

# 山地土壌侵蝕の研究(第4報)

## 被覆工の侵蝕防止効果に関する実験

滝口 喜代志<sup>(1)</sup>  
難波 宣士<sup>(2)</sup>

### は し が き

荒廃した山腹面に山腹工事を行なう場合、植生が繁茂して荒廃面からのほなほだしい土砂流出が防止されるまでの保護として、粗朶やワラなどを用いた被覆工<sup>6)</sup>を活用しなければならないところが各地に存在する。とくに、土壌が粗鬆で凝集力の少ないところ、冬期の気候が寒冷で凍結、凍上あるいは霜柱がはげしいところなどでは、土壌を裸地状態に放置しておいては、土壌侵蝕(以下本報告では侵蝕は表面侵蝕 Surface erosion をさすものとする)の防止上きわめて危険といわれている。また、冬期乾燥し季節風が強く当たるところなども、斜面の安定を計るには被覆工にたよらなければならないところが多い。

現状における被覆工の施工は、粗朶、ワラ、ササなど、その地方特有の材料を用いて経験的な実績にもとづいて実施されている場合が多い。細部について観察すれば、被覆材料の配置方法、あるいは、使用される材料による工事の難易、効果の永続性など、検討を要すべき問題もかなり残っている。近時、低木・草などの種子を条播して被覆工の役割を果たさせる場合もふえてきた点を考えると、さらに数多くの解明すべき点があるといわねばならない。

上記のごとき諸問題のうちには、直接現地において比較検討すべき事項も多いが、粗朶を材料とした場合の、配置方法別の侵蝕防止効果については、実験的に解明しうる余地はかなり多いと思われる。そこで、今回、粗朶ないしこれに類するものを材料として想定した被覆工の、置き方(たて方向、よこ方向)および被覆密度を変化させて土壌の流出量を測定し、それらの値が、降雨量、傾斜などといかに関連するかを実験的に解析してみた。

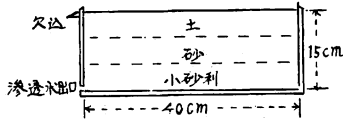
これらの結果が、今後実施される被覆工の一参考資料となれば幸いである。

### I 実験設備および測定方法

#### a) 実験箱

実験箱の大きさは長さ 40 cm、幅 35 cm、深さ 15 cm で、上面縁を尖鋭にして縁上に落下した雨滴が箱のなかへとびこんだり流入したりするのを防ぎ、底面下端に 1 cm ぐらゐのすき間をあけて滲透水が抜けられるようにし、上面下方縁に 1 cm ぐらゐの欠込をつけ、地表流水および流出土砂が円滑に下の土砂受箱にはいるように導入口をつけた(第1図)。箱内には、下部 5 cm は小砂利、中部 5 cm は砂、上部 5 cm は林試本場内の関東ローム表層土(黒味のあるもので比重 2.45、流出限界 38%)をつめた。この土壌は比較的粘性に乏しく、分析の結果では第2図のごとくで、土質調査委員会の表示法によれば、砂質ロームにはいり、粘土質、ローム質ともそれぞれ 20% ぐらゐの土壌である。

(1)防災部防災第一科治山第一研究室員 (2)防災部防災第一科治山第一研究室長



第 1 図 実験箱

実験箱内に土壌をつめるにあたっては、数回に分けて薄い土層ごとに表面を平滑に仕上げたのち、写真 1 の締固器で  $0.6 \text{ kg/cm}^2$  程度の圧力によって締固を行なった。土量の関係で、一度使用したものをまた乾燥して粉碎し、3 mm 目の篩でほぐしながら数回箱につめたが、再三の粒度分析の結果では粒径組成の変化はほと

んどみられなかった。

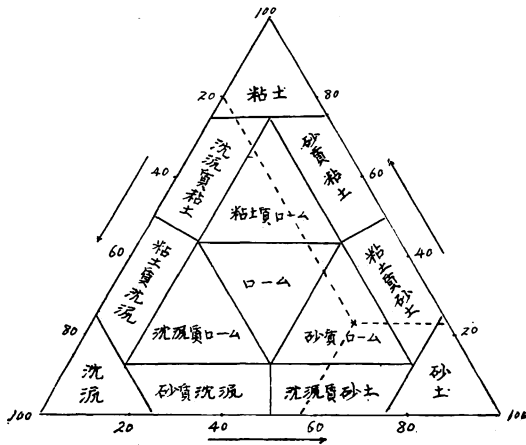
また、実験開始期の土壌水分は、前回、地被物の侵蝕防止機能の実験<sup>2)</sup>に際して検討した結果にもとづいて、大体含水比は 30% 前後に統一した。

b) 人工降雨器

本実験に用いた人工降雨器は、前報<sup>2)</sup>で用いたものと同じであるため、詳細は省略するが、その大様はつぎのごとくである。

人工降雨器の散水口は直径 15 cm のじよろの水口の大型のもので、これに 2 cm 間隔に径 0.5 mm の穴があいている。散水口の高さは、屋内実験のため地上 2 m とし、斜め上向に固定した。降雨分布を一樣ならしめると同時に、大小の雨滴の造成、混合に役だたせるよう、散水口の前面 15 cm のところに金網を張り、この金網の線の太さと網目の大小により雨量が変えられるようになっている。本実験では主として網目は 5 mm、線の太さは 1 mm のものを使用した。

地上 4 m の高さのところに高架タンクを設置し、タンクには水道から給水して、実験



第 2 図 供試土壌

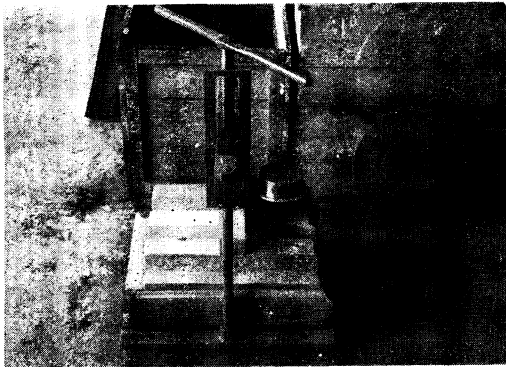


写真 1. 締固器

中は常に満水溢流させ、散水口より吹き出す水圧を一定ならしめた。降雨の平均落下高は約 3 m、降雨面積は約  $10 \text{ m}^2$  となったが、場所による降雨量の差は  $5 \text{ mm/hr}$  ぐらいとなった。このため、実験箱は、降雨域はほぼ中央のもっとも降雨量の変動の少ないところにおき、その部分の雨量が適宜目的の降雨量になるよう、散水口の前金網を調節して実験を行なった。

なお、自然降雨の雨滴の粒径は、最大が 5~7 mm で、一般の降雨の場合は 5 mm をこすことは少なく、2 mm 以下がもっとも多いとされている<sup>4)</sup>。本実験の人工降雨は 0.8 mm 前後がもっとも多いので、自然の降雨に比してやや小粒といえる。

c) 測定方法

実験箱の傾斜は 10~50° まで 10° ごとに変えうるような操作台 (写真 2,3) を作り、傾斜は 5 階級とれるようにした。

粗朶などの被覆材料の模型として、実験当初は林木の枝条を利用したが、繰り返し実験を行なう場合、

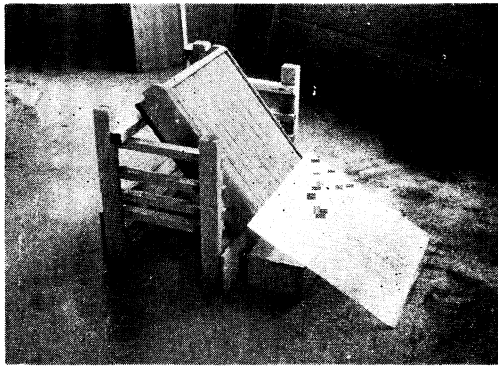


写真 2. たて置 (実験中)

Phot. 2 Longitudinal arrangement of covering material.  
Slope: 50°  
(Under experiment)

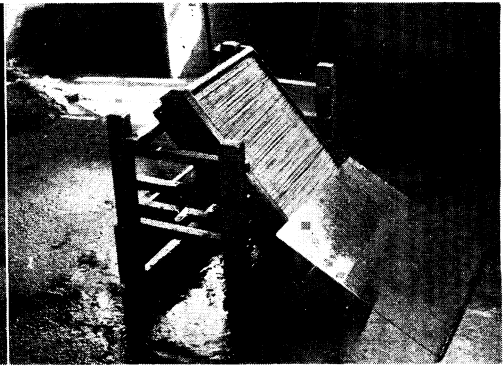


写真 3. よこ置 (実験中)

