

氏名	その 園 田 美 恵 子
学位(専攻分野)	博 士 (理 学)
学位記番号	論 理 博 第 1381 号
学位授与の日付	平 成 12 年 3 月 23 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 2 項 該 当
学位論文題目	森 林 斜 面 に お け る 表 層 土 の ク リ ー プ に つ い て の 研 究

論文調査委員 (主 査)
教 授 奥 西 一 夫 教 授 竹 本 修 三 助 教 授 諏 訪 浩

論 文 内 容 の 要 旨

ソイルクリープは気候条件に応じていろいろなメカニズムで起こっていることが知られている。湿潤温暖気候下のルースな表層物質で覆われた斜面では、土壌の温度及び水分状態の季節的変動によって、ソイルクリープが起きると考えられているが、雨水流による他種の物質移動もあるため、その実態の解明は未だに不十分である。本研究では、湿潤温暖気候下の森林斜面におけるソイルクリープの実態とメカニズムを研究するため、顕著なソイルクリープが起きていることが分っている奈良県明日香村にある一森林斜面で調査を行ない、結果を分析した。

測定斜面は、地形的には斜面の上部及び中腹部に当たり、平均傾斜は35-42度である。土質は風化花崗岩からなるために砂質で、森林植生に覆われているために間隙が多く、A層・B層合わせた土壌の厚さは約60cmである。表層土の移動の調査は冬の凍結の影響のあるA層と影響のないB層を分けて行った。

A層のクリープ量はマーカー法で調査した。その結果、土壌物質が冬の凍結によって集合して持ち上がり、その後の融解や降雨によって土壌ブロックに分かれながら崩れていくことが分った。A層全体の平均ソイルクリープ量は、測定した年で1年に約1cmと見積もられた。B層のクリープ量の測定にはヤング・ピット法を改良して用い、測点の設置方法も工夫して、測定精度を上げ、斜面の鉛直2次元縦断面における表層土の変位量の詳細な分布を明らかにした。その結果、測定斜面の20cm深から60cm深までの平均ソイルクリープ速度が約3mm/yearであることが分った。また、斜面に沿った表層土の変位量の水平成分の分布の差は小さいが、鉛直成分の分布の差は大きく、動きの大きい所と小さい所が交互に現れることが分った。更に、多雨期間と寡雨期間では表層土の動きの特徴が異なることが分った。多雨期間には、表層土は斜面方向に全面的に動くが、いくつかの場所でせん断ひずみが集中するゾーンがあり、表層土がいくつかのすべりユニットに分かれるものと考えられる。一方、寡雨期間には、表層土の動きは局所的で、動く所と動かない所の差が明瞭である。

多雨期間の特徴的な表層土の動きは、繰り返し起こる表土層の飽和が原因ではないかと考え、弾塑性モデルによる有限要素法を用いた数値シミュレーションを行なった。想定したメカニズムは、「豪雨時に浸水による土の強度低下と飽和斜面流の流動圧によって斜面の表層土に弾塑性変形が起こり、土壌の変位が生じる」というものである。1回の全面飽和に伴う飽和斜面流の発生によって生じる表層土の変位の計算結果は実測結果よりもかなり小さいものの、変位量の分布パターン、特にすべりユニットの分布については概ね一致する。またこのような変位の累積を考慮すれば、実測結果のかかなりの部分と一致する可能性がある。結果として、表層土が飽和することによって、弾性限界を少し超える程度の不可逆的な塑性変形が起こり、部分的なすべり変位が斜面上の各所で起こりうることを示した。その他に、計算結果・実測結果と斜面形状の比較から、せん断変形によるソイルクリープが凸型斜面形状の所で盛んであることと、斜面勾配によってそのパターンが変わり得ることが分った。

上記のメカニズムでは説明できないようなソイルクリープのモードとして、ソイルパイプの形成に伴う擾乱、湿潤・乾燥サイクルおよび温度変化サイクルによるものが考えられるが、土壌の鉛直2次元断面内での変位量分布の分析から、これらを分離しうることを示した。

