

(続紙 1)

京都大学	博士（農学）	氏名	池田 暁彦
論文題目	土石流の発生・流出過程に関する研究		
（論文内容の要旨） 我が国で頻発している土石流災害を防ぐためには、土石流の実態とその特性を明らかにすることが重要である。これまで土石流の発生、流下、堆積に関しては、土石流発生後の痕跡調査、土石流観測等による実態把握と、水路実験や数値シミュレーション等による実験的・理論的研究が進められてきた。しかし、土石流の発生条件は主として降雨量に着目して行われ、土石流を構成する土砂の供給条件や溪床堆積土砂の堆積状況に着目して発生条件を研究した事例は少ない。さらに、土石流発生域で土石流観測例が少ないために土石流発生域における土石流の発生から流出に至る過程は明らかになっていない。本研究は、土石流の発生・流出過程を明らかにするために、土石流の発生・流出過程に関する既往研究を整理した上で、滑川北股沢と藤原岳西之貝戸川を事例に、実際の溪流で発生している土石流の発生、流下、堆積の実態を整理・分析した。つぎに、水路実験によって土石流発生源での溪床堆積土砂の移動（変形）実態を調べた。土石流発生源における土砂の供給条件と溪床堆積土砂の移動特性を考慮した土石流の発生限界雨量を検討した。それらの結果を滑川北股沢と藤原岳西之貝戸川にあてはめ、その適用性・妥当性を検証した。 滑川北股沢の土石流発生源では兩岸斜面やガリーから土砂が供給されて崖錐を形成して、供給量が多い場合は天然ダムが形成される傾向が確認でき、藤原岳西之貝戸川では溪岸崩壊地から恒常的に土砂が供給されて溪床に厚く堆積して小規模な降雨で移動している状況が確認できた。土石流の発生形態として、滑川北股沢では溪床堆積土砂が流動化するタイプ、崩壊土砂が流動化するタイプ、天然ダムが決壊して土石流となるタイプが、藤原岳西之貝戸川では溪床堆積土砂が流動化するタイプが確認された。滑川北股沢で流下する土石流は、先行流、土石流本体部、後続流に区分された。また、土石流の流量ハイドログラフの波形は、ピークが顕著で一気に流下するタイプ、複数の段波が流下するタイプ、土石流本体部が複数回流下するタイプ、先行流がないタイプなどがみられた。土石流の発生形態は土砂の供給条件と関係があると考えられるが、土石流の流量ハイドログラフの波形との関係はみられなかった。西之貝戸川では表面流が発生していない、すなわち溪床堆積土砂が飽和していない状態で土石流が発生することが確認された。これらのことから、実際の溪流では土石流が発生していない時でも溪床堆積土砂が移動していることが確認され、それが土石流の発生・流出過程に影響を及ぼしていると考えられた。 自然溪流の土石流発生源を想定した実験水路により、浸透流よりやや大きい程度の流量でも溪床堆積土砂は移動することが確認された。溪床勾配が30°～27°では明瞭な先端部を持つ移動層が形成され、24°～21°では移動層が停止して砂堆を形成するようになり、18°～12°では砂堆が発達して溪床堆積土砂の層全体が移動するようになった。移動層、砂堆とも勾配変化点で停止、堆積、発達する傾向が確認された。移動層は浸透流が移動層の先端部に達した時点、砂堆は背面から砂堆内に浸透していた表面流が砂堆の頂部を越流した時点で移動を開始した。移動層、砂堆とも表面流がない不飽和状態でも移動することが確認された。水路実験により滑川北股沢と藤原岳西之貝戸川で確認された土石流の発生、流下、堆積の実態を検証することができ、土石流発生源における土石流の発生・流出過程が明らかになった。また、溪床堆積土砂が移動を始める堆積形状は移動層、砂堆とも前面勾配が急となっている時点であることから、実際の溪流で溪床堆積土砂の前面勾配が急な状態で表面流が流下すると溪床堆積土砂が移動して土石流となる可能性が高いものと考えられた。			

藤原岳西之貝戸川の土石流発生源で確認された土砂の供給条件や溪床堆積土砂の移動特性を考慮し、土石流の発生を支配する降雨量を分析した。藤原岳西之貝戸川では溪床堆積土砂が流動化して土石流が発生することから、洪水到達時間内の平均降雨強度によって土石流の発生を支配する降雨量を評価できると考えた。分析の結果、洪水到達時間を10分と評価して、その間の降雨強度は17mmという結果を得た。藤原岳西之貝戸川のように土砂の供給条件が把握できない場合は、短時間の降雨強度や、累加雨量あるいは実効雨量のいずれの降雨量が土石流の発生を支配する降雨量であるかが明らかになれば、土砂の供給条件、すなわち土石流の発生形態を推定することが可能であることが示唆された。

