

# 水撃負圧部の伝播速度及びボイド計を用いた気液二相流のメカニズム

東北学院大学工学部 学生会員：小野 泰正

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、その圧力上昇と圧力降下時の圧力波の伝播速度を圧力変換器と動歪計を用いて 1/10000 秒で測定する。鋼管の間にアクリル管を挿入して高速度カメラにより 1 秒に 2000 枚撮影し、気泡の発生や、それに伴う伝播速度の変化との関連性を求める事を主な研究とする。

1. 圧力変換器と動歪計を用いて正圧と負圧における伝播速度の測定方法の決定をする。
2. 負圧の伝播速度とボイド率からの伝播速度を求め、その結果と各流速との関係を求める。

## 実験装置及び手順

高さ 12.1m の上部水槽バルブを全開にし、水を自然流下させて全長 58.10m 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を発生させる。それと同時に、高速度カメラで気泡の撮影を行う。

## III 正圧における伝播速度の理論値計算

伝播速度  $a$  は一般的に管内が水のみ単相流の状態では以下の式を用いて計算する。

$$a = \sqrt{\frac{\frac{k}{\rho}}{1 + \left(\frac{k}{E}\right) \times \left(\frac{D}{e}\right) \times (1 - \mu^2)}}$$

$$= \sqrt{\frac{\frac{2.07 \times 10^9}{1019.37}}{1 + \left(\frac{2.07 \times 10^9}{2.0 \times 10^{11}}\right) \times \left(\frac{5.3 \times 10^{-2}}{3.9 \times 10^{-3}}\right) \times (1 - 0.3^2)}}$$

$$= 1341.7(m/s)$$

キーワード 水撃圧、伝播速度、ボイド、

宮城県大崎市古川中島町 2-22 080-5552-8353

$k$  : 水の弾性係数 =  $2.07 \times 10^9$  (N/m<sup>2</sup>)

$\rho$  : 水の密度 =  $1000/9.81 = 1019.37$  (N · sec<sup>2</sup>/m<sup>4</sup>)

$E$  : 管の弾性係数 =  $2.0 \times 10^{11}$  (N/m<sup>2</sup>)

$\mu$  : ポアソン比 = 0.3

$D$  : 管径 (内径) =  $5.3 \times 10^{-2}$  (m)

$e$  : 管の肉厚 =  $3.9 \times 10^{-3}$  (m)

## VI グラフからの伝播速度算出

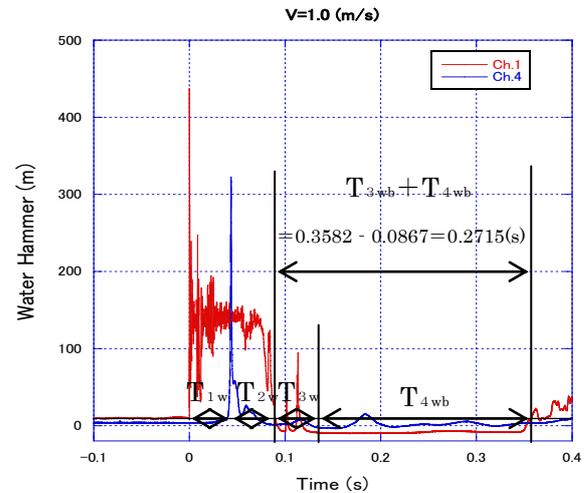


図1 伝播速度算出の際の時間の取り方

伝播速度については3種類の方法(Vの負圧を考慮した伝播速度も含む)により算出した値により理論値との関係を調べる。

(1) Case1 =  $2L/(T_{3wb} + T_{4wb})$  より算出する方法

$T_{3wb} + T_{4wb}$  の定義は水撃負圧部の始まりから終わりの時間の範囲である。

$T_{3wb} + T_{4wb} = 0.2715$  (s) より、

$2 \times 58.10 / 0.2715 = 427.99$  (m/s)

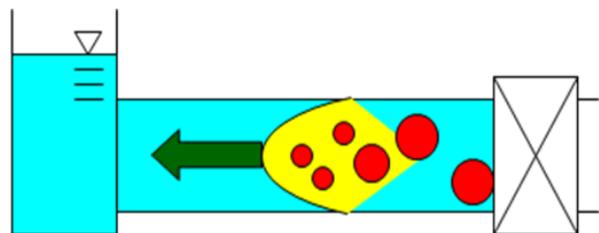


図2 上部水槽への伝播の様子

(2) Case2=L/T<sub>4wb</sub> より算出する方法

T<sub>1w</sub>、T<sub>2w</sub>、T<sub>3w</sub> は液体のみの為、正圧の伝播速度を用いる。

T<sub>1w</sub>=T<sub>2w</sub>=T<sub>3w</sub>=58.10/1341.7=0.0434 (s)となり、

T<sub>4wb</sub>=(T<sub>3wb</sub>+T<sub>4wb</sub>)

