HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	一定応力と凍結融解作用を同時に受ける支笏溶結凝灰岩の損傷の発展
Author(s)	木村, 拓朗; 児玉, 淳一; 菅原, 隆之 他
Description	資源・素材学会平成29(2017)年度春季大会、2017年3月27日（月）～29日（水）、千葉工業大学 津田沼キャンパス、習志野市
Citation	資源・素材学会春季大会講演集, 2017, 3401-10-01
Issue Date	2017-03-27
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/65419
Type	conference paper
File Information	MMIJ2017.3401-10-01.pdf

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

一般講演
岩盤力学
2017年3月29日(水) 09:00 ～ 11:45 第４会場 (6号館 2階 622講義室)

[3401-10-01] 一定応力と凍結融解作用を同時に受ける支笏溶結凝灰岩の損傷の発展
Damage of shikotsu welded tuff simultaneously exposed to constant stress and freeze-thaw cycles

○木村 拓朗[1]、児玉 淳一[1]、菅原 隆之[1]、藤井 義明[1]、福田 大祐[1] （1. 北海道大学）
○takuro kimura[1], junichi kodama[1], takayuki sugawara[1], yosiaki fujii[1], daisuke hukuda[1] （1. Hokkaido university）

キーワード：凍結融解、クリープ試験、ひずみ、AE
freeze-thaw cycles, creep test, strain, AE

寒冷地における岩盤斜面の表層では、凍結融解と一定応力が同時に作用している。そのため、岩盤の長期安定性を評価する際には、両者の相乗効果による岩石の損傷を把握する必要がある。

本研究では含水飽和状態にある支笏溶結凝灰岩を用い、一定応力を負荷した状態で、8時間+20℃に保持した試験（クリープ試験）と8時間凍結融解作用を与えた試験（ハイブリッド試験）を交互に実施し、両者の変形挙動とAEの発生状況を比較した。その結果、AEはハイブリッド試験の凍結時に頻発し、時間とともに発生量は少なくなること、凍結時のAE発生数とクリープ試験時のAE発生数は正の相関関係があることが明らかとなった。また、ハイブリッド試験では径ひずみ増分が軸ひずみ増分より大きいこと、径ひずみ増分はクリープ試験よりハイブリッド試験のほうが大きいが、破壊が近づくにつれその大きさは逆転する傾向を示すことなどが明らかとなった。

以上のことから、凍結時に損傷が進み、その後のクリープ変形に影響を与えること、ハイブリッド損傷は一定の速度で進むのに対して、クリープ損傷は加速的に進むこと、損傷の発展は軸方向よりも横方向に表れることなどがわかった。

©一般社団法人 資源・素材学会

1. はじめに

寒冷地における岩盤斜面の表層では、冬季に凍結融解作用と一定応力が同時に作用することがある。そのため、かかる岩盤の長期安定性の評価には、両者が同時に作用したときの岩石の損傷を理解する必要がある。本研究では、含水飽和状態にある支笏溶結凝灰岩を用い、一定応力を負荷した状態で+20℃から-20℃の範囲の温度変化を与える試験を実施した。そして、その変形挙動と AE の発生状況から損傷の発展の特徴を明らかにすることを目的とする。

2. 試験方法

2.1 供試岩石と供試体

空隙率が約 40%の支笏溶結凝灰岩の岩石ブロックを用意し、堆積面に垂直にボーリングを行い、直径約 30mm、高さ約 60mm の円柱形供試体を作製した。そして次の手順で含水供試体を用意した。①+80℃の恒温槽に 24 時間以上静置し、十分に乾燥させる。②供試体側面の対角の位置にひずみゲージを 2 枚貼り付ける。③防水処理のため、ひずみゲージを完全に覆うようにコーティング剤でコーティングする。④純水中に 1 週間以上真空脱気しながら静置する。なお試験中は水分の蒸発を防ぐため供試体をラップで包んだ。含水飽和供試体の一軸圧縮強度は 16.7MPa であった。

2.2 試験装置と試験条件

(1)載荷装置：材料試験機（INSTRON 社製、最大荷重 300kN）を用い、プログラムで温度を制御できる恒温槽内（LP-ZPS 日本医化器械政製作所）で載荷した。

