

花崗岩風化土地域の林道土工構造物表面の
侵食について(Ⅲ)

モデル路面での雨水流出と侵食

伏見 知道*・藤久 正文**・尾上 清利**

On the Surface erosion of the Forest road structure
built by the Earth work on the Weathered
granite region (III)

an outflow and a soil erosion at a model
section of forest road

Tomomichi FUSHIMI, Masafumi FUJIHISA and Kiyotoshi OGAMI

Summary: In order to clarify the mechanism of surface erosion on the forest road, the experimental section is established on the Hiwada route of the forest road in the Komenono University Forest of Ehime University. The experimental section is 4 meters in width and 20 meters in length, and the soil is a decomposed granite. The observations of the amount of rainfall, the runoff and the sediment yield are carried out every rain from July in 1980 to December in 1981. And this report treats of thirty two examples from their observed values. The results are summarized as follows:

1. Average coefficient of runoff is about 30 percent on the experimental section of forest road surface.
2. Three fourths of the runoff flows in the side ditch and a fourth of that flows in the open culvert from the forest road surface, and then the similar ratio is observed between those discharge yields.
3. The adequate correlation is estimated between the runoff and the factors of rainfall, namely total rainfall, maximum hour rainfall intensity and an accelerated precipitation index.
4. The adequate correlation is estimated between maximum ten minutes rainfall intensity and each part of the sediment yield from the forest road surface.
5. The adequate correlation is estimated between total sediment yield or the partial sediment yield flowed in the side ditch and the corresponded part of the runoff.

本研究の一部は、文部省科学研究費補助金（昭和45年度～昭和56年度総合研究Aの分担⁴⁾）によるものである。

* 森林工学研究室 Laboratory of Forest Engineering

** 附属演習林 University Forest

6. The difference of the particle size distribution between the eroded soil flowed in the side ditch and the eroded soil flowed in the open culvert is estimated from the values of the grain size accumulation curves.

要 旨 花崗岩風化土（オンマサ）の林道路面侵食を観測するため、本学演習林既設林道の一部にモデル区間を設けた。昭和55年から昭和56年末までのうちの32降雨時の例について考察し、得られた要点は次のとおりである。

1. 全雨水流出率は約30%で、そのうち75%が側溝流入、残部が横断溝に流入する。
2. 雨水流出は、両溝流入分とも、一降雨量、一時間最大降雨量あるいは降雨加速指数との間に高い相関関係が認められる。
3. 流出土砂の約4分の1が側溝に、残りが横断溝に流入している。
4. 各種土砂流出量は、10分間最大降雨量と相関関係を示している。
5. 雨水流出量と土砂流出量とは、それらの全量及び側溝流入分の間、高い相関関係が認められる。
6. 流出土砂の粒度組成は、側溝流入分に比べると、横断溝流入分において、微粒成分にやゝ偏した組成を示す例が多い。

I はじめに

林道土工構造物表面の侵食機構解明の一環として、著者は、愛媛県内花崗岩マサ土地域の林道路面の侵食変形の実態を調査報告¹⁾²⁾するとともに、路面侵食抑制のための横断排水溝の配置について考察報告³⁾⁴⁾してきた。これらと併行して、既設林道の一部を区切り、継続観測用モデル路面区間を設け、降雨水及び土砂流出と側溝及び横断溝の意義につき、考察してきている。ここに、昭和55年7月から昭和56年12月までに得られた主要な観測結果について、若干の考察をまとめ報告する。モデル区間の建設施工及び観測に協力いただいた本学附属演習林教職員の皆さんに謝意を表す。

