

論文

林内作業車道の横断形状と路面変形侵食に関する考察

伏見 知道*

A few remarks on the forms of cross section and the deformation of surface of a narrow road for a small sized forestry vehicle

Tomomichi FUSHIMI*

Summary : Continued from the previous report, the author discussed with the forms of cross section, especially the surface deformation of a narrow road for a small sized forestry vehicle. The results obtained were as follows :

1. The cutting height and banking height were relatively low, but their slopes had a partiality for steep.
2. The transformed width of rill on road surface were generally about twice as large as the width of track shoe of a crawler vehicle.
3. The form ratios, the rate of depth against width, of rill were within 20% for the most part, but there were pretty cases over 20%.
4. The regressive relations were pretty recognized between the depth and the section volume of rill transformed.
5. The transformed state of road surface were partly different from that of general forest road, and that transformations were influenced with running of a crawler type forestry vehicle.
6. For the conservation of the narrow road surface for a small sized forestry vehicle, the inspection of slope on road side and the leveling road surface are required on occasion.

要旨 林内作業車道の横断形状、特に路面変形について考察した。

1. 切り土部および盛り土部とも、高さは比較的低いけれども、斜面勾配は、総体的に急勾配に偏っている。
2. 溝状変形幅は、クローラ型車両の履帯幅の2倍程度までに集中している。
3. 溝状変形の幅に対する深さの割合（形状比）は、20%以内が大部分であるが、これを越える例もかなりある。
4. 変形深さに対する変形容積の分布範囲は広く、一般林道での例とやや異なっているが、両者

* 林業生産工学研究室 Laboratory of Forest Production Engineering

の間に有意の相関が認められる。

5. 路面の変形状況は、一般林道の例とやや異なり、走行車両（築水やまびこ号）の走行に伴う影響が、著しく現れている。
6. 林内作業車道の保全のために、路面の整形を心がけるとともに、斜面の点検管理についても配慮が必要であろう。

I はじめに

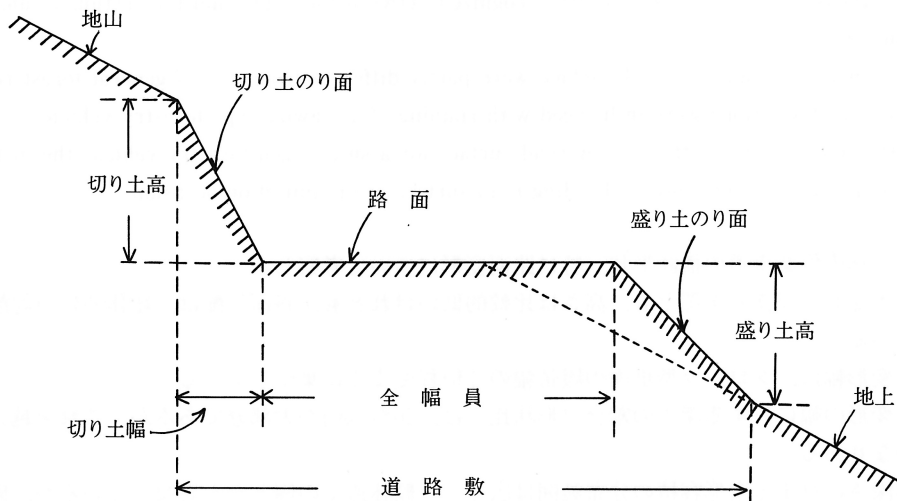
林内作業車道は、小型林内作業車専用の幅員1.5m程度の簡易路線で、林道および作業道より更に低規格の道路であるが、近年、間伐材やその他の材の少量随時搬出に有効であるということで注目され、西日本を中心に開設が進んでいる。

筆者¹⁾²⁾は、林内作業車道の実例の実態を把握するために、愛媛県久万町において実地測量を行い、林内作業車道の配置および構造について観察し、林内作業車道の開設に対する問題点および具備すべき基礎条件について若干の考察を加えてきた。

今回は、法面および路面を中心にした横断形状を観察し、特に路面の変形の特徴について一般林道と比較考察したので報告する。

II 調査方法

調査地は、愛媛県久万町露峰の民有林にあり、結晶片岩風化土からなり、年降雨量は、1,500mm～2,000mmで、瀬戸内型気候区に属する地域としては多雨区域である。調査地内の林内作業車道は、幹線の部分である主要路線Ⅰ～Ⅵ系統とそれらから分岐している支線部とからなり、またそれらの幅員は平均1.6m、最大3.0mで、縦断勾配は平均10度前後、最大24度である。これら林内作業車道は昭和57年から昭和60年にかけて逐次開設され、開設とほぼ同時に間伐が実施されてきた。したがって幹線部分、特にⅠa、Ⅰb、Ⅱa、Ⅱb、およびⅣa系統では車両走行回数が多くなっている。これに対し支線部は間伐の終了とともに車両の走行はほとんどなくなっている。昭和62



