

筑波大学農林工学系 ○眞板秀二

筑波大学農林技術センター 内田煌二、黒田吉雄

1. はじめに

流域上部の各地点で生産された土砂は溪流での流送・滞留・流送という過程を経て下流に伝播し、下流域にさまざまな影響を与える。土砂生産地点での影響をON SITE EFFECT、下流域での影響をOFF SITE EFFECTと呼ぶが、溪流環境を考える上ではOFF SITE EFFECTを解明していくことが重要になる。そこで、OFF SITE EFFECTを解明する一環として、良好な森林流域での流域出口での土砂流出と流出との関連を検討したので、その結果を報告する。

2. 対象流域と研究方法

対象流域は長野県南佐久郡川上村字矢出川（筑波大学農林技術センター川上演習林第2林班）に位置し、千曲川水系三沢川の一源流部を構成している鞍骨沢流域である。流域の最高峰は鞍骨の1786mで、主流は標高差350mを西流して三沢川本流に合流する。流域面積は0.378km²で東西に細長い流域となっている。地質は新第三紀の安山岩からなるが、冬季の凍結破砕作用によって風化が進んでいる。植生はカラマツ、ストロブマツからなる針葉樹人工林とミズナラ、カンバ、カエデ類などからなる落葉広葉樹林で構成され、標高1700m以上の流域源頭部には、一部に草生地がみられる。地形は、標高1550mを境に上下に2分され、下部は堆積土層が厚く、上部は薄い。崩壊は流域源頭部にみられるが、それぞれの面積は50～700m²と小規模であり、崩壊面積率も0.42%と小さい（図-1）。

流量と流出土砂量はつぎのような方法で求めた。流量は流域出口に設置された直角三角堰をもつ量水槽の測定水位を沼知・黒川・淵沢¹⁾の式によって変換して求めた。流出土砂量は量水槽とその上部の沈砂槽の堆積土砂量を測定することによって把握した（図-2）。量水槽では20cm間隔で、沈砂槽では50cm間隔で流下方向に直角に測線をとって横断測量を行った。測量終了後、槽内の堆積土砂の排除を行った。約4m³以上の土砂が流出した場合は、量水堰のノッチ下端まで土砂が堆積するので、この場合は、それ以上の土砂流出があったということになる。

3. 結果および考察

3.1 堆積土砂量の測定結果

表-1は堆積土砂量の測定結果である。また、図-3はいくつかの小規模な出水（1986年8月～1987年6月）によって徐々に堆積を増していくというタイプの土砂流出について、その堆積土砂の粒径分析を行った結果である。土砂の流出状況は1989年を境に大きく変化している。1989年以前の年間の流出土砂量は0.3～1.8m³（年平均侵食土量に換算すると10⁻³mmオーダー）であるのに対して89年から91年までは4～5m³以上（年平均侵食土量に換算すると10⁻²mmオーダー）と大きな値を示し、一回の出水で4m³以上の土砂流出がおり量水堰のノッチ下端まで土砂が堆積した。このため、土砂流出を起こした出水を特定できるようになった。さらに、このような出水時の流出土砂の粒径成分は図-3の上部水槽の堆積土砂に示されるPebbleサイズ（4～64mm）が卓越し、下部水槽にSandサイズ（1/16～2mm）の

土砂を堆積させる小規模な出水時と違って下部水槽までPebbleサイズの礫が堆積した。したがって、下部水槽の粒径からも一回の出水で堆積した土砂か否かを判定できる。

3.2 降雨および流出の状況と土砂流出

表-1 堆積土砂量の測定結果

図-4は量水堰の越流水深の記録紙で、1990年9月19～20日に起こった出水を記録したものである。量水槽内に土砂が堆積していく過程で記録ペンの振動が大きくなり、ある時点から記録不可能になっている。ノッチ下端まで土砂を堆積させるような出水では、このような変化が記録紙に示されており、活発な土砂流出