II 方 法

継続観測用モデル路面区間を、愛媛大学農学部附属演習林米野々演習林1林班の栓皮田林道始点附近に設けた。モデル区間は、路線長20m、有効幅員4.0m、縦断勾配10%、横断勾配4%で、その両側に現場打設のコンクリート製L型側溝を、また下流端には鉄筋コンクリート製U型横断溝を設け、鉄格子ふたを置いている。これら側溝及び横断溝に流入する降雨水及び流出土砂を、それぞれ鉄筋コンクリート製受槽に導くようになっている。路面は花崗岩風化土（通称オンマサ）で、粗粒分が多く、堅い土質である。昭和55年7月から12月までの28降雨と、昭和56年6月から12月までの11降雨において、一連続降雨ごとの降雨水流出量と土砂流出量を測定し、土砂は粒度組成をJIS-A1204に従い、標準網フルイにより求めている。また、降雨量の観測値は、モデル路面区間に隣接する“斜面ライシメータ観測区”の資料を使用している。なお、路面通行車両の通過数は作業日誌と車両運行日誌等により確かめている。

III 結果と考察

観測降雨数は39例あるのだが、受槽をオーバーフローした例や土砂流出のない例等があるため、32例について集計考察した。

1. 降雨水の流出

モデル区間内林道路面における降雨量及び雨水流出について、1降雨当たり平均値を表-1に示す。降雨水の流出量は、1降雨平均95ℓである。1降雨量に対する流出率は9～87%の範囲にあるが、50%以上は2例にすぎず、観測例の約3分の2では流出率20～32%の範囲にあり、その全平均流出率は表-2に示すように約24%である。昭

和56年は降雨数は少ないが、降雨量の集中した例ではオーバーフローのため流出量が確認できなかったため、表-2の昭和56年の値は年平均値を示していないであろう。昭和55年は7月以降の値であるが降雨の大半を占めているので、この流出率約30%は、モデル区間における年平均的降雨水流出率の目安となろう。

路面流出雨水のうち、側溝と横断溝への流入割合を見ると表-2のとおりである。側溝流入分は

表-1 林道路面における1連続降雨当り雨水流出量

事 項	1連続降雨当り平均値
降 雨 量 (R_T)	50.1mm
10分間最大降雨量 (R_{10})	4.8mm
1時間最大降雨量 (R_H)	11.2mm
雨水路面流出量 (W_T)	952ℓ (11.9mm)
雨水側溝流入量 (W_S)	709ℓ (8.9mm)
雨水横断溝流入量 (W_V)	243ℓ (3.0mm)

表-2 林道路面における雨水の流出率

観 測 期	雨水流出率	側 溝 流 入 率		横 断 溝 流 入 率	
	W_T/R_T	W_S/R_T	W_S/W_T	W_V/R_T	W_V/W_T
昭和55年	29.29%	22.33%	76.24%	6.96%	23.76%
昭和56年	11.01	6.99	63.45	4.02	36.55
全 平 均	23.76	17.69	74.45	6.07	25.55

降雨量の6~89%で、そのうち50%以上は3例だけで、観測例の約3分の2は15~32%の範囲にあり、全平均値は17.69%である。年間の平均値の例としては、前述の理由から、昭和55年の約22%が目安になろう。一方横断溝流入分は、降雨量の2~17%で、そのうち10%以上は5例で、観測例の約3分の2は5~8%の範囲にあり、全平均値は6.07%である。次に雨水路面流出量の側溝及び横断溝への流入割合を見ると、側溝流入率は50~90%で、観測例の約60%が流入率70%代であり、表-2に示すように全平均は74.5%である。これに対し横断溝流入率は10~50%で、大多数の観測例で20%代を示し、全平均値は表-2に示すように25.5%である。結局このモデル区間の例では、平均して降雨量の約30%内外が路面を流下し、そのうち約75%が側溝に、残る約25%が横断溝に流入している。

次に降雨流出量と降雨因子の関係を見てみる。降雨因子としては、一降雨ごとの全降雨量、1時間最大雨量、10分間最大降雨量及び三者の積で示される降雨加速指数⁵⁾を取りあげた。全降雨量と路面における雨水流出量との関係を示すと図-1のようであり、両者の

