

# 林道路面の流出量と浸食土砂量

福 嶋 義 宏\*・黒 田 幸 夫\*・渡 正 昭\*\*

Discharge and sediment yield on forest road

Yoshihiro FUKUSHIMA, Yukio KURODA and Masaaki WATARI

## 要 旨

古生層から成る京大芦生演習林と、花崗岩より成る田上山地の2つの地域の林道路面において1982年9月から約1年間、雨量、路面流出量と路面浸食土砂量の観測・調査を行なった。芦生、田上山地若女の各調査区はそれぞれ、長さ85.9m, 71.1m, 幅5.3m, 4.3m, 平均勾配11.5%, 10.1%である。得られた結果は、

1. 年間浸食土砂量は芦生、若女でそれぞれ2.3mm, 10.0mmであった。この内5月中旬から10月中旬まで、暖期5ヶ月間の流出土砂量が年量に占める割合は、芦生、若女でそれぞれ74%, 65%となる。

2. 両地域の降雨から流出への変換に際して、まず、累加雨量→直接流出量関係から有効雨量のパラメーターを定めた。つぎに、雨水流計算にキネマティック・ウェーブ法を用いた。求めた運動定数は両プロット共に同じで、その等価粗度、Nは0.05となった。

3. 路面浸食量の計量的把握のために、Meyer-Peter & Müller式とレジーム則を用いた。結果的に、式中の唯一の変数である有効掃流力比は芦生で0.3、若女で0.8となった。古生層地域よりも、花崗岩地域の方が、より浸食されやすいという傾向があらわれている。

## はじめに

国土の7割弱も占める山地の大部分が林業関係者の管理に委ねられているのは、常にその保全に注意を払っているということを前提にしているとみて良いであろう。しかしながら、林道建設によって多量の不安定土砂が斜面や谷に捨てられている場に出合うことはまれではない。今後、省力化の点からもますます建設が進められるであろう林道に対して、単に車輛の走向性能という面だけでなく、山地保全の立場からも注意を払う必要がより高まってきている。

さて、林道路面からの浸食土砂についての調査・解析報告は近年、数例出されている。

まず、酒井ら<sup>1)</sup>、藤井ら<sup>2)</sup>、古谷ら<sup>3)</sup>、伏見<sup>4)</sup>によって、路面上のリルの形状とその変化や路面流出量の解析が報告されている。林道路面浸食量について、土砂水理学の知識を援用するのは当を得ていて、例えば古谷ら<sup>3)</sup>はスイスの山岳地域を対象とした、掃流砂用の公式であるMeyer-Peter & Müller式(以下M. P. M.式とする)を使っており、また、峰松ら<sup>5)</sup>はKalinske-Brown型の流砂量式で良好な推定が可能であることを示している。

\* 京大農学部

\*\* 建設省新庄砂防工事事務所

筆者らの一人、福脇はこれまでせき悪山地の斜面浸食と土砂流送の調査・解析を行ってきた<sup>7),8),9),10),11),12),13),14)</sup>。いずれも、花崗岩山地では斜面から溪流までの掃流砂について、M. P. M. 式の適合が良いという結果である。また、山地流域の短期流出については、キネマティック・ウェーブ法に基づく並列斜面モデルによって良好な推定が可能であることを示し、かつ、運動定数の決定を行ってきた<sup>15)</sup>。

現在の路面浸食の調査研究は、雨水流出から土砂流出までを一貫して取り扱うべきであるとするのが筆者らの立場である。さらに、地質、すなわち基盤の差異が与える影響も計量化しておきたい。このような考えのもとに、古谷ら<sup>3)</sup>のプロットも設けられている古生層地域の代表としての芦生と、花崗岩地域の代表である田上山地の若女の両地点で観測・調査を始めた。

### 調査地の概要

芦生と若女の両調査地の諸元を表1に示す。また、両地区の平面形状と縦断形を図1-1, 1

表1 路面浸食調査地の諸元

name of plot	geology	length (m)	width (m)	gradient (%)	weir	altitude (m)
Asyu	Paraeozoic	85.9	5.3	11.5	60° notch	750
Jakujo	granite	71.1	4.3	10.1	ノ	400

