

47 土石流ハイドログラフの推定

京都大学大学院 ○欧 国 強
京都大学農学部 小 橋 澄 治 水 山 高 久

1. はじめに

土石流に関する防災対策には、ハードとソフトの二つがある。いずれにしても、土石流の規模、いわゆるピーク流量と総流出量を的確に把握することが重要である。土石流の総流出量とピーク流量のあいだには比較的よい相関がありおおよその見積りは可能である¹⁾。また筆者らは先にピーク流量に関する統計的な予測方法²⁾も提案しているが、土石流流量ハイドログラフの推定方法はいまだに確立されていないのが現状である。

ここで報告するのは、1970年代後半に中国雲南省渾水溝で観測された土石流と降雨データにより、降雨のハイエトグラフから貯留関数法によって流出した水の流量ハイドログラフを求め、水流量と流砂量の関係を組み合わせて土石流の流量ハイドログラフを予測することを検討したものである。

本流域の流域面積は4.5km²、標高は1,000~1,820m、主河道延長は3.75km、平均勾配は7.8'である(図-1)。また、地震が頻発し、崩壊・地滑りが広く分布している。降雨量は年平均で1,561mmで、その86%が雨期(5~10月)に集中していて、最大日雨量が100mm以上となる。流域の上流部は森林で、土砂はほとんど生産されない。中流部では崩壊・地滑りが多く移動可能な土砂が十分に蓄積されていて、土石流の発生源となっている。観測によると、本流域では土石流は年間に50回以上発生している³⁾。



図-1 渾水溝流域地形および崩壊・地滑り分布図

2. 観測資料の解析

1975年から1980年までの6年間にわたって観測された、土石流と降雨データを解析した結果は次のとおりである。

2.1 降雨、地滑りと土石流ピーク流量との対応

本流域では発生した土石流のピーク流量(Q_p)の雨量、降雨強度との対応関係は比較的良く²⁾、また地滑りの移動速度とも関係があるように見える(図-2)³⁾。

2.2 降雨流出率(F)

まず、観測された土石流の流量ハイドログラフと土石流の単位体積重量の経時変化資料を用い、土石流中の水と土砂の流量ハイドログラフを分離した。次に、総流出水量と降雨量より土石流を起こす降雨の平均流出率(F)を計算すると、0.10~0.78となる(但し、1977年8月2日の1回だけはその流出率

が1.20となった)。

総雨量から総流出水量を差し引いて求めた損失雨量(L)と総雨量との関係は図-3のようになる。流出率は前期有効雨量(P_a)の増加とともに大きくなるという傾向がある。 P_a は流域表土層の含水状態を示すパラメータで、雨期開始日の P_a を、逓減係数を0.80とし、日単位で算定している²⁾。

2.3 ピーク流出係数(F_{10})

ピーク流出係数(F_{10})は、10分間降雨のピーク値と土石流中の水のピーク流量から次式で計算する。

$$F_{10} = 3.6Q_{UP} / (A * i_{10} * 6) \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 F_{10} :10分間雨量から計算されるピーク流出係数、 Q_{UP} :水流量のピーク値(m^3/s)、 A :流域面積(km^2)、 i_{10} :最大10分間雨量(mm)である。 F_{10} と Q_{UP} の関係は図-4となる。ピーク流出係数はピーク水流量が大きいくほど大きくなるが、かなりのピーク水流量の範囲について0.85付近の一定値をとる傾向が見られる。前期有効雨量(P_a)の大きい場合に、ピーク流出係数が1.0を大きく上回る傾向もみられる。

3. 流砂量(Q_s)と水流量(Q_w)の関係

上述のように実測された土石流の流量ハイドログラフと単位体積重量データより流砂量と水流量を分けることができた。両者の関係は図-5のように、強い相関があり、また増水期よりも減水期の流砂量の値が大きくなる傾向が見られる。相関式は $Q_s = 0.753Q_w^{1.216}$, ($R = 0.954$)(2) となる。ここに、 Q_s : 流砂量(m^3/s)、 Q_w : 水流量(m^3/s)である。

