

83 焼岳上々堀沢における土石流の発生と規模

京都大学防災研究所

○諏訪 浩・奥西一夫

(財)日本気象協会

真中朋久

建設省小里川ダム工事事務所(前 松本砂防工事事務所) 宮本 登

焼岳上々堀沢上流の土石流発生域において溪床上に出現する表面流と溪床下へ浸透する水の挙動を観測した結果を報告し、溪床堆積物の流動化による土石流の発生過程について考察する。さらに、これまでにこの沢に発生した土石流の規模が降雨流出の流量とどのような関係にあるかを検討する。

1. 土石流発生時の溪床における水の挙動

図1に示す焼岳東斜面では、山腹が透水性の大きい火砕物や土石流の厚い堆積物で構成されているので、ガリの谷底に通常は水流がみられない。大きな降雨があって初めてリルやガリに表面流が発生し、図2に示す源流域第4支谷観測点では雨水と表面流の一部がおおむね鉛直浸透する。溪床下1.1mに設けた水平遮水シート(直径1.2m, 円形)に達した浸透水はこの上に宙水を形成する。浸透水量に応じて昇降するこの宙水の水位をステップ式水位計¹⁾を用いて測定した。この水位と降雨(測定値)および降雨表面流の流量(キネマティックウェーブ法による計算値²⁾)を図3に示す。土石流の発生を矢印で示すが、このとき土石流発生点に近い第4支谷観測点では既に宙水の水位がかなり上昇しており、さらに大流量の表面流が出現している。しかし溪床堆積物は全層にわたって飽和してはいない。土石流発生に伴う溪床の著しい侵食は観測点より約50m下流点より下流部と隣の第3支谷において生じているが、それらの場所では堆積土層がさらに厚いので、土石流発生点でもほぼ同様の水の動き、すなわち、土石流発生時には、含水率はかなり上昇してはいたものの溪床堆積物はそのごく表層を除いて不飽和の状態にあったと推定される。

2. 急出水の出現と土石流の発生過程

源流域観測点における降雨表面流出の模様をビデオ映像でモニターしたところ、通常の出水と急出水と呼ぶべきものとを観測した。通常の出水は、比較的穏やかな降雨に際し、下流側へつながる流れとして流量がゼロから漸次増大して始まるのに対し、後者は流れのないところへフロントを有する流れとして、上流側から急に出現する。これはいわゆる鉄砲水という言葉の意味する現象と部分的に重なるものと考えられ、上流部の河道へより早く水が集まる条件が存在するものと思われる。すなわち、昨年8月26日と9月11日の例では、溪流の上流部で下流の集中観測点より降雨強度が約50%も大きいという降雨の局地性が認められた。また、斜面の浸透能が上流部でより小さい条件や、大きな N_{10} 値(簡易貫入試験による貫入抵抗)が上流部で浅く分布するような堆積・基盤構造が概ね認められる³⁾。

溪床堆積物が流動化して発生する土石流については次の説明⁴⁾が広く受け入れられている。すなわち、砂礫よりなる無限長斜面において、浸透流によって堆積層が水で飽和し、さらに表面流が発生した段階に堆積層が不安定化して滑り、表面流と混合して土石流となるとの考えである。このようなプロセスで発生する土石流も確かに存在するが、上々堀沢では、堆積層がごく表層を除き不飽和の状態でありながら、大流量の表面流の出現によって土石流が発生していると推定される。表面流の流量が零から漸次増大して行く場合、傾斜の大きな斜面では堆積層が水で飽和してなくても表層の土石が次々と水流に取り込まれていくことが可能である⁵⁾。さらに、水流が急出水として出現すると、フロントでの衝撃力⁶⁾の効果で表層の土石はさらに容易に流れに取り込まれる。以上のようなプロセスがさらに掃流状集合流動を経て、高濃度の土石が全層に分散した土石流の流れに発展することが考えられる。

