

学位論文題名

砂岩の変形・強度特性と組織に関する基礎的研究

学位論文内容の要旨

岩石の力学的性質は、一般にその組成や組織の影響を受けるが、一方、これらは岩石の成因と関わっている。本研究は、これら岩石の力学的性質、岩石組織、成因となった地質作用の3者の関係を明らかにすることを目的に、石狩夾炭層砂岩、太平洋砂岩、白浜砂岩を供試岩石として、主に岩石の組織と破壊挙動の観点から検討したものである。

本論文は全7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ている。

第2章では、石狩夾炭層砂岩を中心とした供試岩石の産地と定方位供試体の準備のための採取から整形に至る一連の作業に関して留意した点を説明し、次いで、P波速度の計測および顕微鏡観察を基に砂岩の組織に関し次の諸点を明らかにしている。

- 1) いずれの供試岩石にも明瞭な層構造が認められ、層理に垂直方向には凹凸接触や縫合接触している粒子が見られる。
- 2) 孔隙の形状は、白浜砂岩では球形が多いのに対し、夾炭層砂岩ではき裂状を呈しているものが多い。また、石狩夾炭層砂岩には方向性をもった開口き裂が分布している。
- 3) P波速度に関して、石狩夾炭層砂岩は直交異方性、白浜砂岩と太平洋砂岩は面内等方性を示す。
- 4) これらの組織の特徴ならびに孔隙率とP波速度の間には明瞭な対応関係が存在し、P波速度の異方性は層構造や開口き裂の配向性によってもたらされる。

第3章では、封圧下の圧縮試験で得られた差応力～体積ひずみ・軸ひずみ線図を整理し、変形・強度に関する諸特性の封圧依存性と、これらに及ぼす岩石組織の影響に関して次の諸点を見いだしている。

- 1) 変形係数、破壊強度、脆性－延性遷移時の封圧などの測定値や破壊後挙動における応力低下の激しさは、孔隙率と深く関わっており、孔隙率の減少とともに、これらの特性値は増加し、現象は激しさの程度を増す。
- 2) 圧縮領域の変形係数、破壊強度、ならびに残留強度は、岩石組織の異方性の有無に関係せず、ほぼ等方的である。
- 3) 破壊強度の限界線は折れ線で近似でき、限界線から予想される破断角は実測値とよく合う。折れ曲がり点の封圧を境に、破断角の増加率や破断面の性状、体積ひずみ挙動は変化する。
- 4) 破壊後挙動の激しさを表す最大応力低下率は、封圧により変化するが、赤平砂岩および砂川砂岩では、封圧の大きさが限界線の折れ曲がる封圧の50%程度のととき最大になる。また、供試体軸と層理のなす角 α の影響を受け、 $\alpha = 30^\circ$ のとき最大となる。

第4章では、封圧下の圧縮試験で現れる破断方位と破壊モード、圧裂引張強度や点圧裂引張試験で生じるき裂の伸展方向などに関して、次の諸結果を得ている。

- 1) 封圧下の圧縮試験で得られる岩石の破断方位や破壊モードは、岩石組織の異方性の影響を受ける。P波速度の方向による差異が4%以上あれば、異方性の影響が顕著に現れ、破断方位はP波速度の遅い方向に集中し、単一せん断型の破壊モードが卓越する。一方、P波速度の差異が4%以下の場合は破断方位は分散し、単一せん断型の出現率が低くなる。

- 2) 圧裂引張強度や点圧裂引張試験で生じるき裂の方位は、岩石組織の異方性の影響を受ける。

第5章では、封圧下の圧縮試験における破壊の進展状況に関し、まずP波速度の計測、鏡下における破断面の観察および浸水崩壊度試験を行っている。そして、封圧下の圧縮試験では、差応力～軸ひずみ線図が脆性挙動を示す場合、差応力が破壊強度点を越えるとまもなく破断面の形成が始まること、および破断面の周りには破断面に平行に損傷領域が形成されるが、その幅は脆性が卓越するほど小さくなることを見いだしている。

次に、これらの結果を基に、破断面の不可逆的な迂りとこれ以外の部分の弾性回復の複合現象として、応力低下過程をモデル化し、これを用いて以下の諸点を明らかにしている。

- 1) 破壊後挙動における破壊の激しさと、破断面の形成に必要なエネルギーと供給し得るエネルギーの比の間には強い相関がある。

- 2) 破断領域の幅は破断面の摩擦抵抗に相当する散逸エネルギーに比例する。

第6章では、砂岩が履歴した地質作用が組織に及ぼす影響について、圧密や有機変成度、地質構造などの観点から検討するとともに、砂岩の力学的性質と岩石組織および地質作用と現在の賦存環境の関連性について考察し、次の諸結果を得ている。

- 1) 砂岩の組織すなわち、孔隙率、層構造、孔隙の形状・分布は、岩石の置かれた固有の堆積環境や続成環境によって決まる。破壊強度は孔隙率と高い相関関係にあるから、破壊強度には履歴した地圧の大きさが反映しているといえる。

