

土 壌 侵 食 に 及 ぼ す 植 生 帯 の 影 響

Effect of Grass Zone on Water Erosion Control

小林 信也* 高宮 信章**
赤 沢 伝*** 矢野 義治****

火山灰地 (傾斜 9~13 度, 斜面長 50 m) において, 裸地の土壌侵食に対する植生緩衝帯 (牧草) の抑制効果を人工降雨試験で検討した。その結果, 牧草帯の効果は顕著であり, 10 年確率雨量 35 mm/hr に対し, 裸地 35 m, 牧草帯 15 m で, 土壌侵食に対応できると推定された。

《土壌侵食; 植生帯; 流出率; 浸透能》

ま え が き

機械造成した草地は, 牧草が生育してくるまでの間, 裸地またはそれに近い状態におかれる。牧草の土壌侵食抑制効果はよく知られているが, 造成当初の草地では, ある生育水準まで達しないとその効果は少ないから, しばらくの間侵食の危険にさらされることになる。

本報文は, このような裸地状態における侵食に対する植生緩衝帯の抑制効果を, 人工降雨試験で検討した結果である。

1. 試験地の概要

試験地は亀田郡大野町の木地挽山 (標高 683 m) を中心とする町営共同牧野内の標高 450 m, 傾斜 9~13° の斜面にある。試験はその前年に設けられた, それぞれ 50 × 10 m の 4 試験区 (図-1) で行った。1 区は牧草地, 4 区は原植生地 (未耕地) であり, 2, 3 区は斜面上部が裸地, 下部は牧草帯が異なった幅で残置されている。また, 1 区は散水試験後, 上部 25 m の牧草の根層部の土壌約 10 cm を排除し, 下部 25 m の牧草帯を残して 1' 区として試験に供した。

原植生地 (4 区) の植生は, ブナを中心とする広葉樹 (平均樹径 20 cm, 平均樹高 16 m, 立木密度 1,200 本/ha) で, 林床にはササ, イネ科草がわずかにあった。牧草地には, 赤クローバ, オーチャードグラス, イタリアンライグラスおよびチモシーが混播されており, 試験時の生草量は 1.9~2.5 kg/m² であった。

土壌は駒ヶ岳起源の新旧火山灰を母材とした軽しょうな積層未熟火山性土 (下層ローム) である。4 区 (原植生地) の土壌断面は図-2 のようであり, それと 2, 3 区 (裸地部) の土壌の物理性は表-1 のようである。

原植生地では, 表層は粗粒質で腐植層がうすいが, 埋没土層 (Ⅲ A) 以下は, 土性も細くなり保水性も大きい。また, 深さ 10~20 cm の土層を除き固相が少なく, 孔隙率は 70% 以上で火山性土の特徴がよく現われている。

2, 3 区は, 草地造成作業により表土 15 cm 内外が圃場外に持ち去られている。また, 耕起碎土, 鎮圧などで固

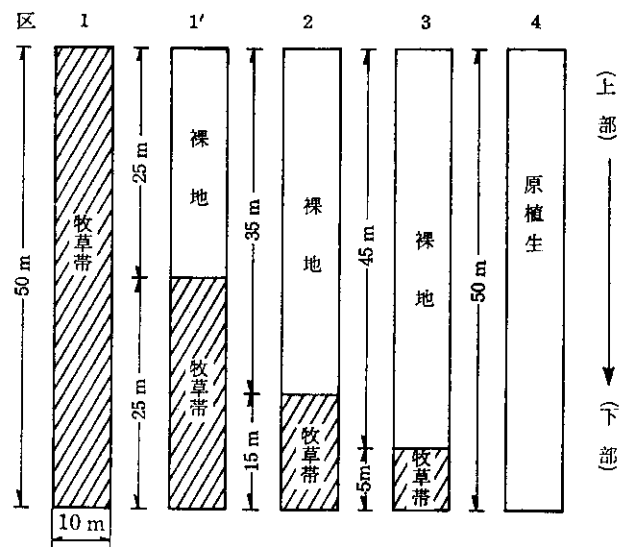


図-1 試験区の配置図

*土壌保全研究室主任研究員 **同室員 ***前第 4 研究部長 現専修大学北海道短期大学教授 ****前土壌保全研究室長 現国立科学博物館筑波実験植物園育成主幹

