天竜川支川三峰川流域における崩壊土砂量の数的解析について

田浦 秀春*・川崎 達*

Numerical Analysis of Landslide Degradation Volume in the River Mibu Basin

by Hideharu Taura and Tōru Kawasaki

Abstract: In the River Mibu Basin, it was numerical analyzed to the relation between landslide degradation volume and the factors of rainfall, slope, river density and vegetation.

For this study, 500M Grid was covered on the River Mibu Basin, and these factors were surveyed in every grid field.

We expressed the relation by function, and obtained the function of coefficient.

Using this function, we can be forecast some landslide degradation volume according to rainfall in the area.

I. まえがき

河川の流域における崩壊土砂量は、河床変動量、ダムの貯水池の堆砂等の基礎となるものであるから、河川の利水、治水両面において、極めて重要なものである。

このために色々と研究が行なわれてきたが、大部分は定性的なものであって、定量的に解析した例は極めて少ない。この報告は、天竜川支川三峰川流域を対象として、流域における崩壊土砂量と、これに影響をおよぼす降雨量、地形、地質等各種要因との関係を、数的に解析したものである。

このために、建設省関係で行なわれてきた崩壊調査の諸データをもとにして、これに降雨量、地形等の諸要因を加え、メッシュマップと統計的手法を用いて解析を行なった。

この方法によると、崩壊土砂量と各種要因との関係が数的に解析できるのみならず、その結果を利用して、各種の降雨量の場合における崩壊土砂量の予測にまで、発展させることができる。

なおこの報告書の実験にあたり、建設省天竜川上流工事事務所調査課長原勝敏殿、係長橋爪稠殿より、貴重な資料を貸与していただき、また種々便宜をはかっていただいた。冒頭に附記して特に感謝の意を表する次第である。

II. 基礎的な考え

崩壊を起す要因としては、降雨、地震等のように直接的な誘因となるものと、地質、斜面の勾配等のように潜在的な素因と考えられるものとの二つがある。しかしこの二種類の要因は性格が全然異なるから、同一に論ずることは出来ない。したがってここでは次のように二段階に分けて考えた。

(1) 雨量解析

全流域を500m 間隔のメッシュでおおい、既設の雨量データをもとにして、各メッシュの降雨量を推定した。このためには、降雨を地形性降雨と非地形性降雨に分けて、各々を数式化し、各雨量観測所の雨量データを用いて式の係数を求め、さらにその結果を用いてメッシュ毎の雨量を計算した。なおこの方法による地点雨量推定の誤差は、約15%~20%である。

つぎに雨量を数個の階級に分けて、全流域のメッシュをその階級別に区分した。そして各階級毎に、次のような素因についての解析を行なった。

(2) 素因の解析

素因には、斜面の勾配、地質、風化の度合い、山腹の形態、地下水の状況、集水状況、植生等があげられるが、この中で斜面の勾配は、他の素因に比べて若干性質が異なるように思われる。それは他の素因がどのようであっても、地面が傾斜していなければ、絶対に崩壊は起きない筈だからである。

*バシフィック航業株式会社

「写真測量」 Vol. 12 No. 1 1973

そこでここでは勾配を基本的な素因と考えて、他の素因はそれに二次的に影響するものであると考えた。そうするとこれらの関係は、次の式であらわすことができる。

$$A = \alpha_1^{\beta_1} \cdot \alpha_2^{\beta_2} \cdot \dots \cdot \alpha_m^{\beta_m} \cdot V \quad (1)$$

ただし、 A : 崩壊面積

V : 斜面の勾配に基づく崩壊面積

$\alpha_1^{\beta_1}, \dots, \alpha_m^{\beta_m}$: それぞれ n 個の素因に基づく修正係数

なおこれからは、測定し易い崩壊面積について述べるが、崩壊土量についても、同じ方法で解析することができる。

Ⅲ. 基本図ならびにメッシュマップの作製

河川の流域の崩壊土量の推定に必要と思われる4種の素因の、斜面の勾配、地質、植生、谷密度と、崩壊面積について、地図、航空写真ならびに現地調査等によって、全流域の基本図を作製した。つぎに素因については、さらにそれを記号化したメッシュマップを作製した。

