

平成20年度共同利用実施報告書(研究実績報告書)

1. 共同利用種目 (該当種目にチェック)

- 特定共同研究(A) 特定共同研究(B) 特定共同研究(C) 一般共同研究
地震・火山噴火予知研究 施設・実験装置・観測機器等の利用
データ・資料等の利用 研究集会

2. 課題番号または共同利用コード 2008-G-05

3. プロジェクト名, 研究課題, 集会名, または利用施設・装置・機器・データ等の名称

和文: 地殻変形解析への多孔質弾性論の適用英文: Application of poroelastic theory for analyzing crustal deformation4. 研究代表者所属・氏名 東京大学大学院新領域創成科学研究科・徳永 朋祥(地震研究所担当教員名) 佐野 修

5. 利用者・参加者の詳細 (研究代表者を含む, 必要に応じ行を追加すること)

氏名	所属・職名	利用・参加内容または 施設,装置,機器,データ	利用・参加期間	日 数	旅費・ 支給
徳永 朋祥	東京大学大学院新領域創成科学研究科・准教授	地震地殻変動観測センサー油壺観測坑	平成21年1月7日 ～3月31日	84	なし
佐野 修	東京大学地震研究所・教授	地震地殻変動観測センサー油壺観測坑	平成21年1月7日 ～3月31日	84	なし
Herbert F. Wang	Professor, University of Wisconsin-Madison	地震地殻変動観測センサー油壺観測坑	平成21年1月7日 ～3月31日	84	なし
小泉 尚嗣	産業技術総合研究所・地震地下水研究グループ長	地震地殻変動観測センサー油壺観測坑	平成21年1月7日 ～3月31日	84	あり
加納 靖之	京都大学防災研究所・助教	地震地殻変動観測センサー油壺観測坑	平成21年1月7日 ～3月31日	84	あり
何 祖源	東京大学大学院工学系研究科・准教授	地震地殻変動観測センサー油壺観測坑	平成21年1月7日 ～3月31日	84	なし
茂木 勝郎	東京大学大学院工学系研究科・技術専門職員	地震地殻変動観測センサー油壺観測坑	平成21年1月7日 ～3月31日	84	なし
柏井 善夫	大成基礎設計株式会社技術研究所・技師長	地震地殻変動観測センサー油壺観測坑	平成21年1月7日 ～3月31日	84	なし

6. 研究内容 (コンマ区切りで3つ以上のキーワードおよび400字程度の成果概要を記入)

キーワード：光ファイバ歪センサ，設置技術，潮汐変動

地殻変動の計測・解析を行うにあたり，岩盤歪を高分解能かつ稠密多点で計測することができれば，岩盤とその中に存在する間隙流体の挙動を考慮する多孔質弾性論に基づく検討が進むと期待される．特に，異方性多孔質弾性体の評価や，亀裂性岩盤の評価に関する理論的整理が行われてきている現在，適切な計測技術を確立することは重要である．地殻変動観測分野では，すでに石英管伸縮計やボアホール歪計等，高分解能の計測装置が開発されているが，稠密多点設置には多額の予算が必要である．光ファイバ歪センサは通信能力も併せ持ったセンサであり，稠密多点計測が容易である．そこで地震研究所油壺地殻変動観測所の観測坑内に光ファイバグレーティング歪センサを設置し，光ファイバ歪センサの持つ課題を抽出した．その結果，センサは比較的大きな温度依存性を持つこと，そのため温度を一定に保つための工夫が重要であること，また岩盤へのセンサ設置方法に検討が必要であることが明らかになった．一方，これらの問題を解決していく過程で，センサそのものの歪計測分解能をあげなくても，既存センサによって，潮汐歪と同じ周期の歪を観測することが可能となった．このことから，今後さらに光ファイバ歪センサの分解能および計測時の安定性の向上を図れば，理論的検討と併せることにより，異方性を示す岩盤や亀裂を含む岩盤の変形と間隙流体の相互作用に関しての理解が深められると期待される．