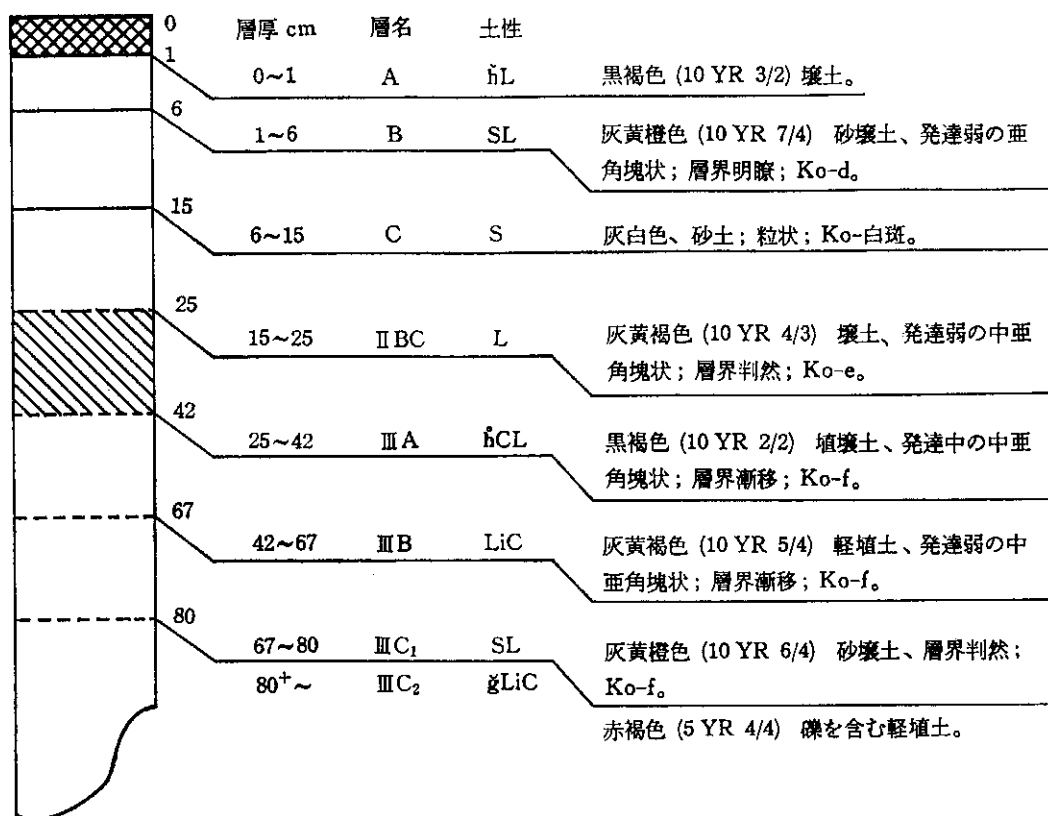


図-2 原植生地の土壌断面

表-1 一般物性

区番号	層位 (cm)	乾燥重量 (g/cm ³)	三 相 比 (%)			真比重 (g/cm ³)	孔隙率 (vol %)	飽和度 (vol %)	含水量 pF 1.7~3.0 (mm)
			固相	液相	気相				
4	0—10	0.56	22.9	21.9	55.2	2.48	77.1	28.4	13.8
	10—20	1.21	41.5	7.2	51.3	2.88	58.5	12.3	34.6
	20—30	0.53	20.6	37.3	42.1	2.60	79.4	47.0	9.0
	30—40	0.45	16.6	43.6	39.8	2.70	83.4	52.3	7.0
	40—50	0.47	18.0	44.0	38.0	2.65	82.0	53.7	8.0
	合 計	—	—	—	—	—	—	—	72.4
2	0—10	1.01	39.8	45.0	15.2	2.65	60.2	74.8	
	10—20	0.90	35.8	45.3	18.9	2.58	64.2	70.6	
	20—30	0.92	35.4	46.9	17.7	2.61	64.6	72.6	
3	0—10	1.04	40.2	36.5	23.3	2.59	59.8	61.0	
	10—20	0.92	36.9	45.3	17.8	2.50	6.31	71.8	
	20—30	1.05	39.8	38.3	21.9	2.65	60.2	63.6	

相、液相が増加している。

2. 試験方法

試験は図-3に示した散水施設を用いて、昭和51年8

月23~30日に行った。試験圃場上部に水槽(約25 m³)を置き、そこからポンプで吸水加圧した水を試験区の両側に設置したスプリンクラで散布するようにした。散水に使用したスプリンクラ13本、ポンプ2台は、表-2の

表-2 使用機械性能

スプリンクラ	H-20 型 (K RK-25 P, 1.0 kg/cm ² のとき散水半径 11.3 m, 散水量 15.3 ℓ/min) 5 本使用 H-30 型 (H -30 P, 2.0 kg/cm ² のとき散水半径 13.4 m, 散水量 30.3 ℓ/min) 8 本使用
ポンプ	高圧自吸式 750 B 型 (6 kg/cm ² , 500 ℓ/min) (2 kg→350 ℓ/min) 1 台 (6 kg/cm ² , 400 ℓ/min) (2 kg→220 ℓ/min) 1 台