(2)変形の計測：上述した方法で貼付したひずみゲージにより横ひずみの計測を行ったが、今回用いた溶結凝灰岩は多孔質のため，ひずみゲージでは局所的な挙動が測定されることが危惧される。このため、供試体の中央に径方向変位計（RAW-30 東京測器研究所製）を取り付け、径ひずみを計測した。また、供試体の両脇に軸方向変位計（CDP-5 東京測器研究所製）を設置し、軸ひずみを計測した。なお、軸方向変位計の感知レバー部の凍結を防ぐために、この部分をラップで包んだ。

(3)AE の計測：岩石の破壊過程を追跡するため、AE センサ（共振周波数 150kHz）を供試体の側面に取り付け、AE イベントの発生数を計測した。AE 波をプリアンプとメインアンプ（40dB）で増幅した後、バンドパスフィルタ(100～200kHz)を通過した波のうち振幅が 70mV を越えるものを AE 波とみなした。

(4)試験条件：10.9MPa の一定の応力（含水供試体の一軸圧縮強度の 65%）を負荷した状態で恒温槽の温度を次のように制御した（Fig1）。①+20℃で 8h 一定に保つ。②+20℃～-20℃の間で変化させ、凍結融解作用を 1 サイクル(6h)与える。③＋20℃で 10h 一定に保つ。②、③を 15 回繰り返す。続いて一定応力の応力レベルを 11.7MPa（含水供試体の一軸圧縮強度の 70%）まで増加させて、上記①に戻り、一定応力が 10.9MPa のときと同様の試験を続ける。なお、上記②の凍結融解作用は Fig 2 のように、2h かけて+20℃から - 20℃まで温度を下げた後、温度を 2h - 20℃で一定に保ち、その後、2 時間かけて温度を+20℃まで温度を上げた。以下では，温度を+20℃に保っている上記①と③のプロセスをクリーププロセスと呼び、温度を+20℃～-20℃の間で変化させているプロセスをハイブリッドプロセスと呼ぶことにする。

