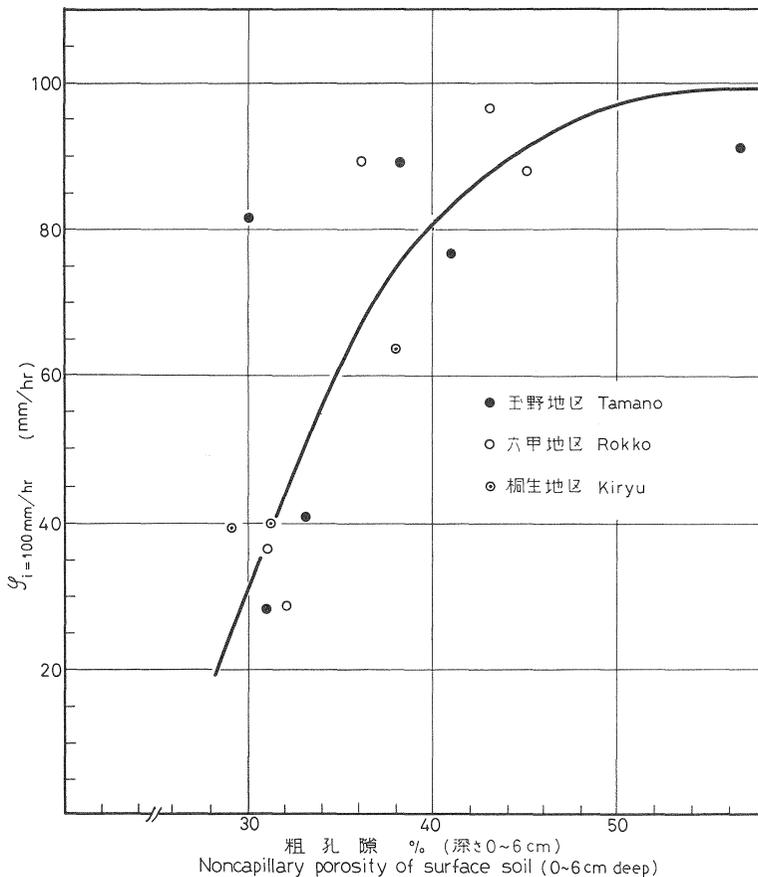


Fig. 20 粗孔隙と終期浸透強度  
Relation between infiltration and non-capillary porosity of soil.

後さらに調査を続け、多くの資料を集積し、両者の関係をさらに明確にする必要がある。

浸透能の調査で得た測定値はあくまでも相対的な比較値であって、将来的にはこれをある流域において、降雨量から地表流出量を推定するのに用いる方法論の確立が望まれるところで、それには、浸透計自体の構造を改良し性能の向上を図るべきであろう。また、流域内の測定プロット数や位置などについても検討すべきであろう。要するに測定方法の確立が急務である。

#### IV. む す び

荒廢地に各種の治山工を行った場合の降雨流出関係の変化を実証的に解明するため、小プロットおよび小集水域試験区を設定して、降雨量と地表流出量の観測を行った。また、降雨流出に直接関与し広範囲かつ顕著な影響を与える土壌の浸透能を、歴史的に古くしかも施工規模の大きい3調査地区(岡山県玉野・兵庫県六甲・滋賀県桐生)において測定した。

1. プロット試験で、階段工、植栽工区の地表流出量を観測した結果、階段工区の年平均流出率は、対照区が7.29%であるのに対して2.87%であり、階段工+植栽工区は、対照区の5.20%に対し0.55%でいずれも対照区に比べ著しく低率で、地表流出量が施工によって抑制されることが実証された。降雨量とそれによる地表流出量の関係を降雨階級別に検討したところ、全試験区とも指数関数的関係があり、対照区より著しく地表流出量が少なく、降雨量が増すにつれ差が漸減する傾向がみられる。なお関係式は次のとおりである。

$$\begin{cases} \text{対 照 区} & \log Y = 1.209 \log X - 1.398 & (X > 5) \\ \text{階 段 工 区} & \log Y = 1.450 \log X - 2.155 & (X > 5) \\ \text{対 照 区} & \log Y = 1.302 \log X - 1.770 & (X > 5) \\ \text{階 段 工 + 植 栽 工 区} & \log Y = 1.789 \log X - 3.398 & (X > 5) \end{cases}$$

