

(論文内容の要旨)

高レベル放射性廃棄物の地層処分施設、石油・ガスの岩盤内貯蔵施設、圧縮空気貯蔵ガスタービン発電施設 (CAES) などの地下構造物は、岩盤並びに地下水の特性を有効に利用して貯蔵を行おうとするものである。このような岩盤構造物には、長期にわたる高度な遮蔽性を確保することが求められており、このためには岩盤内の水理挙動を高精度に予測・評価するシステムの構築が必須である。本論文はこのような背景のもとに、岩盤内の水理挙動を高精度に評価できる 3 次元水理地質モデルの構築、亀裂性岩盤の力学的挙動と水理挙動の連成による、応力-浸透流連成解析手法の開発、および岩盤内における気液二相流の挙動メカニズムを評価するための研究成果をとりまとめたものであり、序論および結論を含め 8 章から構成されている。

第 1 章は序論であり、本研究の背景としての岩盤構造物建設における現状の課題を明らかにすると共に、本研究の契機、研究の目的、研究の特徴とその意義について論文全体の概要を記述している。

第 2 章では、本研究で対象とする高レベル放射性廃棄物の地層処分施設、石油・ガスの岩盤内貯蔵施設などの岩盤構造物における岩盤の水理挙動の予測・評価技術として、亀裂性岩盤の水理地質モデルの構築技術、亀裂性岩盤の応力-浸透流連成挙動の評価技術、および岩盤内における気液二相流の挙動メカニズムの評価技術に関する既往の研究結果について述べると共に、現状での課題について分析している。

第 3 章では、岩盤の不均質性を合理的に評価するため、地球統計学シミュレーションを用いた岩盤の 3 次元水理地質構造モデルの構築手法を開発している。この方法は、まず対象とする領域で得られた透水特性のデータを基に地球統計学シミュレーションの一つである Sequential Indicator Simulation を用いて複数の水理地質モデルを作成し、次にそれぞれの水理地質モデルに対して 3 次元非定常浸透流解析を行い、一定の検証規準を満足するモデルのうち、地下水の実挙動を最も精度良く再現できるモデルを対象領域の水理地質モデルとして同定してゆく手法である。このような手法を大規模な岩盤タンク建設時の原位置岩盤の実測挙動を用いて検証した結果、従来から用いられている均質モデルや Ordinary Kriging によるモデルと比較して、岩盤内の水理挙動を高精度に評価できることを実証している。

第 4 章では、粒状体個別要素法と、Channel-Domain Network 解析法を用いた 3 次元応力-浸透流連成解析法を新たに構築している。この手法は、亀裂性岩盤の力学挙動の解析については、巨視的な力学挙動を扱う粒状体個別要素法を適用し、水理挙動の解析については、流体が移動する channel と流体が貯留される domain の概念によって亀裂内における流体 (水・ガス) 挙動を扱った Channel-Domain

Network 解析法を適用するものである。この手法を実際の高圧ガス貯蔵岩盤空洞の水理挙動の評価に適用し、その妥当性を検証した結果、岩盤空洞の気密性を高精度に評価できることを確かめている。

第 5 章では、微小破壊音 (Acoustic Emission) を用いて、岩盤内における気液二相流の水理挙動のモニタリング手法について検討している。まず室内試験により、亀裂内を移動する気体および液体の挙動と AE 発生数、周波数、振幅などの AE パラメータの変化を、間隙ガス圧・間隙水圧の拡散理論を用いて、そのメカニズムを理論的に解明している。これらの結果をもとに、岩盤内における気液二相流の水理挙動の AE によるモニタリング手法の実用性を示している。また、この手法を原位置での気密確認試験に適用し、岩盤内における気液二相流の水理挙動を適切に把握できることを実証している。

第 6 章では、上記の各手法を実際の高圧ガス貯蔵岩盤タンクの原位置気密試験に適用し、その有用性を検証している。まず、試験空洞周辺から得られた岩盤の透水係数および間隙水圧のデータを基に、3 次元水理地質モデルを構築した上で、応力-浸透流連成解析手法による岩盤空洞気密試験時の空洞周辺の挙動予測解析を実施している。次に、原位置気密試験を行い、岩盤内における気液二相流の水理挙動を計測すると共に、予測解析結果の妥当性を確かめている。さらに AE を用いたモニタリング手法によって漏気箇所を特定できることを実証している。

第 7 章では、以上の研究結果を統合し、高レベル放射性廃棄物の地層処分施設、石油・ガスの岩盤内貯蔵施設などの重要地下構造物の設計・施工に不可欠の、岩盤の水理挙動の予測・評価システムを体系的に構築している。

第 8 章は本論文の結論であり、本研究により得られた一連の成果について要約している。

(論文審査の結果の要旨)

高レベル放射性廃棄物の地層処分施設、石油・ガスの岩盤内貯蔵施設、圧縮空気貯蔵ガスタービン発電施設 (CAES) などエネルギー施設としての地下構造物は、岩盤と空洞周辺地下水の特性を有効に利用して貯蔵を行おうとするものである。このような地下構造物には、長期にわたる高度な遮蔽性を確保することが求められており、そのためには亀裂性岩盤内の水理挙動を高精度に予測・評価するシステムの構築が必須である。本研究はこのような背景のもとに、岩盤内の水理挙動を高精度に評価できる 3 次元水理地質モデルの構築、亀裂性岩盤の力学的挙動と水理挙動の連成による、応力-浸透流連成解析手法の開発、および岩盤内における気液二相流の挙動メカニズムを解明するための研究成果をとりまとめたものであり、研究の主な内容は以下のとおりである。

(1) 岩盤の 3 次元水理地質モデルの構築手法の開発

岩盤の不均質な水理挙動を評価するため、地球統計学シミュレーションを用いた岩盤の 3 次元水理地質構造モデルの構築手法を開発した。この手法を大規模な岩盤タンク建設時の原位置岩盤における実測挙動を用いて検証した結果、実際の地下水挙動を高精度に評価できることから、モデル構築手法の合理性を確認した。

(2) 岩盤空洞の 3 次元応力-浸透流連成解析手法の構築

粒状体個別要素法と、channel-domain network (CDN) 解析法を用いた 3 次元応力-浸透流連成解析手法を新たに構築した。この手法を実際の高压ガス貯蔵岩盤タンク建設時の原位置空洞気密試験に適用し、その妥当性を検証した結果、岩盤空洞の気密性を高精度に評価できることを確かめた。

(3) 岩盤内における気液二相流の挙動に関する新しいモニタリング手法の開発

微小破壊音 (Acoustic Emission) を用いて、岩盤内における気液二相流の水理挙動のモニタリング手法を新たに開発した。この手法を原位置での気密確認試験に適用し、岩盤内における気液二相流の水理挙動を適切に計測・評価できることを実証した。

(4) 亀裂性岩盤の水理挙動の統合評価システムの構築と適用性の検証

上記 (1) (2) (3) で構築した各手法を統合して、亀裂性岩盤の水理挙動の評価システムを構築し、当システムを高压ガス貯蔵岩盤タンク建設時の原位置岩盤に適用してその有用性を確認した。

以上、本論文は、亀裂性岩盤の水理挙動の高精度な予測・評価に有用な水理地質モデルの構築法と設計・モニタリングを含めた評価システムを提案している。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 20 年 11 月 19 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。