

(48) 陥没構造形成のメカニズムと熱水活動

工業技術院地質調査所

埼玉大学工学部

ソフトウェアサイエンス研究所

埼玉大学工学部

小出 仁

浜島良吉

渡辺正明

竹田慎二

1. マグマ貫入による沈降現象

1986年11月の伊豆大島三原山の噴火は、各方面に様々な波紋を投げ、正確な噴火の予知ができなかったことが、大きな問題となった。実際には、伊豆大島の噴火再開に近いという予測はあり、火山性微動等の前兆現象もあったが、噴火直前には山頂部が隆起するという一般の予想に反し、傾斜計等のデータが山頂部の沈降を示していたため、噴火がまだ切迫していないという考えに傾いていたといわれている。

地下のマグマ溜り内部でマグマ圧が増大すれば、マグマ溜り直上中心にドーム上の隆起が生じる場合があることが、茂木(1957)によって理論的に示されている。火山の地下でマグマ圧が増大し、それが噴火に結びつくとなれば、噴火直前に火山の中央部が隆起することは、直観的にも理解しやすい。実際にも、噴火直前に火山中央部が隆起した例は多数知られている。したがって、茂木モデルは多くの場合正しく、伊豆大島の今回の噴火は例外であったことは確かである。しかし、地下のマグマ溜りの形態によって、マグマ圧による地表への影響が大きく異なり、マグマ圧が増大すると地表が陥没する場合があることもすでに指摘されている(Koide and Bhattacharji, 1975a, b)。

三次元弾性論の解析解に基づいた予測によれば(小出, 1982)、マグマ溜りの形状が球に近い場合は、茂木モデル(1957)で示されたと同様に、マグマ圧によって地表にドーム状の隆起が生じる(図1)。

しかし、水平断面が円形でも、深さ方向に伸びた偏長型のマグマ溜りの場合には、カルデラ状の陥没が生じる(図2)。また、鉛直に立った板状(岩脈状)のマグマ溜りの場合には、グラーベン状の陥没が生じる(図3)。上下に伸びたマグマ溜りの中のマグマ圧が増加すると、地下深部で横方向に拡げる効果が大きいため、浅い部分が深部の拡大に引きずられて落ちこむもので、アーチ状石組の両脚部を拡げると頂部のキーストーンが落ちこむ現象から、キーストーン効果と呼ばれる(小出, 1982)。

地下にマグマが貫入すると、マグマ内から放出される熱水と地下水の加熱により、間隙水圧が高くなり、熱水の対流が生じる。熱水による物質移動によって有用鉱床がしばしば形成される(北, 1983等)。したがって、地下におけるマグマの貫入によってどのような地殻変動が生じ、どのような

な地質構造が形成されるかを知ることが、火山防災のみでなく、資源探査のためにも重要である。

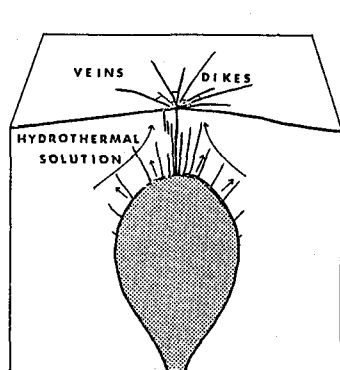


図1.球状マグマ溜りによる
ドーム状隆起

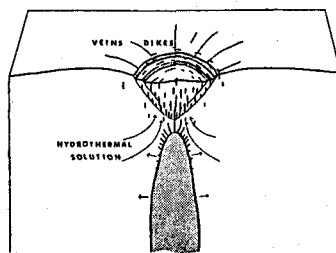


図2.針状マグマ溜りによる
カルデラ状沈降

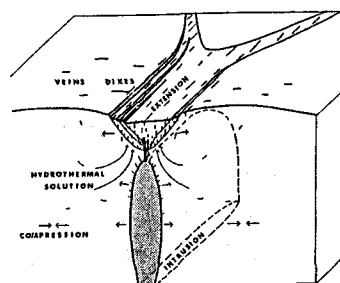


図3.岩脈状マグマ溜りによる
グラーベン状沈降

2. RBSMによるマグマ貫入解析

マグマ貫入による地殻の変形や応力分布の変化を見積るために、解析解を用いると、マグマ溜りの形態や応力場の影響を見通しやすいが（小出，1982），均質な弾性体以外には解を得ることが困難である。火山付近では、通常は割れ目が多く、岩盤は破砕された状態に近い。

