

水撃負圧部の気泡発生とポイド率について

東北学院大学工学部 学生会員 下浅 雄大
 東北学院大学工学部 正会員 河野 幸夫

実験目的

水が流れる管路を急激に閉鎖したとき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により負圧となり、液体を気化させて管内に多数の気泡が生じ、気液混相流の状態になる。本研究は、鋼管路の間にアクリル管を挿入して2台の高速度カメラにより1秒に2000枚撮影し、気泡の発生等をとらえる。それと同時に水撃圧が発生する事により、鋼管が振動していると思われた為、この振動を加速度センサーによりとらえる。以下が本研究の目的である。

高速度カメラの静止画から、各流速のポイド率の変化を表す。

気泡の減少、崩壊の課程を高速度カメラにより捉え、その課程を検証する。

気泡が発生する限界の流速を求める。

発生したポイド率から負圧部の伝播速度を計算し、実験値と見比べて比較検討する。

実験装置及び手順

ポイド計アンプと Windows-PC を接続する。

高さ約 12m の上部水槽パルプを全開にし、水を自然流下させて全長約 60m の管路下流の緊急遮断弁を開け、手動弁を全開にする。

上部水槽をオーバーフローさせ、手動弁で管路の流速を止める。

管路に必要な機器(圧力変換器、高速度カメラ等)を取り付け、初期設定をする。

再び手動弁を開け、流速が安定したら流速を調節する。高速度カメラのトリガーを押し、緊急遮断弁を急閉鎖させることにより水撃圧が発生させると同時に、高速度カメラでの撮影と加速度センサーでの振動をとらえる。

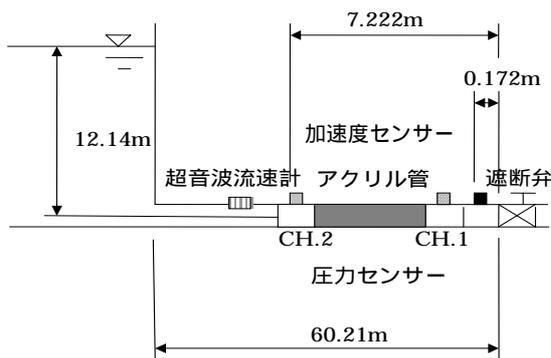


図1 実験装置図

高速度カメラによるポイド率の算出方法

図2は高速度カメラによる画像である。本実験では気泡の体積を正確にとられる事が出来ないため、以下の様にして2次元で計算する。

この画像をまず図2のように縦 50mm、横 50mm の正方形に区切り、面積 A_m を $A_m = L^2 = 2500mm^2$ と求める事が出来る

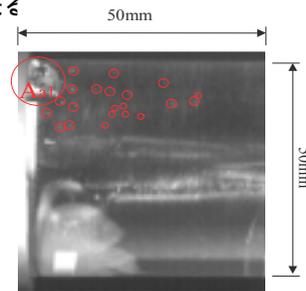


図2 高速度カメラによる影像

次に気泡の面積を計算する。この多くの場合、気泡は一度に多数発生する事が多いため、一つ一つの気泡の面積を合計した値が気泡の面積となる。つまり A_a は、

$$A_a = \sum_{i=0}^n A_n = A_1 + A_2 + \dots + A_n = 8.04 mm^2$$

となる。ゆえに、ポイド率 α を求める式は $\alpha = A_a / A_m$ より、この画像のポイド率 α は

$$\alpha = 8.04 / 1225 = 0.006563 \text{ と求めることができる。}$$

絶対気圧における伝播速度の計算

絶対気圧(ゲージ圧で - 10m)における伝播速度は正圧部での伝播速度 $a = 1341.7m/s$ とは異なり、気泡の発生を考慮した式となる。下の式での V_a/V がポイド率である。

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

例として、流速 1.094m/s の時にポイド率 0.0776 であったとする。この時の伝播速度 a は以下のようになる。

$$\alpha = \frac{1}{\sqrt{\frac{999 - (999 - 2.372)(0.0766 \cdot 10^{-2})}{9.8} \left[1 + \frac{(2.07 \cdot 10^8 - 1) \cdot 0.43 \cdot 0.01}{2.8 \cdot 10^8} + \frac{0.02077}{(5.3 \cdot 10^{-2}) \cdot (2 \cdot 10^9)} \right]}}$$