Y: 地表流出量 (mm), X: 降雨量 (mm)

各工種ともピーク流量が著しく低減されることもわかった。整地、階段工など基礎工の地表流出量におよぼす影響はかなり大きく、特に、施工初期段階では植栽工に勝る。導入植生の植被形成が進むにつれ地表流出量が漸減する傾向がみられる。

2. 小集水域試験で得た各試験区の年平均流出率は、対照荒廢区が34.1%であるのに対し、わら積苗工区が2.5%、筋工区が10.3%であり、両施工区の地表流出量は、対照荒廢区に比べ施工により著しく減少したことがみとめられる。1降雨量と地表流出量を階級別に整理し両者の平均的關係を求めると、

$$\begin{aligned} \text{わら積苗工区} & \log Y = 2.183 \log X - 3.238 \\ \text{筋 工 区} & \log Y = 2.416 \log X - 3.206 \\ \text{対照荒廢区} & \log Y = 1.578 \log X - 1.419 \end{aligned}$$

となり施工により地表流出量が軽減されることが明確である。弱度の法切とか階段工の省略など粗雑な工法の場合には地表流出の抑制効果が劣ることもみとめられた。ピーク流量も施工により著しく低減し、前記プロット試験よりも施工による低減効果が大きかった。

3. 散水型山地浸透計を用いて散水強度40~450 mm/hrの範囲で治山施工地の終期浸透強度を測定した結果、両者の関係は直線回帰で表わされた。散水強度100 mm/hrに対する終期浸透強度を各調査地に

ついてそれぞれ推定し、それを主な浸透指標 ( $\phi_t=100\text{mm/hr}$ ) として各調査地の浸透性を比較した。非施工荒地の  $\phi_t=100\text{mm/hr}$  が 27~45 mm/hr であるのに対して、施工地における  $\phi_t=100\text{mm/hr}$  は 15~72% 増の値を示しており、浸透能が増大することがわかる。施工年次と  $\phi_t=100\text{mm/hr}$  の間には一定の傾向がみられず、アカマツが自然侵入して優占した古い施工地やアカマツ天然林ではきわめて低い  $\phi_t=100\text{mm/hr}$  値を示し、若い施工地よりむしろ浸透性が劣る特異な傾向がみられた。この特異現象は乾性褐色森林土壌のアカマツ林によくみられる菌糸網層の形成による疎水作用に起因するものであるということが、菌糸網層が形成されている A<sub>0</sub> および A 層上部を除去し、終期浸透強度を測定し除去前と対比することによって確認された。終期浸透強度を測定した地点の土壌の理化学性を調べ、土壌の理化学性と  $\phi_t=100\text{mm/hr}$  値との相関関係を求めたところ、粗孔隙量と最小容気量が有意な相関を示した。施工による土壌の理化学性の変化は主に法切、階段工などの基礎工によるもので、植生自体による改善速度はかなり遅いようである。

以上を総括すると、

荒地（はげ山）に各種の治山工を行うと、降雨時の地表流出量が減少し、ピーク流量も低減された。また、終期浸透強度の増大や土壌の理化学性の改善などもみられ、水保全機能の向上が量的にかなり明らかにされた。水利用の面では、流出量の配分が年間を通じてなるべく一様であることが望ましく、特に寡雨地帯では低水流出量の多少が実際に問題とされる。この面は概推したにとどまったが今後十分な研究が望まれる。いままで述べてきた結果は、いずれもプロット試験、小集水域試験、または対象林分代表地点における調査などによって得られたものであり、この結果を大流域の水保全機能にどう拡張関連させることができるかが今後の重要な課題となる。

