

水撃負圧部の気化現象における発生気泡の可視化 及び発生気泡の計測について

東北学院大学大学院 学生会員 ○ 田嶋大樹

東北学院大学工学部 正会員 河野幸夫

（１）序論

液体が流れる管路を急激に閉鎖すると圧力が上昇し、水撃現象が発生する。その圧力が降下すると負圧になり水を気化させ、管路内が気液混相流になる。高速度カメラとオプティカルブローポイド計を用いれば、水撃負圧部の発生気泡を可視化および計測する事ができるので、以下の項目について検討することを本研究の目的とする。

1. 管路内の流速を一定にし、測定点のポイド率の時間変化を求める。
2. 管路内の流速を変えた時のポイド率と負圧部伝播速度を解析値と比較検討する。
3. 負圧部の伝播速度とポイド率の関係を検討する。

（２）実験手順

1. 水面高 12.14m の上水槽バルブを全開にし、水を全長 60.21m の管路を用いて自然流下させ、流量が安定した時点で流速の測定を行う。
2. 急閉鎖弁を閉鎖し、水撃現象を発生させる。
3. 水撃現象を発生させると同時に、図 1 に示す高速度カメラ及びポイド計による気泡の撮影及び計測を行う。

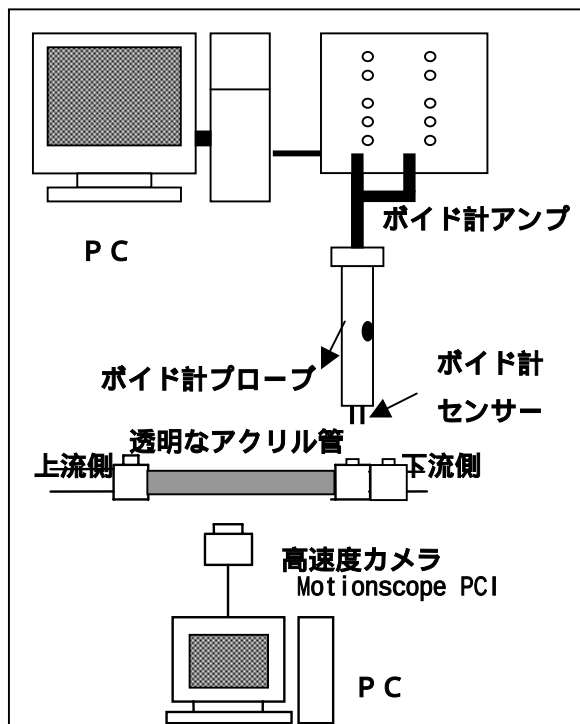
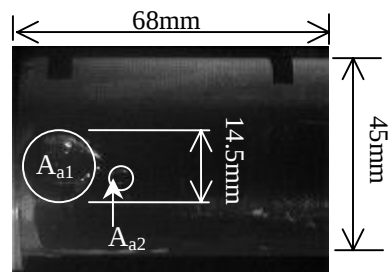


図 1 気泡計測用装置

（３）実験結果

1) 高速度カメラによる実験結果



$$A_m = 68 \times 45 = 3060 \text{ mm}^2$$

$$\sum A_a = A_{a1} + A_{a2} = 183.5 \text{ mm}^2$$

$$\alpha = \frac{A_a}{A_m} \quad \text{—— 式}$$

図 2 弁閉鎖後 0.220 秒後の高速度カメラの画像(流速約 1.4m/s)

図 2、式 に示すように、高速度カメラの画像はポイド率の定義に従って、面積の比率から気泡のポイド率を求める事が可能である。

2) ボイド計による実験結果

ポイド計による測定結果は、センサーに触れた気泡の結果のみ図 3 に示すようにポイド率時間変化が 1/1000 秒単位で表示できる。瞬間の値と、その時間までの平均の値(Integral Value)を表示することができる。

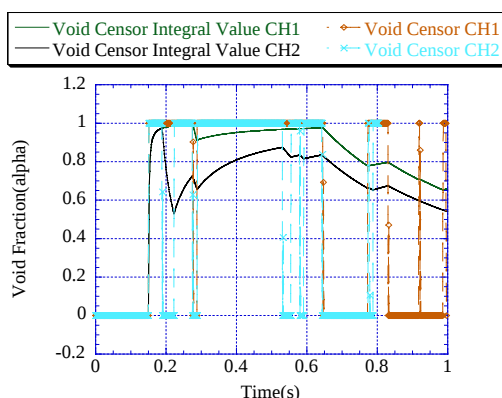


図 3 ボイド率の時間変化(流速約 1.4m/s)

3) 高速度カメラ及びボイド計による実験結果
水撃波形と同じ時間軸に、カメラで最大のポイド率が撮影された時間とボイド計により得られたポイド率の時間変化をプロットすると図 4 のようになる。

