斜面崩壊が厚真地域の洪水流出に与える影響について

Influence of Slope Failure on Flood Runoff Characteristics in Atsuma Area

苫小牧工業高等専門学校	創造工学科	正会員	八田茂実	(Shigemi HATTA)
		正会員	谷口陽子	(Yoko TANIGUCHI)
		学生員	明石透和	(Tohwa AKASHI)

1 はじめに

2018 年 9 月 6 日、北海道胆振地方中東部を震源とした 最大震度 7 の地震が発生し、43 人が死亡した。胆振東部地 震によって厚真町周辺では、広範囲にわたる斜面崩壊が発 生した. 図-1 は,斜面崩壊の分布を示しており,厚真川上 流部で多くの斜面崩壊が発生していることがわかる.表層 土は洪水流出に大きな影響を与えると考えられている.地 震によって多数の斜面崩壊が発生した流域では,地震後で 流出特性が変化した可能性がある.斜面崩落前後の資料が あれば流出特性の変化を直接の検討することが可能ではあ るが,十分な資料が得られていない場合には,直接比較す ることが困難である.

一方,洪水流出は表層地質や土地利用,流域地形に大きく 依存することが知られている.たとえば,Randrianasolo et al.²⁾ は隣接する集水域で求めたモデルパラメータを使 用して、フランスの計測されていない流域でのアンサンブ ル予測を行い、それらの流域でかなり良い予測を提供でき ることを示している.また,横尾ら³⁾ は長期流出を対象に 地質と土地利用,流域面積と平均勾配からタンクモデルの モデルパラメータの設定を行っている.このように,近接 する流域では表層地質の分布が類似していることが期待で き,さらに流出に影響を与える土地利用や地形特性が類似 している場合には洪水流出は類似することが期待できる. 本研究ではこのような観点から,近接する流域の地形特性 が類似している流域で斜面崩壊の度合いの異なる2つの流 域を設定し,両者の流出特性の比較を行い,斜面崩壊が流 出に与える影響を検討する.

2 対象流域と現地観測の概要

2.1 対象地域と試験流域の設定

先に示したように, 胆振東部地震によって厚真川水系で は広範囲に渡って斜面崩壊が発生した.しかし詳細に見て みると, 厚真川の右岸側の支川であるウクル川では, 斜面 崩壊の発生した地域とほとんど斜面崩壊の発生していない 地域が混在している図-1 中の赤枠).本研究ではこの地域 の中から集水面積・河川長・標高の分布等が同程度で,か つ,近接していることを条件に対象流域を選定することと した.現地踏査を重ねた結果,アクセス性の比較的良いウ クル川に流入するオバウス沢川の右岸側(保科の沢)と左 岸側(セキタモ沢)を試験流域として設定した。これら2 つの小流域の概要を図-2 及び表-1 に示す。

廣瀬ら⁴⁾ によれば、この地域の表層土壌は層厚 10~ 15cm の Ta-d, 層厚 80cm 程度の Ta-b に層厚 50~70cm の黒色土(腐植土)が狭在しており、Ta-d 火山灰直下の粘



図-1 厚真川水系と斜面崩壊地の分布 (濃い緑色が斜面 崩壊)

崩落地は, 喜多耕一¹⁾ による「地理院地図平成 30 年北海道胆振東部地 震正射画像をトレースした地図」から山腹崩壊地を取り出して作成.



図-2対象流域の概要(図-1の赤枠を拡大したもの)

土層がすべり面となっている。対象流域の崩落面もすべり 面となった粘土層が露出しており,降雨時には地表面流が 生じ,みずみちを通して下流の河川に流入する.

2.2 水位計の設置と水位流量曲線の作成

対象とした2つの流域には、いずれもコンクリート製の 砂防ダムが設置されている。斜面崩壊の少ないセキタモ沢 では砂防ダム上流側に土砂が堆積することなく、堤体の水 抜き穴を通じて下流側に河川水が流出している。この砂防 ダムでは洪水時も上流部に湛水が発生することなく、水抜 き穴から下流側に流出していることを確認したため、下流 部に水位計を設置することとした。一方、斜面崩壊が多く

表-17	対家流域の概要	

流域名	流域面積	河川総延長	崩壞面積率
	(km^2)	(km)	%
セキタモ沢	0.595	1.52	3.02
保科の沢	0.807	1.63	33.74



図-3 保科の沢の状況 (上:低水時 (2021/1/5),下:越 流時 2021/4/18)

発生した保科の沢では、流域上流の谷部に大量の土砂が堆 積し、この土砂を河川水が侵食し続けている. この砂防ダ ムでは、上流側にも土砂が流入し、水抜き穴より高い位置 まで土砂が堆積し,低水時にはこの水抜き穴から下流側に 流出している.洪水時になると、ダム上流部に湛水が生じ、 ある一定以上の水位に到達するとダム天端の水通しを越流 し、下流側の流量を増加させるようになっている(図-3). ダムの湛水の影響を避けるため、砂防ダム上流での観測を 試みたが、洪水の度に河道断面が大きく変化すること、降 雨時には周囲の土砂の崩落の危険があることため、上流側 での観測は断念した.このため、砂防ダム下流に水位計を 設置するとともに,砂防ダム越流部付近にも水位計を設置 し、この水位計で越流を確認した上で、砂防ダム越流時の みの下流側の水位を利用することとした。この他に、1カ ウント 0.1 インチの雨量計を設置し、雨量、水位ともに 10 分間隔で測定した.

