

急勾配林道における路面侵食の実態について

出来 俊彦・古谷 士郎*・鈴木 保志・神崎 康一

On the case of Surface Erosion on the steep forest road

Toshihiko DEKI, Shirou FURUTANI, Yasushi SUZUKI,
and Kouichi KANZAKI

要 旨

急勾配林道を幹線道とした路網を実際に利用している例を対象に、路面侵食、特に侵食溝の実態を調査・検討したところ、次の様な傾向が得られた。

- 1) 勾配が急になる程、侵食溝の発生頻度は高くなるが、侵食溝断面の大きさ及び形状は20%前後の勾配で最大値を取る凸型の分布をしていた。
- 2) 調査路線がかなり低規格であるために路面上空が樹冠層により被われている箇所が多く見られた。このような箇所では侵食溝の発生が抑制され、その断面積・形状比とも小さくなる傾向があった。
- 3) 横断勾配を外向きに付け、雨水が集中する前に谷側に誘導する「その場排水」が簡便な排水方法として有効であると考えられる。

さらに、調査路線で取り入れられていた小丸太を路面の下に敷く、あるいは碎石を転圧する、といった路面補強工法が侵食溝の発達・拡大を抑制しているように思われた。

は じ め に

これからの森林経営、特に保続的な林業経営を行うためには、路網開発は不可欠である。しかしながら、急傾斜林地の多い我が国では、その建設上の困難から林道建設を見送り、架線等の伐出システムを代用している所も多い。

大阪府指導林家である大橋慶三郎氏は急傾斜林地における森林路網開発の方法として、林地の安定した尾根に、土工量を極力小さくするため、かなり急勾配の幹線道を作設し、さらに等高線沿いに支線道を漸次設けて行く方法を提唱している。

このような路網の有利な点として、土工量の減少、作業現場への移動時間の短縮、きめの細かい施業システムの確立等が挙げられるが、同時に、幹線道が急勾配であるがために、山地保全、林道路面の侵食、車両の走行安全性といった問題点も生じてくる。

本報告では、このような森林路網の実例を対象に、特に急勾配幹線道の問題点として路面侵食の問題を取り上げ、侵食溝発生の実態を調査し検討した結果を報告する。

* 静岡大学農学部

調査地概要・調査方法

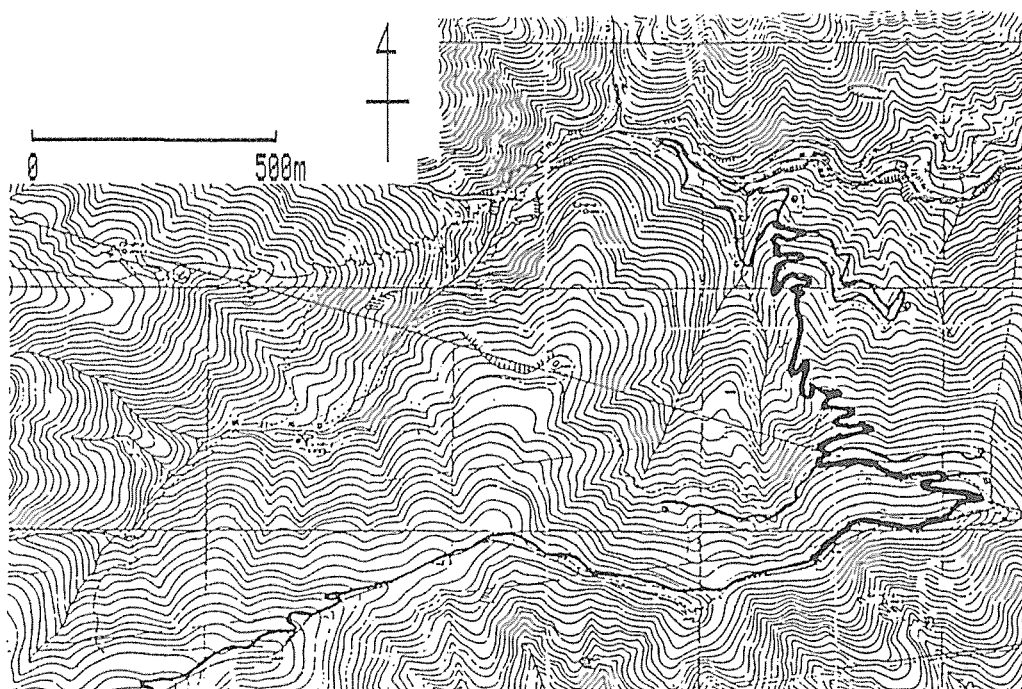
奈良県吉野郡上北山村にある岡橋林業株式会社所有の山林内の急勾配幹線道（総延長5.3 km）の約3/5の路線を166の調査区間に分け、各調査区間に対して侵食溝の有無・路面硬度指数（山中式土壤硬度計による）・林道上空の樹冠層によるうっ閉状態・勾配・幅員等を調査・計測した。

