

学位論文題名

豪雨により発生した斜面崩壊土砂の 流域規模での推定と動態

学位論文内容の要旨

豪雨により山地流域で斜面崩壊が多数発生した場合、下流側の河川流域では上流から移動してくる土砂や流木により少なからず影響を受けるものと考えられる。

例えば洪水時に上流域で発生、もしくは再移動した流木がダム貯水池や橋脚に膨大に堆積した場合、ダム貯水池の利水・治水機能を損なう危険性や橋梁自体の安全性を脅かす恐れがあるほか、海域に流出した流木は海運や漁業への支障となる。

また、山地斜面が豪雨により崩壊し、細粒分の多い表層土砂が大量に河道に流入し、洪水流と共に下流に移動することにより、堤防から氾濫した濁水は大量の泥を含んで農地や宅地に流入し、人間生活に深刻な影響を与えるのみならず、濁水の長期化により、河床上の藻類の生育阻害や、それに依存する水生昆虫への影響など、河川生態系への影響も懸念されるところである。

2003年8月、台風10号とそれに刺激された停滞前線により、一級河川沙流川流域では二風谷ダム直下流の平取基準点上流域における48時間雨量が既往最大の306.2mmを記録した。寒地土木研究所では北海道開発局の支援により、特に斜面崩壊が多数発生した沙流川中流域の航空垂直写真撮影を実施し、地被判読の結果、額平川流域だけで4,500個所を超える斜面崩壊が発生したことを把握した。

豪雨イベントにより発生・再移動したと思われる流木が二風谷ダム貯水池に5万m³(計画流木の50年分)堆積したほか、日高・胆振海岸にも膨大な流木が堆積し、当時の社会的な関心を呼び、なぜこのような大量の土砂と流木が発生したのかについて、客観的なデータにより説明する必要があった。

筆者はまず、2003年8月の台風10号により観測史上最大の豪雨インパクトを受けた一級河川沙流川流域の斜面崩壊地を、豪雨後に広範囲に撮影した航空写真により判読した。次いで、レーダー雨量計、地上雨量計などの降雨因子、地被植生、地質、曲率、比高などの地形因子と斜面崩壊との関連性を推定したところ、最大1時間降雨量、地質、斜面角度、斜面方向、総雨量の順に斜面崩壊に寄与している結果となった。

さらに、これまで行ってきた沙流川流域における洪水時の水質観測資料を利用し、流量とSSの関係式($L-Q$ 式)を推定し、数年次分の時刻流量を与えて収支を推定したところ、二風谷ダム貯水池の堆砂量の変遷を概ね説明可能であることが把握された。しかしながら、2003年8月豪雨イベント時の土砂量推定結果は適合性が悪く、水質観測資料を用いた推定には限界があり、掃流砂の観測も必要であることが示唆された。

また、地質別に計測された斜面崩壊の崩壊深の調査資料を用い、額平川流域の斜面崩壊地全体に拡張し、流域内で発生した土砂量を推定した。

加えて、北海道開発局の実施した調査で、出水前後に計測された簡易横断図、簡易平面図から、河道内に堆積した土砂量が求められており、このデータを用いて斜面崩壊土砂量の何割が河道に堆積したかについて額平川流域内の分布を推定した。

これらの調査結果より、2003年8月豪雨時における、額平川流域内の土砂収支を推定した結果、発生土砂量の1割程度が額平川流域外に流出したと推定され、よって大半の土砂は流域内に残存していることが推測された。

次に、発生した流木量の収支について推定した。

樹種別の材積 (m³/km²) を森林管理署の公開資料から入手し、材積に流域内の樹種別の崩壊地面積を乗じ、山地性樹種の流木 (倒木) 発生量を推定した。さらに、河道内に堆積した流木、ダム貯水池に堆積した流木の調査結果を元に、山地性で新規に発生した流木 (倒木) 量の収支を推定した。この結果、発生した流木の数 % のみが下流域に到達しており、大半は上流域に残存している可能性が示唆された。