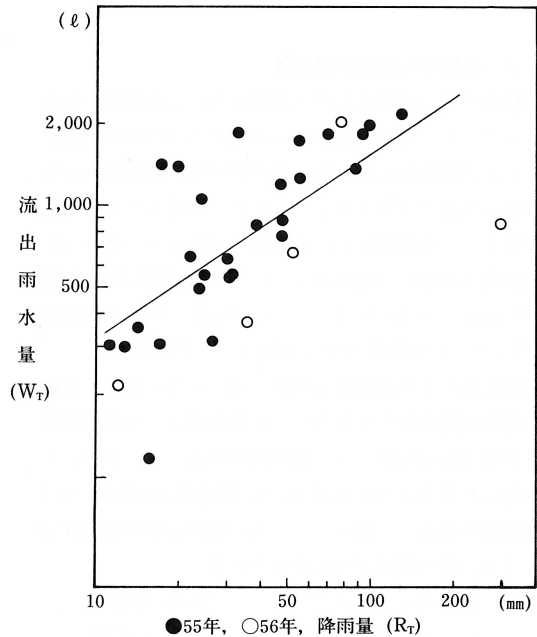


図-1 路面における降雨と雨水流域

表-3 林道路面における降雨量と雨水流出量の関係

降 雨 因 子	雨 水 流 出 量		
	全 量	側 溝 流 入 量	横 断 溝 流 入 量
1連続降雨量 (R_T)	0.68387**	0.51813**	0.79727**
10分間最大降雨量 (R_{10})	0.28217	0.25536	0.21324
1時間最大降雨量 (R_H)	0.57897**	0.49398**	0.46944**
降雨加速指数 ($R_T \cdot R_{10} \cdot R_H$)	0.66143**	0.54798**	0.63738**
(R_{10}) ²	0.27344	0.24702	—

** 99%信頼

間には指数関数的関係がうかがわれ、回帰分析による相関係数を表-3に示している。全降雨量に対する流出量 (W_T)、側溝流入量 (W_S) あるいは横断溝流入量 (W_Y) は次の回帰式で推定することができる。

$$\begin{aligned} W_T &= 68.86R_T^{0.677} & r &= 0.6839^{**} \\ W_S &= 68.49R_T^{0.586} & r &= 0.5181^{**} \\ W_Y &= 7.99R_T^{0.722} & r &= 0.7973^{**} \end{aligned}$$

路面における雨水流出量は、全量及び、側溝あるいは横断溝流入分とも、10分間最大降雨量を除く、表記の各降雨因子との間に、99%の信頼における相関関係が認められる。林道路面における雨水流出量に対しては、1降雨量あるいは降雨加速指数 ($R_T \cdot R_{10} \cdot R_H$) が比較的高い相関関係を示すのに対し、10分間最大降雨量及びその自乗値のような、侵食に関連が深いと認められている降雨因子は、何らの関係を示していない。

2. 路面からの土砂流出量

林道モデル区間における路面からの土砂流出量を表-4に示す。流出土砂量は32降雨の合計は113kgf強、そのうち側溝流入分は82kgf強で72.6%，横断溝流入分は31kg余で27.4%である。これを一降雨当りの平均値でみると、全流出量は3.55kgf ($44.4g/m^2$)、そのうち側溝流入量は2.58kgf ($32.3g/m^2$) で、横断溝流入量は0.97kgf ($12.1g/m^2$) となり、両溝への流入割合は2.7:1、昭和55年の例では約3:1である。

降雨量と土砂流出量の間には図-2に示すような指数関数的関係がうかがわれ、各降雨因子と土砂流出量との間の回帰分析による相関係数を表-5に示す。1降雨に対する土砂流出量 (S_T)、側溝流入土砂量 (S_S) 及び横断溝流入土砂量 (S_Y) は10分間最大降雨量 (R_{10}) により、次の回帰式から推定される。

$$\begin{aligned} S_T &= 686.10R_{10}^{0.826} & r &= 0.6417^{**} \\ S_S &= 425.46R_{10}^{0.890} & r &= 0.6593^{**} \\ S_Y &= 235.54R_{10}^{0.665} & r &= 0.4651^{**} \end{aligned}$$

