

不連続体解析シミュレーションによる 火山性地震活動に関する研究

○荻原 律¹・濱島良吉²

¹学生会員 前橋工科大学修士1年 工学部建設工学科 (〒371-0816 群馬県前橋市上佐鳥町 460-1)

²正会員 工博 前橋工科大学教授 工学部建設工学科 (〒371-0816 群馬県前橋市上佐鳥町 460-1)

三宅島における火山噴火に伴う三宅島-新島間における火山性地震に関して東大地震研究所からダイク状マグマの貫入モデルが提案されている。この地域は銭州海嶺のみでなく石廊崎-新島を結ぶ右横づれ断層領域でもあり、力学現象は複雑である。本研究ではまず不連続体解析を用いて標準的な火山噴火のシミュレーションを行い、こうした火山噴火のメカニズムを解析面からアプローチする事を試みた。これにより、マグマ上昇に伴う環状割れ目と放射状割れ目の発生を確認し、火山噴火に伴う山体に生ずる破壊性状を把握できることを明らかにした。更に高温岩体における水圧破碎に伴うモデル化技術を発展させ、こうした複雑な場での解析アプローチを提案した。

Key Words: discrete structure analysis, volcanic earthquake, Miyakejima

1. はじめに

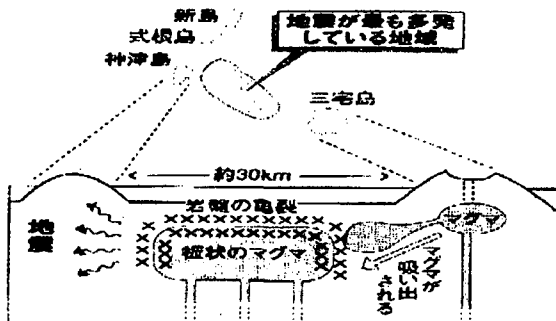


図-1 マグマ貫入モデル¹⁾

九州の雲仙普賢岳、北海道の有珠山、そして三宅島の噴火といったように、列島を縦断する状態で火山の噴火が続いており、地震に関しても列島を縦断する構造線の存在が指摘され、地殻変動解析によりその存在が確認されている。三宅島の噴火に関しては、長期の避難が続いているが、東大地震研究所からは三宅島から神津島に向かってマグマがダイク状

に侵入しているというモデルが提示されている(図-1)¹⁾。このことは侵入したマグマにより割れ目噴火につながる可能性があり、マグマと海水の反応による水蒸気爆発は重大な災害を引き起こす可能性を有している。本研究ではこうした割れ目噴火の可能性に関して、地殻変動解析と同様、不連続体解析(FEM)を用いたアプローチを試みた。

2. 火山噴火に対するモデルの考察と解析モデル

(1) マグマ貫入による地表面の変化

図-2はマグマ貫入による地表面の変形を示している。楕円体貫入により地表面は隆起し、地表面には環状及び放射状割れ目が生じる(図-2a)。また、1986年の三原山の噴火時に観測されたように板状