Phot. 3 Horizontal arrangement of covering material.  
Slope: 50°  
(Under experiment)

同一条件の再現が至難であったため、竹ヒゴをスタレ状に編んだもの(写真 2,3)を使用した。竹ヒゴスタレは、実験土壌面を被覆する面積割合が 30, 60, 90% の 3 種類、そのおのおのについて、たて置とよこ置の実験ができるよう、たて編、よこ編の 2 種類、計 6 種類のを準備した。被覆度を 100% にすると、竹ヒゴのふたをしたようになって降雨はほとんど土壌面に達しないため、最多被覆度は 90% としたのである。これに使用した竹ヒゴは第 1 表のとおりで、竹ヒゴの太さは平均 2.35 cm、長さは実験箱の内法に合わせてある。

人工降雨による雨量は 1 時間 50, 75, 100 mm の 3 階級とした。

以上のようにして、傾斜 5 種、被覆度 3 種、被覆材料の置き方 2 種、降雨強度 3 種の数多い組合せについて実験し、同一実験を平均 15 回ぐらい(流出土砂量が平均してできたものは 10 回、不同のもの 20 回ぐらい)繰り返した。実験箱内の供試土壌は 1 回の実験ごとにとりかえ、すでに準備した別の土壌を詰めて実験を継続した。

流出土量の測定は、土砂受の箱(亜鉛引き鉄板製)に流入した土と水と一緒に秤量し、上澄みを静かにとって残余を乾燥して流出土量を測定した。また、上澄み量と乾燥時の減量によって地表流下水量も算定した。

第 1 表 被覆模型の材料

置 き 方		た て		よ こ	
被 覆 度		竹 ヒ ゴ 長さ 40 cm		竹 ヒ ゴ 長さ 35 cm	
%	被 覆 面 積	本 数	被 覆 面 積 cm <sup>2</sup>	本 数	被 覆 面 積 cm <sup>2</sup>
30	420	45	423	51	419
60	840	90	846	103	847
90	1,260	134	1,260	154	1,266
		箱 の 面 積 1,400 cm <sup>2</sup>			

## II 実験結果

上記の設備および方法で、実験は同一実験を 10~20 回ぐらい、平均 15 回ぐらいを繰り返したが、そ

第2表 流出土量 (ton/ha)

雨量	種別 被覆度 傾斜	裸地	たて置			よこ置		
		0%	30	60	90	30	60	90
		50 mm	10°	0.19	0.12	0.08	0.00	0.08
	20	0.46	0.24	0.17	0.01	0.15	0.08	0.00
	30	0.61	0.33	0.22	0.01	0.26	0.10	0.01
	40	0.78	0.41	0.24	0.02	0.30	0.12	0.01
	50	1.03	0.51	0.25	0.03	0.38	0.12	0.02
75	10	0.37	0.22	0.10	0.02	0.26	0.12	0.02
	20	0.69	0.47	0.14	0.04	0.42	0.15	0.03
	30	1.11	0.53	0.25	0.04	0.53	0.21	0.04
	40	1.36	0.69	0.33	0.07	0.60	0.28	0.12
	50	1.73	0.75	0.40	0.09	0.65	0.30	0.18
100	10	0.89	0.53	0.23	0.04	0.45	0.16	0.03
	20	1.12	0.58	0.30	0.05	0.51	0.26	0.11
	30	1.41	0.68	0.35	0.06	0.60	0.34	0.20
	40	1.98	0.76	0.49	0.08	0.74	0.47	0.34
	50	2.61	0.95	0.63	0.08	0.85	0.56	0.44

第3表 地表流下水率 (降雨量の%)

雨量	種別 被覆度 傾斜	裸地	たて置			よこ置		
		0%	30	60	90	30	60	90
		50 mm	10°	39.8	39.7	35.1	37.0	35.5
	20	48.6	44.5	48.2	41.7	45.5	41.1	32.2
	30	46.6	49.7	45.0	41.9	43.2	44.3	38.5
	40	48.1	46.3	47.3	48.5	47.5	47.8	45.6
	50	55.0	52.3	53.1	57.4	49.5	51.4	45.6
75	10	44.1	35.5	42.0	38.3	41.2	38.9	35.4
	20	45.9	43.2	41.1	47.5	41.8	40.7	40.9
	30	49.5	43.6	48.1	48.4	45.6	46.7	39.3
	40	52.0	48.6	49.3	48.2	47.8	47.2	44.5
	50	53.8	51.8	53.1	52.8	52.3	52.3	45.9
100	10	49.9	44.7	51.8	41.5	45.2	44.4	41.3
	20	49.7	46.7	47.7	47.1	48.0	45.1	48.3
	30	49.4	48.2	48.9	47.3	48.4	48.4	47.7
	40	53.3	53.1	52.3	51.9	48.3	51.6	47.7
	50	57.7	55.8	53.8	55.9	50.1	54.5	51.0

の測定結果のなかには異常な値とみられるものも含まれるので、 $x$  を実験値、 $x_0$  を標本平均値、 $S$  を標本標準偏差、 $N$  を測定回数とした時、Tompson の棄却検定式<sup>7)</sup> を変形して実験値の許容限界を

$$x_0 - S \sqrt{\frac{(N-1)t^2}{N-2+t^2}} < x < x_0 + S \sqrt{\frac{(N-1)t^2}{N-2+t^2}}$$

とし、 $t$  を 5% の有意水準の値にとって異常値を棄却し、残りの数値について平均した結果が第2表、第3表である。

### III 考 察

#### a) 被覆の有無による差

第2表の各種の流出土量の値を、裸地を 100 として換算してみると第4表のごとくなる。

大きくみれば、被覆度が 30% で土砂流出は半減し、被覆度が 60% になると裸地の 20~30% に減ずることとなり、被覆度 90% になるとほとんど土砂流出は防止される結果となっている。

このことは、被覆工は地表を被覆する割合の大きいほど、その侵蝕防止効果が大きいうという既往の各種の研究成果<sup>1)</sup>と一致しているが、細部にわたって検討すると、降雨強度あるいは傾斜によって被覆工の配置方法別の侵蝕防止機能に多少の差が認められる。

以下、各種の実験条件別に被覆工の効果を比較していくわけであるが、第3表の地表流水準を第4表と同じように裸地の値を 100 として換算してみると、第5表のごとくなる。第4表の流出土量の場合ほど被覆度による差や、雨量・傾斜による差は認められず、被覆物をおいた場合はいずれもが裸地の場合の流出水量の 95~80%、すなわち、一部を除いてほとんどの場合が裸地よりわずかに少ない結果をしめしている。たて置の一部に、裸地より流出水量が多いところがあるのは、雨水が被覆模型の上面を伝わり、地表に達することなく流下する場合があることによるものと思われる。

#### b) 被覆工の配置方法別の差

##### i) たて置とよこ置の差

第2、第4表の値から置き方による流出土量の差をみると、全体としては、被覆度 90% の場合を除い

第4表 裸地と被覆地の流出土量比

雨量	種別 傾斜	被覆度	裸地	たて置			よこ置		
			0%	30	60	90	30	60	90
			100	100	60	26	5	50	18
50 mm	10°	100	63	42	0	42	26	0	
	20	100	52	37	2	33	17	0	
	30	100	54	36	2	43	16	1	
	40	100	53	31	3	38	15	1	
	50	100	50	24	3	37	12	2	
75	10	100	59	27	5	70	32	5	
	20	100	68	20	6	61	22	4	
	30	100	48	23	4	48	19	4	
	40	100	51	24	5	44	21	9	
	50	100	43	23	5	38	17	10	