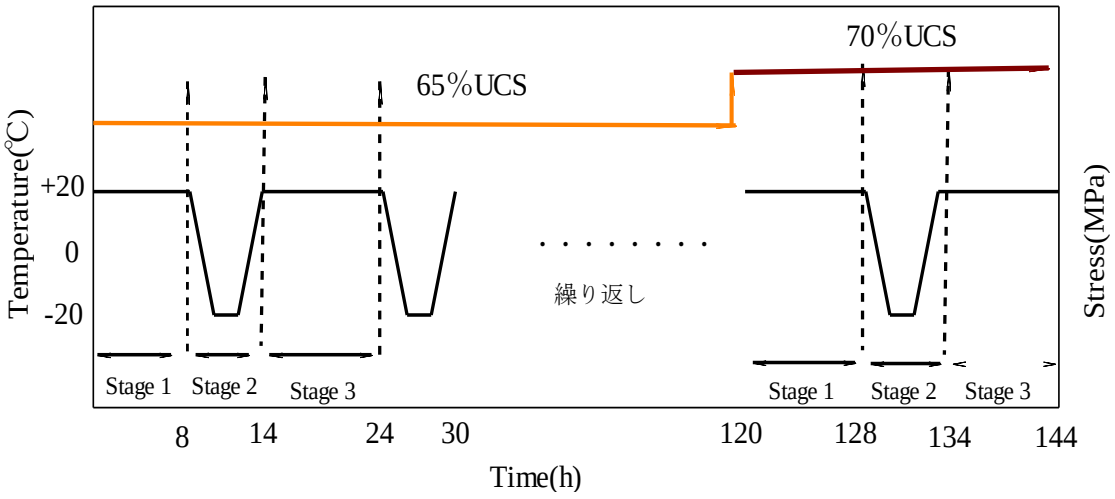


Fig 1 試験中の温度と一定応力

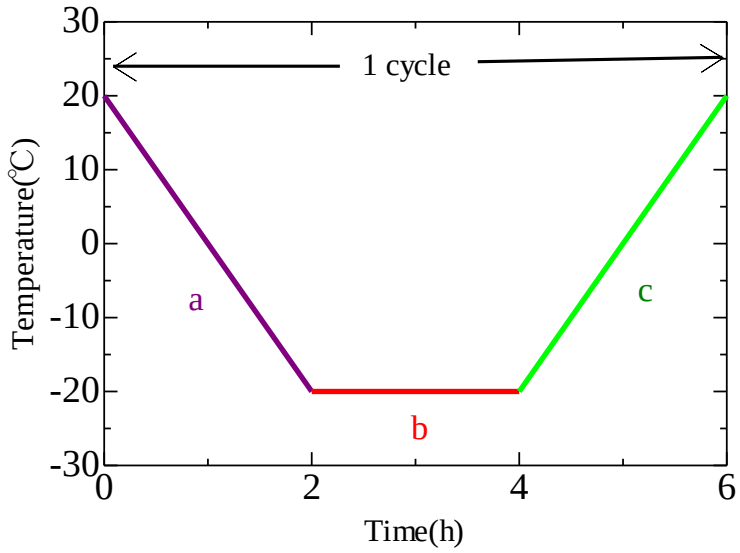


Fig 2　凍結融解サイクル

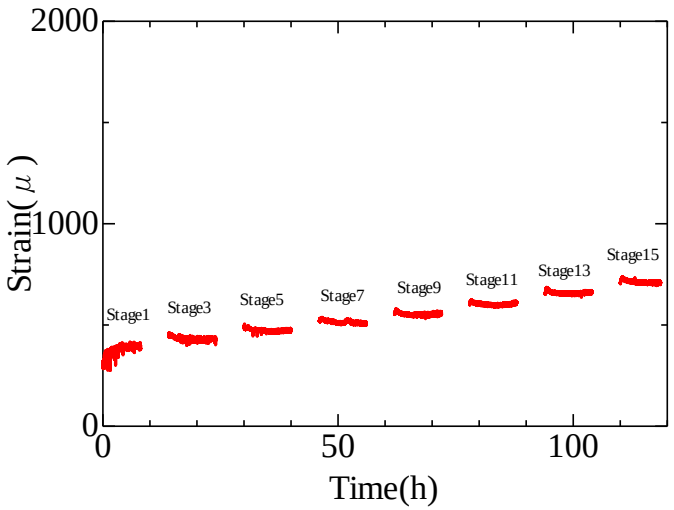
3.試験結果

3.1 ひずみと経過時間の関係

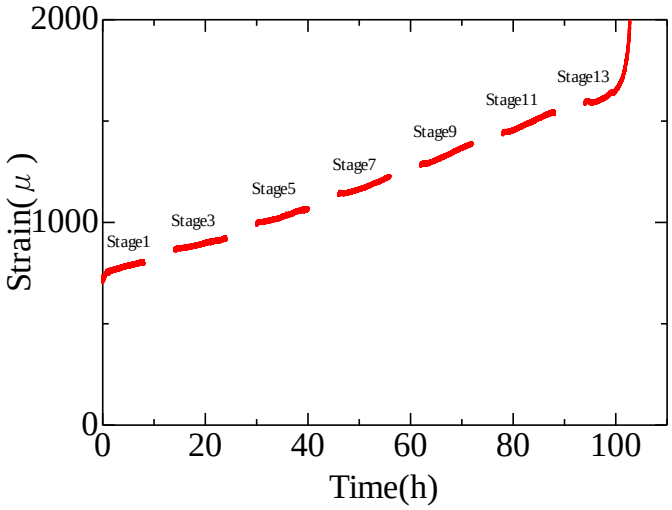
温度が+20℃のときの（Fig.1 中の Stage 1,3,5,7,9,11,13,15）ひずみと時間の関係を Fig.3～Fig5 に示す。Fig.3 は、ひずみゲージで計測した横ひずみの結果であり、Fig.4, 5 は、それぞれ，変位計で計測した径ひずみと軸ひずみの結果である。図中の縦軸のひずみはいずれも伸長を正としている。

Fig3 と Fig.4 から、時間経過と共に横ひずみと径ひずみの値は伸長側に増加していること、応力レベルに関わらず、図示した各 stage の間には不連続的なひずみの増加が認められ、凍結融解履歴により残留ひずみが発生していることがわかる。また、応力レベル 70%の方が 65%の時よりもクリーププロセスにおけるひずみの増加量は大きい。なお、径ひずみの結果（Fig.4）では、図示したいずれの Stage においても、ハイブリッドプロセス終了直後に若干のひずみの収縮が見られる。この原因は明らかではないが、温度変化による変位計のみかけひずみの可能性がある。

