

学位論文題名

地層模型試験法の開発とその応用に関する研究

学位論文内容の要旨

本研究は、地層を対象とした物理模型すなわち地層模型の精密化と試験法の確立を目指すとともに、応用として、深部の長壁式採炭切羽の問題を取り上げ、採掘の進行に伴って切羽周辺に生じる力学現象を詳細に調べたもので、全6章から構成されている。

第1章は序論で、本研究の目的と意義について述べるとともに、関連する既往の研究を概括し、理想的な地層模型試験法を確立するために、問題点の抽出とそれらを解決するための対策に関して検討している。

第2章では、精密な地層模型試験法の確立を目指して行った試験装置の設計・製作、試験方法、地層模型の作製方法、ならびに2種の小型センサと計測システムの開発について述べている。

一体構造として作業能率を高めた試験装置には、鉛直に立てた2次元地層模型(幅2.0m 高さ1.2m、厚さ0.3m)に対して、上下左右の油圧ジャッキにより載荷板を介して4方向から載荷する理想的方法が採用されている。模型の表裏面を挟み付けて平面ひずみに近い状態に保つ拘束板は、H鋼が格子状に組み合わさった構造を持っており剛性が高く、また多数の観察窓を備えているために、これらを通して載荷中の模型表面の変形・破壊の様子を観測することができる。さらに窓の一部は脱着可能になっており、これを利用し地層模型に初期地圧をかけたままの状態、空洞の逐次掘削の実施を可能にしている。

地圧変化や破壊の発生・進行などを検出するために、模型内に埋設して使用する小型の地圧センサとP波センサを開発し、多くの試験によって所期の性能を有していることを確認している。

第3章では、模型材料とこれを用いた地層模型が実際の夾炭層岩盤とどの程度適合しているかについて詳細に検討している。まず、板状の単層が互層を成す夾炭層岩盤の特徴として、各単層間の剛性の違いが大きいこと、特に炭層の強度が他の単層に対して小さいこと、層理面の強度が単層に比べて極端に小さいことなどを確認した上で、これらの特徴と炭鉱で起こる種々の地圧現象の間には密接な関係があることを見だし、これらの特徴を模型に取り込むことの重要性を指摘している。

モルタル系材料から成る単層同志が2つの方法で作製された層理面を介して互層している地層模型について、その構成要素である単層と層理面の材料試験を行い、変形・強度特性や破壊挙動を調べている。そして、いずれについても強度や剛性などの各因子が相似律を満たしているために、地層模型と原岩盤との相似性が高く、そのために炭層に特徴的な破壊形態である圧理現象や脆性的な変形特性が地層模型に再現されることを実験的に明らかにしている。

第4章では、主として均質岩盤内に双設空洞を逐次掘削する問題を取り上げて、本模型試験方法の総合的な性能について実験的に検討している。まず、模型装置の基本的な性能

を調べ、初期地圧に対応する載荷とその後の空洞掘削に対して、模型の中心は常に不動状態を保つこと、模型全体の約 60%を占める領域がほぼ様な地圧状態となること、この状態は50～90時間続く試験期間中、定荷重維持装置により保たれること、模型の拘束力の偏りがほとんどないことなどを明らかにしている。

初期地圧状態を保ったままで双設空洞を逐次掘削する試験においては、掘削に伴い、2つの空洞間に形成されるピラー内の応力の高まりや破壊の発生・進行などが、模型内に分布させた2種のセンサで的確に捉えられていること、また得られた情報は現場の事例や弾塑性応力解析結果と比較して妥当であることを確認し、計測システムが所期の性能を持っていることを明らかにしている。

第5章は、長壁式総ばらし採炭切羽の地圧制御問題に対する本試験法の応用について述べている。このために、地層の強度特性、初期地圧などの条件が異なる5つの夾炭層岩盤模型を用いて炭層の採掘に関する模型試験を行っている。そして、払跡周辺に発生する変形・破壊現象が層理面の強度特性の影響を強く受け、層理面が弱い場合には、層間剥離が容易に起こり、これによって周囲から分離した層が払跡にずりとして堆積すること、層理面が強い場合には、払跡の閉塞が上下盤の接触によってもたらされることを明らかにしている。また、切羽前方に発生する先行圧の大きさは未崩落域の長さの2乗にほぼ比例し、層理面の強度が小さいと先行圧も大きくなることを見いだしている。

模型試験の一部は、三池炭鉱における2つの切羽の状況を模擬している。地圧の推移、天盤の層間剥離の有無、炭層の破壊などの諸現象について、地層模型と原岩盤とはよく一致することを確認している。また、層間剥離の有無と切羽における炭壁の異常破壊現象との間に強い相関があることを見いだしている。

炭鉱の地層に頻繁に現れる断層の存在を考慮した模型試験も行い、切羽が断層に接近・通過するにつれて、稼行炭層との交差部付近の断層が動くこと、これに伴い切羽周辺の地圧が擾乱することを示している。そして、これらの挙動の一部は、類似した地質状態にある現場で得られた事象と似ていることを確認している。

