

氏名	たけかわ じゅん いち 武川 順 一
学位(専攻分野)	博 士 (工 学)
学位記番号	工 博 第 2763 号
学位授与の日付	平 成 19 年 3 月 23 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 1 項 該 当
研究科・専攻	工 学 研 究 科 社 会 基 盤 工 学 専 攻
学位論文題目	エレメントフリーガラキン法による岩石破壊試験の数値シミュレーションに関する研究
論文調査委員	(主 査) 教 授 芦 田 讓 教 授 松 岡 俊 文 教 授 朝 倉 俊 弘

### 論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、亀裂の発生から伝播・合体・相互作用・巨視的な破断面の形成までを統一的に扱うことのできる Statistical Continuum Damage Model (統計的連続体モデル) に、メッシュレス法的一种であるエレメントフリーガラキン (Element Free Galerkin; EFG) 法を適用し、岩石破壊試験のシミュレーションに対する適用性を検証した結果をまとめたものであって、7章からなっている。

第1章は序論であり、岩盤構造物設計における要点・現状を概説し、それらを解析するための数値解析手法についての概観を述べている。

第2章は EFG 法に関する形状関数の導出や重み関数の説明・ペナルティー法による基本境界条件の処理、本研究における支配方程式とその増分分解、数値積分の説明などの基礎的な事項に関して詳しく説明している。また、EFG 法において精度を左右する主なパラメーターについて、片持ち梁によって定量的な検証を行い、その精度を FEM (有限要素法) による計算結果・解析解と比較することによって検討している。

第3章では、岩盤を扱う上で重要となる材料のばらつきを考慮した解析対象のモデル化方法について説明を行っている。また、ばらつきを与えられた解析対象の解析方法について、弾塑性理論の基礎から非線形解析手法、応力の補正などについて説明を行っている。

第4章では、提案した手法を直接引張試験と間接引張試験に対して適用した結果を示している。その際の、応力-ひずみ曲線・AE-ひずみ曲線・供試体の破壊状況などが実際の岩石供試体の脆性的な破壊現象を再現することが出来ていることを確認している。

第5章では、圧縮試験の数値シミュレーションの結果を示している。圧縮試験としては一軸圧縮試験と三軸圧縮試験を行っており、応力-ひずみ曲線と巨視的破壊状況を検討することによって再現性を検証している。その後、一軸圧縮試験と拘束圧を変化させた三軸圧縮試験の供試体破壊状況を比較することによって、岩石供試体の拘束圧に依存した脆性-延性転移を表現できることを示した。

第6章では、第5章までに示した手法を空孔周りの亀裂発生に関する岩石試験に対して適用し、過去に実施された多くの室内試験結果と比較することによって、その再現性を検討している。その結果、提案した手法により再現された空孔周りの亀裂発生状況は、室内試験の結果とよく一致するものであった。また、室内試験での AE 発生箇所と微視的な破壊の発生箇所には明確な対応関係が確認されており、提案手法の岩石破壊シミュレータとしての有効性が示された。

第7章は結論であり、本論文で得られた成果について要約している。

### 論 文 審 査 の 結 果 の 要 旨

本論文は、亀裂の発生から伝播・合体・相互作用・巨視的な破断面の形成までを統一的に扱うことのできる Statistical

Continuum Damage Model (統計的連続体モデル) に、メッシュレス法の一つであるエレメントフリーガラーキン (Element Free Galerkin; EFG) 法を適用し、岩石破壊試験のシミュレーションに関する考察を行ったものであり、得られた主な成果は以下のとおりである。

1. 要素試験として、直接引張試験・間接引張試験・一軸圧縮試験・三軸圧縮試験を行い、その破壊パターンが実際の岩石を用いて行われる室内試験での破壊パターンとよく一致することを示した。これにより、Element Free Galerkin 法の Statistical Continuum Damage Model に対する適用性が示された。
2. 残留強度の決定に Degradation Model を採用することによって、応力-ひずみ曲線に明確な脆性-延性挙動が確認された。また、破壊パターンも、拘束圧の上昇に伴い次第に引張が抑制され、ある一定の幅を持つせん断帯へと変化していく傾向があることを示した。
3. 数値シミュレータにとって、トンネルやポアホールといった地下構造物の周辺に発生する破壊挙動を再現できるかは、実際問題への応用を考える上で非常に重要である。そこで、円孔を有する岩石供試体に対する破壊シミュレーションを実施し、実際の岩石供試体を用いて行われた岩石試験結果と比較したところ、微視的な破壊挙動と AE 観測結果はよく一致し、また最終的な破壊形態に関してもよい一致を得た。

以上、本論文は、Statistical Continuum Damage Model にメッシュレス法の一つである EFG 法を適用し、その有効性を検証したものである。その結果、メッシュレス法を用いても岩石の脆性破壊がよく再現されることが示され、これによりメッシュ生成の労力軽減や解のメッシュ非依存性が期待されるものであり、学術上、實際上寄与するところが少なくない。

よって、本論文は博士(工学)の学位論文として価値あるものと認める。また、平成19年1月24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。