付図 林内作業車道の横断面模式図

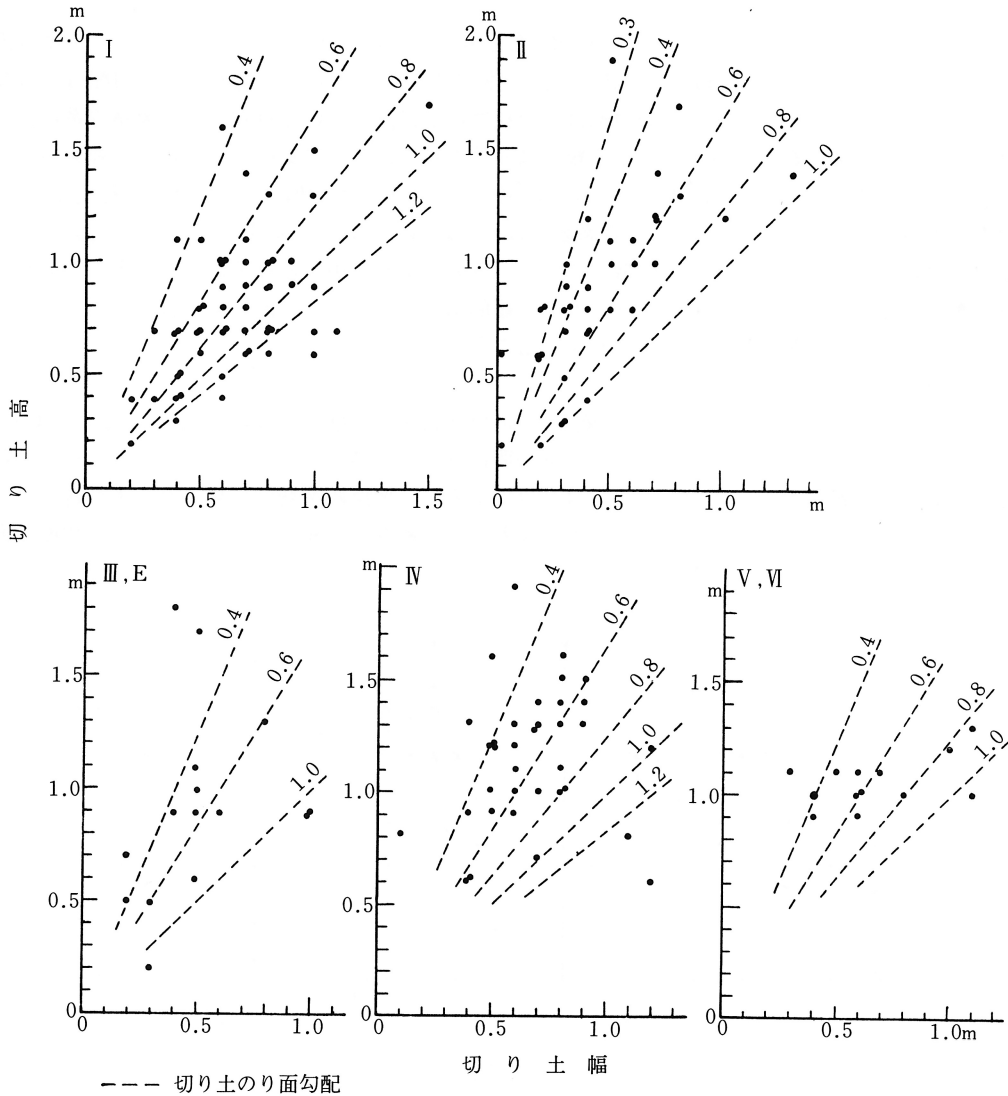


図-1 林内作業車道切り土部の幅と高さおよび法面勾配の関係

年度に実施した林内作業車道上合計157点における横断測量結果を使用し、法面勾配と路面変形量を求めた。

Ⅲ 結果と考察

1. 林内作業車道法面の横断形状

林内作業車道の開設に当たっては、熟練したバックホウ操縦者の主観的判断による造成に依存している。このような造成林内作業車道周辺の土工構造物の諸元の実態について、前報²⁾に続き考察を深める。資料として、林内作業車道の主要系統別に、土工構造物の水平部に対する鉛直部の分布と、構成される法面勾配の指標からなる図を用意した。なお、林内作業車道の横断面模式図を付図に示す。

1) 切り土部

切り土部について幅、高さおよび勾配の関係を図-1に示す。切り土幅は、ほぼ1 m程度以内に分布し、切り土高は、ほぼ1.8m以内が主で比較的低いのであるが、切り土法面勾配は8分ないし1割よりも急な部分が多く、最急部は4分程度以上に達している点が、各主要路線系統に共通である。主要系統別に見ると、I系統では6分から1割2分に集中し、平均8分強を中心に対称的分布である。II系統では3分から6分に集中し急勾配にやや偏り、平均は5分程度である。IIIとE系統では、4分ないし6分に、IV系統では4分から7分以下に集中し平均は6分強である。VとVI系統では4分ないし8分に分散する中で、6分にやや集中する様子がうかがえる。切り土法面勾配は、I系統を除くいずれの系統でも、一般的切り土斜面の安定的勾配の目安である8分ないし1割よりも、急勾配に偏った集中分布であることが明らかである。

2) 盛り土部

盛り土部について図-2で見てみる。盛り土幅は1.6mまで、盛り土高はほぼ1.6mまでである。盛り土勾配は、主として4分から1割5分強の間に分布し、各系統に共通的には6分から1割程度の比較的急勾配にわたっていて、平均は9分である。主要路線系統別に見ると、I系統では、2割以上の緩勾配もあるが主として6分から1割5分の範囲に分布し、平均は1割1分程度であ