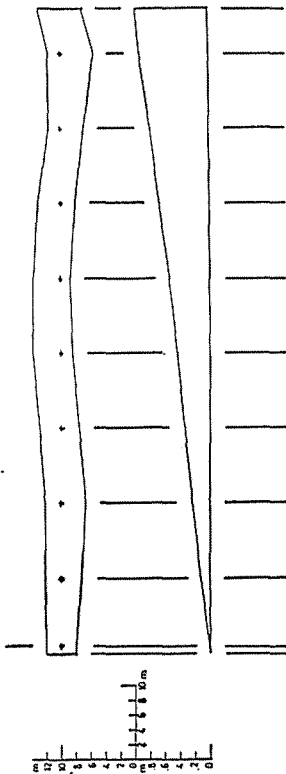


図1-1 芦生調査地の平面形と縦断形

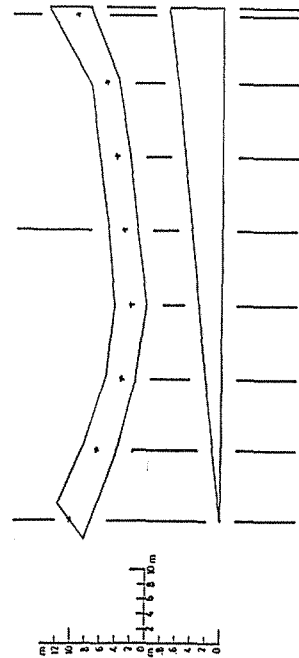


図1-2 若女調査地の平面形と縦断形

一2に示す。つぎに両調査地区の概要を述べていく。

## 1. 芦生調査地

芦生ケヤキ峠直下の林道路面に設けた調査地は、路面長85.9m、路面幅5.3m、勾配11.5%と急である。山側には側溝は設けられていないが、峠直下なので、その山側法面の斜面は短い。標高は750mである。京大演習林である芦生は、年平均気温11.5℃、年平均降水量2734mmで、地質は秩父古生層である。冬季には1～2mの積雪がみられる。本調査地は芦生演習林内の主林道内にあって、無雪期には施業関係や調査関係の車輛の通行がある。毎年、春先きに、除雪とともに、路面の補修が行なわれている。下流側横断排水溝に集まった流水は沈砂池と整流槽が一体となった、コンクリートブロック製の施設(図2-1)に入る。その出口には60°のステンレス製ノッチが取り付けられており、水位が自記記録されている。

## 2. 若女調査地

風化花崗岩のはげ山として有名である滋賀県南部の田上山中で、砂防工事用道路として建設された道路に調査地が設けられた。路面長71.1mのうち、下方の一部分を除いて、両側とも盛り土となっており、他からの雨水流入はない。また、その痕跡からみて、斜面内から法面へ流出する雨水もないと判断される。平均幅は4.3mで、その路面勾配は10.1%と芦生の場合とほぼ同様である。下方はカーブとなっているのでカントがついており、既にできている水みちに沿って図2-2の沈砂池に雨水が集められる。本地区も60°ノッチを有する鋼製水槽によって水位が測られる。若女付近の年平均気温は12.5℃で、年平均降水量は1693mmと芦生よりはかなり少ない。降雪はほとんどなく、積雪が見られる場合も数日で融解する機会が多い。砂防植栽などの山腹工事用の車輛の通行は年間を通してみられる。路面の補修工事はその荒廃状況に応じて行なわれている。調査地の標高は400mほどで、ほぼ山頂部に近い高度である。