0.0433=0.2688-0.0433=0.2255(s) よって、a<sub>1</sub>

=58.10/0.2255=257.6497 (m/s)

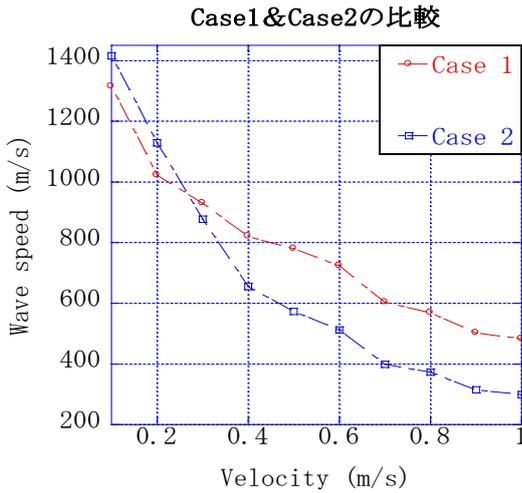
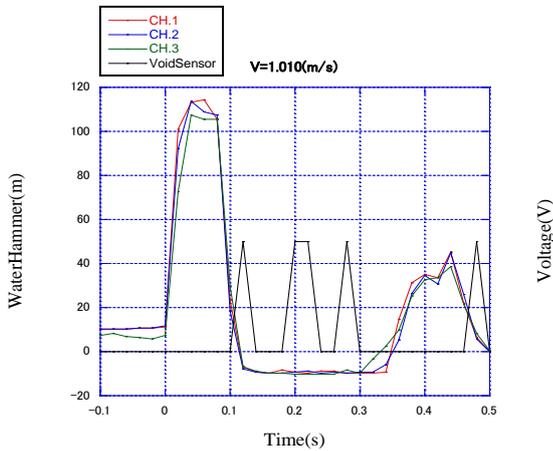


図3 各流速における伝播速度の変化



○ボイド率算出例

触れている時間 T<sub>1</sub>=0.01 (s), T<sub>2</sub>=0.02 (s), T<sub>3</sub>=0.01 (s),

ΣTa=0.04 (s)

全体の時間 T=0.35-0.11=0.24 (s)

ボイド率  $\alpha = \frac{0.04}{0.24} = 0.166666667$

## V 実験結果

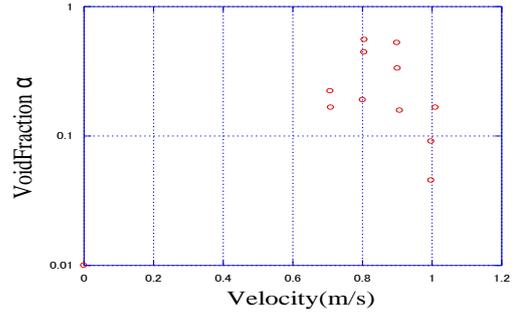


図4 各流速とボイド率の関係

## VI 結論

- 理論値は a<sub>1</sub>=1341.7(m/s)である。
- 流速 0.5(m/s)時の伝播速度 a<sub>1</sub>は 1194.7657(m/s)となり、流速 1.0(m/s)時の伝播速度 a<sub>1</sub>は 1259.3880(m/s)となった。
- Case1&Case2 から流速が上がると同時に、鋼管内に気泡が発生する量も増え、伝播速度が遅くなり、Case2の理論が正しいと言える
- 理論値(α=0.21の時)は a<sub>2</sub>=349.8 (m/s)である。
- プローブ計の実験値からボイド計プローブを用いたボイド率実験では、流速 0.0~0.6m/s まではボイド計が反応していない。まず1つ目の要因として、0.7m/s までは泡が発生しないと考えられる。2つ目にボイド計を取り付けた箇所あるいは、センサーに触れずに通過した泡が存在したと考えられる。

参考文献：1)渡辺雅二,河野幸夫：管路における気液 2 相流のモデル解析について 環瀬戸内応用数理研究会 第一回論文集、応用数学会、pp.42~46, (1998).