Fig5 から、応力レベルに関わらず軸ひずみは収縮方向に増加するが、径ひずみと同様に応力レベル 70%の方が 65%の時よりもクリーププロセスにおけるひずみの増加量は大きいことがわかる。しかし、径ひずみに比べ、stage 間の不連続的なひずみの増加は小さく、また、クリーププロセスにおけるひずみの増加も小さい。なお、応力レベル 70%の Stage1 終了後と Stage3 開始時の軸ひずみを比較すると、残留ひずみが伸長方向に発生しているが、この原因は不明である。

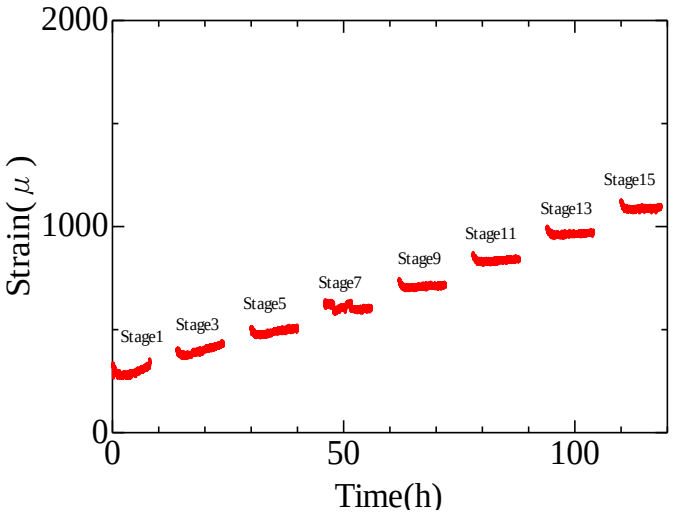


(a)応力レベル 65%

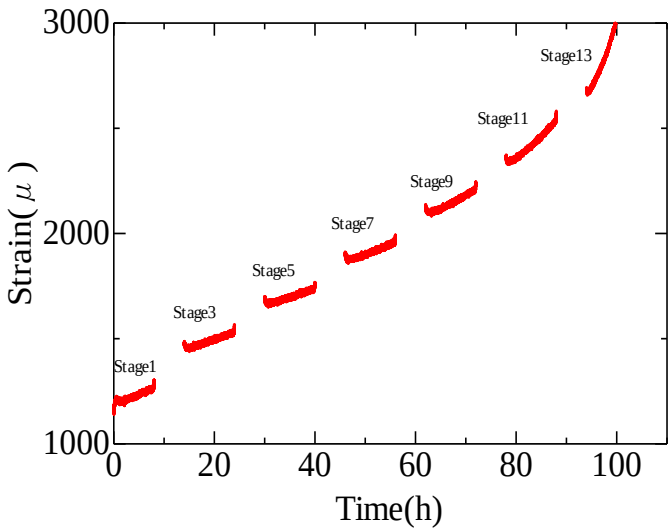


(b)応力レベル 70%

Fig 3　横ひずみと経過時間の線図(ひずみゲージ)