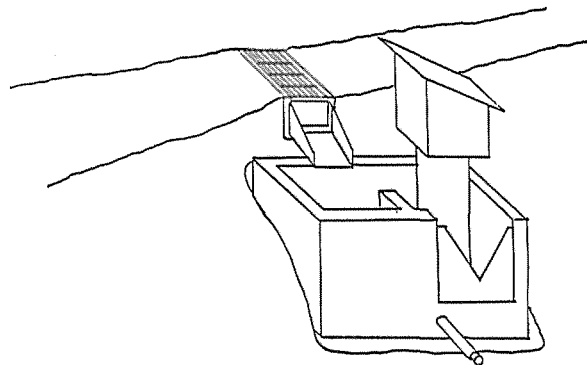


図2-1 芦生の観測施設

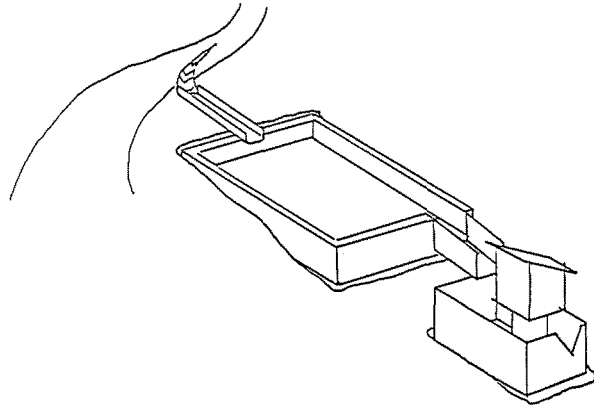


図2-2 若女の観測施設

## 調査・観測方法

両地区とも、雨量計は調査地から2km以内の地点に設置されている。すなわち、芦生ではトヒノ谷、若女では若女試験流域の地点である。

両地区で記録される水位から流量への変換には次式が用いられる。水位  $H(m)$  と流量  $Q(m^3/sec)$  の関係は

$$Q = K \cdot H^{2.5} \quad \dots\dots(1)$$

であらわされる。 $K$  は補正係数で、 $60^\circ$  ノッチに対しては、 $K=0.8425$  である。

土砂量は約1ヶ月間隔でポリ容器によって、その容積が計測された。

## 解 析 結 果

### 1. 路面浸食土砂量

表2-1, 2-2に芦生, 若女における雨量, 流出量と浸食土砂量の結果を示す。最大雨量強度は10分間の値であり, 最大流量は有効雨量表示している。最大流量が最大雨量よりも大きい理由は, 流出が10分間の雨の分布に回答しているからであろう。但し, 記録雨量の時間精度は10分間隔で読める程度である。本表で1982年9月中旬から翌年の同時期を一年として, 年浸食量を算定すると, 芦生で2.3mm, 若女で10.0mmとなる。若女と同一地質での裸地斜面<sup>14)</sup>, 裸地流域<sup>12)</sup>の年間浸食土砂量が $5,000 \sim 6,000 m^3/km^2/年$  (5~6mm) であることと比較すれば, 勾配が著しく小さい(自然斜面で70%程度である)にもかかわらず, その割には高い値と言えるであろう。また, 芦生での2.3mmという値も, これが, 年々, 捨土となるのであるから, 決して小さい数値ではない。

これらの内で, 比較的弱雨が多く, かつ通行車輛も減る10月中旬から翌年5月中旬までの7ヶ月間の土砂量を差し引いた残量, すなわち, 5月中旬から10月中旬にかけての5ヶ月間の流出土

表2-1 芦生林道の路面浸食土砂量

No	duration (or date)	total rainfall (mm)	direct runoff (mm)	max. rainfall intensity (mm/hr)	max. flow rate (mm/hr)	sediment (l)	yield (mm)
1	'82. 9/9-9/13	95.0	84.7	15.0	16.3	22.0	0.05
2	9/19-9/21	111.0	89.0	21.0	15.9		
3	9/23	13.0	8.1	3.0	1.3	86.0	0.19
4	9/24-9/26	34.5	20.4	24.0	6.4		
5	9/30-10/2	8.5	5.5	6.0	4.7		
6	10/3	10.5	5.2	15.0	6.4		
7	10/16-10/17	5.5	5.7	6.0	5.2	49.0	0.11
8	10/19-10/20	26.5	15.9	15.0	6.4		
9	10/20-'83. 5/18	-	-	-	-	266.3	0.59
10	'83. 5/18-6/16	48.0	1.9	12.0	3.0	4.5	0.01
11	6/16-7/9	195.0	-	54.0	-	162.0	0.36
12	7/9-8/4	268.0	216.9	33.0	43.7	139.5	0.31
13	8/4-8/23	227.5	170.0	90.0	105.1	225.0	0.56
14	8/23-9/17	60.0	50.0	45.0	34.5	67.5	0.15
15	9/17-9/30	261.0	227.0	39.0	54.2	106.5	0.24
16	9/30-10/17	94.0	73.1	9.0	10.4	15.0	0.03
17	10/17-11/8	116.0	98.9	12.0	7.3	17.5	0.04

