

71 焼岳上々堀沢における土石流発生条件の再検討

—— 溪床における降雨流出と浸透に着目して ——

京都大学理学研究科

○真中朋久

京都大学防災研究所

諏訪 浩、奥西一夫

建設省松本砂防工事事務所

宮本 登

はじめに

従来の研究¹⁾では、溪床堆積物の流動化による土石流の発生は、谷底の堆積物が浸透水で飽和し、さらに表面流が発生して斜面の安定条件が破れ、土層が滑ることによって起こるものと説明されている。しかし、焼岳上々堀沢における既往の土石流の発生時刻は10分間雨量の大きな強度の出現時刻にことごとく近接しており²⁾、溪床堆積土層がごく表層をのぞいて水で飽和していなくても、強雨によって生じる急激な表面流の出現のために土石流が発生するものと思われる。このことを確かめるために溪床下の浸透水の観測を行った。

また、谷底の堆積状態が不変である場合には、この表面流がある一定の限界流量 Q_c を超えるとときに土石流が発生すると言えるが、土石流の発生を支配する要因としては、流量のほかに溪床堆積物の量や谷底の微地形条件が考えられ、実際はこれらが変化している³⁾ので、 Q_c は必ずしも一定の値にならない。しかし、土石流の発生・非発生を支配する第一の要因は土石流発生点における降雨流出の流量の大きさであると考えられるので、上述の限界流量の変化に着目して検討を行う。

1. 降雨流出と地中水の動き

観測点付近(図1)においては、強雨があると斜面の浸透能を差し引いた部分として表面流出が発生し、これらがリルとガリを伝わって集まり、観測点の谷底を流下する。焼岳の山腹は透水性の大きい火砕物や、土石流堆積物の厚い層で構成され、谷底観測点付近でも地下水面はかなり深いので、観測点においては雨水と表面流の一部がおおむね鉛直浸透する。地表下110cmの水平遮水シート(直径120cm、円形)に達した浸透水はこの上に一種の宙水を形成する。浸透水の流量に応じて昇降するこの宙水水位を観測した。1987年の観測期間中には土石流の発生はなかったが、図2に観測の結果を示す。大きな降雨強度に即応して表面流出が出現し、さらに表面流出から数十分遅れで宙水の水位の立ち上がりが見られる。谷底堆積土層中の浸透水の動きは表面流のそれに比べるとずっと緩慢であることが示されたが、土石流が発生する時点にも浸透水の動きは同程度に緩慢だと推定できるので、溪床堆積土層がまだごく表層をのぞいて水で飽和していない状態で土石流が発生しているとの考えを強めた。

2. 降雨流出による土石流発生条件の再検討

土石流の発生・非発生についてはキネマティックウェーブ法計算による合流点のピーク流量 Q_p を用いて1981年以来ほぼ毎年、その年度のデータの検討を重ねてきた。その結果、例えば1982年の時点には土石流の発生率が50%を超えるのは Q_p が1200 m^3/h 以上のケースであり、一つの指標値として限界流量 $Q_c = 1200 m^3/h$ の値を用いることが可能であった⁴⁾が、その後この指標値から大きく外れる例が増えてきた。ところで、土石流の発生時刻は一般には降雨流出のピーク流量の出現時刻と独立なはずであり、土石流が発生するために必要な流量の限界値を検討するためには、土石流発生時刻の流量の値を土石流を発生させなかった降雨によるピーク流量値と比較する必要がある。ちなみに、上々堀沢のように粗放な溪床堆積物が流動化して土石流が発生するような場では、土石流は一般に流量のピークが現れる前、すなわち流量の増加傾向の途上のある限界値を超えたところで発生するように見うけら

れる(図3)が、合流点の計算流量を用いる限り、土石流発生時刻にはまだ流量が小さい例が多かった。今回は、1975年から1987年までの全てのデータの中から降雨の中に10分間に 3 mm 以上、あるいは1時間に 10 mm 以上の降雨強度があるという条件のうち少なくとも片方の条件を満たす253件の降雨について、土石流の発生限界流量に関しての系統的な変動の有無を検討した。

2. 1. 限界流量の経年変動

1970年に観測を開始して以来18年間、気象条件の違いによるばらつきはあるものの、土石流の発生頻度は減少し、発生する土石流の規模も全般的に漸次小さくなる傾向があるように思われる。このような概観的な推測がどの程度確かなものであるかを土石流発生例については土石流発生推定時刻の合流点における流量値 Q_c を用いてプロットすると図4のようになる。図4によると、1975年から1978年までの間は Q_c が $1200\text{ m}^3/\text{h}$ を超えると土石流がほぼ発生しているが、1979年から1987年までの期間について検討すると、 Q_c が大きな値を示しても土石流の発生しないケースが出現し、土石流が発生し難くなるとともに、年度によるばらつきも非常に大きくなっている。これは1979年8月22日の豪雨に際して、特に大きな土石流が発生し、この一日だけで 10^5 m^3 のオーダーの土石が土石流となって流下したため、土石流発生域の谷の下刻侵食が著しく進行し、谷の地形条件が一変したことに原因があると考えられる。

