

歪地震記録に現れる偽の地球自由振動モード

森井 互

要旨

地球自由振動の解析を目的として、スーパーインバール棒や溶融石英管を基準尺とする歪地震計記録のスペクトルを求めるとき、1000 秒を超える周期帯域でノイズの増大が認められる。このノイズの主要な原因は、気圧変動に伴って生じる観測坑道内の気温変化である。その値は、気圧が加重として岩盤を変形させる値よりも 1 桁大きくなる。さらに、まれな事例ではあるが、そのノイズの中に地球自由振動モードの固有周期と等しい周期成分を持つものがある。スペクトル解析の精度を向上させるために、このような偽の信号を含めたノイズの低減を図ることが必要である。

キーワード：歪地震計，気圧変動，地球自由振動

1. はじめに

地球自由振動の解析を目的にスーパーインバール棒や溶融石英管を基準尺とする歪地震計（以後は、固体基準尺型歪計と略記）の記録のスペクトルを求める際には、1000 秒を超える周期帯においてノイズ振幅の増大が顕著である。固体基準尺型歪計の記録では、気圧変動が原因となって生じる観測坑道内の気温変化（森井，2001）による基準尺の熱伸縮が主要なノイズ源になることが明らかになった。しかも、ごくまれな事例ではあるが、これらのノイズの中に地球自由振動のモードに一致する偽のスペクトル・ピークが含まれていることも判明した。

本稿では、京都大学防災研究所附属地震予知研究センター逢坂山観測所（以後は逢坂山観測所と略記）で得られた歪記録と気圧記録を用いて、気圧変動が原因となって生じる偽のピークの存在を示す。また、固体基準尺型歪計によって得られた歪地震記録を気圧計記録に基づいて補正することによって、偽のスペクトル・ピークを除去するとともに、スペクトルの S/N を大幅に改善し、解析の精度を向上させることが出来ることを示す。

2. 気圧変動に伴うノイズ

気圧が変動するとボイル・シャルルの法則によって観測坑道内の気温が変化する。気温の変化は坑道周辺の岩盤によって吸収されるので、気圧の変動が短周期である場合には気温変動が大きく、長周期になるほど気温変動は小さくなる。一方、気温の変動が歪計の固体基準尺に伝わる際に時間遅れがあるため、気圧変動が固体基準尺の伸縮に影響する度合いは短周期になるほど小さくなる。

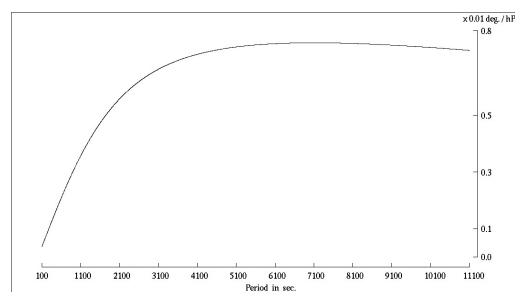


Fig.1 Frequency characteristics of a temperature change of an extensometer's rod caused by the atmospheric pressure change.

Fig.1 は、逢坂山観測所に設置されている固体基準尺型歪計について、気圧の変動によって生じる固体基準尺の温度変化と周期の関係を示している（森井，2001）。逢坂山観測所の歪計に使用している基準尺の熱膨張係数は約 4.2×10^{-7} なので、周期 1000 秒以上の周期帯においては、1 hPa の気圧変動に対して 10^{-9} の桁のノイズが生じることになる。この値は、気圧が加重として岩盤を変形させる値に比べて 1 桁大きくなっている（Trubytsyn and Makalkin, 1976）。

3. 記録と解析例

解析に使用した逢坂山観測所の記録を Fig.2 に示す。記録の期間は 2009 年 9 月 30 日から 10 月 20 日までの 3 週間である。Fig.2 の上段には気圧計の記録を、中段には気圧計記録から計算した固体基準尺の温度を、下段には面積歪を示している。固体基準尺型歪計と気圧計は、観測坑道入り口から約 350 メートル、土被り約 90 メートルの地点に設置され、いずれの出力信号も計測器のすぐ近くに置かれた A/D 変換機で数値化された後、光ケーブルを介して観測坑道入り口近くの観測棟に伝送される。数値化データの最小分解能は、歪計では 1.4×10^{-12} 、気圧計では 1.4×10^{-3} hPa である。また A/D 変換機のサンプリング周波数は 50Hz であるが、解析対象とする周期帯域が 100 秒以上であることから、1Hz にリサンプリングしたデータを使用した。