表2-2 若女林道の路面浸食土砂量

No	duration (or date)	total rainfall (mm)	total runoff (mm)	max. rainfall intensity (mm/hr)	max. flow rate (mm/hr)	sediment (l)	yield (mm)
1	'82. 9/10	23.5	9.1	27.0	12.9	257.0	0.84
2	9/11- 9/13	80.0	43.0	15.0	11.2	90.0	0.30
3	9/19- 9/21	41.0	14.3	18.0	7.4	60.0	0.20
4	9/23- 9/25	35.0	10.0	15.0	8.4		
5	10/ 2-10/ 3	8.0	0.3	3.0	0.02	13.0	0.04
6	10/19-10/20	22.0	6.5	9.0	6.1		
7	10/31-11/ 1	3.5	0.04	3.0	0.05	159.0	0.52
8	11/ 5	14.5	4.4	9.0	4.0		
9	11/ 7	18.0	7.5	21.0	9.2		
10	11/ 9-11/11	36.5	18.4	18.0	11.2		
11	11/15-11/17	7.0	0.7	3.0	0.4		
12	11/17-12/ 1	40.5	-	18.0	-	79.5	0.26
13	12/ 1-12/ 8	19.0	5.8	6.0	2.5	6.5	0.02
14	12/8-'82. 2/24	115.5	23.7	9.0	3.6	29.5	0.10
15	'83. 2/24- 3/25	146.5	43.8	12.0	13.0	131.3	0.43
16	3/25- 4/12	77.0	23.1	6.0	2.8	29.3	0.10
17	4/12- 4/21	101.5	37.9	21.0	42.1	332.0	1.10
18	4/21- 5/11	40.0	9.8	18.0	13.0	90.0	0.30
19	5/11- 5/17	85.5	50.7	30.0	21.7	157.5	0.52
20	5/17- 6/11	1.5	0.0	3.0	0.0	0.0	0.0
21	6/11- 6/22	179.0	96.7	42.0	30.1	128.0	0.42
22	6/22- 8/ 4	228.0	80.3	48.0	36.6	975.0	3.22
23	8/ 4- 8/25	136.5	62.9	30.0	38.4	300.0	0.99
24	8/25- 9/14	51.0	20.7	69.0	38.4	188.5	0.62
25	9/14- 9/30	237.0	116.9	48.0	31.7	243.8	0.81
26	9/30-10/20	129.0	61.8	21.0	18.1	30.0	0.10
27	10/20-11/24	48.0	28.5	15.0	7.4	2.5	0.01
28	11/24-'84/ 1/ 6	16.5	1.8	12.0	3.6	15.0	0.05

砂量の年量に占める割合をみると、芦生で74%、若女で65%と高いことがわかる。すなわち、主要な路面浸食は夏期の強雨によって発生しているとみなすことができる。

## 2. 林道路面における雨水流出量算定

得られた観測結果より、ひと雨ごとの雨量と流出量の関係をプロットすると図3-1、図3-2のようになった。但し、芦生では山側法面から流入する遅い成分があるため、勾配変曲点法で全流出から直接流出を分離している。しかし、直接流出期間に占める基底流出成分は雨量の5%以下であったので、山側流入量の直接流入化はほとんど生じていないと判断される。

図3-1、3-2から得られる有効降雨パラメーターは表3に示される。 $a_1$ は一次流出開始雨量、 $a_2$ は二次流出開始雨量、 $b_1$ は一次流出率、 $b_2$ は二次流出率である。林道路面においても、