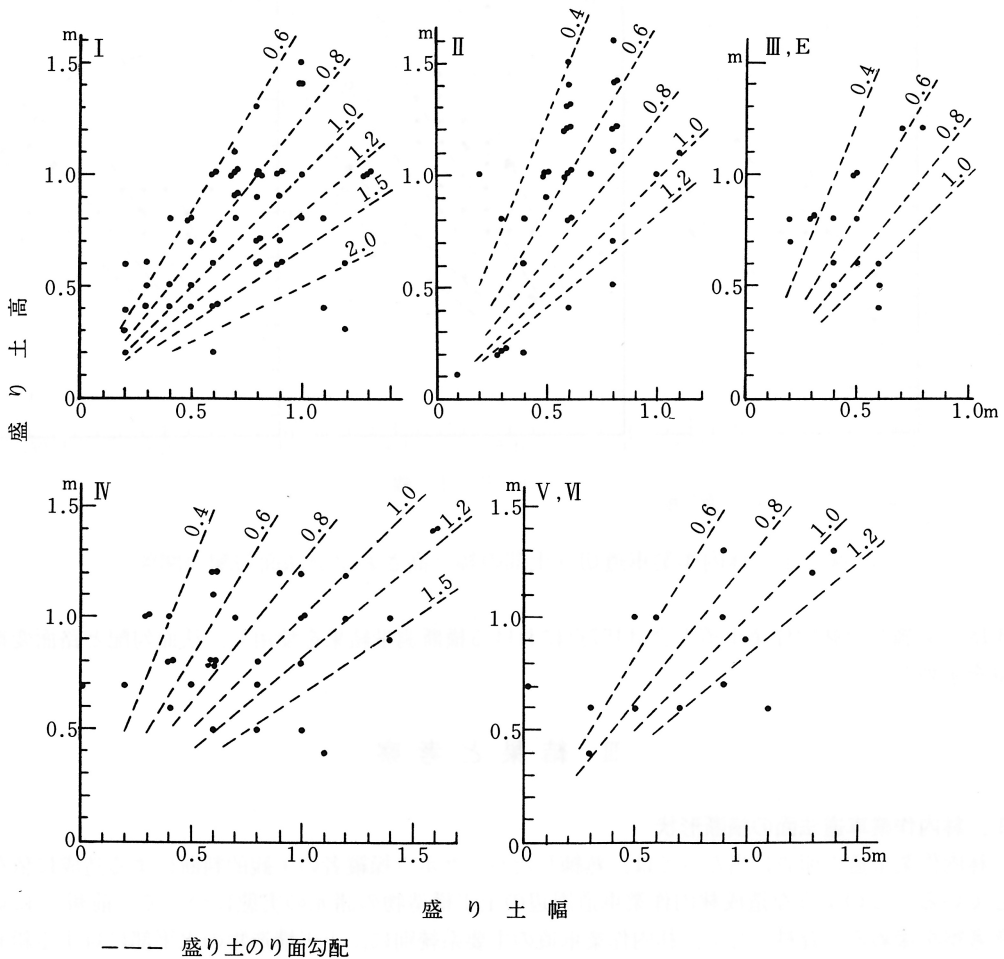


図-2 林内作業車道盛り土部の幅と高さおよび法面勾配の関係

る。Ⅱ系統では、2割の緩勾配を示す例もあるが、4分から1割2分の間で、特に8分より急な範囲に集中していて、平均は7分余りである。ⅢとEの系統では、4分から1割に主として分布し、平均7分に対して対称的出現である。Ⅳ系統では3分から1割5分に、やや広がった分布で平均は9分弱である。ⅤとⅥの系統では、6分から1割2分に散布し平均は9分弱である。盛り土部には、部分的に間伐材利用による木柵工もあって、盛り土勾配を著しく急にしている例もあるのだが、概観的には、いずれの路線系統の盛り土勾配も、一般的盛り土斜面の安定勾配の目安である1割ないし1割2分よりも急な勾配にやや偏った集中分布であることが明らかである。

2. 林内作業車道の路面変形

一般林道の観測例³⁾によると、林道路面は毎年侵食されていることが十分うかがい知られるのであるが、当初に見られる僅かな侵食が、次第に深く縦侵食されていったり、ときには溝の側面の横侵食が著しく進んでいて、路面の侵食の様子は、時によって、また場所によって、更に路面上における流下水の水みちの変化によって異なってくるので、結果として形成される林道路面の横断形状は月日の経過とともに複雑な様相を呈している。林内作業車道の路面の変形は、基本的には一般林道における侵食変形と同様の要因によって現れると思われる。すなわち林内作業車道の路面変形は、クローラ型車両の通行による路面の加圧あるいは攪乱と、降雨の衝撃による土粒子の飛散および流下水による侵食流亡と流下土砂の堆積再移動等多様な因子の組み合わせによって、現れたものと考えられ、それらの断面形状は複雑である。横断測量による林内作業車道の路面横断形の例をみると図-3のようである。路面横断形を変形状況を中心に図-3に示す4型に分け、出現状況を求めると表-1のとおりである。A型(山側で深い変形)すなわち切り土部での著しい変形の出現率は40.76%で最大、B型(左右同程度の深さ)では21.02%、C型(谷側で深い変形)すなわち盛り土よりでの著しい変形は29.94%の出現率、D型(中央で深く左右の区別が不明確)が8.28%の出現率であった。谷側の変形部が盛り土部分かどうかについて確認しにくいのであるが、出現率の結果は盛り土部分が特に沈下変形したというものではないことを示している。クローラ型車両(築水やまびご号)の左右履帯通行