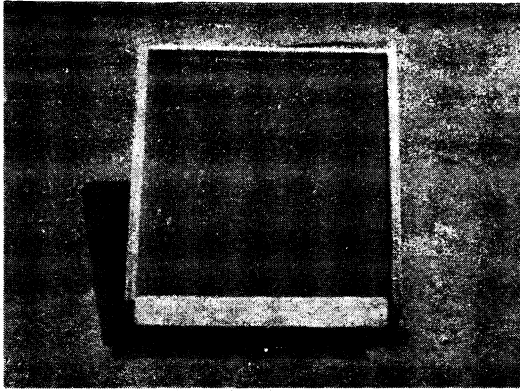


写真 4. 裸 地 (実験前)  
Phot. 4 Barren plot

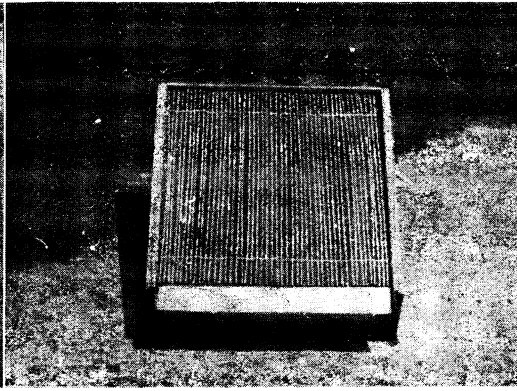


写真 5. た て 置 (実験前)  
Phot. 5 Covering plot...longitudinal

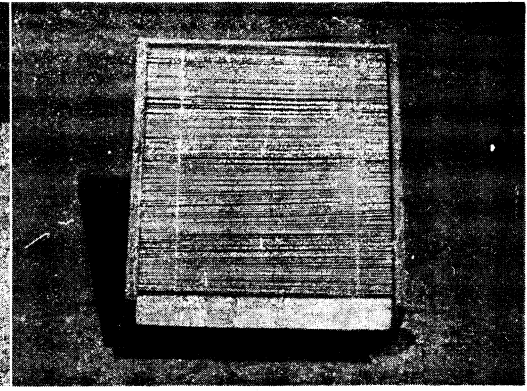


写真 6. よ こ 置 (実験前)  
Phot. 6 Covering plot...horizontal

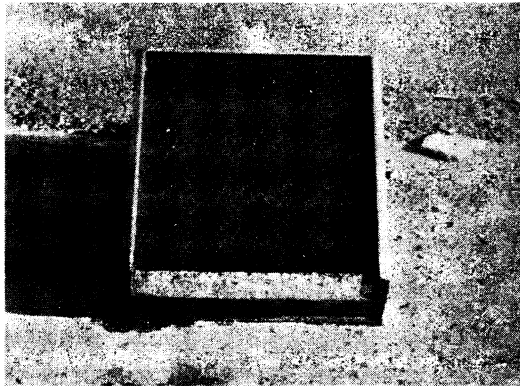


写真 7. 裸 地 (実験後)

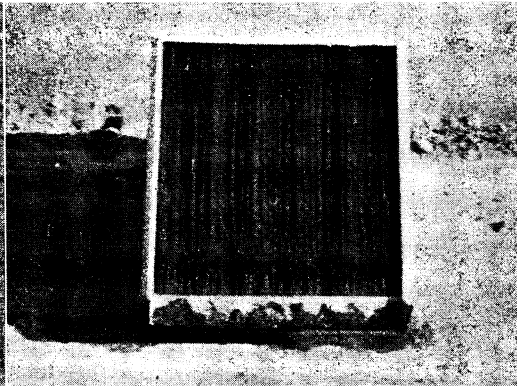


写真 8. た て 置 (実験後)

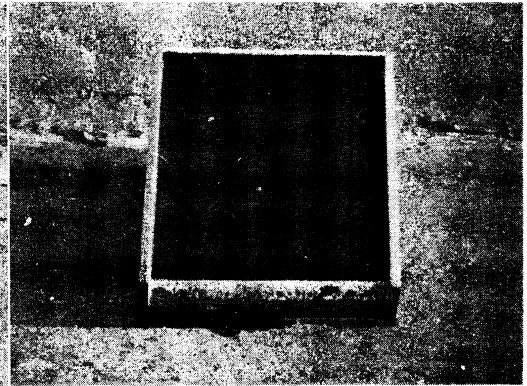


写真 9. よ こ 置 (実験後)

第5表 裸地と被覆地の地表流下水率の比

雨量	種別 傾斜	被覆度	裸地	たて置			よこ置		
			0%	30	60	90	30	60	90
50 mm	10°		100	100	88	93	89	87	84
	20		100	92	99	86	94	85	66
	30		100	107	97	90	93	95	79
	40		100	96	98	101	99	99	95
	50		100	95	97	110	90	93	83
75	10		100	80	95	87	93	88	80
	20		100	94	90	103	91	89	89
	30		100	88	97	98	92	94	79
	40		100	93	95	93	92	91	86
	50		100	96	99	98	97	97	85
100	10		100	90	104	83	91	89	83
	20		100	94	96	95	97	91	97
	30		100	93	99	96	98	98	97
	40		100	100	98	97	91	97	89
	50		100	97	93	100	87	94	88

て、よこ置のほうがたて置より約 30% くらい少なくなっている。ただし、雨量が多くなるにしたがって、両者の差は少なくなり、雨量 100 mm、被覆度 90% になるとよこ置とたて置の結果が逆転し、よこ置のほうがたて置より多い流出土量があることとなっている。

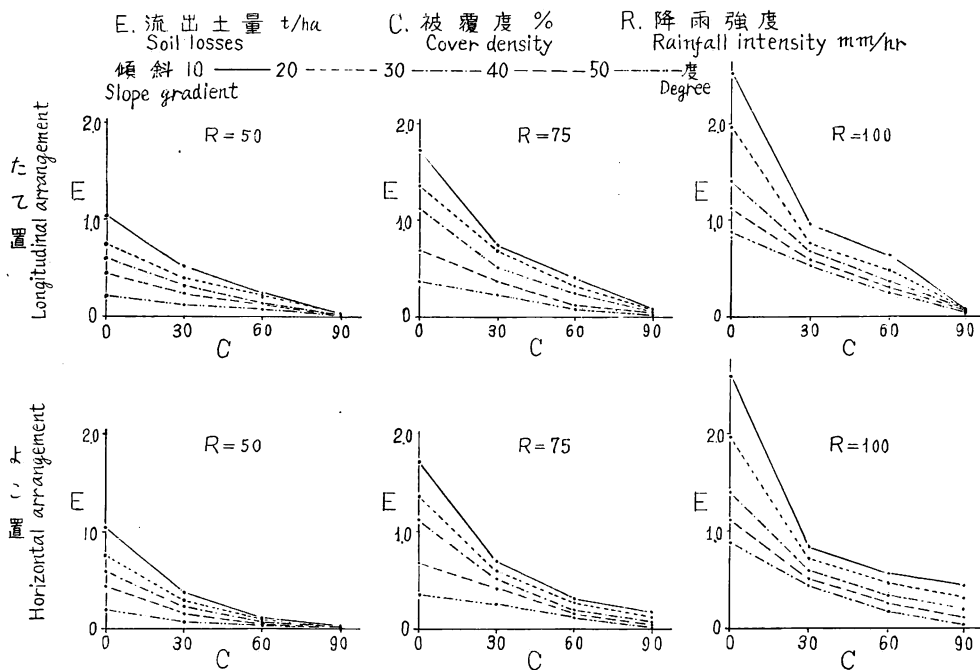
降雨強度別に、各被覆度におけるたて置、よこ置の傾斜別の値を図示（第3図）してみると、よこ置の場合は、被覆度の増加につれて流出土量が減少する傾向は被覆度 60% 付近で少なくなり、それ以上被覆度がふえてもあまり流出土量は変わらないのに比し、たて置の場合は被覆度が 60% をこしても依然として流出土量の減少傾向が変わらず、同じように流出土量は減少していることがうかがえる。

これは、降雨があまり多くないうちは、よこ置のほうがよく土砂流出を防止しているが、降雨強度が大きくなると、たて置の場合は相変わらず地表水を分散させるのに反し、よこ置では地表水を分散させられなくなり、被覆工の下をくぐって集中流下する地表水も生ずるため溝状に侵蝕される部分が出て、たて置・よこ置の差がなくなったり、あるいは、逆にたて置のほうが流出土量が少なくなったりしたものと思われる。緩傾斜の場合よりも急傾斜になるほど、上記の傾向が明りょうとなり、このために、よこ置の 90% 被覆のところの急傾斜部が、いちじるしくたて置の場合に比して流出土量が多くなったものと考えられる。

地表流下水に対しては、わずかながらよこ置のほうがたて置の場合より余計に浸透させるようであるが、この差はきわめて少なく、しさいに考えない場合にはどの雨量、どの傾斜でもよこ置・たて置に明りょうな差が認められないというほうが妥当である。

ii) 被覆度による差

裸地を被覆度 0% と考えて被覆割合の変化による土砂流出量の差を調べると、置き方によって多少の差はあるが、裸地と対比させた値では、被覆割合 30% では裸地の 40~50%、同じく 60% では 20~30



第3図 流出土砂量

Fig. 3 Soil losses.

