

中国・雲南省の土石流（2）

京都大学防災研究所 ○沢田豊明

京都大学防災研究所 諏訪 浩

1.はじめに

土石流の流動・堆積特性、溪流の地形変動を明らかにするために、中国雲南省東川市に位置する長江流域小江支川の蔣家溝（46.8km²）において土石流の観測を行った。本研究は文部省科学研究費補助金（国際学術研究、代表：高橋 保）により、1991年から1993年まで実施された。

この流域は土石流の多発地帯で1991年には23回、1992年には8回、1993年には3回程度の土石流が発生した。それらの中で著者らが観測した土石流の一部について報告する。

2.観測の概要

中国科学院・成都山地災害環境研究所の東川泥石流観測所に隣接した区間長200m、幅20～40m、深さ約5m、勾配約3°の直線流路において、ビデオカメラによる土石流の撮影と降雨の測定および流路の地形変動測量が実施された（図1）。1991年には図2に示すような地点においてビデオカメラ（A）の方向から撮影を行った。この映像から土石流の先端流速、流動幅、先端部の水深および流動継続時間が測定された。1993年にはこのビデオカメラ（A）に加えてビデオカメラ（B）も使用された（図2）。



図1 観測流域の概要

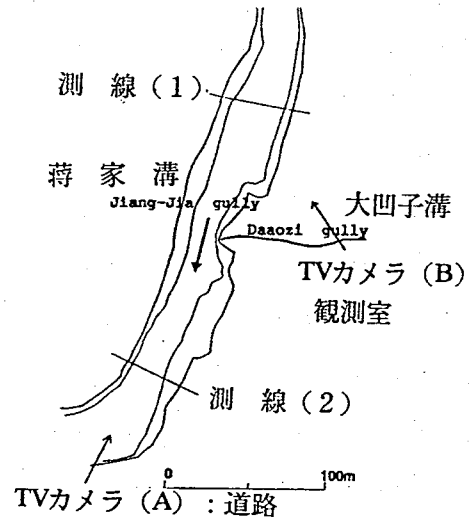


図2 観測区間における観測・調査地点

3.土石流の実態

1991年8月13日2時15分に観測地点を間欠性の土石流の第1波が通過した。その後、6時10分頃まで数分毎に間欠的に土石流が通過するのを観測した。この土石流は暗闇の中で流下したのでビデオの映像を得ることはできなかった。この土石流は図3に示す降雨にともなって発生した。時間降雨の最大値12mmは3時から4時の間に発生している。その後、11時15分頃に再び土石流が観測地点を通過し、この土石流は11時30分頃まで連続性のものであったが、11時41分頃から間欠性の土石流に変化した。

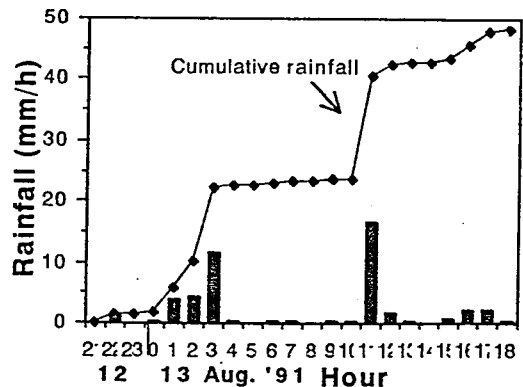


図3 1991年8月13日の降雨

固定ビデオカメラによる観測は11時30分から開始された。この土石流は図3に示すように、11時から12時までの時間雨量17mmに伴って発生している。この様に土石流は大きな降雨強度に伴って発生している。図2に示す区間を土石流は1~2分間隔で通過している。1波の土石流の先頭部から後部の流動部が通過するのに約20秒から30秒を要している。この土石流の先端部は乱流であるが、後続部は層流状の流れであった。その流動幅は先頭部が最も広く、後続部の幅は急に狭くなっている。ビデオカメラで観測された土石流は約80波で、1波の流量は先端流速、流れの幅、流動深および継続時間の積を3で除して求められた。約80波の土石流の流量は図4のように推移した。1波の流量は1000m³の規模の変動を繰り返しながら3000m³から1000m³に減少する傾向を示している。