この素因の中で谷密度は、直接崩壊に影響を与えるものではないが、次のような考えからとり入れることにした。一般に山地における水系模様は、斜面が生成された当初はその最大勾配の方向をとり、しかも単調な筈である。しかし風化が進むにしたがって斜面は侵蝕をうけるので、水系模様は細かく複雑になる。したがって山腹の風化の程度をしめす一つの指標として、水系模様の中で数値化し易い谷密度をとり入れた。

Ⅳ. 解析

(1) 降雨量の解析 (詳細については、参考文献(1)参照)

任意の地点における降雨量を次の式であらわし、式の係数を既設の観測所の雨量データを用いて決定した。式の中で R_1 は非地形性降雨を、 R_2 は地形性降雨をあらわすものである。

$$\begin{aligned} R &= R_1 + R_2 \\ R_1 &= A_1 + A_2 X + A_3 Y \\ R_2 &= B_1(H - \bar{H}) + B_2(\bar{H} - \bar{\bar{H}}) \\ &\quad + B_3(\bar{\bar{H}} - \bar{\bar{\bar{H}}}) + B_4(\bar{\bar{\bar{H}}}) \end{aligned} \quad (2)$$

ただし、 R : 地点雨量

(X, Y) : 地点の平面座標

$(H - \bar{H}), \dots, (\bar{\bar{H}} - \bar{\bar{\bar{H}}})$: 各々4D, 8D, 16Dの地形の波の振幅、Dは卓越した地形の波長の1/4

$(\bar{\bar{\bar{H}}})$: 4D, 8D, 16Dの地形の消去された残りの長波長の地形

$A_1, \dots, B_4$: 係数

ただし状況により非地形性降雨の部分は、二次式を用いることがある。

次に式(2)を用いて、各々のメッシュの雨量を計算し、その結果に基づいて全域のメッシュを数箇の雨量の階級にわけた。

(2) 素因の解析

各雨量の階級毎に必要な数のメッシュを抽出して、次の計算を行なった。

1. 斜面の勾配

斜面の勾配を n' 個のカテゴリーに分け、各カテゴリーにあたる数値 V を、次の式で決定した。

$$V_k = S_k / a_k \times 0.25 \quad (3)$$

ただし、 $k = 1, \dots, n'$. カテゴリー区分

S_k : カテゴリー k に属する部分の崩壊面積の総和

a_k : カテゴリー k に属する部分の総面積 (K^2)

0.25: 500mメッシュに換算するための係数

次に式(3)を用いて、各メッシュの V の値を計算した。

2. 他の素因

各素因毎に若干個のカテゴリーにわけ、各カテゴリーにあたる係数 α を次の式で決定した。

$$A_l = \alpha_l V_l \quad (4)$$

ただし、 $l = 1, 2, \dots, n''$. カテゴリー区分

A_l, V_l : カテゴリー l に属するメッシュの崩壊面積ならびに V の値の総和

つぎに次式を用いて、各係数のウェイト β を決定した。

$$A_i = \alpha_{1i}^{\beta_1} \cdot \alpha_{2i}^{\beta_2} \cdot \alpha_{3i}^{\beta_3} \cdot V_i \quad (5)$$

