

氏名	おお つか なお ひろ 大 塚 尚 寛
授与学位	工 学 博 士
学位授与年月日	昭和 55 年 3 月 25 日
学位授与の根拠法規	学位規則第 5 条第 1 項
研究科, 専攻の名称	東北大学大学院工学研究科 (博士課程) 資源工学専攻
学位論文題目	引き裂き試験における岩石の破壊過程に関する研究
指導教官	東北大学教授 小林 良二
論文審査委員	東北大学教授 小林 良二 東北大学教授 川島 俊夫 東北大学教授 八嶋 三郎 東北大学教授 阿部 博之

論 文 内 容 要 旨

第 1 章 緒 論

近年, 高温岩体より熱エネルギーを抽出する問題に関連して, 岩盤内に穿孔されたボアホールを利用した岩盤の水圧破碎が注目を集めているが, この水圧破碎を効果的に行うためには, 対象となる岩石の破壊靱性を予め実験的に求めておく必要がある。しかしながら, 岩石の破壊靱性を求める試験法としては, 主として 3 点曲げ試験が行なわれているにすぎない。この試験法では破壊き裂の進展過程を調べることは難しく, また水圧破碎でみられる安定な破壊き裂の進展を得ることは困難である。

本研究では岩石試験片の破壊き裂の発生, 進展を制御できる試験法として, 新たに板状試験片による引き裂き試験法を考案し, 大気圧下, 封圧下において各種岩石試料の破壊き裂の発生, 進展過程を調べるとともに, 破壊靱性を求めたものである。さらに, 岩石の破壊過程を現象的にとらえるために, 破壊の直接の指標であると考えられているアコースティックエミッション (AE) の測定を行い, 岩石の変形, 破壊挙動と AE との関係について検討した。

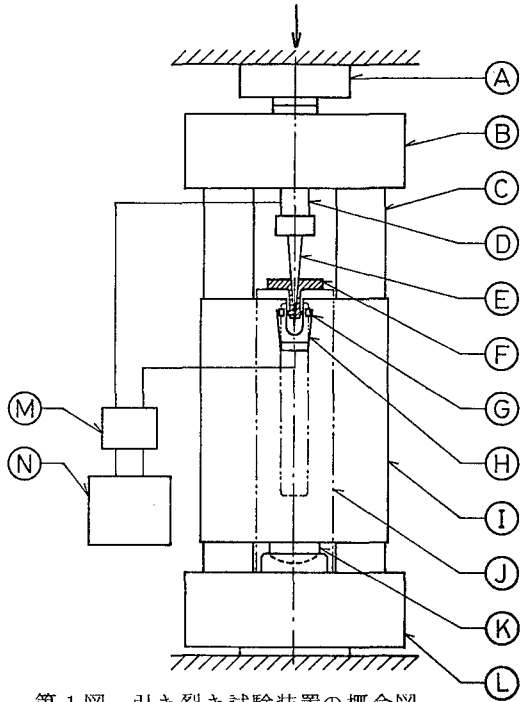
第 2 章 岩石の引き裂き試験

荻野凝灰岩試料の板状試験片について剛性荷重下の引き裂き試験を行い, 引き裂き荷重とき裂開口変位との関係, 破壊き裂の目視観察, 破壊力学的手法などにより, 破壊き裂の発生, 進展過

程を調べ、さらに破壊靱性に及ぼす試験片の寸法効果について検討した。

第1図は本研究に用いた引き裂き試験装置の概念図である。図の各部の名称は、**A**材料試験機載荷盤、**B**剛性枠上盤、**C**剛性棒、**D**受圧器、**E**くさび、**F**ロックスプリッタ、**G**エッジ、**H**カンチレバーゲージ、**I**岩石試験片、**J**ロックスプリッタ支持台、**K**球座、**L**剛性枠下盤、**M**動的ストレインメータ、**N**X-Yレコーダである。

引き裂き荷重-き裂開口変位線図は最大荷重点に至るまではほぼ線形的であり、最大荷重点で不安定な破壊き裂の発生がみられ、荷重が急に低下するという典型的なぜい性破壊の様子を示した。最大荷重点以後、破壊き裂は微視的には不安定な成長と停止を繰り返して進展しているが、剛性荷重試験としたことにより破壊き裂の急激な進展を制御することができ、破壊き裂の進展を見掛け上安定にすることができた。



