HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	釧路コールマインにおける白亜系砕屑岩の浸透率の計測
Author(s)	高橋, 徹; 菅原, 隆之; 藤井, 義明 他
Description	資源・素材学会 平成27年度春季大会、2015年3月27日（金）～29日（日）、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, 2015, 1514
Issue Date	2015-03-27
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/62805
Type	conference paper
File Information	MMIJ2015,Spring Meeting,1514.pdf

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

一般講演
岩盤力学基礎
2015年3月27日(金) 14:15 ～ 17:00 第５会場 (千葉工業大学)

[1514] 釧路コールマインにおける白亜系砕屑岩の浸透率の計測
Permeability Measurement of Cretaceous Clastic Rock at Kushiro Coal Mine

○高橋徹[1], 菅原隆之[1], 藤井義明[1], 児玉淳一[1], 福田大祐[1], 松本裕之[2], 内田景己[2] （1.北海道大学, 2.釧路コールマイン株式会社）

キーワード：釧路コールマイン, 白亜系砕屑岩, 浸透率

釧路コールマインの白亜系岩盤からメタンガスが湧出している。メタンガスの成因、移動メカニズム、採掘方法について検討するための基礎的なデータとして白亜系岩石の浸透率を計測した。実験では安全のためメタンガスではなく窒素ガスを使い、定圧力法とトランジェントパルス法を用いた。実験の結果、気乾状態の釧路砂質頁岩の浸透率は約10^{-18} m^2 程度であり、アメリカのシェールガスを胚胎する岩盤と同じ程度であった。また、割裂した岩石供試体を含水飽和させ、同様の実験を行ったところ、健全な岩石の約10,000倍の浸透率となり、来待砂岩と比較すると封圧依存性は小さかった。その原因として、岩石の強度の差が挙げられる。

©一般社団法人 資源・素材学会

1. はじめに

近年、堆積岩や堆積物に賦存する非在来型化石燃料に多くの関心が寄せられている。松本ら（2013, 2014a, 2014b）によれば、北海道釧路市の東南に位置する釧路コールマイン周辺でも、白亜紀層における岩盤層内のメタンガスの湧出が確認されており、その成因、流動経路、採掘方法等が検討されている。調査・研究対象地域は釧路コールマインの鉱区に重複・隣接する区域一帯である。本研究の目的は、釧路コールマインにおけるメタンガスの成因・湧出メカニズム・採掘方法を検討する一助となすための基礎的なデータを提供することで、そのために白亜系岩石の浸透率を測定した。

2. 供試体

実験には釧路コールマインの第 2 斜坑 1530 坑、深度 280.1～281.0 m の釧路砂質頁岩#1 と No. 3 ボーリング座の No. 1 ボーリングコア、深度 195.90 m~196.43 m の釧路砂質頁岩#2 を使用した。また、比較のために新第三系の来待砂岩でも実験を行った。

3. 健全な供試体の浸透率測定

本来はメタンガスで実験すべきだが、本研究では安全のため窒素ガスを用いた。直径 30 cm 高さ 60 cm の供試体にエンドピースを取り付け、供試体側面でのガスの移流を防ぐため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）でコーティングした。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。被覆した供試体を超小型三軸セル（Alam et al., 2014）に挿入し、材料試験機（インストロン社製、5500R、機械式、250 kN）で軸圧、ダブルプランジャポンプで封圧を作用させ静水圧とした後、窒素ボンベから窒素ガスを注入した（Fig. 1）。注入圧は 0.4 MPa または 2 MPa である。