ただし、 A_i, V_i : メッシュ i における崩壊面積ならびに V の値

$\alpha_{1i}, \alpha_{2i}, \alpha_{3i}$: メッシュにおいて素因1, 2, 3に基づく係数

Ⅴ. 雨量の階級毎の崩壊面積の計算

式(5)を用いて、雨量の階級毎に各メッシュの崩壊面積を計算して、メッシュマップを作製し、次にこれを用いて全流域の崩壊面積を算出した。

Ⅵ. 将来の予測

式(2), (5)を用いると、将来における崩壊土砂量の概略を、予想することができる。

しかし崩壊には免疫性が考えられるので、このような解析を数回行なって式(5)の係数の変化を解析すれば、より合理的な予測値を求めることができよう。

VII. 三峰川流域における実験

(1) 過去に行なわれた実態調査

天竜川流域では、昭和36年6月27日の豪雨の際に、大崩壊を生じた。このため建設省天竜川上流工事事務所では、昭和42年国際航業株式会社に委託して、竜東地区の実態調査を実施された。その中で三峰川流域については、田浦が担当して崩壊個々の地点について、数的解析を行なった。したがって今回の降雨量については、その際の解析の結果を利用させてもらった。

(2) 降雨量の解析⁽³⁾

三峰川流域に配置されている雨量観測所は、戸台、伊那里、小瀬戸、鹿塩、荒川、前浦、無名の7箇所であった。これに対し流域は、東西約10k、南北約20kの範囲にわたっているから、これを次の3地区にわけて計算した。

- 第1地区 無名、伊那里、前浦、小瀬戸、鹿塩の観測所に囲まれた地区
- 第2地区 戸台、伊那里、前浦、小瀬戸、荒川の観測所に囲まれた地区
- 第3地区 鹿塩、小瀬戸、荒川と第2地区で決定し

図 1 雨量分布図

図 1 雨量分布図

た中から点を撰点して、鹿塩—小瀬戸—荒川の線以南の地区

このため昭和36年6月27日の各観測所の日雨量と地形データをもとにして、式(2)の係数を決定した。つぎに全地域を500m 間隔のメッシュでおおい、各メッシュの交点の降雨量を計算すると共に、全流域の雨量分布図(図1)を作った。

なおこの方法による降雨量の推定精度をチェックするために、戸台、伊那里、小瀬戸、鹿塩、荒川のデータをもとにして、同じ方法で前浦の雨量を推定して、実測値と比較した。その結果は表1、2のとおりである。

表 1 日雨量一覧表(前浦)(単位はmm)

月日	推定値	実測値	誤差	月日	推定値	実測値	誤差
5. 3	32.7	38.3	-5.6	6.24	30.3	30.5	-0.2
4	63.2	54.6	8.6	25	20.7	19.8	0.9
7	2.4	2.1	0.3	26	44.2	40.0	4.2
11	32.6	36.3	-3.7	27	352.1	371.9	-19.8
12	40.2	44.8	-4.6	28	55.3	57.6	-2.3
18	25.0	26.4	-1.4	1	4.2	5.7	-1.5
21	1.8	0.0	1.8	2	1.4	1.5	-0.1
23	10.9	8.8	2.1	3	2.8	1.1	1.7
24	2.8	5.4	-2.6	4	35.0	33.0	2.0
28	33.1	30.2	2.9	5	2.9	3.5	-6.0
29	8.7	13.5	-4.8	6	7.0	1.9	-2.1
6. 7	27.1	21.6	0.5	9	9.4	9.8	-0.4
8	4.7	5.0	-0.3	10	1.3	0.9	0.4
9	47.5	50.5	-3.0	11	7.7	3.4	4.3
10	1.1	1.9	-0.8	12	7.2	7.2	0
13	8.9	1.7	-0.8	16	10.5	16.5	-6.0
14	18.9	20.9	-2.0	24	8.0	14.5	-6.5
16	6.6	6.9	-0.3	29	0	2.8	-2.8
21	0.2	1.1	-0.9	1. 1	8.5	4.4	4.1
23	2.7	4.0	-1.3	2	3.5	3.4	1.1

表 2 精度分析表(単位はmm)