7. 研究実績報告

地殻変動連続観測では石英管伸縮計・水管傾斜計，ボアホール歪計・傾斜計等により，極めて高い分解能で地殻の歪・傾斜が連続的に観測されている．また，最近の技術開発として，レーザ光を利用した伸縮計では 10^{-13} にも達する分解能と長期安定性がえられる．一方，このような高分解能で観測された地殻歪にはさまざまな擾乱が加わっており，特に，降雨の影響の問題は古くから指摘されてきた．準静的多孔質弾性論は，Hooke 弾性挙動をする線形弾性材料と Darcy 流動をする間隙水挙動の連成理論である．この理論で用いられている個々の現象に関する物理は古典的かつ比較的単純なものであり，間隙水(地下水)挙動とそれにかかわる地盤・岩盤・地殻の変形を考えるためのアプローチとして，地殻変動観測結果の解釈において極めて有効と考えられる．特に，最近では，異方性多孔質弾性論や，割れ目系を考慮した二重孔隙多孔質弾性論に関しても，その理解が深まってきており，適切な計測と組み合わせることにより，地殻変動に関する理解を進展させることが期待される．そのためには，高精度だけでなく，稠密多点歪計測が必要となる．

本研究では，この目標を達成するために，今後開発すべき地殻変動計測技術として光ファイバ歪センサを取り上げ，検討を実施した．光ファイバを用いた計測は，最近15年ぐらいの間に様々な方面への応用が進められてきており，歪計測も実施されてきている．また，光ファイバを用いた歪センサによって地殻変動観測が可能となれば，例えば，GPS メッシュ程度の範囲・距離を対象とした多点歪計測等を比較的安価かつ長期間安定して実施することが期待できる．この目的を達成するためには，センサ自体の歪計測分解能の向上も重要な課題となるが，本研究では，そのための第一歩として，既存センサを用いた計測によりどの程

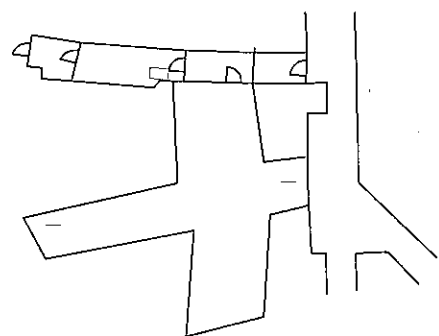


図1 油壺地殻変動観測所における光ファイバ歪センサ設置位置概略図．赤い棒(2箇所)が光ファイバ歪センサを設置した場所である．

度の精度のデータが得られるのか、また、現状の光ファイバ歪センサを用いた地殻変動計測のどの部分に課題があるのかを検討することとした。

既存のセンサ (MicronOptics 社製 OS3600) を東京大学地震研究所油壺地殻変動観測所観測坑内、図 1 に示す位置に設置し、既存の収録システム (MicronOptics 社製 SM125) を用いた計測を行った。計測に利用した地下空間は、石英管伸縮計による歪計測を実施している部屋の海側の小部屋である。図中、左側に油壺湾が位置している。そのため、この図において左側に設置されたセンサが、右側に設置したセンサと比較して相対的に大きな潮汐歪を観測することが期待された。これは油壺地殻変動観測所で観測されている潮汐歪は主に海洋潮汐によるものと考えられるからである。

設置は、ドリルによる掘削を行った後、掘削孔に MicronOptics 社が提供している治具を非収縮性モルタルにより固定することとし、治具を掘削孔に設置後すぐにセンサを取り付け、その状態でモルタルの固化を待った。したがって、設置後しばらくの間 (約 1 ヶ月程度) は、モルタルの固化に伴う歪が計測された。その後、センサの治具との固定状況、温度影響等に関する検討を実施し、より適切な計測条件に関する検討を行ってきた。現時点までに明らかになっていることは、主に以下のとおりである。