4. ハイドログラフの推定

4.1 水の流量ハイドログラフの予測

まず、降雨ハイドログラフから損失雨量を差し引いて、有効雨量のハイドログラフを求める。つぎ

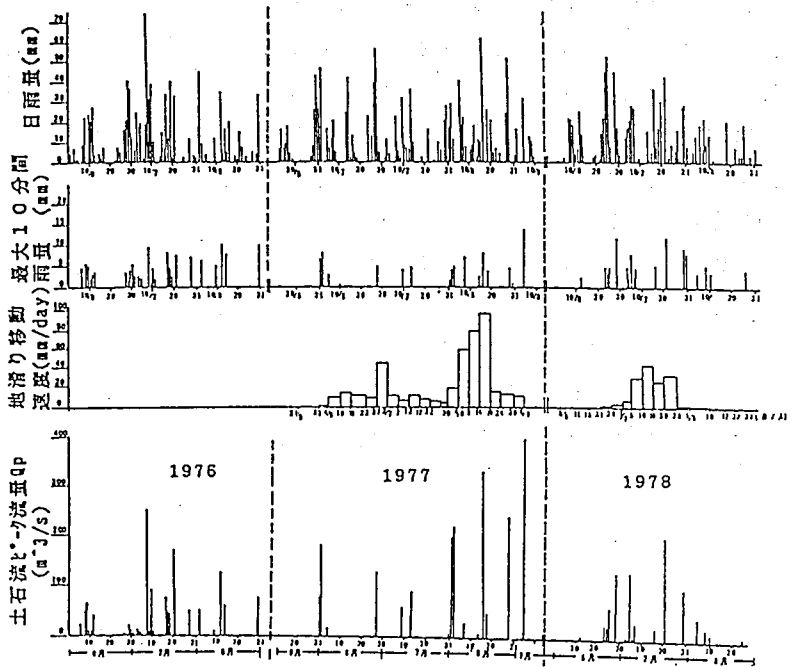


図-2 降雨量・地滑り移動速度と土石流ピーク流量との関係

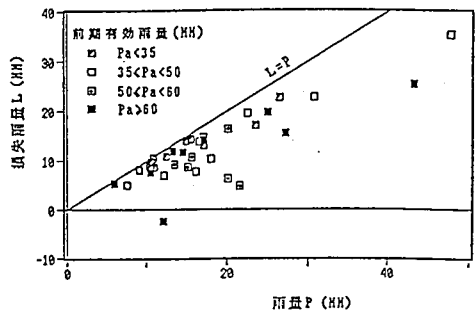


図-3 損失雨量Lと総雨量Pとの関係

に、貯留関数法を適用する。そして他の降雨に対する流出水量のハイドログラフを推定する。本研究では、1978年7月30日に発生した土石流($Q_p=100\text{m}^3/\text{s}$ 、 $F_{10}=0.84$)をモデル流出として計算した結果、本流域の貯留関数の定数は、 $k=146.6$ 、 $p=0.283$ 、遅れ時間(T_L)が1分であった。

4.2 土砂の流量ハイドログラフの予測

予測した水流量を(2)式に代入してそれに対応する流砂量を計算することができる。

4.3 土石流の流量ハイドログラフの予測

土石流の流量(Q)は水流量と土砂流量からなる。したがって、

$$Q(T) = Q_w(T) + Q_s(T) \dots\dots\dots (3)$$

によって、土石流の流量ハイドログラフが得られる。

例として、1979年8月2日および1977年8月2日の降雨について計算した水流量、流砂量、土石流流量のハイドログラフと実測値との比較は図-6、図-7のようになる。

5. 解析結果の考察

図-6($F_{10}=0.78$)では、減水期の一部で計算値の方が大きくなるものの、ピーク流量と総流出量の値を見ると、計算値と実測値はほぼ一致する。しかし、図-7($F_{10}=2.59$)では、実測のピーク流量が計算値の3~4倍、総流出量は実測値の方が計算値の約2倍となっている。図-6のような流出波形は通常の降雨流出タイプと見られ、この場合には、流量が貯留関数法で予測できるが、図-7のような流出波形は天然ダムが形成され決壊したと考えられるタイプ(本流域の中流部に崩壊・地滑りが広く分布して、天然ダムの形成される可能性が高い)である。その流量過程はより一層複雑で、単なる貯留関数法では予測不可能である。天然ダムがいつ、どこに、どのような規模で形成されるのかわかれば、天然ダム地点での水の量が降雨より貯留関数法などで推定され、ダム決壊による下流にある断面を流下する土石流の流量ハイドログラフが予測できると考えられる⁴⁾。それが困難な間は、既往資料に基づいて経験的に目安を付けることでもやむを得ない。

6. おわりに

上述のように、本流域では発生した土石流は概ね二種類ある。一つが通常の降雨流出によるもので、そのピーク流出係数は $F_{10} \leq 1.0$ 、この場合は降雨から貯留関数法で水の流量ハイドログラフが推定でき、また水流量と流砂量との関係と組み合わせて、土石流の流量ハイドログラフが推定できる。もう一つが天然ダムの形成と決壊が想像されるもので、そのピーク流出係数は $F_{10} > 1.0$ 。この場合には、天然ダムの形成(時刻、地点、規模)と決壊過程を考慮しないと、土石流の流量ハイドログラフの予測は不可能である。

