HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	過渡的な軸応力の擾乱による釧路コールマインにおける白亜系砂質頁岩の浸透率変化
Author(s)	大島, 徹平; 藤井, 義明; 児玉, 淳一 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, -3401-10-04
Issue Date	2017-03-27
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/65421
Type	conference paper
File Information	MMIJ2017.3401-10-04.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)

[3401-10-04] 過渡的な軸応力の擾乱による釧路コールマインにおける白亜系砂質頁岩の浸透率変化
Changes in Permeability of Cretaceous Sandy Shale at Kushiro Coal Mine due to Transient Axial Stress Disturbance

○大島 徹平[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）
○Teppei Oshima[1], Yoshiaki Fujii[1], Jun-ichi Kodama[1], Daisuke Fukuda[1], Hiroyuki Matsumoto[2], Kagemi Uchida[2]（1. Hokkaido University, 2. Kushiro Coal Mine）

キーワード：釧路コールマイン、白亜系砂質頁岩、過渡的な軸応力の擾乱、浸透率変化
Kushiro Coal Mine, Cretacious sandy shale, Transient disturbance of axial stress, Change in permeability

ファーフィールドにおける地震後の井戸水位の変位、冷戦下のロシアでの地盤への人為的な振動による地下核実験探知の攪乱が行われた際の近傍の天然ガス井の生産量増加、釧路コールマインの坑内湧水の排出量が北海道の南東沖で生じたM7.5以上の地震3つ全てで発生前24時間以内に減少し、地震後に増加したことなどは過渡的な応力の擾乱による浸透率の変化を示すものと考えられ、釧路コールマインで白亜系から湧出しているメタンガスのEORに応用できる可能性がある。そこで、釧路コールマインにおける白亜系砂質頁岩の過渡的な軸応力の擾乱による浸透率変化について調査した。同コールマインから採取した白亜系砂質頁岩の三軸圧縮試験の前後に、静水圧3～15 MPa、上流側間隙水圧1 MPa、下流は大気圧開放で浸透率を測定した。測定の中途に1～5 MPaの過渡的な軸応力の擾乱を与えた。実験の結果、もちろん、圧縮破壊によって浸透率は増加したが、過渡的な軸応力の擾乱によって破壊前・破壊後のいずれの場合でも、浸透率は低下した。浸透率の低下の割合は、静水圧に対する過渡的な軸応力の擾乱の割合が小さいほど大きかった。

©一般社団法人 資源・素材学会

1. はじめに

釧路コールマインは、北海道釧路市の南東部に位置する国内唯一の坑内掘海底炭鉱である。現在採掘している新生代古第三紀の石炭の下位に堆積する白亜系からメタンガスが湧出しており、近年その開発について研究が進められている（松本ら、2016）。商業生産においては水圧破砕や坑井刺激が必要になると思われるが、近年、ファーフィールドにおける地震後の井戸水位の変位（Manga et al., 2012）、冷戦下のロシアでの地盤への人為的な振動による地下核実験探知の攪乱が行われた際の近傍の天然ガス井の生産量増加（Roegiers, 2016）、釧路コールマインの坑内湧水の排出量が北海道の南東沖で生じた M7.5 以上の地震 3 つ全てで発生前 24 時間以内に減少し、地震後に増加したこと（藤井ら、2015）など、過渡的な応力の擾乱による浸透率の増加を示すと思われる報告があり、釧路コールマインにおける白亜系から湧出しているメタンガスの増進回収にも応用できる可能性がある。そこで、釧路コールマインにおける白亜系砂質頁岩の過渡的な軸応力の擾乱による浸透率変化について調査した。

2. 岩石試料

本研究の実験に用いた岩石試料は第 2 斜坑 650 m のボーリング座 No. 72 で採取されたボーリング孔孔口から 322.65 m～323.50 m の白亜系砂質頁岩である。同じ孔ではないが、白亜層への下向き鉛直ボーリングコアで採取された細粒ないし微粒の砂岩について以下が明らかになっている（松本ら、2014、Fig. 1）。

部分的に粗粒（細礫）岩や細粒（泥～シルト）岩、これらの間で上方細粒化を示す層準もあるリップアップクラスト・生物擾乱などを伴うタービダイトであり、Bouma の完全シーケンスは見出されない。無作為に抽出した砂岩試料のモード組成はアレナイトないしワッケ領域にあり、顕微鏡下では微細な分散型有機物片や炭質物の小レンズが認められる。全岩元素分析による有機炭素の含有率は 0.15−0.59％、対応する炭素／窒素比が 7.0−14.0 の範囲にあることから、マクロサイズの炭質物片を除くと、炭素の起源は海成有機物と思われる。

