

熊本地震により形成された亀裂斜面の層序の特徴と土壌特性

1) 東京農工大学農学部、2) University of the Sunshine Coast、3) 京都大学防災研究所

○荒田洋平¹⁾・五味高志¹⁾・Roy C Sidle²⁾・王功輝³⁾

1. はじめに

2016年4月の熊本地震によって土石流や地すべりなどの土砂災害が多数発生し、尾根部を中心に亀裂が生じた。阿蘇地域の土層は、腐食由来の黒ボク層と火山灰由来のテフラ層の互層構造であり、黒ボク層は、テフラ層に対して高い透水性や低い硬度、高い有機物含有量などの異なる土壌特性を有する。本震による崩壊のすべり面は、テフラ層と黒ボク層の互層構造内の水分状態の違いにより形成されていることが報告されている(佐藤ら, 2017)。このような互層状態が亀裂形成にも影響を及ぼしていると考えられる。亀裂形成斜面は、今後の斜面安定の検討において重要であり、亀裂形成面の特定には、互層構造内の土壌特性と水分状態を考慮する必要がある。そこで、本研究は亀裂形成斜面の①土層層序、②土壌特性の把握から、亀裂形成面の特徴の検討を行った。

2. 調査地・手法

本研究は、阿蘇山中央火口丘西部山麓に位置する草地斜面で実施した(32°53'18.9"N, 131°2'13.4"E; 標高900m)。調査地周辺の1981~2010年の年平均降水量は2832mm、平均気温は13°Cである(AMeDAS阿蘇乙姫)。主な植生は、ススキ(*Miscanthus sinensis*)とネザサ(*Pleioblastus chino* var. *vaginatus*)である。

亀裂は尾根部を中心に北西-南東方向に線上に形成され、斜面下部では崩壊地が存在する。調査対象斜面は斜面長20.3m×幅6mの区画とし、対象斜面内には平均幅(SD)1.3(0.5)m、平均深度(SD)0.4(0.2)mの9本の亀裂が形成され、斜面下部には崩壊地が存在している(図1)。プロット内の傾斜角は斜面上部で7°、斜面下部で13°である。

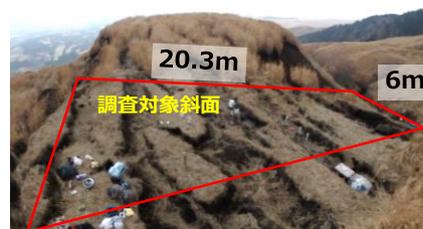


図1. 調査対象斜面。

区画内の層序特徴を把握するために、斜面下部で深度2mまで掘削し土壌断面を作成し、土色と層序からテフラ層と黒ボク層に分類した。土壌特性の把握には、土壌サンプル分析によって行った。斜面下部の土壌断面では、0.2m間隔で100ccのステンレス製採土円筒を用いて土壌を採取した。尾根頂部と亀裂2、亀裂4では、ライナー採土器を用いて、深度2~3mまで、長さ0.3mのプラスチック製円筒で採取した。採取土壌は、深度0.05m毎に切り分け、テフラと黒ボクに分類した。それぞれの土壌は、70°C72時間で乾燥させ、乾燥前と後の重量差から含水比(%)を{(湿重量-乾重量)/乾重量}×100で算出した。また、乾重量/100cm³から乾燥密度(g/cm³)を算出した。その後、土壌を篩いにかけて、径が1mm以下の土壌をマッフル炉で400°C2時間の強熱減量を行った。有機物含有率(%)を{(強熱前-強熱後)/強熱後}×100で算出した。

3. 結果・考察

3.1. 亀裂形成斜面の層序特徴

全ての土層で、上層から深度0.5~0.9mに約7300年前降下の鬼界アカホヤ(K-Ah)、深度0.8~1.7mに約2.6~3万年前降下の始良Tn(AT)、深度1.4~2.25mに約3万年前降下の草千里ヶ浜(Aso-K)のテフラ層が確認された。また、一部の層序内の深度2.4~2.95mに約9万年前降下の阿蘇4(Aso-4)テフラ層が確認された。ただし、亀裂4では、亀裂の深さが0.7mであり、K-Ah層は確認できなかった。これらテフラ層間には、黒ボク層が存在し、K-Ah層上部の黒ボク層の黒色が強く、深い層では、薄灰色になっていた。黒ボク層を上層から順にA~Eと名付けた。この層序は、宮縁ら(2003)が報告した阿蘇カルデラ壁東部のテフラ層序と一致したが、一部のテフラ層の厚さには違いがあり、噴出火山からの距離と方位によって異なったものと考えられた。

3.2. 亀裂形成斜面の土壌特性

テフラ層と黒ボク層の平均乾燥密度(SD)は、それぞれ0.66(0.11)g/cm³、0.53(0.13)g/cm³で、テフラ層が0.13g/cm³高く、平均有機物含有率(SD)は、それぞれ10.8(2.5)%, 16.1(6.7)%で、黒ボク層が5.3%高かった。このような乾燥密度と有機物含有率には、負の相関があった(図2)。この関係は、Franzluebbers