模型試験では、微小変形から有限変形に至る様々な変形、岩盤中での亀裂の生成とその成長および停止、層間の分離やすべり、払跡内における崩落ずりの堆積と圧密、および上下盤の接触など、多くの変形・破壊現象が観察されている。これらの現象は、いずれも現場において観察されており、模型試験は現場で発生する複雑な諸現象を再現する能力を十分に有していると判断される。

第6章は結論で、本研究で得られた主な結果を総括し、今後の展望を述べている。

学位論文審査の要旨

主査 教授 石島 洋二
副査 教授 佐藤 壽一
副査 教授 樋口 澄志

学位論文題名

地層模型試験法の開発とその応用に関する研究

地下の新しい利用が拡大するにつれて、地下空洞の掘削過程、ならびに、空洞が完成した後には現れる力学的諸現象を正確に予測する手法の開発がますます必要になっている。各種の不連続面を含み初期地圧状態にある岩盤内に空洞を掘削すると、空洞周辺岩盤内には大小の変形やき裂の発生あるいは崩落を伴う不安定破壊など複雑な諸現象が発生する。

本論文は、かかる諸現象を物理模型試験法によって解析し予測する方法の開発とその応用を目的に行った研究を述べたもので、評価すべき成果は以下の3点に要約される。

第一の成果は、地層の物理模型すなわち地層模型の精密化に関するもので、検討の対象を単層が層理面を介して累積した構造を持つ夾炭層岩盤に限定し、原岩盤と高い相似性を持った地層模型の開発に成功している。夾炭層岩盤で起こる諸現象には、層理面の存在が重要な影響を及ぼしていることに着目し、夾炭層岩盤から採取した挟みを含む岩石と地層模型を供試体として、多くの室内試験を実施し、単層と層理面の両方について強度・変形特性を明らかにしている。新たに開発した一軸引張試験、載荷軸と層理面のなす角度を様々に変えた圧縮試験、一面せん断試験などの一連の試験により、層理面の引張強度がせん断強度より1桁以上小さく、また、層理面が単層に比べて1桁以上小さい強度しか持っていないことを見だし、これらの強度特性が夾炭層岩盤の変形・強度特性を特徴付けていることを明らかにしている。

以上の室内試験結果を基に、単層と層理面の強度・変形特性に関する諸因子が相似則を満たしていることを確認している。さらに、単層が累積した構造を持つ地層模型では、載荷方向と層のなす角度により破壊様式が異なること、また単層間の強度差によっても破壊の様相が異なり、例えば、強い層で挟まれた最弱層では縦割れが起きやすいことを見だしている。これらの現象は、模型試験でもまた現場でも観察されており、模型が原型との相似性の高いことを示す証左を与えている。

第二の成果は、大型の2次元地層模型の載荷方法と計測技術に関するもので、次の2点が、既往の研究にない成果として評価できる。まず、2次元模型の面外変位を剛な拘束板で拘束したままで4方向から多連のジャッキで載荷する方法により、模型内部に一樣な初期地圧状態を作りだし、また模型を初期地圧状態に置いたままで、拘束板に設けた脱着可能な窓を利用して空洞の逐次掘削を実施することに成功している。

次に、模型内の地圧変化や破壊の発生を検出するための小型の地圧センサとP波センサを開発し、同時に、模型内に埋設した多数のセンサーからの信号の取り込みを指令し記録するコンピュータを利用したシステムを確立している。この計測システムの導入により、模型試験で得られる情報は量・質ともに格段に向上している。

第三の成果は、地層模型試験法の応用に関するもので、深部化した総ばらし式長壁式採炭切羽における地圧問題を取り上げ、地層条件の異なる5つの地層模型試験を行って、切

羽における地圧制御上有益な多くの知見を得ている。まず、切羽周辺で起こる変形・破壊現象に関して、切羽の進行過程で最初に現れる炭層と岩盤の破壊様式ならびに先行圧の発生深度などは地層条件に依存しないが、層間剥離の有無や払跡が閉塞する様式などは、層理面の強度特性に強く依存することを見いだしている。次に、先行圧の大きさ、切羽の炭壁が軟化し始める切羽進行長、未崩落域の長さなど、採炭切羽における地圧制御上重要な種々の指標が、層理面や単層の強度と初期地圧の相対的な大きさによって様々に異なることを具体的に明らかにしている。

断層のある地層模型試験においては、切羽が断層に接近・通過する前後で現れる断層の動きと先行圧の特異な挙動に関し、現場事例とよく似た結果が得られている。また、三池炭鉱における深部切羽を想定した模型試験においては、地圧の推移や払跡周辺に発生する天盤剥離を始めとする変形・破壊などの諸現象に関し、現場における観察と同様の結果が得られている。これらは本模型試験が所与の地層条件の下で発生する複雑な諸現象を正確に再現する能力を有していることを示すものである。

これを要するに、著者は、精密な大型2次元地層模型試験法を開発し、これを採炭切羽の地圧問題に応用して、有益な多くの新知見を得たものであり、資源開発工学ならびに岩石力学の進歩に貢献すること大なるものがある。

よって著者は、北海道大学博士（工学）の学位を授与される資格あるものと認める。