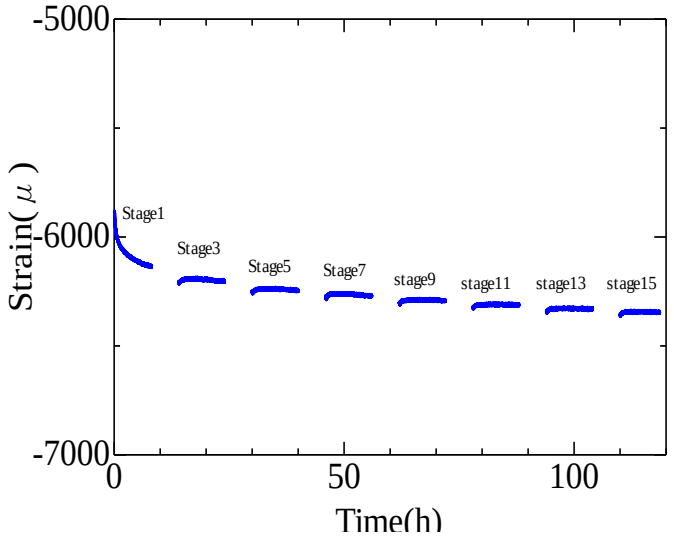


(a)応力レベル 65%

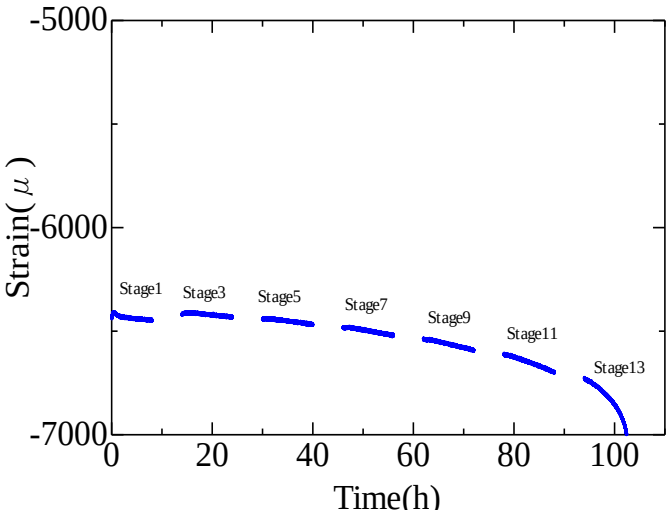


(b)応力レベル 70%

Fig 4　径ひずみと経過時間の線図(変位計)