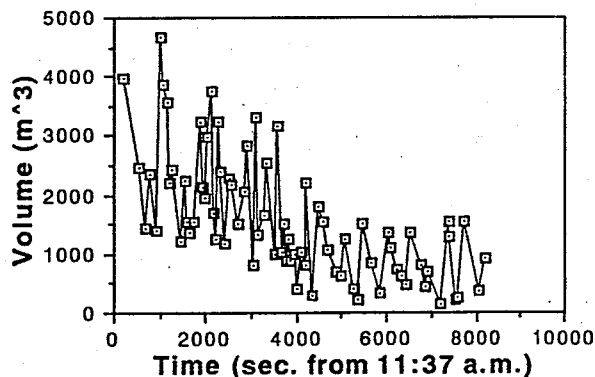


図4 土石流1波の流量の時系列分布

1993年8月26日の土石流は図5に示す降雨に伴って発生した。10分間降雨強度の最大値は2.5mmで3時40分から50分に発生しているが、最初の土石流の間欠流が観測点を流下したのが4時32分であった。第1波の先端流速の平均値をやや小さく7m/secと仮定すると、土石流が発生域を出発した時刻は4時20分頃と推定される。その後、土石流の波は約1分の間隔で繰り返し観測点を通過したが、ビデオカメラの映像は暗闇のため

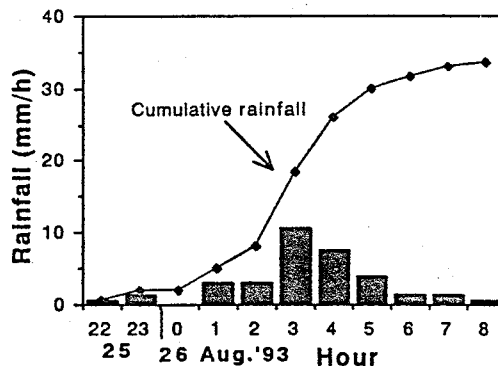


図5 1993年8月26日の降雨

得ることができなかったが、6時30分頃から得られるようになった。この場合、カメラを2台使い(A)のアングルの記録から先端流速など、(B)のアングルの記録から先端部の流動深が求められた。1波の土石流が通過に要する時間は大きな変動を伴いながらも、時間の経過とともに短くなる傾向が見られる。最後のステージでは、先行する小さな波が後続の大きな波に追い越されたり、河床の中央が高くなっている所では波が両岸に別れる現象も見られた。これらの土石流の先端流速は初期のものに比較して小さい傾向にある。また、波の先端の平面形状は凸型を呈し、河床平坦である場合や土石流の規模が大きい場合に、その曲率が小さい傾向が見られる。一方、間欠流の流量は時間の経過につれ図6に示すように大きな変動をともなって変化している。

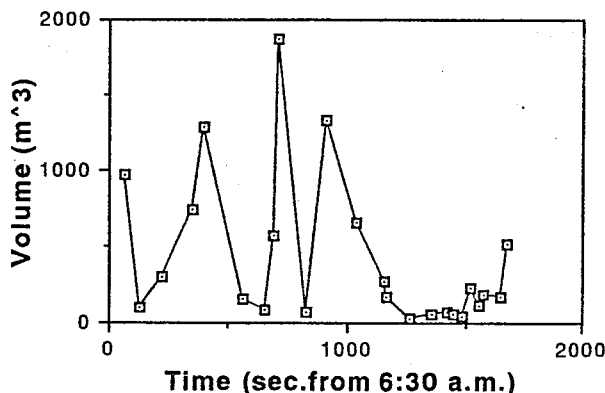


図6 土石流1波の流量の時系列分布

4. 土石流の流動特性

この流域に発生する土石流の特徴は1分程度の間隔で波が通過することである。土石流が段波を形成して間欠的に流下する原因として、土石流が間欠的に発生する場合、連続的な流れにある種の不安定性が生じて段波が形成される場合、流下の過程において流路の特性の変化によって段波が形成される場合が考えられる。なお、間欠流が繰り返す時間間隔は一定ではなく、むしろ変動は大きい。段波の先端の流動深が大きいほど先端流速が大きい傾向にある。したがって、先行する流速の小さな段波に続いて、流速の大きなものが発生した場合、これらの段波の間隔は徐々に短くなり、ついには後続の大きな段波が先行する小さなものを追い越して流下を続けるが、追い越された小さな段波もそのまま流下を継続する。この様にここで観測された土石流の波は孤立波の様な特性を示すことが特徴である。土石流段波の通過時間の間隔と流量の関係は図7に示される。プロットの包絡線は通過時間の間隔が長くなると段波の流量が小さい傾向を示すものと見ることもできる。

