三次元境界要素法を用いた振動圧力場における 弾性管内での気泡挙動に関する数値解析

Numerical Analysis of the Bubble Behavior Driven by Oscillatory Pressure Fields in an Elastic Tube Using the Three Dimensional Boundary Element Method

正 ○神保 佳典 (阪府大院) 学 木村 憲太 (阪府大)

正 高比良 裕之 (阪府大)

Yoshinori JINBO, Osaka Prefecture University, 1-1, Gakuen-cho, Naka-ku, Sakai, Osaka

Kenta KIMURA, Osaka Prefecture University

Hiroyuki TAKAHIRA, Osaka Prefecture University

1 緒 言

超音波作用による、生体内での気泡の成長崩壊を利用した医療技術が注目されている¹⁾。これらの技術における課題として、治療部周辺に出血が生じることが示されている。気泡崩壊時の高速の液体ジェット等が生体損傷を引き起こしているためと考えられているが、未だ明確に理解されていない。本問題に対して、Miao ら²⁾は軸対称二次元解析を行っている。実際の現象を想定すると、気泡は三次元的な配置で存在すると思われる。そのため、著者らはこれまで、壁面にバネ-質量モデルを適用した、三次元境界要素法を用いた解析手法を構築し、解析してきた³⁾。本報では、管の壁面特性(質量)と気泡挙動との関係について調べた。

2 数値解析手法

解析モデルを図1に示す。血管を模擬したバネ-質量系の弾性管内部に、初期に気泡が静止しているとすると。本解析では、超音波の作用を想定し、気泡周囲の圧力場を時間変動させ、その際の弾性管と気泡との相互干渉挙動を解析した。気泡内部気体は非凝縮性の理想気体であるとし、気泡周囲流体は非圧縮非粘性の渦無し流れを仮定する。Laplace方程式を満たす気泡周囲流体とバネ-質量系の運動方程式に従う弾性管モデルを三次元境界要素法を用いて連成し扱った。解析手法の詳細は参考文献(3)を参照されたい。

3 解析結果

本解析では、気泡の初期位置を $Y_0/R_0=1$ とし、管壁の質量 m^* を変化させた。図2に $m^*=7.5$ のときの気泡と弾性管の形状の時間変化を示す。まず、超音波の低圧部分が気泡に作用し、気泡は膨張を開始する(i)。 (ii)において、弾性管(図1のN点)は最大変位を示す。その後、超音波の高圧部分が作用する(iii)の時刻において気泡が最大半径に達する。そして、気泡体積の増加に伴う気泡周囲流体の圧力の低下を受け、(iv)において弾性管は急激に収縮する。その後、気泡は収縮していき、気泡崩壊の末期において急激に y 軸正方向(図上方)に向かって並進移動し、管壁方向に液体ジェットを形成する。

次に、図3に気泡の並進移動量 y_B の時間変化を示す。弾

Fig. 1. Schematic of analysis.

Fig. 2. Successive shapes of bubbles and tubes when $m^*=7.5$.

性壁の質量 m^* の異なる三本の線が示されている。どの条件においても、気泡が膨張する際には、 y 軸負の方向へ、収縮する際には、急激に y 軸正の方向へ気泡は並進移動している。 $m^*=7.5$ の条件において収縮の際に気泡が最も大きく並進移動しているのは、気泡が収縮する際に、弾性管下方の壁面が大きく変位しているためである(気泡を上方に並進させる方向)。それぞれの条件($m^*=0.75, 7.5, 75$)におけるバネ-質量系の固有振動数は、4.80MHz, 1.52MHz, 0.48MHzであるが、管内に水が満たされていることを考えると、固有振動数は若干小さくなっていると考えられる。 $m^*=7.5$ の条件では、印加した超音波の周波数(1MHz)が共振周波数に近いことより、壁面が大きく変位したことが考えられる。管壁が大きく変位する条件においては、気泡が大きく並進移動し、管壁近傍において液体ジェットが形成されることとなり、材料損傷を引き起こす可能性が高まることが考えられる。

4 参考文献

- (1) 梅村晋一郎, 生体医工学, **43** (2005), 203-210.
- (2) Miao, H., et al., Comput. Mech. **42** (2008), 95-196.
- (3) Jinbo, Y. and Takahira, H., Int. Conf. on Multiphase Flow 2010, USB (No.7.2.2), (2010), Total 14 pages.

Fig. 3. Displacement of bubble centroid in the y direction.