本調査を行なったのは1987年11月下旬・1988年5月中旬の計2回である。1回目の調査を行なってから2回目の調査を行なうまでの約半年間の総雨量は約540 mmであった。またこの間に相当数の通行量があったと思われ、2回目の調査時には1回目の時に比してかなり路面が荒れた印象を受けた。

図一1～3に調査を行なった路線の概要を示す。調査路線がかなりの急勾配・低規格道（4WD車なら走行可能）であることがわかる。なお調査路線の平均勾配は約13.9%であった。また路面舗装を施してある区間は調査対象から除外した。

この山林の地質は古生層であり、年平均降雨量は、2,574 mmである。また、幹線道はほぼ全線が未舗装で、機能している横断排水溝も少ない。側溝は一切設けられておらず、建設後約6年がたつが過去に一度も路面補修をしたことが無いという。

表一1は林道路面の土質を簡単に示したものである。



図一1 調査路線
 ——：急勾配幹線道を用いた路網
 ——：調査路線
 Fig.1 Investigated route
 —— network with steep primary road
 —— investigated route

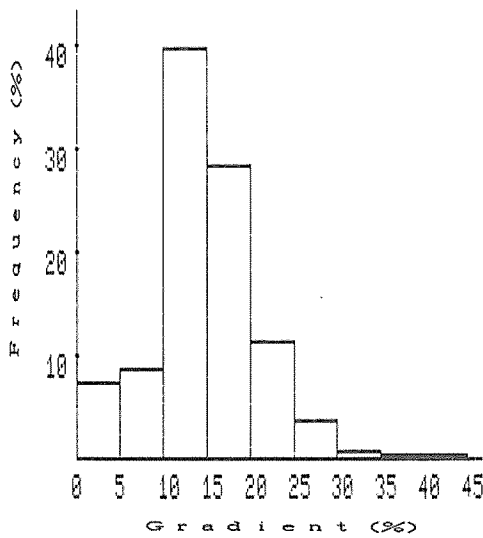


図-2 勾配 (%) の頻度分布
Fig.2 Frequency distribution of road gradient (%)

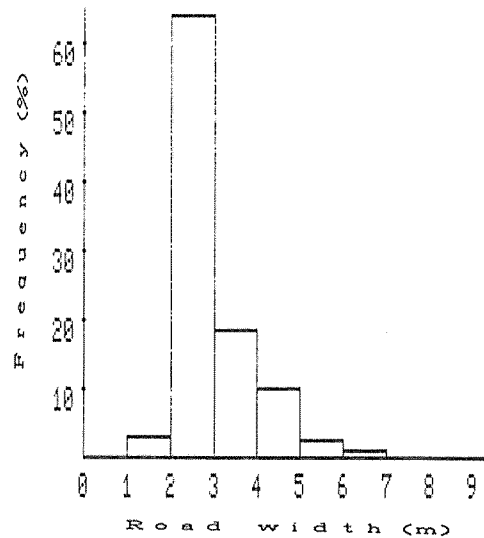


図-3 幅員 (m) の頻度分布
Fig.3 Frequency distribution of road width (m)

表1 調査路線の土質
Properties of
soil of investi-
gated route

Result of sieve analysis (mean of some results)					
Grain size (mm)	~ 0.074 ~ 0.42 ~ 2.00 ~ 4.76 ~				
Soil grading (%)	5.7	11.6	30.2	29.2	23.3
Soil hardness index (mm) (by YAMANAKA-type tester)					
min — mean — max	20.3 — 26.5 — 32.0				

