

天竜川上流域における山腹斜面の浸透について

名大・工 西畑勇夫

全 上 野村正徳

1. はじめに

河川における流砂量は、河川開発上、流域の治水、利水上に大きな影響をおよぼす。それにもかゝらず、この現象は究明されず、この研究の一手法として、水源山地に生ずる砂石の生産プロセスを探究し、河川に流出する土砂の生産プロセスを探究し、河川に流出する土砂量を推定する方法がある。これによつて、水源山地の砂石生産の基本的現象、山崩れの実態解明とその溪流流出状況の実態を、降雨量、地形、地質との関連において明らかにしようと試みた。調査対象地は天竜川支川小渋川流域を選んだ。こゝは中央構造線上にあり、地形、地質的に非常に複雑で、概要は次のとおりである。

山地の崩壊は一定以上の降雨に伴なつて発生するが、基礎となる山地の降水の流出機構は不明な点が多い。したがつて、基礎資料をうるため、次のような実測調査を行なつた。

- (1) 代表的な地質における現場透水試験
- (2) (1)の地点の間隙率調査
- (3) 四徳川流域（生田花崗岩）の代表地点にライシメーターを設置し、降水量収支についての実測調査

表 - 1

地 質	地 域	標 高	平均勾配
領家花崗岩・中細粒変成岩	中央アルプス地域	2,500m程度	35°以上
段丘礫層・鮮新世礫岩・泥岩	天 川 沿 岸	800m以下	24°以下
領家花崗岩・粗粒変成岩	伊 那 山 脈	1,800m以下	30°以下
三波川変成岩・みかほ変成岩	赤石山脈山麓	2,000m程度	30°以下
中生屑・古生屑	赤石山脈主部	2,500m程度	45°程度

2. 現地調査について

現地調査は次の地質を選んで行なつた。

- (1) 領家花崗岩、変成岩地域

a) 生田花崗岩(桑原)、 b) 非持花崗岩(滝沢)、 c) 天龍峽花崗岩(桶谷)、 d) 鹿塩圧碎花崗岩(ミロナイト、青木川左岸)

(2) 三波川、みかぶ結晶岩類地域

a) 黒色片岩(青木川右岸)、 b) 緑色片岩(釜沢)である。

(a) 現場透水試験

これは米国開発局で行なつた " Permeability Test for Estimation of Canal Seepage Losses " にもとずいて、急峻な山腹斜面にハンドオーガーで、求めようとする深さまで孔を掘り、フロート内蔵のケーシングを用いて定休位を保ち流量一時間の関係を実測する。

(b) 間隙率の測定

山腹斜面で間隙率を実測することは困難であるが、湿潤密度から間接的に求めた。斜面に孔をあけ、その上の重量を計り、孔の容積は現地河川で採取した乾燥砂を使用して測つた。

砂の比重 2.64、粒径 0.6 ~ 1.2 mm、落下高 15 ~ 20 cm で自然充填状態とした。

(c) ラインメーターによる降水量の収支測定

降水の収支は雨量強度、土質、降水前の土湿不足、地面勾配、地被、累積降水によつて異なることは定性的に明らかにされているが、定量的な基礎資料はない。この目的はその資料を得るため、まず、直径 50.0 cm、深さ 80.0 cm の表面流出孔を有する装置を生田花崗岩に埋設して実測した。

3. 解析方法

実測結果をもとに透水係数を計算する。

(1) 流量一時間曲線を描く。

(2) 井筒の浸透を 鐘型に拡散するものとし、その仮想半径 B とし次式より求める

$$B = h \{ 2 / \{ \sin^{-1}(h/r) - 1 \} \}^{0.5}$$

(3) B を半径とする半球を形成するために土中に浸透すべき最小容積、最大容積は

$$\begin{aligned} V_{\min} &= \frac{1}{2} \cdot \frac{4}{3} \cdot \pi B^3 \cdot \gamma_s (C, C) \\ V_{\max} &= 15.0 \cdot B^3 \cdot \gamma_s (C, C) \end{aligned} \quad \} \dots \dots \dots (2)$$

で定める。

(4) 平均透水量 Q を求める (3) の結果から)

(5) 透水係数 K を計算する。計算式は

$$K_{20^{\circ}\text{C}} = \frac{Q}{2\pi h^2} \cdot [2.30 \log_{10} \left\{ \frac{h}{r} + \sqrt{1 + \left(\frac{h}{r} \right)^2} \right\} \left(\frac{\mu_t}{\mu_{20^{\circ}\text{C}}} \right) \dots (3)$$