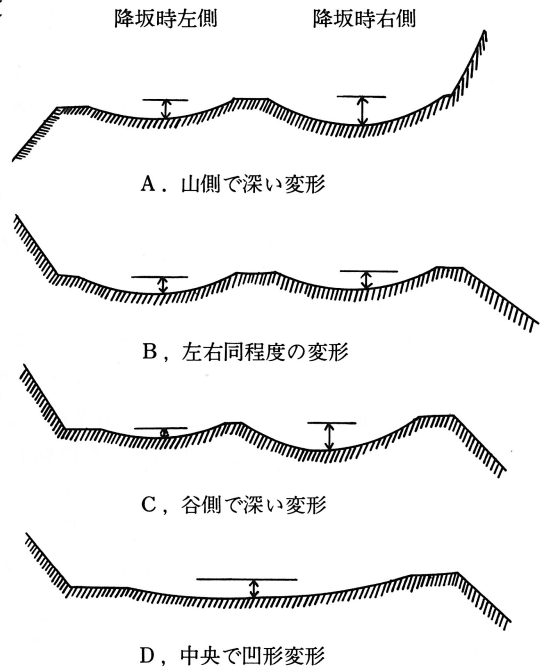


図-3 横断路面の変形例

表-1 横断路面変形の型と出現率

路線系統 ¹⁾	変形の型(図3)			
	A	B	C	D
Ⅰ a~c	12	3	13	5
Ⅰ 支線	5	1	10	4
Ⅱ a~b, E	9	6	5	0
Ⅱ 支線	6	8	6	2
Ⅲ a~b	5	6	2	0
Ⅳ a~c	6	5	7	1
Ⅳ 支線	11	2	3	0
Ⅴ	5	1	1	0
Ⅵ	5	1	0	1
合計	64	33	47	13
(出現率%)	40.76	21.02	29.94	8.28

部における変形と、車両の接地圧の相違に対応した左右不均一さが認められる。そこで、この部分の変形幅と変形深さを、左右別々に計測した結果から、路面変形の実態について考察する。

表-2 路面変形深さ出現頻度

系統・路側		深さ階	2 cm	4 cm	6 cm	8 cm	10cm	15cm	20cm
I a~c	右		9.37%	6.25%	25.00%	6.25%	18.76%	25.00%	9.37%
	左		15.38	3.85	30.77	19.23	19.23	3.85	7.69
II a~b	右		6.67	20.00	40.00	20.00	13.33	—	—
	左		28.57	21.43	42.86	7.14	—	—	—
E, III a~b	右		6.67	26.67	13.33	13.33	20.00	13.33	6.67
	左		20.00	26.67	20.00	26.67	—	6.66	—
IV a~c	右		15.00	25.00	25.00	25.00	5.00	—	5.00
	左		5.25	26.32	26.32	26.32	15.79	—	—
V, VI	右		—	—	23.08	30.77	7.69	15.38	23.08
	左		7.14	71.43	14.29	—	—	7.14	—
I 支線	右		—	4.76	14.29	57.14	19.05	4.76	—
	左		—	18.75	68.75	6.25	6.25	—	—
II 支線	右		14.29	19.05	33.33	23.81	9.52	—	—
	左		—	27.78	44.44	22.22	5.56	—	—
IV 支線	右		—	33.33	33.33	20.00	13.34	—	—
	左		—	57.14	21.43	—	7.14	14.29	—

注：路側は、車輛降坂時の右側と左側に区分している。

1) 変形深さ

林内作業車道の路面変形深さの出現頻度分布を、路線系統別に表-2に示す。車輛降坂時の右路側と左路側に区分している。右路側で、変形深さ10cm以上を示す例は主要路線系統のうちI a~c系統、E・III a, b系統およびV・VI系統で多く、出現頻度は、いずれも40%以上50%に達している。しかし、これら主要路線系統の左路側および支線部の左右両路側部では、変形深さ10cmを越える例は、I a~c系統を別として、20%以内が主である。II a, b系統では、左右路側とも変形深さ6cmに最大集中が見られ、E・III a, b系統とVI a~c系統では変形深さ4~8cmに主要部が分布している。また、V・VI系統では、右路側が変形深さ6~8cmに、左路側が変形深さ