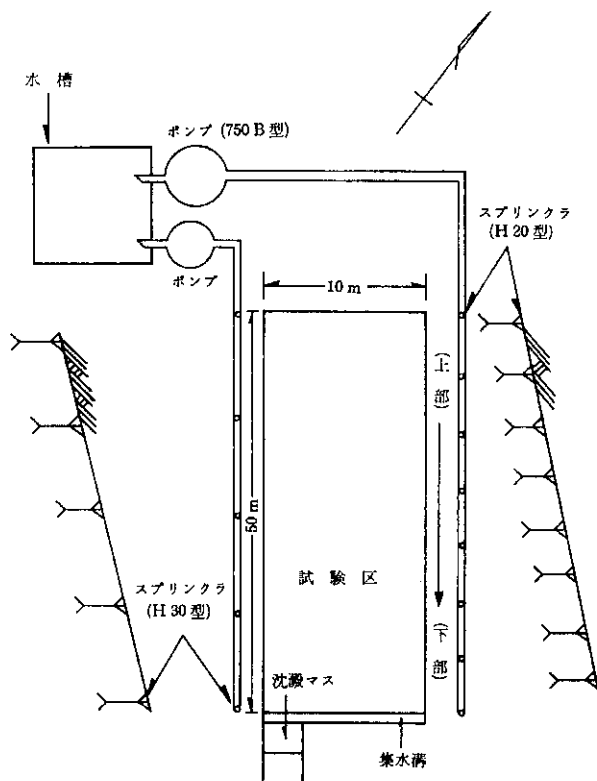


図-3 散水施設の概要図

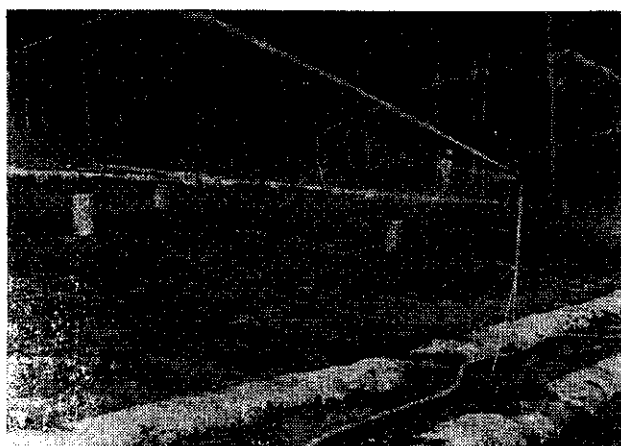


写真-1 散水状況 (2 区)

性能のものである。ポンプを試験区の上に設置したので、上部のスプリンクラと下部のスプリンクラの水圧の差は少なかった。しかし、スプリンクラの性能上、散水先端部の散水量がやや多くなる傾向にあった。

使用する水の確保が困難なため、散水は 1 区、1' 区および 2 区ではそれぞれ全面積 (500 m²) で行ったが、3 区では試験区の下部 250 m² のみとした。また、4 区は試験区上部からのボーダかんがいによった。

散水量および散水強度は、試験区内に設置した 6 個の雨量計と 1 個の転倒マス型自記雨量計によって求めた。

流出水は、試験区の下部に設けた集水溝に受けて、それを沈殿マスを経て、さらに三角ぜきを流下させ、三角ぜきの水位を 5 分ごとに読取り、その量を計算した。また、沈殿マスにレベル計を設置して水位を自記した。

流出土量の算出は次のようにした。つまり、沈殿マス内の土壌粒子は散水終了後、硫酸アルミニウムカリウム (カリ明バン) で沈殿させ、また、沈殿マスを流下した濁水は 5 分ごとに採取し、それぞれ、実験室で乾燥重量を求めた。そして沈殿マス内に沈下した量と濁水から求めた量の合計値で表示した。

各区とも水圧およびスプリンクラの本数で散水強度を変え、数回の試験を行った。同一試験区の試験間隔は 30~60 分である。

なお、この人工降雨と自然降雨との間の比較、対比は行っていない。

3. 試験結果

(1) 流出の開始時間と強度

試験結果は、表-3 にまとめた。

一般に土壌の最終浸透能をこえる一定強度の降雨が連続して地表面に供給されると、当初表層土壌の浸透能が降雨強度より大きい間は、雨水はすべて土壌中に吸収される。表層土壌の浸透能が低減して、降雨強度が浸透能をうわまわる状態になると、雨水の一部は土壌中に吸収されないで降雨余剰を生ずる。そして、それは地表面をおおい、地表面流出水が発生して流出がはじまる。流出開始時間は散水強度、植被の有無や性状、土壌性状、地表面の勾配などによって大幅に変化する。散水強度、牧草帯幅および流出などについて検討してみる。

