

林道切取のり面の安定性と自然植生の回復について

— 芦生演習林を例として —

小橋 澄治 ・ 島津 義史 ・ 吉田 博宣
酒井 徹朗 ・ 佐々木 功

Stability and vegetative recovery of cutting slopes
on Asiu forest road.

Sumiji KOBASHI, Yoshimasa SHIMAZU, Hironobu YOSHIDA
Tetsuro SAKAI and Isao SASAKI

要 旨

芦生演習林林道切取のり面の実態を調べた。はじめに約 200 箇所へのり面につき、形状等素因的な要因、植生関係の要因、安定性・景観度について調べ、概況を明らかにした。次に試験プロットにおける浸食量測定結果からここでの浸食現象の特性を明らかにし、測定した浸食量から将来のり面の安定化、自然植生回復過程の推定を行なった。

1. 目 的

林道の建設工事にともない生じる山地荒廃、自然破壊については細心の注意により、その現象を最少限に止めるよう努力すべきことはいうまでもない。これらの諸問題が多く生じるのはのり面であろう。

林道のり面は一般の道路のり面と異なるきびしい条件を課せられている。それは第 1 に林道は急しゅんな山岳地に建設され、そのり面勾配は必然的にきわめて急勾配となることであり、第 2 に林道の建設費及びその仮設的性格からみてのり面の防護的处理が不可能な場合が多いことである。そのため一般的な林道のり面は造成後放置され、自然力による安定化と自然植生の侵入による景観修復が期待される事例が多い。多くの林道のり面ではこの過程が順調に進んでいるものと思われるが、のり面の安定化が長期間を経ても生じず崩壊が拡大し、土砂流出が続く事例や自然植生の回復が遅々として進まず問題化している事例もある。

ここでは芦生演習林道の切取のり面を対象として実態を調査した。

林道の急勾配切取のり面は造成後図一 1 に示す経過をたどると考えられる。安定度の高い硬岩のり面あるいは一部の軟岩のり面では施工時の形態のまま安定化するが、そこでは長期間後もほとんど植生の侵入がないか、水分条件が良好であると貧弱な植生が侵入成立する (I, II)。

軟岩及び土砂のり面ではのり面上部で浸食・小崩落が生じ下部に堆積し、ある形で安定し下部を中心に侵入植生が繁茂する (III)。悪い事例ではのり肩部での崩落が上部へどんどん拡大し広い面積の荒廃地を形成する場合 (IV) や岩盤のり面が大きく崩壊する場合もある。