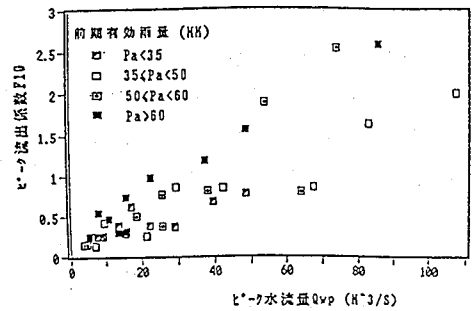


図-4 ピーク流出係数とピーク水流量の関係

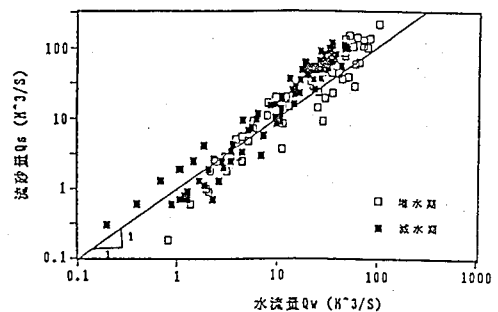


図-5 流砂量と水流量との関係

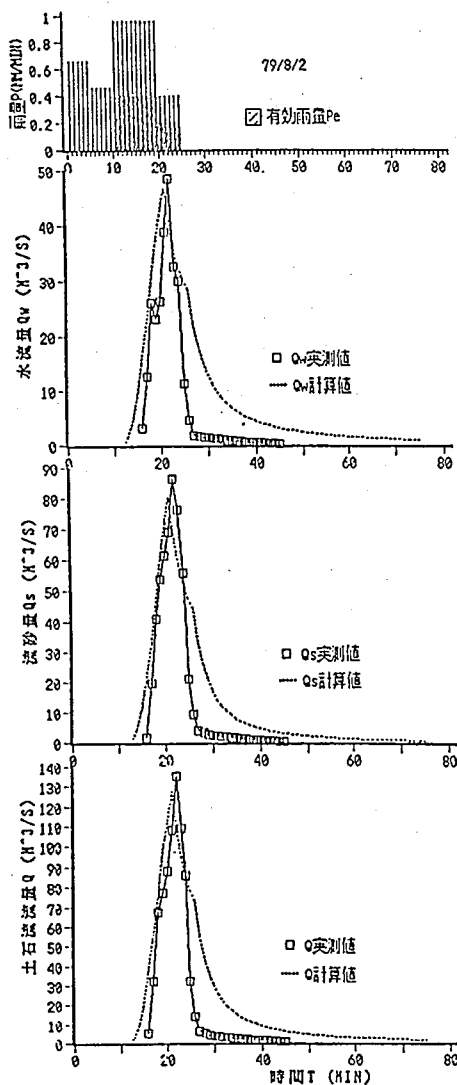


図-6 土石流ハイドログラフ計算値と実測値の比較 ($F_{10} \leq 1.0$)

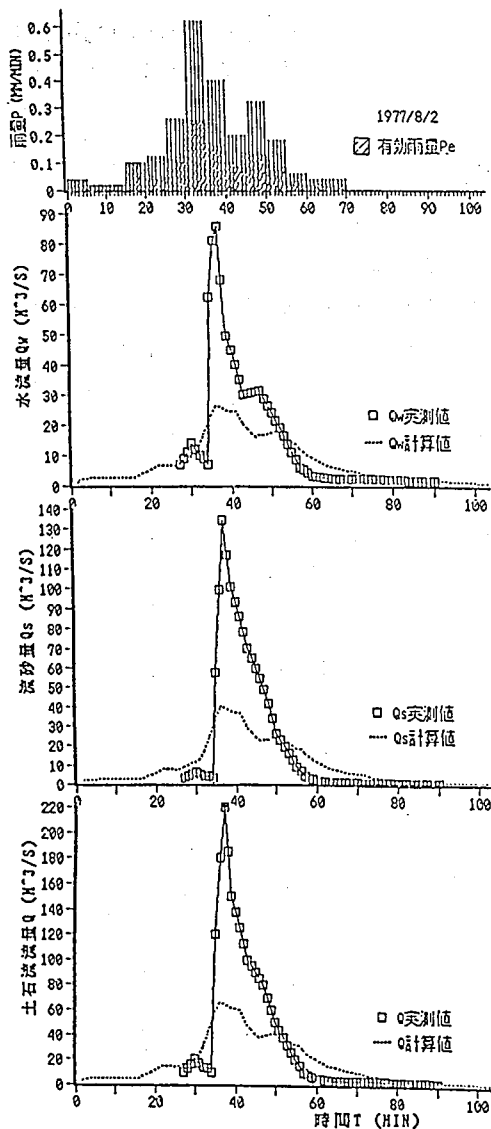


図-7 土石流ハイドログラフ計算値と実測値の比較 ($F_{10} > 1.0$)

参 考 文 献

- 1) 欧国強・小橋澄治・水山高久(1991): 土石流ピーク流量の推定、砂防学会誌、44-4、pp.24~29
- 2) 欧国強・唐邦興・小橋澄治・水山高久(1991): 土石流ピーク流量の統計的予測に関する研究、砂防学会誌、44-2、pp.14~21
- 3) 張興宝・劉江(1989): 雲南大盈江流域泥石流、成都地圖出版社、pp.33~92
- 4) 匡尚富(1989): 土石流の発生及び規模予測に関する基礎的研究、京都大学学位論文、pp.52~77