本試験は、土壌水分未飽和の状態からはじめたため、散水時間の短い No. 1 (牧草帯幅 50 m), No. 6 (同 15 m) では、流出水は発生していない。No. 11 (牧草帯幅

表-3 散水試験結果総括表

処 理 No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10***	11	12	13	14
試 験 区	1		1'			2				3				4
処 理 条 件	裸 地 0 m 牧草帯幅 50 m		裸 地 25 m 牧草帯幅 25 m			裸 地 35 m 牧草帯幅 15 m				裸 地 20 m 牧草帯幅 5 m				原 植 生 地
処 理 時 間 (分)	30	90	70	70	66	20	60	43	69	70	100	70	70	67
散 水 量 (mm)	15.6	53.3	26.8	13.4	32.5	11.8	8.7	16.6	44.5	33.3	46.7	4.55	37.4	160.0
散 水 強 度 (mm/hr)	31.3	35.5	22.9	11.4	29.5	35.4	8.7	23.2	38.7	28.5	28.0	39.0	32.0	—
流出開始時間 (分:秒)	—	40:00	45:50	40:35	15:20	—	—	7:00	15:00	16:00	73:40	9:35	8:40	—
流 出 水 量 (mm)	0	0.7	2.4	0.9	15.4	0	0	2.3	12.4	11.2	0.2	13.1	15.1	0
最大流出強度 (mm/hr)	—	1.7	5.3	1.7	16.9	—	—	4.2	16.4	14.5	0.5	14.7	19.3	—
浸 透 水 量 (mm)	15.6	52.6	24.4	12.5	17.1	11.8	8.7	14.3	32.1	22.1	46.1	32.4	22.3	160.0
初 期 浸 透 能 (mm/hr)	—	111.0	114.0	34.8	64.8	—	—	36.0	109.8	64.8	78.0	75.0	68.0	—
最 終 浸 透 能 (mm/hr)	—	30.6	12.3	8.4	12.5	—	—	19.0	16.4	15.3	26.6	19.8	12.4	—
流出開始までの水量 (mm)	—	21.8	18.7	7.7	6.1	—	—	2.7	7.7	6.8	34.2	5.5	4.5	—
流 出 率 (%)	0	1.3	8.6	6.7	47.4	0	0	13.8	27.9	33.6	0.4	28.8	40.4	0
流 出 土 量 (g/m ² ・hr)	0	0	0.3	0	1.2	0	0	45.4	31.4	18.9	0	29.1	111.4	0
表 水 { 含 水 率 (vol %)	41.5	55.5	**	**	60.1	45.0	**	53.7	**	**	36.5	53.4	**	21.9
土 分 { 水分飽和度* (%)	69.2	92.5	—	—	100.0	75.0	—	89.5	—	—	60.8	89.0	—	36.5

* 表-1 の 2, 3 区 の 0~10 cm の 平均孔隙率 60% から求めた ** 測定せず *** 牧草刈取り後散水

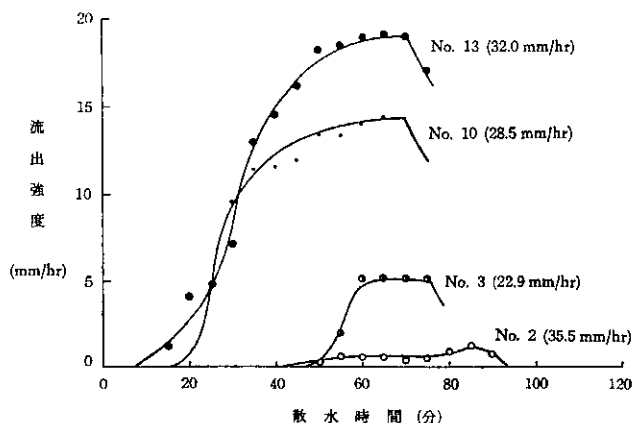


図-4 流出強度—散水時間曲線

(図中の数字は表-3の処理 No. () 内の数字は散水強度)

5 m) では散水時間を 100 分と長くしたため、散水 73 分後にはじめてごくわずかに流出水の発生をみた。No. 7 は No. 6 に続く 2 回の散水試験であるが、散水強度が小さいため流出水は発生していない。なお、No. 14 (原植生地) は 67 分間に 160 mm をボーダかんがいがしたが、流出はなく土壌水分が少なかったとはいえ、浸透能がきわめて大きいことによっている。