図に見られるように、この期間には比較的規模の大きな地震記録が複数含まれている。夫々の地震のパラメータは TABLE1 に示すとおりである。逢坂山観測所から見た夫々の地震の震央方位角は、126 度から 231 度の範囲にある。歪地震計の地震波動に対する感度

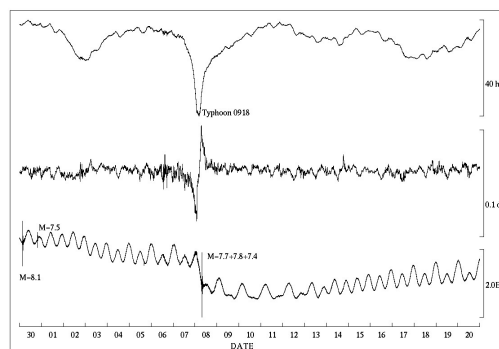


Fig.2 Data analyzed: upper- the barometer record; middle- the temperature change of the extensometer's rod; lower- the extensometer record.

は方位角に依存するので、ここで使用する記録のように方位角の異なる震源から到来する地震波が重なり合っている場合には、感度が方位角に依存しない面積歪を使用するのが妥当であると考えた。また、面積歪が 10 月 8 日に 10^{-7} 程度の大きな変化を示しているが、これは台風 0918 号の接近に伴う大量の降雨の影響である。

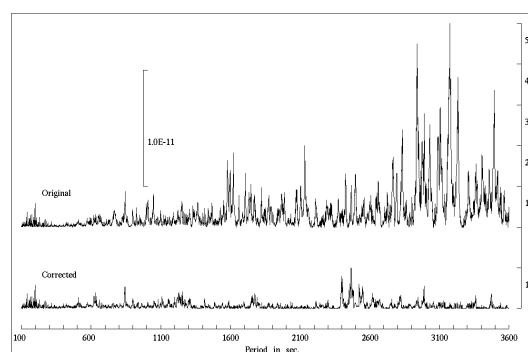


Fig.3 Spectra evaluated from the raw extensometer record (upper) and from the corrected extensometer record (lower).

TABLE 1. The list of earthquakes exhibited in the Fig.2.

DATE(JST)	TIME(JST)	Lat.	Long.	Depth(Km)	Mw
2009/09/30	02:48:10	15.49 S	172.10 W	18	8.1
2009/09/30	19:16:09	0.72 S	99.87 E	81	7.5
2009/10/08	07:03:14	13.01 S	166.51 E	45	7.7
2009/10/08	07:18:51	12.52 S	166.38 E	35	7.8
2009/10/08	08:13:48	13.09 S	166.50 E	31	7.4

Fig.3 に面積歪のスペクトルを示す。上段には補正をしていない記録（以後原記録と略記）から求めたスペクトルを，下段には気圧計記録から計算した固体基準尺の温度に基づき補正した記録（以後補正記録と略記）から求めたスペクトルを示す。なお，スペクトルの計算には共振法（森井，2000）を使用した。Fig.3 から明らかなように，スペクトルの S/N は長周期帯域においては 14 dB 以上改善されている。

Fig4 から Fig.6 までに，Fig.3 に示したスペクトルの一部を拡大して示した。いずれの図でも，上段は原記録から求めたスペクトルを，中段は気圧計記録から計算した固体基準尺の伸縮変化（Fig.2 の中段に示した基準尺の温度変化に基準尺の熱膨張係数を掛けたもの）のスペクトルを，下段は補正記録から求めたスペクトルを示す。

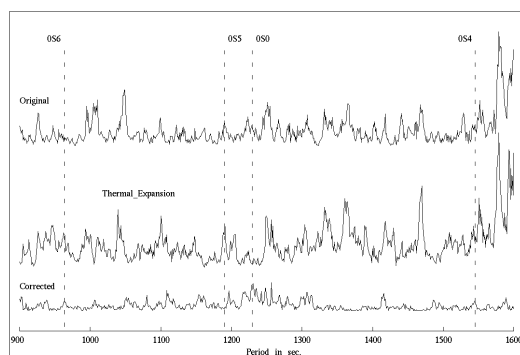


Fig.4 Spectra evaluated from the raw extensometer record (upper), from the thermal expansion of the extensometer's rod caused by the atmospheric pressure change (middle) and from the corrected extensometer record (lower) in the period range from 900 to 1600 seconds.