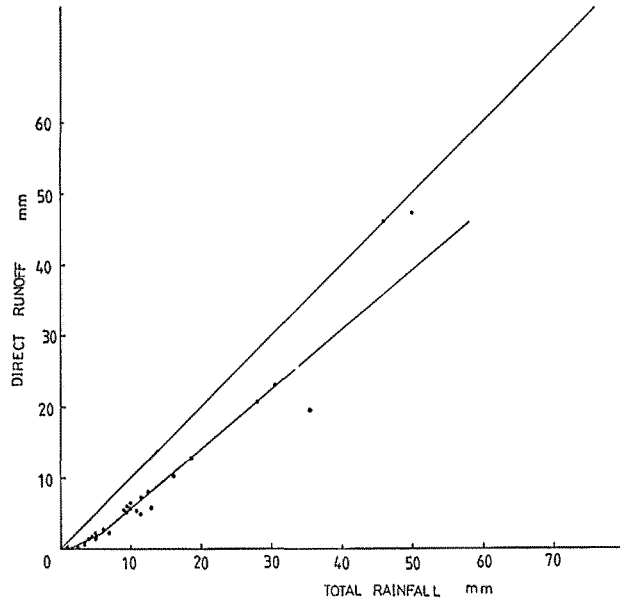


図3-1 芦生におけるひと雨ごとの総雨量と直接流出量の関係

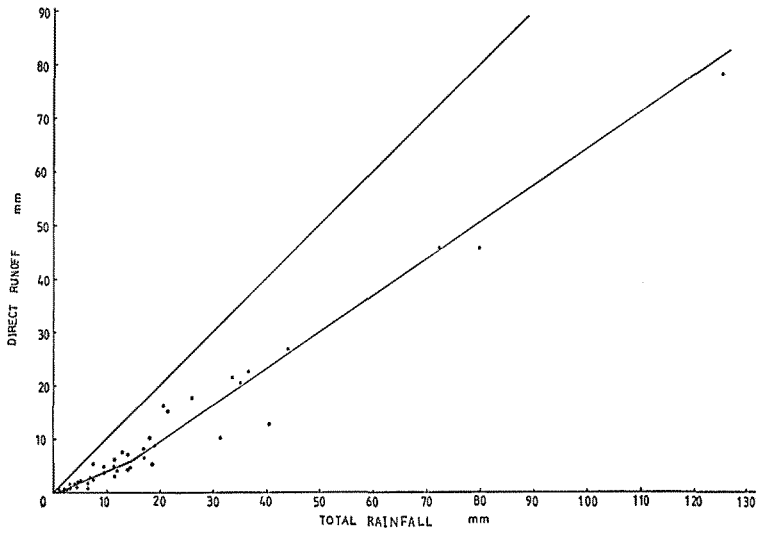


図3-2 若女におけるひと雨ごとの総雨量と直接流出量の関係

表3 有効降雨パラメーター

name of plot	a <sub>1</sub> (mm)	b <sub>1</sub>	a <sub>2</sub> (mm)	b <sub>2</sub>
Asyu	1.0	0.44	6.0	0.83
Jakujo	1.0	0.40	15.0	0.65

降雨のすべてが有効化されるのではないということがわかる。また、芦生に較べて若女の方が、有効化される率が小さい。これは両側盛り土であるという点と、基盤が花崗岩であることから、路面といえども浸透性が高いという2つの点が影響しているのであろう。

つぎに、雨水流の計算手順について述べる。いま、林道路面を矩形斜面とみなせば、雨水流の連続方程式は

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial q}{\partial x} = Cr_e \quad \dots\dots(2)$$

となる。ここで、 $h$ ：水深、 $q$ ：幅当り流量、 $t$ ：時間、 $x$ ：距離、 $r_e$ ：有効雨量、 $C$ ：単位変換係数である。

また運動式を

$$h = kq^p \quad \dots\dots(3)$$

とおく。 $k$ 、 $p$ は雨水流定数である。雨水流の形態は表面流であるので、Manning 則が適用できる。すなわち、

$$k = \left( \frac{N}{\sqrt{S}} \right)^p, \quad p = 0.6 \quad \dots\dots(4)$$

となる。ここで、 $N$ ：等価粗度、 $S$ ：斜面勾配 ( $\sin \theta$ ) である。

問題となるのは等価粗度  $N$  の値である。計算を試算的に行ない、観測されたハイドログラフに最も近似する結果を求めることにする。対象とするのは、芦生地区では'83年7月17日と7月21日の出水例である。雨量・流量ともに記録の読み取りは10分単位とした。前者は総雨量46.0mm、1時間最大雨量強度は33.0mm/hrである。また、後者は総雨量49.5mmと、前者に近いが、1時間最大雨量強度は24.0mm/hrと低い。つぎに、若女では同じく'83年5月15日の総雨量44.0mm、1時間最大雨量強度30.0mm/hrの出水例と7月5日の総雨量73.0mm、1時間最大雨量強度45.0mm/hrの例である。試算結果を図4-1-1、4-1-2、4-2-1、4-2-2に示す。得られた等価粗度は  $N=0.05$  となった。