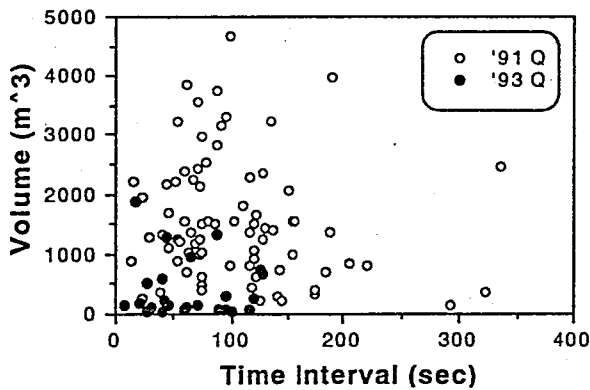


図7 土石流通過の時間間隔と流量の関係

つぎに、図8は水深に比例して流速が大きくなることを示す。1991年と1993年の観測資料を用いて流速と摩擦速度の比と水深と粒径の比の関係が図9に示されている。ここに、 U : 土石流の先端流速、 u^* : 土石流の先端部の摩擦速度

($\Theta = 3^\circ$)、 h : 土石流の先端部の流動深、 d : 土石流の平均粒径 (= 0.01m)。この図には高橋(1991)の実験による泥流やダイラント流体に関する資料が示されている。この観測値は泥流に関する実験値にほぼ一致し、密度が $1.7 \sim 2.3 \text{ kg/m}^3$ と大きいにもかかわらず、流動性に富む流れであることが明らかになった。

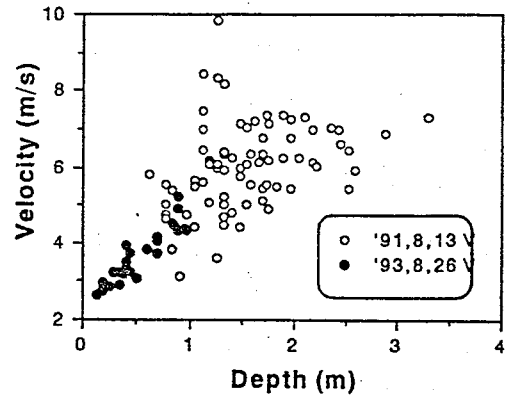


図8 土石流先端部の高さと同先端部の移動速度

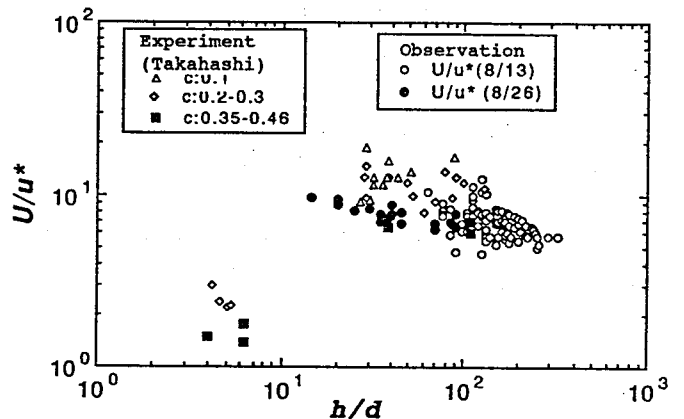


図9 流速と摩擦速度の比と水深と粒径の比

5. 溪流の地形変化

土石流の発生に伴う溪床の地形変化を調べるために写真測量と横断測量を行った。写真測量は1991年8月13日の土石流の前後に実施された。この土石流が発生する以前の河床は平坦であったが、一部に集中して河床低下が発生し、その幅は10m程度であった。この侵食量を断面積の平均で示すと 25.8 m^2 である。この区間の総侵食体積量は 5160 m^3 に達した。図10は写真測量の結果から得られたもので、この区間の河床の

中心縦断形の変化と侵食深の分布を示している。この区間全体で河床が低下を示し、侵食深は下流にゆくほど大きい。この区間全体の平均侵食深は約2.5mである。しかし、この値は実際より大きいように思われる。この図には約80mの間隔で侵食深が変化していることも示されている。