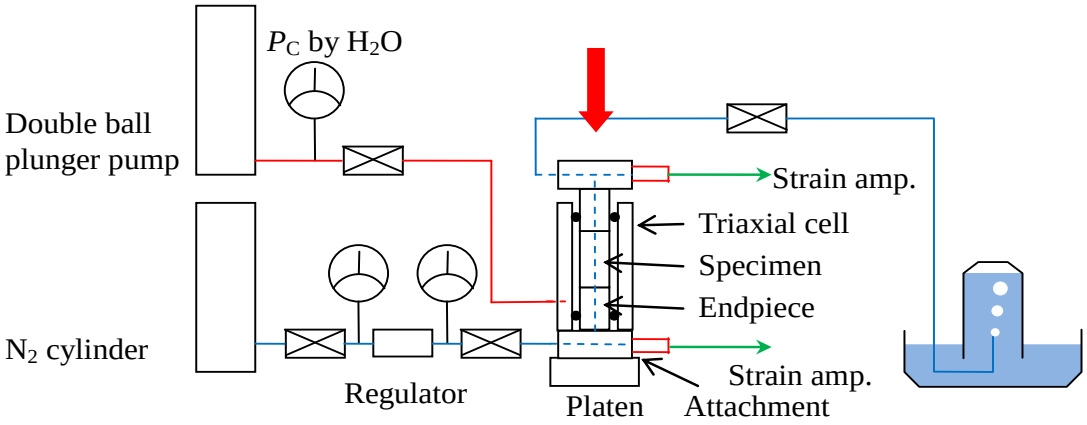


Fig. 1　A schematic diagram of the apparatus.

上流圧を一定に保ちながら大気圧に開放していた下流側のバルブを閉じ、下流の圧力変化を測定した。トランジェントパルス法の理論式（近似法、Brace et al., 1968）は、

$$K = \frac{\mu L \alpha}{(G_1 + G_2)A} \tag{1}$$

μ : Viscosity (Pa·s)
L : Specimen length (m)
G_1 : Stiffness of upstream (Pa/m^3)
G_2 : Stiffness of downstream (Pa/m^3)
A : Sectional area (m^2)

となる。α は圧力の経時変化（Fig. 2）から、

$$\alpha = \frac{\ln(\Delta p_1 / \Delta p_2)}{\Delta t} \tag{2}$$

のように求める。

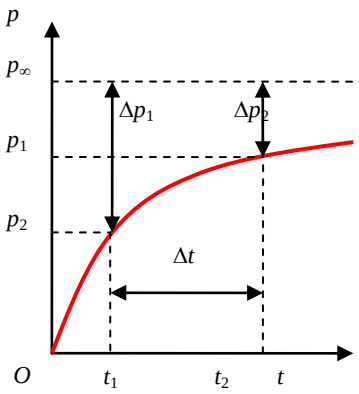


Fig. 2　A schematic diagram of pressure variation in transient pulse method.

ここで、$G_1 \ll G_2$ より G_1 は省略でき、結局、浸透率は以下の式で求めることができる。

$$K = \frac{\mu L \alpha}{G_2 A} \tag{3}$$

G_2 は、来待砂岩の定圧力法とトランジェントパルス法による結果からあらかじめ逆算して求めてある。ガスの粘性率は圧力依存性が小さく温度に依存し、以下の式で表される（http://www.lmnoeng.com/Flow/GasViscosity.php）。

$$\mu = \mu_0 \times \frac{a}{b} \times \left(\frac{T}{T_0}\right)^{\frac{3}{2}}$$
$$a = T_0 + C \tag{4}$$
$$b = T + C$$

窒素ガスの場合は、μ_0 = 0.01781 (pa·s)、T_0 = 300.25 (K)、C = 111 (K)なので、T = 295 (K)の場合、μ = 1.765×10^{-5} pa·s である。

得られた浸透率（注入圧 2 MPa）における結果は 10^{-18} m^2 程度（10^{-6} darcy あるいは 0.001 md、Fig. 3a、IDG20）と大変小さく、アメリカのシェールガスを胚胎する岩石（森島、2009）と同様の値であった。また、含水飽和させた岩石に対し窒素を注入する二相流試験での相対浸透率は、来待砂岩に対する予備試験（Fig. 3c）で 1%程度（ISG04/IDG04）であり、これを行うのは現状の設備では不可能であると判断し実施しなかった。