(a)応力レベル 65%

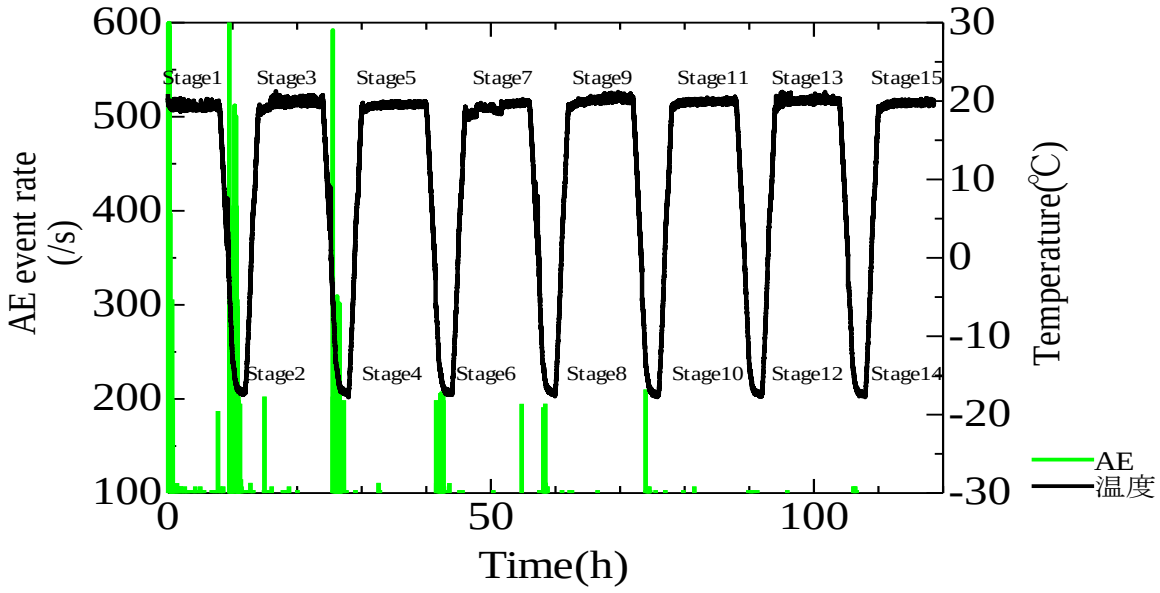


(b)応力レベル 70%

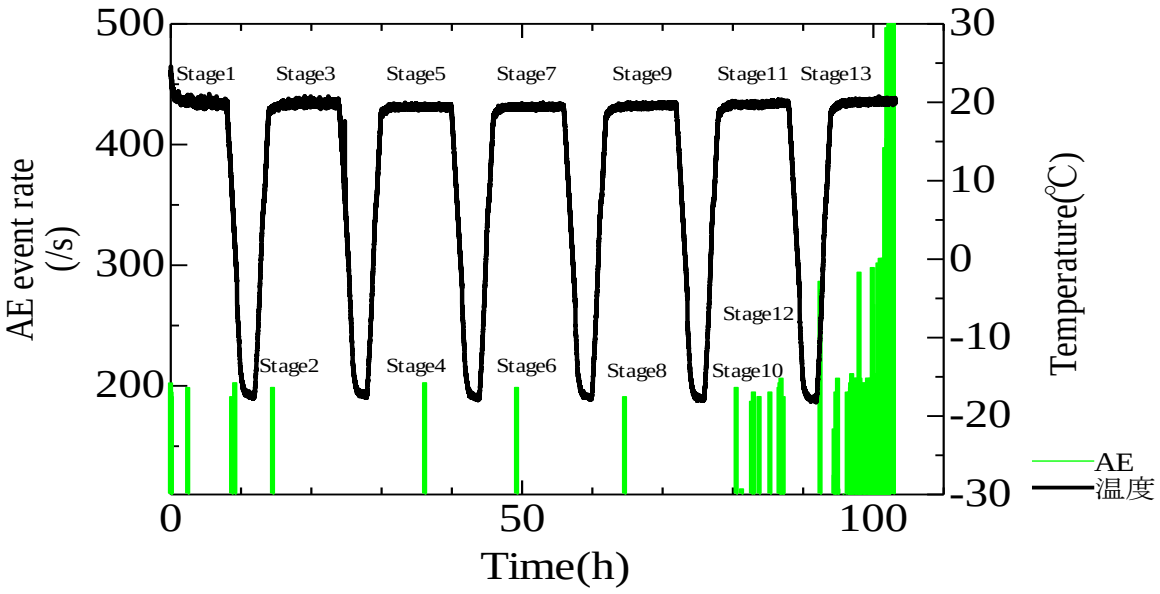
Fig 5　軸ひずみと経過時間の線図(変位計)

3.2　AE の発生状況

Fig. 6 は AE の発生率と時間の関係を示した図である。応力レベル 65%の結果（Fig.6(a)）を見ると、初期の Stage で AE が頻発し、その後、AE の発生率は時間とともに減少している。また、初期の Stage の AE の頻発は-5℃～-20℃にかけて見られ，Stage2 の融解過程では AE の発生が見られるが、クリーププロセスにおいては AE の発生はほとんど見られない。応力レベル 70%の結果を見ると、約 10 時間後の冷却過程で AE の発生が見られる以外は冷却過程での AE の発生はほとんど見られない。約 37 時間、50 時間、64 時間後に AE の発生が見られるが、これらはいずれもクリーププロセスにおける発生である。また、Stage11 で AE が急増し、続く Stage12 の融解過程で AE の発生が見られ、その後のクリーププロセスで最終的な破断に至った。以上のことから、初期の段階では、ハイブリッドプロセスにおいて岩石の損傷が進行するが、破断が近づくにつれ、クリーププロセスで損傷が発達することがわかる。凍結融解作用による損傷が、その後のクリーププロセスにおける損傷に影響を与える可能性があるが，両応力レベルの Stage2 の融解過程で認められた AE の発生はこれを示唆していると考える。



(a)応力レベル 65%



(b)応力レベル 70%

Fig 6　AE 発生状況

3.3　ハイブリッドプロセスとクリーププロセスにおける岩石の損傷の発展

ハイブリッドプロセスとクリーププロセスにおける供試体のひずみ挙動の変化を把握するため、Fig7 のように各 Stage におけるひずみ増分を定義した。すなわち、凍結融解サイクル(6h)の開始時と終了時のひずみの差をハイブリッドプロセス(6h)のひずみ増分とし、凍結融解サイクルが終了してから 4 時間後と 10 時間後のひずみの差(6h)をクリーププロセス(6h)のひずみ増分とした(Fig 7)。Fig.1 からわかるように，ハイブリッドプロセスでのひずみ増分は Stage2,4,6・・・14 で定義され、クリーププロセスでのひずみ増分は Stage3,5,7・・・15 で定義される。