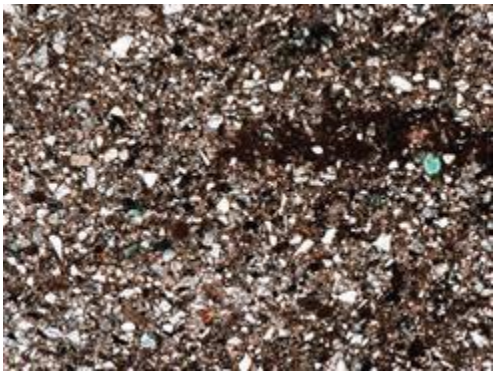


Fig. 1 Thin sectional image of the sandstone at 180 m deep of the drill hole at 650 m of #2 inclined shaft (the width of the image is 3.5 mm, Matsumoto et al., 2014)

3. 実験結果

ボーリングコアから作製した直径 30 mm、長さ 60 mm の供試体にエンドピースを取り付け、シリコンシーラントを表面に塗布し、熱収縮チューブを被せ、ヒートガンによって収縮させた。純水中で 2 日間以上真空脱気して含水させた供試体を超小型三軸セル（Alam et al., 2014）に挿入して材料試験機にセットした（Fig. 2）。材料試験機とシリンジポンプにより静水圧を負荷し、上流側に 1 MPa の間隙水圧を別のシリンジポンプで与え、下流側を大気圧に開放した。定水位法による浸透率測定（Fig. 3a, c）を行い、その途中で応力の擾乱を与えた（Fig. 3b）。そのまま三軸圧縮試験を行って供試体を破壊し（Fig. 3d）、さらに浸透率を測定（Fig. 3e, g）、その途中で過渡的な応力擾乱を与えた（Fig. 3f）。

岩石の浸透率はシリンジポンプの水量変化(Fig. 4)の傾きから求めた流量を水の粘性係数 $\mu = 9.57\times10^{-4}$ (Pa・s)、圧力勾配 $dp/dx = 1.667\times10^{7}$ (Pa/m)、断面積 $A = 7.07\times10^{-4}$ (m^2)とともに以下の式に代入して求めた。

$$k = \frac{q\mu}{\frac{dp}{dx}A} \tag{1}$$

k : Permeability (m^2)
q : Flow rate (m^3/s)
μ : Viscosity (Pa・s)
dp/dx : Pressure gradient (Pa/m)
A : Cross sectional area (m^2)

応力の擾乱は周波数 0.5 Hz 、継続時間 200 s とし、静水圧が 10 MPa の場合の応力振幅を 0, 1, 5 MPa 、静水圧が 3 MPa の場合の応力振幅を 1 MPa とした(Table. 1)。

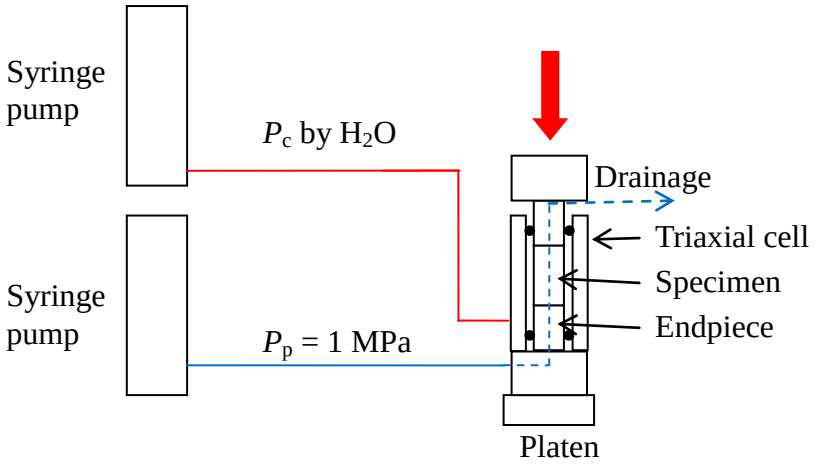
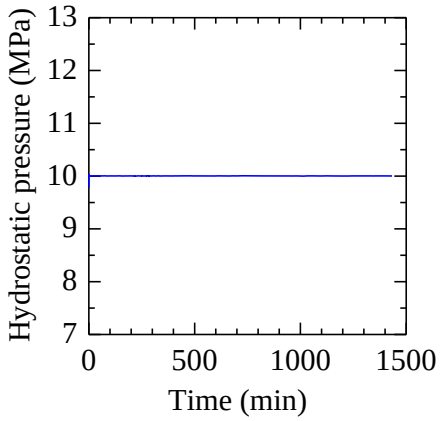
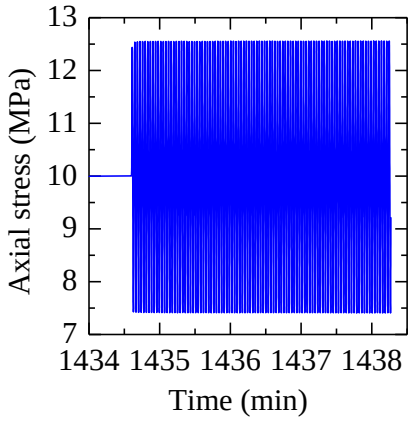


