

氏名	なか がわ か め い ち ろ う 中 川 加 明 一 郎
学位の種類	工 学 博 士
学位記番号	論 工 博 第 2354 号
学位授与の日付	平 成 2 年 3 月 23 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 5 条 第 2 項 該 当
学位論文題目	間 隙 水 流 の 連 成 挙 動 解 析 と 地 盤 工 学 問 題 へ の 適 用 に 関 す る 研 究

(主 査)
論文調査委員 教授 赤井浩一 教授 足立紀尚 教授 小林昭一

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、地盤工学上重要な課題の一つである、地盤内間隙水の挙動を定量的に評価する手法を確立することを目的として、間隙水と他の因子との連成過程に着目してその解法を示し、さらに具体的な地盤工学の問題への適用性を論じたものであり、序論、結論を含めて5章からなる。

第1章は序論であって、間隙水挙動に関わる連成過程の意味と地盤工学における重要性を述べ、その際考慮すべき具体的な因子としては、地盤の変形、間隙水以外の流体挙動および地盤の熱的作用が主要なものであることを示し、これらに関する主な研究の推移を概観するとともに、あわせて本研究の意義を説いている。

第2章では、地盤内の間隙水挙動に関わる連成過程の因子として、地盤の変形を対象として論じている。すなわち、まず、連成作用の基本となる有効応力の概念と意義に関し地盤を多孔質体とみなして考察を加え、有効応力を「全応力のうち変形に寄与する応力成分」と定義することにより、不飽和土をも含めた地盤の有効応力方式を表わした。ついで、不飽和領域に拡張して適用できる連成過程の支配方程式を誘導し、間隙水の全水頭と地盤の変位を未知数とする当該方程式の有限要素解析法を示すとともに、これをロックフィルダムの盛立てから湛水までの全過程にわたる一連の挙動解析に適用した。盛立ての進行によりコアゾーン内に過剰間隙水圧が発生し、一方、その消散はフィルターゾーンなどの境界付近から始まり、その結果コアゾーン内には球根状に間隙水圧が残留する。そして、湛水時にはこれが定常浸透に対する水圧分布に移行することや、盛立て時のフィルダムの変形特性などが明らかにされている。

第3章では、対象とする連成過程の因子のうち他の流体挙動、特に気体の挙動を取り上げて論じている。すなわち、気液二相流挙動の支配方程式を非混合二種流体の連続の式と運動の式から導き、地下空洞壁面あるいは地表部における境界条件を明らかにして、有限要素解析により地下水面下の気体貯蔵用空洞からの漏気量を算定した。つぎに、水封方式による気体貯蔵の問題を論じ、地下水面下の空洞からの漏気モデル実験、あるいは模擬岩盤亀裂を用いた岩盤内圧縮空気貯蔵のシミュレーションを行なって、貯蔵限界圧の評価および具体的な漏気防止条件を示した。そして、ここに提案する有限要素解析をこれらの実験に適

用し、地下水面の変化や空洞内圧と空洞内への漏水量あるいは漏気量との関係において、本解析法が無覆工空洞内気体貯留に関わる気液二相流挙動をよく表現しうることを確認した。

第4章では、地盤内の間隙水挙動に影響を及ぼす要因の一つである熱的作用を研究の対象として、熱—水流連成挙動の表現とその解法について論じている。すなわち、自然貯留層評価を対象とする場合、この層を温度あるいは圧力により相変化を生じる、間隙水と多孔質体との混合体としてとらえ、貯留層のエネルギー保存則と間隙水の質量保存則より、この多孔質モデルによる地熱貯留層内における間隙水挙動の支配方程式を提示した。また、高温岩体内に人工的に破砕面（フラクチャー）を設けて形成する人工貯留層の評価を行うために、その破砕面のみを熱水の経路とし、岩体は熱伝導だけを考慮するフラクチャーモデルを設定し、ここでの水流と岩熱との連成挙動の基本式も示されている。つまり、この場合は破砕面内で流体に関する質量保存とエネルギー保存を考え、一方、岩体ではエネルギー保存のみを考慮している。多孔質モデルを用いた自然貯留層評価では、生産量の相違が貯留層の機能に及ぼす影響を吟味し、他方、フラクチャーモデルを用いた人工貯留層評価では、高温岩体に対する熱抽出の数値シミュレーションにより適切な利用規模を推定できることが明らかにされている。

第5章では、本研究の成果をまとめて結論としている。

論文審査の結果の要旨

土木工事において遭遇する地盤工学上の困難な問題は往々にして地下水の存在に起因することが多いが、地盤内間隙水の挙動を的確に把握し、必要な対策を講じて技術的にそれを克服し、盛立てまたは地下構造物を完成させることが要求される。近時、エネルギー土木の分野において、圧縮空気地下貯蔵—ガスタービン発電や高温岩体発電などの技術開発への萌芽的研究が試みられているが、その間に間隙水流の連成挙動解析に関する基礎的考察を欠くことはできない。この論文は、間隙水挙動と地盤の変形、気体および熱との連成過程に着目してそれらの理論的解法を示し、具体的な地盤工学の問題への適用性に論及したものであり、得られた成果の主なものを列挙すれば次のとおりである。

1. 間隙水挙動と地盤の変形との連成作用の基本となる有効応力を、「全応力のうち変形に寄与する応力成分」と定義することにより、不飽和土をも含めた地盤の有効応力式の表示法を提案した。すなわち、間隙水が封入不飽和状態であれば不飽和土の有効応力は飽和土のそれと同様に表わされ、一様不飽和状態であれば全応力が有効応力であることを示した。

2. これにもとづいて、不飽和領域に拡張して適用可能な連成過程の支配方程式を誘導し、その有限要素解析法を示すとともに、これをロックフィルダムの盛立てから湛水までの全過程における一連の連成挙動解析に適用して、その有用性を実証した。

3. 間隙水挙動と他の流体挙動との連成では、気液二相流挙動の支配方程式を導き、地下水面下の気体貯蔵用空洞からの漏気量の評価を行うために必要な、空洞壁面あるいは地表部における境界条件を明らかにして、その有限要素法による解法を示した。

4. さらに進んで、水封方式による気体貯蔵の問題に及び、各種の実験結果を取り入れた数値解析により無覆工空洞からの漏気防止条件を具体的に示し、ここに提案する解析法がこの形式の気体貯留に関わる

気液二相流挙動をよく表現しうることを明らかにした。

5. 熱一水流連成挙動の表現とその解法に関しては、天然または人工の地熱貯留層を形成する間隙のあり方に着目し、貯留量を的確に評価するための連成挙動の支配方程式を導き、多孔質モデルまたはフラクチャーモデルを用いる有限要素解析の定式化とその解法を提示した。

6. 多孔質モデルを用いた自然貯留層評価では、生産量の違いが貯留層の機能に及ぼす影響を検討し、従来の单相流解析では貯留層機能の過大評価となることを指摘した。これに対して、フラクチャーモデルを用いた人工貯留層評価では、高温岩体に対する熱抽出の数値シミュレーションにより適切な利用規模が推定できることを明らかにした。

以上要するに、この論文は、地盤工学上重要な課題の一つである、地盤内間隙水の挙動を定量的に評価する手法を確立することを目的として、他の影響因子との連成過程を重視した有限要素法による解法を示し、さらに具体的な種々の問題への適用性を明らかにして多くの有用な知見を得たものであり、その成果は学術上、実際上貢献するところが少なくない。よって、本論文は工学博士の学位論文として価値あるものと認める。

また、平成2年2月1日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行なった結果、合格と認めた。