ここに h = 水深 (cm)、 r = 井筒半径 (cm)、 B = 仮想半径 (cm)、
 ys = 土の特性値、(≒ 0.35)、 μ 水の粘性係数 (CP)、 K = 透水係数 (cm/s)

なお、間隙率は次式による。

$$r_d = W/V \left(1 + \frac{w}{100} \right)$$

$$e = G_s \cdot \gamma_w / r_d$$

$$n = \frac{e}{1+e} \times 100 (\%)$$

ここで W/V : 湿潤密度、 w : 含水比、 G_s : 真比重、 γ_w : 水の密度、
 r_d : 土の乾燥密度である。

4. 結 果

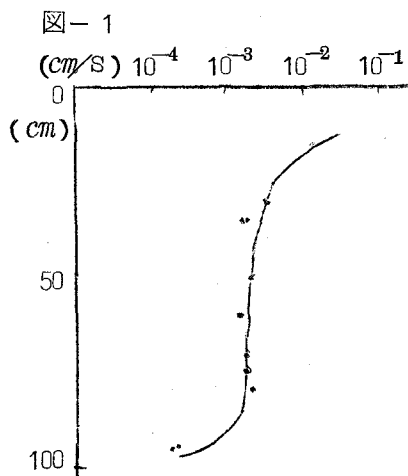
透水係数、間隙率などの解析結果を示すと、次のとおりである。

表-2

地 質	勾配	透水係数 (cm/s)	間隙率 (%)	湿潤密 度(g/cm ³)	比 重	測定前含 水比(%)
生田花崗岩	level	2.99×10 ⁻³	42.03	1.76	2.66	14.32
		2.92×10 ⁻³	42.86	1.73		13.34
生田花崗岩	36.5°	3.48×10 ⁻³	57.81	1.39	2.55	29.87
		3.34×10 ⁻³	45.70	1.60		15.68
非持花崗岩	46°	3.20×10 ⁻³	59.92	1.20	2.37	28.35
		3.43×10 ⁻³	68.14	1.00		31.29
天龍峽花崗岩	48°	1.94×10 ⁻³	55.17	1.48	2.62	26.45
			42.56	1.72		14.48
ミロナイト	39°	5.83×10 ⁻³	57.12	1.16	2.22	36.44
			57.28	1.31		39.65
黒色片岩	34°	2.81×10 ⁻³	45.71	1.74	2.72	20.32
		3.02×10 ⁻⁴	40.63	1.86		15.35
緑色片岩	38.5°	5.38×10 ⁻³	35.59	2.06	2.90	10.47
			35.01	2.06		8.76

各地質とも上段の数字は深さ40～50 cmを、下段は70～100 cmを示す。

- 1) 透水係数は地質に特に関係なく、ほぼ、 10^{-3} cm/s の次元で、深さ方向の分布は右図のとおりなつた。
- 2) 含水比、地表部は多くの有機質を含み、含水比が大きく、深くなると岩石の風化滞積のまゝで含水比は小さい。
- 3) 測点附近の粒度分布



粗粒花崗岩で0.11～2.0 mmが70～90%、結晶片岩では0.4～2.0 mmが75～80%含んでおり、通過百分率10%粒径は0.1～0.4 mmで粗く、均等係数は生田花崗岩6.59、非持花崗岩3.05、天龍峻花崗岩10.0、ミロナイト22.1、黒色片岩7.9、緑色片岩20.3となつた。

4) 浸透能

山腹斜面の浸透能は現場透水試験から求められ、一般に次式で表わされる。

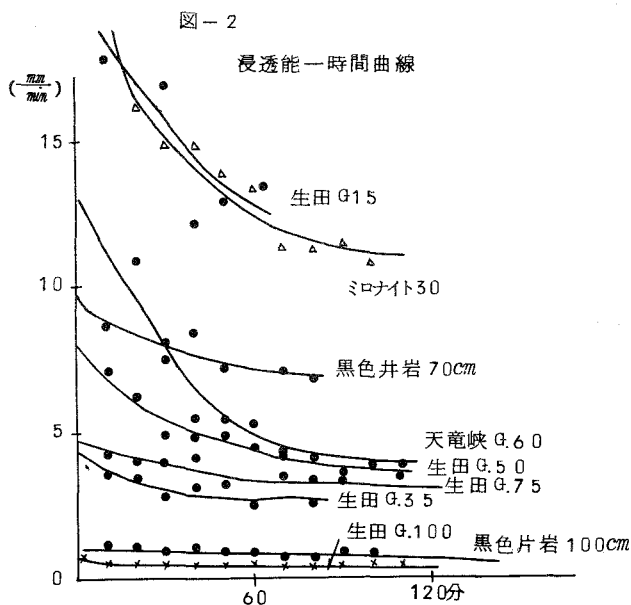
$$f = f_c + (f_0 - f_c) \cdot e^{-k \cdot t} \quad (\text{mm/min}) \dots \dots \dots (5)$$