そのほかの区では、連続散水により土壌水分は飽和に近い状態になっているため、2 回以後の試験で流出水が発生している。図-4 はその結果を各区について示したものである。No. 2 では区全体が牧草でおおわれているため、No. 13 (牧草帯幅 5 m) よりやや強い散水強度にもかかわらず、流出開始時間は遅く、流出強度もきわめて低い。

これと No. 3, No. 13 を比較した場合、散水強度の相異にかかわらず牧草帯幅が短くなると、流出開始時間ははやくなり、流出強度も飛躍的に増大する。つまりこの場合、連続散水試験のため土壌や牧草に対して、その前の散水の影響は消去されていない (これは、他の結果についてもいえる) が、流出に対し本試験の範囲の散水強度では、牧草帯幅が流出に大きく影響しているといってもよさそうである。

No. 10 は牧草刈取りの影響をみたものである。No. 9 より散水強度は小さいが、これと比較すると刈取りの影響は、流出強度に表われているようにみえる。

(2) 浸透能

浸透能は散水量と流出水量の差によって求めた。

図-4 に示したように、流出開始後しばらくすると流出強度は平衡に達する。この段階で浸透能も一定に達したとみなされる。散水処理の任意の時点における浸透能は、初期および最終浸透能 (平衡後の一定値に達した浸

透能) と時間の関数として、経験的に次の式が成立することが認められている。

$$f = f_c + (f_0 - f_c) e^{-kt}$$

ここで、

f : 任意の時間の浸透能

f_c : 最終浸透能

f_0 : 初期浸透能

t : 経過時間

k : 常数

上式による計算に基づき、散水時間と浸透能の関係

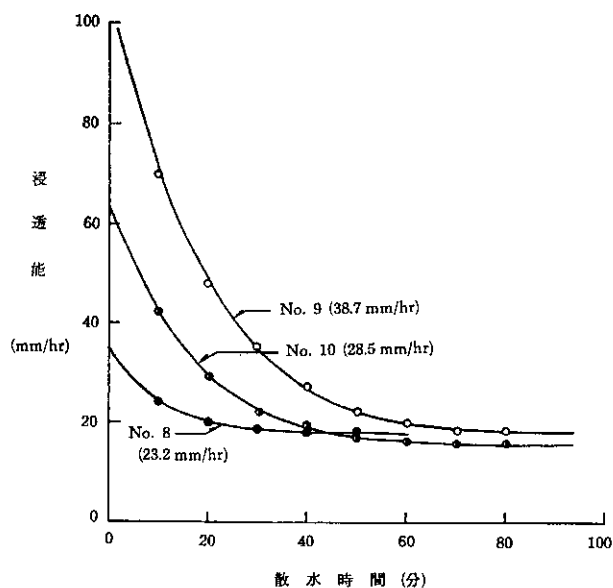


図-5 浸透能曲線 (牧草帯幅 15 m)

(図中の数字は表-3の処理 No. () 内の数字は散水強度)

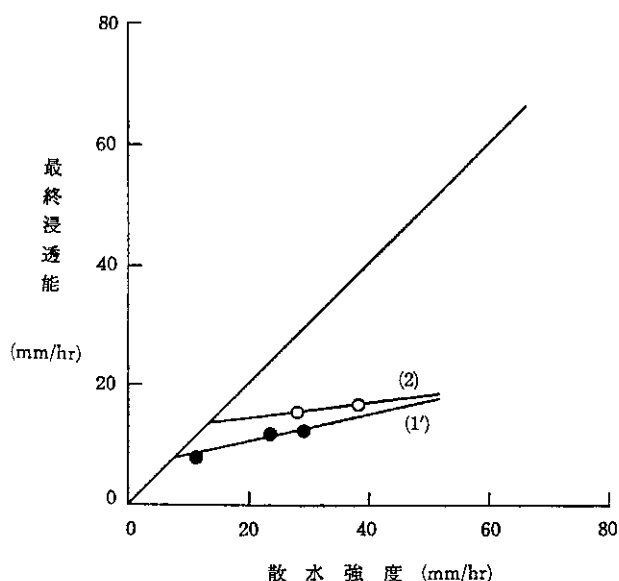


図-6 散水強度と最終浸透能

(図中の数字は表-3の試験区を示す)

例示すると図-5のようになる。2区は散水強度によって初期浸透能が110~36 mm/hrと大幅に異なるが、最終浸透能は19~15 mm/hrと差が少ない。初期浸透能は散水強度および処理前の土壤水分変化によって大幅に変動するが、最終浸透能は散水強度の大きい方が大きくなるものの、初期浸透能ほど大きな変化を示さない。