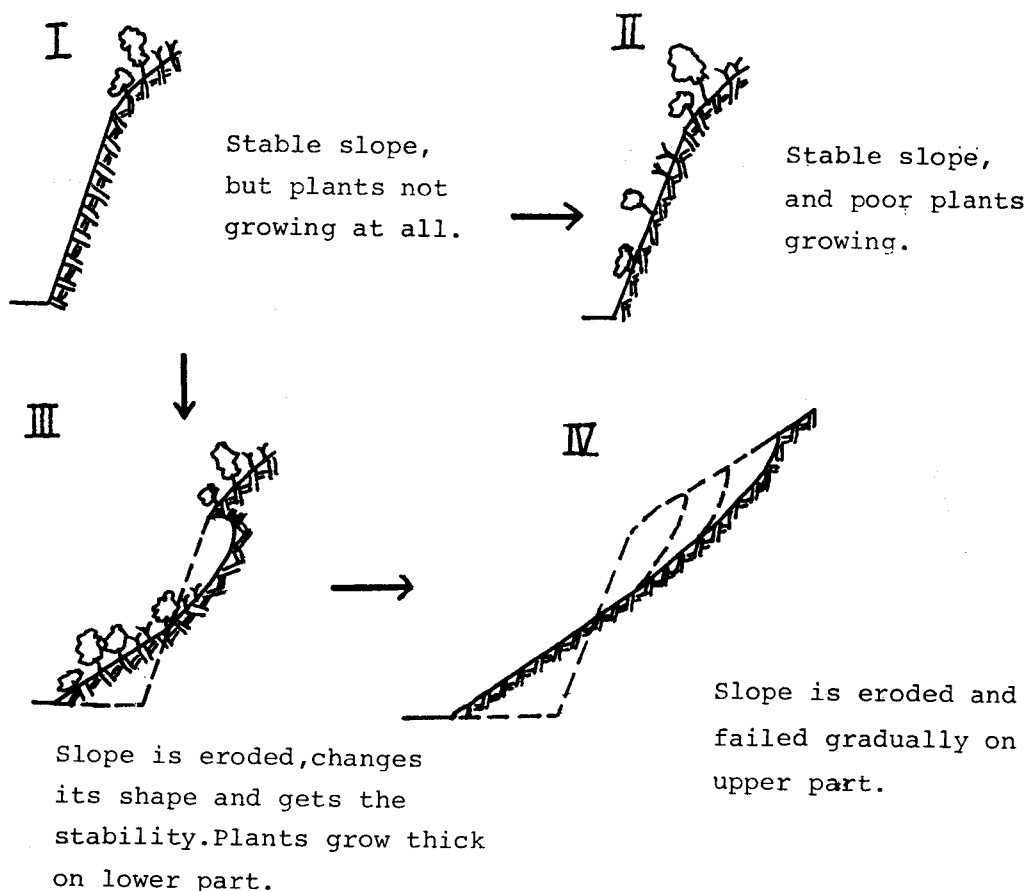


Fig.1 Change of steep cutting slopes and vegetative recovery.

図一 急勾配切取り面の变化と植生回復

芦生演習林の場合をみると崩壊拡大の事例はあるにしても林道全延長からみるとその発生率はわずかである。ここで問題があるとするなら軟岩のり面での浸食、小崩落の問題であり、それらのり面の安定化過程、自然植生の回復過程を中心に検討したい。

2. 概 況 調 査

まず、芦生演習林切取り面の実態の概要を調べる。落合橋から中山にいたる主要線を中心に(図一2)延長 50 m 間かくで約 200 個所のり面について調査した。

調査内容は素因的な項目としてはのり面形状、岩質、のり面方向、標高、施工後年数などで、植生状況としては全被度、群落高、出現木本種名、種数、優占種などであり、素因的項目はのり面全体の状況から判断し、植生関係はのり面を代表するとみられる 2×2 m ワク内の調査である。

どの項目も比較的簡単に目視判断が可能なもので1個所15分程度で終る。ほかに安定性、景観性についての判断も行なった。これは調査者の主観的判断であるが、安定性は主としてのり表面の浸食の進行状況、小崩落の可能性からみた判断であり、景観性とはのり面が周辺景観の中にと

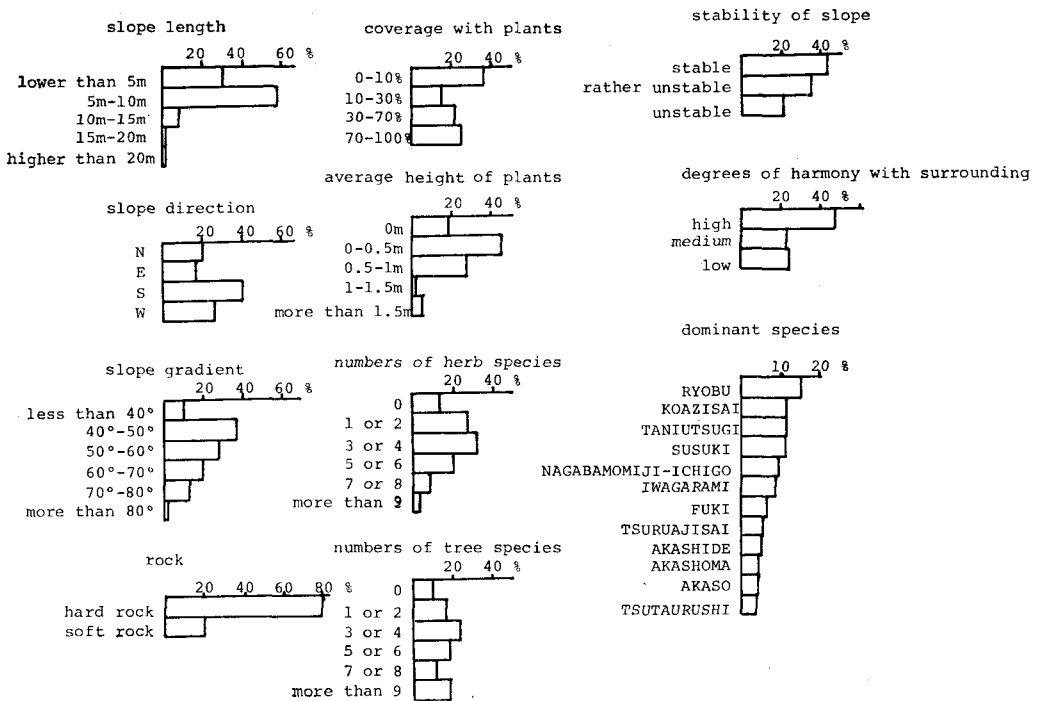
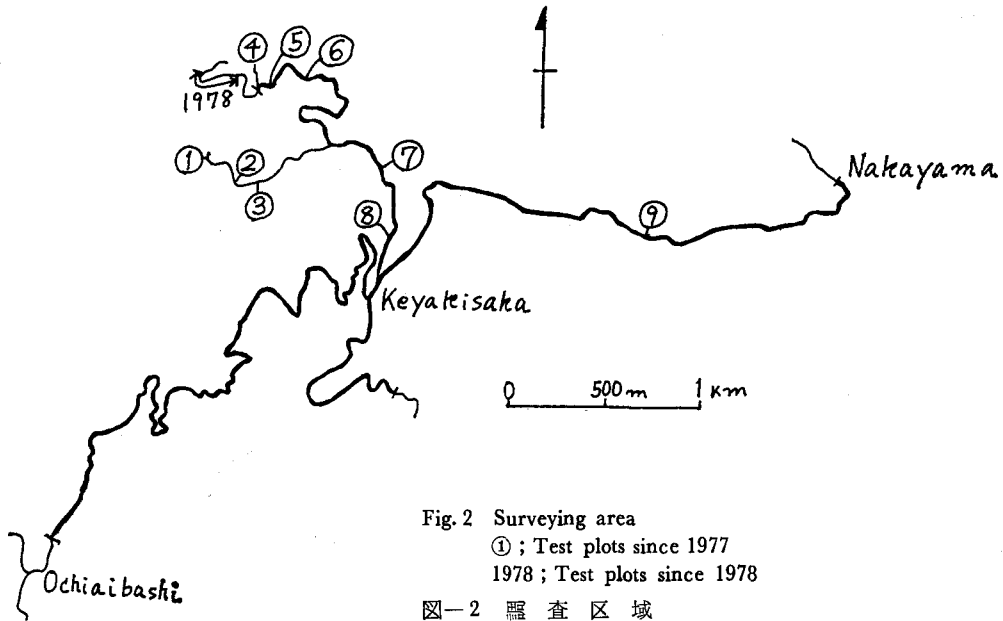