この研究によって著者は、温暖湿潤気候下のルースな表層物質からなる斜面のソイルクリープの斜面の鉛直2次元縦断面

における詳細な分布の実態を初めて明らかにした。更に、実測したソイルクリープの中で重要と考えられる多雨期の特徴的なソイルクリープについて、その可能なメカニズムを提案した。

論文審査の結果の要旨

材料力学の分野でクリープ現象が厳密に定義されてからは、それまで地形学の分野で曖昧な定義を与えられてきた土壤クリープについて、概念の見直しが必要となった。そして、1960年代に、重力のもとでの微少なランダム運動が完全に等方ランダムな動きではなく、重力の方向にわずかに偏っているために、極めてゆっくりした重力方向への変形が進行するようになる現象を土壤クリープと定義するというのが、ほぼ定説となった。しかし、申請者が奈良県明日香村の試験斜面で長年にわたって観察してきた表土層の変位は、常識的には土壤クリープに属すると考えられるが、すべり変形の成分を含んでいることが明らかになった。

ごく地表面に近い薄い層の変位は従来から使われている表面マーカーによって計測したが、土壤表面付近の凍結層の持ち上がりと融解時の局部崩壊によって、従来知られていなかったような大きな変位が生じることを明らかにした。ついで、ヤングピット法を改善して、土層の鉛直断面内に設置された多数のマーカーによって、表層土のクリープ変位を詳細かつ正確に測定し、連続体力学に基づいた解析を可能にした。この観測は約2年間にわたって行われ、ほぼ1年間ごとの変位量を空間分布の形で得ている。その結果、試験斜面の土壤クリープには多くのモードの土壤クリープが含まれていることを見いだした。

約1年間の二つの期間の一方は多雨期であり、他方は寡雨期であった。そして多雨期には、土壤ブロックのすべりを主体とする特徴的なソイルクリープのモードが含まれていることを見いだした。これについて申請者は、表層土の飽和と雨水浸透流が土壤クリープに大きな影響を与えるものと推察し、これを有限要素法による表層土の弾塑性変形のシミュレーションによって説明することを試みた。この解析方法は静的解析に属し、自重による体積力または自重と浸透流による体積力を、応力と変位量分布の収束を繰り返し計算によって確認しながら、段階的に加えて行くものである。浸透流が働く場合は、その効果が消滅した後の残留変位を計算変位としている。土壤の物性としては、試験地斜面を構成する風化花崗岩の弾塑性挙動に関する既存の研究成果を援用し、簡易貫入試験の結果に基づいてパラメーター値のゾーニングをおこなっている。シミュレーションの結果、雨水の側方浸透流が表層土のほぼ全深度にわたって存在するときは塑性変形がおこり、表層土がいくつかのブロックに分かれてすべるような形のソイルクリープが起こるという結果を得た。このシミュレーション結果から予測されるソイルクリープ変位と多雨期の観測結果は完全には一致していないが、観測結果からマーカーの特異な動きを取り除くと、空間分布の特徴的な傾向は基本的に一致していることが認められた。

観測された土層変位には、上記の弾塑性変形のシミュレーションでは説明できないモードの空間分布が含まれ、それは多雨期と寡雨期とで興味深い対照をなしている。申請者はこの2期間の対照と空間分布の特徴から、これが複数のモードの土壤クリープが重畳しているものと考え、やや定性的ながら、すでにメカニズムが知られている土壤クリープ形態、すなわち、土壤パイプの形成に伴う局所的な擾乱変位と湿潤・乾燥などの繰り返しに含まれる非可逆変位の組み合わせとして説明している。

申請者は長年にわたってこの試験地で多くの種類の調査、試験、観測を実施し、多面的な考察に基づいて、シミュレーションおよび観測結果の解釈をおこなっている。すなわち、雨水浸透流によって、地表下数十センチメートルの深さにある軟弱土が、変位量は小さいものの、すべり変形を起こし、マイクロスケールの地すべりの動きとでも言うべき現象を呈しうることを明らかにした。また空間分解能と精度に優れた土壤クリープ観測によって、メカニズムの異なる複数の土壤クリープが混在していても、これらを観測結果から区別して分析し得ることを示した。

本研究の成果は地形学上大きな意義を持つものと考えられ、本申請論文は博士（理学）の学位論文として十分な価値のあるものと認められる。