第1図 引き裂き試験装置の概念図

また、破壊き裂の進展が見掛け上安定となるころから、破壊き裂の進展過程における応力拡大係数をコンプライアンス法により求めることができた。破壊力学では、応力拡大係数が材料固有の限界値、すなわち破壊靱性に達すると破壊が開始するとしているが、本試験では破壊き裂の進展過程における応力拡大係数は破壊き裂の進展が一旦停止し、再び進展を開始する点で求めているので、各測定点における応力拡大係数はいずれも破壊靱性に対応しているといえる。しかし、各試験片について応力拡大係数とき裂長さとの関係を調べたところ、き裂長さ85mm付近において応力拡大係数の値がほぼ一定となることがみとめられたので、本研究ではき裂長さ85mmにおける応力拡大係数の値をもって破壊靱性とした。

さらに、破壊靱性に及ぼす試験片の寸法効果について調べた結果、破壊靱性が一定となり、また安定な破壊き裂の進展がみられる本引き裂き試験における試験片の必要最小寸法は、幅150mm、高さ200mm、厚さ20mmであることがわかった。

第3章 大気圧下における各種岩石試料の破壊靱性

荻野凝灰岩、来待砂岩、江持安山岩、稲田花崗岩、秋吉大理石細粒、秋吉大理石中粒、東北大理石の7試料について、剛性荷重下の引き裂き試験を行い、破壊き裂の発生、進展過程を引き裂き荷重-き裂開口変位線図、破壊き裂の目視観察、き裂開口変位および応力拡大係数とき裂長さとの関係とき裂長さとの関係から調べ、また各種岩石試料の破壊靱性を求めて、これら破壊靱性と力学的諸性質との関係について検討した。

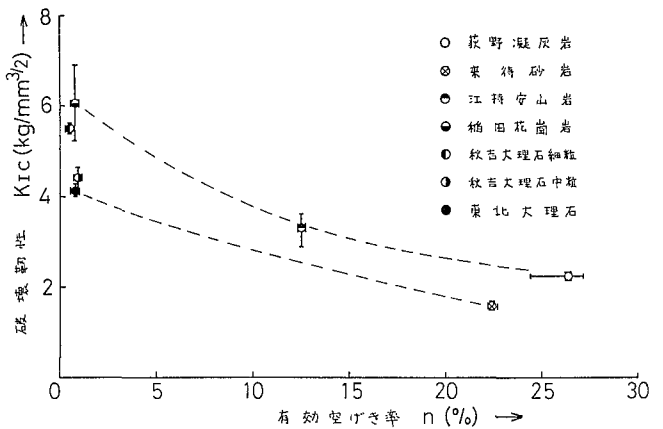
引き裂き荷重を受けた各種岩石試料の破壊挙動について調べた結果、岩種によって破壊挙動に

かなりの差異があるが、その傾向は大きく2つに分けることができることが明らかとなった。すなわち、荻野凝灰岩、来待砂岩、江持安山岩および稲田花崗岩試料においては、破壊き裂は引き裂き荷重一き裂開口変位線図の最大荷重点以後に発生し、その進展経路は直線状で、連続的に進展する。一方、秋吉大理石中粒および東北大理石試料では、最大荷重点に至る前に結晶粒界のゆるみによる安定な破壊き裂の発生がみられ、また最大荷重点以後では破壊き裂先端周辺にゆるみ領域を伴いつつ結晶粒界に沿って停止、分岐を繰り返しながらゆっくりと進展する。

次に、各種岩石試料の破壊靱性と力学的諸性質との関係について検討したところ、破壊靱性は圧縮、引張、せん断などの強度が大きい岩石試料ほど大きくなる傾向があるが、大理石試料の破壊靱性がその圧縮、引張、せん断強度などの大きさに比較して、他の岩石試料の破壊靱性より大きいことがわかった。第2図は各種岩石試料による破壊靱性と有効空げき率との関係を示したものである。図より有効空げき率が大きくなるほど破壊靱性が小さくなる傾向がみとめられる。このことから空げき率の大小が破壊靱性の大きさ、さらには破壊き裂の進展に影響を及ぼす重要な因子となるものと考えられる。