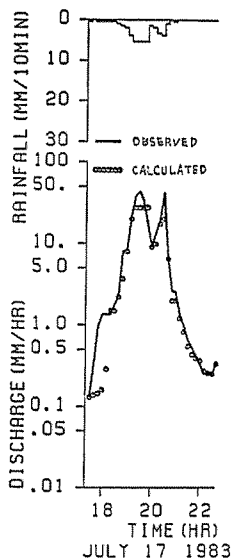


図4-1-1 芦生の結果(1)

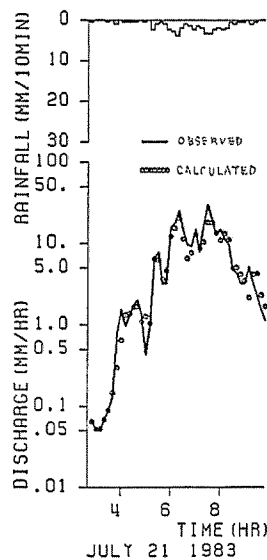


図4-1-2 芦生の結果(2)

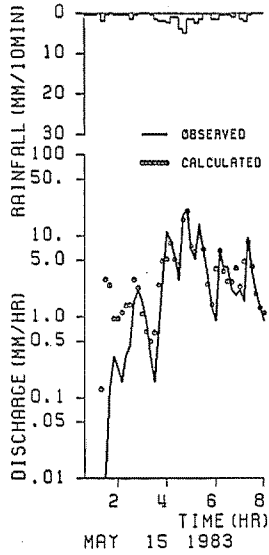


図4-2-1 若女の結果(1)

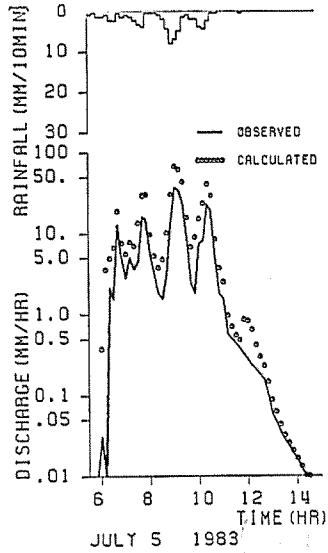


図4-2-2 若女の結果(2)

### 3. 路面浸食土砂量の算定

M. P. M. 式は,

$$\frac{q_b}{\sqrt{(\sigma/\rho-1)gd^3}} = 8 \left\{ \frac{U_*^2 e}{(\sigma/\rho-1)gd} - \phi_c \right\}^{\frac{3}{2}} \dots\dots(5)$$

であらわされる。ここで、 $q_b$ : 幅当り掃流砂容積、 $\sigma$ 、 $\rho$ : それぞれ土砂と水の密度、 $g$ : 重力加速度、 $d$ : 土砂の平均粒径、 $U_*$ : 摩擦速度 ( $=\sqrt{ghS}$ )、 $e$ : 有効掃流力比、 $\phi_c$ : 限界掃流力 ( $=0.047$ ) である。

つぎに、流出解析上は林道路面を一枚の板のように取り扱ったが、浸食土砂量算出に際しては路面横断形の差異が、流水の集中度を変えることになり、この効果を見逃し得ない。そこで、レジーム則を援用して流水幅  $B(m)$  と流量  $Q(m^3/sec)$  の関係を求めることにする。

レジーム則は

$$B = \alpha Q^m \dots\dots(6)$$

と仮定する。一般に河川地形では  $m \approx 0.5$ 、非粘着性物質から材料が成る場合は  $\alpha = 2 \sim 7$  の範囲が多いが、林道路面では指数となる定数  $m$  も地点により異なる。これは、芦生・若女の実際の林道の下端近傍の横断形状から定めることにする。