測定期間(年.月.日)	堆積土砂量(m ³)	備考
1986.08 - 1987.06.12	1.3	
1987.06.12-1988.06.17	0.3	
1988.06.17-1989.05.09	1.8	
1989.05.09-1989.11.28	5.5	1989.09.03の出水による
1989.11.28-1990.07.03	1.0	
1990.07.03-1990.10.16	4.7	1990.09.20の出水による
1990.10.16-1991.08.08	4.4	1991.07.14の出水による
1991.08.08-1991.09.20	5.6	1991.08.31の出水による
1991.09.20-1993.08.10	1.7	1993.07.25の出水による
1993.08.10-1993.10.23	2.1	1993.09.02と09.09の出水による

が発生し始めた時間を特定できる。この記録紙の解析によれば、流出土砂量が4m³を越すような出水では、ピーク流量が発生する時刻に土砂流出が最も活発になるといえ、この時刻までに降雨強度が最も強くなる時期がある(図-5)。

3.3 降雨および流量と流出土砂量の対応

各年の7月から11月の期間の降雨および流量データを整理するとともに前述の流出土砂の流出状況および堆積土砂の粒径分布から降雨および流量と流出土砂量との対応を検討した。この結果、ピーク流量が0.05～0.1m³/s以下の小規模な出水ではSandサイズの土砂流送が卓越すること、1987年6月～1988年6月の堆積土砂量(何回かの小規模出水による)からみると、このような出水による年間堆積量は0.3～0.5m³であることが判明した。また、ピーク流量が2m³を越すような出水ではPebbleサイズの土砂流送が卓越し、一回の出水で数m³以上の土砂が堆積することが判明した。図-6はPebbleサイズの土砂流送が卓越する出水時のピーク流量とそれらの出水による堆積土砂量の関係を示したものである。さらに、出水に対して土砂流出がどの程度起こり易いかを比較するため堆積土砂量をピーク流量で除し、これを土砂流送指標として示してある。この指標の値が大きいほど溪床が不安定で、土砂流出が起こりやすいことを意味する。なお、図-6に示した堆積土砂量および土砂流送指標の矢印はそれ以上の値をとることを意味する。

図-6をみると1989年から土砂流出指標が10以上とそれまでの2倍以上の値をとっており、この年から土砂流送が活発になったことを示している。この関係はピーク流量がほぼ同じ値(0.28m³/s前後)を示す1988年9月と1991年7月の堆積土砂量を比較すると一層明瞭になる。前者では1.3m³であった堆積土砂量が少なくとも4m³以上となっている。このような流量に対する土砂流送の応答の違いはSandサイズの土砂流送が卓越する0.05～0.1m³/s以下の小規模な出水でもみられる。表-1に示したように1987年6月～88年6月の堆積土砂量が0.3m³であるのに対して降雨および流出状況がほぼ同じ1989年12月～90年7月の堆積土砂量は1m³と3倍以上の値を示し、この規模の出水に対してもこの時期土砂が流送されやすい状況にあったことを示している。このように、鞍骨沢流域の出口では1989年から土砂流送が活発になったが、川上演習林全体でみると1988年9月24～25日の連続雨量125mm、最大時間雨量15.

5mmの降雨によって林道（1984年～1988年に築設）上を雨水が走り、崩壊が発生するとともに路盤が多くの箇所では侵食されている。この時、鞍骨沢流域では崩壊は確認されておらず、流域出口の流出土砂もそれほど大きいものでないが（図-6）、この降雨によって鞍骨沢の溪流内に不安定土砂が蓄積した可能性は大きい。とすると、1989年からの流量に対する土砂流送の応答の変化はすでに1988年に用意されていたことになる。なお、1983年には土砂流送指標は5前後の値にもどり、土砂流送が起こりやすい状態は解消しつつあると思われる。