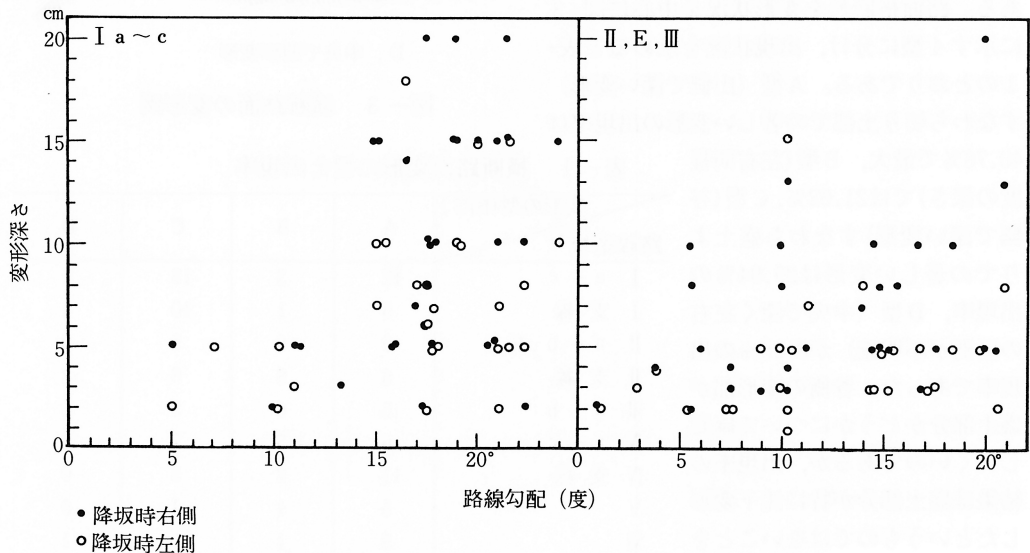


図-4 林内作業車道の縦断勾配と路面変形深さ

さ4 cmに分布している。これらに対して支線部では、分岐される主要路線系統によって異なり、変形深さ4 cmから8 cmの間に集中分布が認められ、15cm以上の分布は少ない。以上を要約すると、車両降坂時の右路側の路面の変形深さ（全平均値7.7cm）が、左路側の変形深さ（全平均値5.8cm）に比べて大きい例が多いことが明らかであり、これは使用車両「築水やまびこ号」の構造に由来する積載時に現れる左右履帯部接地圧の不均衡に原因するものと考えられる。また主要系統Ⅰ a～cで変形深さが大きい値の出現頻度が著しく高い点は、前報²⁾でも触れたが、林道からの主要導入部分を含んでいて、車両の通行量が多くなることと、路線の縦断勾配が比較的急で降雨時に流下水が集中するためと考えられる。

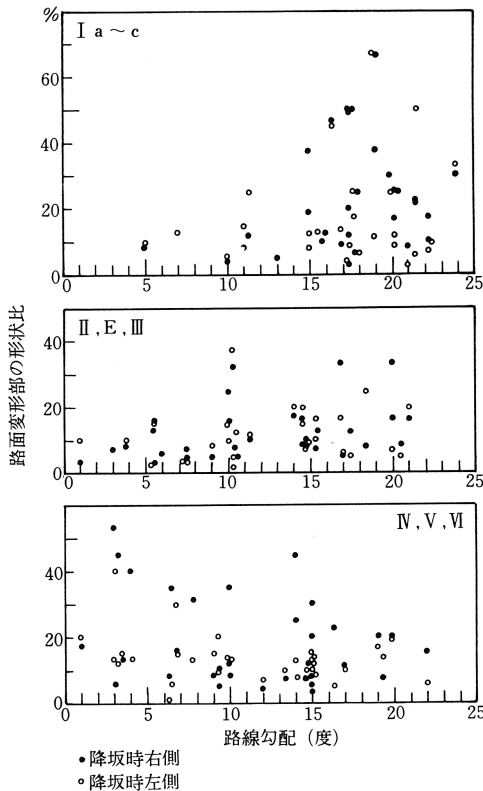
次に林内作業車道路面の変形深さと路線の縦断勾配との関係を見ると図-4の例のようである。主要系統Ⅰ a～cの例では、部分的には縦断勾配が急な所で変形深さも大きい値を示すが、総体的には、変形深さの増大に対する縦断勾配の増大の影響はうかがえない。他方、図中の主要路線Ⅱ・E・Ⅲ系統の結果は、その他の主要路線系統および支線における結果と、ほぼ同様の様相を示しているのであるが、縦断勾配が急な所でも変形深さが大きい値を示す例はほとんどなく、両者の間に全く関係はうかがえない。一般に、一定断面積の雨裂変形断面が生ずる流下長は、縦断勾配が急になるほど短くなる。したがって流下長がほぼ同じであれば、縦断勾配が急な所で変形断面が大きくなることになる、すなわち変形深さも大きくなるであろう。この点に注意して見ると、上述の結果から、林内作業車道の路面変形は、クローラ型車両の通行による影響が主因子となって現れ、これを降雨流下水による侵食が助長複雑化しているものと推定できよう。また筆者⁴⁾による花崗岩風化土地域における林道路面の観測結果では、開設後5年以内の比較的新しい路線および古い開設でよく補修されていて侵食変形が比較的目立たない路線では、縦断勾配と変形深さの間に明らかな有意の相関が認められた。更に、補修が十分でなく侵食が累積している路線の例でも一応有意の関係がうかがわれ、本結果とはやや異なっている。これらの資料は、本調査例における路面変形への、クローラ型車両通行の影響を裏づけるものと思われる。

表-3 路面変形幅の出現頻度

系統・路側		幅 階	20cm	40cm	60cm	80cm	100cm	150cm
Ⅰ a～c	右		12.90%	25.81%	38.71%	19.35%	3.23%	—
	左		20.00	20.00	16.00	32.00	12.00	—
Ⅱ a, b	右		—	6.67	66.66	20.00	—	6.67
	左		14.28	42.86	42.86	—	—	—
E, Ⅲ a, b	右		—	40.00	46.57	13.33	—	—
	左		13.33	40.00	40.00	6.67	—	—
Ⅳ a～c	右		5.00	25.00	55.00	10.00	5.00	—
	左		10.53	36.84	31.58	21.05	—	—
V, Ⅵ	右		15.39	46.15	30.77	7.69	—	—
	左		14.29	57.14	7.14	21.43	—	—
Ⅰ 支線	右		4.76	28.57	42.86	14.29	—	9.52
	左		6.25	25.00	56.25	12.50	—	—
Ⅱ 支線	右		4.76	47.62	38.10	9.52	—	—
	左		—	33.33	50.00	11.11	5.56	—
Ⅳ 支線	右		6.67	33.33	40.00	20.00	—	—
	左		7.14	42.86	42.86	7.14	—	—

