

## 学 位 論 文 題 名

## AE 法による石炭のガス透過性に関する研究

## 学位論文内容の要旨

近年、炭鉱におけるメタンガスの湧出問題は、坑内保安や大気保全の両面から解決を迫られてきている。従来、この防止対策として炭層ガス抜きが実施されているが、まだ的確な技術は確立されていない。炭層ガス抜きの成否は石炭のガス透過性にかかっており、この解明が強く望まれている。一般に、石炭には層理、節理など無数のき裂があり、ガスはこれらの中の抵抗の少ないき裂を選択的に透過する。従って、石炭のガス透過性は、透過き裂の開閉や進展に左右され、応力や間隙圧の変化に応じて可逆的にも不可逆的にも変化する。本論文は、このような石炭におけるガス透過性の可逆変化や不可逆変化を AE 法を応用して実験的に解明したもので、研究の成果として炭層ガス抜きの可能性の判定指標を見出している。

本論文は 7 章で構成している。以下、各章の概要を述べる。

第 1 章は序論で、石炭のガス透過則に関する既往の研究をし、本論文の目的と立場について述べている。

第 2 章では、本研究のために特別に試作した実験装置を説明し、石炭の単軸圧縮試験、封圧圧縮試験および疲労試験における Stress Pass について検討している。また、ガス透過試験での応力、ひずみ、透過圧、透過量および AE 等の計測法を検討し、信号検出に当って工夫した点を明らかにしている。なお、供試炭は中国産の 6 炭種で、これらの物性についても説明をしている。

第 3 章では、まず、各種石炭のガス透過試験結果から、ガス透過量と透過圧の関係を検討し、AE の振幅分布が単一の直線分布の場合ガス透過性に可逆変化が成立することを確かめている。また、ガス透過量は透過圧の増加に応じて非直線的に増大しながら、直線的傾向へ変わることを確認している。次いで、直線関係の開口状態を基準に非直線関係の開口率を定義した上で、透過き裂の開口率を求めるとともに、これを考慮したガス透過式を提案している。これらの検討結果、石炭の透過き裂は間隙ガス圧の増加に応じて開閉し、一定値に収束することを明らかにしている。また、この収束方向は炭層やガス分子量によって異なることを確め、透過き裂の開閉挙動は非透

透過き裂へのガス浸透性に依存して起こることを明らかにしている。

第4章では、石炭の封圧圧縮破壊過程においてガス透過性と AE の発生頻度を調べ、間隙ガス圧と圧縮応力によるき裂の開閉挙動を検討している。これらの結果として、Compaction, Pre-failure, Post-failure 過程へとき裂が発達するにつれガスの浸透性が増大し、透過き裂の開口率は収束し易くなることを確認している。また、ガス透過式へ導入したパラメータの中で収束係数は無限大へ発散し、最小透過圧および閉塞損失係数は0へ収束するため、ガス透過式は Darcy 則へ接近することを明らかにしている。なお、Compaction から Pre-failure への移行過程で AE の振幅分布は Type A の単一直線分布から Type C の2点屈折分布に変る。また、この変化に応じて開口率の収束方向が増加傾向から減少傾向へ反転し、ガス透過性に不可逆変化が起こる。これらの事象から、AE 分布のパターンがき裂進展規模の判定指標になることを見出した。

第5章では、石炭の高圧ガス透過試験においてガス透過性と AE 振幅分布の変化を調べ、間隙ガス圧による透過き裂の開口変化を検討している。これらの試験で特に注目された事象は、石炭内部の間隙圧による破壊は、外部からの圧縮応力による破壊と異なって、き裂の閉塞箇所を選択的に集中して起こり、透過き裂の開閉性は一回の破壊で消失したことである。このため、透過き裂の開口量は、間隙圧の増加過程では不可逆的に増大し、減圧過程では一定不変となる。なお、この不可逆的開口は、AE の振幅分布が Type A から C へ変わるとき起こることを確認している。

第6章では、石炭の疲労試験においてガス透過性と AE 振幅分布の変化を調べ、非閉塞性き裂のガス透過則について検討している。これらの試験で特に注目された事象は、最終段階で載荷過程と同様除荷過程でも AE が頻発し、Type C の屈折した AE 振幅分布が出現したことである。この事象は、開口き裂に破片が挟まり、非閉塞性き裂の発生を示唆している。事実、非閉塞性き裂が出現すると、石炭のガス透過性は応力の影響を受けなくなる。炭層ガス抜きにとって非閉塞性き裂の発生は成否のかぎになる事象であり、Type C の AE 分布はこの発生指標になることを確認している。