このように割れ目が多く、不連続な岩盤の変形を見積るために適した数値計算法として、Kawai（1980）によりRBSM（剛体バネモデル）が提案されている。RBSMは、密な不連続面によって岩体があらかじめ分割されているとして、隣接する剛な要素の不連続面での相互変位を見積ることにより、岩体全体の変形を計算する。ここでは地下にマグマ溜りが存在するとして、マグマ圧の上昇により周囲の岩体中のクラックの発生と進展をRBSMにより追跡すると共に、地表の変位を調べた。解析は二次元で行い、マグマ溜りの形状は鉛直方向の半径が b 、水平方向の半径が a であるような楕円形とする（図4A）。平面ひずみ状態を考え、地表とマグマ溜り以外はローラー指示とする。岩体の剛性率を $100,000\text{kg/cm}^2$ 、比重を2.7とする。一方マグマの比重は2.5と仮定する。自荷重のみによる応力状態とし、マグマ溜り頂部で最初は岩圧とマグマ圧が同じ状態からスタートして、1ステップあたりマグマ圧のみを 5kg/cm^2 ずつ上昇させる。図4の h, a, b の値をいくつかに変えて、計算を行なったが、ここでは $h=1\text{km}$ 、 $b=2\text{km}$ 、 $a=200\text{m}$ の場合の地表の上下変位（図4C）およびマグマ圧が 55kg/cm^2 上昇した時までには発生した、割れ目の分布（図4B）を示した。平面ひずみ状態としているので、立体的には、深部に鉛直に立った板状（岩脈状）のマグマ溜りがあるケースに相当する。

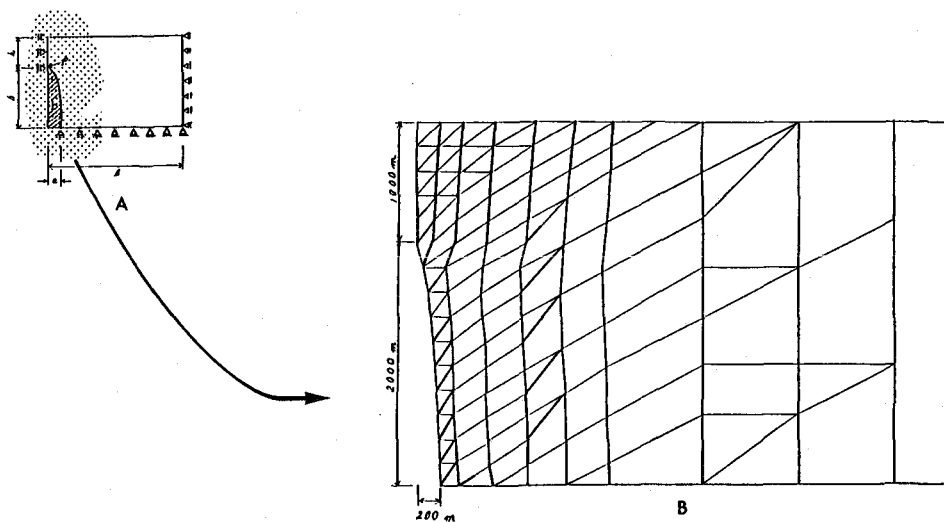


図4. R B S M による岩脈状
マグマ溜り解析

A: モデル概念.

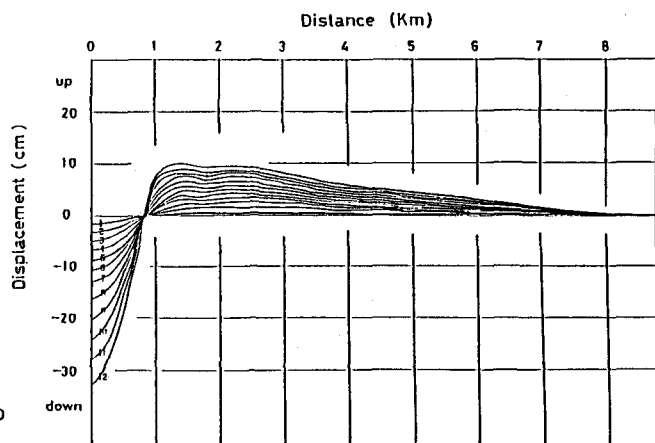
B: マグマ圧が 55 kg/cm^2 上昇
した時の割れ目形成
太線部に新しい割れ目が
形成されている.

C: マグマ圧増加による地表の
上下変動

数字はステップ数で, 1ステ
ップ当り

5 kg/cm^2 ずつマグマ圧が上昇
する.