%, 同じく 90% になると, よこ置区を除いて 5% 以下となっている。

ただし, 75 mm の雨で, 30% の被覆地に裸地の 60~70% の土砂流出があったり, 90% の被覆地でも, 100 mm の強雨と, 50° という急斜になると裸地の 20% の土砂流出がある点などから考えると, 一般的には, この被覆割合による効果は雨量少なく, また傾斜も緩なほうがより確実であると予想される。

従来研究成果によれば, 地被密度 C と土砂流出量 E の関係は,

$$E = E_0 e^{a(100-C)}$$

または,

$$E = E_0 e^{-aC} \dots\dots\dots(1)$$

( $E_0$  は C=100 または 0 の E, a は常数)

で示されたものが多く, 一部

$$E = aC^{-b} \dots\dots\dots(2)$$

(a, b は常数)

の式であらわされるとしたものもある。

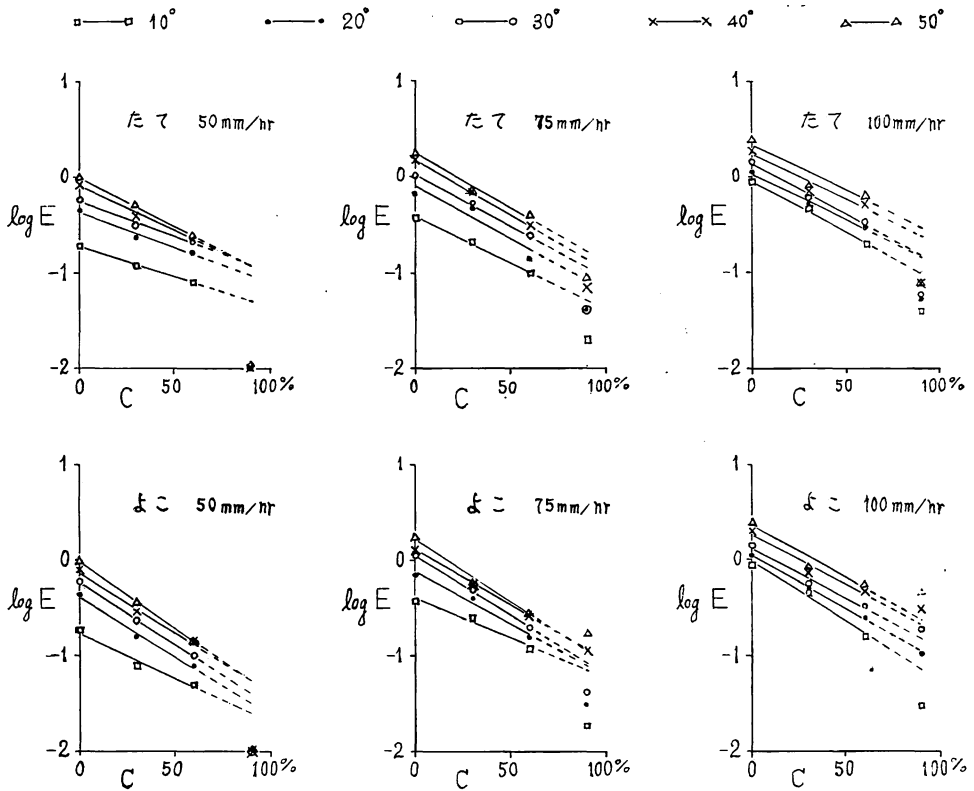
C=0 すなわち裸地の場合を考えると (2) 式の利用に難があるので, 従来研究成果にならない (1) 式を想定して, log E と C の関係を図示すると第 4 図のごとくなる。

いずれの場合も, 裸地, 30% 被覆, 60% 被覆の値は直線関係が認められるが, 90% 被覆地は極端に値が小さくなり, (1) の関係式では表現し得ない。特殊な式を使って 1 つの式にまとめることも不可能ではなからうが, 第 4 図からだけ判断しても, 被覆度が増大して 90% 近くなると, 土砂流出防止機能は, それ以下の被覆度に比して一段と大きくなるものと思われる。



この点に着目すれば、被覆工によって徹底的にそこからの土砂流出を防止しようとするならば、ほぼ完全に裸地面を被覆したほうがよいという。

地表流水に対しては、被覆度の増大とともに地表流水率はわずかに減少し、被覆度が 30, 60, 90% となるにしたがって 数% ずつ流水率が減っており、この傾向は、降雨量や傾斜によってとくに変化することはないことが指摘される。



第4図 被覆度と流出土量

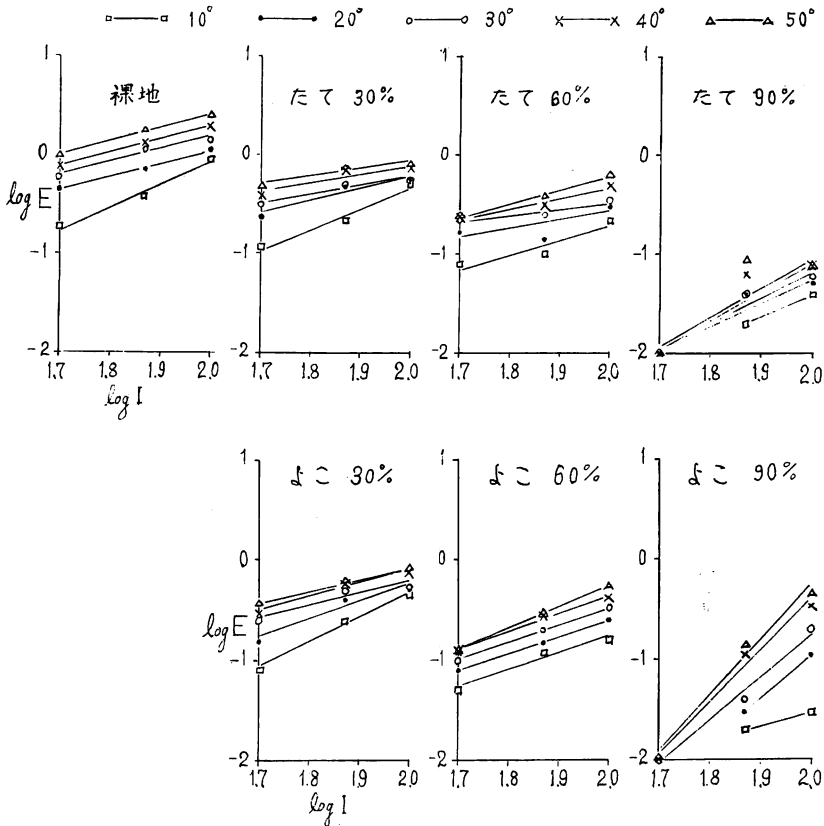
### c) 降雨と侵蝕の関係

本実験では、50, 75, 100 mm の3種の人工降雨を用いた降雨量で実験したが、この3種はいずれも降雨時間1時間であるので、時雨量 50, 75, 100 mm の3種の降雨強度の変化による侵蝕量の差が測定されたこととなる。第2表の流出土量  $E$  (ton/ha) と降雨強度  $I$  (mm/hr) の関係を図示すると第5図のごとくである。

前項でのべたように、被覆度が 90% にもなると、他の場合とやや趣が異なって明りょうな関連が認められないが、全体としてみると、 $\log E$  と  $\log I$  はほぼ直線関係となって

$$E = aI^b \quad a, b \text{ は 常 数}$$

で示され、被覆材料の配置法、傾斜のいかんを問わず、流出土量  $E$  は降雨強度  $I$  の増大にもなって指数的に増大している。図示した単位で表現すれば、 $b$  は裸地・被覆地ともだいたい2前後の値のものが多



