

氏 名	IMAM MD. HASAN
博士の専攻分野の名称	博士（学術）
学位記号番号	博理工乙第 254 号
学位授与年月日	令和元年 9 月 20 日
学位授与の条件	学位規則第 4 条第 2 項該当
学位論文題目	Climatic influences on weathering degree of soil layer in the soil-slip scar on granitic and granodioritic slopes in Japan (日本における花こう岩・花こう閃緑岩からなる斜面土層の風化程度への気候の影響に関する研究)
論文審査委員	委員長 准 教 授 小口 千明 委 員 教 授 長田 昌彦 委 員 准 教 授 内村 太郎 委 員 教 授 桑野 二郎 委 員 防災科学技術研究所 若月 強

論文の内容の要旨

The present study showed how can the chemical, mineralogical and physical properties of bedrock and soils samples from granite and granodiorite landslide areas under humid continental, temperate and subtropical climate regions be applied to quantify the degree of weathering. The weathering products including mica clay, kaolin, and vermiculite or 14Å intergrade minerals are enriched in soil samples of both granite and granodiorite areas due to the alteration of primary minerals. The low temperate climate region, Nagiso granite soil samples are dominated by vermiculite or 14Å intergrade minerals, whereas the subtropical climate region, Ishigaki granite and granodiorite samples are dominated by kaolin minerals. The elemental analysis and weathering indices of rocks indicates that chemical weathering especially dissolution or leaching progress intensively in the studied areas in the order from bedrock, slip surface and upper surface soil. While undergoing the weathering processes, the rock particles gradually reduced in size to produce finer soil particles and their abundance increase upwards.

Chemical weathering changes the structure and chemical composition of parent rocks and thereby making the rocks more prone to physical disintegration which leads to the changes of physical properties. Thus, density decreases and porosity increases upwards and leads to alteration of larger materials to finer materials with the formation of secondary clay minerals. Chemical weathering indices also show a strong correlation with both bulk density and porosity in all study areas.

Chemical, mineralogical and physical properties are subjected to change at different stages in weathering process under different climatic condition. The weathering indices and some other rock properties fitted the climatic data

showed that temperature, is the most influential climatic factor responsible for the chemical weathering. The correlations favored that the temperature eroded the granodiorite more than granite. A similar comparison was made for mean annual precipitation, however, it was shown that there was little relation. Therefore, the degree of chemical weathering from humid continental to subtropical granite and granodiorite areas were mainly governed by temperature.

In conclusion, it can be stated that mineralogical and chemical properties along with weathering indices analyses as well as the physical properties analysis of rocks showed that they are significantly weathered. Under intense chemical weathering associated with the temperature variation, the parent rocks had undergone physical disintegration processes and chemical decomposition to produce silt to clay size particles. Therefore, the alteration of primary minerals to secondary clay minerals drastically reduced the rock strength which governs the extensive slope failure.

Though, combined analyses of mineralogical, chemical and physical properties are more effective techniques for characterizing the degree of weathering under humid continental to sub-tropical climate. In addition, the correlation between different properties are also enhanced the applicability to evaluate the degree weathering. However, besides these, detailed geotechnical analysis, especially the mechanical properties analysis as well as the daily temperature and precipitation data analyses are also necessary for further precise investigation of slope stability analysis in the study areas.

論文の審査結果の要旨

本研究は、土石流災害を起こしやすい花こう岩質岩石の土層発達過程の地域性を明らかにするため、日本各地の花こう岩質岩石の分布地域で実際に発生した崩壊地から岩石試料を採取し、岩石物性を詳細に分析・測定し、風化程度を定量化した。また、その結果を用いて、各地域崩壊が発生する時の土層発達程度（土層深度プロファイル）の風化指標を求め、脆弱化した土層の特徴を風化程度で示すとともに、各地域の年平均気温と相関をとることにより、土層発達の地域性についても言及している。