表-4 林道路面からの土砂流出量

観測期	全土砂流出量	側溝流入分	横断溝流入分
昭和55年	94,468gms	70,892gms (75.0%)	23,576gms (25.0%)
昭和56年	19,219	11,666 (60.7%)	7,553 (39.3%)
全期 一降雨平均値	113,687 3,553	82,558 2,580 (72.6%)	31,129 973 (27.4%)

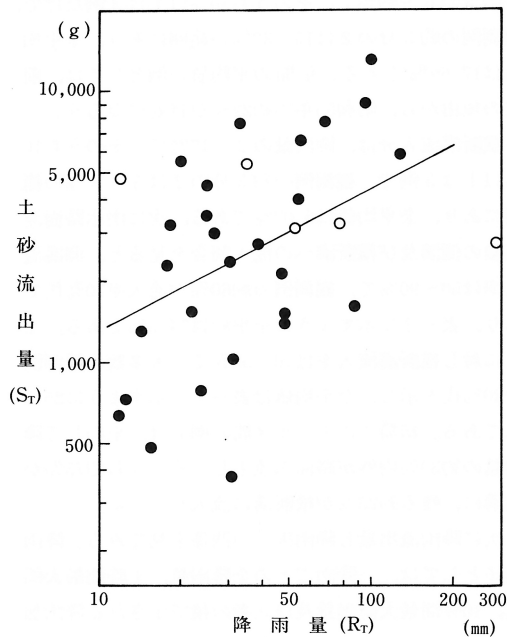


図-2 路面における降雨と土砂流出

表-5 林道路面における降雨量と土砂流出量の関係

降雨因子	土砂流出量		
	全量	側溝流入量	横断溝流入量
1連続降雨量 (R_T)	0.43860**	0.43917**	0.19837
10分間最大降雨量 (R_{10})	0.64171**	0.65930**	0.46512**
1時間最大降雨量 (R_H)	0.67093**	0.65035**	0.26419
降雨加速指数 ($R_T \cdot R_{10} \cdot R_H$)	0.74208**	0.76284**	0.39535*
$(R_{10})^2$	0.63554**	0.63440**	0.45241**

** 99%信頼

* 95%信頼

路面流出土砂の全量と降雨因子の間には、すべて99%信頼で相関関係が認められるが、特に降雨加速指数との間の相関が高い。また側溝流入量と降雨因子との間にも、全流出量の場合とほぼ対応した値で90%信頼において相関関係が認められる。これに対し、横断溝流入量ではやゝ異なり、10分間最大降雨量との間に99%信頼で、また降雨加速指数との間に95%信頼で相関関係が認められるだけである。

3. 路面における雨水流出量と土砂流出量

路面における雨水流出量と土砂流出量の関係を見ると、図-3に示すように指数関数的関係がうかがわれ、回帰分析による相関係数は表-6に示すとおりである。これによると、雨水流出量が多ければ土砂流出量あるいは側溝流入土砂量も多く、また側溝あるいは横断溝への雨水流入量が多ければ、それぞれの溝への土砂流入量も多く、さらに雨水の横断溝流入量が多いと側溝への土砂流入量が多いということが、99%の信頼で認められる。これらに対し、横断溝流入土砂量に対する雨水流出諸量との関係は、やゝ信頼性が弱く、特に雨水の側溝流入量との間に相関は認められない。

なお、本モデル区間では、路側両側に側溝を設けて、路面の全流出量を捕捉している。これは切通し部の例に相当するが、一般林道の一侧溝型とは異なる。また、開設後補修もなく経過し、側溝が消失した路線ともやゝ異なっている。これら実際面との条件の相違については、今後試験を重ねてゆきたい。