	0~10	10~50	50~
σ	1.8	3.8	11.0
r	4.1	26.2	129.5
σ/r	0.44	0.14	0.09
標本数	22	14	4

σ : 標準偏差 r : 平均値

(3) 傾斜区分図の作製

航空写真、1/1,000 地図、1/50,000 地図を用いて、全域の傾斜区分図(図2次頁)を作製した。この際傾斜区分は

1. $0^\circ \sim 25^\circ$ 2. $25^\circ \sim 40^\circ$ 3. 40° 以上
- の三通りとした。つぎに(2)のメッシュをかけ、各メッシュ毎に傾斜区分毎の面積の割合を求めた。

(4) 崩壊分布図の作製

貸与された報告書⁽²⁾の中の崩壊地点の分布図を用いた。これに(2)のメッシュをかけ、各メッシュ毎に傾斜区分毎の崩壊面積を測定した。

図2 傾斜区分図

図3 地質図

(5) 地質図の作製

貸与された報告書⁽³⁾の中の地質図(図3)にしたがって、次の5種類の岩質に区分した。

1. 嶺家花崗岩
2. 圧砕岩
3. 三波川結晶片岩
4. 古生層
5. 中生層

つぎに全域に(2)のメッシュをかけ、メッシュマップを作製した。

(6) 植生分布図の作製

航空写真を用いて全域の植生分布図、ならびにそのメッシュマップを作製した。

(7) 水系図の作製

三峰川本流をもとにして第三次支川迄を測定した。その大きさは1/50,000図上に示されている明瞭な谷を流れる水系迄とし、上端は谷頭部とした。詳細は図4にしめすとおりである。つぎにこれに(2)のメッシュをかけて、各メッシュ毎にその中の水系の総延長を測定した。

図4 水系図

(8) 解析

1. 崩壊面積 (V) の算定

降雨量にもとづいて各メッシュを次の3群に区分した。

第1群 325mm以上

第2群 325mm～225mm

第3群 225mm以下

つぎに各群毎に、傾斜と地質のカテゴリー間の組合わせをとり、単位メッシュ(0.5k×0.5k)当りの崩壊面積を求めた。その状況を表3に示す。

表3 崩壊面積(V)一覧表

雨 量	地 質	傾 斜	40°以上	40°～25°	25°以下	平 均
325mm 以上	三波川結晶片岩		10,120*	5,032	2,270	3,824
	古 生 層		3,809	2,381	146*	2,508
325mm ～ 225mm	領家花崗岩			4,133	3,197*	4,066
	庄 砕 岩			1,992	740	1,733
	三波川結晶片岩			3,800	1,078	2,817
	古 生 層		3,809	1,730	146*	2,041
225mm 以 下	中 生 層		4,560	2,656	0	3,354
	領家花崗岩			4,133	3,194*	4,066
	庄 砕 岩			1,992	749	1,733
	三波川結晶片岩			3,800	1,078	2,817
	古 生 層		2,889	1,104	146*	1,652
	中 生 層		5,964	2,519	0	4,257
平	均		4,691	2,565	909	2,904

ただし崩壊面積の単位は400m²

*はデータ僅少のため信頼性の低いもの。

表3によれば、各岩質内では雨量が多くなる程、また傾斜が大きくなる程崩壊面積が大きくなっている。また岩質間では古生層の崩壊面積が一番小さい。これらは一応妥当な結果であろう。ただし中生層(40°以上)の325mm～225mmと225mm以下との間で逆転しているが、これは水系密度の影響によるものようである。

そこでこの実験では、式(5)の考え方を若干かえて表3の数値を基礎にして、これに谷密度による影響を修正することを考えた。

2. 要因の吟味

各要因と崩壊面積との関係を吟味するために、単相関係数を求めた。その状況を表4、5、6に示す。ただし傾斜の欄は表3の値をそれぞれ各メッシュの傾斜区分毎に代入して求めた値を用い、植生は各カテゴリーを崩壊面積との相関関係数が最大になるように数量化⁽³⁾した値を用いた。

表4、5、6によると、植生と崩壊面積の間の単相関係数が小さいから、省略しても差支えない。これは今回の降雨量が最低200mm/日位もあって大きいから、影

表4 単相関係数(1群)

