



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	破壊後の圧縮に伴う支笏溶結凝灰岩の浸透率変化
Author(s)	新岡, 将希; Alam, A. K. M. Badrul; 菅原, 隆之 他
Description	資源・素材2012 (秋田) 一平成24年度資源・素材関係学協会合同秋季大会一、2012年9月11日~13日、秋田大学 手形キャンパス、秋田市
Citation	資源・素材2012 (秋田) 企画発表・一般発表(A)(B)(C) 講演資料, 285-288
Issue Date	2012-09-11
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/50043
Type	conference paper
File Information	MMIJ2012Akita, 285-288. pdf



破壊後の圧縮に伴う支笏溶結凝灰岩の浸透率変化

北大・工 新岡 将希・Alam, A.K.M.B.・菅原 隆之・藤井 義明

1. 緒言

空洞掘削時には程度の差はあれ空洞周辺の岩盤が破壊し、それに伴い透水性が増加すると考えられる。しかし従来から鉱山では破壊された坑道周辺岩盤が地圧と坑枠による反力を受けて健全な岩盤と同程度の強度に復活することが知られている。また、最近の研究では、低封圧下の来待砂岩について、実験室レベルで破壊後の圧縮により透水性が低下することが示されている(Takada & Fujii, 2009)。

本研究の目的は、支笏溶結凝灰岩について同様の試験を行い、軸ひずみ10%までの三軸圧縮に伴い浸透率がどのように変化するか明らかにすることである。

2. 試験方法

直径30 mm、高さ60 mmの円柱形支笏溶結凝灰岩コアを作製し用いた。溶岩が流動すると鉱物の配列や異なる結晶度・組織を示す部分が層状になって流理構造を生じることがある(三木・古谷, 1983)。この流理面を定めるため岩石ブロックのP波速度を測定し、ボーリングはP波速度の一番遅い流理面に垂直な方向とした。ボーリングマシンにより作製した直径30 mmのコアをダイヤモンドカッターを用いて約65 mmの長さで切断し、平面研削盤を用いて長さ60 mmまで研削するとともに、供試体の端面を平行かつ滑らかに仕上げた。

真空ポンプを用いて純水中にて24時間以上脱気した供試体の両端に中央に孔の空いたエンドピースを取り付けた。次に、ゼリー状の瞬間接着剤(東亜合成株式会社製、アロンアルファ、GEL10)を用いて、供試体の側面に向かい合うようにひずみゲージ(共和電業社製、KFG-10-120-D16-11N30C2、ゲージ有効長10 mm、 120 ± 0.8)を2枚貼付した。その後、供試体側面での水の移流を防ぐためにシリコンシーラント(信越化学工業株式会社、一液型 RTV ゴム、KE3495)を供試体側面に塗布した。次に、エンドピースと供試体を熱収縮チューブ(潤工社製、ジュンフロン FEP 熱収縮チューブ、NF300)で被覆した。被覆後の供試体を再び24時間以上純水中にて真空ポンプを用いて脱気し、実験に供した。

軸応力は材料試験機(インストロン社 5500R、機械式、250 kN)にて、封圧はダブルプランジャポンプとリリーバルブを用いて水圧で負荷した。軸方向荷重・クロスヘッド変位・上流側水圧・軸ひずみ・横ひずみ・封圧をデータロガーを介して、記録用パソコンに10秒に1回記録した。間隙水圧はシリンジポンプ(ISCO社製、500D型、最大容量507 ml、最大圧力26.3 MPa、最小流量0.001 ml/min、最

大流量204 ml/min)により供試体下端に純水で負荷し、下流側(供試体上端)は大気圧開放とした。間隙水圧は別のパソコンに10秒に1回記録した。実験室内の温度はエアコンを使って一定温度(22)に制御した。またベッセルの周囲にヒーターを取り付け、供試体と供試体に流入する水の温度を制御できるようにした。

実験の手順は以下のものである。

(1) 供試体のセッティング

被覆された供試体を、三軸ベッセルに挿入、試験装置にセットする。

(2) 軸圧を加える

材料試験機により、軸圧を1 MPa増加させる。

(3) 封圧を加える

封圧ポンプにより、封圧を1 MPa増加させる。

以降、実験を行う軸圧、封圧になるまで(2)、(3)を繰り返す。

(4) 間隙水圧を加える

供試体に0.3 ml/minの流量で通水する。

(5) 圧密

下流側への通水を確認した後、24時間圧密する。

(6) 軸方向に強制圧縮する

載荷速度 0.036 mm/min (10^{-5} s^{-1})で軸ひずみ10%まで供試体を変形・破壊させる。圧縮開始から終了までに要する時間は167 minである。

