

気化圧の変化を考慮に入れた水撃負圧部の気液混相流についての研究

東北学院大学 学生会員 伊藤 由美  
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、反射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。本研究はこの気液混相流となる場合について理論的に解析し、実験値との波形の比較、また気化圧の異なる場所についての検討を行う。

2. 解析方法

気液混相流となる場合であっても、最初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。

(i) 液体単相流の連続方程式

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

液体単相流の運動方程式

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

(ii) 気液混相流の連続方程式

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

気液混相流の運動方程式

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

- |         |                            |
|---------|----------------------------|
| a: 伝播速度 | g: 重力加速度                   |
| V: 流速   | H: 圧力水頭                    |
| x: 管の方向 | t: 時間                      |
| Z: 位置水頭 | V <sub>m</sub> : mixture流速 |

3. 実験および解析管路のモデル図

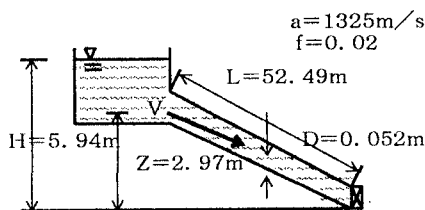
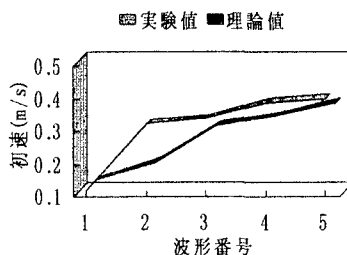


図-1 管路のモデル図

4. 解析結果

(1) 第2波目以後の波形の比較

気化が始まると第2波目から波形が変わる。同じ波形が現れる初速を実験値と理論値で比較した結果、同じような波形が現れるそのサイクルは理論値の方がはやく現れた。



波形1. 右上がり小 波形2. 左上がり大 波形3. 右上がり大  
波形4. 左上がり小 波形5. 右上がり小

図-2 同じ波形が現れる初速

(2) 実験値と理論値の第2波伝播速度

水撃負圧部が-10mに達し水が気化すると第2波の伝播速度が遅くなる。図-3より、気化が起きた地点は0.1m/s付近であることが分かる。

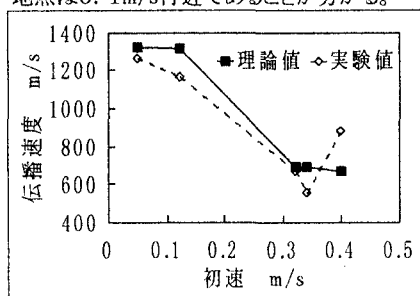


図-3 第2波目の伝播速度

(3) 理論値と実験値の最大、最小水撃圧の比較検討

最大水撃圧は理論値が上昇する傾向にあるのに対して、実験値ではあまりあがらない結果となった。最小水撃圧については、-10mで気化する理

論値に比べて、実験値の方は-10mまで下がらない結果が多くでている。最大水撃圧が実験の方で低いのは流速が速くなった為の誤差と思われる。

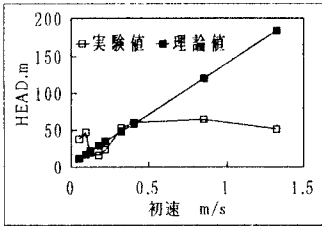


図-4 最大水撃圧

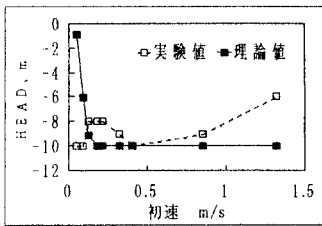


図-5 最小水撃圧

(4) 上空13km (気化圧1/6) と地上の水撃波形

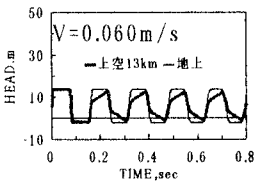


図-6は上空13kmで気化したときのグラフである。地上ではまだ気化は起こっていない。全体的に水撃圧が小さい。

図-6 上空13km地点で気化した時

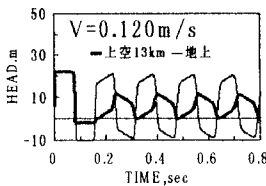


図-7は地上で気化したときのグラフである。上空13kmでは、第2波目の水撃圧に差がでてきている。

図-7 地上で気化した時

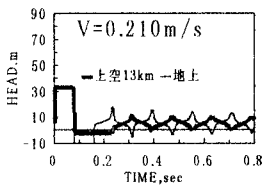


図-8では実験値、理論値で発生した空気により、伝播速度が遅くなった状態である。水撃圧自体の大きさは変わっていない。

図-8 その後の経過

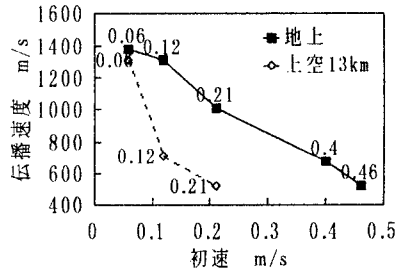
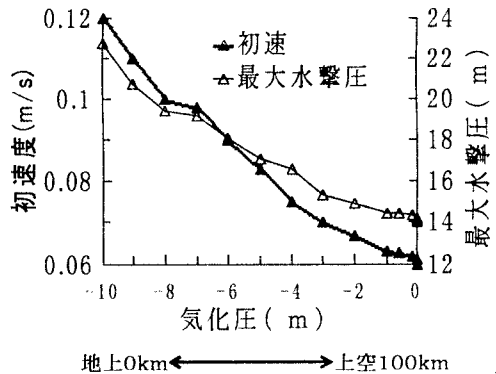


図-9 地上と上空13kmの第2波伝播速度

(5) 様々な気化圧の時の気化する初速と最大水撃圧

高度と気圧には5km上昇するごとに1/2減少という関係がある。気化圧の変化と気化する初速度、その時の最大水撃圧について調べた。



地上0km ← → 上空100km

図-10 気化圧と初速、Hmaxの関係

5. 結論

- (1) 理論値と同じような波形が実験でも現れた。
- (2) 気化後、第2波目以降の水撃圧が弱まり伝播速度が遅くなった。気化する流速は0.1m/sであった。
- (3) 実験値では空気量の影響で-10mに達する前に気化している。図-5で見ても実験値では理論値より先に気化に達している。その為、実験値の方がはやく気化すると思われる。
- (4) 地上と上空13km地点では波形に違いはない。気化する初速は上空13kmの方が約2.4倍遅く、伝播速度が遅くなる初速も約2.2倍違う。
- (5) 高度が高くなるにつれて気化する初速度、最大水撃圧は小さくなる。上空では少しの速さでも気化してしまうことが分かった。また、最大水撃圧は14m、初速は0.06m/sに収束した。