

学位論文題名

寒冷地における岩盤斜面崩壊に関する研究

—節理構造岩盤斜面におけるき裂進展と落石・崩壊—

学位論文内容の要旨

山国の我国では岩盤斜面崩壊の危険箇所が数万箇所あるといわれており、その対策は社会資本の整備と開発の進行に伴いますます緊急かつ重要な課題となっている。従来、岩盤斜面崩壊の防止策は地質的素因や気象的誘因に対処して講じられてきており、崩壊の発生機構を考慮した防止策は立案されていない。本論文は、この点に鑑み寒冷地における岩盤斜面の不安定化機構を解明することを第1の目的とし、斜面崩壊防止法および予知法の技術開発指針に対して理論的根拠を与えることも第2、第3の目的として進めた。

本論文は、以下のように8章から構成している。

第1章では、我国における岩盤斜面崩壊の概要およびすべり破壊、トップリング破壊で発生した代表的な斜面災害事例を紹介した。また、地すべり、崩壊・落石などいわゆるマスマーブメント(mass movement)に関する既往の研究から問題点を指摘し、岩盤斜面の不安定化機構の解明を研究目的として設定した。

第2章では、層雲峡の地形、地質および崩壊形態の調査結果を説明するとともに、岩盤斜面崩壊形態にすべり破壊とトップリング破壊があることを指摘し、それぞれオーバーハング状斜面と階段状斜面で発生することを明らかにした。また、国道39号の層雲峡地区で発生した落石、崩壊の発生時期、規模、誘因などに関する統計分析結果を示し、大規模斜面崩壊は5月下旬から6月上旬に集中的に発生することを指摘した。

第3章では、層雲峡の気温、岩盤温度、凍結深度、積雪などの観測結果を説明するとともに、最大凍結深度、凍結融解回数、夏期および冬期における節理構造岩盤斜面の温度分布などについて検討し、温度勾配は6月に最大 $+0.108\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{cm}$ まで達し、3月に最小 $-0.075\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{cm}$ まで低下することを明らかにした。また、層雲峡熔結凝灰岩の凍結融解による強度低下、熱的性質に関する物性値などの計測結果を示し、長柱岩体の崩壊素因を説明した。

第4章では、2年余りにわたって層雲峡熔結凝灰岩の柱状節理構造斜面で行ったA E法によるすべり破壊やトップリング破壊のモニタ結果について述べた。すなわち、すべり破壊の前駆現象である開口節理の進展に起因するA E活動には、季節変化があり、A Eは5月から10月の夏期に断続的に発生し、11月から4月の冬期はほとんど発生しない。特に6月初旬に集中的に多発する。開口節理の進展に起因するA E活動では、6

月期の活発なときでも A E の平均発生率は毎分 1 発程度で、き裂の進展挙動は非常に緩慢である。トップリング活動に起因する A E 活動では、A E の平均発生率は毎分 1 1 発程度で持続時間は 7～9 時間である。トップリング直前の A E 活動の時系列的变化には、2～3 ピークがあり、発生時からピークに至るまでには数時間が経過する。この時系列的变化からトップリングの予知は可能である。

第 5 章から第 7 章では、岩体の熱変形に起因するき裂進展により安定斜面が不安定斜面になり、最終的に破壊に至る機構を理論的に考察した。また、節理構造岩盤斜面における A E 活動の季節的变化や突発的発生時の時系列的頻度変化から、理論的考察結果の妥当性を検証した。

第 5 章では、柱状節理構造斜面の崩壊現象の観察結果から新しく節理の開口モデルを提案し、すべり破壊の発生機構を理論的に究明した。すなわち、節理の開口モデルで長柱岩体の熱変形と開口節理の応力拡大係数を解析するとともに、開口節理の進展長を計算した。さらに、この結果から、当地域の岩盤斜面を不安定化させる誘因は夏期における岩体内部の温度勾配と潜在節理における破壊靱性値の劣化であることを明らかにし、6 月は岩盤斜面崩壊の特異月で、危険性が異常に増大することを指摘した。

第 6 章では、長柱岩体のトップリング破壊機構について究明した。新しく提案したトップリングモデルで長柱岩体の熱変形に起因する節理の開口量と開口節理に挟まった 2 つの落石の降下位置を繰り返し計算し、倒壊に至る機構を理論的に解析した。この解析結果から、長柱岩体のトップリングを促進する最大要因は岩体の熱変形と落石降下の交互作用であることを明らかにした。さらに、長柱岩体脚部の割れ目の状態から最終破壊過程を検討し、トップリング破壊時の A E 発生時の時系列的頻度変化から理論的検討結果の妥当性を検証した。

第 5 および 6 章では、垂直に近い長柱岩体のすべり破壊、トップリング破壊の発生機構を究明したが、第 7 章ではさらに一般的な任意の斜度を有した岩盤斜面の落石・崩壊機構を解明した。まず、節理構造岩盤斜面に浮石岩板の力学モデルを設定するとともに、熱変形論と線形破壊論から応力拡大係数を計算し、き裂の進展条件を検討した。これらの検討結果から、以下の結論が得られた。すなわち、き裂は、岩盤斜面の温度勾配、傾斜角および岩板の厚さが大であるほど進展し易くなる。また、き裂は、凍結融解によって潜在節理の破壊靱性値が劣化するほど進展し易くなる。さらに、き裂は、開口節理に挟まった岩片が岩板の熱変形に応じて落下するほど進展し易くなる。従って、落石・崩壊は寒暖の激しい寒冷地の急斜面の方が発生し易い。