また、Manning 則を用いて

$$Q = B \cdot h \cdot v = B \cdot h \cdot \frac{1}{n} h^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}} \dots\dots(7)$$

$B$  に(6)式を代入して整理すると

$$h = \left( \frac{n}{\alpha} \right)^{\frac{3}{2}} Q^{(1-m)\frac{3}{2}} S^{-\frac{3}{2}} \dots\dots(8)$$

となる。



浸食土砂量を  $Q_b$  とすると、(5)式、(8)式を用いて

$$Q_b = 8 \cdot B \cdot \sqrt{(\sigma/\rho - 1)gd^3} \left\{ \frac{e}{(\sigma/\rho - 1)d} \left( \frac{n}{\alpha} \right)^{\frac{3}{2}} S_{70}^7 Q^{(1-m)\frac{3}{2}} - \psi_c \right\}^{\frac{3}{2}} \dots\dots\dots(9)$$

となる。(9)式によって、横断形状を考慮した上で、流量  $Q$  から浸食土砂量  $Q_b$  が求められる。

さて、(6)式の  $\alpha$ 、 $m$  の決定には、縦断勾配  $S$  と粗度  $n$  を与えねばならない。ここでは  $n=0.02$  を与えた。なお、芦生と若女の浸食土砂量の粒度分析より、芦生で  $d=2.4\text{mm}$ 、若女で  $d=2.7\text{mm}$  となった。

(6)式の定数  $\alpha$ 、 $m$  は、芦生で  $\alpha=1.8$ 、 $m=0.24$  となり、若女では  $\alpha=1.8$ 、 $m=0.35$  となった。これらの値を(9)式に代入し、また実測された浸食土砂量の半分が真の容積として、この実測値に近づくように、有効掃流力比  $e$  を変化させた。得られた結果は図5-1、5-2である。良好とは言いがたいが、特に土砂量が多い場合にかんがりの適合性を認めることができる。求められた  $e$  の値は、芦生で  $e=0.3$ 、若女で  $e=0.8$  となった。古谷ら<sup>5)</sup>の芦生の結果では2ヶ所のプロットでそれぞれ  $e=0.53$ 、 $0.60$  となっているのに比較すると、若干低い数値である。それに比して若女での値は、かなり高い値であり、花崗岩山地の林道路面は古生層より成る路面よりも浸食されやすいことを示す結果となった。

謝 辞

本調査の実施にあたっては、京大芦生演習林の川那辺三郎林長、牧瀬明弘業務主任をあげ、多くの教官・技官・事務官の協力を得ている。若女の試験区設定に際しては建設省琵琶湖工事事務所の協力を得ている。なお、観測施設の設置にあたっては砂防学研究室大学院生、友村光秀君、窪田順平君の協力を得た。記して、謝意をあらわしたい。