散水強度と最終浸透能の関係は図-6のようである。図-6において、各散水強度に対応した最終浸透能の値を結んだ直線が、散水強度=最終浸透能の直線と交わる点がちょうど散水強度と最終浸透能が等しい点であり、散水強度がこの点より大きいと表面流去が発生する。すなわち、この点が限界降雨強度である。

本試験による限界降雨強度を求めると、8~14 mm/hrであるが牧草帯幅との関係は明らかでない。

(3) 牧草帯幅と流出率

流出率は散水強度、処理時間などによって変化するが、牧草帯幅と流出率の関係は図-7のようである。牧草帯幅が広いほど流出率が低下している。また、同一試験区の場合、処理回数にしたがい流出率は上昇している。これには処理前の土壤水分の影響が大きいと思われるが、前の処理によってもたらされた土壌や牧草の状態変化もなんらかのかたちで寄与しているものと思われる。なお、3区は全長25 mの値であり、他区と同じく50 mとすると流出率はさらに増大するであろう。

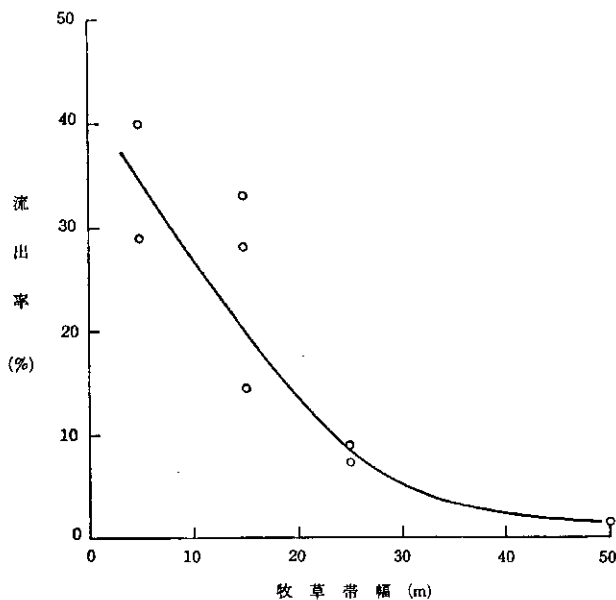


図-7 牧草帯幅と流出率

(4) 牧草帯幅と流出土量

散水時の観察から土壌流亡について次のようなことが認められた。降雨強度が比較的弱い間は面状ないし細流状侵食の形態を示すが、降雨強度の増強とともに、微地

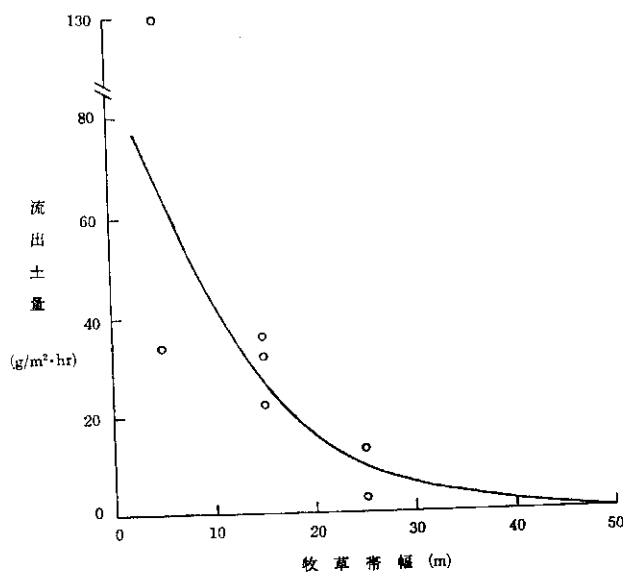


図-8 牧草帯幅と流出土量

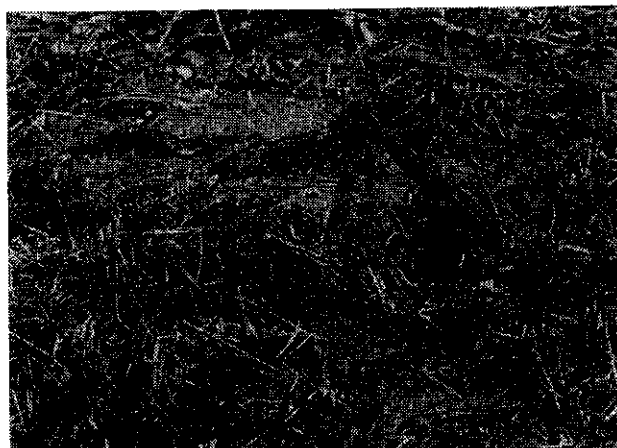


写真-2 裸地から流出した土壌が牧草の根元に堆積している (2区, 処理 No. 10 の散水後)