水 系			-0.0713
傾 斜		-0.0023	0.0195
崩 壊 面 積	0.2998	0.5456	-0.0429
	傾 斜	水 系	植 生

表5 単相関係数(2群)

水 系			-0.0283
傾 斜		0.0987	0.0041
崩 壊 面 積	0.1981	0.5682	0.0611
	傾 斜	水 系	植 生

表6 単相関係数(3群)

水 系			0.0491
傾 斜		0.1888	0.0252
崩 壊 面 積	0.2226	0.5408	0.0491
	傾 斜	水 系	植 生

響度が薄れてきたのではなかろうか。降雨量がもっと小さい場合には、植生が大きく作用してくるかも分らない。

3. 水系(谷)密度の修正

各群毎に次の式を用いて、水系(谷)密度の修正係数を求めた。

$$A = (a + bW) V$$

ただし、A: メッシュ内の崩壊面積実測値(m²)

V: 表3の値を代入して求めたメッシュ内の崩壊面積(m²)

W: メッシュ内の水系(谷)密度(m)

a, b: 係数

その結果次の修正係数が得られた。

第1群 0.1959 + 0.0111 × W

第2群 0.1327 + 0.0114 × W

第3群 0.2390 + 0.0067 × W

なお水系(谷)密度Wについては、予め次のような重味をつけた。

図4において

2条実線の部分 0

1条実線の部分 0.25

破線の部分 1

これは河谷の幅が大きい程、侵蝕が進んでおると考えられるので、逆に新しい崩壊に対しては、それだけ安定性が増しているともいえる。したがって河谷の幅の大小にしたがって重味をつける事を考え、統計的に上記の数値を導いた。

4. 解析の精度

以上の数値を用いてメッシュ毎の崩壊面積を逆算

し、実測値との重相関係数を求めた。その結果次のように一応満足する値が得られた。

表 7 重相関係数

第 1 群	第 2 群	第 3 群
0.8435	0.7885	0.6904

5. 崩壊土量の解析

これ迄は崩壊面積について解析を進めてきたが、報告書⁽²⁾によるとサンプリング調査によって、崩壊面積と崩壊土量が求められていて、その関係は次のようにあらわされる。したがってこれを用いることによって相互に換算することができる。

表 8 崩壊面積 1 m² 当りの崩壊土量 (単位は m³)

岩 質	崩 壊 土 量
領 家 花 崗 岩	1.77
庄 砕 岩	1.50
三 波 川 結 晶 片 岩	3.05
古 生 層	3.18
中 生 層	3.03

9. 将来の予測

以上の結果を用いると、3 群に分れた各降雨量に依ずるメッシュ毎の崩壊面積(土量)を、容易に推定することができる。一例として全域に 325 mm ~ 225 mm の日雨量があった場合の、メッシュ毎の崩壊面積を計算すると図 7 のようになった。

Ⅷ. あとがき

個々の崩壊については、多くの専門家によって色々と研究されているが、未だもって十分に解明されていない。したがって現時点において、広い河川の流域における、崩壊土砂量を、物理的に解析しようとするのは至難の事であらう。しかしその必要性から考えて、『幾らかでもましな方法』が提案されるならば、少しでも現在の急場をしのぐことができるのではなかろうか。

この報告は以上の趣旨にもとづいて、研究を進め実験したものである。勿論完全というには程遠い状況ではあるが、幾分でも公共のお役に立つならば、この上ない幸である。

図 - 5 日 雨 量 325 mm ~ 225 mm
における 崩 壊 面 積 図

図 7 日雨量 325 mm ~ 225 mm における崩壊面積図

参考文献

- (1) 丸安隆和, 田浦秀春: “ある流域内の地点雨量分布の推定方式の研究” 写真測量 Vol. 4, No. 2, 1965
- (2) 中部地方建設局天竜川工事事務所: “竜東流域地質調査報告書” 1967
- (3) 中部地方建設局天竜川工事事務所: “崩壊土量の解析” 1967