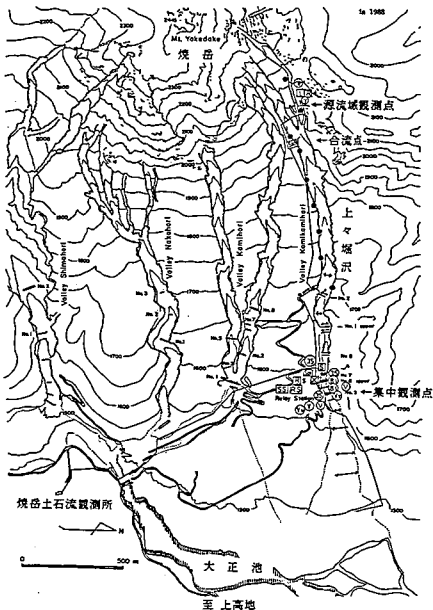


図1 調査地点と観測機器の配置 (1988年)
R: 雨量計, V: ビデオカメラ, L: 地下水水位計

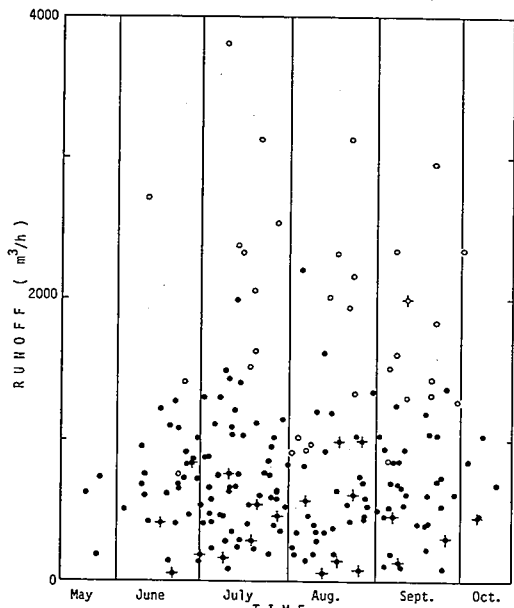


図4 合流点におけるピーク流量と土石流の発生・非発生
(季節変化の検討). 1975年から1988年のデータ.
○……土石流発生, ●……土石流非発生

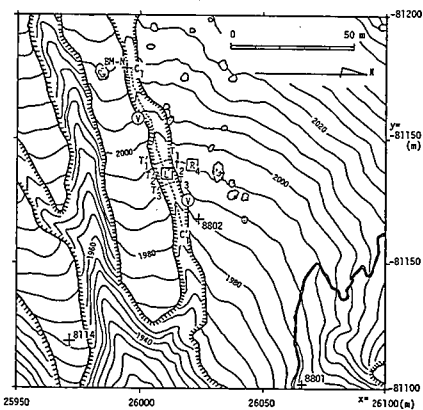


図2 源流域第4支谷観測点付近の機器の配置

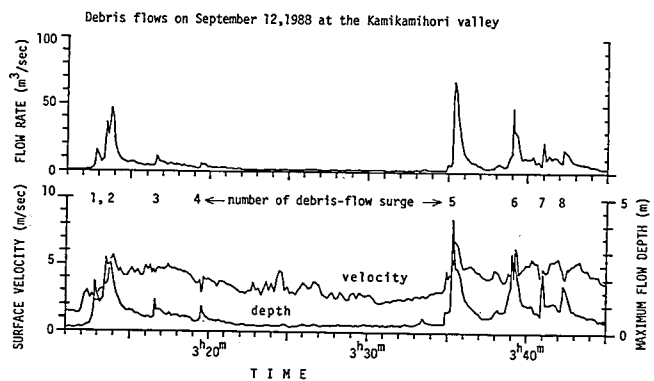


図5 9月12日の土石流のハイドログラフ.