Fig. 3 Frequency of appearance

図-3 単純集計

け込んでいるか、よく目立つかの判断である。調査は昭和53年7月末である。

調査の単純集計結果を図-3に示す。斜面長は10m以下が大部分である。勾配は施工時にはほぼ70°前後で造成されるようであるが、かなり緩勾配化しているのが多い。

植生状況をみると過半数は被度30%以下の状態にある。一般道路のり面¹⁾に比べ草本種数が少なく、木本種数が多い。安定性は過半数が不安定感があることになるが、この傾向は一般山岳道路と大差なく、景観性はむしろ叢生がよい。これは斜面長が短いものが多く、目立たぬためもあるろう。

木本種の出現頻度は表-1の通りであり、種数は豊富である。

Table-1 Frequency of tree species occurrence

表-1 木本数出現度数順位(出現度数5回以上)

順 位	種 名	現度数出	順 位	種 名	出現度数
1	リ ョ ウ ブ	93	21	ヤ マ ツ ツ ジ	14
2	ナガバモミジイチゴ	83	23	イ ワ ナ シ	13
3	タ ニ ウ ツ ギ	79	23	エ ゴ ノ キ	13
4	コ ア ジ サ イ	51	23	ムラサキシキブ	13
5	ク ロ モ ジ	50	23	ヤ マ ウ ル シ	13
6	ミ ズ メ	46	27	マルバマンサク	12
7	ノ リ ウ ツ ギ	44	28	ブ ナ	11
8	イ ワ ガ ラ ミ	36	29	ウスギヨウラク	9
9	ア カ シ デ	34	29	ウリハダカエデ	9
10	ヤマアジサイ	32	29	ク マ シ デ	9
11	ヒ サ カ キ	23	32	イ ヌ シ デ	8
12	ツルアジサイ	19	33	ア セ ビ	7
13	ス ギ	18	33	ウ ツ ギ	7
13	タ ラ ノ キ	18	33	ク リ	7
15	オ オ モ ミ ジ	17	33	コ シ ア ブ ラ	7
15	ヌ ル デ	17	33	コ ミ ネ カ エ デ	7
15	ネ ジ キ	17	33	ホソバアオダモ	7
15	ク マ イ チ ゴ	17	39	イ ヌ ツ ゲ	6
19	ホ ツ ツ ジ	16	39	ク サ ギ	6
20	ミ ズ ナ ラ	15	41	コバノミツバツツジ	5
21	ツ タ ウ ル シ	14	41	サ ル ナ シ	5

のり面数 205 出現種数97種

多くの要因の影響度をみるには多変量解析の手法に用いる必要がある。ここでは数量化Ⅱ類(SPSS パッケージ²⁾による)で検討する。安定性、景観性の判断に及ぼす各要因の効果をみると、この2つの判断はのり面植生の全被度にかかわる所が大きいので全被度に及ぼす効果をみることを目的とする。

