

氏 名 瀬 戸 政 宏

授 与 学 位 博 士 (工 学)

学 位 授 与 年 月 日 平 成 5 年 3 月 18 日

学 位 授 与 の 根 拠 法 規 学 位 規 則 第 5 条 第 2 項

最 終 学 歴 昭 和 54 年 3 月

東北大学工学部資源工学科卒業

学 位 論 文 題 目 地下深部炭層開発にかかわるAE法による地下き裂と
地下応力の計測に関する研究

論 文 審 査 委 員 東北大学教授 阿部 博之 東北大学教授 高橋 秀明

東北大学教授 林 一夫 東北大学教授 新妻 弘明

東北大学教授 松木 浩二

論 文 内 容 要 旨

地下に賦存する炭層のエネルギー資源としての開発には、地下に掘削した坑道によって炭層に直接アクセスする方法と、地表からのボーリングによって炭層中に含まれていれメタンガス（コールベッドメタンガス）を回収する方法がある。炭層に直接アクセスする開発では、近年、炭層開発の進行に伴って採掘現場が深部に移行しており、その深度は地表下約1,000mにまで達している。また、コールベッドメタンガスの開発においては、大量のガスを包蔵する有望な炭層は地表下約500m以深に存在している。したがって、今後の炭層開発を安全かつ合理的に実施するため、地下深部に係わる問題に対応した技術の開発が望まれている。

地下深部に坑道、空洞を建設して石炭を採掘したり、または水圧破砕によって人工き裂を造成することにより地下深部の炭層からコールベッドメタンガスを開発する場合、その設計を合理的に行い、その建設や造成を効率的にかつ安全に実施するためには、坑道掘進によって誘起される二次地圧や人為的に加えられる水圧等によって炭層並びに岩盤内に形成されるき裂の挙動および分布状態、さらに地下深部の岩盤に作用している応力の状態を的確に推定、予測することが必要である。このため、視覚的に確認することが困難な地下深部にある岩盤内のき裂の挙動や分布、未開発の地下深部の地圧を予測、推定する技術の確立が、近年世界的な課題となっている。

ところで、材料内部のき裂、不連続面等の挙動、分布状態をリアルタイムで評価する方法のひとつに、き裂や不連続面等の動きに伴って発生するアコースティックエミッション（Acoustic Emission-

sion, 以下AEと略称) を利用する方法がある。A Eの計測によって地下き裂の分布および特性の予測, さらにはA Eのカイザー効果を利用して地下応力の計測が可能と考えられるが, 炭層を含む夾炭層岩石層中におけるき裂の発達とA Eの発生特性との関連については現在まで十分な研究が行われておらず, 断層, 節理等の不連続面を有する夾炭層岩石層中のき裂進展については未解明な問題が多く残されている。また, A Eのカイザー効果を利用した地下応力の計測に関しても, 岩石におけるカイザー効果のメカニズムに関して未解明な部分が多く, さらに実用面においては岩石試料採取から試験までの経過時間が長い条件での地下応力の計測精度の面で問題が残されている。

以上のような地下深部の炭層開発に係わる地下き裂と地下応力評価に関する研究の現状を踏まえ, A E技術の応用による夾炭層岩石層中でのき裂進展機構の解明と地下応力計測技術の開発を目的として, まず, 層理, 節理を有する石炭および不連続面を有する各種岩石の破壊時に発生するA Eの基本的な特性を明らかにすると共に, 夾炭層岩石層での水圧破碎フィールド実験において計測されたA Eの発生特性から水圧破碎き裂の進展特性, および分布特性を解明することを試みた。次いで, 地下深部の炭層開発においては地下応力の評価が重要であるとの観点から, A E技術を用いた岩石コアからの地下応力計測法の確立のためにカイザー効果に関する実験的な検討を行い, これらの解明結果に基づいて, A E法による新たな地下応力計測法を提案し, その技術の確立を試みた。

第1章 緒 論

第1章では, 近年の炭層開発の深部化に係わる地下き裂と地下応力計測の重要性を述べ, A E技術の地下計測への応用と地下応力計測法に関する従来の研究状況を概観したのちに, 本研究の動機, 目的, 本論文の構成並びにその内容の概略に言及している。

第2章 A E計測システムと石炭および岩石の圧縮応力下でのA E発生挙動

第2章では, まずA Eの計測システムを構成し, 次いでそれを用いて, 一軸圧縮応力下および三軸圧縮応力下での石炭の破壊過程におけるA Eを高精度でかつ多数計測し, 石炭の破壊進行とこれに対応するA E発生特性との関係を明らかにしている。また, A E源分布のフラクタル次元変化の解析に基づき炭層の大規模破壊予知の可能性を示している。

第3章 不連続岩石での水圧破碎き裂の進展挙動

第3章では, 炭層, 断層, 節理等を含んで複雑な地質構造を呈している夾炭層岩石層における水圧破碎き裂進展現象解明の基礎的な検討として, 天然の石目, 不連続面等を有する岩石試料を用いて室内水圧破碎実験を行い, 計測されたA E源分布の変化から, 水圧破碎き裂の進展に及ぼす応力, 石目および不連続面等の影響を明らかにし, 水圧破碎き裂がその成長に伴って岩石の不連続性に支配されることを示している。