結果及び考察

— 侵食溝発生について —

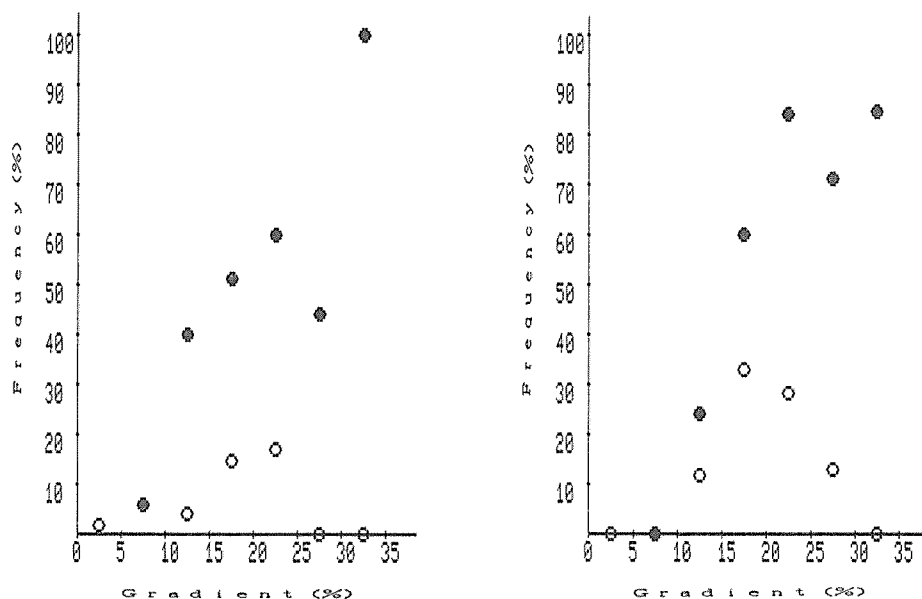
侵食溝の出現頻度と縦断勾配の関係を示したものが、図-4・5である。これらの図の示すとおり、

1. 縦断勾配（以下単に勾配と記す。）が急である方が侵食溝がしやすい。
2. 直線区間（ヘアピンでない区間）よりもヘアピン区間の方が、またヘアピンの外側よりも内側の方が侵食溝が発生しやすい。

これらの傾向は中尾の報告¹⁾と一致するものである。

表-2は、各調査区間を侵食溝ができていない区間、できている区間（最小断面：幅15cm・深1cm）の2群に分け、数量化二類を用いた分析を行なった結果である。侵食溝がない区間のスコアは負であり、侵食溝がある区間のそれは正であることから、次の様な事が言えよう。

1. 路面上空が樹冠層によって被われている方が侵食溝が発生しにくい。



図一4 侵食溝発生頻度 (%) と勾配 (%) の関係 (I)

