

松代 100m 伸縮計に見られる気圧変化の影響

Effect of atmospheric pressure changes on 100-meter extensometers of Matsushiro

今西 祐一[1], 館畑 秀衛[2], 川崎 一朗[3]

Yuichi Imanishi[1], Hidee Tatehata[2], Ichiro Kawasaki[3]

[1] 東大・海洋研, [2] 気象庁精密地震観測室, [3] 京大・防災研・予知セ

[1] ORI, Univ. of Tokyo, [2] Matsushiro Seismological Observatory, JMA, [3] RCEP, DPRI

伸縮計による観測においては、温度の変化は、基準尺の膨張・収縮をとおして見かけの伸縮変化を発生させる重大なノイズ源である。基準尺に石英管などの熱膨張率の非常に小さい材料を用いたとしても、わずかな温度変化が相対的に大きな伸縮変化となって現れるため、この影響を完全になくすことは困難である。

気象庁精密地震観測室（長野県松代）では、東西・南北それぞれ 100m のスパンをもつ石英管伸縮計がトンネル内に設置されている。このトンネル内の環境は年間を通して非常に安定しているが、それでも 0.01 度程度の温度変化があり、これがこの伸縮計の短周期帯における主要なノイズ源となっている。実際、この伸縮計の記録を、同じ場所に置かれている IRIS システムの STS-1 地震計（水平動）の記録と比較すると、地球自由振動の帯域においては明らかに伸縮計のノイズレベルが相対的に高くなっており、温度変化の直接の影響を受けない（ように設置してある）地震計と比べた場合の伸縮計の不利な面を物語っている。

温度変化の伸縮計への影響は基本的に熱膨張をとおしてきくので、精密な温度記録があれば原理的に補正は可能である。しかしこの場合、温度変化じたいが非常に小さいので、それを精密に測定して補正に役立てることは必ずしも容易ではない。現状では 1000 分の 1 度の分解能での温度測定がなされているが、これでもまだ十分とはいえず、測定方法に今後の改善の余地を残している。

このわずかな温度変化がそれでは何によって起きているかということになると、気圧変化との間の相関が高いことが知られている（柏原ほか、1987）。つまり、気圧が高く（低く）なると、温度が高く（低く）なるのである。トンネル内は比較的気密性が高いが、完全に気密というわけではないので、外の圧力変化は中にも伝わっている。そこで、定性的な解釈として、大気圧の変化によってトンネル内の空気がちょうど断熱的に膨張・収縮するようなことになり、それにもなって温度変化が起きるといった可能性が考えられる。かりに温度変化の原因がすべて空気の断熱変化だとすると、気圧変化と温度変化とはほぼ比例し、その比例係数はおよそ 0.08 K/hPa となるはずである。しかし実際には両者は比例せず、長周期帯では近似的に気圧変化の時間微分と温度変化（したがって伸縮変化）とが比例しているような関係が認められる。周期 1 時間程度より短周期がわでは気圧変化と温度変化とがほぼ比例するように見えるが、これには温度計の応答特性が関係していると思われる。以上のような現象の本質を正しく理解することが、伸縮計に及ぼす温度変化の効果を適切にモデリングし、その影響を軽減するためにまず必要であろう。

松代で観測されたのとほとんど同様の現象が、京大の天ヶ瀬観測坑でも観測されている。森井(2002)は、トンネル内の空気の断熱変化だけでなく、空気と周囲の岩石との間で熱が出入りする効果も考慮に入れることによって、温度変化と気圧変化とを結びつける関係式を導き、それに基づいて天ヶ瀬で実際に観測された温度変化が気圧変化から精度よく推定できることを示した。このモデルでは、温度の時間微分は、温度の変化分に比例する項と気圧の時間微分に比例する項との和で表される。したがって、短い周期では温度変化と気圧変化とがほぼ比例し、長い周期では温度変化と気圧変化の時間微分とがほぼ比例するという関係が表されるわけである。

このモデルは、理論的には、気圧変化によって起きた温度の擾乱が、（ちょうど放射性元素の壊変の場合のように）時間とともに指数関数的に減衰するという形になっており、熱伝導という現象の本質にややそぐわない面がある。同じ問題を、無限媒質（岩石）の中に異なる物質（空気）があってそこに熱源（気圧変化）があるという系の熱伝導の問題として扱い、時間発展の微分方程式の厳密解を求めてみると、空気の温度の時間変化は時間の平方根の逆数を引数にもつ誤差関数の無限級数で表されることがわかる。その際、時間は、空気部分のサイズと空気の熱拡散率とで定まる特徴的な時間によってスケールされる。解の性質は 2 つの物質の熱伝導率・比熱・密度のコントラストに強く依存し、ある条件下で、特徴的な時間（今の場合数 100 秒のオーダー）より長い周期では温度変化と気圧変化の時間微分とがほぼ比例するという解が現れることがわかる。実際の空気と岩石ではこの条件は満足されており、このような意味において森井のモデルは正当化される。

計算の結果、このモデルは松代の観測結果にもよく適合することがわかった。このことは、伸縮計記録から温度変化の影響を除去するために、温度を直接測定するだけでなく、気圧を精密に測定することで温度測定を補完または代用できる可能性があることを示している。