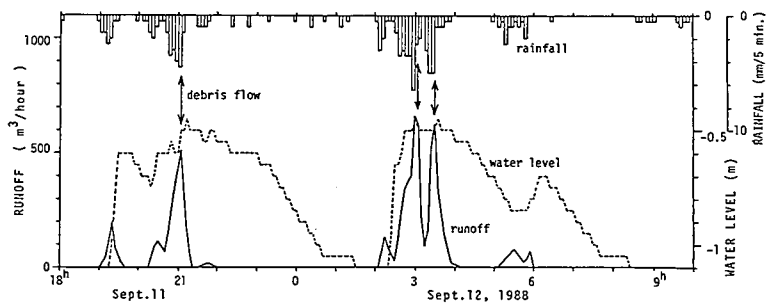


図3 第4支谷観測点における5分間雨量, 流量 (実線), 宙水の水水位 (破線) の関係と土石流の発生時刻

3. 土石流発生条件の季節変化

図4は、土石流発生のための降雨流出の限界流量（合流点における計算値）が7月までは相対的に大きくて土石流が発生し難いが、8月以降は土石流が発生し易くなることを示している。前報⁷⁾ではこの原因を確定できなかったが、その後の調査で、溪床土砂の下に残雪層の浸透能が非常に大きくて、表面流の流量を著しく減少させる効果のあることが分かった。さらに残雪層を被って堆積する土石は初めのうちは空疎な堆積構造を呈していて浸透能が非常に大きい、出水の度に堆積物のreworkingが進み、締め固まった堆積構造に変化していくことが観察された。

4. 土石流の規模の検討

土石流の規模はピーク流量 Q_p (m^3/sec) または総流出量 Q_T (m^3) で表現することが出来る。 Q_T は図5に示すような土石流のハイドログラフにおいて流量が $10m^3/sec$ 以上の時間帯に流下した量（積分値）として求めている。上々堀沢に発生した土石流のうちこのようなデータの得られた17例について両者の関係を図6に示す。 Q_p と Q_T はかなり高い相関関係にあることが分かる。2節において、土石流発生の第一の誘因は強雨によって生ずる大流量の表面流の出現であることを述べたが、表面流の大小が土石流の規模をどの程度規定しているかを検討した。

4. 1 土石流のピーク流量 土石流のピーク流量 Q_p と出水のピーク流量 Q_{wp} (m^3/sec) の関係を図7に示す。この図から、 Q_p と Q_{wp} は正の相関関係にあるが、相関の程度はかなり低いことが分かる。そして、 Q_p は Q_{wp} の数十倍から数百倍の値になっていることが注目される。降雨表面流出で供給される水の流量 Q_w に対して、この水と堆積土砂が混合して土石流になるとすると、その流量 Q は高々 Q_w の数倍にしかならない。 Q_p の値が桁はずれに大きいことを考えると、表面流が単純に土石流に転化しているとは考え難い。そこで、先行60分間の出水の流出量 Q_{w60} (m^3) との関係を図8に示す。精度の高い黒丸のデータだけに限って検討しても、正の相関の程度はあまり高くない。

4. 2 土石流の総流出量 土石流の総流出量 Q_T と先行60分間の出水の流出量 Q_{w60} (m^3) との関係を図9に示す。両者の間の正の相関はあまり高くない。これは、土石流の総流出量は先行60分間の出水の流量にあまり左右されないことを示す。このような相関の低さの一因は両者を求めるための積分時間の違いにもあると考える。上々堀沢では、 Q_T は観測点をふつうは数十秒ないし1~2分で通過する量である。土石流の総流出量 Q_T と出水のピーク流量 Q_{wp} の関係を図10に示す。この図において、両者の間の正の相関は図9の場合に比べるとやや高い。出水のピーク流量の時間的な分解能は5分であるので、 Q_p と Q_{wp} を求めるにあたっての時間スケールが近いことがやや好結果をもたらしたように思われる。

以上の簡単な検討の結果、土石流のピーク流量や総流出量を決めているのは降雨表面流出による出水の流量だけではないことが明らかになった。土石流の規模決定には残雪を含む溪床堆積物の量や質とその変化過程が関与しており、土石流が観測点に到達するまでに経てくる土砂収支の複雑なプロセスが強く影響しているものと思われる。

あとがき この研究の進展には溪床堆積物の量および質の変化過程と急出水の実態を明らかにしていくことが重要である。本研究を進めるにあたり、京都大学理学部学生 稲庭 篤君に多大の協力をしていただいた。また、この研究の一部は文部省科学研究費補助金重点領域(1) (課題番号63601016, 代表者 片岡 順)の補助を得て行った。

引用文献 1) 奥田節夫ほか(1976)京都市防災研年報, 19B-1, 385-402. 2) 奥田節夫ほか(1980)京都市防災研年報, 23B-1, 357-394. 3) 奥田節夫ほか(1978)京都市防災研年報, 21B-1, 277-296. 4) 高橋 保(1977)京都市防災研年報, 20B-1, 405-435. 5) Suwa, H. (1988) Trans. Japan. Geomorph. Union, 9, 151-178. 6) 諏訪 浩ほか(1973)京都市防災研年報, 16B, 425-432. 7) 真中朋久ほか(1988)砂防学会発表概要集, 259-262.

