

京都大学	博 士（理 学）	氏名	William Henry Schulz
論文題目	Beyond Hydrostatic Pore-Water Pressure – Variable Effects of Groundwater on Landslide Initiation and Mobility (間隙静水圧理論を超えて：地すべりの発生と運動に及ぼす多様な地下水の効果)		
(論文内容の要旨) 地すべり現象は、多くの地域において地形変化の主な原因となり、時には人間社会に甚大な被害をもたらす。従前より地下水の変動が地すべりの発生や運動に最も重要な役割を果たしていることが知られているが、その影響の多様性については未だに解明されていないのが実状である。そこで、本研究では、異なる地質、地形的特徴を有する地すべり地において現地調査、計測及び室内実験を実施し、地すべり変動現象に与える多様な地下水の影響を検証した。得られた結果は以下である。 1) 100年以上継続して斜面変動が認められる米国コロラド州のSlumgullion地すべりに対して、地すべり土塊の運動について時間単位から十年間単位までのタイムスケールにおいて計測を行った結果、地すべり移動土塊は十数個のサブブロックに分けて移動し、全体として2000年代の地すべり移動速度は1980年代より大幅に低下したことを明らかにした。その理由として、降水量の減少と気温の上昇により期間中に地下水位が低下したことと、長期変動に伴って末端の移動土層厚が薄くなり、斜面全体の安定性が高くなったことが挙げられた。また、活動中の地すべり土塊において、一日および半日周期の大気潮汐による気圧変化を考慮し、気圧が極小値となった時に地すべりに大きな変動が生じることを明らかにした。その原因は、大気圧の変動によって地すべり土塊における間隙水圧が変化し、低気圧時にすべり面のせん断強度が低下することにより斜面変動が加速されるためであると推定した。さらに、地すべりの側壁に接するサブブロックにおいて間隙水圧が上昇し、地すべり土塊が加速する時には、側壁付近の土層においてせん断に伴う膨張的ダイレイタンスーが発生し、間隙水圧が低下することを明らかにした。これによって、土層のせん断抵抗が増加し地すべり運動速度を低下させることがわかり、側壁土層における膨張的ダイレイタンスーの繰り返し発生が長期に渡り地すべり移動速度を制御するという重要なメカニズムを提起した。 2) カリフォルニア州北部の粘土質地すべりに対して、地下水位の変化と側壁土層における季節的な土圧変化と斜面変動速度との関係について検討した結果、地下水位の変化よりも、土層の膨張と収縮に起因する地すべり側壁における土圧変化が、地すべりの再活動化及び速度を強く制御していることを明らかにした。また、膨潤圧の変化を考慮した粘土質地すべりの発生と運動の予測手法を提案した。 3) 地震時地すべりの再活動化過程、及び、ゆっくりとした重力せん断破壊や急速地震載荷せん断破壊時における既存すべり面のせん断挙動を解明するために、オレゴン州の海岸地すべりより採取した試料に対する地震時地すべり再現実験を行った。その結果、強い地震時に地すべりが残留強度状態にあるすべり面に沿って再活動し、長距離運動する可能性があることを明らかにした。また、急速な地震載荷に対するすべり面のせん断強度は、せん断変位及びせん断速度に依存することを明らかにし、それに基づいて地域特性を反映した地震時における地すべり挙動の予測方法を開発した。 4) 広域の地すべり発生危険度と異なるタイプの地下水との関係について解明するため、地すべりの多いシアトル地域に対して、統計モデルを開発し、異なる地形的特徴を有する局所地域の崩積土層厚、崩積土層における宙水分布及び飽和土層厚を予測した。これにより、シアトル地域に発生する浅い地すべりは、広域の地下水ではなく崩積土層における宙水分布状況に大きく依存していることが判明した。また、シアトル地域における地すべり発生危険度の評価に不可欠な地下水の予測手法を提案した。			

(論文審査の結果の要旨)

地震や豪雨時における地すべり災害の予測や災害軽減対策の確立には、斜面における地下水変動の解明が不可欠である。しかしながら、斜面変動に及ぼす地下水の影響には多様性があり、それに対する理解は未だ不十分であるのが実状である。そこで、申請者は、100年以上継続して現在も活動中である大規模地すべりに対して、長期観測及びGB-InSARを用いた測量を行い、異なるタイムスケールでの地すべり土塊の運動に対して解析を実施した結果、地すべり移動体は十数個のサブブロックに分けられ、全体としての近年の地すべり移動速度は過去に比べて約半分にまで低下したことを明らかにした。その原因として、降水量の減少と気温の上昇により地下水位が低下したことと、長期変動に伴って末端の移動土層厚が薄くなり、斜面全体の安定性が高くなったことを挙げた。また、活動中の地すべり土塊における斜面変動速度や大気圧及び地下水圧の変化を分析した結果、大気圧の変化によって地すべり土塊における間隙水圧が変化し、低気圧時にすべり面のせん断強度が低下することで斜面変動を加速させる運動メカニズムを明らかにした。この研究結果は、大気潮汐が他のタイプの地すべり、氷河の変動、地震及び火山の噴火などの誘因となりうることを示唆している。さらに、運動中の地すべり土塊の側壁土層において発生する膨張的ダイレイタンスーによって、間隙水圧が低下し、地すべり運動速度が低下したことを明らかにし、地すべりの長期的な変動を制御する重要なメカニズムとして側壁土層における膨張的ダイレイタンスーの繰り返し発生を提案した。

次に、申請者は、カリフォルニア州北部にある代表的な粘土質地すべりを対象として、地下水位の変化や側壁土層における季節的な土圧変動と斜面移動速度の変化の関係を調べた結果、地下水位の変化よりも、土層の膨張と収縮に起因する地すべり側壁における圧力の変動が、地すべりの再活動化及び移動速度を強く制御していることを明らかにした。これにより、膨潤圧の変化を考慮した粘土質地すべりの発生と運動の予測手法を提案した。この研究成果は、世界各地の粘土性地すべりの運動機構の解明において、重要な情報を提供することになると考えられる。

さらに、申請者は、地震時地すべりの再活動化過程を解明するために、オレゴン州の海岸地すべりより採取した試料に対する地震時地すべり再現実験を行った。その結果、強い地震時に地すべりは、残留強度状態にあるすべり面に沿って再活動し、長距離運動する可能性があることを明らかにした。また、急速な地震載荷に対するすべり面のせん断強度がせん断変位及びせん断速度に依存することを解明し、それに基づき、地域特性を反映した地震時における地すべり挙動の予測評価方法を開発した。

最後に、申請者は、広域における地すべりの発生危険度と異なるタイプの地下水との関係を解明するために、地すべりの多いシアトル地域に対して、統計モデルを開発し、異なる地形的特徴を有する局所地域の崩積土厚、崩積土層内における宙水分布及び飽和土層厚を予測した。その結果、シアトル地区に発生する浅い地すべりは、広域の地下水ではなく崩積土層における宙水分布状況に大きく依存していることを明らかにした。これにより、シアトル地域における地すべり発生危険度評価に不可欠な地下水の予測手法を提案した。

以上の諸点から、申請者の研究は、地すべりの発生・運動における降雨や融雪などによる地下水位の変化だけではなく、異なる誘因で生じた地すべり土塊内部における間隙水圧の変動による多様な影響を初めて包括的に明らかにした点で高く評価される。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られる。また、令和元年11月14日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。

要旨公表可能日： 年 月 日以降