第4章 封圧下における各種岩石試料の破壊靱性

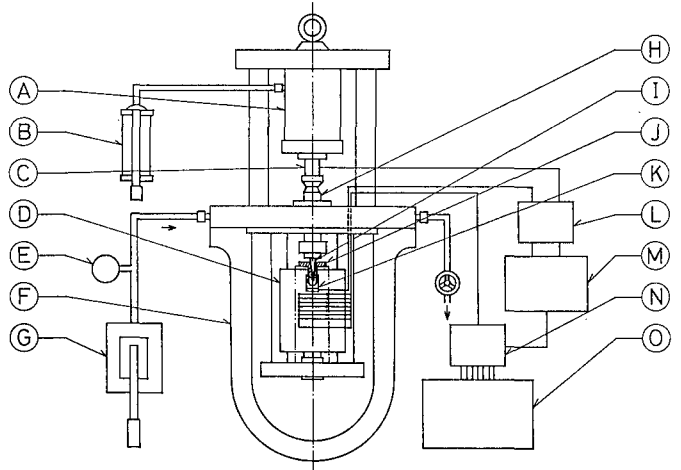
封圧下における岩石の破壊靱性を求めるために、荻野凝灰岩、来待砂



第2図 各種岩石試料による破壊靱性と有効空げき率との関係

岩、稲田花崗岩、秋吉大理石中粒の4試料について、封圧0, 60, 120, 240 kg/cm²における引き裂き試験を行い、引き裂き荷重一き裂開口変位線図、き裂開口変位および応力拡大係数とき裂長さとの関係から破壊き裂の発生、進展過程を調べ、さらに破壊靱性に及ぼす封圧の影響について検討した。

第3図は封圧下における引き裂き試験で用いた装置の概念図である。図の各部の名称は、A分離式油圧ジャッキ、B軸圧用油圧ポンプ、C受圧器、D岩石試験片、E封圧測定用ブルドン管圧力計、F封圧釜、G封圧用油圧ポンプ、H軸圧用油圧ポンプ、Iくさび、Jロックスプリッター、Kカンチレバーゲージ、L動的ストレインメータ、M X-Y-Yレコーダー、Nパ



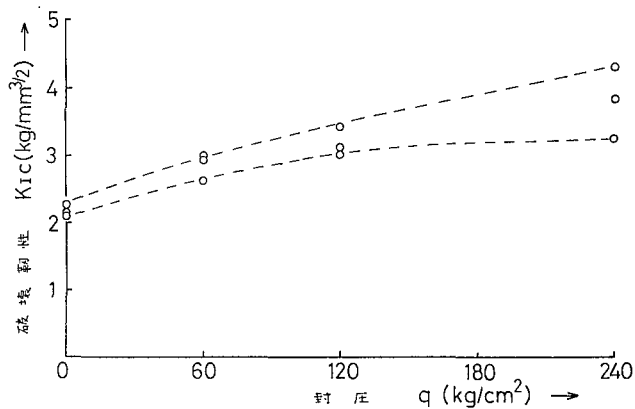
第3図 封圧下における引き裂き試験装置の概念図

ルス発生装置, ①ペンレコーダである。

引き裂き荷重とき裂開口変位との関係を調べた結果, 各種岩石試料とも封圧が高くなるにつれて, 引き裂き荷重-き裂開口変位線図は非線形性を増し, 最大荷重点が大きくなり, さらに破壊き裂の進展が緩やかになる一般的傾向がみとめられた。これは封圧の増加とともに破壊き裂先端における塑性域が広がる傾向を示し, また封圧により引張き裂の進展を妨げる力が働き, その結果, 応力集中が緩和されることになるためと考えられる。

次に, 封圧下におけるき裂開口変位とき裂長さとの関係を調べたところ, 荻野凝灰岩, 来待砂岩および稲田花崗岩試料では封圧が高くなるにつれて, き裂長さに対する開口変位の増加率が大きくなり, 一方, 秋吉大理石中粒試料では増加率が小さくなる傾向が認められた。

第4図は破壊靱性と封圧との関係の一例として荻野凝灰岩試料による結果を示したものである。各種岩石試料について破壊靱性と封圧との関係を調べたところ, いずれも封圧が高くなるにつれて破壊靱性が大きくなることが明らかとなった。封圧の増加に対する破壊靱性の増加率は, 例えば封圧の 240 kg/cm^2 における破壊靱性と大気圧下におけるそれとを比較してみると, 荻野凝灰岩試料で約 1.7 倍, 来待砂岩試料で約 2.5 倍, 稲田花崗岩試料で約 2 倍, 秋吉大理石中粒試験で約 1.5 倍となっている。