シリンジポンプ流量の0.3 ml/minを維持するために必要な上流側の間隙水圧から以下のダルシーの法則により浸透率を求めた。

$$q = \frac{K}{\mu} \frac{dP}{dL} A \quad (1)$$

ここで、

q : 流量(m^3/s)

A : 断面積(m^2)

K : 浸透率(m^2)

μ : 流体の静粘性係数($\text{Pa}\cdot\text{s}$)

dP/dL : 単位長さ当たりの圧力低下(Pa/m)

したがって、

$$K = \frac{q\mu}{A} \frac{dL}{dP} \quad (2)$$

であり、実験・測定で得た q 、 A 、 dL/dP を代入すると K が求められる。 μ は22の時は 0.96×10^{-3} ($\text{Pa}\cdot\text{s}$)、80の時は 0.355×10^{-3} ($\text{Pa}\cdot\text{s}$)である。

3. 実験結果

圧縮過程における軸差応力・間隙水圧と軸ひずみとの関係の例をFig. 1に示す。応力 - ひずみ線図の例をFig.

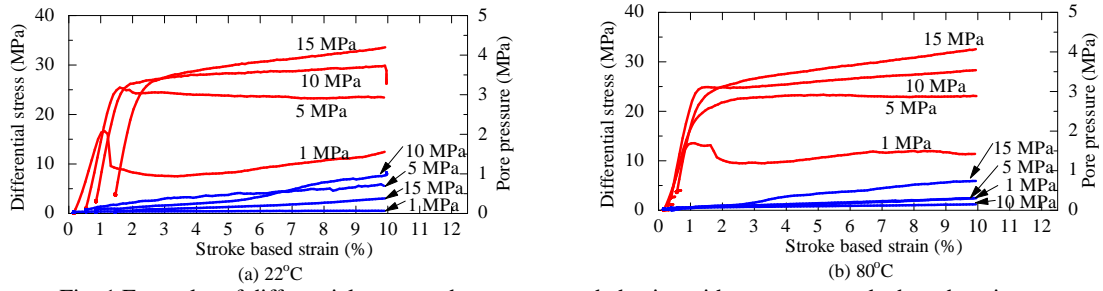


Fig. 1 Examples of differential stress and pore pressure behavior with respect to stroke based strain

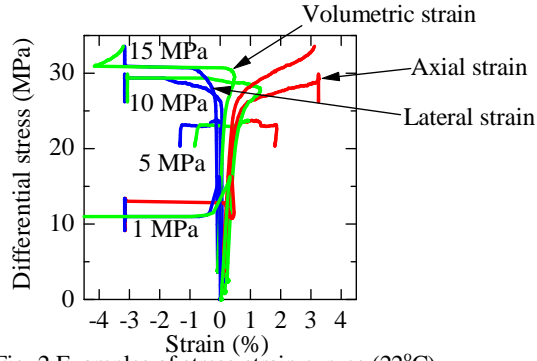


Fig. 2 Examples of stress-strain curves (22°C)