まず、センサの温度依存性が大きいことが明らかとなった。油壺地殻変動観測所の観測壕を利用することにした理由の一つに、通気をしていない地下空間であるために温度変動が十分に小さいことが想定されるという点があげられる。しかし、光ファイバグレーティングセンサは比較的大きな温度依存性を示すために、センサの埋設による温度変化の低減、あるいは発泡スチロール等の断熱材による温度変化の低減が必要であった。また、治具を地盤・岩盤と固着させる条件をできるだけ理想的なものとする必要があるとあり、当初実施したようにセンサを取り付けた状態でモルタルの固化を待つのではなく、剛な材料をセンサの代替に用いた設置が望ましいことが明らかとなった。後者に関するデータ取得は、今後引き続き行う予定であるが、温度変化を十分に小さくした場合、設置条件が適切であれば、潮汐に対応する周期の歪を既存センサにおいても計測できることが本研究の結果示された (図 2)。ただし、現状においても、地殻変動では説明ができない歪挙動がトレンド成分として残っており、また、温度-歪の間にヒステリシスが認められている。これらは、センサ設置方法の問題および、光ファイバと計測システム周辺材料との接着の問題等によるものと考えられ、更なる検討が必要である。

以上のような検討の結果、適切な条件のもとでセンサの設置を行うことができれば、光ファイバグレーティング歪センサを用いた地殻変動解析が可能になると期待される。本研究と並行して行っている研究では、光ファイバグレーティング歪センサの計測分解能を 2 桁程度向上させることに挑戦している。また、一つのシステムで、10 点程度の多点計測を行うことも目標の一つとしている。現状の光フ

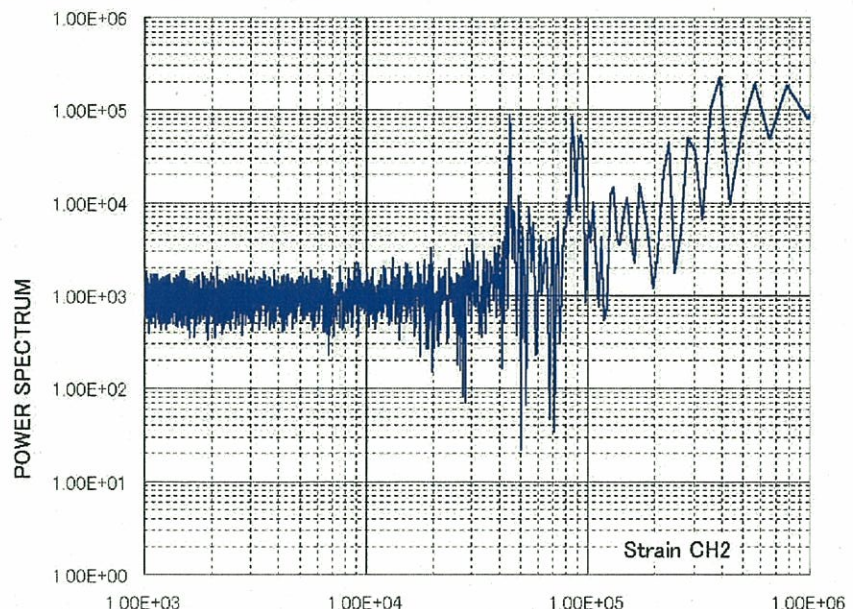


図 2 油壺地殻変動観測所の陸側 (図 1 の右側) のセンサで観測された歪計測結果のパワースペクトル。潮汐の周期にスペクトルのピークが認められ、このセンサで潮汐歪と同じ周期の歪を計測していることがわかる。

また、一つのシステムで、10 点程度の多点計測を行うことも目標の一つとしている。現状の光フ

アイバグレーティング歪センサの歪感度が 10^{-6} 程度であることから考えると、並行研究が成功すれば、 10^{-8} 程度の歪を計測することが原理的には可能となる。極めて容易に多点計測を行うことができることから、岩盤の亀裂の影響や、その中を流れる間隙水挙動に伴う歪を計測することが期待され、理論的な検討とあわせた理解を深められることが期待される。