表-2は計算結果の総括である。計算は全要因、素因的要因のみ、植生関係のみと3回くり返しているが結果の傾向には大差がない。的中率は当然全要因を用いた時が最も高く、次に植生関係のみの場合が高い。これは安定性、景観性の判断が植生状況に強く影響されていることを示す。

寄与度の高い要因を見つけるため各要因の偏相関係数が0.4以上のものをA、0.4~0.2をB、0.2以下をCとして表-2に示してある。判別対象によって寄与度の高い要因は異なるが各水準の寄与度の傾向は同じようである。

浸食に対する安定性という面からみれば被覆度が高いほど望ましく、景観性からいえば被覆度を高く保ちつつ種数が豊富でかつ木本数が多いほど望ましいであろう。今、被覆度(CS)を全被

Table-2 Effects of the multivariate analysis (Hayashi 2)

表-2 多変量解析(数量化Ⅰ類) 結果総括表

外的基準 要 因		安 定 性	全 被 度	目 立 ち 度 合
(1)	斜 面 形	C	C	C
	斜 面 長	B ; 長いほど不安定	C	C
	斜 面 方 向	B ; N, SE 安定 SW 不安定	B ; N 高い SW 低い	C
	斜 面 勾 配	A ; 急勾配ほど安定	C	B ; 急勾配ほど目立たない
	施 工 後 年 数	C	B ; 古いほど高い	C
	標 高	C	B ; 500~600 m 高い	B ; 低いほど目立たぬ
	後 背 地 形 質	C	C	C
(2)	全 被 度	A ; 高いほど安定	—	A ; 高いほど目立たぬ
	群 落 高	C	A ; 高いほど高い	B ; 高いほど目立たぬ
	木 本 数	B ; 多いほど安定	A ; 多いほど高い	B ; 多いほど目立たぬ
	草 本 数	C	B ; 多いほど高い	C
外的基準グループ区分		① 安 定 ② やや不安定+ 不 安 定	① 10%以下 ② 11~60% ③ 61%以上	① 目立たない ② やや目立つ ③ 目立つ
的 中 等	全要因を用いたとき(1)+(2)	91.1%	73.7%	87.4%
	素因的要因のみ(1)	77.8	58.5	67.2
	植生関係のみ(2)	87.7	67.8	72.7

度 (CO) を中心とし群落高 (H) を考慮した式

$$CS = CO + H/L$$

(L ; のり長) で示し, 種数 (NS) は木本類は 2 倍の重みづけとして $NS = HS + (2 \times TS)$
(HS ; 草本種数, TS ; 木本種数)

で示し, この 2 つの軸で各のり面の占める位置の頻度を百分率で示したのが図-4 である。芦生のように裸地のり面で放置される場合には両軸の 0 原点より右上りに進むと考えられるがバラツキは大きく, 又, 原点付近で停滞しているのがかなりある。六甲道路のように植生工が行われる場合, 被覆度は高い所に集中する。種数は芦生の方が多いがこれは植生工施工によって周辺植生の侵入がいくらか阻害されるためか, 周辺植生の豊富さの差によるものかよくわからない。

芦生演習林の切取のり面の概況をまとめると, 岩盤の急勾配のり面は安定したものが多く, 植生の被度は低くても景観的に落ち着いた状況にある。軟岩のり面では浸食が進行しているものがあり, 景観的にも劣る。侵入植物種は他の道路と比べ豊富であり, のり面が安定化すれば自然植生回復は急速に進むと考えられる。

3. 軟岩のり面の浸食量調査

ここでの軟岩及び土砂のり面の浸食現象は特に冬期間の凍結ゆう解作用による所が大きいことは観察でも明らかである。その浸食量を定量的に把握し, 長年月にわたる消長を明らかにすることは林道のり面全体としての土砂生産を見積る上でも, 自然植生回復のタイムスケールを知る上

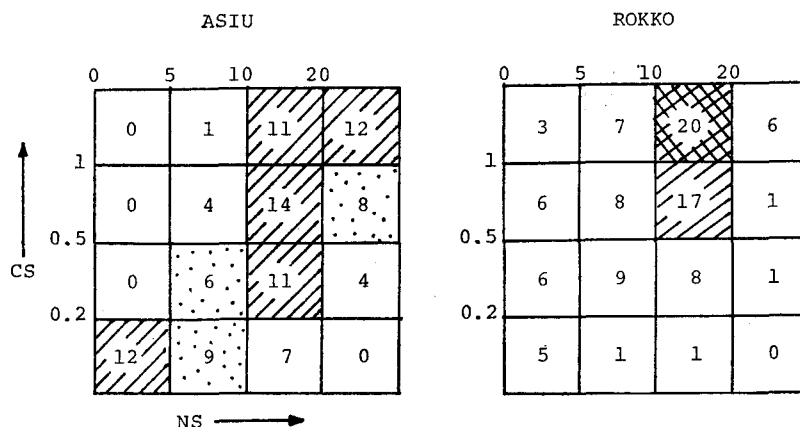


Fig. 4 CS and NS

$$CS = CO + H/L$$

$$NS = HS + (TS \times 2)$$

CO ; Coverage with plants

CS ; Covering ratio to consider effect of plant height.