第 5 図 降雨強度と流出土量

く、しいていえば、傾斜が急なほど、また、全面被覆の場合を除くと被覆割合がますます小さいようであり、たて置、よこ置ではほとんど差はみとめられない。 $a$  はすべて被覆割合の増大によって明らかに小さくなっている。

d) 傾斜と侵蝕の関係

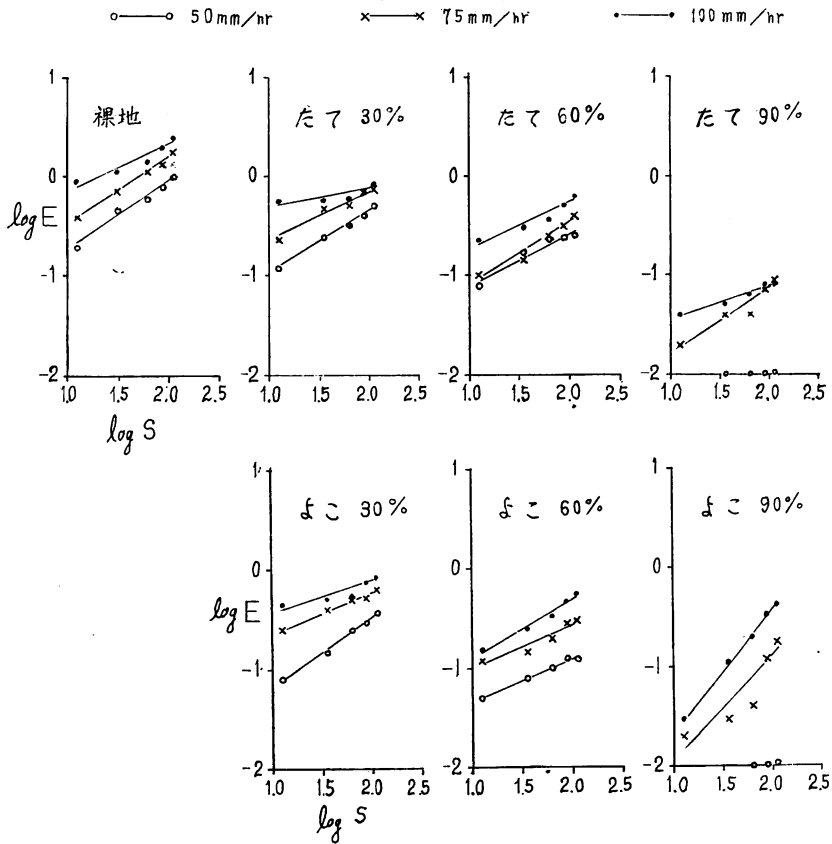
第 2 表の値を傾斜に着目してみると、10~50° まで 10° ごとに実験したことになるので、流出土量  $E$  (ton/ha) と傾斜  $S$  (%) の関係を図示すると第 6 図のごとくなる。

第 6 図では、 $\log E$  と  $\log S$  は、たて置、よこ置とも被覆度 90%、雨量 50 mm の場合の値を除けばほぼ直線関係となり、

$$E = aS^b \quad a, b \text{ は常数}$$

で示しうる。

前項の降雨と侵蝕の関係とまったく相似した傾向にあって、 $E$  は  $S$  の増大によって増大し、 $b$  の値も相似している。 $b$  の値は降雨強度大なほど小さく、裸地区は被覆区より大きいが、被覆区内では、被覆割合や置き方による差は判然としていない。 $a$  はもちろん降雨強度大なほど大きく、裸地区は被覆区よりはるかに大きくなっている。



第6図 傾斜と流出土量

e) 地表流下水と侵蝕

すでにのべたごとく、本実験において測定し得た地表流下率(第3表)では、全体として相似た値を示している。しかし、これをやや詳細に観察するため、傾斜・降雨強度・被覆材料の置き方、被覆物の被覆度の4因子について分散分析を行なってみると第6表のごとくなる。

第6表の値では、いずれの因子も地表流出率に有意な影響をもっているという結果となるが、その影響度合は、傾斜がもっとも大きく、ついで降雨強度、以下、被覆度、置き方の順に小さい。

さらに、傾斜別に同じく分散分析を行なうと第7表のごとくなって、5%の危険率では降雨強度はいずれも有意であるのに対し、被覆度は20°において、置き方は10, 20, 30°において有意な影響を与えて

第6表 地表流下水率の分散分析表

要 因	平方和	自由度	不偏分散	$F_0$	$F$	$\alpha$
全分散	3,441.056	119				
傾 斜	1,947.375	4	486.842	94.72	> 5.01	0.001
降雨強度	478.637	2	239.325	46.56	> 7.38	0.001
置 き 方	79.554	1	99.554	19.38	> 11.48	0.001
被 覆 度	355.235	3	118.412	23.04	> 5.83	0.001
交 互 作 用	560.255	109	5.140			

第 7 表 流下水率の傾斜別分散分析表

傾 斜		10°		20°		30°	
要 因	自 由 度	不偏分散	$F_0$	不偏分散	$F_0$	不偏分散	$F_0$
降 雨 強 度	2	166.885	26.57	47.403	5.00	31.845	6.95
置 き 方	1	9.750	1.55	24.200	2.55	15.050	3.28
被 覆 度	3	46.796	7.45	29.286	3.09	22.310	4.87
交 互 作 用	17	6.280		9.486		4.586	

傾 斜		40°		50°		F	
要 因	自 由 度	不偏分散	$F_0$	不偏分散	$F_0$	$\alpha=0.05$	$\alpha=0.01$
降 雨 強 度	2	33.988	12.585	15.345	5.200	3.59	6.11
置 き 方	1	12.760	4.726	46.480	15.755	4.45	8.40
被 覆 度	3	12.497	4.626	16.213	5.495	3.20	5.18
交 互 作 用	17	2.696		2.955			

いないことがわかる。

したがって、地表流下水量そのものには、傾斜・降雨強度の影響が大きいということができ、地表流下水量  $R$  は、傾斜  $I$  または降雨強度  $S$  との間に

$$R = aI^b$$

または

$$R = a'S^{b'} \quad a, b, a', b' \text{ は 常 数}$$

なる関係があるという従来からの説と同様、本実験の結果も同じように表現し得た。

第 8 表 地表流下水 1 mm の運ぶ土量 (g)

雨 量	種 別 傾斜	被覆度 0 %	た て 置			よ こ 置		
			裸 地	30	60	90	30	40
50 mm	10°	1.31	0.82	0.62	0.03	0.60	0.39	0.00
	20	2.48	1.42	0.92	0.06	0.86	0.51	0.00
	30	3.17	1.61	1.18	0.08	1.45	0.55	0.07
	40	3.48	1.81	1.08	0.09	1.35	0.53	0.06
	50	3.74	1.95	0.94	0.11	1.53	0.47	0.09
75	10	1.54	1.14	0.44	0.10	1.16	0.56	0.10
	20	2.63	1.90	0.60	0.14	1.76	0.64	0.13
	30	3.63	1.96	0.84	0.14	1.88	0.70	0.16
	40	3.74	2.00	0.96	0.20	1.80	0.85	0.38
	50	4.29	1.94	1.01	0.23	1.44	0.77	0.52
100	10	2.45	1.63	0.61	0.13	1.37	0.49	0.10
	20	2.96	1.63	0.82	0.14	1.39	0.75	0.30
	30	3.47	1.71	0.86	0.15	1.50	0.85	0.50
	40	3.98	1.53	1.00	0.16	1.64	0.97	0.76
	50	4.52	1.70	1.15	0.14	1.70	1.02	0.86

一般に、流出土量は雨滴の衝撃作用によって表土が剝離される分と、地表を流下する水の掃流力によって運搬される分の両者の合計であるが、問題となる地点まで流出してくる土量となると、最終的には地表流下水による運搬作用がとくに重要となる。本実験では、上記の2作用による侵蝕量は分けていないので、第2表と第3表の値から、地表流下水1mmによって運ばれる土量、すなわち、地表流下水の平均の濁度を計算してみると第8表のごとくなる。

第8表の数字でわかるごとく、裸地と被覆地では画然と地表流下水の濁度に差があり、また、被覆密度の増大とともに明らかに流下水の濁度が減少していることがわかる。

地表流下水の量は、被覆物の密度や置き方によってあまり変わらないのに、この濁度が被覆物によって第8表のように変化することから考えると、被覆物は地表流下水のエネルギーを減殺するという効果よりも、雨滴の衝撃力による侵蝕を著しく減殺する効果があると考えられる。

#### f) 侵蝕に関連する諸因子の影響度の比較

第2表の流出土量の値は、傾斜が10~50°まで10°ごとの5階級、降雨強度は50, 75, 100mmの3階級、被覆物の置き方はたて、よこの2種、被覆物の被覆度は0, 30, 60, 90%の4階級あり、すなわち、 $5 \times 3 \times 2 \times 4 = 120$ の組合せの実験結果があることになる。これらのおおのの因子ごとについての考察はすでにのべたので、ここで、傾斜・降雨強度・被覆物の置き方および被覆度の4つの因子を総合的に勘案した場合における各因子の影響度を比較してみる。