Fig.4 では，原記録のスペクトルには認められなかった OS6, OS0, OS4 のモードに対応するスペクトル・ピークが，補正記録のスペクトルには認められることが分かる。これは，補正によって記録の S/N が向上し，スペクトルの解像度が上がった結果であると考えられる。

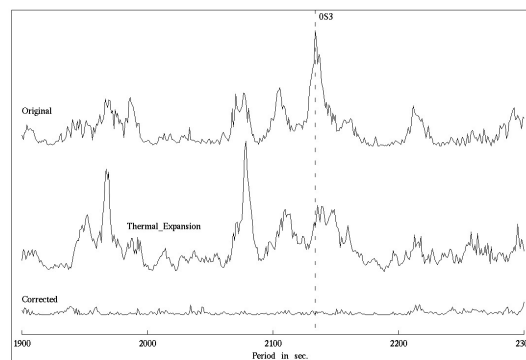


Fig.5 Spectra in the period range from 1900 to 2300 seconds. The layout of the figure is same as Fig.4.

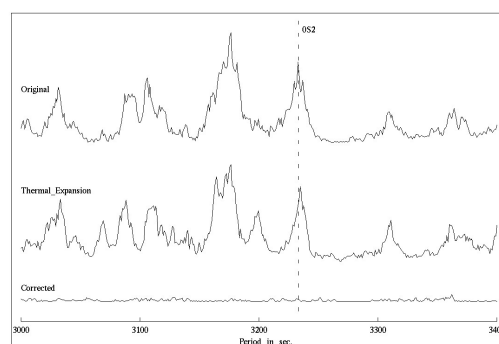


Fig.6 Spectra in the period range from 3000 to 3400 seconds. The layout of the figure is same as Fig.4.

4. 偽のスペクトル・ピーク

Fig.4, Fig.5, Fig.6 に示したように，原記録のスペクトルには認められた OS5, OS3, OS2 のモードに対応するスペクトル・ピークが，補正記録のスペクトルにはまったく現れていない。特に Fig.5 と Fig.6 は，補正後の記録のスペクトルにはほとんどシグナルが存在しないことを示している。また，Fig.5 と Fig.6 の帯域では，原記録のスペクトルと基準尺の伸縮のスペクトルが大変よく似ていることが分かる。以上のことから，原記録に認められた OS5, OS3, OS2 のモードに対応するスペクトル・ピークは，気圧変動の影響によって生じた偽の信号であると考えられる。

このように地球自由振動のモードに一致する偽の信号が認められる事例が他にもあるかどうかを調べた。

TABLE 2. The list of barometer records containing false signal of 0Sn mode and main earthquakes preceding the start times of the barometer records analyzed.

Interval of the data analyzed (J.S.T.)	False signal contained	Main earthquake preceding (J.S.T.)
from 2010/01/20 to 2010/02/09	0S ₄	18.44N 72.57W Mw=7.0 Dep.=13 2010/01/13 06:53:10
from 2008/12/14 to 2009/01/03	0S ₃	01.27N 122.09E Mw=7.4 Dep.=30 2008/11/17 02:02:32
from 2009/02/27 to 2009/03/19	0S ₂	27.42S 176.33W Mw=7.0 Dep.=25 2009/02/19 06:53:45

調べた期間は 2008 年 3 月 5 日から 2010 年 4 月 27 日までである。この期間で、解析区間の開始日時を 1 週間ずつ移動させて、解析区間長 3 週間の気圧計記録のデータを 110 作成した。この気圧記録を固体基準尺の温度に変換して、そのスペクトルを求め、地球自由振動のモードに一致する偽のスペクトル・ピークを探した。0S2,0S3,0S4 の周期に一致するスペクトル・ピークは複数認められたが、ほとんどの場合、近傍に同程度の値のピークが存在し、バックグラウンド・ノイズと考えるべきであると判定した例が多かった。しかし、中には近傍のピークに比べて際立った値を示す例が存在した。もっとも顕著な例は TABLE2 に示した期間のデータに見られた。

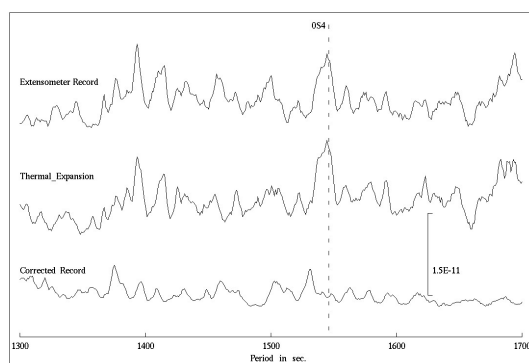


Fig.7 An example of the false spectral peak of the 0S4 mode, caused by the atmospheric pressure change: upper- spectra evaluated from the raw extensometer record; middle- spectra evaluated from the thermal expansion of the extensometer's rod; lower- spectra evaluated from the corrected extensometer record.