2) 変形幅

林内作業車道の路面変形最大幅の出現頻度分布を路線系統別に表-3に示す（左と右の区分は表-2と同様）。左右路側とも、変形幅40cmまたは60cmに最大集中分布するか、あるいは両階に、ほぼ同量づつ分割集中を示す場合が多い。主要路線Ⅰ a～c系統の左路側では変形幅80cmに最大



図一 5 林内作業車道路面の勾配と変形部形状比 (深さ/幅)

の違いが認められる。すなわち主要路線系統では、支線部に比べて車両走行量が多くなるため、このような結果を示すようになるものであろう。また降坂時右路側では形状比20%を越える例、

集中があるが、その他の系統では変形幅40cmから60cmの範囲で、分布の過半数を占めていて、変形深さの頻度分布に比べると、系統間の分布形が比較的類似している。変形幅が1.0mを越える例は、一路側の変形が主体で左右の区別が不明確な場合である。変形幅は、クローラ型車両の履帯幅25cm程度から、80cm以上1.0mに達する例があるけれども、上述のように変形幅40cmから60cm、すなわち履帯幅の2倍程度までに集中していて、変形幅の形成には車両走行による影響が大きいことが推察できる。

3) 変形部分の形状比

林内作業車道路面の変形深さと幅の比で表し、これを形状比として見てみると図-5のようである。形状比は20%以内が大部分である点は、出来等⁵⁾の報告と同様であるが、主要路線のI a~c、IV、V、VI系統では20%以上の例も多く、深い溝状変形の発達が進んでいる部分もかなりある点でやや異なっている。これに対して主要路線から分岐する支線部では、形状比20%以内が主体で、20%を越える例は少なくそれも30%までで、出来等⁵⁾の結果に類似していて、上記主要路線系統と

表一 4 林内作業車道路面の変形値と変形容積の関係 (相関係数)

路線系統	降坂時右側		降坂時左側		全	
	変形深	変形幅	変形深	変形幅	変形深	変形幅
I a~c	++ 0.5805	+ 0.4382	+ 0.4133	++ 0.5434	++ 0.5070	++ 0.4873
II a, b	+ 0.6148	+ 0.5864	+ 0.5584	+ 0.3856	++ 0.6655	++ 0.6439
III a, b, E	+ 0.5832	+ 0.4748	+ 0.5718	+ 0.0662	++ 0.6200	+ 0.2501
IV a~c	++ 0.6526	+ 0.2986	+ 0.4737	++ 0.6541	++ 0.5830	++ 0.4627
V, VI	+ 0.5310	+ 0.2594	+ 0.5224	++ 0.3889	++ 0.7377	+ 0.2861
I (1)~(5)	+ 0.0513	++ 0.4697	++ 0.4049	++ 0.7231	+ 0.4156	++ 0.5452
II (1)~(3)	+ 0.4609	++ 0.7082	++ 0.6211	+ 0.1470	++ 0.6040	++ 0.5484
IV (1),(2)	+ 0.5697	+ 0.3127	+ 0.5111	+ 0.4790	++ 0.5474	+ 0.3516

+ 5%の危険, ++ 1%の危険

すなわち変形幅に対して変形深さが比較的大きい例が多いことを示している。次に図-5で路線縦断勾配に対する形状比の分布をみると、両者の関係はなく、低規格林道の例⁵⁾のような路線勾配20%前後を頂点にする上に凸型の分布傾向は認められない。

4) 変形容積

左右路側別に、変形幅を底とし変形深さを高さとする逆三角形の変形断面を想定し単位路線長当たりの変形容積を算出した。それぞれの横断測量箇所ごとの、路線長1m当たりの路面変形容積と、変形深さあるいは変形最大幅との関係を、主要路線系統群と支線部について求め、一例を

