

熱水系における気泡振動：蒸気・ガス拡散の影響

An oscillating bubble in a hydrothermal system: Effects of vaporescence and gas diffusion

川島 久宜 [1], 市原 美恵 [1], 亀田 正治 [1]

Hisanobu Kawashima [1], Mie Ichihara [1], Masaharu Kameda [1]

[1] 農工大・工・機シス

[1] Dept. Mech. Sys. Engr., Tokyo Univ. Agri. & Tech.

<http://www.tuat.ac.jp/~kamelab/>

火山地帯などに見られる熱水系内の気泡運動について、蒸発・ガス拡散の影響を考慮した数値計算を行った。地震振動を受けた熱水中の気泡を想定し、圧力変動の第1周期について解析を行った。この系は水と二酸化炭素の二成分とし、気泡は二酸化炭素が、液体は水が主成分となっている。解析の結果、蒸発・ガス拡散は、気泡が膨張・収縮運動を行う際の気泡半径の振幅、位相に影響することがわかった。このことから熱水系の気泡運動を正確に捉えるには、蒸発・拡散の影響を考慮する必要があると言える。また今回の計算条件においては、蒸発よりガス拡散の影響が大きいことがわかった。

火山地帯には水・ガス、マグマ・ガスの気液二相が存在している。これらの気液二相における気泡の挙動は、火山振動の発生や、噴火活動に大きく影響を与えていると考えられている。例えば、最近の研究では地震振動を受けてマグマ内の気泡が振動することによって、気泡内部へのガス拡散が促進され、マグマ溜まりの圧力増加、および噴火を引き起こすことが提案されている。しかし、ガスの拡散に対する気泡振動の影響は、現在のところ正確には評価されていない。また、水・ガス系においては、蒸発・凝縮の効果が加わるため、現象は更に複雑なものとなっている。

本研究では、高温・高圧状態での熱水系を解析の対象とする。解析は気泡壁での蒸発・凝縮および気泡内外でのガス拡散、また熱伝導を考慮した直接数値計算を用いて振動圧力場中における気泡への蒸発・拡散の影響を調べることが目的とする。

今回の計算で用いた定式化および数値計算手法は常温常圧下の条件についてであるが、実験データと比較した結果、正確さが確かめられている。今回の計算では熱水系で見られる温度200 [°C]、圧力10 [MPa]、液体は主成分として飽和濃度の二酸化炭素(5.5 [%])が溶けている水を初期条件とする。また地震波による圧力変動を想定していることから振幅10 [MPa]、周期10 [Hz]の正弦波を気泡に与え、その第1周期を計算対象とする。また初期気泡半径を0.1 [mm]とする。

この初期条件において蒸発・拡散の影響を考慮しないものと拡散のみを考慮したものの、蒸発のみを考慮したものの、蒸発・拡散を考慮したものを比較した。

与えた圧力変動の周波数が気泡の固有周波数より十分に小さいため、気泡内圧力は周囲液体の圧力とほぼ釣り合いを保ち、蒸発・拡散の有無によらず振動に追従する。

気泡半径の変化に着目すると、第1収縮時の最大収縮量は、蒸発・拡散を考慮しない場合では3.1 [μm]になるのに対して、拡散のみを考慮した場合、蒸発のみを考慮した場合では、それぞれ約1.9倍、1.2倍大きくなる。また、膨張時の最大膨張量は、蒸発・拡散を考慮しない場合では3.5 [μm]になるのに対してそれぞれ約0.6倍、1.4倍となる。さらに最収縮までの経過時間は、蒸発・拡散を考慮しない場合での経過時間(25 msec)に対し、拡散のみの影響を考慮した場合約1.4倍の位相遅れが生じ、蒸発の影響のみを考慮した場合同時刻となった。最収縮から最膨張までの経過時間は共に約50 [msec]であった。

一方、蒸発・拡散の両方を考慮した場合、蒸発・拡散の影響を考慮しないものと比較すると、最大収縮量、最大膨張量、初期状態から最収縮までの経過時間はそれぞれ、2.2倍大きく、0.7倍小さく、1.4倍長くなった。この傾向は拡散のみを考慮した計算結果と一致している。このことから、今回の計算条件において、気泡運動は蒸発より拡散の影響を強く受けていることがわかった。

拡散の影響により収縮時には気泡半径の変化は促進され、ガスの拡散速度が遅いため、拡散を考慮しない場合と比較すると収縮時間が長くなると考えられる。また、最収縮時における気泡内ガスの絶対量は初期状態と比べると約12[%]低下しており、そのために、最膨張量が拡散を考慮しない場合と比べると低下していると考えられる。

蒸発・凝縮も、拡散と同様半径変化の振幅に影響を与えている。しかし、蒸発・凝縮速度は拡散速度と比較すると早いため、拡散ほど位相に影響を与えないと考えられる。また、蒸発・凝縮によって気泡内蒸気の質量は、収縮時に少なく膨張時に多くなる。そのため、気泡半径振動の振幅が、蒸発・凝縮を考慮しない場合に比べて大きくなると考えられる。

熱水系における気泡運動を正確に捉えるには、蒸発、ガス拡散の影響を考慮する必要があることがわかった。また、今回与えた初期条件、計算条件ではガス拡散の影響が気泡半径の変化に大きく関わることがわかった。