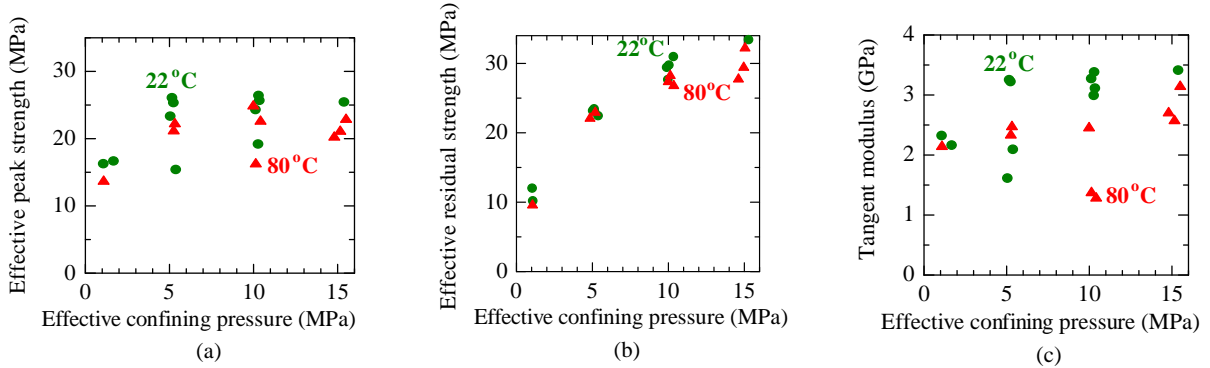


Fig. 3 Influences of effective confining pressure on mechanical properties

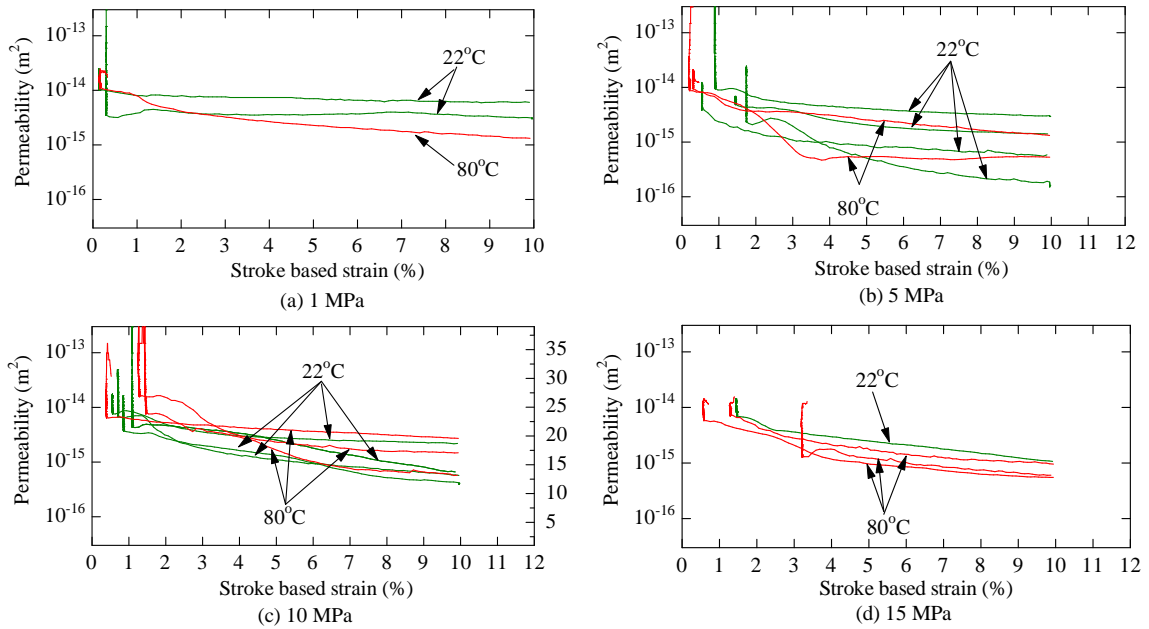


Fig. 4 Permeability behavior during compression

2 に示す(圧縮を正とする)。封圧 1 MPa の場合 22 と 80 のどちらにおいてもピーク後に応力低下と残留強度状態がみられる。封圧 5 MPa の場合は 22 の時はややひずみ軟化、80 の時はほぼ完全降伏になっている。10、15 MPa の場合は 22 と 80 のどちらにおいてもひずみ硬化がみられる。ピーク応力、残留強度、ヤング率は有効封圧とともに増加した(Fig. 3)。

圧縮に伴う浸透率の変化を Fig. 4 に示す。破壊時の急激なひずみ変化の影響による浸透率計算値の多少の変化を除けば、どの封圧においても、圧縮により浸透率は減少した。

圧密後の浸透率は 15 MPa で小さく、これは特に 80 で顕著である(Fig. 5a)。圧縮後の浸透率は 22 では 1 MPa で大きく(Fig. 5b)、80 では封圧の影響ははっきりしない。22 と 80 を比べると 80 の方が 1 MPa でははっきりと、その他の封圧でもやや小さい。22 では封圧 1 MPa のとき

に浸透率減少割合は小さく、5、10、15 MPa で大きい(Fig. 5c)。80 では封圧の影響は明らかではない(Fig. 5c)。

4. 画像解析結果

未載荷、1 MPa・80、15 MPa・22、15 MPa・80 で 24 時間圧密載荷した供試体についてブルーレジンを含浸させて研磨した薄片を作製して観察した(Fig. 6)。また、研磨薄片の画像からポアを写し取り、Scion Image を用いて画像解析を行った(Fig. 7、未載荷供試体の解析の例)。