L ; Slope length

Hs ; Number of herb species

TS ; Number of tree species

H ; Average height of plants

Ns ; Number of plant species to put stress on tree species.

図-4 CS と NS の関係

でも重要である。

そのためいくつかのり面で試験区を設定している。試験区は1977年秋に分散して9ヶ所、1978年秋に新設のり面で勾配を考慮したものを設けている（図-2参照）。軟岩のり面を対象にするため風化の進んだ尾根部に集中している。

冬期調査の観察³⁾によれば積雪はのり末端部から、せいぜい中腹部までであり、のり面上部は雪におおわれることなく露出状態であるのでそこでの凍結ゆう解による浸食がいじりしい。冬期中にたえず浸食が進行していくことは積雪内に土砂堆積層が幾層にも存在していることで明らかである。

浸食量の測定はのり尻部及びのり末端部に固定杭を設置し、杭固定点から杭間に水系を張り一定間かく（1977年試験区では20cm間かく、1978年試験区ではのり長が長いので25cm間かく）で水系から直角方向に地表面までの距離を測定し、一定期間ごとの値を比較する方法をとった。測定はcm単位である。

測定結果の例を示すと図-5の通りである。この図によって冬期間浸食が夏期浸食よりはるかに大きいこと、急勾配部分の崩落が著しいことがよくわかる。

試験区別の土質はほとんど差がなく、三角座標でみると砂質ローム附近に集中している。またのり面方向による浸食の差異は著しくない。したがって浸食に最も大きい影響をもたらすのは勾配である³⁾。また浸食現象はきわめて小規模な局部的諸条件にもとづく現象であり、できるだけ細部の傾斜の条件下で考えるべきであろう。

そのため各測定ポイントの浸食量と当該ポイントと直下の次のポイント間（20cmあるいは25cm）の勾配とを対応させて検討する。各試験区間の他の条件差は明らかでないのですべてまとめて行なった。ただし1977年設置のものと1978年のものとは一応分けて行なった。