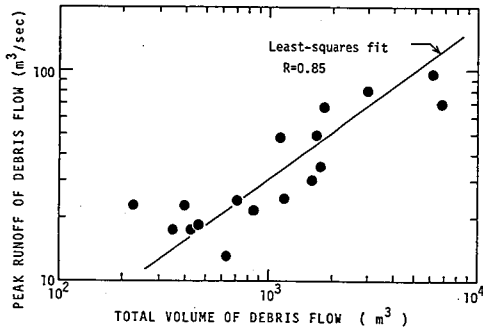


図6 土石流のピーク流量と総流出量の関係

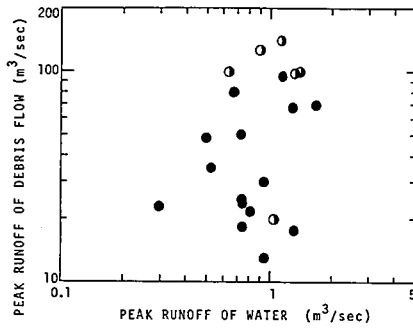


図7 土石流のピーク流量と出水のピーク流量。
土石流のピーク流量について、●……実測ハイドログラフから得たデータ、○……表面流速 v_s と流動断面積 A のどちらかを欠くデータ

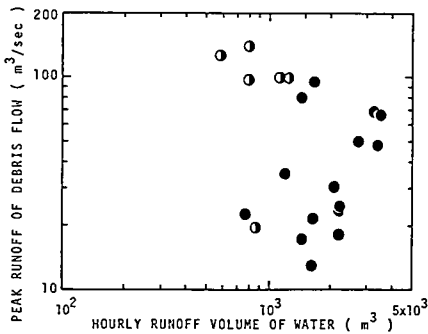


図8 土石流のピーク流量と先行60分間の出水の流出量

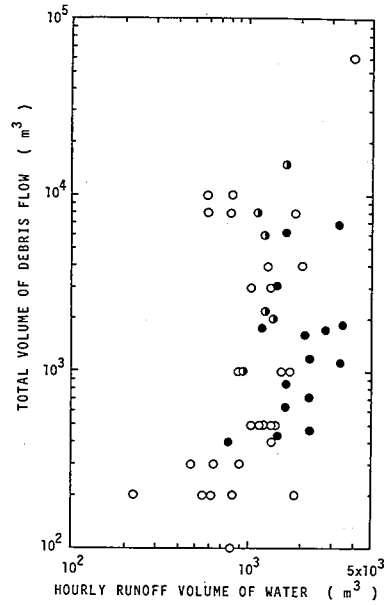


図9 土石流の総流出量と先行60分間の出水の流出量。
土石流の総流出量について、○……堆積物の体積または堆積面積から推定したデータ

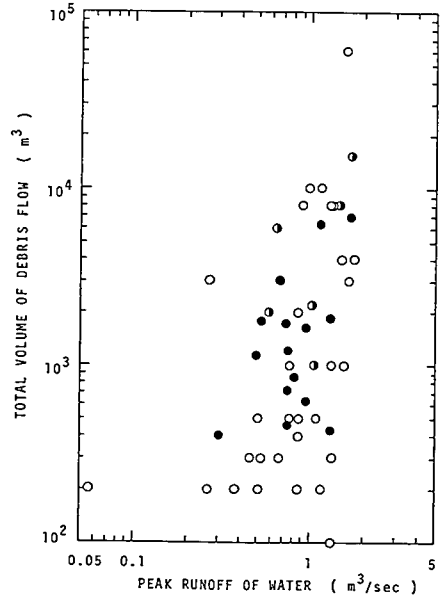


図10 土石流の総流出量と出水のピーク流量