このような、風化と気候との関係は、欧米を中心に古くから指摘されてはいたが、具体的な事例とともに詳細な分析を行った研究は、おそらく初めてと言える。隣接地域における花こう岩／花こう閃緑岩あるいは、花こう岩のなかでも構成鉱物の粒径の大小による風化程度や崩壊頻度の違いなどについて言及した研究例は多いが、離れた地域で、かつ複数の地域を対象に、母岩の岩石がもつ物性を詳細に分析した例はほとんどなく、しかもその結果を気候の違いと関連付けた例はほとんどない。

上記の背景をふまえ、本論文は以下の6章からなる構成でまとめられている。

第1章では、本論文の研究目的を明確にするため、花こう岩質岩石の分布地域で頻発する土砂災害の研究事例、花こう岩の風化研究事例、および風化指標の研究事例などを広範かつ詳細にレビューした上で、研究の重要性について記述している。この中で、とくに崩壊の材料となる土層発達過程を含めた崩壊研究が少ないことに言及している。そのような背景もあり、気候と土層発達における具体的な研究事例がほとんどないことを明らかにし、風化指標を用いて土層発達を明確にし、比較検討することの重要性を協調している。

第2章では、対象地域の概要について記述している。すなわち、長野県、広島県、山口県、鹿児島県、沖縄県（石垣島）に分布する花こう岩および花こう閃緑岩地域の地質背景、地形の特徴を述べている。また、気候の特徴として、1991～2010年における平均気温と平均降水量を整理して示した。

第3章では、岩石物性調査の分析・測定方法について記載している。本論文で対象とした岩石物性は、岩石の鉱物学的性質、化学的性質、および物理的性質である。鉱物学的性質については、XRD（粉末X線回折分析：バルク分析および粘土画分分析）と岩石薄片の偏光顕微鏡観察で行い、化学的性質についてはSEM-EDS（走査型電子顕微鏡）による元素分析を行った。また、物理的性質については、かさ密度、間隙率、粒度分布の各試験を行った。これらの分析・測定方法について、詳述している。

第4章では、分析・測定結果について詳述している。鉱物種については、花こう岩および花こう閃緑岩の母岩（未風化岩）の一次鉱物については、それぞれほぼ同じであったのに対し、風化生成物中の二次生成鉱物（粘土鉱物）は、雲母粘土鉱物、カオリン、パーミキュライト、14Å中間鉱物などが同定された。しかも、長野県の花こう岩試料では、パーミキュライトや14Å中間鉱物が支配的であるが、亜熱帯気候地域の石垣花こう岩と花こう閃緑岩の試料ではカオリン鉱物が支配的であることが示されている。元素分析結果では、易動度の高いアルカリ・アルカリ土類金属が溶脱している一方で、易動度の低いアルミニウムや鉄が相対的に多く存在していることが明らかとなった。粒度分析の結果からは、土層の上方すなわち風化の進行にしたがって、粒径は徐々に小さくなり、それを反映してかさ密度が低下し、間隙率が高くなっていることが示された。

第5章では、まず、化学組成の結果から風化指標を求め、土層発達の程度を定量的に示した。そのうえで各地域を比較することにより、平均気温の高低と風化程度が関係することを明らかにした。平均降水量についても同様の比較を行ったが、ほとんど関係がないことが示された。また、粒度分析の結果から透水係数を求めた値についても同様の検討を行い、風化指標と同様、平均気温の高低と風化程度が関係することを明らかにした。

第6章では、得られた成果を要約し、本論文の結論としてまとめると共に、今後の展望について整理して記述している。化学風化は、易動度の高い元素の溶解により母岩の鉱物が溶脱し、化学組成が変化し、それにより岩石を構成している鉱物が脱落するとともに鉱物そのものも変質し粘土鉱物になる。変質して生成された粘土鉱物の種類には地域性があるとともに、平均気温との相関がある。また、化学組成から計算された風化指標値と粒度組成から計算された透水係数値も年平均気温との相関がある。

本研究の着眼点には独創性があり、手法の多様性と得られた結果の新規性などを総合的に判断し、博士論文として合格と判定した。