以上の検討で、沙流川支川の額平川流域の土砂、流木収支の推定を行ってきた。しかしながら、二風谷ダム貯水池に堆積した土砂や流木は全てが額平川から流出したものではない。沙流川本川の上流域については、詳細な航空垂直写真が撮影されておらず、高解像度衛星による撮影も十分な範囲で撮影されていない。しかしながら、SPOT5 号衛星が 2005 年 6 月に沙流川流域の大半を撮影しており、この画像を活用して斜面崩壊地を抽出できれば、額平川を除く沙流川上流域の崩壊土砂量、流木量が推定できる。SPOT5 号衛星の光学マルチセンサの解像度は 10m であるが、センサの値により算出される NDVI 指標により斜面崩壊地の候補地を抽出し、その後 GIS を活用して林道や畑、河川敷などを除去することにより、効率的に斜面崩壊地を抽出でき、参考までに額平川流域の航空写真から判読した斜面崩壊地と比較したところ、個々の崩壊地の形状の比較は困難であるが、判読エリア全体としては概ね良好な適合性が認められた。上記の手法を 2005 年 6 月に撮影された SPOT5 号衛星画像に適用し、これまで未判読だった残流域の斜面崩壊地を抽出し、2003 年 8 月豪雨インパクトによる二風谷ダム流域の土砂・流木収支を推定した。この結果を用い、二風谷ダム流域全体で土砂・流木収支を推定したところ、額平川流域で把握された傾向と同様、上流域に発生土砂・流木の大半が残留しており、今後の出水によっては下流に再移動する可能性が大きい。

近年、豪雨災害が頻発しているが、広域に発生した斜面崩壊事例の全体像把握にあたっては、こうした中解像度の衛星画像の活用も効果的であると考えられる。

次に、斜面崩壊により供給された土砂の再移動を把握するため、極力人為的な河道の改変が少なく、かつアプローチが容易な総主別川において、現地踏査と簡易測量による土砂の再移動実態を調査した。これによれば、土砂の再移動や斜面崩壊地の形態は地質に大きく影響を受けている可能性が把握された。例えば白亜紀の堆積岩 (泥岩) の領域で斜面崩壊により地表に露出した岩塊は、短期間のうちに風化し、数 mm 以下に細粒化する特徴を有し、少々の流水でも容易に再移動する可能性があることや、斜面崩壊の形態は多くが地すべり状であることなどである。一方、付加体堆積物の領域で発生した斜面崩壊では、基盤岩が滑り面となり表土の大半が河道に崩落していることや、河床の土砂がチャートや緑色岩などの風化しにくい硬質な岩質が主で、粒径も数 cm~1m 内外の粒径が多く見られ、多少の流水では再移動しにくいことなどである。

斜面崩壊地からの二次的な土砂移動も地質により特徴が大きく異なることが考えられるため、斜面崩壊地を地質別に 5 箇所選定し、経年的な土砂移動量の変化や状況のスケッチにより、土砂生産の特徴を調査した。結果、流動的な蛇紋岩粘土が流動している箇所以外では、斜面からの土砂供給は思ったほど進行しておらず、今のところ比較的安定しているものと考えられる。しかしながら、蝦夷累層群の斜面崩壊箇所の定点観測では地すべり土塊が徐々に下流側に移動していることから、今後の豪雨イベントによっては斜面崩壊が急速に進行する可能性も否定できない。

念のため、基盤岩の風化の程度をスレーキング試験により調査したところ、白亜紀・新第三紀の堆積岩 (泥岩、砂岩) の風化は進行しやすく、特に新第三紀の堆積岩は原型を留めないほど細粒化が進む傾向が把握され、新しい時代に形成されたものほどその傾向が大きいことが把握された。

以上の結果より、2003 年 8 月豪雨イベントで二風谷ダム流域で斜面崩壊により発生した土砂は約 1,300 万 m³ に及んだ。額平川流域の土砂発生量は 540 万 m³ であり、支流域の河道では概ね 3 割強、額平川流域全体では 2 割程度が堆積し、1 割程度が下流域に SS として流出した。発生土砂は大半が上流域に残存していたが、その後の風化や降雨イベントにより徐々に再移動を開始しており、特にスレーキングの進みやすい地質では再移動が活発である。斜面崩壊地の二次的な再移動状況については、地すべり状の崩壊地で土塊が緩慢ではあるが下流側に再移動しつつあり、今のところ河川流域への顕著な土砂供給源となる可能性は低いが、今後の降雨インパクトによっては更なる土砂供給の原因となる可能性もあり、注目していく必要がある。

流木発生量を二風谷ダム流域で推定した結果、材積にして約 190 千 m³ が発生したものの、二風谷ダム貯水池に到達したものは約 7 千 m³ に過ぎず、大半の流木が流域内に残存している可能性がある。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 清 水 康 行
副 査 教 授 泉 典 洋
副 査 准教授 渡 部 靖 憲

学 位 論 文 題 名

豪雨により発生した斜面崩壊土砂の 流域規模での推定と動態

過剰な河床上昇・低下、ダム貯水池などの利水施設への土砂堆積は河川流域全体の土砂バランスに支障が生ずることによりもたらされる。土砂の動きは豪雨や地震などによって、数時間から数日といった短期間に移動するものもあれば、その後の中小規模の出水で数ヶ月から数年といった長期にわたって移動するものもあるため、豪雨により斜面崩壊が多発すると、流域全体の土砂生産量や土砂移動量の傾向は大きく影響を受けることが想定される。ここでは、豪雨により斜面崩壊が多発した河川流域で、斜面崩壊土砂量とその収支を、一級河川沙流川を対象に経年的なりもトセンシング画像の判読、現地調査から明らかにしたほか、山地溪流での河床土砂や崩壊斜面の再移動状況についての地質別の特徴を明らかにした。