表-3は勾配別浸食量の平均値と標準偏差であり、図-6は冬期間浸食の平均値をプロットし

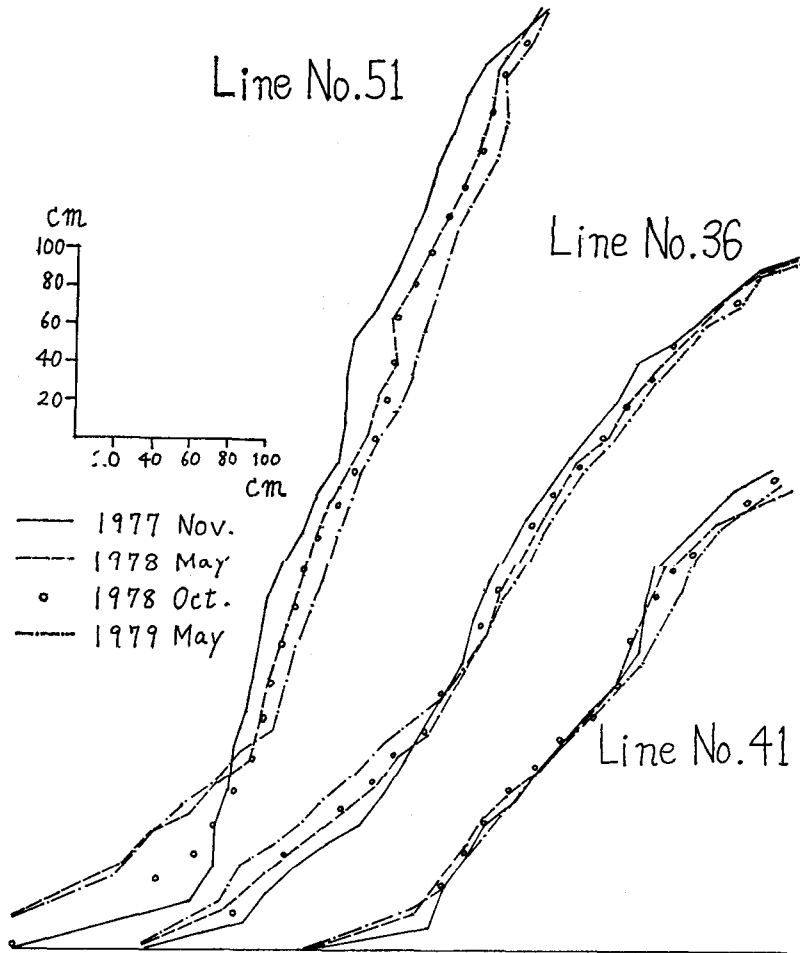


Fig. 5 Examples of shape-changes of slopes due to erosion

図-5 浸食による斜面形状変化の測定例

たものである。これらによって勾配が浸食に大きい影響を持つことは明らかである。平均値でみて $45^{\circ} \sim 50^{\circ}$ 附近で堆積と浸食の境界であり、この附近の勾配が浸食に対する安定勾配と考えられる。1977～1978年の冬は積雪量が平年並み（表-4）で気温は低めであり、1978～1979年の冬は積雪量は非常に少なく、気温は1、3月がやや低い。1977～1978年の浸食量が1978～1979年に比べ多いのはこの気象条件の差であろう。

夏期の浸食についてはその傾向は冬期ほど明らかでなく、浸食総量もはるかに少ない。78年の夏期の降雨状況は表-5に示す通りであり、雨量は例年より少なく、かつ大きい土砂流出を及ぼす強雨は100 mm/dayを越すものが1回（9月16日 100.5 mm）しかなかった。したがってこの結果を芦生林道のり面の夏期浸食量の一般的結果とは見なしがたい。過去の雨量記録によれば、この地域では4、5年に1度程度200 mm/day前後の豪雨があり、夏期浸食はこの時にかなり生じるものと思われる。つまり冬期浸食は年々定常的に生じるに対し、夏期浸食は数年に1度生じるのであろう。78年のデータでは浸食は $55^{\circ} \sim 60^{\circ}$ にピークがあり、冬期浸食の傾向と異なる。急勾配になるとり面の降雨にさらされる比率が低下するからこの傾向はある程度納得できる

Table—3 Relation between soil loss due to erosion and gradient

表—3 勾配別浸食量

勾配区分	1977年秋～1978年春			1978年春～1978年秋			1978年秋～1979年春					
							77年設置試験区			78年設置試験区		
	個数	平均	標準偏差	個数	平均	標準偏差	個数	平均	標準偏差	個数	平均	標準偏差
30°以下	121	+1.27	4.82	71	+1.43	17.45	101	+5.21	8.03	59	+11.76	7.68
30～40°							80	+2.53	6.36	47	+0.79	11.34
40～55°	102	+1.14	3.49	61	+0.09	2.66	65	+0.95	6.24	48	+0.41	4.22
45～50°	170	+0.50	4.58	180	+0.02	2.54	99	-0.33	4.66	94	-0.26	6.10
50～55°	224	-1.36	5.07	199	+0.01	2.64	113	-0.06	5.70	87	+0.34	4.99
55～60°	226	-2.81	5.72	147	-1.07	3.20	91	-1.64	4.10	87	-1.12	7.41
60～65°	154	-3.84	6.34	108	-0.97	2.76	66	-1.32	6.52	64	-2.27	6.10
65～70°	126	-4.20	8.50	73	-0.36	5.37	64	-2.47	5.79	59	-2.86	5.41
70～80°	154	-4.59	10.42	62	+0.45	3.64	73	-3.75	5.58	62	-3.31	4.92
80°以上	103	-5.70	16.55	60	+2.16	10.74	16	-6.25	5.48	24	-6.29	5.98
計	1380	-2.17	8.43	961	-0.02	5.71	768	+0.03	6.56	631	+0.02	4.07

が、確定的なことは今後の測定にまつべきであろう。

1. で概観したことから、芦生林道の切取りり面の延長を 15 km, そのうち不安定性が感じられるり面が60%, 平均のり長 8 m, 浸食が生じる勾配が60%, 平均浸食深が 2 cm とすると 1 冬期で全部で 1,000 m³ 程度の浸食量である。この量は演習林面積から考えれば微々たるもので、年々定常的に生産される量として問題にならない。問題があるとすれば局部的土砂変動の影響であり、これは個々の現場の特性に応じ解決されるべきであろう。

しかし景観的な問題は残っている。自然植生が侵入し、目立たなくなるにはどれ位かかるかということである。それには第 1 に地表面の浸食による土砂移動が不活発になる必要があり、浸食とそれにもとづく斜面形状変化を予測する必要がある。