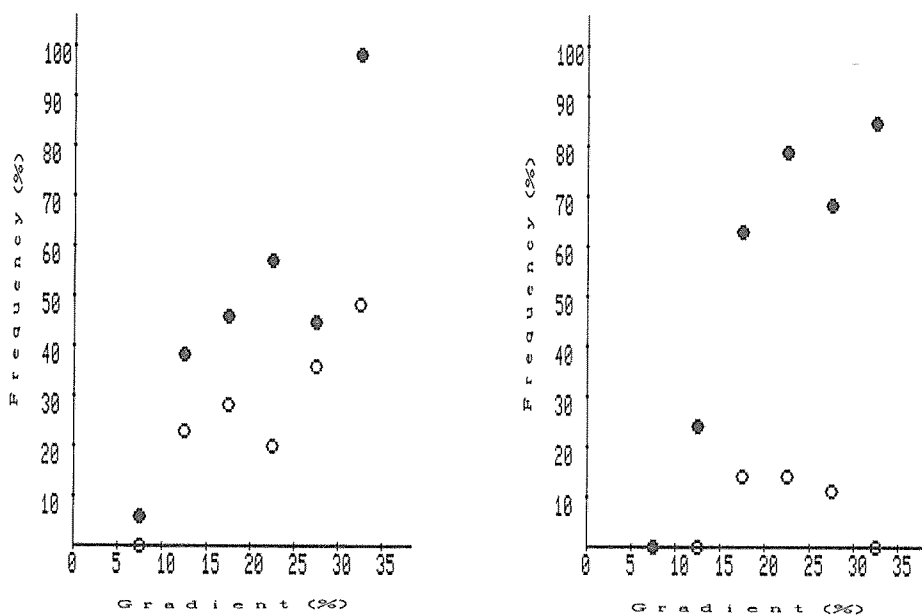
●: ヘアピン区間 ○: 直線区間

図一4 から図一7 の左図は1987年11月, 右図は1988年5月に調査した結果である。
Fig.4 Relations between generative frequency of rill (%) and road gradient (%) (I)

●: Generated in hairpin-segments

○: Generated in straight-segments

Figures 4 through 7 show results observed in November, 1987 (left) and in May, 1988 (right)



図一5 侵食溝発生頻度 (%) と勾配 (%) の関係 (II)

●: ヘアピン内側 ○: ヘアピン外側

Fig.5 Relations between generative frequency of rill (%) and road gradient (%) (II)

●: Generated inside hairpins

○: Generated outside hairpins

表2 数量化二類解析結果
Result of Quantification
II analysis

Item※	Category	Score	Partial cor.
Outside variable	without rill	-0.529	_____
	with rill	0.612	
Condition of crown closure above the road	open	0.631	0.333
	half closed	-0.209	
	closed	-0.525	
Road gradient (%)	~ 9.0	-1.663	0.522
	9.0 ~ 12.5	-0.666	
	12.5 ~ 15.0	-0.166	
	15.0 ~ 17.5	0.471	
	17.5 ~ 19.5	0.136	
	19.5 ~ 22.5	0.945	
	22.5 ~	1.040	
Correlation ratio		0.324	Number of cases 166

※Each item in tables 2 through 4 is measured in every segment of investigated route. (Total number of segments=166)

2. 先に述べたとおり勾配が急である程、侵食溝が発生しやすい。またこのアイテムのスコアの正負の境である15%という値は、侵食溝発生に対するある程度の目安となるものと思われる。

相関比が0.324とやや低く、侵食溝発生の予測にまで話を進める事はできないが、侵食溝発生と勾配の間に強い正の相関がある事は疑う余地が無いところである。さらに、路面状態の主観的評価も勾配が急になればなる程悪くなる傾向があった²⁾。

——侵食溝断面について——

急傾斜地に道を付けるのだから、その道路線形には必ずヘアピンカーブが含まれる。また、ヘアピン入口・出口区間の高低差をできるだけ短距離で得るために（つまりヘアピンで挟まれた斜面の上下の幅をできるだけ広くとるために）、ヘアピン部の勾配はかなり急なものとなる。一般にヘアピン部の内側は、比較的緩勾配であっても侵食溝が発生しやすい傾向があり、特に路線勾配が急である場合は、かなり大規模な侵食溝の形成が予想される。そこで、ここではヘアピン区間で発生した侵食溝の断面の大きさ及びその形状について言及する。

侵食 断面を全て逆三角形と考え、その規模及び形状を与える数値として次の2つを採用した。

1. 侵食溝の断面積 (cm²) (=侵食溝の深さ×幅/2)
2. 侵食溝の深さ/幅 (%) (これを侵食溝の形状比と呼ぶことにする。)