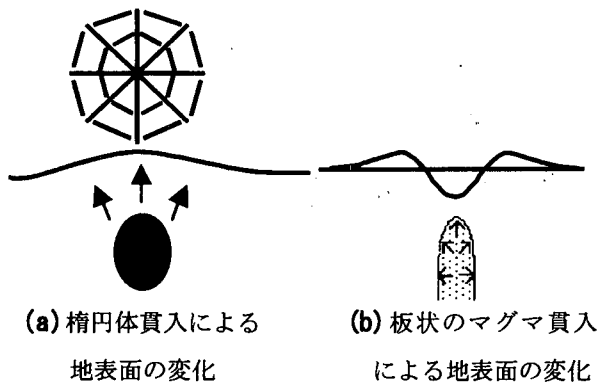


図-2 マグマ貫入による地表面の変化

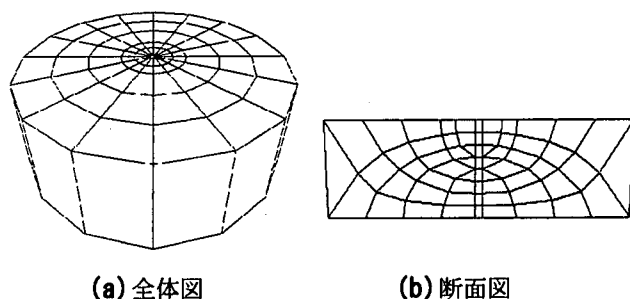


図-5 火山解析モデル

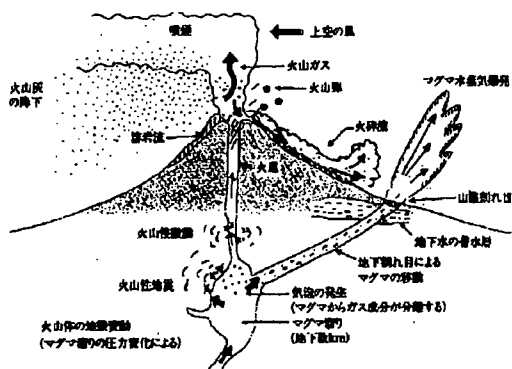


図-3 標準的火山の噴火概念図²⁾

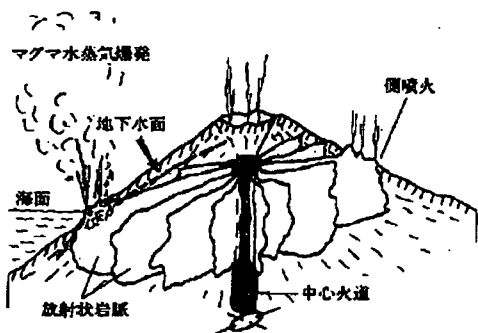


図-4 側噴火の伸長概念図²⁾

のマグマが貫入することにより、マグマ直上の地表面が陥没し、周辺部が隆起する。このように、マグマの形状により地表面の変形は大きく異なる。こうした現象は通常有限要素弾性解析で再現可能である。

(2) 標準的な火山噴火の様式に対する検討と火山解析モデルの作成

図-3 と図-4 は標準的に考えられる火山の噴火モデルである²⁾。図-3 に示される地表面における溶岩流、火砕流は数値解析が進み、溶岩流の進展速度、到達距離をある程度推定可能である。しかし、マグマ溜まりにおける火山性地震、さらには地下割れ目

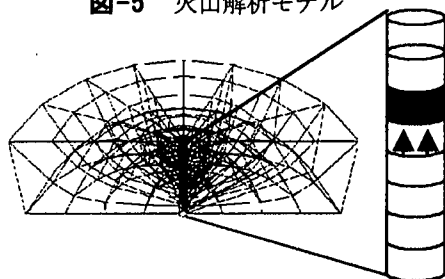


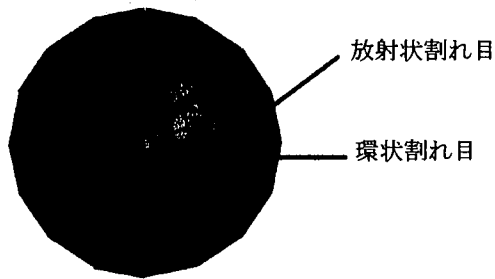
図-6 解析モデルの与圧構造部

によるマグマの移動、そして地下帯水層における地下水との接触によるマグマ水蒸気爆発等の解析は進んでいない。また、図-4 は中心火道から側方に放射状の岩脈が伸張し、側噴火に至る現象を表しているが、数値シミュレーションは進んでいない。本研究では、まず地下のマグマ上昇に伴い山体に生ずる破壊現象を明らかにするために、予備計算としての単純なモデルとして、まず環状及び放射状割れ目の再現が可能なる3次元モデルの作成を行った(図-5)。

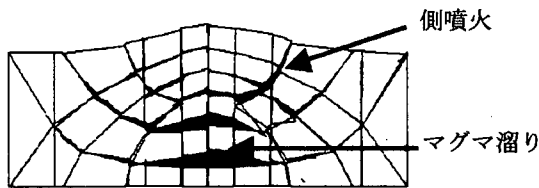
環状あるいは放射状の割れ方を計算するために、まずマグマの上昇圧力だけを考慮し、それにより地表がどのように変化するかを検討した。これは図-2a、図-3、図-4 の力学現象を念頭に置いたものである。マグマの貫入をモデル化するため、モデル中心部にマグマ貫入部として円筒状の要素を等間隔に配置し(図-6)、下から要素を突き上げるにより火山噴火経緯を表現する。

