

有限要素法による回転楕円体圧力源モデルの計算

Calculations of Elliptical Pressure Source Models by FEM

坂井 孝行[1]; 山本 哲也[1]; 福井 敬一[1]; 藤原 健治[1]; 高木 朗充[1]; 中禮 正明[2]

Takayuki Sakai[1]; Tetsuya Yamamoto[1]; Keiichi Fukui[1]; Kenji Fujiwara[1]; Akimichi Takagi[1]; Masaaki Churei[2]

[1] 気象研; [2] 気象庁

[1] MRI; [2] JMA

火山における地殻変動モデルとしては従来、山川（1955）に基づく「茂木 - 山川モデル」が多く用いられてきた。山川の解は、半無限均質弾性体内の充分深い場所に充分小さな圧力球が存在するという非常に限定された条件の下での解析解である。一方、現実の火山においては、地表面上に突出する火山地形が存在する他、球形以外の圧力源形状や不均質な地下構造が想定される場合等、山川の解の前提条件が成り立たない場合も多い。そのような各種条件下における地殻変動の様子を知る一つの方法として有限要素法（FEM）がある。

我々は、実際の火山地域の地形や速度構造を取り入れての有限要素解析を行うことを最終目標に見据えつつ、その前段階として、上記のような各種条件がそれぞれ地殻変動に及ぼす影響を調べるため、多数の比較的単純な形状の3次元圧力源モデルについて有限要素解析を進めている。これまで坂井・他（2002, 2003）や藤原・他（2003a, 2003b）等でその成果を発表してきたが、今回、取り扱いが比較的困難であるためこれまでほとんど検討されることがなかった回転楕円体圧力源のモデル化に成功したので、その計算結果を紹介する。

モデル作成および解析には ANSYS, Inc. の ANSYS Ver. 7.0 を用いた。モデル地表面は平面、構造は均質とした。有限要素解析において充分な計算精度を得るためにはモデル領域や境界条件の設定が重要となるが、我々はモデル領域を水平方向・深さ方向とも充分大きく設定することによって、その中央部では茂木 - 山川モデルを高い精度で再現できることを確認している。以下に示すのは高い精度が得られるモデル中央部での計算結果である。

ここでは圧力源の深さが充分深い場合を考える。回転楕円体圧力源の XY 方向半径を a 、Z 方向半径を b とする。 $a=b$ の場合は茂木 - 山川モデルに相当する。 a/b が 1 より大きい場合（横長の楕円体の場合）には、上下変位最大値と水平変位最大値との比（以下 k とする）が茂木 - 山川モデルの 2.598 より大きくなると同時に、水平変位は茂木 - 山川モデルより圧力源に近い地点で最大値を示す。 a/b が 1 より小さい場合（縦長の楕円体の場合）にはいずれもその逆となり、さらに a/b がおよそ 0.5 以下になると、上下変位は圧力源直上ではなく圧力源から少し離れた地点で最大となる。上下変位と水平変位の値が等しくなる地点の距離は a/b によらず圧力源中心深さにほぼ等しい。 a/b を横軸に、 k を縦軸にプロットすると、そのグラフは $a/b=0.5$ 付近を境界にトレンドが変化し、 a/b が 0.5 以下では下に凸に、0.5 以上では上に凸になる。その境界での k は約 1.6 である。

上記と同様の関係は円柱圧力源の縦横比を変化させた場合にも見られる（坂井・他、2002 など）。また、角柱圧力源の場合も同様である。

k を指標とすることにより、ある回転楕円体圧力源とほぼ同じ変位を示す円柱圧力源や角柱圧力源を決定することが可能である。例えば、 $a/b=0.5$ の回転楕円体圧力源は、半径 r と高さ h との比が約 0.16 の円柱圧力源とほぼ同じ変位を示す。このことは、少なくとも圧力源が充分深い場合、地殻変動観測から圧力源形状が上記3者のうちのいずれかであるかを特定することは困難であることを意味する。しかしながら、ある圧力源形状を仮定した上でその形状パラメータを決定することが可能であり、そのためには GPS 観測で重視される水平変位だけではなく上下変位も同時に評価することが必要である。