第4章 夾炭層岩石層での水圧破碎実験における造成き裂分布

第4章では, 炭鉱坑内において実施した水圧破碎実験でのA E計測結果とフィールド周辺岩盤に

において実施した岩盤内応力の計測結果から、夾炭層岩石層中での水圧破砕き裂の進展に及ぼす岩盤内応力の影響、形成された水圧破砕き裂の幾何学的な特徴、さらに夾炭層岩石層中での水圧破砕き裂の進展挙動を明らかにしている。

第5章 A E技術の地下応力評価への適用

第5章では、第2章で構成した「2次元位置標定に基づく空間フィルタを用いたA E計数システム」により、これまでより高い信頼性と精度で岩石のカイザー効果を検出できることを示している。次いで、A E技術による地圧計測の基礎であるカイザー効果と岩石内のマイクロクラック挙動の関連を、3次元A E源分布の変化を詳細に追跡することによって初めて明らかにしている。

第6章 応力履歴岩石からの繰り返し载荷時のA E発生特性を用いた先行応力推定と経過時間の影響

第6章では、経過時間1時間から450日までの広い範囲でカイザー効果の時間依存性を明らかにしている。また、応力履歴を受けた岩石の繰り返し载荷時のA E発生特性と先行応力との関係を解明し、この結果に基づいて「繰り返し载荷時のA E発生特性を用いた先行応力推定法」を提案している。さらに、その推定法によれば、応力履歴を受けてからの経過時間が1年以上の長期の岩石においてもこれまでより高い精度で先行応力の推定が可能であることを示している。

第7章 繰り返し载荷時のA E発生特性による先行応力推定法のコア岩石への適用

第7章では、第6章で提案した推定手法を原位置から採取した岩石コア（コア採取からの経過時間が5ヶ月から2年）に対して適用し、応力解放法、水圧破砕法等の原位置計測結果と比較することにより、本推定手法の有効性を検証している。

第8章 結 論

第8章は、本研究で得られた結論について述べている。

地下深部の炭層開発の合理的な設計並びに安全な開発に寄与するため、A E法による地下き裂の進展機構と地下応力の計測法に関する基礎的研究を行った。地下き裂の研究においては、各種応力条件下のき裂の発生と進展挙動をA Eによって計測し、石炭および不連続面を有する岩石中のき裂進展挙動を明らかにするとともに、A E源分布のフラクタル次元変化の解析に基づく炭層の大規模破壊予知の可能性を示した。さらに夾炭層岩石層中における水圧破砕き裂の進展については、A E計測と組み合わせたフィールド水圧破砕実験により、水圧破砕き裂進展に及ぼす地下応力の影響と形成き裂の幾何学的形状の特徴を明らかにした。一方、A E法による地下応力計測法の研究においては、本研究で構成した「2次元位置標定に基づく空間フィルタを用いたA E計数システム」により、カイザー効果とマイクロクラック挙動の関連を3次元A E源分布の変化から明らかにした。さらに応力履歴を受けた岩石の繰り返し载荷時のA E発生特性の解明結果に基づき、これまでより高い精度で先行応力の推定が可能な「繰り返し载荷時のA E発生特性を用いた先行応力推定法」を提案し、その有効性を確認した。

審 査 結 果 の 要 旨

地下深部の石炭の採掘や地下深部炭層からのガスの排出あるいは採取を効率的かつ安全に行うためには、炭層および隣接する岩体内に形成されるき裂の分布と挙動、さらに応力の状態を的確に推定する技術の確立が要請されていた。

本論文は、き裂および不連続面の動きに伴って発生するAE（アコースティックエミッション）に注目し、これまで未解明であった種々の不連続面を有する岩層や炭層のき裂の挙動を明らかにすると共に、微視き裂群とカイザー効果の関連を詳細に検討して、新しい地下応力計測法を見出すなど、地下深部炭層開発の有用な基礎的知見を与えたもので、全編8章よりなる。

第1章は緒論である。

第2章では、圧縮応力下の石炭の破壊過程とAEの関係を明らかにしている。山はね、ガス突出現象の予知技術向上に資する成果である。

第3章では、き裂の進展が石目や不連続面にどのように支配されるかを、AE源分布の変化から明らかにしている。これは有用な基礎的知見である。

第4章では、フィールド水圧破碎実験を行って、AEならびに地下応力の計測結果とき裂進展挙動の関係を明確にしている。夾炭層岩石層を対象にしたはじめての成果である。

第5章では、3次元AE源分布を室内実験により詳細に追跡して、地下応力計測法の基礎になっているカイザー効果と微視き裂群の挙動の関係を検討している。

第6章では、応力履歴を受けた岩石の繰返し載荷時のAE発生特性と先行応力の関係を解明し、それに基づいて、先行応力載荷後の経過時間によらない高精度の先行応力推定法を新たに提案している。これは画期的な成果である。

第7章では、前章の推定法を現場から採取した岩石コアに適用して、従来法による原位置計測結果と比較することにより、本推定法の有効性を検証している。

第8章は結論である。

以上要するに本論文は、地下深部の炭層開発の効率的設計ならびに安全な開発に資するため、AE法による地下き裂の進展機構と地下応力の計測に関する詳細な実験研究を行い、石目や不連続面とき裂進展の関係、カイザー効果に対する新知見、先行応力の新しい推定法の提案など、多くの有用な成果をまとめたもので、岩石力学、エネルギー学に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は博士（工学）の学位論文として合格と認める。