

II-101

上流差分法を用いた水撃負圧部におけるボイド率変化についての研究

東北学院大学 学生会員○金子 幸也

東北学院大学 正会員 河野 幸夫

1. はじめに

液体が流れる管路を急激に閉じた時に生じる急激な圧力上昇（水撃圧）は、その圧力が降下することで負圧になり水を気化させ、管路内は気液混相流となる。本研究は上流差分法を用いた数値解析であり、ボイド率の変化についての検討比較を目的とする。

2. 解析方法

水撃圧は気液混相流となる場合であっても、気化圧に達するまでは液体単相流である。よって液体単相流、気液混相流の運動方程式・連続方程式を同時に解析する必要がある。解析法は、上流差分法を用いる。

(1) 液体単相流の運動方程式

$$\frac{\partial V}{\partial x} V + \frac{\partial V}{\partial t} + g \frac{\partial H}{\partial x} + f \frac{V|V|}{2D} = 0$$

液体単相流の連続方程式

$$\frac{a^2}{g} \frac{\partial V}{\partial x} + \frac{\partial H}{\partial x} V + \frac{\partial H}{\partial t} - \frac{\partial Z}{\partial x} V = 0$$

(2) 気液混相流の運動方程式

$$\frac{\partial V_m}{\partial x} V_m + \frac{\partial V_m}{\partial t} + g \sin \theta + \frac{f V_m |V_m|}{2D} = 0$$

気液混相流の連続方程式

$$\frac{\partial \alpha}{\partial t} + \frac{\partial \alpha}{\partial x} V_m - \frac{\partial V_m}{\partial x} = 0$$

ここで、a:伝播速度 g:重力加速度 V:流速

H:圧力水頭 x:管の軸方向 Z:位置水頭

V_m:混相流の流速 t:時間 α:ボイド率

3. 解析管路のモデル図

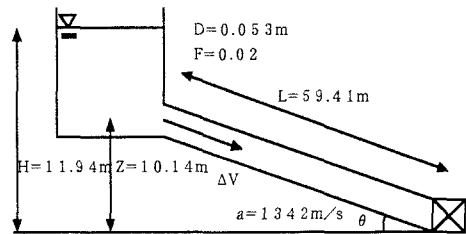


図-1 管路モデル図

4. 解析結果および考察

(1) 気化圧を-1.0mとした場合の下流端閉鎖弁直前の解析結果と実験結果は、図-2 のようになる。

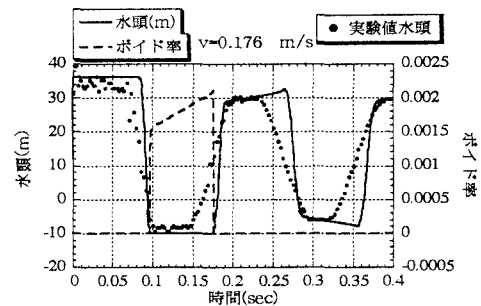


図-2 解析結果と実験結果の比較

図-2 より解析結果と実験結果の水頭は、最大値・最小値ともに、ほぼ一致していることが分かる。

水撃負圧部が気化圧に達したため、液体が気化し気体と液体の混相流となった。また、水撃負圧部が気化圧に達した瞬間にボイドが発生し、時間経過とともにボイド率も高くなっている。水撃波第2波目負圧部が、気化圧に達しないのは、ボイドが発生したためと考えられる。

(2) 各流速における水頭・ボイド率の最大値をグラフによって表すと図-3のようになる。

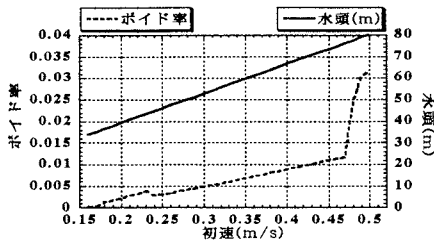


図-3 各流速における水頭・ボイド率の最大値

各流速における解析結果から次のことが明らかになった。

- i) 各流速における水頭の最大値は図-3から解るように直線的に変化する。
- ii) ボイドは初速0.16 m/s付近で発生し、初速0.47 m/sのボイド率の値まで直線的に変化する。
- iii) 初速0.23 m/sから初速0.24 m/sの間でボイド率が不安定になっている。
- iv) 水撃第2波目正圧部の下降が進み、気化圧に達したために初速0.47 m/sから初速0.50 m/sのボイド率が急激に大きくなる。

(3) 解析結果の初速0.47 m/s、実験結果-1の初速0.47 m/s、実験結果-2の初速1.21 m/sにおけるボイド率は図-4のようになる。

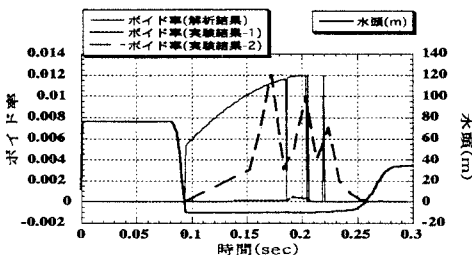


図-4 解析結果と実験結果のボイド率

実験結果-2は、ボイド率から溶存酸素量0.03を引いている。

解析結果と実験結果のボイド率を比較することにより、次のことが解った。

- i) 弁閉鎖後0.18秒から0.22秒の間でボイド率の値が、解析結果と実験結果ともに最大値を指している。
- ii) ボイド発生からボイド率が0になるまでの経過時間が、解析結果と実験結果ほぼ一致した。
- iii) 水撃第1波目が気化圧から脱しボイド率が0になっても、再び気化圧に達した時のボイド率が徐々に大きくなっているのは、気化圧から脱してもボイドは管内に残っていると考えられる。
- iv) 初速1.21 m/sのボイド率から溶存酸素量0.03を引いた値と初速0.47 m/sにおける解析結果のボイド率の最大値がほぼ同値である。

5. 結論

- i) 初速0.16 m/s付近で水撃負圧部が気化圧(水頭-10 m)に達しボイドが発生する。すなわち、液体単相流から気液混相流になるのは初速0.16 m/s付近といえる。
- ii) ボイド発生から時間経過にともないボイド率も高くなるが、気化圧から脱した瞬間にボイド率は0となる。また、ボイドが発生したために伝播速度が遅くなる。
- iii) 第2波目以後の水撃負圧部が気化圧に達しないのは、ボイドが発生したためといえる。
- iv) 初速0.48 m/sから初速0.50 m/sでは、徐々に下降してきた第2波目正圧部が気化圧に達したため、ボイド率が急激に高くなると考えられる。水撃第2波目の働きによってボイド率の値が急激に変化する。

参考文献

- ストリータ,V.L ワイリー,E.B 竹中利夫: 流体過度現象 日本工業新聞社
植田辰洋: 気液二相流-流れと熱伝達- 養賢堂 p.355