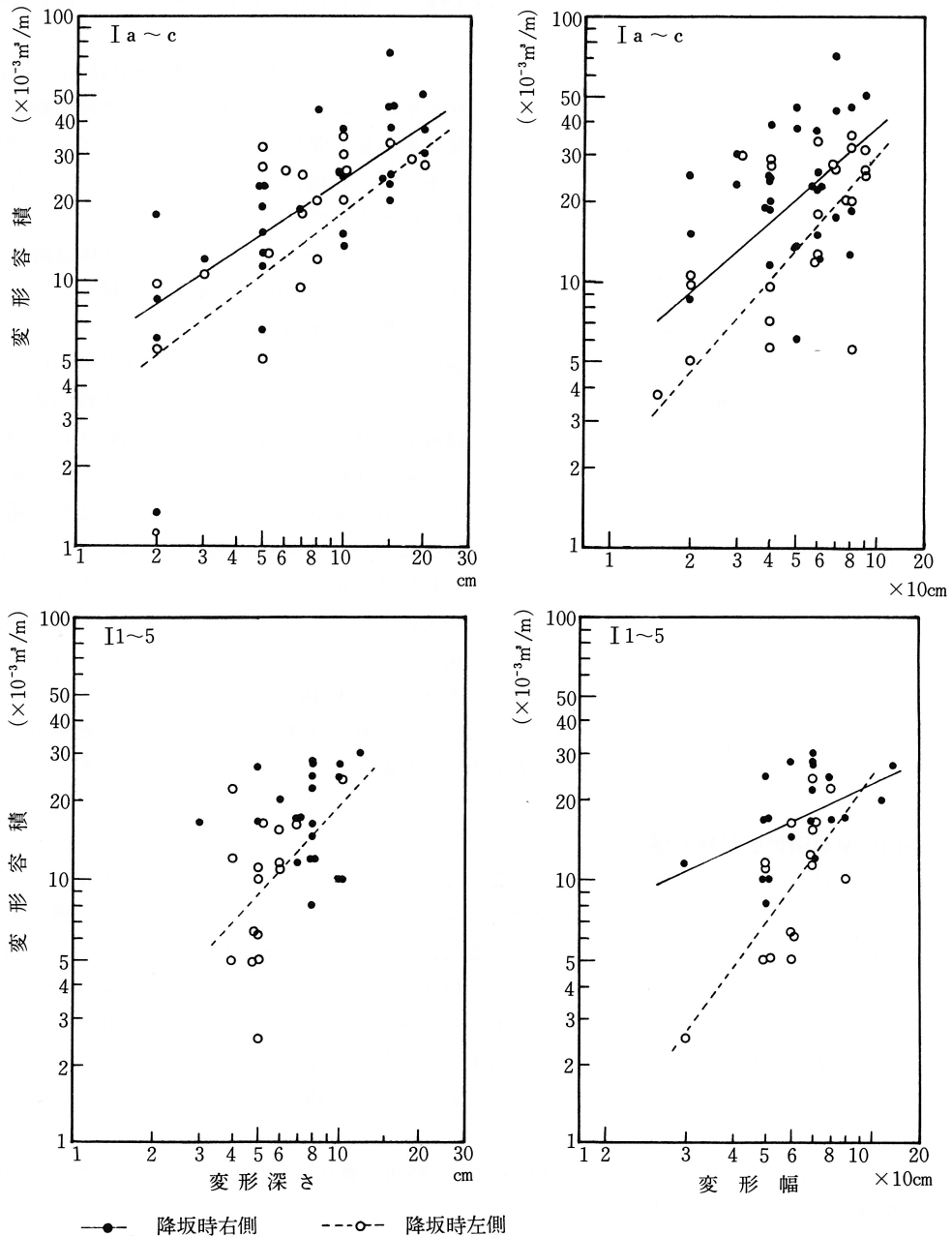


図-6 林内作業車道路路面の変形深さ及び変形幅と単位長当たり変形容積

図-6に示す。変形深さおよび変形幅のいずれに対しても、変形容積の値は、左路側に比べ右路側が、幾分大きい値に偏って分布している。変形深さおよび変形幅のいずれの場合も、変形容積との間に指数関数的関係が推定される場合が多く、それらの相関係数を求めた結果を表-4にまとめるとともに、有意の相関が認められる例については図-6に回帰直線を記入している。降坂時右側と左側に区別してみた場合、変形深さと変形容積の間には、主要路線系統のほとんどで、危険率5%以内の有意の相関が認められる。これに対し変形幅と変形容積の間では、有意な関係を示す路線系統がほぼ半数に限定されている。左右路側を総括してみた場合は、主要路線系統の全ておよび支線部のかなりの部分において、変形深さと変形容積の間に危険率1%の顕著な相関が認められる。

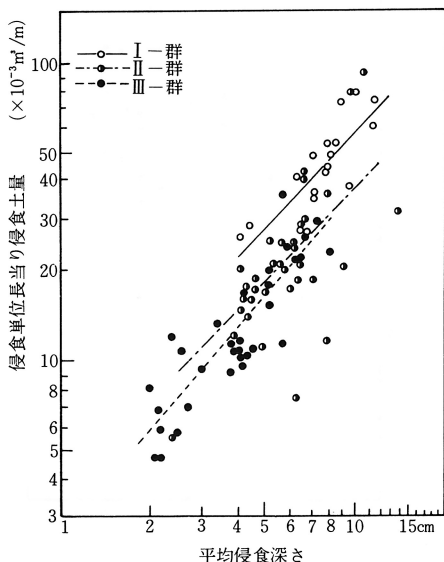


図-7 林道路面における平均侵食深さと単位長当たり侵食土量

合わせた全域に分布している。これらの点からも、今回の林内作業車道調査例が、一般林道の状況とやや異なり、侵食だけでなく、林内作業車走行の特徴がかなり影響して現れた変形であることを示していると推察される。

3. 林内作業車道横断形状の保全

切り土法面は、バックホウによる切りっぱなしであり、盛り土法面は、部分的に木柵施工工部が点在する以外は、土羽打ちなどの法面保護工は全く施されていない。切り土高および盛り土高とも比較的低い例が多く、しかも盛り土法面は既にかなり植生が侵入緑化しているので、法面の安定については、それほど心配はないものと思われる。しかし、切り土法面は裸出状態が多く、調査時に、浅い崩落が2箇所みられたほか表面土砂の流下も少量ではあるが随所で現れている。このような現象は一般林道でも普通に見られるもので、林内作業車道に限った現象ではない。今後も切り土面の多少の崩落は避けられないだろうから、点検管理を心がけ、経過をみてゆく必要がある。

路面については、一般林道における実測結果から、路面の溝状侵食量 E (cm^3/m)、流水長 L (m) および路線勾配 I (%) との間に

$$\log E = c \cdot \log e + a \cdot \log I + b \cdot \log L \quad (a, b, c, e \text{ は定数})$$