第 8 章は本論文の結論で、本研究で得られた成果と知見を総括し、寒冷地における岩盤斜面の崩壊機構を明らかにした。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 中 島 巖
副 査 教 授 石 島 洋 二
副 査 教 授 佐 藤 寿 一
副 査 教 授 三 田 地 利 之

学 位 論 文 題 名

寒冷地における岩盤斜面崩壊に関する研究

— 節理構造岩盤斜面におけるき裂進展と落石・崩壊 —

山国の我国では、岩盤斜面崩壊の危険箇所が数万箇所あるといわれており、その対策は社会資本の整備と開発の進行に伴いますます緊急かつ重要な課題となっている。従来、岩盤斜面崩壊の防止策は地質的素因や気象的誘因に対処して講じられてきており、崩壊の発生機構を考慮した防止策は未だ立案されていない。本論文では、このような問題に鑑み寒冷地における岩盤斜面の不安定化機構を解明することを第1の目的とし、斜面崩壊防止法および予知法の技術開発指針に対して理論的根拠を与えることも第2、第3の目的として研究を進め、研究成果を8章でまとめている。

第1章では我国における岩盤斜面崩壊の概要およびすべり破壊、トップリング破壊で発生した代表的な斜面災害事例を紹介し、既往の研究の問題点から、岩盤斜面の不安定化機構の解明を研究目的として設定している。

第2章では、層雲峡の地形、地質および崩壊形態の調査結果を説明するとともに、岩盤斜面崩壊形態にすべり破壊とトップリング破壊があることを示し、大規模斜面崩壊は5月下旬から6月上旬に集中的に発生することを指摘している。

第3章では、層雲峡の気温、岩盤温度、凍結深度、積雪などの観測結果を説明するとともに、最大凍結深度、凍結融解回数、夏期および冬期における節理構造岩盤斜面の温度分布などについて検討し、温度勾配は6月に最大 $+0.108^{\circ}\text{C}/\text{cm}$ まで達し、3月に最小 $-0.075^{\circ}\text{C}/\text{cm}$ まで低下することを明らかにしている。

第4章では、2年余りにわたって層雲峡塔結凝灰岩の柱状節理構造斜面で行ったAE法によるすべり破壊やトップリング破壊のモニタ結果について述べている。すなわち、すべり破壊の前駆現象である開口節理の進展に起因するAE活動には、季節変化があり、特に6月初旬に集中的に多発することを確認している。トップリング直前のAE活動の時系列的変化には、2～3ピークがあり、発生時からピークに至るまでには数時間を要することを確認し、トップリングの予知は可能であること

を指摘している。

第5章では、柱状節理構造斜面の崩壊現象の観察結果から新しく節理の開口模型を提案し、すべり破壊の発生機構を理論的に究明している。すなわち、節理の開口模型で長柱岩体の熱変形と開口節理の応力拡大係数を解析するとともに、開口節理の進展長を計算している。さらに、この結果から、当地域の岩盤斜面を不安定化させる誘因は夏期における岩体内部の温度勾配と潜在節理における破壊靱性値の低下であることを明らかにし、6月は岩盤斜面崩壊の特異月で、危険性が異常に増大することを指摘している。

第6章では、長柱岩体のトップリング破壊機構について究明している。新しく提案したトップリング模型で長柱岩体の熱変形に起因する節理の開口量と開口節理に挟まった大小2つの落石降下位置を繰り返し計算し、倒壊に至る機構を理論的に解析している。この解析結果から、長柱岩体のトップリングを促進させる最大要因は岩体の熱変形と落石降下の交互作用であることを明らかにしている。さらに、長柱岩体脚部の割れ目の状態から最終破壊過程を検討し、トップリング破壊時のAE発生頻度の時系列変化から理論的検討結果の妥当性を検証している。

第7章では、さらに一般的な任意の斜度を有した岩盤斜面の落石・崩壊機構を解明している。まず、節理構造岩盤斜面の浮石岩板の力学模型を設定するとともに、熱変形論と線形破壊論から応力拡大係数を計算し、き裂の進展条件を検討している。これらの検討結果から、以下の結論を得ている。すなわち、き裂は、岩盤斜面の温度勾配、傾斜角および岩板の厚さが大であるほど進展し易くなる。また、き裂は凍結融解によって潜在節理の破壊靱性値が低下するほど、開口節理に挟まった岩片が岩板の熱変形に応じて落下するほど進展し易くなる。これより落石・崩壊は寒暖の激しい寒冷地の急斜面の方が発生しやすいことを指摘している。

第8章では、本研究で得られた成果と知見を総括し、今後の研究に指針を与えている。

これを要するに、著者は、節理構造岩盤斜面の熱変形による崩壊機構を解明し、斜面崩壊の防止工法と予知法の技術開発に対して理論的指針を与えており、応用地質学の発展に寄与するところ大なるものがある。

よって、著者は、北海道大学博士（工学）の学位を授与される資格があるものと認める。