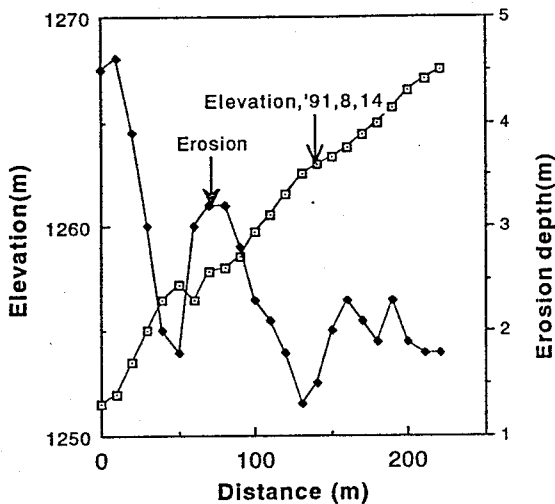


図10 流路の縦断変化と侵食深の縦断分布

次に、図2に示す二つの断面について1991年から1993年までの地形変化を検討する。測線(1)の横断面の変化を示す図11はこの測線付近では年間2m程度の河床上昇があったことを示している。また、河幅は1991年から1992年の間に1.5m程拡大したが、1992年から1993年の間に河幅は全く変化していない。

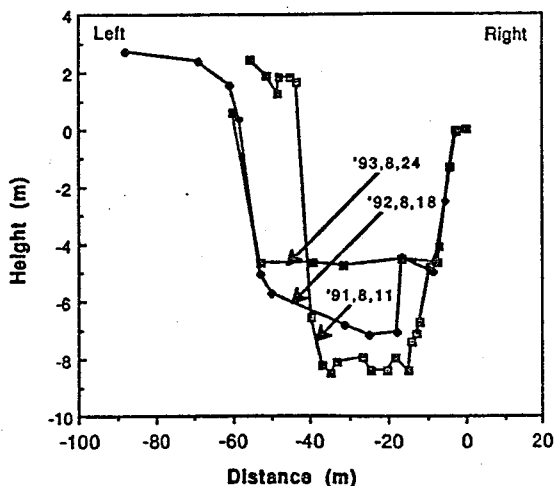


図11 測線(1)における断面の変化

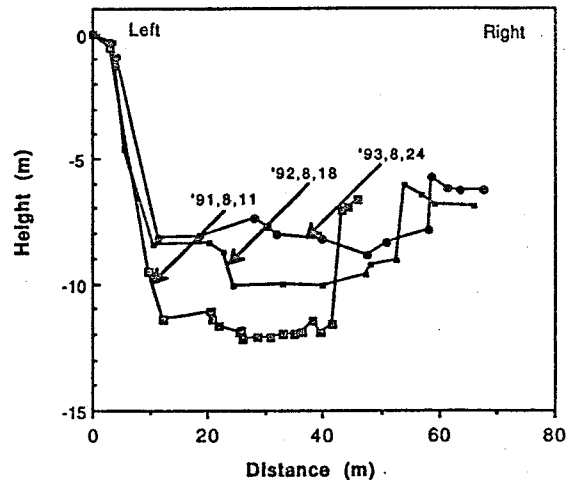


図12 測線(2)における断面の変化

図12は測線(2)における断面の変化を示している。この測線では毎年2m程度の河床の上昇と河幅の拡大が進行していることが分かる。一方、河幅の変化について見ると、1991年から1992年の間に河幅が約10m拡大し、1992年から1993年の間に河幅が約5m拡大している。また、流路の侵食が測線(1)で左岸側へ、測線(2)で右岸側へ進んだことが分かる。

6. おわりに

以上、間欠的に流下してくる土石流の流動特性および地形変動の実態を明らかにすることができた。しかし、土石流発生域の雨量、土砂生産および堆積物に関する情報を得ることが困難であるため、土石流の発生条件、流出過程などについて十分な考察ができなかった。このような土石流の規模や通過間隔および地形変化が何によって支配されているか、今後の大きな課題である。

参考文献

Takahashi, T.: Debris Flow (IAHR-AIRH MONOGRAPH), A. A. Balkema International Publishers 1991, p51.

沢田豊明：中国・雲南省の土石流、平成4年度砂防学会研究発表会概要集、p.162-165.