2. 2. 限界流量の季節変化

いっぽう土石流の発生条件は谷底の堆積状態の変化に伴って、季節的にも変化することがこれまでも予想されていた。合流点の土石流発生時流量を用いて土石流の発生と非発生の状態の季節的な推移を土石流が発生した年度について整理して図5に示す。経年変動同様ばらつきは大きい、土石流の発生率が50%を超えるような限界流量 Q_c は7月末までは $1000\text{ m}^3/\text{h}$ であるのに対し、8月以降は $500\text{ m}^3/\text{h}$ に低下している。土石流は7月末までは相対的に発生し難いのに対し、梅雨明け以降は発生し易い。このような差異は、残雪や堆積土石の増減あるいは両堆積層の質的な変化などの影響のために生じた可能性があるが、今のところ物理的に的確な解釈を行うことは難しい。いっぽう、梅雨明けまでは長雨が多いが、夕立のような降り方はもっぱら梅雨が明けてからである、といった10分間という時間分解能では識別できないような短時間の降雨特性の差異によってこの違いが現れている可能性もある。

2. 3. 第4支谷観測点における流量を用いた検討

土石流の発生時刻が10分雨量のピーク値の出現時刻に常に近接していることを考えると、流量値がもっと早く立ち上がり、流出が降雨に対してより敏感に反応するような現実に即したモデルによる計算が必要となる。そこで、合流点より約100m上流に位置するN地点(図1参照)における計算モデルを用いて土石流の発生・非発生を検討することにした。キネマティックウェーブ法によるこの計算モデルは合流点におけるそれとは異なり、N地点において実測された流量を十分に高い精度でシミュレートするようにつくられたものである⁵⁾。

土石流発生例について、発生時刻の流量値を用いて図6と7を得る。図3に一例を示すように、N地点の計算モデルによる多くの例で土石流の発生時刻の対応関係は改善したが、流量の途切れたときや、かなり小さいときにも土石流が発生したとするケースが生じている。換言すればこれは強雨が無いのに土石流が発生したということになる。この点については次の二点が考えられる。図8は取り上げた253降雨のうちの42降雨について、ピーク流量出現前1時間の降雨線⁷⁾の平均的な天頂角 ϕ の分布を示すが、降雨の捕捉率は $\cos\phi$ で表され、 ϕ が大きいほど降雨を過小評価することになり、計算流量値は小さくなる。また、N地点における計算モデルは合流点における計算モデルに比べてタイムレスポンスが早いので、時間的な推定誤差が計算結果に鋭敏に響いてくることが考えられる。

あとがき

引用文献 1)高橋 保(1977)土石流の発生と流動に関する研究,京大防災研年報,20B-2, 405-435 2)奥田節夫ほか(1976)土石流の総合的観測 その2,同上,19B-1,385-402. 3)奥田ほか(1980)土石流の総合的観測 その6,同上,23B-1,357-394. 4)Suwa et al.(1988) Seasonal variations of the erosional processes in the Kamikamihori Valley, Mt.Yakedake, Northern Japan Alps, CATENA, (in Press) 5)京大防災研(1982)昭和56年度焼岳土石流調査報告,建設省松本砂防技術資料, No.15. 6)同上(1983)同昭和57年度,同上, No.16. 7)岡上(1988)同昭和62年度,同上(印刷中)

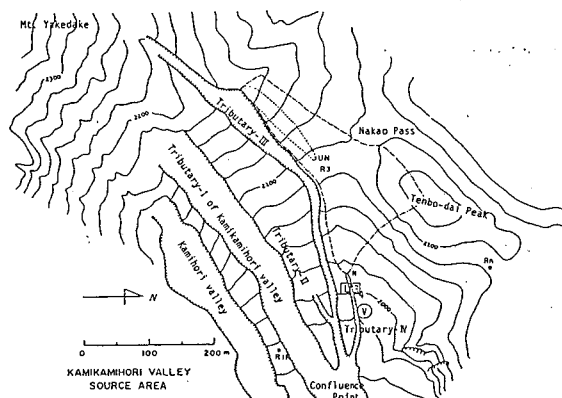


図2 第4支谷観測点における5分間雨量(観測値)、流量(N地点における計算値、実線)と治水の水位(観測値、破線)の関係

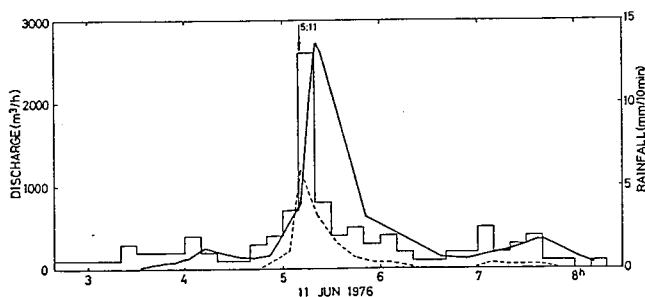


図3 降雨流出と土石流の発生時刻の一例 合流点(実線)、N地点(破線)

