

(続紙 1)

京 都 大 学	博 士 (工 学)	氏 名	Mohd Ashraf bin Mohamad Ismail
論 文 題 目	Study on hydrogeological modeling and evaluation of groundwater behaviors in fractured rock mass		
(論文内容の要旨) 岩盤空洞を用いた石油・ガス等の貯蔵施設，圧縮空気貯蔵ガスタービン発電施設（CAES）などエネルギー貯蔵の為の地下構造物は，岩盤並びに地下水の特性を有効に利用して，貯蔵を目的とするものである．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，このためには岩盤の力学的，水理学的挙動を高精度に予測・評価するシステムの構築が極めて重要である．本論文はこのような背景のもとに，岩盤内地下水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の解明と岩盤に対する合理的なフラクチャーシーリングシステムの構築を目標とする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内地下水の挙動評価における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関連した周辺地下水の水理挙動の予測・評価の為の，水理地質モデルの構築，亀裂性岩盤の応力浸透流連成挙動の解析評価，および岩盤内における気液二相流の挙動メカニズムに関する既往の研究結果について述べると共に，地下水制御の為のフラクチャーシーリング技術の現状について分析し，それぞれに対する課題を抽出している． 第 3 章では高圧石油ガスの岩盤内貯蔵施設の建設に伴う岩盤空洞周辺の力学的・水理学的挙動の実態を，原位置計測結果に基づいて詳細に分析している．特に地下水圧の作用する貯蔵空洞の力学的挙動，及び高い内圧の作用する岩盤空洞周辺の地下水挙動と漏気現象の発生時における気液二相流の挙動を，原位置空洞圧気試験によって計測し，貯蔵空洞の力学的安定性ならびに気密性能の評価基準について考察している． 第 4 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化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，地下水の実際の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．このようにして構築したモデルを大規模な岩盤タンク建設時の原位置岩盤での計測結果と対比し，不均質岩盤内の水理挙動を高			

氏 名	Mohd Ashraf bin Mohamad Ismail
-----	-----------------------------------

精度に評価できることを実証している。

第 5 章では、粒状体個別要素法と、Channel-Domain Network 解析法を用いた 3 次元応力一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）の挙動を扱う Channel-Domain Network 解析法を適用するものである。力学挙動については、高圧石油ガス貯蔵空洞の掘削時の変位計測結果から、空洞周辺に高い地下水圧の作用する条件下での空洞の掘削時力学的挙動を解析すると共に、支保及び高圧ポストグラウトにより補強した空洞の変形挙動から作用外圧に対する適切な補強法の設計の基準を導出している。さらに我が国では初めてとなる気密試験空洞を用いた、最高圧 1.5MPa までの原位置圧気試験を実施し、高内圧の作用する岩盤空洞周辺の水理挙動を詳細に計測した。その結果、圧気時の周辺地下水圧の応答及び漏気開始後の気液二相流の挙動から、空洞の気密性を判定する為に、限界動水勾配と置換圧及び毛管抵抗力をパラメータとする判定基準を新たに構成し、その有意性を検証した。このような手法及び判定基準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 6 章では、不均質岩盤に対するフラクチャーシーリングによって、空洞の気密性能を向上させることを目的とした研究を行っている。すなわち第 4 章、第 5 章で構築したモデル及び解析技術を用いて、亀裂群が複雑に存在する岩盤に対する綿密かつ合理的なシーリングシステムを構築し、対象とする岩盤に最適な注入、均質化を実現する為の設計・施工上の方策を提案している。特に隣接する注入孔間におけるグラウト材の浸透挙動を逐次解析し、対象岩盤の水理的構造に適合した注入孔配置、注入圧力を設定することによって従来の注入工法に比べて大幅な注入パフォーマンスの向上を達成している。

第 7 章では、以上の研究結果を統合し、石油・ガスの岩盤内貯蔵施設のような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・評価システム並びに地下水制御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すると共に、高レベル放射性廃棄物の地層処分施設など超長期挙動の予測を必要とする構造物の設計、施工に対する適用法、展望について述べている。

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、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法、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、および不均質な岩盤に対する合理的なフラクチャーシーリングシステム並びに地下水制御技術の確立を目標にした研究成果をとりまとめたものであり、研究の主な成果は以下のとおりである。

(1) 岩盤の 3 次元非均質水理地質モデルの構築手法の開発

地球統計学シミュレーションを用いた合理的な岩盤の 3 次元非均質水理地質構造モデルの構築方法を開発した。この手法を大規模な岩盤タンク建設時の原位置岩盤での実測挙動を用いて検証した結果、実際の水理挙動を高精度に評価できることを確認した。

(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 (DEM) と、channel-domain network 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開発した。この手法を実際の高压ガス貯蔵岩盤タンク建設地点での原位置透水・透気試験に適用し、その妥当性を検証した結果、岩盤内の気液二相流の挙動を高精度に評価できること及び、気密性能の判定基準の妥当性を確かめた。

(3) 亀裂性岩盤に対する合理的なフラクチャーシーリングシステムの開発

岩盤空洞をエネルギー貯蔵施設として用いる場合、岩盤内地下水の流動を適切に制御するため、従来は経験的な止水工法が多用されていたが、新たに開発した水理地質モデル並びに挙動解析手法を用いて、亀裂のシーリングシステムの合理化を試み、その成果を原位置岩盤に適用して有用性を確認した。

以上、本論文は、岩盤の水理挙動の高精度な予測・評価及び地下水制御に関して有用な設計、施工上の新たな規範を提示しており、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 21 年 12 月 22 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。