

鋼管内の圧力変化に伴う発生気泡の実験的研究について

東北学院大学大学院 学生会員 ○守谷 知真
東北学院大学工学部 正会員 河野 幸夫

(1) 実験目的

水が流れる鋼管路を急激に閉鎖した時に生じる急激な圧力上昇（水撃圧）は、その圧力が負圧になるのに伴って気泡が発生する。本研究は、その鋼管路の間にアクリル管を挟んで高速度カメラにより発生気泡を撮影しつつボイド計センサーによりボイド率を計測する。

1. 水撃圧の時間変化に伴う測定点のボイド率の時間変化をグラフとして表す。
2. ボイド計センサー及び高速度カメラの静止画から各流速のボイド率の変化を表す。
3. 水撃圧波形により、負圧部伝播速度を求め各ボイド率と比較する。
4. 気泡が発生する限界の流速を求め、その流速での発生最大気泡の直径を求める。

(2) 実験装置図

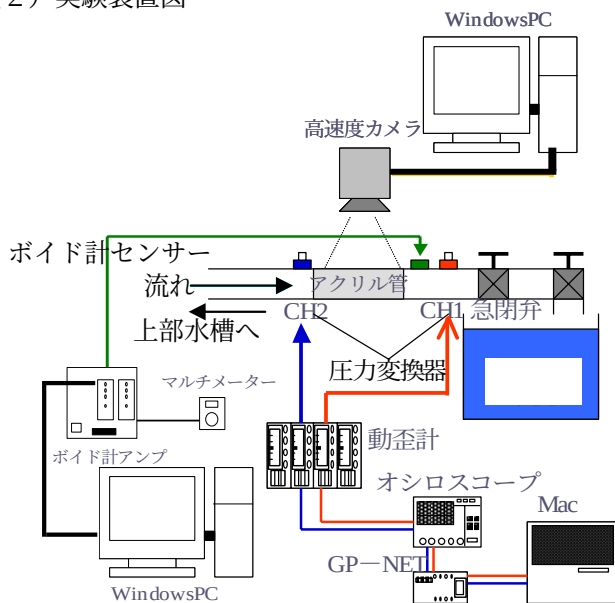
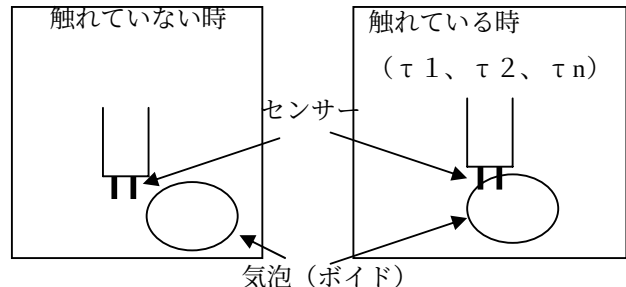


図1；実験装置全体図

(3) ボイド率算出方法

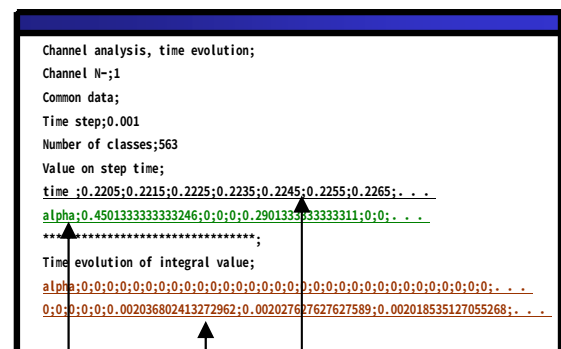
I ボイド計からのボイド率算出方法

図2を図1で示したボイド計センサーの先端模式図とする。



$$\alpha = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} \tau_i}{T}$$

図2；センサー先端の模式図と算出式



瞬間のボイド率 α
平均のボイド率 α 時間(sec)

図3；ワードパッドの一部

ボイド計アンプによりボイド計センサーに水が触れているときは0 V、空気（気泡）に触れているときは5 Vと電圧調整しておりこの時間T間の空気と水の割合をボイド率 α とする。また、図3はボイド計センサーにより決定されたボイド率を瞬間、平均共に1/1000秒単位で表したワードパッドの一部でこの様に数値化することができる。

