

II-100

水撃負圧部における気化現象の可視化について

東北学院大学工学部 学生会員○齋藤克教

東北学院大学工学部 正会員 河野幸夫

(1) 序論

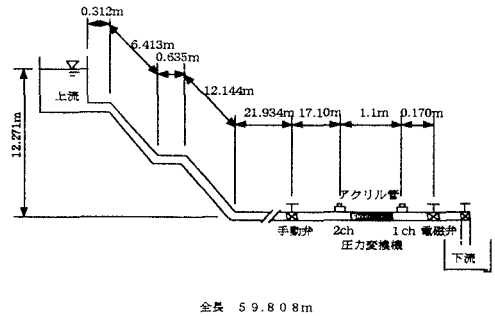
本研究は、液体が流れる管路を急激に閉じた時に生じる急激な圧力上昇（水撃圧）は、その圧力が降下することで負圧になり水を気化させ、管路内が気液混相流になる。管路内にアクリル管を挿入し、その部分を高速度カメラで撮影することにより、ボイドの特質を検討する。

- 1) 管路内の流速を変えたときの伝播速度の変化と理論のボイド率の関係を調べる。
- 2) 高速度カメラで撮影した画像を用いてボイドの発生、動きを観察する。
- 3) 管路中に透明なアクリル管を入れ、それを高速度カメラで撮影することによって管路内のボイド率を測定する。高速度カメラで撮影した画像を用いてボイドの発生、動きを観察する。

(2) 実験方法

- 1 上水槽部のバルブを全開にし、上水槽から自然流下させる。
- 2 本線の電磁弁をあげる。
- 3 手動弁を全開にし、上水槽から自然流下してくる水を下水槽へ流下させる。
- 4 定常状態になってからバケツで約10秒間、水を溜め、メスシリンダーによって測定する。測定した体積を時間で割り、その値を管の断面積で割り、流速を求める。流速は手動弁により調整する。
- 5 下水槽に流出する流量が安定した時点で、オシロスコープを動作させ弁を急閉鎖し水撃圧を発生させる。
- 6 本線の間に入れたアクリル管部を高速度カメラで撮影する。
- 7 発生した水撃圧は、圧力変換器から動歪計を通じてオシロスコープに入力される。
- 8 オシロスコープからペンレコーダに波形をプロットする。

(3) 実験装置全体図



(4) 実験結果

- 1) 伝播速度 a とボイド率 α 、流速 v と伝播速度 a の関係を表わしたグラフが図1、図2のようになる。ボイド率 α は、下の式に Va/V を 0.0001 刻みで 0 から代入する。

$$a = \frac{1}{\sqrt{\frac{\gamma_w - (\gamma_w - \gamma_a)V_a/V}{g} \left[\frac{1 + (K_w/K_a - 1)V_a/V}{K_w} + \frac{DC_1}{eE} \right]}}$$

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 : 水と空気 の 混合体 の 体積
 V_a : 空気 の 体積
 K_w : 水 の 体積弾性係数
 K_a : 空気 の 体積弾性係数
 a : 圧力波の伝播速度

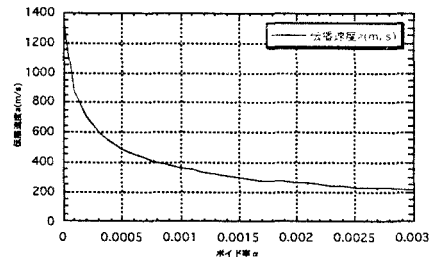


図1 伝播速度とボイド率のグラフ

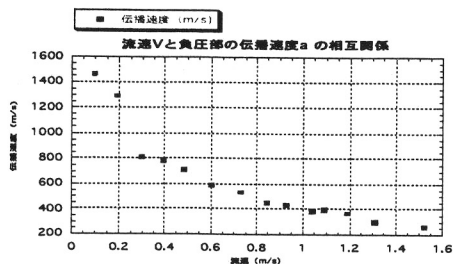


図2 実験での流速と伝播速度のグラフ

混合体の比重量が水だけの場合だけより気体が混入することにより減少するのに圧縮力が大幅に増加するため、つまり、ボイドの影響を受け、伝播速度は減少していく。

2) 高速度カメラで撮影した画像を用いてボイド率を測定する(管路体積を237384mm³、発生したボイドの体積を V_a とすると、ボイド率 $\alpha = V_a/237384$ となる)と図4のようになる。

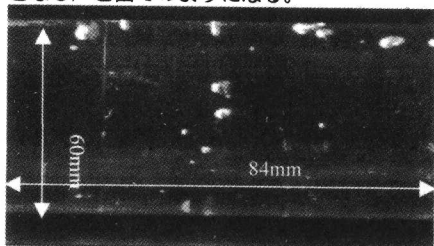


図3 高速度カメラの画像

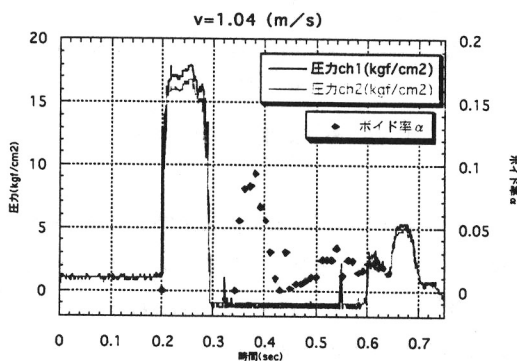
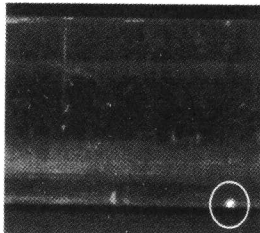


図4 水撃波形にプロットしたボイド率

ボイド率は、極めて短い時間で増加、減少を繰り返しながら、0に近づくと考えられる。

3) 高速度カメラによるボイドの動き



円で囲んだボイドを時間経過とともに検証していく。これを水撃波形と照らし合わせていく。

図5 ボイドの動き

画像では、左が上流、右が下流で電磁弁は下流側に設置してある。

(5) 結論

- 1) 流速が速くなればなるほど負圧部の伝播速度は減少し、伝播速度が減少すればボイド率は増加する。このことから、流速が速くなれば、ボイド率は高くなる。
- 2) 高速度カメラによるボイド率 α の測定では、流速 $v=1.04$ (m/s) の平均ボイド率 α は0.025、 $v=1.21$ (m/s) の平均ボイド率 α は0.012、 $v=1.69$ (m/s) の平均ボイド率 α は0.0031となった。低い流速のほうがボイド率の高い傾向を示すことになったが、これはフローパターンの違いからこのような結果になった。
- 3) 高速度カメラで撮影することによって、水撃波形が負圧に達したところでボイドが発生していることが確認できた。負圧に達して発生するボイドは、徐々に浮上しながら上流側へ移動し、再び正圧に達すると、体積を減少させながら下流側へ移動する。また、負圧から再び正圧になったときでも若干ボイドが残っており、完全に消えなかったことから圧力波の第二波目にボイドが圧力に影響を及ぼすことがわかった。

参考文献

日本流体力学学会-編集

混相流体の力学