4 割裂した供試体の浸透率測定

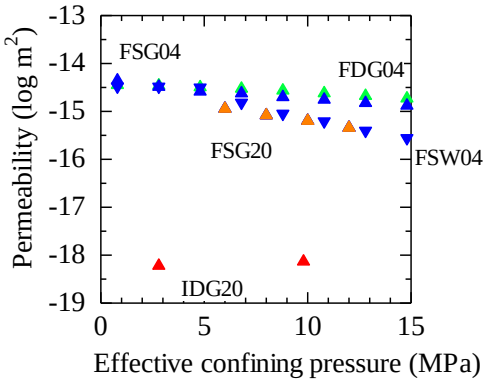
健全な供試体の浸透率の測定結果からこの白亜紀層にガスが含有されているとしたらそうとう破砕しないと取り出すことができないことがわかる。また、下位層にガスが含有しているとしたらこの層は強力なキャップロックとして機能していると考えられる。いずれにしろ、ガスは白亜紀層の亀裂に沿って移動・湧出しているものと考えられる。そこで、割裂した供試体に対して試験を行った。

圧裂引張試験で供試体に亀裂を生じさせ（Fig. 4）、定圧力法で窒素を注入し、流量から浸透率を測定したところ、釧路砂質頁岩#1 の浸透率（Fig. 3a, FDG04）は健全な供試体（IDG20）の 1000～10000 倍に増加し、10^{-14}～10^{-15} m^2 のオーダーであった。後述する来待砂岩のように、破断面が含水飽和している場合には浸透率が低下するはずと考えられるが、含水飽和させてガスを注入しても浸透率に大差なかった（FSG04, FSG20）。含水飽和させて水を流した場合（FSW04、日科機バイオス社製シリンジポンプ 500D を使用）には、含水飽和させてガスを流した場合（FSG04, FSG20）と大差ない浸透率が得られた。

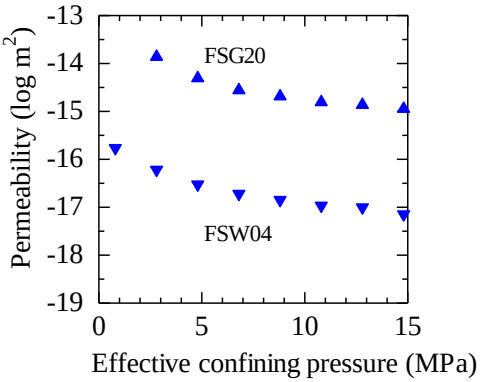
供試体#2 を含水飽和させガスを流した場合、#1 と同じオーダーの浸透率が得られたが（Fig. 3b, FSG20）、#1 より大きな封圧依存性がみられる。含水飽和させて水を流した場合には、浸透率は大きく低下した（FSW04）。

比較のために行った来待砂岩では、割裂による浸透率増加量は最大でも 100 倍程度（Fig. 3c, FDG04, FSG04, FSG20）で、封圧の増加に伴って浸透率が大きく減少し、有効封圧 5 MPa～15 MPa で健全な供試体（IDG04）とほぼ同様な浸透率になった。浸透率の大きさは、気乾状態の供試体にガスを流した場合（FDG04）の方が、含水飽和状態の供試体にガスを流した場合（FSG04, FSG20）よりも大きくなるというごく一般的な現象が確認できた。

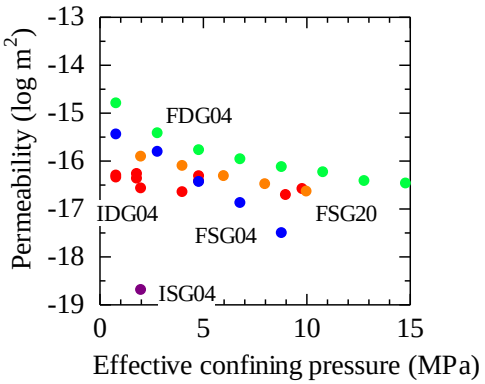
このように、来待砂岩ではごく一般的と思われる結果が得られたが、釧路砂質頁岩の試験結果は大きくばらつき、捉えどころのない結果になった。



(a) Kushiro sandy shale #1



(b) Kushiro sandy shale #2



(c) Kimachi sandstone

Fig. 3 Results of permeability measurements. I/F : Intact/Fractured, D/S : Dry/Saturated, G/W : Gas/ Water, 04/20 : 0.4/2.0 MPa