の関係⁶⁾が、特に10%前後までの緩勾配区間で認められている。また急勾配林道についても

以上のような関係は、一般林道路面⁴⁾の侵食変形における、平均深さあるいは最大幅と侵食変形土量の間認められるもの(図-7参照)であり、その場合には、路面補修手入りの有無およびその程度によって3群に区分できるようである。すなわち図-7で、I群は林道開設後20年以上経て路面の侵食変形が累積しているもの、II群は10年前後経過し、補修が少なく、路面侵食量がかかなり多く、I群とIII群の中間に位置する、III群は開設後5年以内の比較的新しい路線および、古い開設だがよく補修され、侵食変形量が比較的小さいものである。今回の林内作業車道の調査結果では、変形幅と変形容積の関係はバラツキの幅が大きく、図-7に示した一般林道の例における関係に比べ、明瞭性にやや欠けている。一方、変形深さと変形容積の関係は、変形幅ほどではないがバラツキはかなり大きく、一般林道の例⁴⁾における上記3群を

$$\log E = a \cdot \log I - c \quad (a, c \text{ は定数})$$

の関係が報告⁵⁾されているが、そこでは流水長の増加に伴う侵食断面積の増加が見られなかったため、前式と相関しているという。また同報告では、勾配が23%でいどまでならば勾配が急になるにつれ侵食断面積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結果を示している。これらの関係は林内作業車道についても、基本的には十分考慮に値するものと判断される。そこで、今回の林内作業車道における変形断面積と縦断勾配の関係をみてみると図-8のとおりである。主要路線のⅠ系統では、勾配の増大に伴い変形断面積が増大する例もかなりみられるけれども、一般的には他の系統でも同様に、両者の間の関係は明瞭でなく、前記報告⁵⁾とも全く異なっている。これは、さきにも触れたように、本調査地での使用車両の形式的特性に由来する路面変形が大きく影響し、侵食を主体にした溝状変形ではないためと思われる。しかしながら、林内作業車道では、一般林道に比べて路面勾配Ⅰが大きく、また溝状変形部が連続的に長いので、降雨水の流下長を長くし、流下速度を増すことにより侵食量を増大する心配があることを、これらの式は示している。したがって林内作業車道の路面の保全を図るためには、一連続流水長を極力短くすることが大切である。前報²⁾では、希望値として例外的急勾配区間には横断排水溝を提案したが、一般的急勾配区間においても、例えば素掘り凹型あるいは一本丸太の斜め横断伏せ込みにより、適宜の間隔⁷⁾で流下水路の切断を試みるのが望まれよう。ただしこの場合、丸太等が路面から突出し段差を生ずると車両の安全走行に影響するので、このような心配のないよう施工することが肝要である。

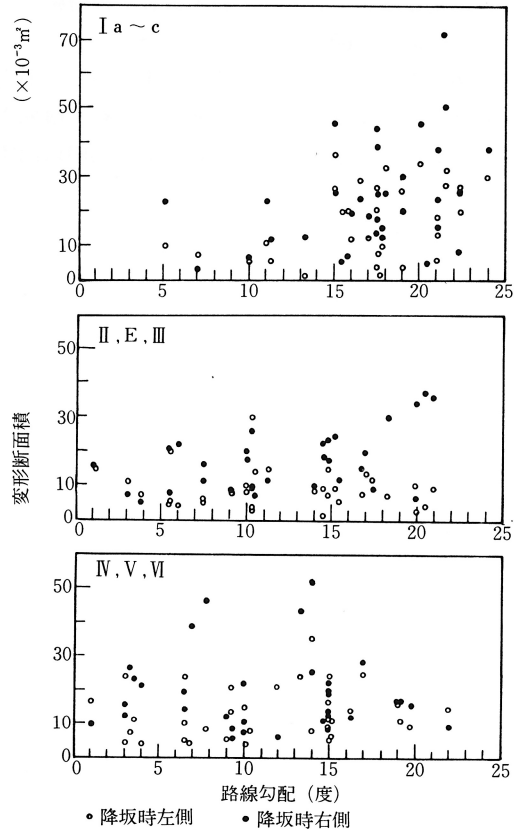


図-8 林内作業車道路面の勾配と変形断面積

Ⅳ おわりに

林内作業車道の横断形状を調べ、切り土部および盛り土部とも、切り土高および盛り土高は比較的低いけれど、総体的に急勾配に偏っていること、路面変形の状況は、一般林道の状況とやや異なり、走行車両の特徴による影響を示していること、したがって路面保全に対する配慮を怠ってはならないことを明らかにした。

引用文献

- 1) 伏見知道・井上章二・青野忠勝：小型林内作業車の簡易専用路の開設に関する若干の考察，愛媛県久万町の例を中心に，愛媛大演報，25：15～36，1987

- 2) 伏見知道・井上章二・高石貞彦：小型林内作業車道の構造緒元にかんする若干の考察，愛媛大演報，**26**：123～133，1988
- 3) 古谷士郎・酒井徹郎・佐々木功：林道の路面侵食について（VI）シミュレーションによる路面侵食量の2～3の検討，京都大演報，**57**：192～206，1986
- 4) 伏見知道：瀬戸内花崗岩風化土地域における土質道の侵食と保全，昭和54～56年度文部省科学研究費（総合研究A）報告書，65～74，1982
- 5) 出来俊彦・古谷士郎・鈴木保志・神埼康一：急勾配林道における路面侵食の実態について，京都大演報，**60**：198～207，1988
- 6) 酒井徹郎・佐々木功・藤井喜雄・古谷士郎：林道路面の侵食について，侵食溝の実態調査，昭和54～56年度文部省科学研究費（総合研究A）報告書，35～45，1982
- 7) 峰崎浩彦・南方康：横断排水溝の間隔に関する研究．日林誌；**64**（5），193～197，1982
(1989年7月31日受理)