わずか 1, 2 年の測定から予測するのは問題があるが、斜面形状変化をシミュレーションにより検討してみる。

シミュレーションの方法は ① のり面の初期条件は 70° の一様勾配とする。② のり面の 20 cm ごとのポイントの浸食堆積による変化を追う。③ 各ポイントはその直下の勾配条件で変動

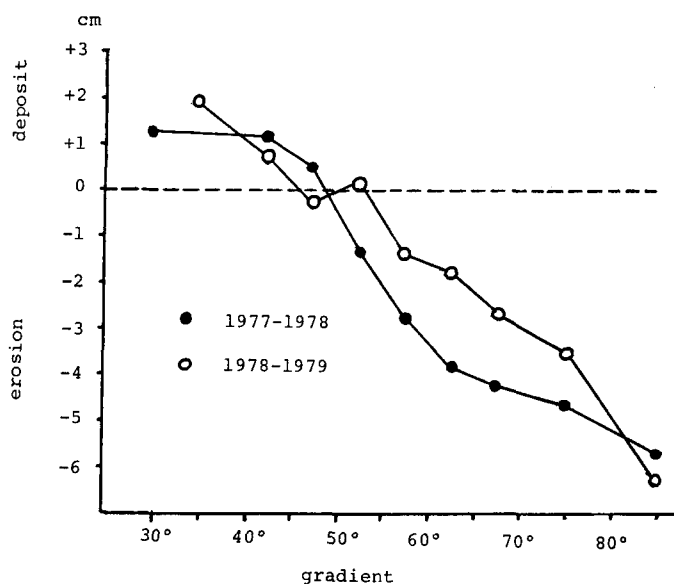


Fig. 6 Relation between soil loss due to erosion and gradient

図—6 浸食深と勾配の関係図 1 歩行時間と勾配の関係

Table—4 The depth of snow cover and mean temperature in winter

表—4 冬期気象概要

	平 均*	1977~1978	1978~1979
最深積雪	107 cm	107	50
積雪日数	80.3日	92	48
積算積雪	3371 cm/日	3294	875
平均 気温	12月	3.5℃	2.5
	1	0.6	-0.5
	2	2.0	-2.5
	3	4.6	1.5

* 積雪関係は1951~1978の平均
気温は1925~1975の平均

Table—5 Rainfall from april to november in 1978

表—5 1978年夏の降雨量

	1925~75の平均	1978年
4月	170 mm	165 mm
5	150	100
6	225	340
7	250	85
8	215	150
9	250	285
10	180	105
11	170	165
計	1610 mm	1395 mm

