

風化深成岩の微視的不連続構造の定量化と 地質工学的特性に関する研究

学位論文内容の要旨

地圏の表層部では岩石の風化が進行し、それに伴って岩石の物理的・化学的性質が継続的に変化する。人間の生活および生産活動が展開される領域は主に地圏の表層部であり、風化の作用領域と重複することが多いため、地圏の開発や利用、保全などを行う上で風化に関連した様々な問題が生じる。例えば、そのような問題の一つとして岩盤崩落や斜面崩壊、地すべりなどの地質災害があり、日本では近年でも地質災害の発生によって多くの貴重な人命と財産が失われている。地質災害の理解と予測のためには、岩盤の不安定化や斜面流動物質の生成につながる岩石の風化現象の評価技術を確立し、風化によって生じる物性変化に関する知見を蓄積する事が重要であると考えられる。

そこで本研究では、風化で岩石中に発生する微視的な不連続構造に着目して、物性変化との関係を明らかにするとともに、マルチフラクタル解析を用いた風化現象の新たな評価手法を構築することを目的として研究を行った。稲田花崗岩と黒石山斑礫岩を研究試料として、組成および組織と風化変質に関する詳細なキャラクターゼーションを行った上で、不連続構造をマルチフラクタル解析などで定量的に評価した。さらに、風化に起因する一軸圧縮強度など物理的性質の変化と不連続構造との関係を検討することで、風化初期における花崗岩と斑礫岩の風化耐久性に関する知見を得た。また、不連続構造の評価手法としてのマルチフラクタル解析について考察を行った。本論文を構成する各章の概要は以下の通りである。

第1章は序論であり、研究の背景と目的について述べている。本研究の主題に関連する既往研究のレビューを行い、さらに論文の構成について述べる。

第2章は研究試料に関する章であり、深成岩の岩石学的特徴や日本における分布、組成あるいは成因に基づく分類などに関して概説する。また、本論文で扱う稲田花崗岩と黒石山斑礫岩について、採取した地域の地質概要と試料の産状などについて述べる。

第3章では研究試料の組成および組織と風化変質に関する評価を行っている。花崗岩試料は等粒状組織を示す黒雲母アダメロ岩（広義の花崗岩）で、主に石英、カリ長石、Na 質の斜長石、Fe に富む黒雲母からなる。黒雲母では幅広い風化変質が認められ、風化初期では K 型バーミキュライトが、さらに風化が進行した試料ではバーミキュライ

トとスメクタイトが生成していることが明らかとなった。また、斜長石ではスメクタイトが生成している。一方、斑瀠岩試料はポイキリティック組織で特徴づけられる角閃石斑瀠岩で、主成分鉱物は Ca 斜長石と角閃石である。角閃石は主に Mg に富むホルンブレンドとカミングトン角閃石で、広い組成変化を示す。風化変質鉱物としてスメクタイトの生成が認められた。蛍光法による不連続構造観察から、風化花崗岩では斜長石の粒内亀裂に加えて、粒界亀裂および粒間亀裂、石英の粒内亀裂が発達するのに対して、風化斑瀠岩では斜長石の粒内亀裂の生成が顕著であった。花崗岩と斑瀠岩では鉱物組成が異なるのに加え、岩石組織、特に風化によって発生する不連続構造の特徴が異なることを明らかにしている。

第4章では、風化深成岩にみられる微視的な不連続構造とその評価手法について述べている。測度分布の不均質さを評価できるマルチフラクタル解析を用いて不連続構造を特徴づけるとともに、細孔径分布や有効間隙率などの測定を行った。マルチフラクタル解析では、共焦点レーザー走査型顕微鏡を使用して蛍光法で撮影した画像を貼り合わせることで解析画像を作成し、不連続構造を評価した。解析画像に含まれる全ピクセルの輝度値の和を一定とする規格化処理を行うことで、規格化一般化次元と風化程度の関係が明確になることを示している。花崗岩と斑瀠岩の両方で、風化の進行に伴って規格化一般化次元が小さくなり、不連続構造が不均質となっていることが明らかとなった。2種の深成岩の細孔径はバイモーダルな分布を示し、風化により特に径の小さな空隙体積が増加する。これは主に、蛍光観察で認められた斜長石での微細な粒内亀裂に対応しており、不連続構造の不均質さの増大に大きく寄与していると考えられることを示した。規格化一般化次元は不連続構造の不均質さを特徴づけることができる有効な指標であり、マルチフラクタル解析を用いることで不連続構造の発達を定量化できることを明らかにしている。

第5章では一軸圧縮強度などの地質工学的特性をとり上げ、岩石組織、特に不連続構造との関係を考察した。風化によって一軸圧縮強度は花崗岩と斑瀠岩の両方で低下する。有効間隙率が同程度増加した場合に稲田花崗岩は黒石山斑瀠岩よりも一軸圧縮強度が低下しやすく、不連続構造が同程度不均質化した場合には、花崗岩の方が強度低下が大きいことを明らかにした。花崗岩では風化によって粒界亀裂や粒間亀裂など、構成粒子の固結力低下に寄与するがあまり不均質さを増加させない不連続構造の発達が認められる。それに対して、斑瀠岩では斜長石中に多くの微細な粒内亀裂が生じることで不連続構造が不均質化するが、角閃石が風化の影響を受けにくいことで強度が維持されるものと考えられることができる。すなわち、花崗岩は斑瀠岩よりも比較的風化耐久性の高い鉱物を多く含むにもかかわらず、一軸圧縮強度に関してこのような傾向が認められる原因は、花崗岩と斑瀠岩の岩石組織、特に風化によって発生する不連続構造の差異に帰することができると考えられることを示している。