(2002) などと同様な結果であった。さらに、乾燥密度が低く、有機物含有率が高い時、含水比が高くなる傾向が確認された(図2)。これは、前田・相馬(1979)と同様な傾向であった。そこで、各層の平均含水比(SD)を比較すると、黒ボク層Aで113(36)%, K-Ah層で75(14)%, 黒ボク層Bで132(34)%, AT層で68(28)%, 黒ボク層Cで99(43)%, Aso-K層で86(26)%, 黒ボク層Dで101%, Aso-4層で93(11)%, 黒ボク層Eで101(11)%となり、AT層上部の黒ボクB層で特に平均含水比が高い層が確認された。

3.3. 亀裂形成面の特徴

周辺の崩壊の深度が0.5~0.8mで、AT層上部の黒ボク層Bの深度が0.7~1.1mであったことから、特異的に含水比が高い層と崩壊すべり面の層は同様な深度で形成されていることが分かった。笠間ら(2016)の本震による崩壊すべり面の土壌特性を調べた結果によると、本調査地の黒ボク層Bと同様な位置に堆積した黒ボク層の液性限界値が168.6%であった。、黒ボク層Bの含水比が85~191%であったことから、地震動による液状化により流動化し、崩壊に至ったと推測された。

亀裂4の形成面では、深度が0.7mのためK-Ah層の消失、亀裂底部に高い含水比の黒ボク層Bが存在していた。このことから、この亀裂形成面も、崩壊すべり面同様なプロセスで形成されたことが推測された。ただし、亀裂2の形成面は、深度が0.3mと比較的浅く、K-Ah層が確認できたことから、亀裂4とは異なる形成面を持っていると考えられた。

そこで、斜面位置と亀裂深度の関係から亀裂形成面について考察していく。斜面下部の崩壊地に隣接する亀裂4、5の深度は、それぞれ0.7m、0.6mで、崩壊すべり面と同様な深度であった。一方、斜面上部の尾根頂部付近の亀裂1、2、3の深度は、それぞれ0.4m、0.3m、0.3mと比較的浅い深度であった。そこで、草本根茎量に注目すると、地表面から深度0.4mまでの平均草本根茎量(SD)は、0.22(0.23)gと密であったのに対して、それより下層では0.05(0.03)gと根茎量が少なかった。根茎は土壌緊縛力を持つことから(駒村, 1978)、斜面上部の亀裂形成面は、根茎が密に存在する深度を境に生じたものと考えられた。

4. まとめ

本研究により、亀裂形成斜面の土壌層序の特徴を把握した結果を次に示す。①テフラ層と黒ボク層の互層構造だったが、深さ0.7mの亀裂でK-Ah層が消失していた。②乾燥密度と有機物含有率が土壌特性として重要であり、これらが含水比に影響を及ぼしていた。③互層における、土壌特性や含水比の違いが亀裂形成には重要であると考えられた。④ただし、根茎分布や地形特性などによって、同一斜面でも亀裂形成面が異なることが分かった。以上のような、土壌層序の評価が亀裂形成のプロセスや特徴を把握する上で重要であることが考えられた。

5. 参考文献

- 笠間清伸・北園芳人・矢ヶ部秀美(2016):平成28年熊本地震に起因した斜面災害に関する現地調査報告, 地盤工学会誌, 65-4(711), p.8-11.
- 駒村富士弥(1978):植生による斜面侵食および崩壊防止の効果, 緑化工技術, 5(2), p.9-13.
- 佐藤達樹・千木良雅弘・松四雄騎(2017):2016年熊本地震により発生した阿蘇カルデラ西部における斜面崩壊の地形・地質的特徴, 京都大学防災研究所年報, 60(B), p.431-452.
- Franzluebbers AJ. (2002): Water infiltration and soil structure related to organic matter and its stratification with depth, Soil & Tillage Research, 66, p.197-205.
- 前田・相馬(1979):有機質火山灰土(クロボク土)の水分特性—加圧板法と遠心法の比較—, 農土論集, 84, p.61-67.
- 宮縁育夫・星住英夫・高田英樹・渡辺一徳・徐勝(2003):阿蘇火山における過去約9万年間の降下軽石堆積物, 火山, 48(2), p.195-214.

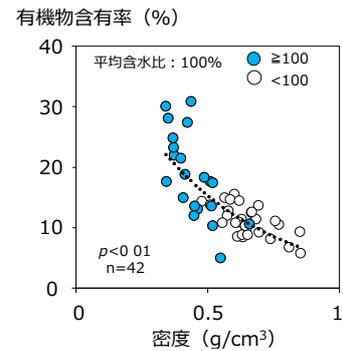


図2. 乾燥密度、有機物含有率、含水比の関係. 平均含水比は、全サンプルの平均値である。

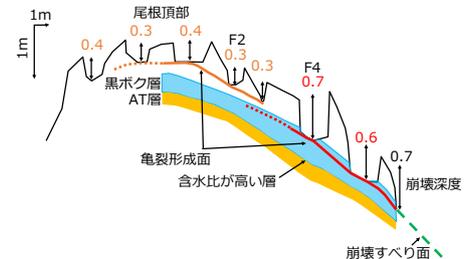


図3. 深度と形成位置、高い含水比層による亀裂形成面の違い. 図中の数値は深度(m)を表す。