

## 学位論文題名

## 破壊後の圧密による岩石の透水性変化に関する研究

(Variation in Permeability by Post-failure Consolidation of Rocks)

## 学位論文内容の要旨

本研究では、破壊した岩石が圧密作用を受けることによって透水性にどのような影響を及ぼすか、またその影響がどのようなメカニズムによって起こるかということ明らかにすることを目的として検討を行った。まず三軸圧縮試験においてせん断破壊させ、残留強度状態を実現した。次に、所定の圧密応力を一定時間負荷し、その後圧密応力を除荷した。これらの過程で、軸載荷前・破壊の前後・圧密中・圧密応力除荷後などの透水係数を調査した。圧密が透水性の変化に与える要因を明らかにするために、数種類の圧密時間や圧密応力の条件で試験を実施した。主に碎屑岩である来待砂岩を対象に実験を行ったが、実験結果を解釈する一助とするため、強度や構成鉱物が異なる岩石を用いて1回ずつではあるが比較実験を行った。実験に採用した岩石は、強度の小さい碎屑岩の例として北海道豊富町産の豊富珪質泥岩、結晶質岩の例として茨城県産の稲田花崗岩についても各試験を行った。

また実験に用いた供試体から作成した薄片の観察を行い、岩石の破壊面や亀裂分布の状況を調査した。

透水性が変化する要因の検討としては、岩石を構成する鉱物の変形・強度特性を反映できる粘弾塑性モデルの開発を行った。

以下に本研究で行った検討について各章ごとに内容をまとめる。

第1章では研究の背景として放射性廃棄物の地層処分、LPG・石油の岩盤タンクへの備蓄貯蔵を挙げ、岩盤、特に掘削に伴う損傷領域の透水性の把握が重要であることについて記した。また本研究で行った研究と関係する既往の研究についてまとめた。

第2章では、室内実験に基づく検討を行った。岩石試料として島根県産の第三紀中新世の凝灰質砂岩である来待砂岩を用い、三軸応力状態でせん断破壊させ、残留強度状態から所定の圧密応力を一定時間負荷し、その後圧密応力を除荷した。これら一連の応力負荷状態で透水係数を求めた。

得られた主な知見は以下のものである。

破壊させ圧密し (圧密 2)、圧密 1 の状態に戻したときの見掛けの透水係数は、来待砂岩では破壊後の 0.3~0.6、破壊前の 0.9~1.5 倍、豊富珪質泥岩では、破壊後の 0.4、破壊前の 0.6 倍となった。稲田花崗岩では破壊後の 0.2 倍になったものの、破壊前の 16 倍となった。すなわち、破壊によって増加した透水係数がその後の圧縮により減少する現象は、碎屑岩で顕著に、結晶質岩でもある程度確認した。

第 3 章では、破壊後の圧密に伴う浸透率の挙動が、岩種により異なる原因を、岩石を構成する鉱物の変形・強度特性に注目し、粘弾塑性モデル等を用いて検討した。

得られた主な知見は以下のものである。

破断面を粘弾塑性体、岩石を粘弾性体としたモデルを圧密し、浸透率の変化挙動を計算したところ、三軸破壊させた岩石を破壊後に圧密した際の浸透率の変化挙動が概ね再現でき、破断面と実質部の浸透率の大小関係と、大きいほうの浸透率の挙動により、岩種毎に種々の挙動がみられたことが説明できた。

透水性減少のメカニズムについては、来待砂岩では、鉱物粒子の破碎や沸石・粘土鉱物等基質の塑性変形による破断面の閉塞およびインタクト部の亀裂や空隙の塑性変形による不可逆的な閉塞、豊富珪質泥岩では、粘塑性変形に起因する時間依存的な破断面の閉口およびインタクト部における粘塑性的な空隙閉鎖、稲田花崗岩では、破断面における小さな粘弾塑性変形と若干の圧力溶解であると考察した。岩種毎に透水性減少のメカニズムが異なる原因は、主に構成鉱物の強度・変形特性の違いに起因するが、圧密 2 の圧密応力が、稲田花崗岩だけ残留強度の 0.43 倍で他では 1 倍であったことも一因と考えられる。

