

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 2 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25420881

研究課題名(和文) 低周波数領域におけるメタンハイドレート賦存層の弾性波減衰特性実験法の構築

研究課題名(英文) Low frequency measurement system for seismic attenuation in methane hydrate bearing sediments

研究代表者

松島 潤 (Matsushima, Jun)

東京大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：70282499

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、室内実験で扱うことが難しいとされている低周波数領域(通常の実フィールド地震探査で使用される周波数領域)に拡張することにより、これまで実施してきたメタンハイドレート賦存層における減衰現象の周波数依存性(高周波数側：室内実験、低周波数側：実フィールド地震探査)を一元的かつシームレスに分析することを可能とし、減衰現象の周波数依存性を説明するためのマルチスケール岩石物理学モデルを完成させ、弾性波減衰を利用するメタンハイドレート資源探査の指針を理論的に構成することを目指した。特に、応力発光体を用いて波動現象を光学的に測定する先駆的な試みを行った。

研究成果の概要(英文)：To validate attenuation phenomena in methane hydrate bearing sediments, which have been observed in various seismic methods at widely different frequencies and to elucidate the rock physics mechanism responsible for those phenomena, low-frequency laboratory experiments were conducted. We tried to construct a laboratory measurement system utilizing a mechanoluminescent sensing material. The advantage of using this technique is that we can measure the stress field over entire region of a sample, which may lead to more stable measurements than existing methods measuring stress and strain at a point or a whole. This method is the first trial to measure seismic wave by optical sensing.

研究分野：物理探査(地震探査)

キーワード：メタンハイドレート 地震波減衰 低周波数

1. 研究開始当初の背景

メタンハイドレート(MH)の効率的な生産のためには、MH 濃集帯を検知することが探査分野で重要になっている。MH 層は、弾性波動伝播の観点では高速度帯として特徴付けられるため、MH 飽和率と弾性波速度との定量的関係を推定することに注力されてきたが、さらに弾性波の減衰特性を利用することで探査精度を向上することが提案され、近年 MH 層における減衰に関する研究が行われるようになってきた (Guerin and Goldberg, 2002)。研究実施者も、2003 年頃より MH 層における弾性波減衰特性に関する研究を開始し、音波検層データ (Matsushima, 2005)、ゼロオフセット VSP データ (Matsushima, 2006・2007) の各種フィールド地震探査データを用いることにより、MH 層での減衰現象を複数の周波数領域で解析・評価し、研究成果については有力国際誌にて発表してきた (Matsushima, 2005・2006)。このように近年の弾性波減衰特性を利用した探査手法の技術的進歩があり実フィールドにおける観測的事実が整備されつつあるが、弾性波減衰現象に関する実験的・理論的研究が未整備であった。とりわけ、MH 賦存層における特徴的な弾性波伝播特性として、高速度かつ高減衰という物理的直感に反する特異な現象が観測されている。その減衰メカニズムについては、孔隙スケールでの粒子と孔隙中に存在する流体との相互作用であることが理論的に示唆されていたものの (Chand and Minshull, 2004)、さらなる実験的・理論的説明が求められていた。

研究実施者は、科研費 (若手研究 A・平成 18 年度から平成 20 年度)「メタンハイドレート賦存層の弾性波減衰特性に関する室内実験・岩石物理学的研究」において、MH 賦存層で観測される弾性波高速度・高減衰現象を高周波数領域 (150kHz-650kHz) で実験的に実証し、さらに減衰メカニズムを説明する物理モデルを考察した。これらの成果は有力国際誌に掲載された (Matsushima et al., 2008; Matsushima et al., 2011)。さらに研究実施者は、科研費 (基盤研究 B・平成 21 年度より平成 23 年度)「弾性波減衰特性を考慮したメタンハイドレート濃集帯評価法の構築と濃集機構の解明」において、各種地震探査データならびに室内実験データ (高周波数領域) を統合することにより減衰現象の周波数依存性、波動モードによる差異を説明するためのマルチスケールでの岩石物理学モデルを構築し、減衰現象に着目して MH 濃集帯を探査する理論体系を確立することを目指した。しかしながら、減衰解析に使用した地震探査データには、様々なノイズを含んでいること、さらに場の不均質性に起因する散乱減衰効果を含んでいるため、これらの影響を適切に除去することは容易ではないため、減衰現象に関する物理学モデル構築が未完

成となり、弾性波減衰を利用するメタンハイドレート資源探査の指針を理論的に構成するに至らなかった。このような状況において、近年低周波数領域 (各種地震探査で使用される周波数領域) での弾性波減衰室内実験が可能になってきており、このような実験装置を新規に提案することを考えた。

2. 研究の目的

室内実験で扱うことが難しいとされている低周波数領域 (各種地震探査・物理検層で使用される周波数領域: 10Hz から数 10kHz 程度) に拡張することにより、メタンハイドレート賦存層 (以下 MH 層) における弾性波減衰現象の周波数依存性を一元的かつシームレスに測定・分析することを可能にする実験システムを構築する。既存実験手法を適用するとともに新規実験手法を開発し、実験システムとしての最適化を図る。さらに、これまで応募者が各種地震探査データより得てきた減衰解析結果と比較・検証しつつ、減衰現象の周波数依存性を説明するためのマルチスケール岩石物理学モデルを完成させ、弾性波減衰を利用するメタンハイドレート資源探査の指針を理論的に構成する。