各 Stage におけるハイブリッドプロセスにおける横ひずみ増分とクリーププロセスにおける横ひずみ増分を Fig. 8 に示す。なお、ひずみゲージで得られた値で整理を行った。図より、応力レベル 65%ではハイブリッドプロセスでの横ひずみ増分はいずれのクリーププロセスでの横ひずみ増分よりも大きいことがわかる。筆者らは支笏溶結凝灰岩を用いた通常のクリープ試験においてひずみ速度は時間とともに減少することを明らかにしている [1]。したがって、ハイブリッドプロセスにおいてクリープ損傷のみが起きているとすると、このプロセスのひずみ増分はクリーププロセスのひずみ増分より小さくなるはずである。しかし、上述したように両者の大小関係は逆である。これらのことは、ハイブリッドプロセスにおけるひずみ増分には、凍結融解作用が大きな影響を与えていることを意味している。応力レベル 70%の結果をみると、ハイブリッドプロセス時の横ひずみ増分は、Stage によらず 50 μ 前後であり、応力レベルが 65%のときとほぼ同じ値を示す。また、Stage7 まではクリーププロセス時の横ひずみ増分よりも大きい値を示しているが、クリーププロセスでの横ひずみ増分は、時間の経過とともに増加するため、Stage7 以降ではでハイブリッドプロセスでの横ひずみ増分より大きくなっている。

以上のことより、凍結融解作用による損傷は一定の割合で進行するが、一定応力による損傷（クリープ損傷）損傷は、最終的な破断に近づくと加速的に進むことがわかる。

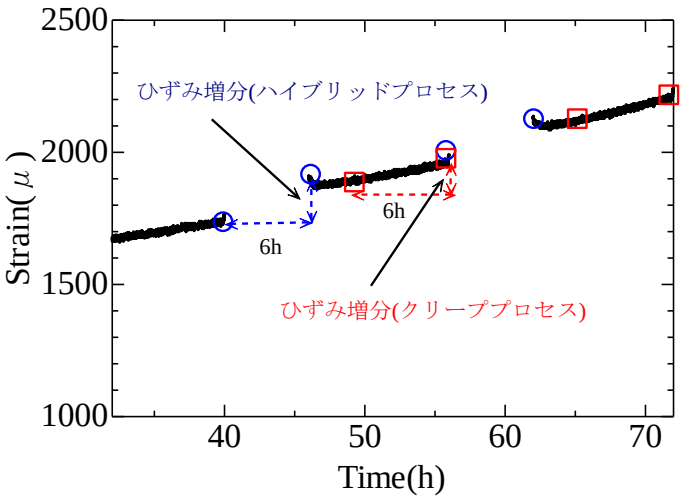
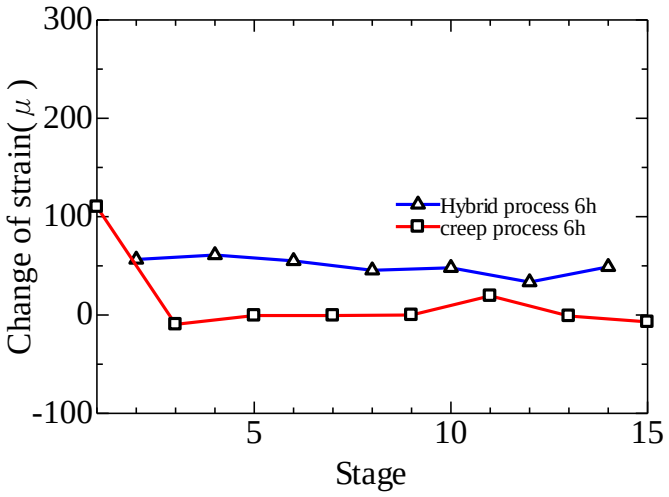
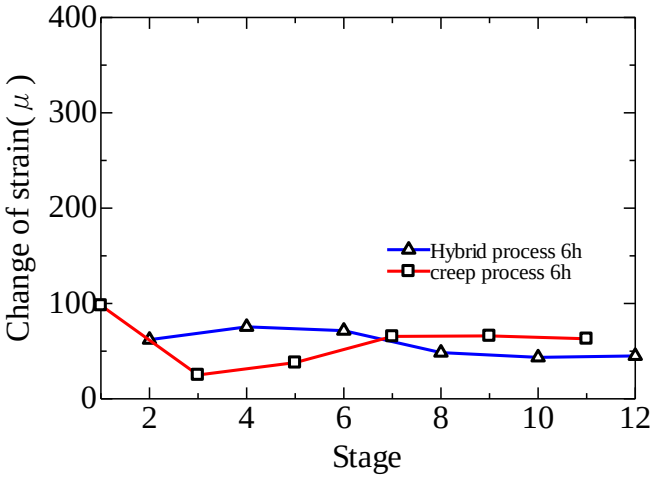