キーワード：水撃負圧部、ポイド率、気泡撮影、気泡計測、負圧部伝播速度

連絡先（宮城県 仙台市 泉区 鶴が丘 一丁目 4 7 番地の 2 9 TEL：022-372-7417）

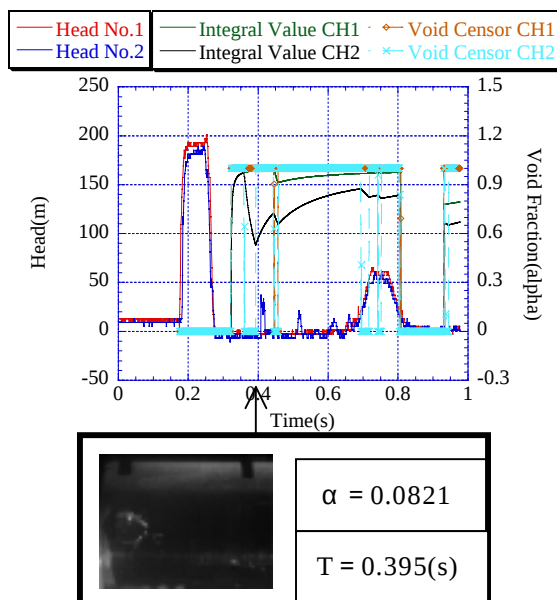


図4 水撃波形にプロットしたボイド率

第一波負圧部するとき、より多くの気泡が撮影及び計測されている。

4) 各流速の実験結果

高速度カメラと、ボイド計の最大ボイド率及び数値解析により求められたボイド率を流速ごとにプロットしたグラフが図5である。

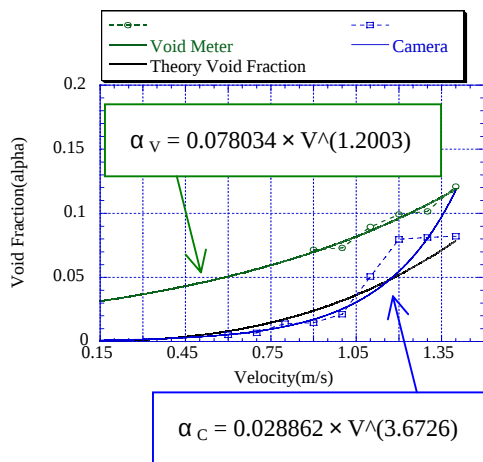


図5 各流速とボイド率の関係

5) 水撃負圧部の伝播速度

) 水撃波形から求めた値

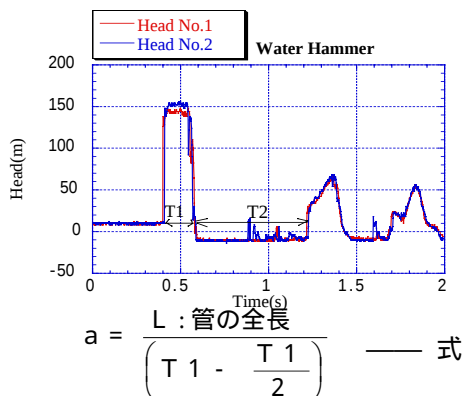


図6 負圧部伝播速度の求め方

) ボイド率から求めた値

$$a = \frac{1}{\sqrt{\frac{\gamma_w(\gamma_w - \gamma_a)V_a/V}{g} \left[1 + \frac{(K_w/K_a - 1)V_a/V}{K_w} + \frac{D}{eE}(1 - \mu^2) \right]}} \quad \text{式}$$

γ_w : 水の比重量 e : 鋼管の厚さ
 γ_a : 空気の比重量 E : ヤング係数
 V_a/V : ボイド率 a : 負圧部の伝播速度
 μ : ポワソン比

式、に各々数値を代入し伝播速度を求める。
)と)の値と流速の関係が図7である。

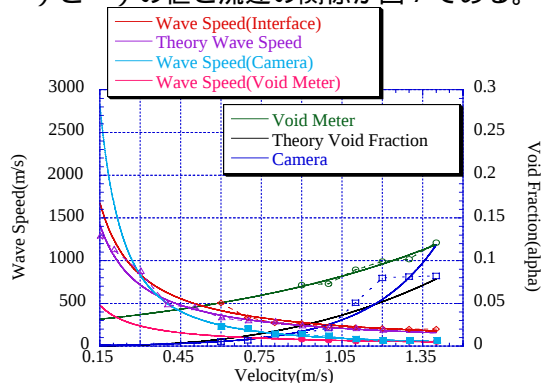


図7 流速と負圧部伝播速度の関係

6) 負圧部伝播速度とボイド率の関係

以上の結果をふまえ、伝播速度とボイド率の関係を検討する為のグラフが図8である。

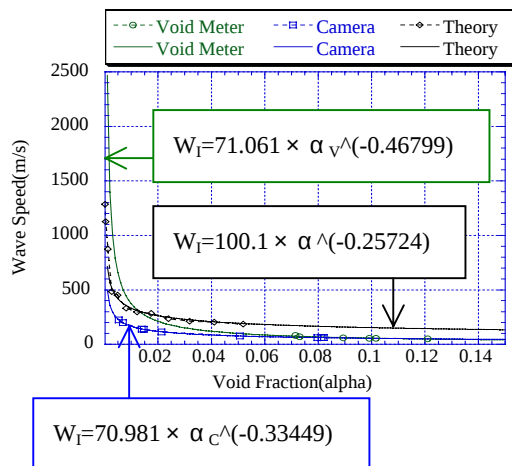


図8 負圧部伝播速度とボイド率の関係

(4) 結論

- 1、水撃波及びボイド率の時間変化から、第一波負圧部において、最大ボイド率が撮影及び計測されている。このことから、気泡の発生し始める時間の範囲が特定できた。
- 2、各流速とボイド率の関係は、2つの実験値と解析値が、近い値や傾向を示した。よって、本研究で行った気泡撮影や、計測については解析値とほぼ一致している事が判明した。
- 3、負圧部伝播速度とボイド率の関係は、実験値、理論値ともにボイド率の大きいほど負圧部伝播速度が小さい。よって、気泡が伝播速度に影響を与えると判断した。