距離原点はマグマ溜り中央線上.



C

割れ目の発生条件は, 剪断破壊はモール・クーロンの条件によって判定し, 粘着力を 50 kg/cm^2 , マサツ角を 30 度とする. また, 引張り強度を 50 kg/cm^2 とする. 図4Bの場合はほとんどずれによる破壊であった. 割れ目の発生状況は, 三次元弾性解から推定した岩脈状マグマ溜りの場合(図3)とよく似ている.

地表における上下変位(図4C)は, 中央部では激しい沈下となり, その

外側で隆起する。大局的には三次元弾性解の結果(図3)と同様に、いわゆるキーストーン効果による沈下が生じる。三次元では、図3に示されていると同様なグラーベン(地溝)状の沈降帯が形成され、その外側は広く隆起する。12ステップ目、すなわち 60kg/cm^2 マグマ圧が上昇した時にはマグマ溜りの中心線上の地表で約30cm強の沈下になっている。沈降帯の幅は、地表からマグマ溜りまでの深さの2倍程度となっている。

建設省国土地理院による伊豆大島における水準測量によれば、昭和57年の測量結果と比較して、噴火のあった昭和61年11月の測量結果は、島の北西から南東にかけて最大27cmから62cmの沈下を示し、その両脇に当る島の北東及び南西部では10cm～22cmの隆起となった(1986年12月25日毎日新聞による)。地溝状の沈降域の幅をおおよそ4～6km程度とすれば、この地殻変動を生じたマグマ溜り本体の頂部は約2～3kmの深度にあり、岩脈状に北西～南東方向に伸びていると推定される。マグマ圧は数十気圧程度上昇したと考えられる。マグマ溜り頂部の周囲に生じた割れ目を通して、マグマはさらに上昇し、噴火に至ったと考えられる。

3. 熱水活動

地下のマグマ貫入により、周囲の地下水が加熱されると、岩石間隙中の水圧が上昇し、マグマ溜り周囲の岩体の破砕が促進される。また、マグマからの熱により地下水の対流が生じる。プレートの湧き出し口にあたるリッジも、基本的には岩脈状のマグマ上昇によりグラーベン構造が形成されている(Koide and Bhattacharji 1975b)。海嶺では、大量の水が存在するため、熱水活動も特に盛んであり、いわゆる熱水鉱床が形成される。マグマ溜り周辺への水の供給量は熱水性の鉱床の形成に大きな影響を与えるが、割れ目が水の通路としても重要である。グラーベンやカルデラを形成する割れ目は水をマグマ溜りの近くへ運ぶ通路になる。カルデラやグラーベンを形成するジヨウゴ状の割れ目中に多量の水が貯えられている所に、マグマが到達すると激しい爆発をする場合があると思われる。

[参考文献]

- 1) Kawai, T (1980) Int. J. for Numerical Methods in Engineering, 16, 81-119.
- 2) 北 卓治 (1983), 月刊地球, 5, 268-274.
- 3) 小出 仁 (1982), 月刊地球 4, 15-22.
- 4) Koide, H. and Bhattacharji, S. (1975a) Econ. Geol., 70, 781-799.
- 5) Koide, H. and Bhattacharji, S. (1975b) Science, 189, 791-793.
- 6) 茂木清夫 (1957) 火山, 第2集, 1, 9-18.

(48) Mechanism of volcanotectonic subsidence and hydrothermal activity

Hitoshi Koide (Geological Survey of Japan)

Ryokichi Hamajima (Saitama University)

Masaaki Watanabe (Software Science Laboratory)

Shinji Takeda (Saitama University)

Abstract

Most of scientists did not expect the trough-like subsidence of the Izu-Oshima volcano as a precursory of volcanic eruption. However, the analytical solution of three dimensional theory of elasticity and numerical simulation by the RBSM (rigid body spring model) indicate that the trough-like subsidence is caused by a increase of magma pressure in a underlying vertical dike-like intrusion.

A caldera-type depression is expected just over a needle-shaped intrusion with deep roots by the build-up of magma pressure. On the other hand, magma pressure in a spherical magma chamber cause a simple domal uplift of ground surface. These models suggest a vertical dike-like magma body of northwest-southeast trend under the Izu-Oshima island. The surface displacements estimated from the numerical simulation on effect of increase of magma pressure in a dike-like magma body by the rigid body spring model agree with the measured vertical movement in the Izu-Oshima island.

The volcano-tectonic structures such as graben and caldera are economically important because the convection of heated ground water over the magma chamber often forms hydrothermal mineral deposits.