4. 結語

草地・林地の年平均侵食土量は $10^{-1} \sim 10^{-2}$ mmオーダといわれるが²⁾、年平均侵食土量がこれより1オーダ小さい 10^{-3} mmオーダである安定した森林流域の鞍骨沢流域でも、土砂供給によって一旦溪床が不安定になると、流量に対する土砂流出の応答特性は大きく変化し（土砂流送指標でみると2～3倍以上、年侵食量が 10^{-2} mmオーダになる）、土砂流出が活発になり、それが3～4年継続することになる。しかし、その後またその応答特性は以前の状態（侵食土量でみると 10^{-3} mmオーダ）に戻るようである。土砂流出の極めて活発な大井川東河内川の例³⁾からみれば、土砂流出指標は指数関数的に減少し以前の値に近づくと考えられる。また、活発な土砂流送がどのくらい続くかは溪床への供給土砂の量と質によって決まってくるものと考えられる。

謝辞

本研究は、文部省科研費（No. 02454084）の援助を受けた。科研グループの筑波大学農林工学系鈴木光剛教授、杉山博信助教授、佐藤政良助教授、間野和美技官には種々ご協力いただいた。また、筑波大学農林技術センターの高見沢澄技官には堆積土砂の排土に際してご協力いただいた。さらに、筑波大学地球科学系田中正助教授からは降雨資料をご提供いただいた。記して謝意を表したい。

引用文献

- 1) 土木学会編：水理公式集．土木学会，1974 2) 中野秀章：森林の水土保持機能とその活用．日林協，1973
 3) 眞板秀二：破碎帯流域における荒廃溪流の動態に関する研究．筑大演報4，1988