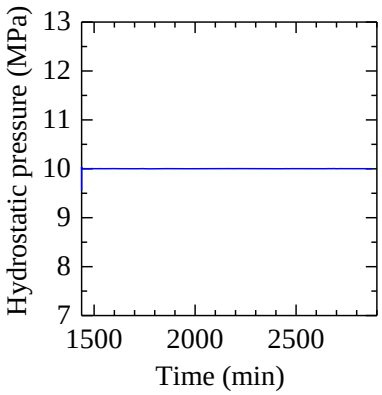
Fig. 2 A schematic diagram of the testing system.



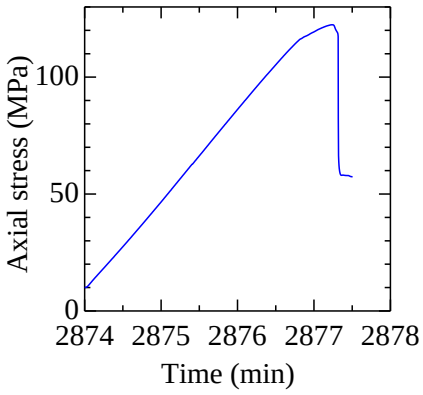
(a) Hydrostatic pressure of 10 MPa for 24 h



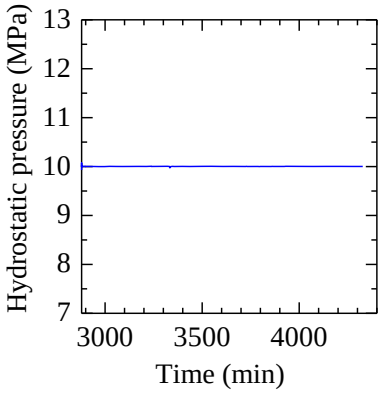
(b) Stress disturbance of 5 MPa for200 s



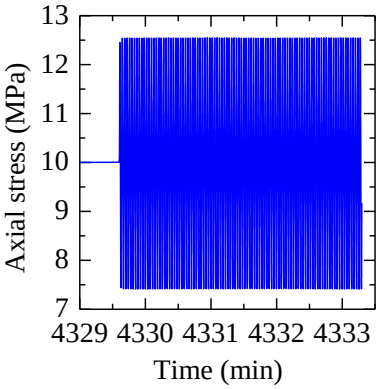
（c）Hydrostatic pressure of 10 MPa for 24 h