Fig 7　ひずみ増分説明図



(a)応力レベル 65%

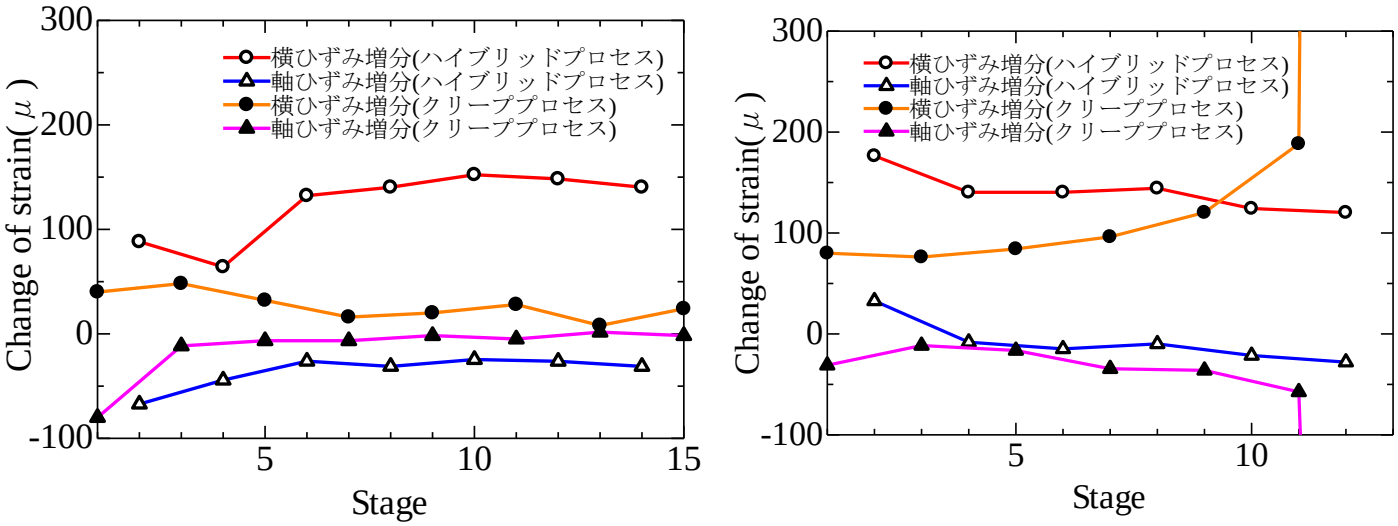


(b)応力レベル 70%

Fig 8　各 Stage における横ひずみ増分

3.4　軸ひずみ増分と径ひずみ増分の比較

ハイブリッドプロセスとクリーププロセスにおける軸ひずみ増分と径ひずみ増分を Fig.9 に示す。なお、変位計で得られた値で整理を行った。ひずみ増分は伸長を正としている。図より、応力レベルやプロセスに関わらず、軸ひずみ増分よりも径ひずみ増分の方が大きい値を示すことがわかる。また、両者のひずみの差は、クリーププロセスよりハイブリッドプロセスの方が大きい。これらのことより、凍結融解作用と一定応力による損傷はともに軸方向より横方向の変形に現れるが、この異方性の傾向は凍結融解作用による損傷において顕著であることがわかる。



(a)応力レベル 65%　　(b)応力レベル 70%

Fig 9　各 Stage における軸ひずみ増分と横ひずみ増分

4.まとめ

本研究では、支笏溶結凝灰岩の岩石供試体を対象として、凍結融解作用と一定応力を同時に作用させる試験を行い、損傷の発展の特徴について検討した結果、以下の知見が得られた。

1) 試験の初期の段階では、凍結融解作用による損傷が相対的に大きいが、サイクル数が増すと次第に小さくなる。そして、最終破壊に近づくと一定応力による損傷が相対的に大きくなる。

2) 凍結融解作用による損傷と一定応力による損傷は異方性を示し、軸方向より横方向に大きく現れるが、この異方性の程度は凍結融解作用による損傷の方が大きい。

3) 凍結融解による損傷は、その後の一定応力による損傷に影響を与えている可能性がある。

5.引用文献

1)木村拓朗、児玉淳一、菅原隆之：一定応力と凍結融解作用を同時に受ける支笏溶結凝灰岩の変形挙動、平成 28 年度資源・素材学会誌、B-1