HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	氷点下における岩石の力学的挙動の時間依存性［論文内容及び審査の要旨］
Author(s)	三井, 善孝
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第11906号
Issue Date	2015-03-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/58776
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.1/jp/
Type	doctoral thesis
File Information	Yoshitaka_Mitsui_abstract.pdf, 論文内容の要旨

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

学　位　論　文　内　容　の　要　旨

博士の専攻分野の名称　　博士（工学）　　氏名　三井 善孝

学　位　論　文　題　名

氷点下における岩石の力学的挙動の時間依存性
(Time-dependent Mechanical Behavior of Rock at Sub-zero Temperature)

本研究では、寒冷地における岩盤斜面の長期安定性評価の基礎的研究として、空隙率が異なる支笏溶結凝灰岩と美唄砂岩を対象に、氷点下における岩石の力学的挙動の時間依存性について検討した。まず、岩盤斜面表層が曝される条件と、通常用いられる簡易的な条件で供試体を冷却し、これらの冷却条件が一軸圧縮応力下における岩石の応力-ひずみ挙動や物性値に与える影響を明らかにした。次に、-20 ℃の下で一軸圧縮クリープ試験と一軸圧縮定ひずみ速度試験を実施し、一定の応力下での時間に依存した変形・破壊挙動や岩石の力学的性質に与える載荷速度の影響を明らかにするとともに、間隙氷がこれらの時間依存性に与える影響について分析した。続いて、一軸圧縮クリープ試験と一軸圧縮定ひずみ速度試験で得られた時間依存性挙動の関係について考察を行い、時間依存性挙動を統一的に解釈するとともに、粘弾性解析により氷点下における岩石の破壊プロセスについて考察した。各章の内容は以下の通りである。

第 1 章では、研究の背景を述べた後、岩石の力学的性質の時間依存性に関する既往の研究について概観し、氷点下における岩石の時間依存性挙動には未解明な点が多いことを指摘した上、本研究の目的を述べた。

第 2 章では、供試岩石の特徴を述べるとともに、冷却条件が供試体の力学的性質に与える影響について検討した。気温の低下により、岩盤斜面は、表面から奥部に向かって一次元的に冷却されると考えられるため、まず、この冷却条件を室内で再現できる一次元冷却システムを作製した。次に、このシステムにより一次元的に冷却した供試体と、恒温槽内部に静置することにより周囲から三次元的に冷却した供試体の 2 種類を準備し、-20 ℃の下で一軸圧縮定ひずみ速度試験を実施した。その結果、両条件で冷却した供試体の強度や変形性には差異がほとんど見られないことを明らかにし、氷点下における力学的性質の検討の際には、簡易的な三次元冷却の条件で供試体を準備しても差し支えないと結論した。

第 3 章では、-20 ℃の下で一軸圧縮クリープ試験を実施し、クリープ寿命に与える応力レベルと含水状態の影響やクリープ変形の特徴について検討した。得られた主な知見は以下の通りである。

支笏溶結凝灰岩の場合、1 次クリープ領域における軸ひずみ速度とクリープ寿命の間には負の相関があり、乾燥、含水飽和両供試体ともに、両者の関係は両対数座標上において各々直線で近似できることを見出した。そして、これらの回帰直線を用いて、3 日間では未破壊であった供試体のクリープ寿命を推定し、応力レベルが一軸圧縮強度の 52% よりも小さい場合には、含水飽和供試体の方がクリープ寿命は短くなる可能性を指摘した。

美唄砂岩の場合、乾燥供試体はいずれも 3 日以内に破断しなかったのに対し、含水飽和供試体ではいずれの応力レベルにおいても破断が見られた。このことより、少なくとも本研究における応力レベルの範囲では、常に含水飽和供試体の方がクリープ寿命は短いと判断した。

第 4 章では、-20 ℃の下で一軸圧縮定ひずみ速度試験を実施し、一軸圧縮応力下における強度と

変形性に与える、載荷速度と含水状態の影響について検討した。得られた主な知見は以下の通りである。

一軸圧縮強度や応力-ひずみ線図には載荷速度依存性が認められるが、乾燥供試体に比べ、含水飽和供試体の方が、依存性が強く、また、限界ひずみが大きいことを明らかにした。そして、これらの結果から、含水飽和供試体の変形・破壊プロセスに、間隙氷の性質の時間依存性が強く関与していることを指摘した。

乾燥、含水飽和両供試体の一軸圧縮強度の大小関係は、岩種により異なることを見出した。すなわち、支笏溶結凝灰岩では、載荷速度が小さい間は、乾燥、含水飽和両供試体の値に明確な差異が見られないが、載荷速度が大きくなると、含水飽和供試体の方が値は大きくなることを明らかにした。一方、美唄砂岩では、いずれの載荷速度においても、含水飽和供試体の方が値は小さいことを明らかにした上で、両岩石の一軸圧縮強度の載荷速度依存性を間隙氷のインクルージョン効果と圧力融解により生じた間隙水の応力腐食により解釈できることを示した。

第 5 章では、支笏溶結凝灰岩を対象に、まず、一軸圧縮クリープ試験と一軸圧縮定ひずみ速度試験における時間依存性の関係について検討し、次に、両試験から評価された時間依存性を表すパラメータを用いて、粘弾性解析により供試体の破壊プロセスに関して考察した。得られた主な知見は以下の通りである。

クリープ寿命の応力レベル依存性と一軸圧縮強度の載荷速度依存性の間には、密接な関係が認められることを明らかにし、両試験における破壊のメカニズムが類似していること、一方の関係からもう一方の関係を推定できることを指摘した。また、乾燥供試体に比べ、含水飽和供試体の時間依存性のパラメータは、氷の値に近く、含水飽和供試体の変形・破壊プロセスには間隙氷が強く関与していると推察した。

乾燥、含水飽和両供試体ともに、載荷速度が小さくなるほど、応力が負荷される時間が長くなるため、より低い応力レベルから微小破壊が発生・集積し、応力-ひずみ線図が非線形性を示し始める応力レベルや一軸圧縮強度が小さくなると考察した。また、含水飽和供試体では、岩石部分の破壊により不連続面が形成された後、岩石部分より強い時間依存性を示す間隙氷の破壊が進行するため、応力-ひずみ線図には強い非線形性が現れるとともにその力学的挙動は間隙氷の力学的挙動に支配されると推論した。

第 6 章では、本研究で得られた知見をまとめた。