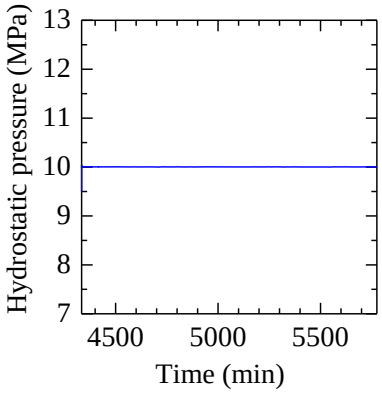
（d）Triaxial compression



（e）Hydrostatic pressure of 10 MPa for 24 h

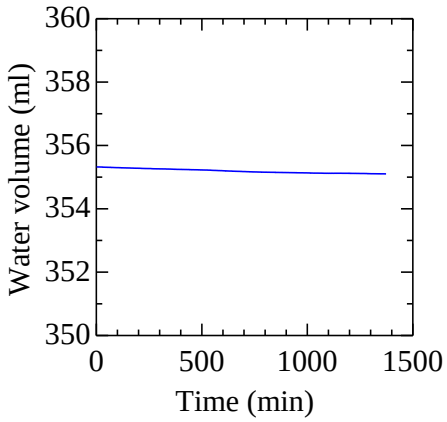


（f）Stress disturbance of 5 MPa for 200 s

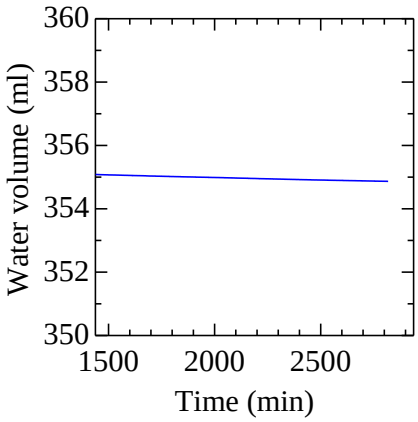


（g）Hydrostatic pressure of 10 MPa for 24 h

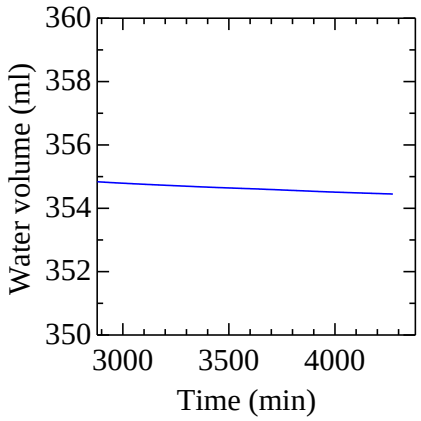
Fig. 3 Example of hydrostatic pressure and axial stress.



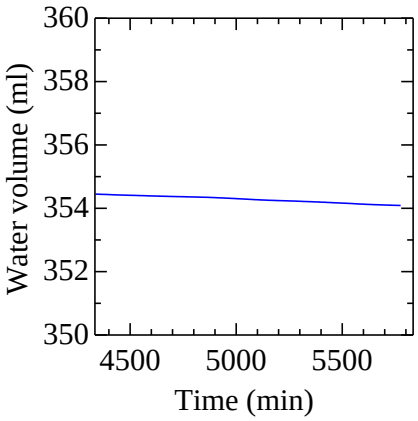
（a） Intact



（b） Intact after disturbance



（c） Post failure

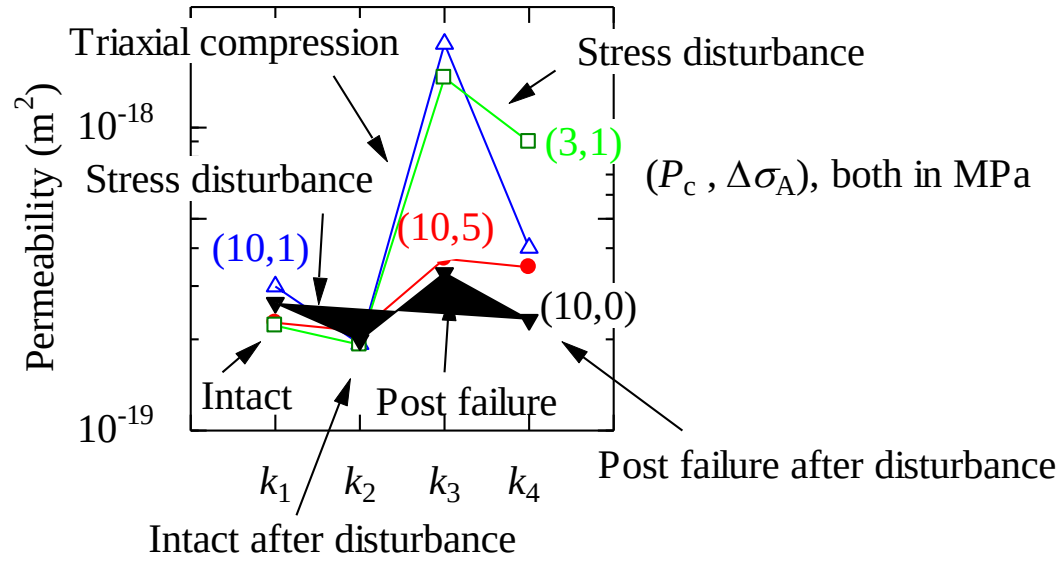


（d） Post failure after disturbance

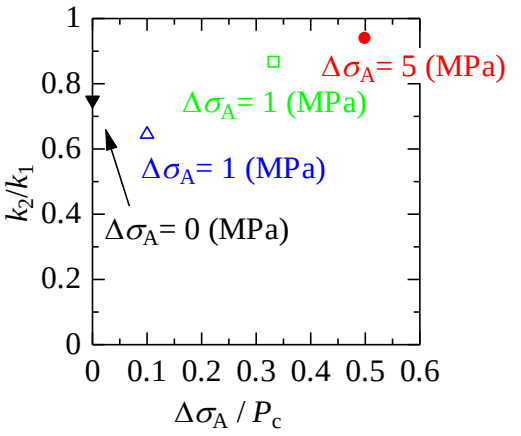
Fig. 4 Change in water volume of the syringe pump.

