平成30年北海道胆振東部地震により崩壊が多発したテフラ堆積斜面の降雨浸透特性

北海道大学大学院農学院　○青木稔弥
北海道大学大学院農学研究院　桂真也・山田孝
北海道大学広域複合災害研究センター　厚井高志・田中健貴

1. はじめに

平成30年9月6日午前3時8分頃に発生した北海道胆振東部地震は厚真町・安平町を中心に斜面の崩壊を6000か所以上で引き起こし、崩壊面積の合計は43.4 km²[1)]に達した。崩壊のほとんどは斜面に厚く堆積したテフラ(降下火砕物)が崩壊したもので、谷型斜面で多く発生した[2)]、すべり面付近は水を多く含んでいた[3)]、といった特徴が報告されている。また、地震発生の約25～27時間前に台風21号の接近に伴い、計11 mmの降雨(以降地震前降雨とする)が観測されたことも踏まえると、崩壊の多発への水の関与が推察されるが、その実態は明らかとなっていない。そこで本研究では、崩壊に対する水の影響を検討する第一歩として、テフラ堆積斜面の降雨浸透特性を調べた。

2. 研究方法

調査地は北海道厚真町高丘地区北部に位置し、崩壊が多発した胆振管理区道有林111林班内にある平均勾配22°の未崩壊斜面の谷部とそれに隣接する尾根部(図1)である。調査地周辺の基盤は新第三系の振老層(砂岩泥岩互層)[4)]で、それを覆って樽前火山由来のTa-a(1739 A.D.)、Ta-c(2.5 ka)、Ta-d(8.7-9.2 ka)、恵庭火山由来のEn-a(19-21 ka)[5)]といったテフラが堆積している。調査斜面の層構造は上位からTa-a層、Ta-c層、Ta-d層、風化砂岩泥岩層となっており、尾根下部のみTa-d層と風化砂岩泥岩層の間に粘土化したEn-a層が存在していた。谷部のTa-d層は中部から下部(60 cm程度)にかけて非常に風化が進行していた。テフラ層厚は谷部で1.8～2.0 m程度、尾根部では1.2～1.6 m程度である。周辺崩壊地や多くの調査報告[6)7)等]による崩壊のすべり面はTa-d層基底、En-a層基底が主であったため、調査斜面の谷部が崩壊した場合の潜在すべり面はTa-d層基底つまりTa-d層と風化砂岩泥岩層境界付近と想定される。そこでテンシオメータを谷上部・下部(図1)それぞれ6深度(Ta-a層、Ta-c層、Ta-d層上部、Ta-d層風化軽石、Ta-d層と風化砂岩泥岩層境界(潜在すべり面)(谷上部のみ)、風化砂岩泥岩層)、尾根上部・下部(図1)それぞれ2深度(風化砂岩泥岩層)に設置し、圧力水頭の経時変化を長期観測した。降水量は調査地と最も近い(西南西約9.5 km)アメダス安平のデータを用いた。観測期間は谷部が2019年7月10日から11月5日、尾根部が2019年9月5日から11月5日である。さらに各層ごとに土のサンプルを採取し、pF試験により水分特性曲線、飽和透水試験により飽和透水係数を求めた。

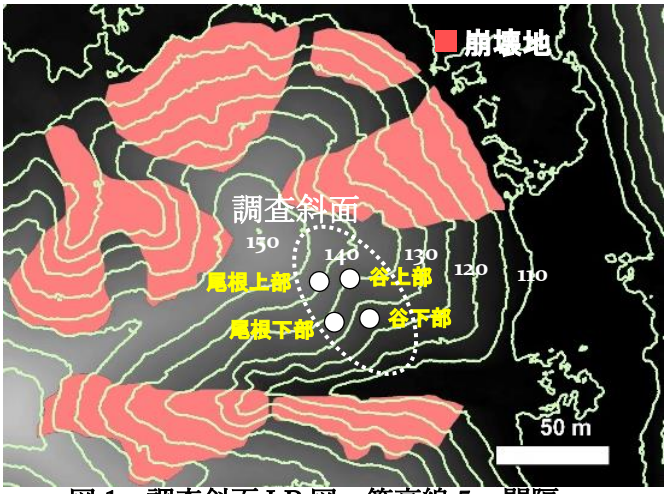

図1　調査斜面LP図　等高線5m間隔

3. 結果・考察

Ta-a層、Ta-c層、Ta-d層上部、Ta-d層風化軽石、風化砂岩泥岩層の水分特性曲線(Kosugi(1996)のモデル[8)]を適用)を図2に示す。深い層ほど曲線がなだらかで、Ta-d層風化軽石や風化砂岩泥岩層は特に保水性が高く、圧力水頭が低下しても水が抜けにくいことが分かる。