## 文 献

- 1) 遠藤治郎・小林忠一・岡本金夫：はげ山復旧施工による土砂移動量の減少 (1), 治山, 126, 14~17, (1967)
- 2) ————・—————・—————：はげ山復旧施工による土砂移動量の減少 (2), 治山, 127, 7~9, (1967)
- 3) 福田秀雄・松田宗安・小林忠一・近藤松一・小林治子・岡本金夫・玉木廉士：瀬戸内地方はげ山の経済的治山工法の研究 (第 1 報), 林試研報, 204, 1~71, (1967)
- 4) 川口武雄：禿地土の土砂崩落, 森林治水試験集報, 20, 29~38, (1944)
- 5) ————・滝口喜代志：地被物の侵食防止機能に関する研究, 林試研報, 95, 91~120, (1957)
- 6) ————：地表流下雨量について, 森林治水試験集報, 20, 9~28, (1944)
- 7) 小林忠一：階段工が地表流下水に及ぼす影響, 日林関西支講, 13, 87~88, (1963)
- 8) ————：山腹治山工法に関する水文学的考察, みやま, 89, 87~95, (1967)
- 9) ————：山腹工の地表流下抑制効果について, 日林関西支講, 18, 103~105, (1967)
- 10) ————：山腹工の水保全性について, 日林関西支講, 26, 314~317, (1975)
- 11) ————：玉野試験地における水文観測, 林試関西支場年報, 8, 92, (1966)
- 12) ————：玉野治山試験地の表面流出について, 林試関西支場年報, 10, 75~82, (1968)
- 13) ————：はげ山復旧治山施工地の水保全機能について, 日林論, 88, 381~382, (1977)
- 14) 宮崎 紳：四国森林植生と土壌との関係, 興林会, 250 pp., (1942)
- 15) 村井 宏・岩崎勇作・石井正典：落葉地被物の侵食防止効果についての実験, 日林講, 84, 377~379, (1973)
- 16) ————・—————：林地の水および土壌保全機能に関する研究 (第 1 報), 林試研報, 274, 59, (1975)

- 17) 中島圭一・塚本良則・藤田寿雄：各種山腹工の効果に関する研究，東京大学演習林報，14，37～49，(1962)
- 18) 中野秀章・菊谷昭雄：自記流量計の試作，日林誌，41，10，412～415，(1959)
- 19) ———：森林伐採および伐跡地の植被変化が流出に及ぼす影響，林試研報，240，24，(1971)
- 20) 農林省林業試験場・林野庁：国有林野土壌調査方法書，林野共済会，47 pp.，(1955)
- 21) 緒方吉箕・谷口義信・高橋正佑：傾斜階段造林法に関する研究(1)，日林九州支講，28，217～218，(1975)
- 22) 小野茂夫・川口利次：山腹切取階段工の理水機能，林試研報，198，171，184，(1967)
- 23) 白井純郎・近藤松一：林地の地表流下雨量について，林試研報，92，19～40，(1956)
- 24) ———・星川吉之助：竜の口山水源涵養試験第5回報告，主として最大流量の林相別比較について，林試研報，124，105～154，(1960)
- 25) ———：禿山の水文の諸性質と治山対策，みやま，3，58～75，(1957)
- 26) 武田繁後：竜の口山水源かん養試験第1回報告，山林局施業参考資料第7輯，72～75，(1942)
- 27) 竹内信治：散水型山地浸透計の試作，日林誌，58，11，407～409，(1976)
- 28) 谷口義信・高橋正佑・緒方吉箕：傾斜階段砂防造林に関する研究(Ⅱ)，日林講，86，432～433，(1975)
- 29) 千葉徳爾：はげ山の研究，農林協会，237 pp.，(1956)
- 30) 堤 利夫・有光一登：治山造林地の林力回復過程に関する調査報告，大阪営林局，66 pp.，(1958)

## Hydrologic Effects of Rehabilitation Treatment for Bare Mountain Slopes

Chuichi KOBAYASHI<sup>(1)</sup>

### Summary

Numerous mountain slopes that were devoid of vegetation have been rehabilitated by vegetative and engineering measures to minimize soil movement.