図一6・7にこれら2つの値と勾配の関係を示す。共通した傾向として、

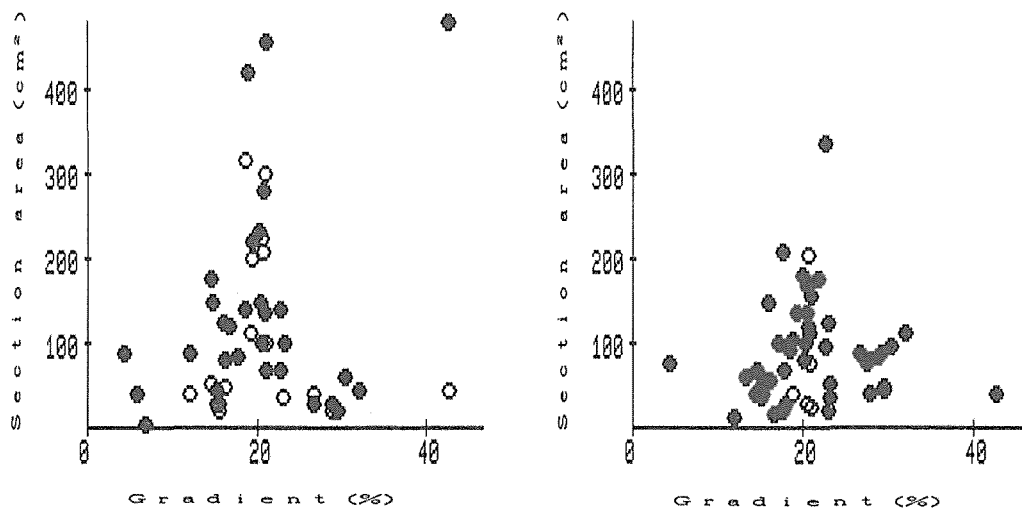
勾配20%付近までは断面積、形状比とも勾配が急になる程、指数関数的に増加しているがそれ以上の勾配ではむしろこれらの値が減少している事がわかる。

1988年5月下旬のデータについては勾配12~23%の区間で次式の関係が得られた。(但し、侵食溝がヘアピンの内側・外側の2本出来ている場合は、断面積ではその2つの値の和を、また形状比では大きい方の値を採用した。)

$$\text{LOGE}=3.31 \cdot \text{LOGI}-5.16 \quad (R=0.67^{**}) \quad \text{—(1)—}$$

ここにE: 侵食溝断面積 (cm²) I: 勾配 (%)

(** : 1%水準で有意である事を示す。)



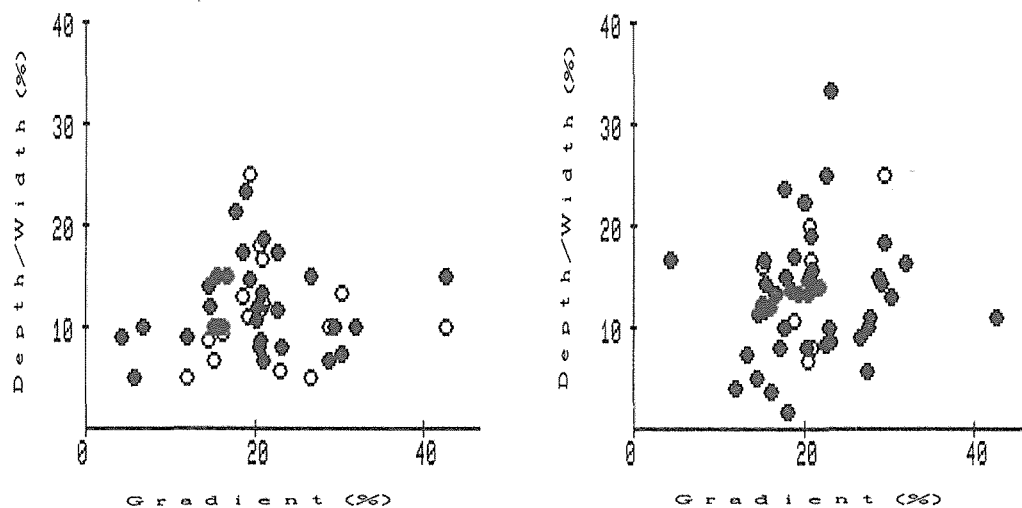
図一6 侵食溝断面積 (cm²) と勾配 (%) の関係

●: ヘアピン内側 ○: ヘアピン外側

Fig. 6 Relations between cross-sectional area (cm²) of rill and road gradient (%)