降雨時には両方の流域で流量観測を行い、測定した水位 を水位流量曲線(H-Q曲線)で流量に変換している。それ ぞれの流域で得られた水位流量曲線を図-4に示す. セキタ モ沢では、4月から観測をスタートしているが、9月以降 に河道断面が大きく変化したため、9月以前とH-Q曲線を 使い分けることとした。いずれの流域の観測値もH-Q曲 線で概ね近似できるが、セキタモ沢ではH-Qの観測値が 水深 20cm 程度まで、保科の沢では水深 30cm 程度までで、 これ以上の水深の流量は外挿値となることに注意が必要で



図-4 作成した水位流量曲線(上:セキタモ沢,下:保科 の沢



図-5 水位流量曲線と越流水深から推定した流量の比較

ある. なお,保科の沢については,越流感知用の水位計の 測定値を利用し,越流時の水深が限界水深になると仮定し, このときの越流水深 h と堰幅 B を用いて式-(1) によって 算定した.

$$Q = cBh\sqrt{gh} \tag{1}$$

ここで、 c は補正係数で、流量観測によって決定する.

図-5 は、越流状態が続いた9月1日以降のデータを用い て、H-Q曲線による推定値と式-(1)によって推定した流 量の関係を示したものである。H-Q曲線から求めた流量は ハイドログラフの減水部で式-(1)による推定値を上まわる 傾向があるが、全体として概ね一致しており、保科の沢で 設定した H-Q曲線は外挿部を含めた広い範囲で利用可能 である。

表-2 観測された洪水イベント

洪水 No.	期間	総雨量	最大雨量
		(mm)	(mm/10min)
20210604	2021/06/04 - 06/07	72.39	2.28
20210814^*	2021/08/09 - 08/13	86.11	4.83
20211011	2021/10/11 - 10/12	31.50	4.83
20211016	2021/10/16 - 10/19	41.91	4.83
20211020	2021/10/20 - 10/23	37.85	1.78
20211109	2021/11/09 - 11/14	125.73	3.30

*No20210814 はセキタモ沢のみ.

3 2流域間の洪水流出特性の比較

3.1 ハイドログラフの特徴と表面流出成分の分離

2021年の観測では,表-2に示す6つの洪水イベントを 取得することができた.図-6はNo20210604洪水の両流 域のハイドログラフと,同時に観測している水温と気温を 示したものである.保科の沢では,降雨直後から河川流量 が増加し6月4日14時にダム天端を越流したのち,降雨 終了数時間後には流量が減少している^{*1}.一方,セキタモ 沢では,降雨時に小さなピークを観測した後,降雨終了後 も徐々に流量は増加し,降雨終了のおよそ40時間に最大 流量を観測している.2つの流域で形状が大きく異るハイ ドログラフは総雨量の大きかったNo20211109(図-7)で も観測されており,この洪水では.洪水終了までの流出率 は保科の沢で23.6%,セキタモ沢で20.6%と大きく異なら ないものの,ピーク流量は保科の沢で0.904(mm/h),セキ タモ沢で0.567(mm/h)と流出高で1.6倍程度となった.

セキタモ沢の特徴的な洪水波形は他の洪水でも観測さ れており,総雨量の小さい No20211011, No20211016, No21211020 では,保科の沢も同様の洪水波形が得られて いる(図-8 は No20211016 の例).さらに,このようなハ イドログラフは苫小牧地域の河川でも観測されている.八 田ら⁵⁾は,苫小牧地域の河川を調査し,樽前火山噴出物の 堆積した河川流域では,

- 降雨直後に発生する直接流出成分と、降雨終了後に遅れて発生する基底流出成分の大きく2成分から構成される2つのピークを持つハイドログラフとなること
- 基底流出成分出現時には水温の低下が見られること
- 基底流出成分の大きさと出現の速さは、流域の湿潤度 に依存し、湿潤度が大きい場合には基底流出成分が早 く現れるため直接流出成分が一体化するが、それ以外 では2つのピークを持つハイドログラフになること
- 直接流出成分は、河道周辺数メートルの範囲の降水が 流入したもので説明できること

などを明らかにしている. 図-6 によれば,セキタモ沢の 基底流量成分がピークとなる6月6日12:00 付近を見る と,気温は前日よりも高くなっているが,セキタモ沢・保 科の沢のいずれとも水温は前日よりも低下している.2つ のピークを持つハイドログラフの形状や,2つ目のピーク 出現時の水温の低下など,今回観測した2流域は苫小牧地 域で観測された流域の特性と類似している.