第2表の値を、傾斜・降雨強度・置き方・被覆度について分散分析してみると第9表のごとくなり、本実験においては被覆度の影響がもっとも大きくあらわれ、ついで降雨強度・傾斜が3番目となり、たて

第9表 流出土量の分散分析表

要 因	平 方 和	自 由 度	不 偏 分 散	$F_0$	$F$	$\alpha$
全 分 散	31.910	119				
傾 斜	4.044	4	1.011	6.40	> 5.10	0.001
降 雨 強 度	3.804	2	1.902	12.04	> 7.39	0.001
置 き 方	0.007	1	0.007	0.00	< 3.95	0.05
被 覆 度	6.819	3	2.273	14.39	> 5.83	0.001
交 互 作 用	17.236	109	0.158			

とよこという置き方の差は有意でないことがわかる。

被覆工を施工する場所ごとの参考に供するため、各傾斜ごとに3階級の降雨強度、たて置、よこ置の2種の置き方、4種の被覆度の3つの因子の侵蝕に対する影響を調べてみたものが第10表である。

第10表の値からは、本実験の範囲内では、どの傾斜でも被覆度の影響がもっとも大きく、ついで降雨強度の影響であり、置き方の差はどの傾斜でも有意でないことがわかる。また、被覆度の影響は20, 30, 40°という一般的な傾斜の時にとくに明りょうであり、降雨強度はあまり傾斜が急になると有意でなくなる傾向がみられる。

以上、各種因子が土砂流出に関係する度合を要約してみると、土砂流出に対しては基本的に降雨強度と傾斜が有意な影響を与えるが、そこに被覆工が存在する場合には、とくにその被覆度によって土砂流出は大きくコントロールされるため、最終的には被覆工の被覆面積割合がもっとも大きな作用を考えると考えられる。この際、特に問題となる被覆材料の置き方、すなわち、粗朶伏せ、ササ伏せを考えた場合、材料

第 10 表 流出土量の傾斜別分散分析表

傾 斜		10°		20°		30°	
要 因	自由度	不偏分散	F <sub>0</sub>	不偏分散	F <sub>0</sub>	不偏分散	F <sub>0</sub>
降雨強度	2	0.206	12.12	0.195	16.25	0.265	13.95
置き方	1	0.001	0.06	0.003	0.13	0.001	0.05
被覆度	3	0.244	14.35	0.593	49.42	1.094	57.58
交互作用	17	0.017		0.012		0.019	

傾 斜		40°		50°		F	
要 因	自由度	不偏分散	F <sub>0</sub>	不偏分散	F <sub>0</sub>	α=0.05	α=0.01
降雨強度	2	0.546	13.65	0.252	1.26	3.59	6.11
置き方	1	0	0	0.001	0.00	4.45	8.40
被覆度	3	1.838	45.95	2.913	14.64	3.20	5.18
交互作用	17	0.040		0.199			

をたてにおくか、よこに置くかは、特殊な場合を除いて侵蝕防止効果には無関係ということとなる。

前項で、地表流下水に対する影響度が、傾斜・降雨強度・被覆度・置き方の順に小さくなっていくのに対し、土砂流出量に対する影響度が被覆度・降雨強度・傾斜の順位に変わることから判断して、被覆度は、その被覆面積の増大ともなっていて雨滴が地表を攪乱するのを防いで、無害に地表水を下方に流下せしめていると推論し得よう。

g) 被覆材料と侵蝕

前報において、地被物の侵蝕防止機能について、相似た検討を行なった。実験した箱の大きさ、土のつめ方、被覆度の種類において多少の違いはあるが、降雨状態や傾斜のとり方は全く同じであるので、両者を対比してみると、前報告の落葉による被覆効果と、本報告による竹ヒゴによる被覆効果の差がうかがえることとなり、この結果は、落葉あるいは植生のような柔軟性のある不定形の被覆材料と、粗朶あるいはササのような柔軟性の少ない定形の被覆材料の使用についての参考となる。

前回の実験では、被覆度 30% の実験はしなかったため、残余の場合についての流出土砂量の値を今回の実験結果と対比させてみると第 11 表のごとくなる。

第 11 表でみられるごとく、前回の実験と今回の実験における同じ裸地状態の値を対比させてみると、前回の実験結果は相当大きな値を示し、降雨強度が大きいほど、また、傾斜が急なほど両者の差が明らかになって、前回のほうが基本的に土砂が流れやすい状態であったこととなる。これは、前回の実験では、実験箱のなかに土砂をつめる方法が、数 cm の厚さごとに手で押し付けたのに対し、今回のつめ方は、原則的には同じであるが、その圧密を機械によって行なったため、圧密状態は今回のほうが相当大きかったことが原因で、このことは、流出水量の流出率の値は今回の実験結果のほうが大きかったことから裏書きされている。

上記のように、両者の実験条件に差があるため、厳密な対比は不可能であるが、被覆状態にした場合の値は、裸地の場合ほど両者の差は大きくなり、被覆効果の大小に着目してみると、ある程度は被覆材料による土砂流出防止機能の差は見いだせる。

それぞれの実験において、裸地の場合の値を 100 として、第 11 表の値を百分比で示したものが第 12 表である。

第 11 表 被覆材料と流出土量

雨量	傾斜	被覆度 被覆材料 種別	0 %		60 %				90 %			
			(落葉)	(竹ヒゴ)	落葉		竹ヒゴ		落葉		竹ヒゴ	
					A	B	A	B	A	B	A	B
50 mm	10		0.36	0.19	0.01	0.	0.08	0.05	0	0	0.00	0.00
	20		0.70	0.46	0.03	0.04	0.17	0.08	0	0	0.01	0.00
	30		1.25	0.61	0.04	0.06	0.22	0.10	0.03	0.06	0.01	0.01
	40		1.58	0.78	0.11	0.11	0.24	0.12	0.11	0.10	0.02	0.01
	50		2.28	1.03	0.21	0.31	0.25	0.12	0.13	0.14	0.03	0.02
75	10		3.34	0.37	0.11	0.17	0.10	0.12	0.02	0	0.02	0.02
	20		4.39	0.69	0.32	0.35	0.14	0.15	0.02	0.02	0.04	0.03
	30		5.63	1.11	0.40	0.54	0.25	0.21	0.05	0.03	0.04	0.04
	40		7.51	1.36	0.75	0.72	0.33	0.28	0.05	0.04	0.07	0.12
	50		12.19	1.73	1.07	1.55	0.40	0.30	0.07	0.09	0.09	0.18
100	10		6.30	0.89	0.86	0.56	0.23	0.16	0.06	0.06	0.04	0.03
	20		8.55	1.12	1.06	1.04	0.30	0.26	0.17	0.11	0.05	0.11
	30		9.90	1.41	1.21	1.25	0.35	0.34	0.19	0.18	0.06	0.20
	40		14.45	1.98	1.44	2.01	0.49	0.47	0.22	0.22	0.08	0.34
	50		20.56	2.61	2.20	2.55	0.63	0.56	0.22	0.28	0.08	0.44

注: 1. 被覆度 0% の (落葉) の欄は前回の実験, (竹ヒゴ) の欄は今回の実験。  
 2. 落葉の Aはストロープ松, Bはカシ, 竹ヒゴのAはたて置, Bはよこ置。

第 12 表 被覆材料別の流出土量の比 (裸地 100 の百分率)

雨量	傾斜	被覆度 被覆材料 種別	0 %	60 %				90 %			
			裸地	落葉		竹ヒゴ		落葉		竹ヒゴ	
				A	B	A	B	A	B	A	B
50 mm	10		100	3	0	42	26	0	0	0	0
	20		100	4	6	37	17	0	0	2	0
	30		100	3	5	36	16	2	5	2	1
	40		100	7	7	31	15	7	6	3	1
	50		100	9	14	24	12	6	6	3	2
75	10		100	3	5	27	32	1	0	5	5
	20		100	7	8	20	22	0	0	6	4
	30		100	7	10	23	19	1	1	4	4
	40		100	10	10	24	21	1	1	5	9
	50		100	9	13	23	17	1	1	5	10
100	10		100	14	9	26	18	1	1	5	4
	20		100	12	12	27	23	2	1	5	12
	30		100	12	13	25	24	2	2	5	15
	40		100	10	14	25	24	2	2	5	21
	50		100	11	11	24	21	1	1	4	20

