

氏 名	ウラディミール グライフ Vladimir GREIF
学位(専攻分野)	博 士 (理 学)
学 位 記 番 号	理 博 第 2622 号
学位授与の日付	平成 15 年 3 月 24 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 1 項 該 当
研究科・専攻	理 学 研 究 科 地 球 惑 星 科 学 専 攻
学 位 論 文 題 目	STUDY ON THE EFFECTS OF VARIOUS BOUNDARY CONDITIONS ON THE FAILURE MECHANISM IN NATURAL ROCK SLOPES (自然岩盤の斜面崩壊機構における種々の境界条件の影響に関する研究)
論文調査委員	(主 査) 教 授 佐々木恭二 教 授 千木良雅弘 教 授 岡 田 篤 正

論 文 内 容 の 要 旨

社会や環境に重大な脅威となる岩盤崩壊機構の研究は、斜面災害の発生を予知し、未然に防ぐために極めて重要であるが、岩盤特有の節理の存在など強度特性の複雑さの故に、主として現地観察による研究がなされてきた。申請者は、岡山県高梁市にある備中松山城の大手門の石垣を構成する一部の石の崩落が、その下部の自然岩盤内で変形が進行しつつある岩盤崩壊の前兆を示すと考え、この自然岩盤の現地調査、精密な計測による変状速度と変状形態の把握、変形の初期から破壊に至るまでの全過程を調べるための物理モデル試験および離散要素法を用いたシミュレーションを用いて、調査斜面を対象として、岩盤斜面の変形とこれに及ぼす境界条件の影響を調べた。さらにこの研究の中で特徴的な移動様式の一つとして新たに確認された後方回転 (Reverse toppling) をも表現しうる解析的判定手法を提案した。次に主要な研究結果を挙げる。

- 1) 備中松山城岩盤斜面の現地調査と現地計測の結果、この斜面には、主な節理面として水平に近い節理面と斜面に平行に近い節理面が発達していること、約 2 年間の詳細な変位計測の結果、この節理面において確実に計測し得るレベルで変位が進行していること、節理に挟まれたブロックの運動様式の中に、従来から知られている「すべり」、「前方回転: Toppling」に加えて「後方回転: Reverse toppling」と呼ぶべき運動様式が、生じていることが見いだされた。
- 2) 何度かの試行錯誤の後、備中松山城岩盤斜面に発達する 2 方向の節理面とこの斜面の変動の主要な要因と考えられる末端斜面の移動を再現できる物理モデルを開発し、境界条件を調べる試験を行った結果、上方斜面の移動量は、末端斜面の勾配が大きい場合ほど、また、移動角度が鉛直に近いほど大きくなり、移動層厚はほとんど影響がないことが見いだされた。また、現地斜面での詳細な計測から見いだされた「後方回転現象」が生じ得ることが、この物理モデルでも確認された。
- 3) この物理モデルで認められた移動様式及び境界条件の影響が、離散要素法を用いたシミュレーションでも再現できるかどうか調べてみた。境界条件の影響については物理モデルで得られた結果と同様な結果が得られ、また、「後方回転」が生じることも確認された。前方回転 (Toppling) の発生頻度は、物理モデルより少なかったものの節理面の発達した岩盤斜面の崩壊過程を推測するのにこのシミュレーションが有効であることがわかった。
- 4) 1—3) のすべての手法で「後方回転」が認められたことから、この現象は 2 組の節理の発達する岩盤崩落現象で生じる主要な運動様式であると推定されたが、従来から使用されている岩盤ブロックの安定性判定図に含まれていないことから、Goodman & Bray 理論を平行六面体に拡張するモデルを提案し、従来のすべりと前方回転に加えて、後方回転と (後方回転+すべり) で表現されるスランプの 2 つの新たな運動様式を含む安定性評価図を提案した。さらに、単一ブロックに対するこの解析的手法に加えて、離散要素法を用いれば、多ブロックからなる岩盤ブロックに対する安定性図が作成できることを示した。

この研究結果は、備中松山城岩盤斜面の現地調査・計測により、岩盤斜面の運動様式を実証的に把握し、これをベースに物理モデル、数値モデルを用いて変形の初期から大変形にいたるまでの過程を再現し、岩盤崩落における末端斜面の勾配、