第4図 荻野凝灰岩試料による破壊靱性と封圧との関係

第5章 各種岩石試料のアコースティックエミッション

岩石の破壊過程をAEの計測により現象的にとらえるために, 現場測定におけるAEの周波数範囲を考慮し, 中心周波数24, 12, 6, 3, 1.5 kHzのバンドパスフィルタ(B, P, F)および1.5 kHzのローパスフィルタ(L, P, F)を採用して試作したAE測定器を用いて, 圧縮ならびに引張破壊過程におけるAEについて調べた。

江待安山岩, 稲田花崗岩, 荻野凝灰岩, 来待砂岩, 東北大理石の5試料について剛性一軸圧縮試験を行い, 各種岩石試料の変形, 破壊挙動とAEの発生との関係について検討した。その結果, 各種岩石試料とも破壊強度点以前ではAEの発生頻度は低く, その大部分は中心周波数24 kHzのB, P, Fで計測される高周波数成分であるが, 破壊強度点以後になるとAEの発生頻度は高くなり, 中心周波数6 kHz以下のB, P, Fで計測される低周波数成分のAEの占める割合も大きくなることが明らかとなった。これは, 破壊強度点以前に発生しているAEは, 先在き裂からの微小破壊の発生によって生じる散発的かつ周波数成分の高いものであるが, 破壊強度点以後の圧縮破壊過程で発生しているAEは, 破壊き裂が進展する際にき裂面で起こる摩擦すべりによって生じる摩擦音もあり, それゆえ低周波数成分の占める割合も大きくなるものと思われる。

また、引張破壊過程におけるAEについて調べるために、江持安山岩および稲田花崗岩試料について引き裂き試験を行った結果、AEの発生は破壊き裂の不安定な進展に対応していること、さらに引張破壊過程で生じるAEはその大部分が中心周波数24 kHzのB、P、Fで計測される高周波数成分であることが明らかとなった。

第6章 結 論

本研究で得られた結果を総括して述べたものである。

審査結果の要旨

岩盤内空洞の開さく、地熱開発における水圧破碎などの問題に関連して、岩石の破壊過程の究明が急がれているが、岩石は組織・構造に多くの欠陥を有するため、その過程は極めて複雑であり、未だ不明な点が少なくない。

本論文は各種岩石について引き裂き荷重下の破壊過程に関する系統的研究を行い、その成果をまとめたもので、全篇6章よりなる。

第1章は緒論である。

第2章では、平板試験片による引き裂き試験装置の考案について述べ、また引き裂き試験における凝灰岩の破壊き裂の発生・伝播状況を精査して、破壊靱性に及ぼす試験片の寸法効果を認め、試験片の必要最小寸法を決めている。

第3章では、砂岩、凝灰岩、安山岩、花崗岩と粒度の異なる3種類の大理石計7種類の岩石について引き裂き試験を行い、各種岩石の力学的諸性質と破壊靱性との関係を求めている。これらの結果から、各種岩石の圧縮強さ、引張強さ、せん断強さ、縦弾性係数と破壊靱性との間にある種の相関性が認められること、また破壊靱性は空げき支配をうけることなどを明らかにした。

第4章では、三軸応力状態にある地下岩盤の破壊靱性を求めるため行った油圧容器内における引き裂き試験について述べ、また破壊き裂の発生・伝播、破壊靱性に及ぼす封圧の影響などについて述べている。これより岩石の破壊靱性は封圧とともに増し、封圧 240 kg/cm^2 と大気圧下におけるそれを比べると、砂岩では約2.5倍、凝灰岩では約1.7倍、花崗岩では約2倍、中粒の大理石では約1.5倍となることが明らかになった。この結果は地下岩盤の水圧破碎における基礎資料を与えるもので、貴重な成果である。

第5章においては、圧縮荷重、引き裂き荷重をうける各種岩石のアコースティック・エミッション(AE)について述べている。引き裂き試験におけるAEは破壊き裂の進展によく対応し、圧縮試験におけるAEに比べて高周波成分の割合が多いことを確かめている。

第6章は結論である。

以上要するに、本論文は各種岩石について引き裂き試験を行い、岩石の力学的諸性質・封圧とその破壊過程との関係などを検討し、いくつかの有用な知見を得たもので、資源工学の発展に寄与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合格と認める。