形によって表面流去水が集水し、水みちが形成され、それに沿ってガリ侵食が発達して、土壌移動量も急激に増加してくる。

牧草帯幅と土壌流出との関係は表-3、図-8のようである。散水強度によってバラツキはあるが、明らかに牧草帯幅が広いほど流出土量が少なくなっている。また、本試験における40 mm/hr以下の散水強度の範囲は、最大流出土量は牧草帯幅5 mで1.3 t/haとなっている。この場合も、他区のように全長50 mとすれば、流出率と同じように流出土量はさらに増大するであろう。

土壌流出は次のように説明される。すなわち、まず雨滴の衝撃・分散作用によって、細粒な土壌粒子が懸濁化し、さらに粗粒な土壌粒子や土塊が水中に含まれるようになる。そしてこれに続く流水の運搬作用で牧草帯に入り、茎葉のフィルター作用および流速の低下に伴って、

粗
草
著
に
牧
牧
牧

大
関
つ
(
係
10
み
E
っ
も
10
9
(牧
に
ha
部
は

表-4 10年確率時間雨量と流出土量

月	降 水 量*				流 出 土 量 (t/ha・hr)			
	月平均雨量 (mm)	日最大雨量 (mm)	時間最大 雨量 (mm)	10年確率 時間雨量 (mm)	裸 地 0m 牧草帯幅50m	裸 地 25m 牧草帯幅25m	裸 地 35m 牧草帯幅15m	裸 地 20m 牧草帯幅 5m
4	82.5	71.3	12.0	7.4	0	0	0	0
5	79.7	57.0	11.6	10.2	0	0	0	0.03
6	91.5	69.7	42.8	16.5	0	0	0.05	0.39
7	107.4	114.1	58.8	24.2	0	0.01	0.16	0.84
8	153.2	176.0	63.2	30.5	0	0.02	0.25	1.20
9	165.7	122.1	63.0	35.0	0	0.02	0.31	1.46
10	105.6	98.0	58.0	19.1	0	0	0.09	0.54

* 北海道の気候 (1972)

粗粒な土壌粒子や土塊は沈澱堆積する。したがって、牧草帯幅の広いほど、土壌粒子および土塊の捕捉作用が顕著になるのである。

散水強度と流出土量の関係は、実測値から最小自乗法によって求めると次式のようにになる。

牧草帯幅 5 m: $E=0.00580 i-0.0566$, $i_s=9.7$ mm/hr

牧草帯幅 15 m: $E=0.00138 i-0.0174$, $i_s=12.6$ mm/hr

牧草帯幅 25 m: $E=0.000151 i-0.0032$, $i_s=21.0$ mm/hr

ここで、

$E=1$ 時間処理の総流出土量 (kg/m²・hr)

i =散水強度 (mm/hr)

$i_s=E$ が零である場合に対応する散水強度

牧草帯が広くなると、土壌流出のはじまる散水強度は大きくなっているという関係が得られる。しかし、この関係も当然降雨条件や地形、土壌条件などによって変わってくる。

(5) 確率雨量と土壌流出量

ここで、試験結果から求めた牧草帯幅と流出土量の関係を用いて、土壌流出が生ずると考えられる期間 (4~10月) の実際の降水量に対応した土壌流出量を推定してみよう。

函館海洋気象台の月別最大時間雨量から、岩井法によって10年確率時間雨量を求め表-4に示した。9月が最も大きく35.0 mm/hr、8月には30.5 mm/hr、以下7月、10月の順になっている。

9月の35.0 mm/hrの降水量による流出土量は、3区 (牧草帯幅5 m) では146 g/m²・hr、1.5 t/ha・hrであるのに対し、1'区 (牧草帯幅25 m) では2.1 g/m²・hr、0.02 t/ha・hrときわめて少なく、裸地から移動した土壌は、大部分が牧草帯内にとどまる。また、4~6月の降水量では、ほとんど流出土量はなく、流出土量がみられるのは

7月以降である。したがって、これ以降の降水量が多く土壌侵食の危険な時期 (限界侵食期) には、牧草をある程度成長させ耐食性を増加させることが必要である。

ただし、この値は本試験に基づいて土壌水分が飽和に近い条件で求めたものであり、実際には降雨前の土壌水分状態により、流出土量はより少なくなるであろう。

4. 考 察

傾斜地における機械化草地造成では、程度の差はあるが土壌侵食が伴う。重機による慣行的な抜排根や耕起作業によって、一時的には表層20 cm内外の膨軟な作土層ができるが、最終工程までの間に踏圧、鎮圧が行われ、雨滴による飛散には耐食性は増加するが、浸透能低下に伴う表面流去水は増加する。