第 4 章には得られた主な知見をまとめ、岩石の変形・破壊における浸透率の変化に関する研究における将来の展望について述べた。

# 学位論文審査の要旨

主 査 教 授 藤 井 義 明  
副 査 教 授 金 子 勝 比 古  
副 査 准 教 授 児 玉 淳 一

学 位 論 文 題 名

## 破壊後の圧密による岩石の透水性変化に関する研究 (Variation in Permeability by Post-failure Consolidation of Rocks)

岩盤中に空洞を掘削するとその周囲に EdZ (Excavation disturbed Zone) や EDZ (Excavation Damaged Zone) と呼ばれる掘削影響領域が生じ、それらの領域では透水性が増加し、遮蔽性が低下すると考えられている。しかしながら、従来から鉱山の坑道では、坑道周辺の破壊した岩石が、地圧と支保反力を受けて強度回復する例や、スライシング法などにおいて、やはり破壊した天盤が地圧の下で、人工天盤として使える程度の強度まで回復する例が知られている。

仮に、掘削の影響を受けて空洞周辺岩盤の透水性が一旦増加しても、掘削影響領域の拡大や時間依存性変形により変形が進むにつれて増加する地圧と支保反力の作用の下で透水性が低下するならば、遮蔽性の低下を考慮せずとも良くなり、同じ遮蔽性能を持つ空洞を安く掘削することが可能となり、各種地下貯蔵のコスト低減に資することができる。

本研究は、破壊により一旦増加した岩石の透水性が、破壊後の圧密により低下するか否かを明らかにし、また、低下するとすればそのメカニズムを明らかにすることを目的として行われたものである。

室内実験に基づく検討では、碎屑性岩石の例として凝灰質砂岩である来待砂岩、低強度の碎屑性岩石の例として豊富珪質泥岩、結晶質岩の例として稲田花崗岩を用い、三軸応力状態でせん断破壊させ、残留強度状態から所定の圧密応力を一定時間負荷し、その後圧密応力を除荷した。これら一連の過程で透水係数を求めたところ、破壊させ圧密し (圧密 2)、圧密 1 の状態に戻したときの見掛けの透水係数は、来待砂岩では破壊後の 0.3~0.6、破壊前の 0.9~1.5 倍、豊富珪質泥岩では、破壊後の 0.4、破壊前の 0.6 倍となった。稲田花崗岩では破壊後の 0.2 倍になったものの、破壊前の 16 倍となった。すなわち、破壊によって増加した透水係数がその後の圧縮により減少する現象を、碎屑岩で顕著に、結晶質岩でもある程度確認した。これらは本研究で初めて明らかにされたものである。

次に、破壊後の圧密に伴う浸透率の挙動が岩種により異なる原因を、岩石を構成する鉱物の変形・強度特性に注目し、破断面を粘弾塑性体、岩石を粘弾性体としたモデルを圧密し、浸透率の変化挙動を計算した。本モデルにより、三軸破壊させた岩石を破壊後に圧密した際の浸透率の変化挙動が概ね再現でき、破断面と実質部の浸透率の大小関係と、大きいほうの浸透率の挙動により、岩種毎に種々の挙動がみられたことが説明できた。室内試験結果、解析結果、研磨薄片の観察結果から、透水性減少のメカニズムについて、来待砂岩では、鉱物粒子の破碎や沸石・粘土鉱物等基質の塑性変形による破断面の閉塞およびインタクト部の亀裂や空隙の塑性変形による不可逆的な閉塞、

豊富珪質泥岩では、粘塑性変形に起因する時間依存的な破断面の閉口およびインタクト部における粘塑性的な空隙閉鎖、稲田花崗岩では、破断面における小さな粘弾塑性変形と若干の圧力溶解であると考察した。

これを要するに、著者は、岩石の破壊により一旦増加した透水性が、破壊後の圧密により低下することを初めて明らかにし、そのメカニズムについて独自のモデルなどを用いて考察したものであり、岩盤工学に対して貢献するところ大なるものがある。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。