これらのデータの解析結果を Fig.7～9 に示す。これらの図の上段は歪計の原記録のスペクトル、中段は気圧計記録から計算した固体基準尺の伸縮変化のスペクトル、下段は歪

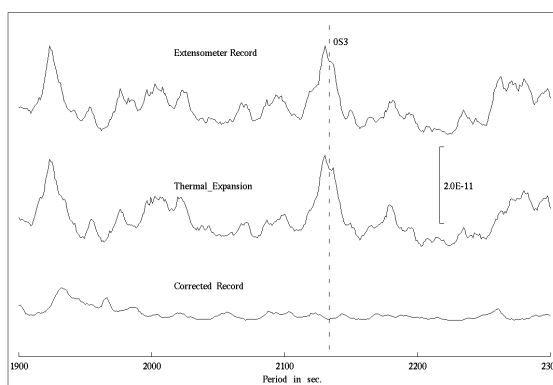


Fig.8 An example of the false spectral peak of the 0S3 mode, caused by the atmospheric pressure change. The layout of the figure is same as Fig.7.

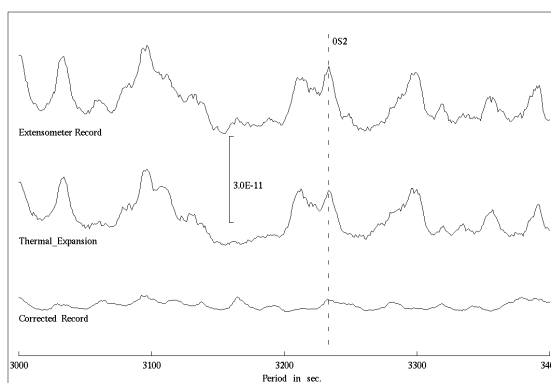


Fig.9 An example of the false spectral peak of the 0S2 mode, caused by the atmospheric pressure change. The layout of the figure is same as Fig.7.

計の補正記録のスペクトルを示している。**Fig.7** は **OS4** に対応する偽のピーク, **Fig.8** は **OS3** に対応する偽のピーク, **Fig.9** は **OS2** に対応する偽のピークの存在例を示している。**TABLE2** に示したように, 夫々のデータの先頭時刻よりも前にマグニチュード **7.0** を超える地震が発生している。**OS4** のピークが認められた事例では 7 日前に **Mw=7.0**, **OS3** のピークが認められた事例では 28 日前に **Mw=7.4**, **OS2** のピークが認められた事例では 8 日前に **Mw=7.0**, の地震が発生している。従って, スペクトルに現れたピークがそれらの地震によって励起された地球自由振動のモードの存在を示すものであると考えることも出来る。しかし, いずれの場合にも, 基準尺の伸縮変化のスペクトルと原記録のスペクトルが良い一致を示し, さらに補正記録のスペクトルには問題にしているモードに対応するピークが全く認められないことから, これらのスペクトル・ピークは気圧変動が原因で生じた偽のピークであると考えられる。

5. まとめ

逢坂山の記録を解析して, 以下のことが分かった。1) 歪地震計の記録に現れるノイズ

の主要な原因は, 気圧変動に伴う観測坑道内の気温変化による基準尺の熱伸縮である。2) そのようなノイズの中には, 地球自由振動モードの固有周期に一致する周期成分を持つものが稀に存在する。

以上のことから, ひずみ地震計の記録を解析する際には, 気圧計記録に基づいて, 伸縮計の基準尺の熱伸縮を補正することが必須であることが分かった。

参考文献

- 森井 互, 2000, 共振型応答関数を使用したスペクトル推定法開発の試み, 地震 2, 53, 107-113
- 森井 互, 2001, 長大トンネル内の気圧変化に伴う気温変化, 測地学会誌, 47, 231-240
- Trubytsyn, A.P. and Makalkin, A.V. , 1976, Deformation of the Earth's Crust due to Atmospheric Cyclones, Izv., Earth Physics, No.5, 94-96

False Signals Similar to Earth's Free Oscillation

Wataru MORII

Synopsis

In the case of spectrum analysis using with extensometer records, noise ratios in the seismic band often increase remarkably in the period range above 1000 seconds. It was revealed that temperature change in the observation tunnel caused by atmospheric pressure change yielded thermal expansion of extensometer's rods and gave rise to increase in noise ratio. More over, it was revealed that the noise caused by temperature change in the observation tunnel rarely contained false signals having periods coincident with the ones of Earth's free oscillations. In this paper, I will show that it is essential to correct the thermal expansion of extensometer's rods with barometer records in order to reduce noise ratios and eliminate false signals contained in the extensometer records.

Keywords: Atmospheric pressure, Extensometer, False signal, Earth's free oscillation