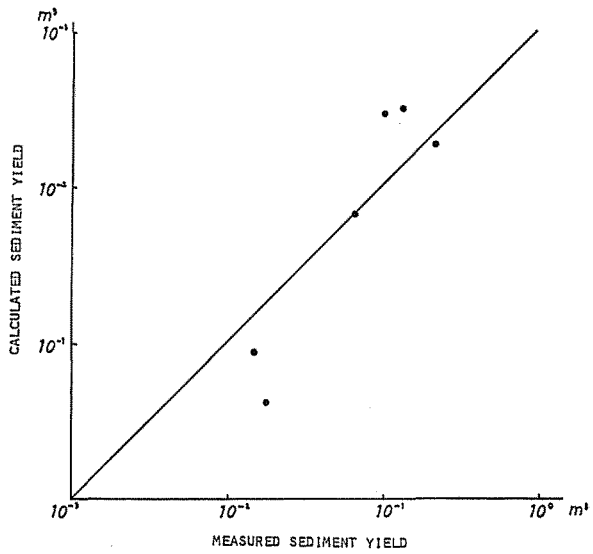


図5-1 芦生における M. P. M. 式適用結果

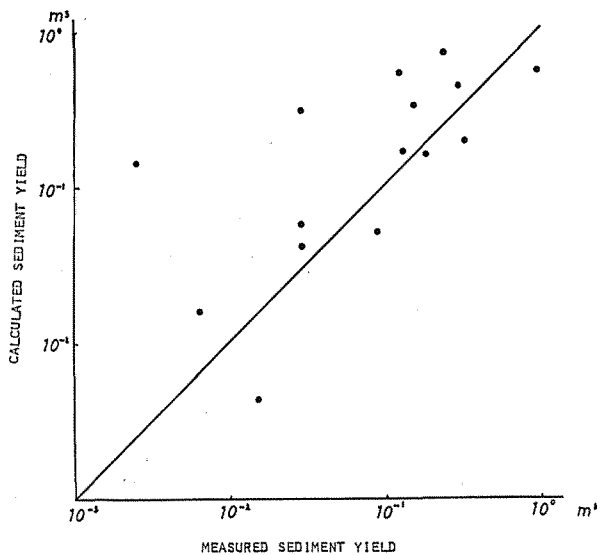


図5-2 若女における M. P. M. 式適用結果

## 引用文献

- 1) 酒井徹朗, 佐々木功, 藤井禰雄, 古谷士郎: 林道路面の侵食について——侵食溝の実態調査——, 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 (文部省科学研究費報告書——課題番号436011), pp. 35-45, 1982
- 2) 藤井禰雄, 古谷士郎, 酒井徹朗, 佐々木功: 林道路面におけるリル侵食の形状及びその変化, 前掲書, pp. 46-56, 1982
- 3) 古谷士郎, 佐々木功, 藤井禰雄, 酒井徹朗: 芦生固定プロットにおける林道路面の流出解析, 前掲書, pp. 57-64, 1982
- 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, 前掲書, pp. 65-74, 1982
- 5) 古谷士郎, 酒井徹朗, 藤井禰雄, 佐々木功: 林道の路面侵食について (IV), 京大演報, 55, pp. 230-241, 1983
- 6) 峰松浩彦, 南方 康, 西尾邦彦, 伊藤幸也, 神田一宏: 林道における横断排水溝間隔決定式の適用範囲, 日林誌, 65(12), pp. 465-470, 1983
- 7) 建設省琵琶湖工事事務所: 田上山地土砂生産流出解析報告書 (I), 1978
- 8) 同 : 同(II), 1979
- 9) 同 : 同(III), 1980
- 10) 同 : 同(IV), 1981
- 11) 同 : 同(V), 1982
- 12) 同 : 同(VI), 1983
- 13) Seno, k., Ohyagi, S and Fukushima, Y: Erosion control on a granite mountain in Japan, Proc. of the South-east Asian regional Symp., in Bangkok, pp. 95-106, 1981
- 14) Takei, A, Kobashi, S. and Fukushima, Y.: Erosion and sediment transport measurement in a weathered granite mountain area, Proc. of the Florence Symp., IAHS Publ. No. 133, pp. 493-502, 1981
- 15) 福駕義宏, 武居有恒: 山地小流域の短期流出に対するモデル, 土木学会水理講演会論文集, 25, pp. 229-236, 1981

## Résumé

The plots for observation of discharge and sediment yield on forest road were set up at two areas, Asyu consisted of Palaeozoic and Jakujo consisted of weathered granite. The observations were continued for a year from September 1982. Each plot was 85.9m, 71.1m in length, 5.3m, 4.3m in width and 11.5%, 10.1% in gradient, respectively at Asyu and Jakujo.

The results are as follows;

1. The yearly sediment yield is 2.3mm, 10.0mm and the sediment yield for five rainy months from the middle of May to the middle of October is 74%, 66% of each yearly amount, respectively at Asyu and Jakujo.

2. For calculating discharge from rainfall data, at first, the parameters predicting effective rainfall were decided by the relation between cumulated rainfall and direct runoff. Second, a kinematic wave method was used for calculating discharge from effective rainfall under the condition of a simple slope. The obtained equivalent roughness parameter is  $N=0.05$ .

3. Meyer-Peter & Müller equation and the regime theory were adopted for calculating sediment yield on forest road. The ratio of effective tractive force,  $e$  is 0.3 at Asyu and 0.8 at Jakujo. The sediment yield in weathered granite area seems to be more than in Palaeozoic.