

氏 名	なか お しん すけ 中 尾 信 典
学位(専攻分野)	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	論 工 博 第 3539 号
学位授与の日付	平 成 12 年 9 月 25 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 2 項 該 当
学 位 論 文 題 目	坑井利用弾性波探査及び坑井水理試験による断裂型地熱貯留層の特性評価に関する研究
論文調査委員	(主 査) 教 授 芦 田 讓 教 授 青 木 謙 治 教 授 大 西 有 三

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、地熱貯留層の流体流動を支配する断裂系特性及び透水性を評価する探査法として、坑井利用弾性波探査法、及び坑井水理試験のデータ取得・解析法の研究をまとめたもので、Ⅱ編9章から構成されている。

第1章は緒論であり、本研究の目的及び意義を述べ、従来の研究動向と本研究の位置づけを示している。また、本論文の構成と内容を概説している。

第Ⅰ編(第2章及び第3章)は、坑井利用弾性波探査法の火山性地質地域への適用に関する研究を述べている。

第2章は、3次元速度構造インバージョン法に関する研究を述べている。山形県肘折地熱地域において半径5 kmの対象領域に人工震源と地表観測点を均一に分布させ、さらに3点の坑井内受振点を設置する新しい観測方法を提示し、当地域の地質構造によく対応した速度構造推定に成功している。さらに、坑井内観測点を設置した方が、地表のみの観測点を用いる解析と比較して探査深度の向上が見込まれることを示している。

第3章は、VSPジオメトリによるS波偏向異方性解析法に関する研究を述べている。発振方向を制御した地表S波震源と坑井内3成分地震計を用いたS波VSP法実験を静岡県丹那断層付近で行い、S波偏向異方性を抽出するデータ処理法として、地層はざとり法、偏向ダイアグラム法、及び受振器回転によるS波区間速度を求める新しいデータ処理方法を検討している。その結果、信頼性あるフラクチャー配向情報を得るためには、異なるデータ処理法を併用した総合的解析の必要性を提示している。

第Ⅱ編(第4章～第8章)は、注水による坑井水理試験法のデータ取得・解析方法についての研究を述べている。

第4章では、地熱井における冷水注入時の圧力遷移データを解析する際に考慮すべき坑井容量の影響を、数値実験により検討した結果、坑井容量の影響により貯留層の透水性を過小評価する危険性を指摘し、坑井容量よりも多量の注水をする必要性を示している。また、坑井での注水期間の圧力遷移は、ポーラス型貯留層では注入水温度に対応した動粘性係数の勾配に、フラクチャー型貯留層では注入水と貯留層の中間温度に対応した動粘性係数の勾配となることを明らかにしている。

第5章では、坑井近傍の浸透率が貯留層浸透率と異なるために起こる現象を考慮した数値実験を実施し、冷水注入時の圧力遷移から浸透率と層厚の積を求める際の、流体の動粘性係数選択法について、スキニング効果による分類を提示している。また、スキニング領域の半径が小さい場合、圧力遷移後期において貯留層の非等温流動効果が現れるため、フラクチャー型かポーラス型かの媒質の特性推定が可能なることを明らかにしている。

第6章では、火山性地質断層帯である静岡県丹那断層近傍の坑井で実施した坑井内圧力の観測、圧力遷移テストデータの解析法を述べている。その結果、丹那断層の東側と西側で水理特性が大きく異なっており、断層近傍の水理構造の複雑さを明らかにしている。また、観測されたダブルポロシティ挙動より、火山岩中の透水性がフラクチャーネットワークによることを示し、フラクチャーの平均分布間隔を定量的に評価している。

第7章では、大分県湯坪地熱地域で実施した冷水注入圧力遷移テストについて、インバージョン解析による水理パラメータの推定、及び観測データから示唆される断裂系特性を述べている。その結果、インバージョン解析における観測データの

信頼性、解の初期値依存性や、仮定したモデル自体の妥当性等の問題に留意した解析の必要性を示している。また、圧力遷移データの解釈から、断裂系のフラクタル構造、及び冷水注入時にフラクチャー開口による圧力減少挙動が現れていることを明らかにしている。

第8章では、大分県湯坪地域の圧力観測データを再現するような数値モデルを作成し、冷水注入による浸透率増大の程度を定量的に評価した結果、冷却によるフラクチャー部の孔隙率増大に対して、浸透率増大が Kozeny-Carman の関係よりも極めて大きいモデルにより、圧力遷移後期の減少を再現することに成功している。これは、既存のフラクチャーの開口やフラクチャー同士のつながりが発生したこと等による坑井周辺の劇的な浸透率増大を反映したものと解釈している。

第9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

本論文は地熱資源の開発を目的とし、地熱流体の流動を規制する断裂系の性状及び水理特性を評価するアプローチとして坑井利用弾性波探査法、及び坑井水理試験法のデータ取得・解析法の適用・改良を検討したもので、得られた成果は次の通りである。

1. 坑井利用弾性波探査法では、調査対象領域において人工地震震源と地表観測点を均一に分布させるとともに、坑井内に受振点を設置する観測方法を提案し、速度構造から断層構造を抽出するための3次元速度構造インバージョン法を適用した。その結果、地質構造に対応した速度構造の解明と、坑井内観測点の設置による探査深度の向上が可能なことを明らかにした。また、配向した断裂系の走向を推定するため、発振方向制御の地表S波震源と坑井内地震計を用いたS波VSP法を火山性地質地域に適用し、S波偏向異方性を抽出する新たなデータ処理法を考案するとともに、信頼性ある解析結果を得るためには異なるデータ処理法の併用による総合的な解析が必要なことを示した。

2. 坑井水理試験法では、注水による圧力遷移テストの解析法に関し、フラクチャー媒体を数値的に取り扱い、冷水注水時の非等温流動メカニズムや解析上注意すべき問題の抽出を行った。その結果、坑井容量の影響を低減するテスト仕様を提案した。また、坑井近傍の浸透率が貯留層浸透率と異なるために生じる現象であるスキニング効果を考慮した数値実験により、冷水注水時の圧力遷移勾配から透水量係数を算出する際の流体の粘性係数の選択方法を、ポーラス型及びフラクチャー型貯留層に分類して提示した。

3. 二箇所の水理試験データ取得を通して、水理構造の解明及び断裂系水理特性の解釈法を述べた。静岡県丹那断層近傍の現場実験では、火山岩中の透水性がフラクチャーネットワークにより規制されていることを明らかにし、フラクチャー平均分布間隔等の断裂系水理パラメータの推定法を提示した。大分県湯坪地区の実験では、解析時のモデル仮定等に留意する必要性を明らかにし、また、冷水注入によるフラクチャーの開口による浸透率増大の程度を定量的に評価する手法等を提案した。

以上要するに、本論文は坑井利用弾性波探査法、及び坑井水理試験法のデータ取得・解析法による地熱地域の断裂系探査を目的としたものであって、その成果は学術上、実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12年8月30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。