注: 落葉のAはストロープ松落葉, Bはカシ落葉, 竹ヒゴのAはたて置, Bはよこ置。

60%の被覆度では、落葉の場合には裸地の数%から10数%であるのに対し、竹ヒゴの場合には裸地の10数%から40%になっており、90%の被覆度では、落葉の場合は裸地の5%以下が大部分であるのに対し、竹ヒゴの場合は裸地の5%をこすものがかかなり多い。このことは、土砂のつめ方に原因するところも少なくないかもしれないが、やはり、屈撓性のある落葉のような材料のほうが、屈撓性のない粗朶などの材料より地表面との親和性が高いため、それだけ土砂流出防止機能が大きいと考えてよいのではなかろうか。

なお、第12表の値から判断すると、上記のごとき材料による土砂流出防止効果の差異は、降雨強度や傾斜による差はあまり明りょうでなく、ただ、被覆度合がそれほど大きくない場合のほうが顕著にみられるようである。

#### IV 実際面への応用

実験に用いた箱は1,400 cm<sup>2</sup>の小面積のものであること、供試土壌は場内の関東ロームを用いて、人工的に一定の力で締め固めたものであることなどを考えると、実際に被覆工の対象となる現地の条件とはかなり違っている。また、実験箱の下部には、砂、砂利をつめて、浸透水が抜けやすくしてあるので、水の浸透については一般に実際の現地より良好であると考えられる。したがって、本実験の流出土量、地表流下水量の測定値をそのまま実際の山地に適用することはできない。しかし、粗朶伏工の基本的な効果や、材料の被覆度・置き方による差などの比較の相対値、さらに、前回の実験と対比させた場合における被覆材料による差などについては、本実験結果に示された傾向はある程度実際の山地にも応用可能と考えられるので、本実験の考察結果から実際面への応用を記してみる。

##### a) 被覆工の効用

本実験の結果では、被覆工の施工区は、30%の被覆の場合でも裸地区の50%程度の流出土量となり、しかも、被覆度の増大とともに流出土量は明らかに減少し、被覆度90%では相当の強雨・急斜条件でも、そこからの土砂流出はほとんど阻止されることとなっているので、山腹工事における被覆工の効果は本実験によっても明らかである。

この場合、最終的に土砂を流出させる主要な因子の地表水に対しては、被覆工はそれほど明りょうな変化を与えていない。したがって、被覆工が土砂流出を防止する機能は、地表水の侵蝕力を弱めるために発揮されるというよりも、雨滴が直接地表面を打撃して土粒子の移動を容易ならしめる作用を防ぐために発揮されるものと考えられる。

この意味においては、土壌が粗鬆で凝集力に乏しく、雨滴による土壌の撓乱が起りやすい荒廃地ではとくに被覆工の活用を考慮すべきこととなり、同じような意味で、凍結、凍上あるいは霜柱がはげしかったり、風蝕を受けやすいところのように、地表面の土壌粒子の安定した構造がこわされやすいところなども、大いに被覆工の施工を考えるべきところであると予想される。

##### b) 被覆工の配置方法

現在、一般に用いられている粗朶伏工やササ伏工などの被覆工を計画する場合、地表面を被覆する割合をいかにするか、さらに、粗朶やササなどの材料をたてに使うか、よこに使うかが問題となる<sup>3) 6)</sup>。

被覆割合については、被覆工のうえから播種された植物の発芽の面からの検討も重大な要素となるので、本実験で行なった被覆工の侵蝕防止効果のみの結果からでは決められない面は多い。しかし、土砂流



出量に対しては、被覆工の被覆度合の影響は、降雨強度や傾斜の影響よりも大きく、被覆度が 30, 60, 90% と増大するにつれて明らかに土砂流出量は減少し、とくに 90% というような完全に近い被覆度となると、極端に土砂流出は防止される結果を示している。したがって、被覆工を計画する場合、まず被覆度の増大を考えることは重要であり、さらに、山腹面の土砂の移動を完全にとめることをねらうならば、10%に近い被覆が必要であろうという予想は成立する。

とはいえ、被覆度が土砂流出の防止に対する影響は大きく、数十%の被覆度でも、流出土砂量は裸出地の数分の1に減少する点から考えると、被覆度の増大のみによって土砂流出の防止を考えるのではなく、被覆度は 50% あるいは 60% にして、植物種子の発芽・成長の面への便宜も考え、全体としての効果をあげていく方法を考慮する余地は大きいものと思われる。なお、基本的に、土砂の流出は降雨は多いほど、傾斜は急なほど、土壌が粗鬆なほどその量は多いので、一定の被覆度を考えるにしても、流出しやすい条件下での被覆工ほど、その被覆度は増大させておかなければならないことは当然である。

置き方についての実験結果では、よこ置のほうがわずかながらたて置の場合よりも土砂流出をよく防止するように思える。しかし、土砂流出に及ぼす降雨・傾斜・被覆度・置き方という4因子の影響度合を分散分析した結果では、置き方の影響が最下位であり、しかも、置き方による差は有意とはならなかった。

したがって、本実験からは、粗朶やササを用いて被覆する場合、その材料の置き方はどちらでも構わぬこととなるが、前項で記したごとく、しいていうならばよこ置のほうが土砂流出が少ない場合が多い点と、傾斜が急でしかも雨量が多い場合にはよこ置で被覆されても土壌表面とのなじみ方が悪く、被覆したところにもガリー状の侵蝕溝が何本もできる点から考えると、傾斜がそれほど急でなく、降雨量もそれほど多くない場合にはよこ置を用い、多雨の急斜地ではたて置を用いたい。

近時、粗朶はたて使い（上下打違い）にすることからよこ使い（左右打違い）にするよう指導されつつある。傾斜地農業において、畦の方向を等高線状にしたほうがよいということからも、一般的には粗朶のよこ使いが推奨されよう。しかし、現在のよこ置の粗朶伏工区で、1年後には施工面の過半の材料がずり落ちて半裸地化している個所が多い点を考慮すると、被覆材料の固定に難があるところでは、ずり落ちる恐れのないたて置にしたほうが被覆工の使命を持続しやすいものと思われる。

#### c) 被覆工の材料

被覆工の材料としては、粗朶、ササ、ワラなどが広く用いられているが、最近では、草木類を主体とした植物も、被覆工として盛んに利用されている<sup>5)</sup>。

本実験では、材料に注目して各種の比較を行なったわけではないので、各種の材料の優劣について決定的なことはいい得ない。しかし、前回の落葉の侵蝕防止効果の実験結果と対比させてみたところ、被覆の材料としては粗朶状の細長い柔軟性のない材料よりも、落葉のような短小で柔軟な材料のほうが侵蝕防止機能は良好と判断される。

このような侵蝕防止機能の差異が生ずるのは、主として地表面と被覆材料がなじみやすいか否かに起因すると思われるので、被覆工の材料として選択の自由がある場合には、粗朶よりササ、ササよりワラという思想で材料を選んだほうがよいと思われる。落葉は、それを地表面に固定することができないので被覆工の材料とすることはできないが、上記の思想からすれば、近時とくに注目され始めた植生の被覆工的な利用は大いに活用してよいものといえる。

## 要 約

1) 本報告は、被覆工の施工についての基礎的な資料をうるため、被覆材料の被覆割合および置き方の違いによる侵蝕防止効果の差異を中心に室内実験を行なった結果をとりまとめたものである。

2) この実験では第 1 図のような箱に、写真 1 の締固器によって関東ローム土壌を  $0.6 \text{ kg/cm}^2$  に締め固めながら充填し、写真 2, 3 のようにして、傾斜は  $10 \sim 50^\circ$  の 5 種、降雨強度は人工降雨で  $50 \text{ mm/h} \sim 100 \text{ mm/h}$  の 3 種、被覆割合は竹ヒゴをたてに置いた場合とよこに置いた場合 (写真 5, 6) のおのおのについて  $0\% \sim 90\%$  の 4 種に変化させ、実験箱の下端においた受箱にはいる流出土量と地表流下水量を測定した。