- 2) 供試岩石の層構造は、圧力溶解作用などいくつかの続成作用の下で作られさる。組織の異方性には、履歴した地圧の絶対的な大きさとともにその偏差成分の大きさが影響する。

- 3) 石狩夾炭層砂岩に認められるL方向の存在は、夾炭層が堆積した後の造構運動に伴って生じた褶曲と関係があると推定される。

- 4) 地下深部に賦存する供試岩石では、深度から算定したかぶり圧と破壊限界線の折れ曲がる封圧はほぼ一致し、また、この封圧を境に異なった変形・破壊挙動が現れる。

- 5) 砂岩の力学的性質や挙動には、岩石組織との対応が明確なものと、明瞭でないものがあり、前者の多くは、岩石組織を通して続成作用や造構運動との関係が認められる。

第7章は結論で、本研究で得られた主な結果を総括し、今後の課題について述べている。

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 中 島 巖

学位論文題名

砂岩の変形・強度特性と組織に関する基礎的研究

砂岩の力学的性質はその組織に支配され、一方、岩石組織は地質作用の下で形成される。したがって、岩石の力学的性質、岩石組織、地質作用の3者の間には密接な関係があると考えられる。本研究は、主に道内の夾炭層砂岩を対象に、この3者の関係について詳細に検討したもので、評価すべき成果は以下の5点に要約できる。

第一の成果は、供試岩石の組織に関するもので、顕微鏡観察を基に、いずれの供試岩石にも明瞭な層構造が認められ、層理に垂直方向には凹凸接触や縫合接触している粒子が見られること、孔隙は白浜砂岩ではほぼ球状であるのに対し、夾炭層砂岩ではき裂状を呈しているものが多いこと、石狩夾炭層砂岩ではこのような先在き裂の分布に配向性が認められることなどを明らかにしている。また、P波速度に関し、石狩夾炭層砂岩は直交異方性、白浜砂岩と太平洋砂岩は面内等方性を示すこと、これらのP波速度の異方性は層構造や先在き裂の配向性に起因していることを見いだしている。

第二の成果は、砂岩の力学的な性質や挙動に関するもので、変形係数、破壊強度などはほぼ等方的で、孔隙率の減少とともに増加することを多数の実験結果を基に示している。また、破壊強度に関しては、強度の限界線が折れ線で近似でき、限界線から予想される破断角が実測値とよく合うこと、折れ曲がり点の封圧を境に、破断角の増加率や破断面の性状、体積ひずみ挙動が変化することを見いだしている。そして、応力低下の激しさを表す最大応力低下率は、封圧により変化するが、地下深部から採取した砂岩では、限界線の折れ曲がる封圧の50%程度の封圧下で最大になることを明らかにしている。

第三の成果は、封圧下の圧縮試験で得られる岩石の破断方位や破壊モードに関するもので、径方向のP波速度に4%以上の差異があれば、破断方位はP波速度の最も遅い方向に集中し、単一せん断型の破壊モードが卓越すること、差異がこれ以下の場合には破断方位が分散し、単一せん断型の破壊モードの出現率が低くなること、圧裂引張強度や点圧引張試験で生じるき裂の方位は岩石組織の異方性の影響を受けることなどを明らかにしている。

第四の成果は、破壊後挙動における急激な応力低下として特徴づけられる不安定破壊に関するもので、この現象は孔隙率が小さく破壊強度が大きいほど生じやすいこと、組織の異方性の影響を受けて、径方向のP波速度の異方性が強く単一せん断型の破壊モードが出現するときに現れやすいことを見いだしている。また、封圧下の圧縮試験において差応力が破壊強度点を越えた直後に始まる破断面の形成過程を、破断面の不可逆的な迂りとこれ以外の部分の弾性回復の複合現象としてモデル化し、これを基に、不安定破壊の程度が破断面の形成に必要なエネルギーと破面の形成に供給し得るエネルギーの比に比例すること、単一せん断型の破壊モードはエネルギー的に最も効率のよい壊れ方であるために、組織の異方性が不安定破壊の重要な因子になっていることなどを明らかにしている。

第五の成果は、砂岩の組織や力学的性質と続成作用や造構作用との関連を明らかにしたことである。地質作用が組織に及ぼす影響について、圧密や有機変成度、地質構造などの観点から詳細に検討し、岩石の層構造が圧力溶解作用などいくつかの続成作用の下で作られていること、石狩炭田空知地区の砂岩に認められるL方向は、夾炭層が堆積した後の造構運動に伴って生じた地層の褶曲軸と直交していることを見いだしている。さらに、地下深部から採取した供試岩石の場合、かぶり圧と破壊限界線が折れ曲がる封圧はほぼ一致し、また、この封圧を境に異なった変形・破壊挙動が現れること、ならびに、砂岩の力学的性質や挙動には岩石組織との対応が明確なものと明瞭でないものがあり、前者の多くは岩石組織を通して続成作用や造構運動との関係が認められることを明らかにしている。

これを要するに、著者は、石狩夾炭層砂岩の力学的な性質や挙動に関して多くの有益な知見を得ており、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。