4. 流出土砂の粒度組成

1 降雨ごとに路面から流出した土砂の粒度組成を調べたところ、側溝流入分と横断溝流入分では、いく分相違する例が多いので、次に若干の考察を加える。

1 降雨ごとの流出土砂を、粒径0.25mm以下、0.25~0.42mm、0.42~0.84mm、0.84~2.00mm、2.00~4.76mm、4.76mm以上の群にフルイわけして得た重量

百分率の最大、最小及び平均値を表-7に示す。平均的にみると、粒径2mm以下の各フルイわけ粒径範囲分の含有率が、横断溝流入土砂において、側溝流入土砂より多く、粒径2mmを越える部分の含有率は、逆に側溝流入土砂で横断溝流入土砂より多くなっている。すなわち、路面流出土砂のうち側溝流入分が、横断溝流入分に比べて、比較

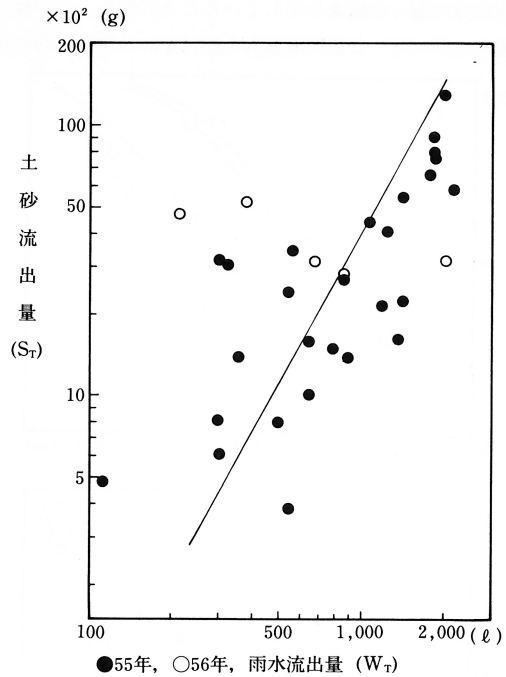


図-3 路面における降雨流出量と土砂流出量

表-6 林道路面における雨水流出量と土砂流出量

雨水流出量	土 砂 流 出 量		
	全 量	側溝流入量	横断溝流入分
全 量	0.63790**	0.65464**	0.32178*
側溝流入分	0.54768**	0.62840**	0.19355
横断溝流入分	0.53817**	0.49310**	0.3175 *

** 99%信頼 * 90%信頼

表-7 林道路面流出土砂の粒度組成分布

粒径範囲 (mm)	側溝流入土 (%)			横断溝流入土 (%)		
	最小	平均	最大	最小	平均	最大
0.25>	3.0	12.2	39.0	3.2	12.6	33.5
0.25~0.42	3.6	6.3	15.0	3.0	9.5	18.7
0.42~0.84	5.9	11.0	28.0	5.0	15.2	26.0
0.84~2.00	12.0	19.3	27.0	8.0	22.6	29.0
2.00~4.76	11.0	28.8	39.0	7.0	21.0	34.0
4.76≤	12.0	21.8	36.3	0.2	17.5	58.0

的粗粒分に偏った組成を示していることになる。この様子を粒径加積曲線を描き検討してみる。粒径加積曲線の側溝流入土砂 (S) と横断溝流入土砂 (Y) とが相対的に示す曲線型の主なものを図-4 の I ~ IV に示す。図中の I