3) 実験の主要な結果はつぎのごとくである。

a) 裸地と被覆地の流出土量を比較すると第 3 図のごとくで、被覆割合が  $30\%$  でも裸地の  $50\%$  以下の流出土量となる。流出土量は、降雨強度大なほど、傾斜急なほど多量であるが、被覆の割合が多くなると、土砂流出量はいちじるしく少なくなる。被覆材料をたてにおくのとよこにおくとの差はほとんど認められない。

b) この流出土量は雨滴による侵蝕と地表流下水による侵蝕の両者を合計したものであるが、地表流下水に対する被覆の影響は、流出土砂量に対する影響ほど顕著ではない。

c) 傾斜が急でしかも降雨の多い時には、被覆材料をよこにおいたのでは rill の発達を防止する作用が少ないため、土砂流出量が多くなる場合がある。

d) 流出土砂量に対する各因子の影響は、被覆割合・降雨強度・傾斜の順に少なくなり、被覆材料の置き方による差は有意ではない。一方、地表流下水率に対しては、傾斜・降雨強度・被覆割合・被覆材料の置き方の順に少なくなるが、この差異は量的にきわめて少ないものである。

本実験の範囲では、流出土量  $E$  と傾斜  $S$ 、降雨強度  $I$ 、被覆物の被覆割合  $C$  の間には

$$E = aS^b I^c e^{-dC}$$

$a, b, c, d$  は土壌条件その他によつてきまる常数

$e$  は自然対数の底

の関係が認められる。

e) 被覆物は、土砂流出に大きな影響を与えるが、地表流下水にはそれほど大きな影響を与えていない点から判断すると、被覆物の侵蝕防止効果は主として雨滴侵蝕を防止することによって発揮されているものと思われる。

f) 被覆工の材料としては、竹ヒゴのような屈撓性のない材料より、落葉のような屈撓性のある柔軟な材料のほうが地表面の親和性が高いため、土砂流出防止効果は大きいと予想される。

4) 実験結果から、実際の被覆工の施工について考えられることはつぎのごとくである。

a) 被覆工の効果が、主として雨滴による地表面土壌の攪乱を防止することによるものであるため、被覆工は雨滴侵蝕によって土の粒子が動かされやすいところ、すなわち、土壌の凝集力が乏しいところでとくに考慮すべきである。凍結・霜柱のはげしいところも、土の粒子が不安定になりやすいので、被覆工を計画する重要な地区となる。

b) 被覆工の被覆割合は、密にすればするほど土砂流出量は減少する。施工地からの土砂流出を完全に防止したい時には、全面的な被覆も必要であるが、被覆度が 5 割をこすと、土砂流出量は裸出地の 2 割

以下になるので、被覆度は5割とか6割にして、播種した種子の発芽や飛来してくる種子の発芽を助長させ、被覆工全体としての効果を高める着意が必要である。

c) 粗朶状の被覆材料の置き方については、たてに置いても、よこに置いてもあまり顕著な差は認められない。一般にはよこ置のほうがわずかながら土砂流出をよく防止しているが、極端な急斜地で雨も多い場合には、よこ置では地表面にできる rill をよく防止し得ないことがある。したがって、一般的にはよこ置、とくに傾斜が急な場合にはたて置が適当と思われる。

d) 被覆材料としては、粗朶のような固い材料より、落葉のような柔軟な材料のほうが被覆物としての侵蝕防止機能が良好な点から考えると、材料入手の点で難がなければ、粗朶よりササ、ササよりワラというように、材料を地面に固定しうる範囲で柔軟な材料を選ぶことが望ましい。この意味では、近時とみに施工されている植生による被覆は大いに有効である。

#### 文 献

- 1) 川口武雄：山地土壤侵蝕の研究(第1報) 従来の資料による統計的研究, 林業試験集報 61, pp. 1~44, (1951).
- 2) 川口武雄・滝口喜代志：山地土壤侵蝕の研究(第3報) 地被物の侵蝕防止機能に関する実験, 林業試験場研究報告, 95, pp. 91~120, (1957).
- 3) 建設省河川局編：建設省河川砂防技術基準, 日本河川協会, p. 588, (1958).
- 4) 三原義秋：降雨の土壤侵蝕力に関する研究(第1報) 土壤侵蝕に及ぼす雨滴の速度の影響(予報), 農業気象, 5, 2, pp. 85~88, (1949).
- 5) 村井 宏・渡辺隆司：東北地方の荒廃地における早期緑化工法についての試験, 林業試験場研究報告, 154, pp. 97~154, (1963).
- 6) 林野庁編：治山計画と実行, 日本治山治水協会, p. 482, (1959).
- 7) 統計科学研究会編：統計数値表 I, 河出書房, p. 62, (1944).

**Studies of Soil Erosion on Mountain Areas (4).**  
**An experiment on erosion control effects of hillside covering work.**

Kiyoshi TAKIGUCHI and Senshi NAMBA

(Résumé)

(1) The purpose of this experiment is to clarify the differences of erosion control functions that are displayed by various types of hillside fascine covering work.

When this fascine covering is planned for restoration of denuded hillside, it is carried out relying upon empirical knowledge to a large extent.

To clarify experimentally the roles of raindrop erosion and erosion due to surface run-off, their varieties by slope gradient, rainfall intensity and ground cover condition will be useful in the point of giving fundamental data for covering work operations.

(2) The method of the laboratory experiment.

We measured the soil losses and surface run-off from the plots having conditions mentioned below (as show in Phot. 2, 3).

The conditions of the plots are as follows: a) size (as shown in Phot. 4-6)···length 40 cm, width 35cm, depth 15 cm, b) soil··Kanto loam, c) slope··10, 20, 30, 40, 50, d) rainfall intensity··50, 75, 100 mm/hr by the artificial rainmaker, e) cover density of covering material··0, 30, 60, 90% with bamboo, screens, f) arrangement of covering material··longitudinal and horizontal to the slope.

(3) The main results of the experiment.

a) The soil losses from various plots are shown in Fig.3. The soil losses from the plots which are covered 30 % are less than 50 % of those from barren plots. The greater the slope gradient and the rainfall intensity, the greater the soil losses become. The greater the cover density of covering materials, the remarkably smaller the soil losses become.

But, there are no striking differences of erosion control function between the longitudinal and horizontal arrangements of covering materials.

b) The surface run-off generally becomes greater as the rainfall intensity and the slope gradient increase. The results of this experiment did not bring about any evidence of changes to this general tendency in spite of covering. Judging from these results, it may be said that covering works have little influence on the surface run-off.

c) Though covering works control the soil losses effectively, they do not have any effect on the surface run-off definitely. This leads us to think that the erosion control by covering works is traceable to the prevention of raindrop erosion.

d) Considering the ranking of the effect upon soil losses by statistical analysis, the cover density of covering material comes first, the rainfall intensity next, and the slope gradient last. The arrangement of covering material does not have a significant influence upon soil losses. Therefore the following relation is concluded in this experiment concerning soil losses

$$E = aS^b I^c e^{-dC}$$

where  $E$ : soil loss,  $S$ : slope gradient,  $I$ : rainfall intensity,  $C$ : cover density of covering material and  $e$ : natural logarithmic base,  $a, b, c, d$ : constant decided by soil condition, slope length, etc.

e) When we examine the difference of soil losses between two arrangements of covering materials in detail, we see that in the case of the slope being not noticeably steep and the rainfall intensity not particularly heavy, the erosion control function displayed by the horizontal

arrangement is more effective than that by the longitudinal arrangement, but in cases in which rill erosion is apt to develop in consequence of the steep slope and heavy raindrops, the longitudinal arrangement is superior to the horizontal one.

f) As to covering materials, flexible or indeterminate form materials such as fallen leaves, are more effective in erosion control than non-flexible or hard ones such as faggots.

(4) Practical application of experiment results.

a) Hillside covering works control chiefly raindrop erosion.

Accordingly, the plots with porous soil subject to having their soil surfaces easily disturbed by raindrop erosion, are plots needing protection by covering works. Also, districts that experience severe frost and soil freezing in winter are regions in which effective use could be made of covering works.

b) The greater the cover density of covering materials, the remarkably smaller the soil losses become. So, to prevent completely the soil loss from the covered plots, complete cover must be applied. But, by covering more than 50% of its surface area, soil loss there becomes less than 20% of that from the bare area. It is recommendable, therefore, that we consider not so much full covering but moderate covering, that is, say, 50% or 60%. Moderate covering will allow seeds to sprout.

c) For erosion control, the arrangement of covering materials is not vitally important. Generally, the horizontal arrangement is better than the longitudinal one. But in spots that are steep or where the fixing of covering material is difficult, longitudinal is to be preferred to horizontal.

d) As to covering materials, the more flexible the better, we suppose. If there is no trouble in getting materials and in setting the materials on the soil surface, straws are superior to small bamboos and faggots as covering materials.