=54717m/s

実験結果

図4は水撃圧実験において算出した各流速におけるボイド率の変化を示したグラフである。流速 0.1m/s では高速度カメラの映像において気泡が確認できなかった為、ボイド率は0となっている。

図5, 6は気泡の減少、崩壊する様子を高速度カメラで撮影したものである。気泡の発生は、管内のどこかに発生し、その後大きく成長する。その後、減少する場合は最大気泡が生じた後に体積が急激に減少し、そのまま小さな気泡になっている。崩壊する場合は細かな気泡の粒に分かれ、周囲へ散るようにして無くなっていく様子が見られる。

図7は流速 1.025(m/s)、ボイド率 0.502 の時の圧力のグラフである。管内が水で満たされている場合()の伝播速度は $a_1=1341.7(m/s)$ である。その為、圧力が上部水槽から反射してくるまでの時間は $L=60.21(m)$ であるので、 $2L/a=T_1=0.09(s)$ である。しかし、負圧が上部水槽に進行する場合()は、気泡を発生させながら進むため伝播速度は $a_2=323.29(m/s)$ となり、理論上負圧が上部水槽までに達する時間は $T_3=0.18(s)$ となる。

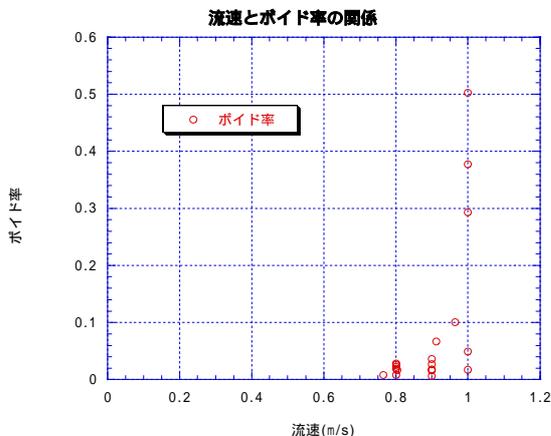


図4 各流速におけるボイド率の変化



図5 気泡が減少していく様子



図6 気泡が崩壊していく様子

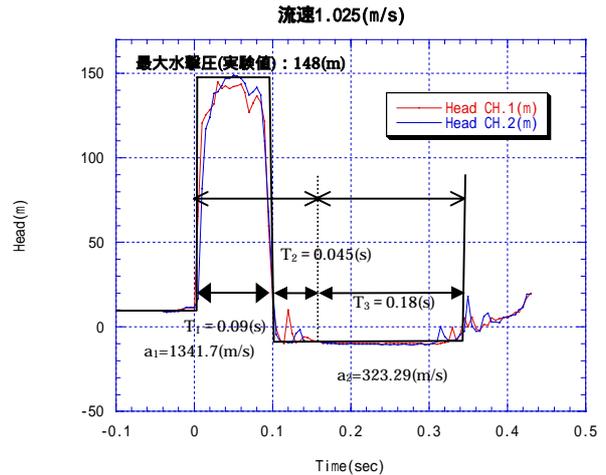


図7 実験結果

結論

- 1 管内を高速度カメラを用いて泡の撮影をする事により求めたボイド率の変化を見ることによって、流速が変化する事によるボイド率の変化を明らかにする事ができた。今回の実験では流速 0.6m/s までは高速度カメラで気泡の発生が確認出来なかった為、ボイド率は0となっている。最大のボイド率は流速 1.000(m/s)の時で 0.502、最小は流速 0.765(m/s)の時で 0.008 であった。
- 2 泡の発生や成長、減少、崩壊は、たとえ同じ流速でも違っている事が明らかになった。図5, 6は同じ流速約 1.0m/s の時の映像であるが、図5では最大気泡が発生してから体積を減少させながら消えていったのに対し、図6では気泡が発生してからその泡が細かな気泡になり、散るようにして無くなっていく様子が見られた。これは他の流速においても同様の現象が見られた。
- 3 気泡が映像で見える事ができる最小流速は、今回の実験においては約 0.765m/s であった。
- 4 ボイド率を用いて水撃圧負圧部における伝播速度の変化を考慮する事により、理論値での負圧部の時間は 0.225(s)、実験値では 0.235 と、実験値にほとんど近づく事ができた。