1章では、研究の背景と目的、従来の研究にさらに補充すべき部分を明らかにした。

2章では、一級河川沙流川の支川額平川流域の斜面崩壊地を、豪雨後に広範囲に撮影した航空写真により判読し、前年までのリモートセンシング資料の地被判読結果と比較し、斜面崩壊地が3.6倍に急増したことを明らかにした。次いで、斜面崩壊地発生と降雨因子、地形因子との関連性を分析した結果、斜面崩壊地の発生は、最大1時間雨量や総雨量の増加に比例し増加、付加体堆積物や正常堆積物(白亜紀)で多い傾向があることなどを把握した。これらの関係を客観的に数量化理論類で分析した結果、降雨因子では最大1時間雨量、地形因子では地質が斜面崩壊に大きく寄与していることが把握された。

3章では、額平川流域の土砂・流木動態を、前章で判読した斜面崩壊面積と、斜面崩壊深、国有林の材積資料から推定した結果、発生土砂量540万 m^3 の内、河道には約2割、流域外にSSとして約1割が流出したものと推定された。次に、樹種別の材積(m^3/km^2)を森林管理署から入手し、植生別の斜面崩壊地面積に材積を乗じ、山地性樹種の流木(倒木)発生量を推定した結果、発生倒木(流木量)が約8万 m^3 であり、山地性で新規に発生した流木量が河道・ダム貯水池堆積分を含めて1割弱であったことを明らかにし、倒木(流木)量の大半がまだ上流域に残存している可能性を示した。

4章では、これまで未判読であった二風谷ダム集水域の斜面崩壊地分布をSPOT5号衛星画像から判読した。まずSPOT衛星画像から植生の分布を表すNDVI分布を求め、さらに道路や河道、斜面勾配などのフィルタリング項目を用いて斜面崩壊地を抽出し、航空写真から判読した斜面崩壊地面積と比較したところ、実用的に十分な精度で斜面崩壊地を抽出可能であることが判明した。この手法

を崩壊地が未判読だった二風谷ダム残流域に拡張し、二風谷ダム流域全体の発生土砂・流木量とその収支の推定を行った。

5章では、人為的な影響を受けていない額平川支川総主別川において、現地踏査を行った結果、付加体堆積物の地質領域では急峻な地形を呈し、基盤岩の上に堆積した表土が表層崩壊するケースが主で、土砂や流木の大半が溪流に供給されている事例が多い。一方、正常堆積物(白亜紀)の地質領域では、地すべり状に斜面崩壊するケースが主であり、崩壊した基盤岩が風化により細粒化(スレーキング)するという特徴を持つことが判明した。付加体堆積物領域の溪流は、河床が急勾配であるにもかかわらず、大粒径の河床材料が多いために再移動土砂が少なく、正常堆積物領域の溪流では河床が緩勾配であるが河床材料の細粒分が多いため再移動土砂が多いという現象を経年的な現地調査により把握した。これは基盤岩のスレーキング(風化)に大きく影響されており、強制的な乾湿繰り返しの結果、新第三紀の堆積岩が最も風化が進行しやすく、白亜紀の堆積岩がそれに続き、付加体堆積物の基盤岩はほとんど風化、ということが把握された。

6章では、2003年8月豪雨で崩壊した斜面が二次的な土砂供給源となりうるかを地質別に選定した5箇所の斜面崩壊地を例に調査した。付加体堆積物の崩壊斜面の変異量は若干であったが、崩壊斜面背後に設置した定点が10数cm崩壊斜面側に移動しており、今後の豪雨イベントによっては崩壊が進む可能性がある。正常堆積物(白亜紀)の地すべり状の崩壊地は斜面自体の変異は少ないが、崩壊地上部に滑落崖が発達していること、地すべり斜面上に設置した定点が下方に移動を開始していることを考慮すると、崩壊地が降雨イベントにより拡大する可能性は今後も高いといえる。

これを要するに、著者は豪雨により発生した斜面崩壊土砂が河川流域の土砂流出に与えた特徴を北海道日高地方に2003年8月に発生した豪雨イベントを例に明らかにすることができ、防災工学、河川工学の発展に貢献するところ大なるものがある。

よって著者は、北海道大学博士(工学)の学位を授与される資格あるものと認める。