未載荷及び各封圧、各温度における空隙率を Fig. 8 に示す。空隙率は封圧が大きくなると減少(-19.9%)しており、同様に温度が高くなると減少(-40.3%)している。

空隙の扁平率は、0.5 程度のもが多く(Fig. 9b)、長軸は、流理面に平行なものが多い(Fig. 9c)。どの直径・扁平率・角度の空隙が閉鎖しやすいなどは特にないようである。

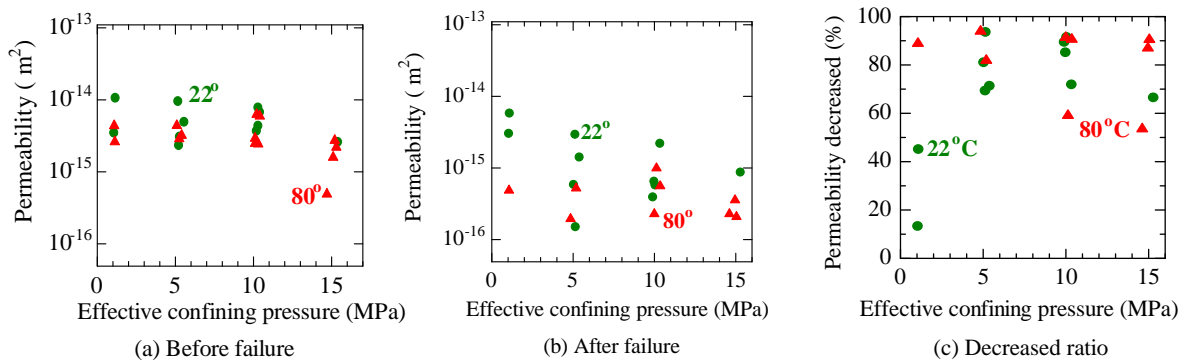
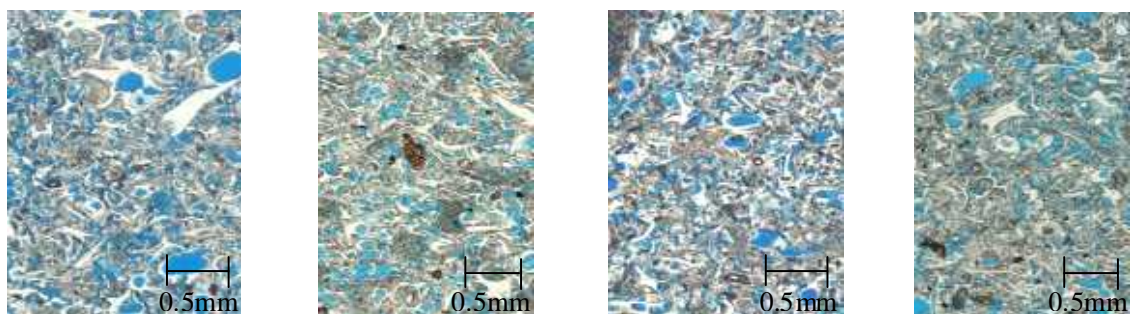


Fig. 5 Permeability vs. effective confining pressure



(a) No loading (b) 1 MPa・80 (c) 15 MPa・22 (d) 15 MPa・80

Fig. 6 Microstructure of specimens

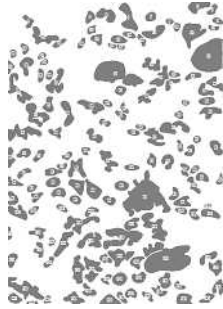


Fig. 7 An example of image analysis process (no loading)