●: Generated inside hairpins

○: Generated outside hairpins



図一7 侵食溝形状比 (%) と勾配 (%) の関係

●: ヘアピン内側 ○: ヘアピン外側

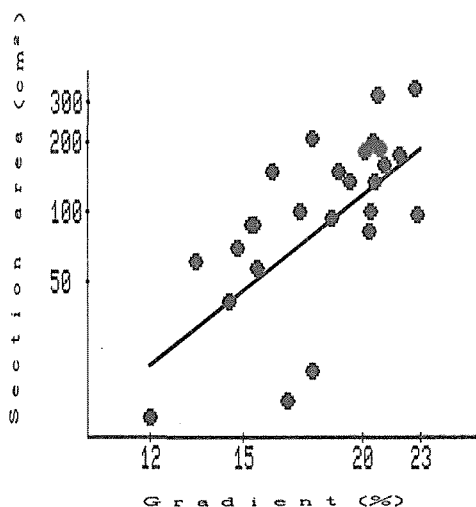
Fig. 7 Relations between DEPTH/WIDTH (%) of rill and road gradient (%)

●: Generated inside hairpins

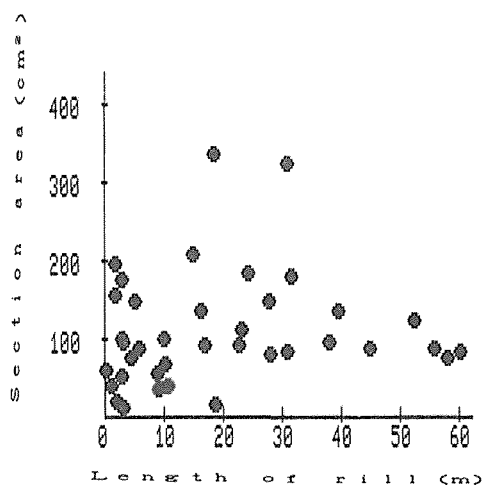
○: Generated outside hairpins

(1)式から、12~23%の範囲では侵食溝断面積と勾配は強い正の相関があることがわかる (図一8参照)。

既往の研究例では、 $\text{LOGE} = a\text{LOGI} + b\text{LOGL} + c$ (但し、L: 流水長、a・b・c: 係数) という関係を特に10%前後までの緩勾配区間で検討し、横断排水溝設置間隔について言及している。



図一八 実測値と(1)式による回帰直線
Fig. 8 Observed values with regression line by equation (1)

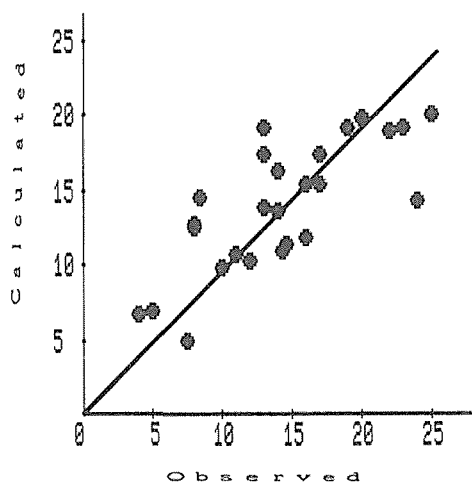


図一九 侵食溝断面積 (cm²) と流水長 (m) の関係 (1988年5月の調査結果)
Fig. 9 Relation between section area of rill (cm²) and its length (m) (Observed in May, 1988)

さらに、LOGI の係数 a 及び LOGL の係数 b の比 a/b は 1.5^{33} , $1.9 \sim 2.2^{41}$, $1.6 \sim 1.7^{53}$ となっている。LOGL については有意である係数が得られなかったが、(1)式に用いたデータから得た a/b は、31.5 と前記の値とは大きく食い違ったものとなった。現実に林道路面に発生し、何等かの理由で消滅して行く侵食溝を、単一的にとらえることは不可能であるが、この a/b の過去の研究例との相違は流水長の増加に伴う侵食溝断面積の増加が見られなかったことによると考えられる (図一9 参照)。

さらに形状比 (%) についても(2)式が得られた。

$$\text{LOGY} = 1.23^{**} \cdot \text{LOGI} + 0.19^{**} \cdot \text{LOGL} - 1.40 - (2) \quad (R = 0.78^{**})$$



図一十 実測値と(2)式による計算値の比較
Fig. 10 Comparison between observed values and calculated values by equation (2)

