

気液混相流におけるボイド率と水撃圧波形の変化を考慮した 上流差分法による数値解析

東北学院大学工学部 学生会員○平田雅一

東北学院大学工学部 正会員 河野幸夫

1. はじめに

流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、水撃圧やボイド率の変化について検討を行う。また、実験値との比較検討も行う。

2. 解析方法

水撃圧は気液混相流となる場合であっても、気化圧に到達するまでは液体単相流である。よって、液体単相流と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

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

(2) 気液混相流の運動方程式

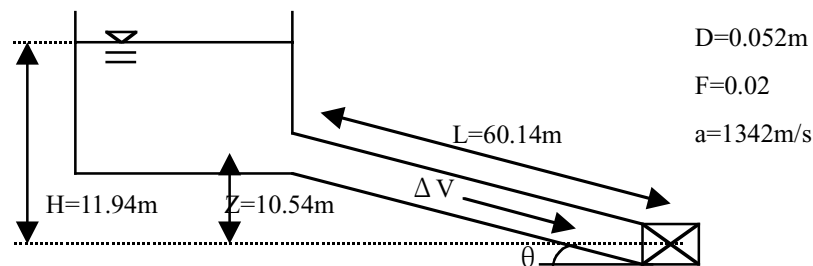
$$\frac{\partial V_m}{\partial x} V_m + \frac{\partial V_m}{\partial t} + g \sin \theta + \frac{f V_m |V_m|}{2D} = 0$$

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、 V_m ：気液混相流の流速、 H ：圧力水頭、 Z ：位置水頭、 x ：管の軸方向、 t ：時間、 α ：ボイド率とする。

3. 解析（実験）管路のモデル図



キーワード：気液混相流(Liquid-gas two phase flow) 水撃圧(Water Hammer) ボイド(Void)

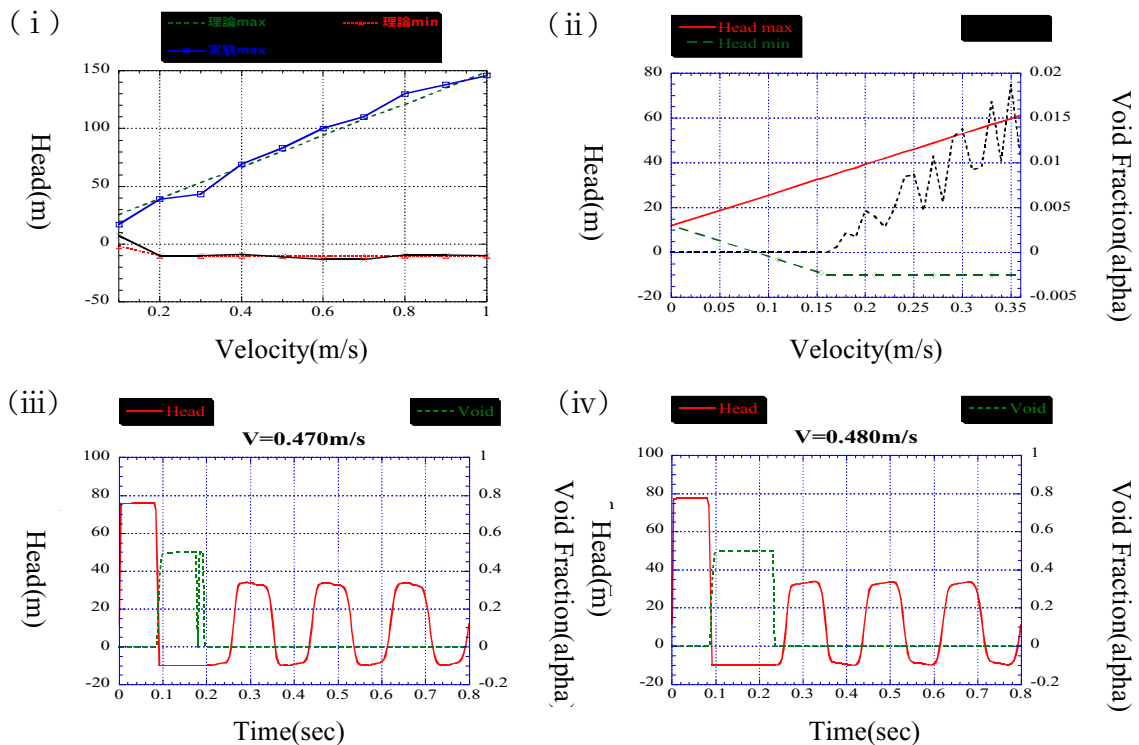
上流差分法(Upstream Finite Difference Method)

連絡先：宮城県仙台市宮城野区東仙台5-10-10 佐々木アパート102

TEL：022-256-1771

4. 解析結果および考察

気化圧を -10 m とした場合の下流端閉鎖弁直前における、各流速の最大・最小水撃圧の解析結果と実験結果 (i)、各流速における水撃圧とボイド率の最大値のグラフ (ii)、流速 (初速) $0.470, 0.480\text{ m/s}$ の時の水撃圧とボイド率のグラフを以下に示す。



(i) より、解析結果と実験結果の圧力水頭は、最大値・最小値ともにほぼ一致していることが分かる。ボイド率の最大値こそ変わらないが、水撃第2波目正圧部の下降が進み、気化圧に到達したために初速 $0.470 \sim 0.480\text{ m/s}$ にかけて、大量のボイド発生が見られる。

5. 結論

- 水撃負圧部が -10 m で気化圧に到達し、気液混相流となる（ボイド発生）のは、初速が 0.154 m/s 付近であることが明らかになった。
- 初速 $0.470 \sim 0.480\text{ m/s}$ で第二波目の水撃負圧部が気化圧に到達し、第一波目の水撃負圧部の気化圧に到達している時間が長くなっているため、この付近でボイドは大量に発生していることが明らかになった。
- 初速 $0.154 \sim 0.500\text{ m/s}$ 付近までのボイド率変化はボイド発生から時間経過にともなってボイド率も徐々に高くなっていくが、水撃負圧部が気化圧から脱した瞬間にボイド率の値は0になる。
- ボイド発生後、水撃圧波形は周期的に同じような変化を繰り返していることが明らかになった。