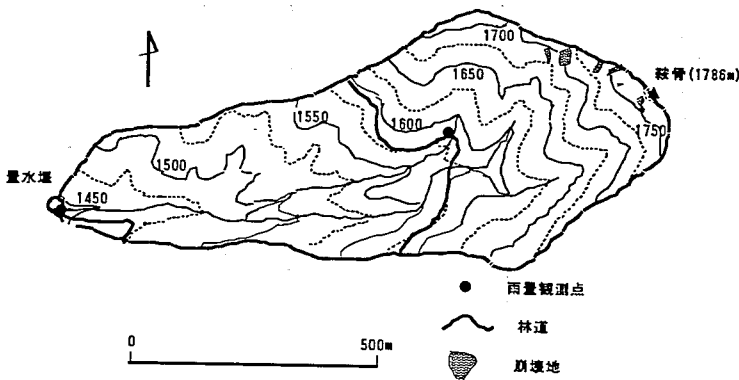


図-1 鞍骨沢流域

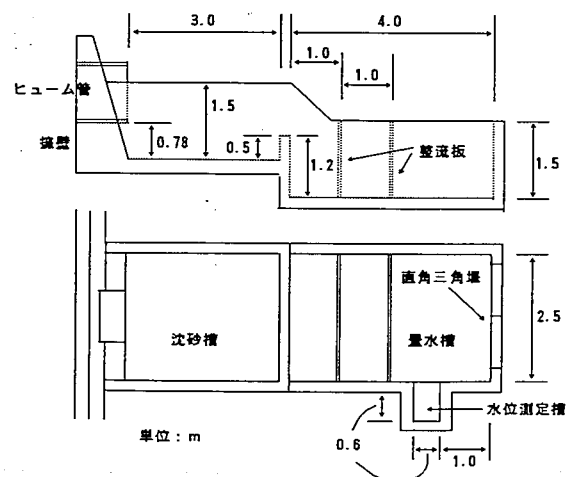


図-2 流量観測施設

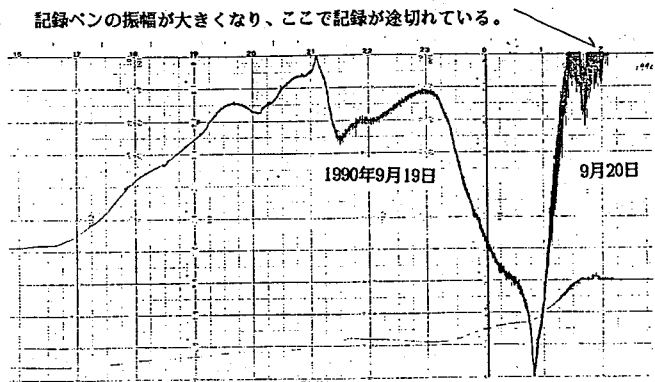


図-4 1990年9月19～20日に発生した出水の流量測定記録

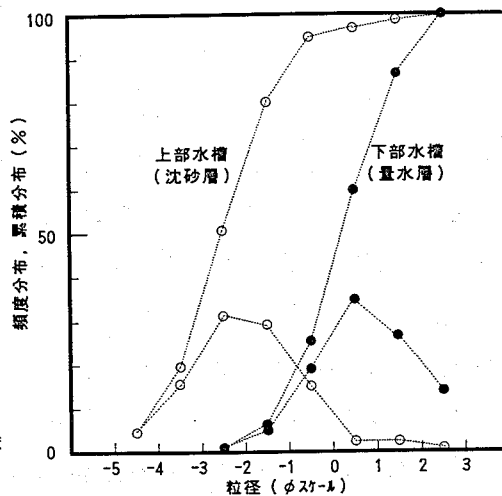


図-3 堆積土砂の粒径分布

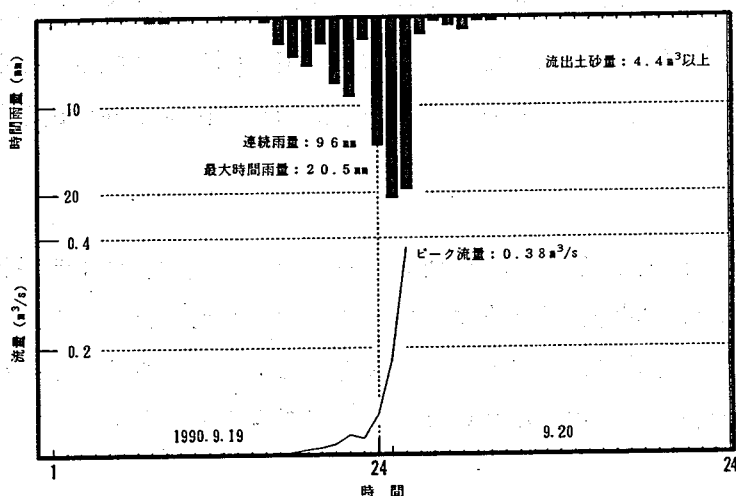


図-5 1990年9月19～20日に発生した出水の降雨と流量

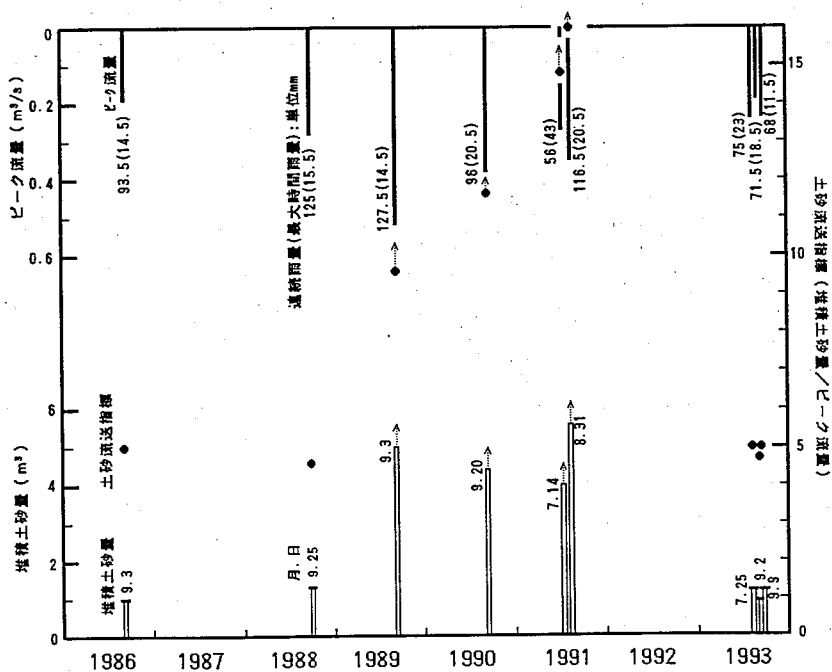


図-6 ピーク流量と堆積土砂量との関係