但し Y : 形状比 (%) (図一10参照) 勾配及び流水長が大きくなる程、侵食溝断面がより鋭角な三角形になる傾向が認められる。

以上のことから、特に勾配が約23%までならその値及び流水長が大きくなるにつれて侵食溝の発達の度合いが大きくなるといえる。

表一3・4は、特に1988年5月中旬に得たデータで、ヘアピン区間内の侵食溝継続区間及び侵食溝終了区間における侵食溝断面積、形状化を外的基準として数量化一類を用いた分析を行なった結果である。

各アイテム・カテゴリーのスコアが正である場合は侵食溝断面積 (cm²) 又は形状比 (%) の値が大きくなり、負である場合は逆に小さくなる。分析結果から得られる主だった傾向を以下に列記する。

表3 数量化一類解析結果（外的基準：侵食溝断面積(cm²)）
Result of Quantification I analysis (Outside
variable: Section area (cm²) of rill in hairpins)

Item	Category	Score	Partial cor.
Road gradient (%)	~ 18	-16.236	0.520
	18 ~ 23	49.073	
	23 ~	-32.836	
Road width (m)	~ 3.7	34.820	0.388
	3.7 ~ 4.0	-3.147	
	4.0 ~	-29.296	
Condition of crown closure above the road	open	16.482	0.365
	half closed	-19.340	
	closed	-47.852	
Soil hardness index (mm)	~ 27	13.579	0.273
	27 ~ 28	7.421	
	28 ~	-22.610	
Direction of cross grade from inside of curve to outside	level or downward	-8.024	0.136
	upward	7.721	
Road width of the upper segment (m)	~ 2.9	-8.914	0.128
	2.9 ~ 3.7	2.477	
	3.7 ~	7.473	
Constant term	———	113.500	———
Multiple correlation	0.720	Number of cases	33

表4 数量化一類解析結果（外的基準：侵食溝形状比(%)）
Result of Quantification I analysis (Outside
variable: Depth/Width (%) of rill in hairpins)

Item	Category	Score	Partial cor.
Condition of crown closure above the road	open	3.608	0.683
	half closed	-3.707	
	closed	-11.526	
Direction of cross grade from inside of curve to outside	level or downward	-3.524	0.616
	upward	3.317	
Length of rill (m)	~ 10	-4.128	0.475
	10 ~ 25	0.753	
	25 ~	2.750	
Soil hardness index (mm)	~ 27	4.630	0.453
	27 ~ 28	-1.704	
	28 ~	-1.781	
road width(m)	~ 3.7	0.564	0.208
	3.7 ~ 4.0	-1.398	
	4.0 ~	0.648	
Constant term	———	15.258	———
Multiple correlation	0.736	Number of cases	33

1) 『23%程度までなら先に示したとおり勾配が急になるにつれて侵食溝断面は拡大化していくが、それ以上の勾配になると逆に小さくなる。』

先にも述べたが、このことは図-6から容易に読み取ることができる。形状比については分析の結果、勾配の寄与が非常に小さく要因群から省いたが、1987年11月下旬に得たデータに関して重回帰分析を行なった結果、断面積、形状比とも上記と同様の傾向を得ることができた²⁾。つまり断面積・形状比は20%前後の勾配を頂点にして上に凸型の分布をなす。これは20%を超えるような急勾配では、通行車両のスリップによって侵食溝断面が均されてしまうためである、と推測される。どの程度の土砂が山地流域に対して生産され流出しているのかという話は別にして、路面侵食の問題を単にどの程度路面が掘れるのかという問題に帰着させた場合、調査結果を見る限りでは20%前後という勾配が最も悪影響を及ぼしているといえる。

2) 『路面上空が樹冠層によって被われていると侵食溝の断面積・形状比が比較的小さくなる。』

侵食溝発生を妨げる傾向があることは先に述べた。このような箇所は法高や幅員が小さく集水域面積が小さいこと、また樹冠層による遮断、リターが路面を被覆することによる雨滴衝撃力の緩和等が影響しているのではないかと推測される。