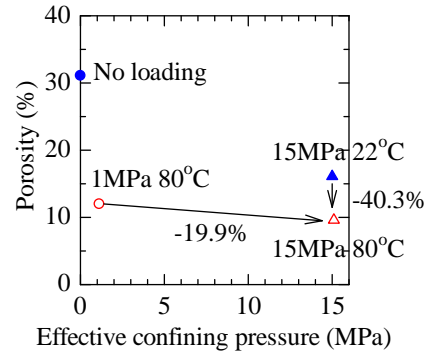


Fig. 8 Influence of confining pressure and temperature on permeability

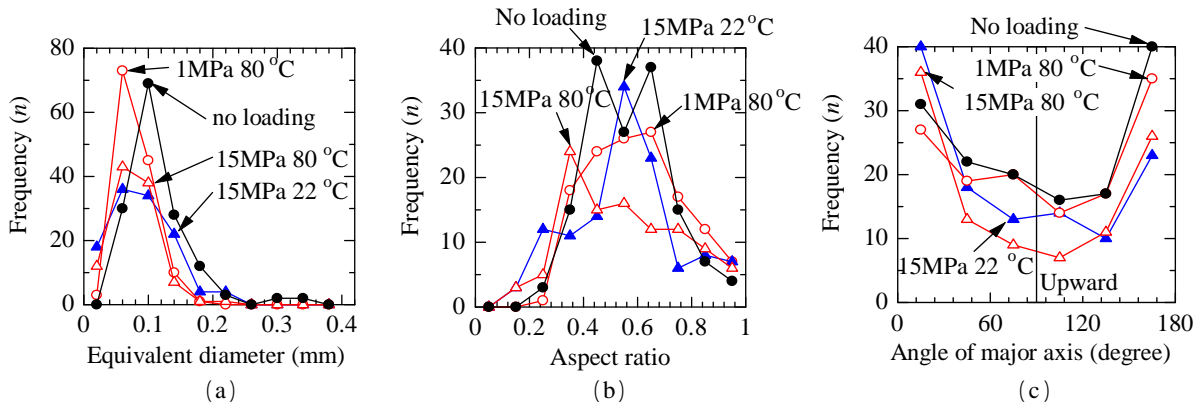


Fig. 9 Results of pore analysis

5. 考察

0.05 ~ 0.1 mm のポアの顕著な減少 (Fig. 9a) などから、封圧 15 MPa で圧密後の浸透率が小さくなったのは、封圧がほぼ一軸圧縮強度に達したためのポアの圧壊によるものと思われる。特に 80 °C での浸透率低下量が大きい、他の条件ではアスペクト比 0.4 ~ 0.7 が卓越しているのに対し、15 MPa、80 °C では 0.3 ~ 0.4 が卓越している (Fig. 9b) ことなどから、これは、ポアの圧壊が、高温による鉱物粒子のクリープ変形速度増加・応力腐食速度増加・圧力溶解速度増加・水の粘性低下などにより促進されたためと思われる。

次に 22 °C の封圧 1 MPa で圧縮後の浸透率低下量が小さかったのは、他の条件では破断面というよりも供試体全体の破砕が生じ、空隙率が減少して浸透率低下に至ったが、この条件では明瞭な破断面が生じ、破断面以外での破砕が少なかったためと思われる。22 °C よりも 80 °C で全体的に浸透率が小さかったのは、80 °C での圧密におけるポアの圧壊と同様に供試体の破砕が高温により促進されたためと思われる。

6. 結言

圧縮に伴う浸透率の変化を明らかにすることを目的として、浸透率を計測しながら支笏溶結凝灰岩を三軸圧縮した。得られた知見は以下のようである。

圧密後の浸透率は 15 MPa で小さく、これは特に 80 °C で顕著であった。圧縮後の浸透率は 22 °C では 1 MPa で大きく、80 °C では封圧の影響ははっきりしなかった。22 °C と 80 °C を比べると 80 °C の方が 1 MPa でははっきりと、その他の封圧でもやや小さかった。

圧縮後は、22 °C では封圧 1 MPa のときに浸透率減少割合が小さく、5、10、15 MPa で大きかった。80 °C では封圧の影響は明らかではなかった。22 °C より 80 °C の方が浸透率は小さかったが、粘性係数の関係で同じ水圧勾配なら 80 °C の方が流量は多いことになる。

今後、上記現象がみられたメカニズムのさらなる検討や他の岩種に関する実験を予定している。

なお、本研究の一部は科研費 (22560804) の助成による。

引用文献

- Takada, M. and Fujii, Y. (2009), An Experimental Study on Permeability of Kimachi Sandstone in Deformation and Failure Process under Deviator Stress, Proc. 3rd International Workshop and Conference on Earth Resources Technology, Yoneda and Sato (eds), 2009, Sapporo, Japan, pp. 124-131
- 三木幸蔵・古谷正和 (1983)、土木技術者のための岩石・岩盤図鑑、鹿島出版会