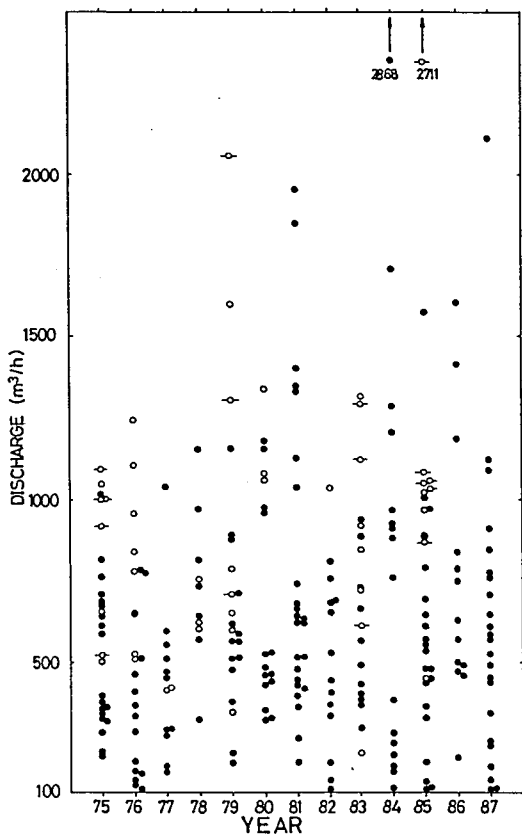


図4 合流点における流量値と土石流の発生・非発生（経年変動の検討）
○……土石流発生時の流量、○……同一降雨中の2回めに降の土石流発生時の流量、●……土石流非発生時のピーク流量（以下同じ）

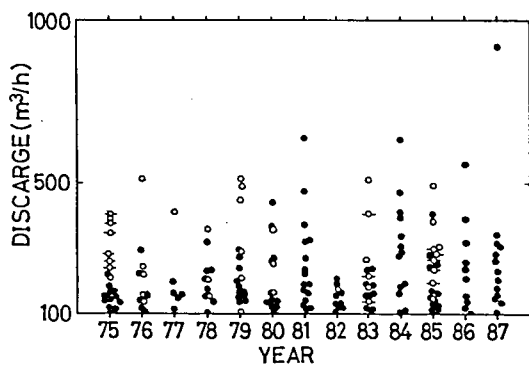


図6 N地点における流量値と土石流の発生・非発生（経年変動の検討）

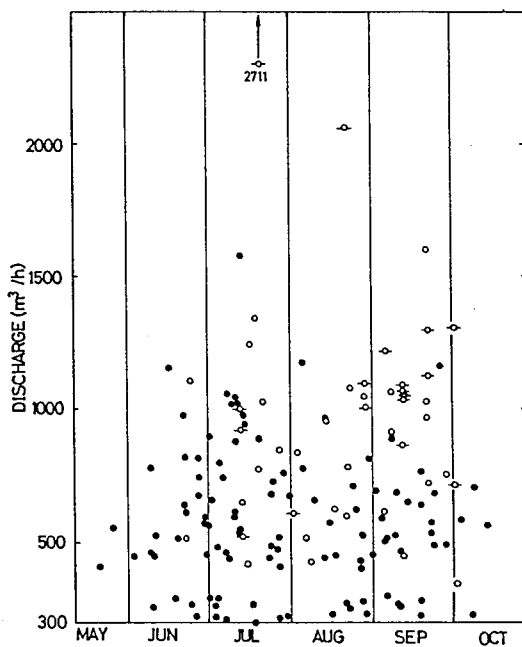


図5 合流点における流量値と土石流の発生・非発生（季節変化の検討）

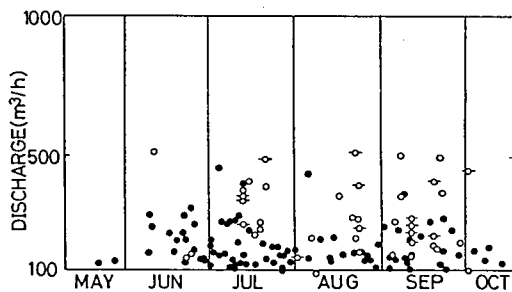


図7 N地点における流量値と土石流の発生・非発生（季節変化の検討）

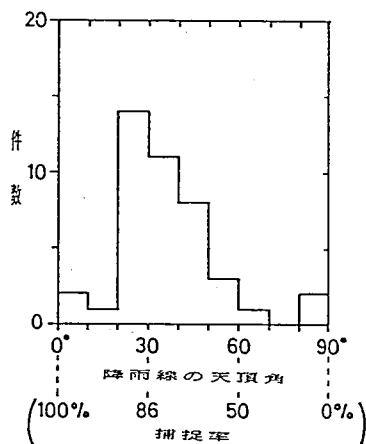


図8 降雨線の天頂角と降雨の充足率（ベクトル雨量計データによる¹¹⁾）