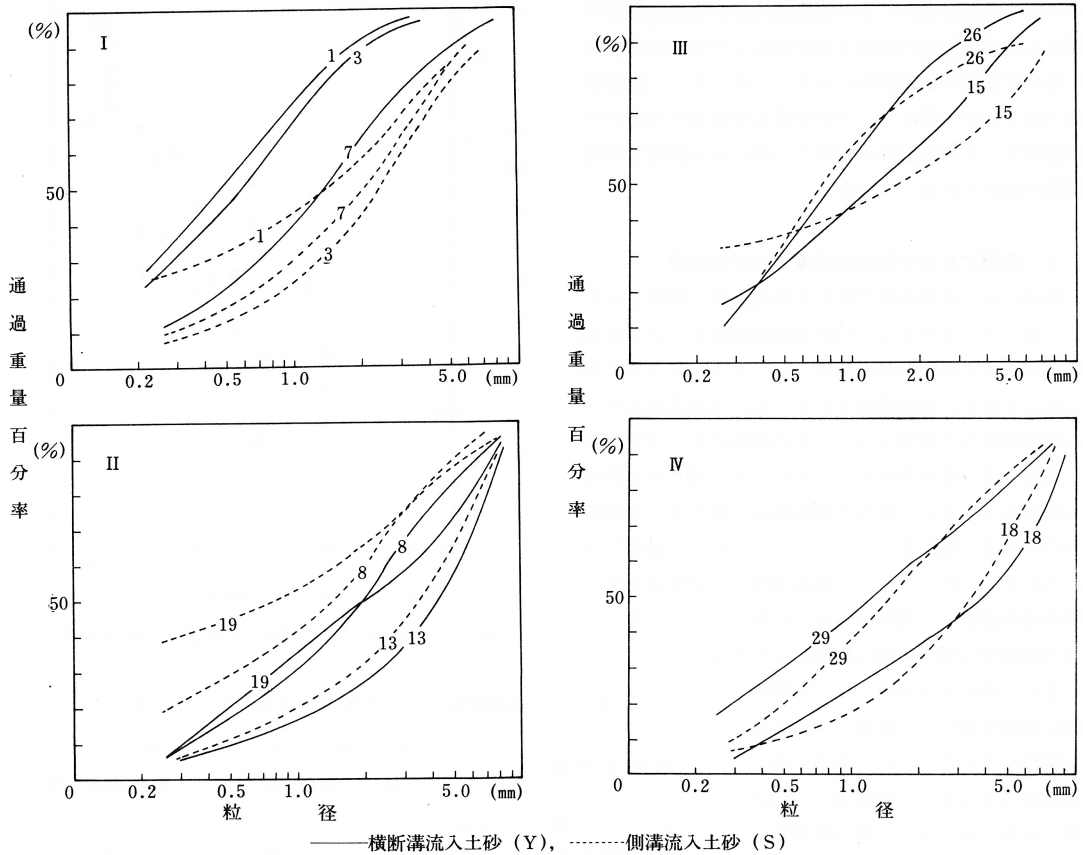


図-4 路面流出土砂の粒径加積曲線の例

型は、側溝流入土砂の粒径加積曲線 (S) が、横断溝流入土砂の粒径加積曲線 (Y) の上方で推移する型であるが、図中の例 1 及び例 3 は例 7 に比べて、曲線 S と曲線 Y との差が大きい。例 7 に類似する他の例には両曲線が著しく接近しているものがある。I 型を示す観測例は全体の 50% を越える。図中の II 型は、I 型とは逆に曲線 S が曲線 Y の上方で推移している。図中の例 8 及び例 19 のような平衡形に近い緩やかな上昇線形を示すものと、例 13 のように著しい下降形線形を示す例とがあるのだが、例 13 のような線形の観測例は最も少なく、前者の例は約 16% である。さらに図中 III 型と IV 型は、曲線 S と曲線 Y が大きく交差している点で同型だが、上下の位置関係が異なっている。III 型の例は少なく、IV 型の例がやゝ多く II 型に近い。

表-8 粒径加積曲線から求めた粒径分布と係数

事 項	粒 径 範 囲 (mm)						観 測 数	
	側 溝 流 入 土			横 断 溝 流 入 土			$D_Y > D_S$	$D_Y < D_S$
	最小	平均	最大	最小	平均	最大		
10%粒径 (D_{10})	0.14	0.32	0.55	0.11	0.27	0.56	11	19
30%粒径 (D_{30})	0.20	1.00	1.75	0.24	0.76	2.80	9	23
50%粒径 (D_{50})	0.81	2.07	3.44	0.48	1.66	5.62	9	23
60%粒径 (D_{60})	0.97	2.76	4.40	0.66	2.21	6.54	9	23
均等係数 (U_c)	4.4	9.5	22.1	4.0	8.8	21.1		
曲率係数 (U_c')	0.8	1.4	2.4	0.3	1.0	1.7		