(3) 解析結果と考察

図-7 は図-6 に示すように、モデル中心要素の上から三割目へ荷重を作用させた場合であり、解析結果として、環状及び放射状割れ目が発生していることが確認できる(図-7a)。ここでは、より現実に近い現象を確認するため、内部要素の物性値をランダムに変化させており、割れ目の進展は中心に対して対象

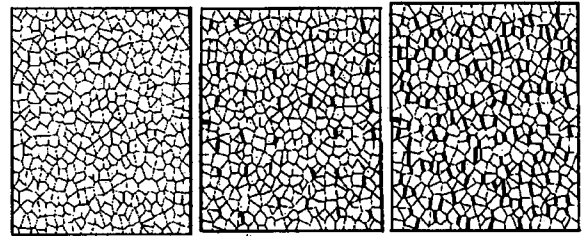


(a) 地表面の環状割れ目と放射状割れ目

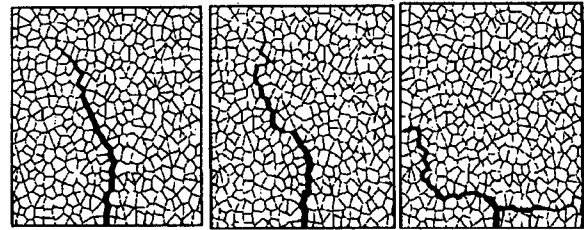


(b) 地下割れ目の進展状況

図-7 解析結果



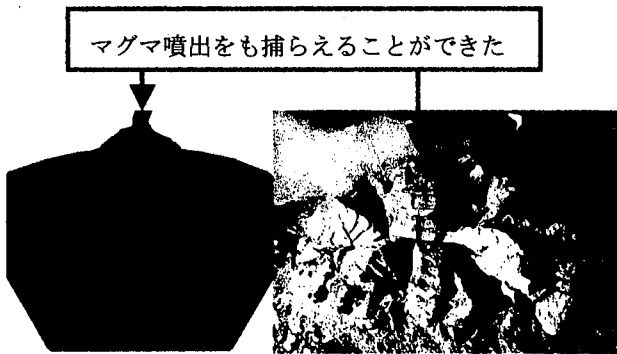
(a) (b) (c)



(d) (e) (f)

図-9 水圧破碎によるマグマ上昇シミュレーション

には難があると思われる。これに対しては下記のようなシミュレーションを行った。図-9は水圧破碎時における既存亀裂の存在による亀裂進展経路の変化である。モデル下部中央から水を注入し、水圧破碎を行った場合、既存亀裂が多く存在すると図-9fに示されるように、側方に大きく亀裂進展経路が変化する可能性がある。ただし、これをもってしても図-1に示されるモデルを解明するには、まだ十分とは言えない。この地域は銭州海嶺をはさんで存在する逆断層変形帯、更にはこれと交差する静岡-石廊崎-新島を結ぶ右横ずれ断層、また三宅島-三原山を通る火山フロントが存在する。こうした断層系に加えて火山性地震により発生した割れ目をも考慮してモデル化を行い解析する必要がある(地震断層の動きに関しては、別に発表している論文⁴⁾により日本列島を縦断する構造線の存在を明らかにしており、列島規模の構造線に基づくモデル化を提示している)。特に三次元場での地質状態を再現し、既存の断層、さらには既に貫入しているマグマによる岩盤の破壊面をもモデルに再現させる必要がある。そのため、山形県の肘折のカルデラ内で行われている高温岩体地熱発電プロジェクトの研究成果を踏まえて三宅島の火山噴火のシミュレーションへアプローチすることにした。



(a) 解析結果 (b) 噴出したマグマ形状³⁾

図-8 雲仙普賢岳において噴出したマグマ塊形状と解析結果

ではない。また、図-7bは地下の割れ目進展状況を示しており、上方へ開口割れ目を作りながら伸張する岩脈を確認できる。これは図3に示される側噴火の可能性を示しており、地表面まで割れ目が進展すれば環状割れ目あるいはカルデラを形成することになる。また、マグマの上昇により、地下には空洞部が形成され、マグマ溜りの形成を予測させる。図-7aは変位倍率を大きくしたシミュレーション結果であるが、雲仙普賢岳のマグマ噴出の写真(図-8b)³⁾に酷似した結果が得られている。特に中心部から、マグマが、噴出している現象をも捉えているため、本解析手法及びモデル化が適切であったと推測することができる。以上に示した解析結果では図-1に示す三宅島から神津島方面へのマグマ移動を説明する