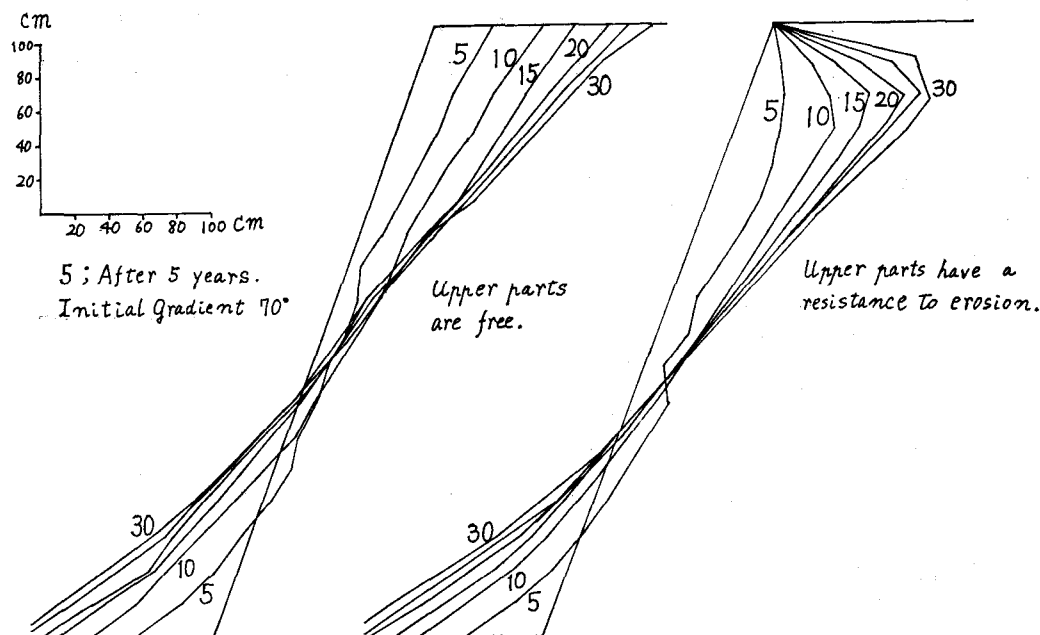


Fig. 7 Calculated changes of slope shapes with simulation

図—7 シミュレーションによる斜面形の変化

が決まるものとし、その量は表—3の77~78年冬、78年夏の浸食・堆積量の平均と標準偏差を持つ正規確率密度関数によって作られる正規乱数で与える。④ 計算は冬期は平均・偏差とも1/100とした正規分布を用い、1冬につき100回くり返す（1冬中100回の凍結・融解をくり返すというモデル）、夏は1/10としたものを10回くり返す。⑤ あるポイントで浸食した量は直下のポイントで計算される堆積量だけ附着し（計算値が浸食を示すときはそのまま下へパスする）残りは下のポイントへ落ちる。この計算をくり返し、5年ごとの形状変化をプリントアウトする。

計算結果の例を図—7に示す。この図の左側はのり面上端に条件をつけないときで、ほぼ15年~20年で50°程度の一様勾配に達し、浸食量も少なくなる。計算では更にわずかず浸食が続くが実際には植生侵入が緩勾配化と共に進み、浸食が阻害され、ついには停止されるであろう。

そのために安定化する時間も早いと思われる。現実の切取りり面ではのり肩部に植生が繁茂しその根系により浸食が防止される。その点を考慮して計算されたのが右の図であり、この場合上端は浸食されないとし、次の下の点が浸食量 $1/8$ 、その次の点が浸食量 $1/4$ 、更に次の点を $1/2$ として計算している。形状は実際にみられるものに似た形となる。この場合でも15年～20年程度で浸食量は減少し平衡状態に達する。これはのり長 4 m の場合でのり長がもっと長くなると安定化は遅れる。またのり尻部の堆積土砂を取除くと取除き点を原点として $45^{\circ}\sim 50^{\circ}$ 勾配ののり面で平衡するため、浸食はのり面により奥深く進み、かつ安定化に長時間を要することになる。

のり面造成に当って安定勾配で仕上げておくことは最も理想的である。しかし少ない経費で造成せざるをえない林道の場合、すべてののり面を安定勾配で造成するのは困難であろう。実際にはすべてののり面が不安定になるのではなく何パーセントかがはげしく浸食される。したがって全のり面を一応急勾配に仕上げて、問題の生じたものだけ対策を行なうのも一つの考え方である。それにはのり尻部に土砂堆積を可能とする余地があらかじめ作られていなければならない。堆積土砂を除去すると安定しないからである。のり尻部に 1 m 程度の余裕巾をとり、浸食が盛んな個所では堆積末端部に簡単なブロック積工を置いて堆積土の固定を図る（のり高が高いとき積工高を高くする）べきだろう。もちろん景観上問題がある個所では当初から安定勾配で造成し、必要なら植生工を施すべきであろう。

4. む す び

芦生演習林林道切取りり面の概況と、試験プロットでの浸食量測定結果をのべた。プロット測定はまだ1年半ほどの結果であり、今後長年月測定を続け実態を明らかにしていきたい。また自然植生の侵入状況については、固定プロットによる観察を続けている。

1977年以降の調査にあたり、森本幸裕氏、増田拓朗氏、青木孝知氏ほか学生諸君の御助力を得ており、また芦生演習林職員各位には多大な御援助を得た。合せて感謝したい。

引 用 文 献

- 1) 小橋, 吉田: 道路のり面の安定性と自然植生の回復について (斜面線化研究第1集1979)
- 2) 三宅ほか: SPSS 統計パッケージⅠ解析篇 (東洋経済新報社 1977年)
- 3) 島津: 林道のり面の安定—芦生演習林を例として— (京都大学農学部修士論文 1979年)

Résumé

The authors investigated stability and vegetative recovery of the cutting slopes on the Asiu forest roads.

Selecting about 200 slopes at intervals of 50 m along the roads, the shapes of slopes, the rock properties of them and the other geographical conditions, and also coverage, species of plants and the other vegetative conditions were measured.

The degrees of stability against erosion and of harmony with the surrounding natural landscape were judged. The results were shown in the figure 3. These two factors to be judged had a high correlation each other, and it was confirmed by the multivariate analysis that coverage and the other vegetative conditions were contributory factors for them.

The quantity of soil loss and the change of slope due to erosion have been observed on some of the slopes since autumn in 1977. (figure 5) Erosion in winter was much greater than that in summer. The quantity of soil loss at each point on a slope was greatly correlative with the gradient below the point. (figure 6)

Coming changes of slopes were estimated by a probabilistic method, using the mean value and the standard deviation of the soil losses on each group of slopes, which were classified into ten groups for their gradients. (figure 7)