ここで f : ある時刻の浸透能、 f_0 : 初期浸透能、 f_c : 最終浸透能、 t : 経過時間 k : 常数である。

表-3

地 質	生 田 花 崗 岩 (G)					非持 G	天龍 峻 G	ミロナ イト	黒色 片岩	緑色 片岩
深さ (cm)	15	35	50	75	100	35	60	30	100	35
$f_0 (\text{mm/min})$	17.8	3.61	1.09	4.39	0.80	3.61	11.18	21.46	1.15	13.26
$f_c (\text{mm/min})$	12.7	2.59	3.55	3.04	0.50	2.24	3.80	10.7	0.83	7.50
$k (\times 10^{-2})$	6.05	4.45	3.05	3.08	8.47	4.60	3.98	4.33	5.68	3.33

山地における浸透能
はほとんど60分以
内で一定値になり、
最終浸透能は約2.5
～10.0 mm/minで、深
さ100cm位になる
と0.5～0.8 mm/minと
なる。



5) 間隙率と透水係数

現地透水試験を行なうことなく間隙率から透水係数を知ることは、次の結果から十分可能である。間隙率 n と透水係数 K の関係は

$$K = C \cdot D_s^2 \cdot \frac{\gamma^3}{\mu} \cdot \frac{n^3}{(1-n)^2} \quad (\text{cm/S}) \dots \dots \dots (6)$$

である。ここに D_s : 換算球形の直径 (cm)、 γ : 水の単位容積量、 M : 水の粘性係数 (CP)、 C : 粒子条件による特性値である。

花崗岩の風化生成物マサは粘土質が混入した砂であり、結晶片岩は風化して粘土化しているところがあるが、一般に亀裂が入つたまゝ滞積している。実測値と(b)式と一致させると、次表のとおり、花崗岩類で $C \div 0.6 \sim 0.8$ 、結晶片岩類で $C \div 1.7 \sim 2.2$ となり、両者の相違を裏付けしているようである。

表- 4

項 目	生田花 崗 岩	非持花 崗 岩	天龍峻 花崗岩	ミロナイト	黒色片岩	緑色片岩
間隙率 n (%)	45.70	68.15	47.71	55.02	37.26	33.80
比表面積 ($1/cm$)	121.858	243.228	116.482	33.078	89.027	60.111
有効直径 (cm)	8.21×10^{-3}	3.43×10^{-3}	8.59×10^{-3}	3.02×10^{-2}	1.12×10^{-2}	1.66×10^{-2}
$C=1$ のときの K	6.25×10^{-3}	5.27×10^{-3}	2.93×10^{-3}	5.83×10^{-3}	1.64×10^{-3}	2.41×10^{-3}
実 測 値 K	3.48×10^{-3}	3.43×10^{-3}	1.94×10^{-3}	5.83×10^{-3}	2.81×10^{-3}	5.38×10^{-3}
C	0.55	0.65	0.66	0.78	1.71	2.23

3) ライシメーター実測値の考察

ライシメーターの実測資料が少なく、これによつて流出機構を考察することは困難である。しかし、39年9.10.11月の実測資料に現われた傾向の概要を紹介すると

- 1) 累計雨量が8～10 mmになると浸透して下に出てくる。また、総雨量に対する浸透量の比は70～90%となつている。
- 2) 降雨停止後浸透は40時間内外続く。
- 3) ライシメーター内の浸透速度は 10^{-3} cm/s であり、また、単位時間当り2～4 mmの連続降雨があれば、大体5～6時間間後に浸透量のピークが現われてくる。

4. あとに

以上の結果は、まだ研究の一部を明らかにするに過ぎない。今後、砂石の生産プロセスである山腹崩壊の力学的な見地から、限界累計、集中雨量の算定に到らしめ、災害対策に供したいと思う。この研究に当つて中部地建天龍川上流工事事務所の方々の御協力を得ていることに厚く感謝致します。