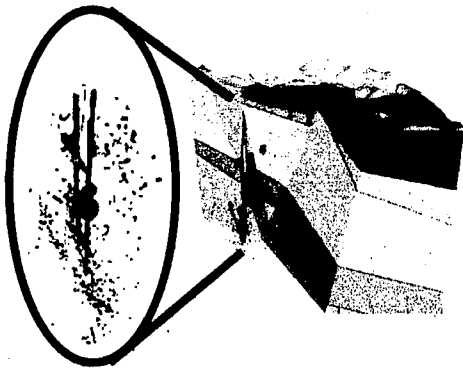


図-10 肘折の三次元地質モデル

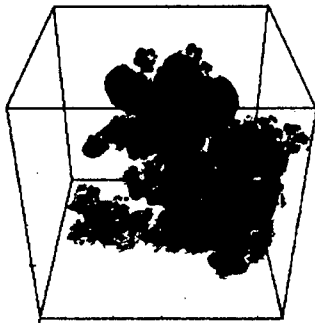


図-11 フラクチャーモデル

4. 肘折の三次元地質モデルと水圧破碎モデル

実証実験において図-10 のような三次元地質モデルが得られている。図-10 の丸く囲った部分に、高温岩体地熱発電実証実験用のボウリング坑と水圧破碎によって生じた震源分布 (AE 分布) が示されている。この AE 分布の震源ひとつひとつの割れ目の大きさと方向を計測できており、通常、破壊面は円盤により表現される。図-11 のようなフラクチャーモデルが得られている。図-12 はフラクチャーモデルを囲む領域内をメッシュ分割し、その中に含まれる割れ目からフラクタル次元を求め、断層を含んだ状態で岩盤内部の状態をモデル化したものである。本研究では、今後こうしたモデル化の技術を火山噴火シミュレーションに応用し、その中で、不連続体解析手法を適用していく予定である。

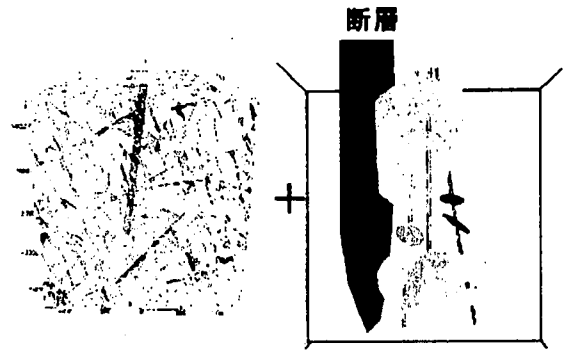


図-12 岩盤内部のモデル化

5. まとめ

山梨県では6月3日に富士山の噴火に備えて陸上自衛隊も参加した大規模な防災訓練を行った。これは富士山の地下で低周波地震が頻発し、有珠山、三宅島の噴火が続いていることもあり、富士山噴火に対する関心が高まっている。火山噴火予知連では5月28日に富士山の噴火シナリオを検討するワーキンググループを発足させた。しかし、残念ながら火山噴火に関してのシミュレーションは必ずしも進んでいるとは言えない。しかし、1995年の兵庫県南部地震以後地球シミュレータプロジェクトの発足に伴い、地殻変動解析解析は大きく進展しつつある。また NEDO の高温岩体地熱発電においては、水圧破碎に伴う岩盤のモデル化とシミュレーションを進めている。こうした他の領域での解析技術を取り入れることにより新しい展望が開ける可能性が期待できよう。ここでは、新しい火山噴火のシミュレーションモデルを提案し、これをもとに、三次元火山噴火メカニズム解明へのアプローチを提案した。

参考文献

- 1) 読売新聞：2000.7.16
- 2) 宇井忠英：火山噴火と災害，東京大学出版会，pp.182-202，1997
- 3) 土質工学会，雲仙普賢岳火山災害土質工学調査委員会：雲仙普賢岳の火山災害(その土質工学的課題をさぐる)，土質工学会，pp4，1993
- 4) 濱島他：日本列島を縦断する構造線の存在と地震活動度に関する研究，第26回地震工学研究会，2001

(2001.5.25 受付)