本試験の場合、裸地の浸透能低下は原植生地の1/5程度であった。著者ら¹⁾が、帯広の火山灰土壌で行った自然降雨による流出土量調査でも、抜排根区に対し、抜排根・耕起整地区では2.5~2.7倍の流出土量が観測された。測定法、諸条件が異なるが、いずれにしても浸透能低下に伴い、土壌流出が増加するといえる。

林地、草地における流出土量については、村井ら²⁾は林地で0.12~0.17 t/ha・5カ月、放牧地で0.3~0.9 t/ha・5カ月、金子³⁾は草地で0~1.6 t/ha・3~5カ月、一戸⁴⁾は草地で0~0.2 t/ha・hrとそれぞれ報告している。雨量、降雨状況、植被、土壌、地形、利用型などにより多様であるが、それほど大差はない。いずれにしても、林地や草地は土壌侵食を抑制する。

本試験では草地と林地に対応する1区と4区では、土砂の流出がみられなかった。牧草は地表面に対する雨滴の衝撃を緩和し、土壌団粒の分散、破壊を防ぐとともに表面流出水の発生を抑制し流下速度を抑える。また、土

壤捕縛や浸透性に影響する根系作用もあって、土壤侵食に対して抑制効果を発揮する。そして、牧草の生育につれて地表被覆が進むほど一層効果的となる。

牧草帯幅については、一戸⁵⁾は斜面長 25 m の裸地に比べてさらに牧草帯 2 m 幅で 1/5、同様に 4 m 幅で 1/30 の流出土減量効果を認め、しかも 4 m 幅で流出水も 1/4 になったと述べている。古谷⁶⁾は斜面長 80 m で 6~8 m 幅で効果が高いとしている。本試験の場合、裸地 35 m、牧草帯幅 15 m の抑制機能で十分土壤侵食に対応できよう。

植生緩衝帯の侵食抑制効果は、他の条件が同じであれば斜面長との割合によって決まってくる。斜面長を制限することにより、裸地そのものの侵食に対しても効果はあるし、さらに裸地から系外への土壤流亡を抑制するという環境保全上の意義も大きいと思われる。したがって、この観点から圃場周辺の原植生帯の残置とか、等高線に平行な排根線の配置などは有効な手段といえよう。また、裸地自体の侵食防止には、傾斜改良、浸透能の増加、裸地期間の短縮など、緩衝帯以外の対応が必要であろう。

草地造成の場合、裸地期間はさけることはできないが、秋の限界降雨期までに牧草を十分生育させるような造成工程をとる必要がある。これは、牧草の生育はもとより土壤侵食防止にも好ましいことである。

あ と が き

斜面長 50 m、傾斜 9~13 度の火山灰地において、幅の異なる牧草帯が裸地の土壤侵食におよぼす影響を散水試験で検討し、以下の結果を得た。

1) 最終浸透能は 8~14 mm/hr であった。したがって、8 mm/hr 以下の降雨強度では、流出水量はほとんど

考えられない。ただし、牧草帯幅との関係は明らかでなかった。

2) 牧草帯幅が広いほど流出、土壤流出は抑制された。

3) 10 年確率時間雨量 35 mm/hr に対し傾斜 10 度内外、裸地 35 m の場合、牧草帯幅 15 m で土壤侵食に対応できると推定された。

4) 林地、草地は浸透能が大きく、植生による土壤緊縛作用や流下速度を抑えることなどから、土壤流亡はきわめて少なく、緩衝帯の効果が高いことが認められた。

謝辞 調査にあたり、帯広畜産大学古谷 将教授（現専修大学北海道短期大学）をはじめ、開発土木学研究室各位ならびに函館開発建設部農業開発課の方々にご協力いただいた。記して謝意を表わす。

参 考 文 献

- 1) 北海道開発局農業水産部農業調査課；草地開発技術調査報告書，p. 89-90 (1981).
- 2) 村井 宏，岩崎勇作；林地の水および土壤保全機能に関する（第 2 報）．林業試験場研究報告，No. 286，p. 1-52 (1976).
- 3) 金子 良；農業土木よりみた傾斜地の性質とその保全．科学技術庁資源局資料第 43 号，p. 31-69 (1961).
- 4) 一戸貞光，島田晃雄，工藤健一；土壤侵食防止に関する研究（第 1 報）．東北農業試験場報告，No. 8，p. 1-28 (1956).
- 5) 一戸貞光；北海道の土壤侵食．土壤物理，No. 5，p. 9-18 (1964).
- 6) 古谷 将，松田 豊；土壤侵食防止工法に関する研究（第 2 報）．帯広畜産大学研究報告，6，p. 143-153 (1969).

ま
音
起
環
あ
料
検
公
る
が
め
め
量
測
1.
タ
の
面
全
パ
—
*