3) 『横断勾配が外向きであると掘れ方が小さくなる。』

特にヘアピン部では横断勾配が内向きである場合、路面流下水が集中することによってカーブ内側が掘れてしまう。急勾配道においてはこの流下水の処理が非常に重要なポイントである。横断排水溝等の排水施設の利用も有効であるが、その機能維持が面倒で、溝に土砂がつまったまま放置される事がしばしばである。路肩が舗装等で、谷側斜面が木組、ふとん籠工等で保護されている場合、横断勾配をやや外向きにして雨水が集中流下する前に谷側に誘導する「その場排水」を大橋慶三郎氏は推奨している。分析結果は、その有効性を実証していると言えよう。

お わ り に

データの少なさが災いし、定性的な検討に終始してしまったが、過去二回の調査結果が、どの程度一般性があるのかという疑問はさておき、侵食溝の発生と勾配には正の強い相関があるがその大きさに関しては、20%を超える勾配では必ずしも両者は比例的な関係にあるとは言えない事がわかった。調査路線全体を通して、車両が走行困難な程に侵食溝が発達している箇所もなく、この急勾配幹線道に関しては現時点では問題は無いと言える。また勾配に比して侵食溝の大きさの水準がかなり低いと考えられるが、これは先に述べた様に調査路線の規格が低いこと、さらに小丸太を横に路面の下に敷く、5~7 cm の碎石を転圧する、といった路面補強工法が侵食溝の発達を抑制しているのだと思われる。この工法は、先に述べた「その場排水」と合わせて今後の林道建設に非常に有益な示唆を与えるものと考えられる。

路面侵食の問題は勾配の緩急を問わず、林道の維持管理の問題としては、本質的なものではないのかもしれない。というのは、路面舗装という「奥の手」があるからである。しかしながら殊に民有林で4WD車しか通行できないような急勾配林道を建設・利用しようとする場合、舗装を行なう金銭的余裕がないケースも十分考えられる。急勾配林道を利用した路網を今後も継続して検討する際に、路面侵食の問題はやはり取り上げていくべきである。そのためにはより多くの事例を検討する事が急務であることは言うまでもなく、最終的には土砂生産流出の実測・予測を行う事が必要であろう。

最後に、本調査を行うに際して多大なる御便宜、御協力を承った岡橋林業株式会社の皆様方、有益な御助言を頂戴した大橋慶三郎氏に厚く御礼を申し上げます。

引用文献

- 1) 中尾博美：林道の構造と路面侵食について．日林論．**91**．455—456, 1980
- 2) 出来俊彦：京大卒論．1988
- 3) 市原恒一他：横断排水溝の適正間隔に関する研究（予報）．日林論．**84**．448—450, 1973
- 4) 酒井徹朗他：林道路面の侵食について．林道建設が自然植生，景観，土砂生産量に及ぼす影響とその対策に関する研究報告書．35—45, 1982
- 5) 古谷士郎他：林道の路面侵食について（Ⅴ）．京大演報．**56**．155—165, 1984

Résumé

In this report, we referred to surface erosion, espacially to rill erosion generated on the steep grade forest road, taking up a case of steep primary road passable with 4WD car only. 13.9% was the mean road gradient of the investigated route.

To analyze factors that had affected generation and cross-sectional scale of the erosion, we used the Hayashi's Quantification, 1, 2, and the Multiple Regression analysis.

The results we've got are as follows :

- 1) As road gradient increased, the road surface tended to be subject to rill erosion. That is to say, generative frequency of rill erosion had positive correlation to road gradient. (See Fig. 4, Fig. 5)
- 2) As to less than about 20% gradient, it is true that the same relation as above was recognized between (cross-sectional) scale of rill erosion and road gradient, but this relation wasn't true of every case with more than the gradient, or rather, even negative correlation was recognized between them. (See Fig. 6, Fig. 7)

The cause of this result is presumed that on the earth road surface with steeper gradient than about 20%, traffic cars should smooth shape of rill by wheelslip or skid.

- 3) Both generative frequency and scale of rill seemed to decrease when the road was covered by crowns of trees which lined it on side. (See Table 2-Table 4)

Finally, we wish to make extra remark : Almost all along the investigated route, logs and crushed rocks were buried under or into the road surfaces to reinforce them. Besides the way of surface drainage that cross section of road surface is slightly inclined down to bank slope (of course it must be stabilized) so as not to concentrate runoff on rill, we consider that these manners are very effective to restrain surface erosion on the forest road.