II 高速度カメラからのボイド率算出方法

図4は高速度カメラにより撮影された発生気泡を捉えた画像の一つである。画像の面積と気泡の面積の割合によりボイド率を算出することができる。

キーワード：ボイド率、高速度カメラ、ボイド計センサー、負圧部伝播速度
連絡先〔宮城県仙台市太白区西多賀五丁目1番1号 TEL：022(243)0183〕

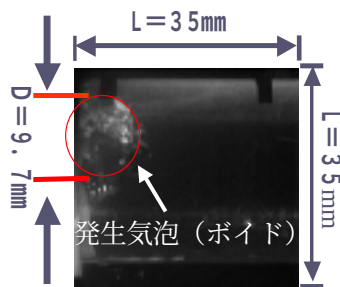


図4；高速度カメラにより撮影された画像

図4の画像のボイド率 α は画像面積を A 、発生気泡面積を A_a とおくと下記計算により算出することができる。

$$A = L^2 = 1225(\text{mm}^2)$$

$$Aa = \frac{\pi D^2}{4} = 73.89(\text{mm}^2)$$

$$\alpha = \frac{Aa}{A} = \frac{73.89}{1225} = 0.06032$$

(4) ボイド率からの負圧部伝播速度算出方法

下式により高速度カメラ、ボイド計センサーで測定されたボイド率からそれぞれ各項に値を代入することにより各負圧部伝播速度を算出することができる。

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

γ_w : 水の比重量 e : 鋼管の厚さ γ_a : 空気比重量
 E : ヤング係数 V : 水と空気の混合体の体積 a : 圧力波の伝播速度
 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

(5) 実験及び計算結果

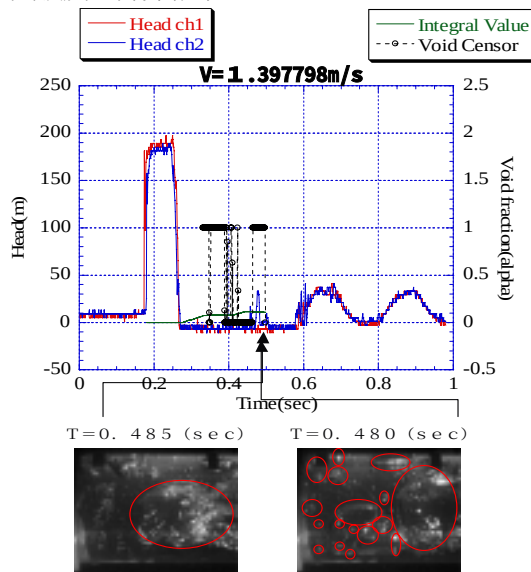


図5；水撃圧、ボイド率波形と最大ボイド率（左）、最大気泡（右）を捉えた画像

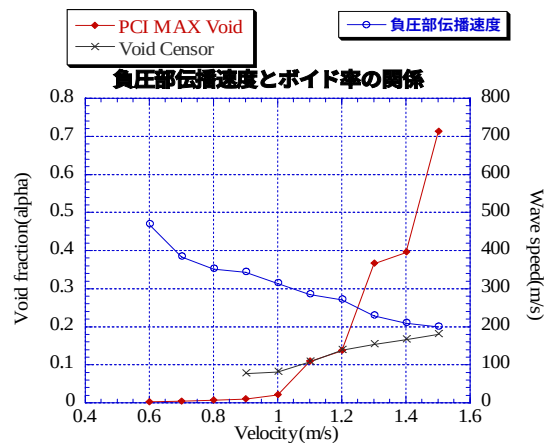


図6；負圧部伝播速度とボイド率とグラフ

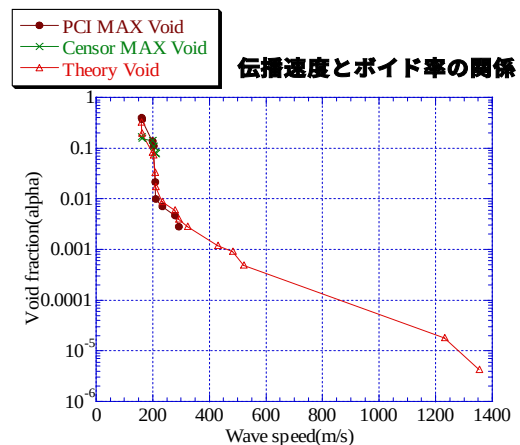
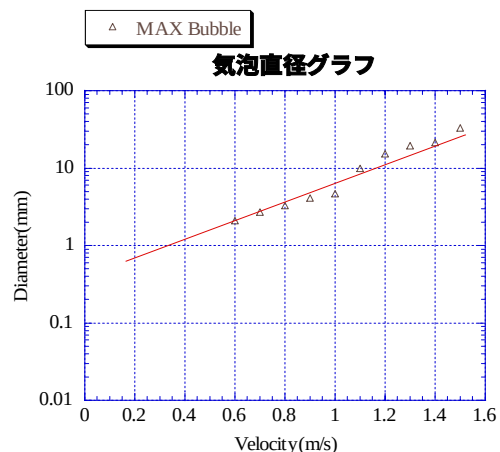


図7；理論も含めたボイド率グラフ

図8；各流速における最大気泡直径のグラフ
(6) 結論

- ①実際に第一波負圧部で気泡が発生し、また流速が上がるにつれ発生量、発生率が増加することが解った。
- ②グラフから、ボイド計センサーによるボイド率測定より、高速度カメラによるボイド率測定の方が信憑性が高いことが解った。
- ③気泡発生が減少するにつれ、負圧部伝播速度は上昇していることが解った。
- ④数値理論上気泡が発生し始める流速 0.15(m/s)での最大気泡直径は、0.6(mm)であることが解った。