図-6 No20210604 のハイドログラフと水温の変化



図-7 No202110109 のハイドログラフ

3.2 直接流出成分の特性

降雨直後の流量増加を直接流出とみなし、この成分を 図-8 中の破線のように直線的に分離してその特性を考え る.ただし、保科の沢では越流時には砂防ダム上流側に湛 水部があるため、セキタモ沢との比較には湛水面に降った 降雨を直接流出成分から差し引いて考えることとした.ま た、No20210604、No20211109の保科の沢については、直 接流出成分と基底流出成分の切り分けが困難であったた め、対象とはしていない.図-9 はこのようにして分離した 直接流出成分の流出率 f_d と総雨量の関係を示したもので



図-8 No20211016 のハイドログラフ

^{*16} 月 6 日 12 時以降は越流状態となっていない可能性があるため,注 意が必要である.



図-9総雨量と直接流出率の関係

ある. なお, f_d は式-(2) で求める.

$$f_d = \frac{\Sigma Q_d}{\Sigma R} \tag{2}$$

ここで *Q_d* は直接流出高,*R* は雨量で,合計を取る範囲は 直接流出出現期間(**図-8**中の破線の期間)とした.

全体の雨量が大きく,基底流出成分が大きく変動する No20210604,No20211109 洪水では直接流出率 f_d が小さ く現れているが,それ以外では総雨量の増加に対して,直 接流出率は直線的に大きくなる傾向が見られる.また,直 線の増加傾向はセキタモ沢も保科の沢もよく一致している ことがわかる.この直接流出成分が河道周辺の流出寄与域 からのものであると考えると,流出寄与域の面積 A_d は流 域面積に直接流出率を乗じたものに相当し,この A_d を流 域の総河川長で除すと,河道から直接流出を集水する平均 的な範囲となる.

このようにして河道付近の集水範囲を求めると,総雨量 の大きくない No20211011, No20211016, No20211020 で はセキタモ沢では 2.6~3.6 m,保科の沢では 2.8~4.7 m の範囲となり,崩壊面積率の大きい保科の沢のほうが若干 大きくなっている.

4 おわりに

本研究では近接する流域の地形特性が類似している流域 で斜面崩壊の度合いの異なる2つの試験流域を設定し,両 者の流出特性の比較を行い,斜面崩壊が流出に与える影響 を検討した.この結果対象とした流域では,降雨直後の直 接流出成分と降雨後しばらくして流量の増加する基底流 出成分による2つもピークを持つハイドログラフが観測 されることがわかった.この内,直接流出成分は河道周辺 数メートルに降った雨が直接流入したもので説明でき、河 道付近の集水範囲は崩壊面積率の大きい保科の沢が若干大 きな値となる。また、総雨量が大きい場合、二つの流域で 大きく形状の異なるハイドログラフが得られ、保科の沢で は、直接流出と基底流出が一体化した大きな出水が確認さ れた。

今回の結果は、斜面崩壊の度合いが異なる近接した2つ の流域の洪水流出特性が異なることを示したものであっ て、これが斜面崩壊の度合いの影響であるかまでは不明で ある.この点も踏まえて、今後は近隣の斜面崩壊が少ない 流域と斜面崩壊が多く発生している流域を観測の対象に追 加して観測を継続し、それぞれの洪水流出特性が類似して いることを検証するとともに,第2ピークを構成する基底 流出成分の流出特性を明らかにする必要がある.

参考文献

- 2) Randrianasolo, A., Ramos, M. H., and Andrèassian, V.: Hydrological ensemble forecasting at ungauged basins: using neighbour catchments for model setup and updating, Adv. Geosci., 29, 1-11, doi:10.5194/adgeo-29-1-2011, 2011.
- (満尾善之,風間聡,西村仁嗣,沢本正樹:国土数値情報に基 づくタンクモデル定数の推定,水文水資源学会誌,12(6), 481-491, 1999.
- 4) 廣瀬 亘・川上源太郎・加瀬善洋・石丸 聡・興水健一・小安 浩理・高橋 良: 平成 30 年北海道胆振東部地震に伴う厚真 町およびその周辺地域での斜面崩壊調査(速報),北海道地 質研究所報告, 90, 33-44, 2018.
- 5) 八田茂実・秋野隆英・藤井清志:樽前火山流域の流出特性に ついて,水工学論文集,48,349-354,2004.