Z W

3. 研究の方法

(1) 応力発光体を用いた室内実験法の構築

応力発光とは、圧縮、引張などの外力により発光する現象であり、歪みゲージや圧電素子による接触型測定とは異なり非接触での測定が可能のため、高い再現性の実現、高精度の測定が期待できる。このような発光性能を有する物質を含む応力発光フィルムをサンプルに塗布し、応力発光の強度と分布をフォトカウンターと高感度 CCD カメラで測定する。同様に既知物質を用いたテスト測定を行いことにより再現性と不確実性を定量的に評価する。最終的に、模擬 MH 試料に対して弾性波減衰特性測定 (P 波ならびに S 波) を実施する (10Hz から 1000kHz)。

(2) 減衰現象の周波数依存性を説明するためのマルチスケール岩石物理学モデル

室内実験により得られた広範囲に渡る周波数領域 (10Hz から 1000kHz) における MH 層での減衰特性と応募者らがこれまで各種地震探査データより導出した減衰特性の結果とを比較・検証し、差異を議論・考察する。最終的に一連の減衰特性の周波数依存性を包括的に説明できる物理モデルを完成させ、弾性波減衰を利用するメタンハイドレート資源探査の指針を理論的に構成する。

4. 研究成果

応力発光体を 5cm 立体的なアクリル物体に均一に塗布し、高感度カメラを利用して応力発光の強度と分布を測定する基本システムを構築して測定を開始したが、微弱な発光を取得することが困難であり、微弱な発光を取得できるさらなる高感度カメラが必要である

ことがわかった。また、マルチスケール岩石物理学モデルについては、様々なモデルの中から Guerin and Goldberg(2005)モデルと Best et al.(2013)モデルの特徴を比較し、両者の適用価値を見いだした。さらに、未固結媒体ならびに固結媒体を塩水飽和させた物質を部分凍結させたものを模擬メタンハイドレート試料としてみたてた試料について、P波とS波での減衰メカニズムの相違を議論した結果、Squirt Flowに起因したP波減衰が permeable な地層特性を表現していることから、メタンハイドレート層における減圧法の最適箇所を選定にはP波減衰が有効であるという探査指針を理論的に構成した。

<引用文献>

- Guerin, G., and D. Goldberg, 2002, Sonic waveform attenuation in gas hydrate-bearing sediments from the Mallik 2L-38 research well, Mackenzie Delta, Canada: *Journal of Geophysical Research*, 107, EPM 1-1-EPM 1-11, doi: 10.1029/2001JB000556.
- Matsushima, J., 2005, Attenuation measurements from sonic waveform logs in methane hydrate-bearing sediments at the Nankai Trough exploratory well off Tokai, central Japan: *Geophysical Research Letters*, 32, L03306, doi: 10.1029/2005GL023217.
- Matsushima, J., 2006, Seismic wave attenuation in methane hydrate-bearing sediments: Vertical seismic profiling data from the Nankai Trough exploratory well offshore Tokai, central Japan: *Journal of Geophysical Research*, 111, B10101, doi: 10.1029/2005JB004031.
- Matsushima, J. 2007, Seismic attenuation from VSP data in methane hydrate-bearing sediments, *Exploration Geophysics*, 38(1), 29-36.
- Chand, S., and T. A. Minshull, 2004, The effect of hydrate content on seismic attenuation: A case study for Mallik 2L-38 well data, Mackenzie Delta, Canada: *Geophysical Research Letters*, 31, L14609, doi: 10.1029/2004GL020292.
- Matsushima, J., M. Suzuki, Y. Kato, T. Nibe, and S. Rokugawa, 2008, Laboratory experiments on compressional ultrasonic wave attenuation in partially frozen brines: *Geophysics*, 73, no. 2, N9-N18, doi: 10.1190/1.2827214.
- Matsushima, J., M. Suzuki, Y. Kato, and S. Rokugawa, 2011, Estimation of ultrasonic scattering attenuation in partially frozen brines using magnetic

resonance images: *Geophysics*, 76, no. 1, T13-T25, doi: 10.1190/1.3511355.

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 1 件)

Matsushima, J., Suzuki, M., Kato, Y., and Rokugawa, S., 2016, Ultrasonic measurements of attenuation and velocity of compressional and shear wave in partially frozen unconsolidated sediment and synthetic porous rock, *Geophysics*, vol.81, no.2, pp. D141-D153, 10.1190/GE02015-0350.1. 査読有り

[学会発表](計 4 件)

松島 潤・鈴木 誠・加藤 徹史・六川 修一, 2014, 超音波室内実験におけるスウィープ波形利用の効能と限界について, 物理探査学会第 130 回学術講演会論文集, 195-198.

松島 潤, 2014, 音波検層波形データを用いたメタンハイドレート賦存層のS波減衰異方性解析, 物理探査学会第 131 回学術講演会論文集, 150-153.

Matsushima, J., 2014, Broadband frequency response of seismic attenuation in methane hydrate-bearing sediments, The 9th International Workshop on Methane Hydrates R&D

Matsushima, J., 2015, Estimation of S-wave velocity and attenuation anisotropy from sonic waveform logs in methane hydrate bearing sediments, Proceedings of the 11th SEGJ International Symposium, pp.475-478.

松島 潤, 2015, ウォークアウェイ VSP データを用いたメタンハイドレート賦存層のS波減衰解析, 物理探査学会第 133 回学術講演会論文集, 173-175

[図書](計 0 件)

[産業財産権]

出願状況(計 0 件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
出願年月日:
国内外の別:

取得状況(計 0 件)

名称:

発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

松島 潤 (MATSUSHIMA JUN)
東京大学・大学院工学系研究科・准教授
研究者番号：70282499

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

()

研究者番号：