5. 割裂した供試体の破断面

封圧依存性が小さかった原因を調べるため、3D スキャナーPICZA（ローランド社製、model PIX-30）を用いて破断面の 25 mm×25 mm の範囲の凹凸を 0.1 mm ピッチでスキャンした（Fig. 5）。高さ（z）方向の解像度は 25 μm である。破断面のプロファイルやその空間スペクトラム密度（Fig. 6）には、封圧依存性の差異の原因となるような大きな特徴は特にみられなかった。

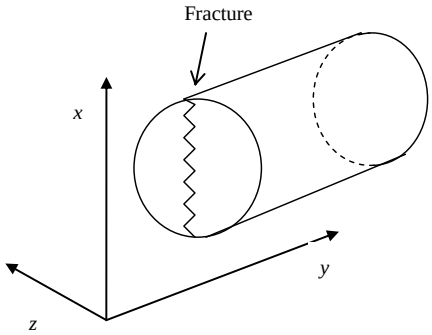
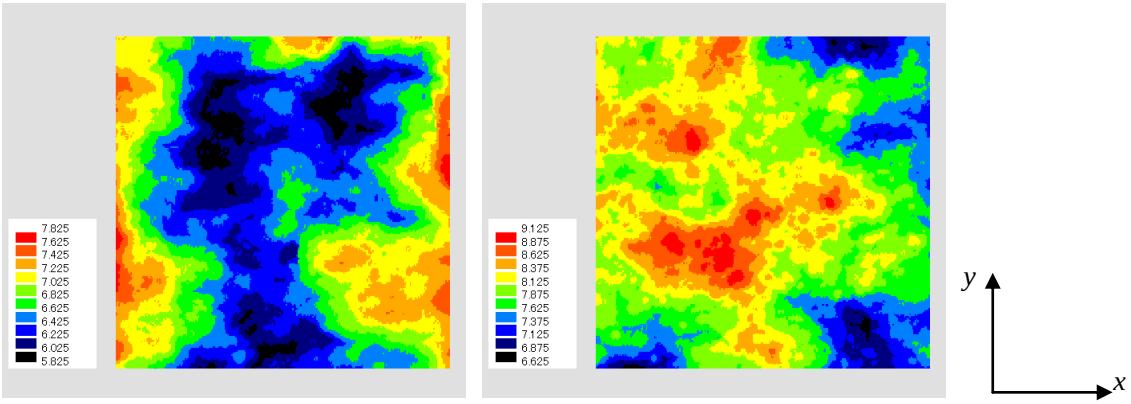
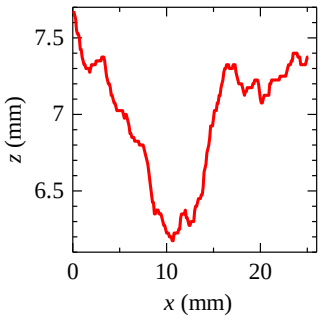


Fig. 4　A schematic diagram of the fractured specimen.

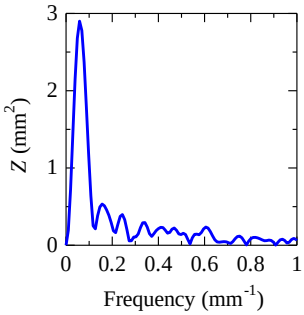


(a) Kushiro sandy shale #1　　(b) Kimachi sandstone

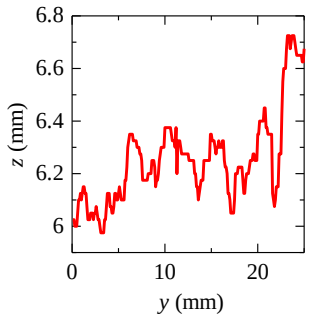
Fig. 5　Height of rupture plane (mm).



