

論文審査の結果の要旨

報告番号	博（工）甲第17号	氏名	劉 日成
学位審査委員	主査 蔣 宇静 副査 冨田 彰秀 副査 大嶺 聖		
<p>論文審査の結果の要旨</p> <p>劉日成氏は、2013年4月に長崎大学大学院工学研究科博士後期課程に進学し、現在に至っている。同氏は、工学研究科博士後期課程に進学以降、当該課程の所定の単位を修得するとともに、岩盤亀裂ネットワークの非線形的流動機構とその評価に関する研究を行い、その成果を2015年12月に主論文「Nonlinear Flow and Fractal Properties of Rock Fracture Networks（岩盤亀裂ネットワークの非線形的流動機構とフラクタル特性に関する研究）」として完成させ、参考論文として、学位論文の印刷公表論文10編（うち審査付き論文10編）、学位論文の基礎となる論文2編を付して、博士（工学）の学位を申請した。長崎大学大学院工学研究科教授会は、2015年12月16日の定例教授会において論文内容等を検討し、本論文を受理して差し支えないものと認め、上記の審査委員を選定した。委員は主査を中心に論文内容について慎重に審議し、公開論文発表会を実施するとともに、最終試験を行い、論文審査および最終試験の結果を2016年2月17日の工学研究科教授会に報告した。</p> <p>本研究は、室内透水試験および数値解析を通じて、岩盤亀裂ネットワークの非線形的流動機構の解明と岩盤亀裂分布のフラクタル特性の評価を目的としたものである。</p> <p>東北地方太平洋沖地震に起因した福島第一原子力発電所の爆発事故により多量の放射性物質が外部に漏れ出た後、一部の地域の地層中で放射性物質が検出され、核種が地下水の流れとともに移行し、深部亀裂性岩盤に到達した可能性が示唆された。核種の移行速度、到達範囲などを正しく評価するためには、核種移行の経路となる岩盤亀裂ネットワークの水理物質移行特性を理解することが重要である。岩盤亀裂における流体の流動特性は、その表面ラフネスや開口幅、動水勾配、交差点数、せん断履歴、亀裂の空間分布など、多くの要素に影響されるため、これらをすべて含める理論的検討や原位置試験は非常に困難である。様々な条件を考慮すること、ナビエ・ストークス(NS)方程式を解くことにより、単一亀裂から複雑な亀裂ネットワークにおける流体の非線形流動特性を求めることが妥当であり、ランダム性を有する亀裂の表面ラフネスと長さ分布の影響度合いをフラクタル次元解析により定量的に評価することが有効な手法であると考えられる。</p>			

本研究では、まず、岩盤亀裂ネットワークの透水性と幾何学的パラメータ（例えば、亀裂の長さ、開口幅、境界応力、フラクタル、異方性、モデルサイズ）との相関関係について考察を行ったが、その結果、(1) 亀裂の幾何学的パラメータはフラクタル性を有し、亀裂ネットワークの透水性に与える影響が大である；(2) 浸透率テンソルは破碎性岩盤の異方性を表すために利用されているが、亀裂ネットワークモデルのスケール効果の影響を受ける；(3) 二次元亀裂ネットワークモデルは三次元モデルの切断面で表されるので、その浸透性が通常過小評価されるなどを明らかにした。

次に、高精度の流体流量計測システムを構築し、ナビエ・ストークス方程式を解き、数値シミュレーションを実施することにより、亀裂ネットワーク内の流体流れの非線形性を詳細に調べた。単一交点を有する亀裂ネットワークの流れでは、(1) 亀裂の表面ラフネスを増すと、交点を通じる流量と動水勾配の比率が減少すること；(2) 動水勾配は 10^3 未満である場合には、交点での挟角の影響は無視できるが、動水勾配は 10^2 を超えると、挟角の影響は顕著となること；(3) 亀裂ネットワークの流量と動水勾配との比の計算式を提案したが、数値シミュレーションの予測値とよく一致していることを明らかにした。一方、より複雑な分布を有する亀裂ネットワーク内の流動については、Forchheimer法則によって流量と動水勾配との関係を示し、開口幅と亀裂表面ラフネスおよび交点数が臨界動水勾配に与える影響を詳細に考察した上で、臨界動水勾配とForchheimer法則に関わる係数の計算式を数値シミュレーション結果の多変量回帰分析に基づいて提案した。

最後に、亀裂性岩盤の水理物質移行特性を解明するために、これまでの研究で構築してきた単一亀裂の連成特性モデルおよび亀裂表面ラフネスと透水係数との関係式を、亀裂ネットワークモデルに取り入れて、亀裂の空間分布特性を考慮した亀裂性岩盤のマルチスケール水理物質移行特性評価モデルを構築したが、定量的評価を実現するために、以下のモデルと関係式、つまり、複雑な岩盤亀裂の長さ分布を表す理論モデル、岩盤亀裂ネットワークフラクタルモデルに基づく新しい流体流動支配方程式、岩盤亀裂ネットワークフラクタル次元と透水係数との相関関係式を確立し、亀裂の表面ラフネスが岩盤亀裂ネットワークの透水係数に及ぼす影響を定量的に評価した。

以上のように本論文は、深部亀裂性岩盤の水理物質移行特性とそれを定量的に解明するための関係モデルの確立に関して、新規性と独創性があり、高い学術的価値を有するものと評価できる。

学位審査委員会は、劉日成氏の研究が岩盤工学の分野において極めて有益な成果を得るとともに、土木工学分野の進歩発展に貢献するところが甚大であり、博士（工学）の学位に値するものとして合格と判定した。