Table. 1 Results of the tests.

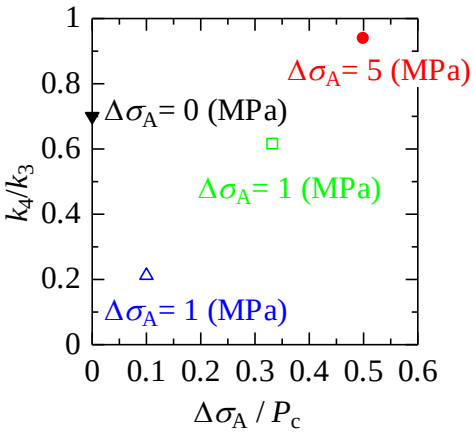
Test	P_c (MPa)	$\Delta\sigma_A$ (MPa)	Permeability ($\times 10^{-19}$ m^2)			
			Intact	Intact after disturbance	Post failure	Post failure after disturbance
#1	3	1	2.22	1.92	14.6	8.96
#2	10	0	2.64	1.99	3.31	2.32
#3	10	1	2.99	1.93	18.9	4.01
#4	10	5	2.27	2.13	3.69	3.46



(a) Change in permeability



(b) Permeability change before failure



(c) Permeability change after failure

Fig. 5 Change in permeability due to stress disturbances and triaxial compression.

浸透率は、本研究で行なった静水圧と応力擾乱の組み合わせにおいて同様の挙動を示した。すなわち、三軸破壊により浸透率は増加したが、破壊前でも後でも、応力擾乱により浸透率は減少した(Fig. 5a)。三軸破壊で岩石に亀裂が生じ、浸透率が大きくなったことは明らかである。応力の擾乱による浸透率減少の原因は、圧密によるものと考えられる。インタクトな岩石の浸透率を k_1、インタクトで応力擾乱後の浸透率を k_2、三軸圧縮破壊後の浸透率を k_3、三軸圧縮破壊後で応力擾乱を与えた後の浸透率を k_4 とすると、データが少ないこともあり、明瞭な傾向は覗えないが、静水圧の大きさに対する応力擾乱の振幅の大きさが大きいほど浸透率の変化は小さいようにみえる(Fig. 5b, c)。この原因は、不明だが、応力振幅が大き過ぎるとマイクロクラックや亀裂の噛みあいが外れて圧密による浸透率の減少が相殺されるためかもしれない。

4. まとめ

過渡的な応力擾乱による坑井刺激の可能性を検討するために、三軸試験中に過渡的な軸応力の擾乱を与える試験を実施したところ、過渡的な軸応力擾乱により浸透率はむしろ減少することを明らかにした。より現実的な坑井刺激と考えられる間隙水圧擾乱の作用についても検討したい。

引用文献

藤井義明・児玉淳一・福田大祐・市原義久・松本裕之（2015）、釧路コールマインにおける排水量は、北海道東方沖並びに釧路沖においてM7.5以上の地震が発生する直前に減少し、発生後に増加した、資源・素材学会春季大会講演集、[1510]

松本裕之・内田景己・鮎澤潤（2016）、岩層ガス採掘小委員会の活動報告　第4報、企画講演・最近の採掘技術に関するトピック、資源・素材講演集　Vol. 3、No. 2（秋・盛岡）、[1101]

松本裕之・内田景己・高橋徹・藤井義明・児玉淳一・鮎沢潤（2014）、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）企画発表・一般発表講演集（WEB版）、 2014: A4-2

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

Manga, M., Beresnev, I., Brodsky, E. E., Elkhoury, J. E., Elsworth, D., Ingebritsen, S. E., Mays, D. C. and Wang, C.-Y. (2012), Changes in Permeability Caused by Transient Stresses: Field Observations, Experiments, and Mechanisms, Rev. Geophys., Vol. 50, RG2004, doi:10.1029/2011RG000382

Roegiers, J.-C. (2016), Personal Communication at ARMA2016 Meeting, Houston, June 29.