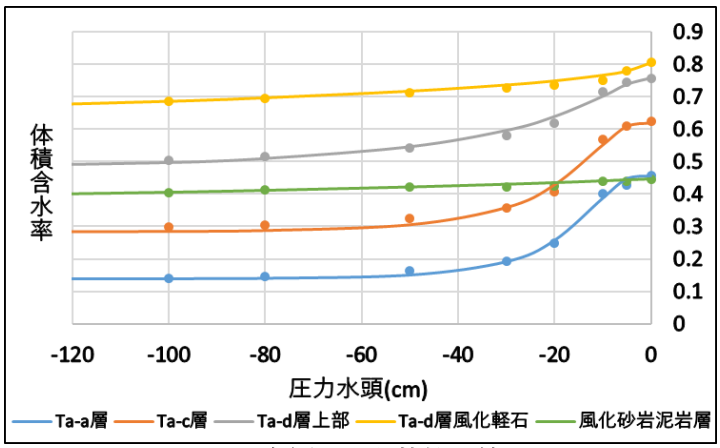

図2　各層の水分特性曲線

次に谷上部の観測結果を図3に示す。Ta-a層、Ta-c層の圧力水頭は降雨に対して鋭敏に反応し変化幅も大きい傾向にあるが、Ta-d層以深の圧力水頭は反応がより緩やかで降雨終了後も圧力水頭が低下しにくい傾向が見られた。観測期間中における谷上部の圧力水頭の変化幅(最大値と最小値の差)を水分特性曲線(図2)より体積含水率の変化幅に直すと、Ta-a層が約29%、Ta-c層が約27%、Ta-d層上部が約13%、Ta-d層風化軽石が約4%、風化砂岩泥岩層が0%となり、Ta-d層風化軽石以深は水分変化量が非常に小さかった。これらの傾向は谷下部

でも同様であった。Ta-d 層と風化砂岩泥岩層境界(潜在すべり面)、風化砂岩泥岩層は常時飽和に近い状態あるいは降雨後に(谷上部の風化砂岩泥岩層は常時)飽和状態となっていたが、これはテフラ層厚が大きいこと、風化砂岩泥岩層上位に保水性の高い Ta-d 層風化軽石(図 2)が厚く存在している(60 cm程度)こと、さらに風化砂岩泥岩層の透水性の低さ(飽和透水係数：4.0×10^{-5} cm/s)が関与していると推察される。また地震が発生した約 1 年後である 2019 年 9 月 6 日午前 3 時の Ta-d 層と風化砂岩泥岩層(潜在すべり面)の圧力水頭に着目すると約-2 cmとなっており、2018 年の地震発生前直近 3 ヶ月の降雨量が 2019 年より非常に多かった(表 1)ことを考慮すると、調査地と類似する谷型斜面では地震発生時にすべり面付近が飽和していた可能性が高い。