移動方向の影響を総合的に明らかにすると共に、これまでほとんど知られていなかった後方回転現象（Reverse toppling）が岩盤変形の主要な運動様式の一つであることを示したものである。さらにこれらの研究成果に立脚して解析的手法及び数値解析により、後方回転を含む新たな安定性判定図を提案した。

論文審査の結果の要旨

岩盤斜面の崩壊は、岩盤内の節理面の存在などによる不均一性が高く、土層斜面での研究に比べて強度測定に基づく定量的解析が進まず、その崩壊機構には未だ不明なところが多い。また、移動計測に基づく研究が容易な再活動地すべりに比べて、移動量・移動速度が遙かに小さく計測による研究にも困難が伴う。申請者は、自然岩盤の崩壊機構の一端を明らかにするために、備中松山城の大手門が築かれている岩盤斜面を対象として、差動トランスを用いて制作したクラックゲージ7台（1/1000mmの変位を測定できるもの）を節理面に設置し、岩盤斜面の尾根部の岩盤ブロック上端の移動を測定する伸縮計を5台、ブロックの回転を計測する傾斜計2台を設置して約2年間の観測を行い、節理面が0.1mmから0.5mmの累積的移動を示していること、伸縮計により尾根部のブロック上端は最大5mmの変動が生じていることを示した。この測定結果は岩盤崩壊の前兆現象としての節理面の変動とその速度を計測的に確認したものである。そして伸縮計による岩盤ブロック上端の移動は傾斜結果を含めて解析すると、その移動様式は従来から知られている「すべり」と「前方回転（Toppling）」だけではなく、複数のブロックは斜面上方へ向かって倒れかかるような運動を示していると解釈しなければ説明できない現象が観測された。申請者はこの運動様式を「後方回転（Reverse toppling）」と呼び、このような現象が一般に生じるかどうか、異なる複数の手法（物理モデル、数値モデル、解析的モデル）を用いて検討を行った。

備中松山城岩盤斜面を2方向の節理面を持つ二次元斜面として近似し、これをシリコンゴムの平板に2方向の切れ目をつけることにより再現し、さらに末端斜面の傾斜、移動方向、移動土層厚を任意に再現できる物理モデル試験機を開発し、物理的な再現試験を行い、末端斜面の移動が上方斜面の移動を引き起こすとともに、斜面内のブロックの後方回転現象を発生させること、末端斜面の傾斜が大きいほど、移動方向が鉛直に近いほど上方斜面の移動量が大きくなること、土層厚はほとんど影響を持たないことを見いだした。さらに離散要素法を用いた数値シミュレーションを行い、この方法によっても後方回転現象が生じること、末端斜面の傾斜が大きいほど、移動方向が鉛直に近いほど上方斜面の移動量が大きくなることを確認した。節理に支配され複雑な挙動を示す岩盤崩壊過程の解明は必ずしも容易ではないが、申請者は、これまで知られていなかった「後方回転現象」の存在と末端斜面の勾配・移動方向の上方斜面の移動量への影響を、異なる手法（現地観察・計測、物理モデル、数値モデル）を用いて明らかにした。

申請者は、岩盤ブロックの運動様式の評価に従来用いられてきたGoodman & Brayの理論では、この後方回転現象が表現できないことから、この理論を平行六面体の岩盤ブロックに拡張することにより、従来から含まれていた「すべり」と「前方回転」に加えて、後方回転とスランプ（後方回転+すべり）の様式を含む斜面安定性評価図を提案した。多ブロックの場合には解析的手法では困難であるが、離散要素モデルに基づき斜面安定性図が作成できることを示した。

以上の研究は、人命や文化遺産など社会に重大な被害を及ぼす岩盤崩落の前兆現象としての変動実体の解明、運動に影響を及ぼす境界条件、及びこれまで知られていなかった後方回転（Reverse toppling）を含む運動様式を複数の手法から総合的に明らかにしたものであり、地すべり学の進展における重要な一歩を印したものと評価できる。

よって、本論文は、博士（理学）の学位論文として価値あるものと認める。なお、申請論文に報告されている研究業績を中心として、これに関連した研究分野についても試問した結果、合格と判定した。