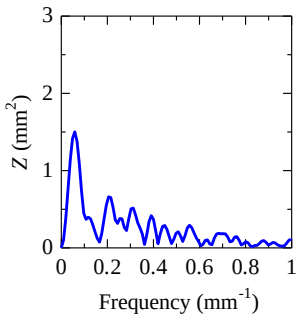
(a) Surface profile along *x*



(b) Spatial spectrum density along *x*

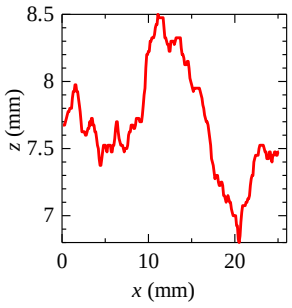


(c) Surface profile along *y*

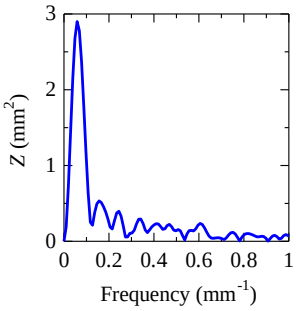


(d) Spatial spectrum density along *y*

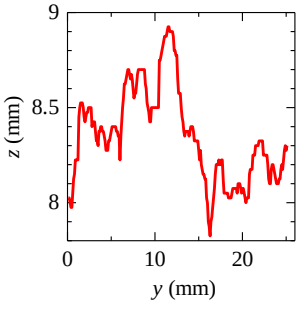
Fig. 6 Profile and Fourier spatial spectrum density *Z* of rupture plane height of Kushiro sandy shale #1.



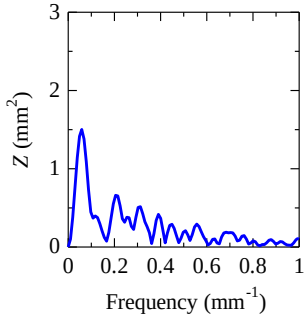
(a) Surface profile along *x*



(b) Spatial spectrum density along *x*



(c) Surface profile along *y*



(d) Spatial spectrum density along *y*

Fig. 7 Profile and Fourier spatial spectrum density *Z* of rupture plane height of Kimachi sandstone.

5. まとめ

健全な釧路砂質頁岩の浸透率は 10^{-18} m^2 程度、割裂して窒素ガスを流した場合は 10^{-14} ~10^{-15} m^2 程度、水を流した場合は 10^{-15}~10^{-17} m^2 であった。今のところ試験結果にはばらつきが大きく、とらえどころのないものとなっているが、圧縮せん断面を有する供試体の浸透率の測定等も行い、まとまった知見を得、ガス移動のシミュレーション等に活かす所存である。

謝辞

本研究では、平成 25 および 26 年度経済産業省資源エネルギー庁の補助事業で実施したボーリングから回収したコアを使用した。

引用文献

Alam, B., Niioka, M., Fujii, Y., Fukuda, D and Kodama, J. (2014), Effects of Confining Pressure on the Permeability of Three Rock Types under Compression, International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, Vol. 65, pp. 49-61

Brace, W. F., Walsh, J. B., and Frangos, W. T. (1968), Permeability of Granite under High Pressure, J. Geophys Res., Vol. 73, pp. 2225-2236

松本裕之・中田英二・児玉淳一・麻植久史・鮎沢潤・内田景己（2013）、第 1 回岩層ガス採掘小委員会の活動報告、資源・素材 2013（札幌）講演資料、A1-10, pp. 27-30

松本裕之・内田景己・高橋徹・藤井義明・児玉淳一・鮎沢潤（2014a）、第 2 回岩層ガス採掘小委員会の活動報告、資源・素材 2014（熊本）、A4-2

松本裕之・藤井義明・児玉淳一・鮎沢潤・内田景己（2014b）、釧路地方の岩層メタンガスについて（2）、資源・素材学会北海道支部平成 26 年度春季講演会講演要旨集、pp. 9-10

森島宏（2009）、石油・天然ガス資源情報、http://oilgas-info.jogmec.go.jp/dicsearch.pl?freeword=%E3%82%B7%E3%82%A7%E3%83%BC%E3%83%AB%E3%82%AC%E3%82%B9&target=KEYEQ