次に、粒径加積曲線から読み取られる主要な通過重量百分率を示す粒径と、算出値である均等係数及び曲率係数を表-8に示す。粒径加積曲線上で、細粒分からの通過重量百分率10%から、次第に大径の粒分を合わせ通過重量百分率60%までの各比率を示す時の粒径は、横断溝流入土砂が、側溝流入土砂よりも広い分布域を示しているけれども、これは横断溝流入土砂の粒径には、例外的に大きい値を示す2~3の観測値があるためで、それぞれ平均的には、側溝流入土砂の粒径の方が大きい。そこでさらに、表-8に示す D_{10} ないし D_{60} における、側溝流入土砂の粒径(D_s)と横断溝流入土砂の粒径(D_v)の間の大小を、1降雨ごとに比べ、観測数を集計し、表-8に併せ表示してみる。これによると、 D_{30} 以上の部分では、図-4のI型及びIII型の一部に示すような D_s が D_v より大きい観測数が、 D_s が D_v より小さい観測数の約2.5倍である。これは、側溝流入土砂では、横断溝流入土砂に比し、粗粒分にやや偏した粒度組成を取る場合が多いことを示すものに他ならない。

このような粒度組成の偏りが、どの程度のものかを見るため、均等係数(U_c)及び曲率係数(U'_c)を、判別可能な例について求め集計した結果を、表-8の下欄に添記している。 U_c は平均8.8~9.5、 U'_c は1.0~1.4で、いずれの粒度分布も著しく偏っているとはいえない。粒度分布が悪い限界($U_c < 4 \sim 5$)ではなく、良いといえる限界($U_c \geq 10$)に近い例が多いのだが、どちらかというところ、側溝流入土砂の方が、横断溝流入土砂よりも、粒度分布がよい方に寄っている。いいかえると、側溝流入土砂に比べると、横断溝流入土砂の方が微細粒分の方へ、やや偏った様相を示す例が多いということになる。

上述のような、流出部位による土砂の粒度組成の相違を生ずる原因については、溝の位置及び流下長の違いと溝への流入機構の違いに由来するのか、車両通行の影響なのか等については、今後の検討により確かめたい。

IV む す び

林道路面侵食機構を明らかにするため、既設林道の一部に、モデル区間を設け、1降雨ごとに、側溝と横断溝によって流出する土砂量及び降雨水量を観測し、林道路面での流出率、両溝への流出分配割合、及びそれらの相互関係等が明らかとなったが、通行車両による影響等は確かめ得なかった。今後観測を重ねて、土質や側溝条件の変化及び車両通行の影響について、考察してゆきたい。

引用文献

- 1) 伏見知道・江崎次夫：花崗岩風化土地域の林道土工構造物表面の侵食について。91回日林論。431~432, 1980
- 2) 伏見知道・江崎次夫：花崗岩風化土地域の林道土工構造物表面の侵食について(II)。実態調査とモデル区間の例。92回日林論。415~416, 1981
- 3) 伏見知道：林道路面の保全と横断排水溝の配置間隔について、瀬戸内マサ土地域の例。愛媛大学農学部附属演習林報告。17。19~14, 1980
- 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。文部省科研総合研究A「林道建設が自然植生、景観、土砂生産に及ぼす影響とその対策に関する研究」昭和54年~56年報告書。65~74, 1972
- 5) 大味新学・綱本浩二：山腹工法面の侵食に関する研究、降雨加速指数と土砂流出との関係、日林誌。49(7)。286~292, 1967

(1982年8月31日受理)