There are many writings on the effects of treatment on soil erosion; however, little information is available on its effects on hydrologic relations.

A major objective of these researches is to assess the hydrologic effects of type of treatment and time after treatment.

The researches consist of measurements of infiltration and surface runoff. The methods of measurement and the results obtained are summarized as follows :

#### I. Effects on Surface Runoff

##### A. Runoff Plot Study

(1) With the purpose of evaluating the effects of terracing and seeding on surface runoff, two runoff plots were established in Okayama experiment station.

One of the plots remained untreated during the whole period of measurement. The other was terraced in 1959, and seeded on the terraces in 1961.

Each plot with a surface area of 300 square meters at an angle of 36 degrees from the horizontal was surrounded by a concrete wall and provided with a water-collecting flume on its lower side. Surface runoff measurements were made, allowing water to flow into the measuring tank with a weir.

(2) The annual mean surface runoff in percentage of precipitation on the terraced plot was 39 per cent of that on the untreated plot; whereas that on the terraced and seeded plot was 11 per cent.

(3) The surface runoff of single storms on the treated plot was always far greater than that on the untreated plot. The regressions of surface runoff on precipitation were analyzed. Based on the regressions obtained, the estimated surface runoff, for example, of a rainfall of 10 mm on the terraced plot was 29 per cent of that on the untreated plot whereas that on the terraced and seeded plot was 9 per cent. Surface runoff from the terraced and seeded plot reduced with time after treatment.

(4) The peak rates of surface runoff on the terraced and seeded plot showed a tendency to decrease as the vegetation grew.

##### B. Small Watershed Study

(1) With a view to assessing the effects of rehabilitation treatment on hydrologic relations, three study watersheds were established in the hills of Tamano, which were devoid of vegetation and had been eroding. The 0.13 hectare watershed was treated by terracing and vegetative measures, and the 0.15 hectare watershed was only seeded in strips. The other

---

Received April 27, 1978

(1) Kansai Branch Station

0.15 hectare watershed remained untreated.

Rainfall and the resulting surface runoff were measured on every watershed.

(2) The annual mean surface runoff in percentage of precipitation on the watershed treated by terracing and vegetative measures was 7 per cent of that on the untreated watershed, whereas that on the strip-seeded watershed was 30 per cent.

(3) The surface runoff of a single rain storm on the treated watershed was less than that on the untreated watershed. But, the effects of treatment on surface runoff seemed to reduce with an increase in the amount of rain.

## II. Effects on Infiltration

(1) To evaluate the effects of treatment on infiltration, tests were made with a portable rainfall-simulator infiltrometer, which had a plot frame 30 by 30 centimeters.

The study sites were set up in the Rokko, Tamano, and Kiryu areas, where almost all vegetation had been destroyed before treatment.

Among a total of ten study sites, six sites have been treated; but three sites have not been treated and have remained denuded. One of the study sites located in the Rokko area was within an undisturbed forest.

Japanese black pine (*Pinus Thunbergii*) and/or Japanese red pine (*Pinus densiflora*) were the dominant tree species in the treated areas and the undisturbed forests.

Geology of the study areas is granite. Slopes at the study sites ranged from 29 to 31 degrees.

(2) Infiltration on the treated sited and the undisturbed forest site was higher than that on the nearby bare sites.

Assuming an application of rain at the uniform rate of 100 mm per hour, a comparison in the Tamano area gives estimated infiltration of 84 mm per hour on the treated sites and 33 mm per hour on the bare site.

(3) The study site designated as Kiryu I, which was treated about 80 years ago, showed a much lower infiltration rate than the nearby bare site.

On the site Kiryu I, well-developed mats of mycelia were found, especially in the surface layer of soil.

The removal of the surface layer of soil resulted in an increase in infiltration. This result suggests that the low figure for the site Kiryu I may be related to the water-repellency of mats of mycelia commonly observed in the surface layer of soils in Japanese red pine forests.