第6章は結論であり、本研究で得られた知見を総括するとともに、不連続構造の定量化法としてマルチフラクタル解析が持つ有効性について述べている。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 米 田 哲 朗

副 査 教 授 金 子 勝 比 古

副 査 教 授 小 池 克 明

学 位 論 文 題 名

風化深成岩の微視的不連続構造の定量化と 地質工学的特性に関する研究

地圏の表層部では岩石の風化が進行し、それに伴って岩石の物理的・化学的性質が継続的に変化する。その結果、地圏の開発や利用、保全などを行う上で風化に関連した様々な問題が生じる。岩盤崩落や斜面崩壊、地すべりなどの地質災害はその一つであり、近年でも、地質災害の発生によって多くの貴重な人命と財産が失われている。地質災害の理解と予測のためには、岩盤の不安定化や斜面流動物質の生成につながる岩石の風化現象の調査技術を確立し、風化によって生じる地質工学的性質の変化に関する知見を蓄積することが重要である。

本研究は、風化で岩石中に発生する微視的な不連続構造に着目して、地質工学的性質との関係を明らかにするとともに、マルチフラクタル解析を用いた風化現象の新たな定量化手法を構築することを目的としている。稲田花崗岩と黒石山斑糲岩を研究対象に、組成および組織と風化変質に関する詳細なキャラクターゼーションを行い、不連続構造をマルチフラクタル解析などで定量化している。また、不連続構造の定量化法としてのマルチフラクタル解析について考察を行っている。さらに、風化に起因する一軸圧縮強度など地質工学的特性の変化と不連続構造との関係を検討することにより、風化初期における花崗岩と斑糲岩の風化耐久性を比較している。本論文を構成する各章の概要は以下の通りである。

第1章は序論であり、研究の背景と目的について述べている。本研究の主題に関連する既往研究のレビューを行い、さらに論文の構成について述べている。

第2章は研究試料に関する章であり、深成岩の岩石学的特徴や日本における分布、分類などに関して概説し、稲田花崗岩と黒石山斑糲岩について採取した地域の地質概要と試料の産状などを述べている。

第3章では研究試料の組成および組織と風化変質のキャラクターゼーションを行っている。花崗岩試料および斑糲岩試料の岩石記載をおこない、鉱物組成・モード、組織を明らかにするとともに黒雲母や斜長石の風化変質の特徴を述べている。さらに、蛍光法による不連続構造観察から、風化花崗岩では斜長石の粒内亀裂に加えて、粒界亀裂および粒間亀裂、石英の

粒内亀裂が発達するのに対して、風化斑礫岩では斜長石の粒内亀裂の生成が顕著であること、また、花崗岩と斑礫岩では鉱物組成が異なるのに加え、岩石組織特に風化によって発生する不連続構造の特徴が異なることを明らかにしている。

第4章では、風化深成岩にみられる微視的な不連続構造とその定量化法について述べている。測度分布の不均質さを評価できるマルチフラクタル解析を用いて不連続構造を特徴づけるとともに、細孔径分布や有効間隙率などの測定を行っている。マルチフラクタル解析は、共焦点レーザー走査型顕微鏡を使用して蛍光法で撮影した画像を貼り合わせることで解析画像を作成し、さらに解析画像に対し全ピクセルの輝度値の和を一定とする規格化処理を行い、不連続構造を定量化している。このマルチフラクタル解析を用いた評価の結果、花崗岩と斑礫岩の両方で、風化の進行に伴って規格化一般化次元が小さくなり、不連続構造が不均質となることが明らかにされている。さらに、それらは斜長石の微細な粒内亀裂に対応し、不連続構造の不均質さの増大に大きく寄与することを示し、規格化一般化次元は不連続構造の不均質さを特徴づけることができる有効な指標であり、マルチフラクタル解析を用いることで不連続構造の発達を定量化できると述べている。

第5章では一軸圧縮強度などの地質工学的特性をとりあげ、岩石組織、特に不連続構造との関係を考察している。風化によって一軸圧縮強度は花崗岩と斑礫岩の両方で低下する。有効間隙率が同程度増加した場合に稲田花崗岩は黒石山斑礫岩よりも一軸圧縮強度が低下しやすく、不連続構造が同程度不均質化した場合には、花崗岩の強度低下がより大きいことを明らかにしている。花崗岩では、風化によって粒界亀裂や粒間亀裂など、構成粒子の固結力低下に寄与するがあまり不均質さを増加させない不連続構造が発達する。それに対して、斑礫岩では斜長石中に多くの微細な粒内亀裂が生じることで不連続構造が不均質化するが、角閃石が風化の影響を受けにくいことで強度が維持されるものと考察している。すなわち、花崗岩と斑礫岩の風化耐久性の違いは、花崗岩と斑礫岩の岩石組織特に風化によって発生する不連続構造の差異に帰することができることを示している。

第6章は結論であり、本研究で得られた知見を総括するとともに、不連続構造の定量化法としてマルチフラクタル解析が持つ有効性について述べている。

これを要するに、著者は、風化深成岩の微視的不連続構造とその地質工学的特性について新知見を得たものであり、応用地質学の発展に寄与するところ大である。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あるものと認める。