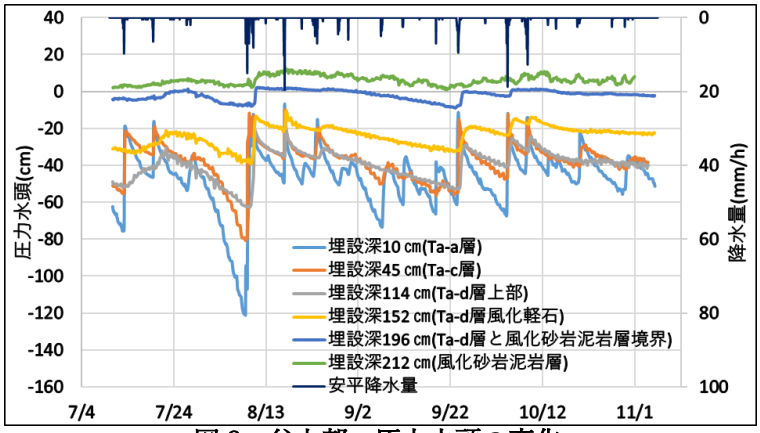

図 3　谷上部　圧力水頭の変化

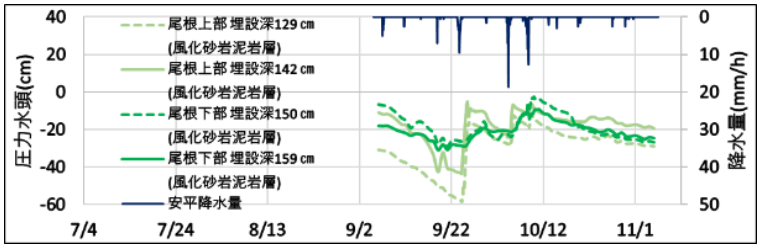

図 4　尾根部　圧力水頭の変化

表 1　2018、2019 年降雨量(mm)比較

年	6 月	7 月	8 月	総降雨量(6~8 月)
2018	191.0	213.5	288.5	693.0
2019	72.5	79.0	209.0	360.5

次に尾根部の観測結果を図 4 に示す。尾根部では風化砂岩泥岩層は観測期間中において 1 度も飽和することはなく、大きな降雨(50 mm程度)がない期間が続けば圧力水頭の低下量が大きくなっており、谷部の風化砂岩泥岩層の方が常時水の多い環境にあることが分かった。これより、尾根部と比較して谷部では風化砂岩泥岩層直上のテフラの風化がより進みやすく、すべり面付近は圧力水頭の高い状態(飽和あるいは飽和に近い状態)が維持されやすくなると推察される。また、Li ら(2020)[9]の調査では、風化した Ta-d 層は他の層よりもせん断抵抗力が低く、地震動に対して液状化しやすいという結果が示されている。これを踏まえると谷部では地震動に対して脆弱な層が形成されやすいとも考えられる。

地震前降雨については、11 mm程度の降雨(降雨時に Ta-a 層、Ta-c 層が顕著に湿った状態でない場合)ではすべり面付近の圧力水頭は変動しておらず、地震前降雨以前の 4 日程度はほとんど降雨がなかったことも踏まえると、調査地と類似する斜面において、崩壊に対する影響は小さいと考えられる。しかし、地震前降雨時には平均風速 15 m/s 程度の風が吹いていたためアメダスの降水量計の捕捉率が低下し実際には降雨量が観測値より多かった可能性がある。また地震前降雨の影響として、(1)2018 年 6 月～8 月は降雨量が多かった(表 1)ため、すべり面上位の層がより湿った状態で降雨浸透が速くなり、地震発生時に雨水がすべり面付近まで到達していた、(2)地震前降雨によってすべり面上位の層の重量が増加しそれが崩壊に関与した、などが考えられるため、より詳細な検討が必要である。

4. おわりに

本研究では崩壊の多発に大きく関与したと推察されるテフラ堆積斜面の降雨浸透特性として、調査地と類似する谷型斜面の谷部では(1)すべり面付近が常時飽和に近い状態あるいは飽和しており、常時尾根部よりも水が多い環境にあること、(2)地震発生時にすべり面付近が飽和状態であった可能性が高いこと、が分かった。今後は以上を踏まえ、水が崩壊に与えた影響を検討していく必要がある。

謝辞

本研究は JSPS 科研費 JP18H03819、JP19H02393 および国土交通省の助成を受け、北海道胆振総合振興局森林室、北海道大学土壌保全学研究室にご協力を頂いた。また北海道開発局建設部から LP データを提供頂いた。

〈参考文献〉

1)Osanai et al.(2019), Landslides16(8):1517-1528　2)Kasai, Yamada(2019), Earth, Planets and Space 71(81)　3)小山内ら(2019), 砂防学会誌, Vol.71, No.5, p.54-65　4)尾崎・小松原(2014), 石狩低地帯及び周辺地域の 20 万分の 1 陸域地質図　5)古川・中川(2010), 樽前火山地質図　6)千木良ら(2019), 京都大学防災研究所年報, Vol.62(B), p.348-356　7)廣瀬ら(2018), 北海道地質研究所報告, Vol.90, p.33-44　8)Kosugi(1996), Water Resour Res 32(9):2697-2703　9)Li et al.(2020), Landslides17(1):1233-1250