水路実験により明らかにした土石流発生源の土石流の発生・流出過程について、滑川北股沢にあてはめてその適用性・妥当性を検証した。滑川北股沢で発生した土石流を対象に一次元河床変動計算を用いて、土石流の発生から流下、堆積に至るまでの数値シミュレーションを行い、当該土石流の発生時に形成されていた天然ダムの有無が土石流の流動に及ぼす影響について考察した。天然ダムが有る場合は、無い場合に比べて土石流観測地点における土石流ピーク流量が約4.4倍、最大流動深は約3.0倍となった。土石流観測地点における土石流の流量ハイドログラフについて観測値と計算値を比較したところ、土石流ピーク流量はほぼ同程度となり、流下継続時間、流量の低減部の傾向は概ね一致した。土砂の供給条件が下流域での土石流の流量ハイドログラフに影響を及ぼすことが確認され、土石流による下流域の災害を防ぐためには、溪床堆積土砂の状況やその変化を把握することが極めて重要であることが示唆された。

注) 論文内容の要旨と論文審査の結果の要旨は1頁を38字×36行で作成し、合わせて、3,000字を標準とすること。

論文内容の要旨を英語で記入する場合は、400～1,100 wordsで作成し
審査結果の要旨は日本語500～2,000字程度で作成すること。

(続紙 2)

(論文審査の結果の要旨)

我が国で頻発している土石流災害を防ぐためには、土石流の発生、流下、堆積の機構を明らかにする必要がある。しかし、土石流の発生条件、土石流発生域における土石流の発生から流出に至る過程は、現地観測が困難なために明らかになっていない。本研究は、実際の溪流での調査、水路実験によって土石流発生源での溪床堆積土砂の移動実態を明らかにしたもので、評価できる点は以下のとおりである。

1. 現地調査から滑川北股沢では兩岸斜面やガリーから土砂が供給されて崖錐を形成して、供給量が多い場合は天然ダムが形成される傾向が確認され、藤原岳西之貝戸川では溪岸崩壊地から恒常的に土砂が供給されて溪床に厚く堆積して小規模な降雨で移動している状況が確認された。

2. 土石流の発生形態として、滑川北股沢では溪床堆積土砂が流動化するタイプ、崩壊土砂が流動化するタイプ、天然ダムが決壊して土石流となるタイプが、藤原岳西之貝戸川では溪床堆積土砂が流動化するタイプが確認された。

3. 自然溪流における土石流発生源を想定した水路実験を実施し、浸透流よりやや大きい程度の流量でも溪床堆積土砂は移動することを確認した。溪床勾配が $30^{\circ} \sim 27^{\circ}$ では明瞭な先端部を持つ移動層が、 $24^{\circ} \sim 21^{\circ}$ では移動層が停止して砂堆が形成され、移動層・砂堆とも表面流がない不飽和状態でも移動することが確認された。水路実験により実際の溪流で推定された土石流の発生・流出過程が検証された。

4. 藤原岳西之貝戸川では溪床堆積土砂が流動化して土石流が発生することから、洪水到達時間内の平均降雨強度によって土石流の発生を支配する降雨量を評価した。

5. 滑川北股沢で1999年6月27日に発生した土石流を対象に一次元河床変動計算を用いて、土石流の発生から流下、堆積に至るまでの数値シミュレーションを行い、土砂の供給条件が土石流の流量ハイドログラフに影響を及ぼすことが確認され、溪床堆積土砂の状況やその変化を把握することが極めて重要であることが示唆された。

以上のように、本論文は、土石流の発生・流出過程について研究し、今後の土石流発生予測、規模予測に関して重要な示唆を与えたもので、山地保全学、砂防学、森林科学、自然災害科学に寄与するところが多い。

よって、本論文は博士（農学）の学位論文として価値あるものと認める。

なお、平成23年3月10日、論文並びにそれに関連した分野にわたり試問した結果、博士（農学）の学位を授与される学力が十分あるものと認めた。

注) Webでの即日公開を希望しない場合は、以下に公開可能とする日付を記入すること。

要旨公開可能日： 年 月 日以降