第7章は、結論で、本研究の成果を総括した上で、これらの成果がガス抜きボーリングの設計、計画に役立つことを指摘している。

# 学位論文審査の要旨

主 査 教 授 中 島 巖  
副 査 教 授 樋 口 澄 志  
副 査 教 授 福 迫 尚一郎

近年、炭層ガス抜きに対して技術革新が強く要求されている。ガス抜き率を向上させるためには石炭におけるガスの透過機構を解明する必要がある。

石炭には層理、節理など無数のき裂があり、ガスはこれらの中の抵抗の少ないき裂を選択的に透過する。従って、石炭のガス透過性は、透過き裂の開閉や進展に左右され、応力や間隙圧の変化に応じて可逆的にも不可逆的にも変化する。本論文は、このような石炭におけるガス透過性の可逆変化や不可逆変化を AE 法を応用して実験的に解明したもので、7 章で構成している。

第 1 章は序論で、石炭のガス透過則に関する既往の研究を批判し、本論文の目的と立場について述べている。

第 2 章では、本研究のために特別に試作した実験装置を説明し、石炭の封圧圧縮試験とガス透過試験での応力、ひずみ、透過圧、透過量および AE 等の計測等を検討し、信号検出に当って工夫した点を明らかにしている。

第 3 章では、まず、各種石炭のガス透過試験結果から、ガス透過量の透過圧の関係を検討し、AE の振幅分布が単一の直線分布の場合ガス透過性に可逆変化が成立することを確かめている。また、ガス透過量は透過圧の増加に応じて非直線的に増大しながら、直線的傾向へ変えることを確認している。次いで、直線関係の開口状態を記述に非直線関係の開口率を定義した上で、透過き裂の開口率を求めるとともに、これを考慮したガス透過式を提案している。これらの検討結果、石炭の透過き裂は間隙ガス圧の増加に応じて開閉し、一定値に収束することを明らかにしている。また、この収束方向は炭質やガス分子量によって異なることを確かめ、透過き裂の開閉挙動は非透過き裂へのガス浸透性に依存して起こることを明らかにしている。

第 4 章では、石炭の封圧圧縮破壊過程においてガス透過性と AE の発生頻度を調べ、間隙ガス圧と圧縮応力によるき裂の開閉挙動を検討している。これらの結果として、Compaction, Pre-failure, Post-failure 過程へとき裂が発達するにつれガスの浸透性が増大し、透過き裂の開口率は収束し易くなることを確認している。なお、Compaction から Pre-failure への移行過程で AE の振幅分布は Type A の単一直線分布から Type C の 2 点屈折分布に変る。また、

この変化に応じて開口率の収束方向が増加傾向から減少傾向へ反転し、ガス透過性に不可逆変化が起こる。これらの事象から、AE 分布のパターンがき裂進展規模の判定指標になることを明らかにしている。

第5章では、石炭の高圧ガス透過試験においてガス透過性と AE 振幅分布の変化を調べ、間隙ガス圧による透過き裂の開口変化を検討している。これらの試験で、石炭内部からの間隙圧による破壊は、外部からの圧縮応力による破壊と異なって、き裂の閉塞箇所を選択的に集中して起こり、透過き裂の開閉性は一回の破壊で消失することを確認し、透過き裂が間隙圧の増加過程では不可逆的に開口し、減圧過程では閉塞しないことを明らかにしている。

第6章では、石炭の疲労試験においてガス透過性と AE 振幅分布の変化を調べ、非閉塞性き裂のガス透過則について検討している。これらの試験の最終段階で載荷過程と同様除荷過程でも AE が頻発し、Type C の屈折した AE 振幅分布が出現したことから、開口き裂に破片が挟まり、非閉塞性き裂の発生を実証している。また、非閉塞性き裂により、石炭のガス透過性は応力の影響を受けなくなることを明らかにしている。炭層ガス層にとって非閉塞性き裂の発生は成否のかぎになる事象であり、Type C の AE 分布はこの発生指標になることを実証している。

第7章は、結論で、本研究の成果を総括した上で、これらの成果がガス抜きボーリングの設計、計画に役立つことを指摘している。

これを要するに、著者は AE 法により石炭におけるガスの透過機構を解明し、AE 振幅分布特性が炭層ガス抜きの可能性の判定指標になることを実証している。この成果は、採炭学および試験工学の発展に寄与するところ大である。よって、著者は博士（工学）の学位を授与される資格あるものと認める。