

大阪市立大学

大阪市立大学

大阪市立大学

京都大学原子炉実験所

学生会員 ○

学生会員

正会員

鈴木琢磨

関本武史

角野昇八

日引 俊

1 まえがき

大気-海洋界面での気体輸送の定量的評価について、その重要性に鑑みて内外で精力的に研究が進められている。著者らはこれまで、沿岸域砕波帯での酸素取り込み(再曝気)に着目し、その機能の解明を目的として研究に取り組んできた。特に最近では、砕波帯での連行気泡が気体輸送に大きく関わっているとの立場から、砕波連行気泡特性の解明に力を注いできている。そしてその目的からシングルボイドプローブ(SVP)を開発し、それを用いた砕波連行気泡特性の解析を行っている¹⁾。しかしSVPを用いた実験では、解析に必要な気泡速度の評価を何らかの別の機器に依る必要があった。前回の研究では、この機器として高速ビデオカメラを用い、ガラス張り造波水槽の外側から撮影したビデオ画像の解析より気泡速度を評価した。しかしながら、例えば現地での連行気泡特性の解明などを考えた場合、この気泡速度評価法の適用はきわめて困難となる。そこで、SVPを改良して2本のプローブから構成されるダブルボイドプローブ(DVP)の開発を目指した。

本稿では、DVPの紹介とその精度の確認の結果について報告する。

2 DVPの仕組み

DVPの主な仕組みは図-1に示すようである。先端に、針灸に使用する鍼(針灸用セリウム鍼 J type)を使用した。鍼の直径は0.12mmであるが、針先は 21 ± 4 度の角度で極めて鋭利に研削されているため、最先端の径は限りなくゼロに近い。この鍼に銅線を接合して1本のセンサーとし、それを2本束ねたものをステンレスチューブに通して図-1に示すように1本のDVPとする。また、2本の鍼はそれぞれ、鍼の先端約0.2mmを除いて樹脂を塗り絶縁することで、先端部分でのみ電流を流すようにする(図-2)。

このDVP中の各センサーにはそれぞれ電気回路を構成させて直流電流を流すようにし、造波水槽内の波面

が通過する点に置いたセンサーの先端部と、同じ水槽内にある末端部の電圧差によって、センサーの先端が気相にあるか液相にあるかを判断する。すなわち、センサーの先端部に気泡が当たって

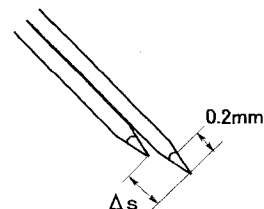


図-2 DVPの先端部の拡大図

いる場合、あるいは大気中にある場合には、回路が開いて電流が流れず、一方、センサーの先端部が液体中にある場合は回路が閉じて電流が流れる性質を利用して気泡の有無の判定を行う。その概念を図-3に示す。

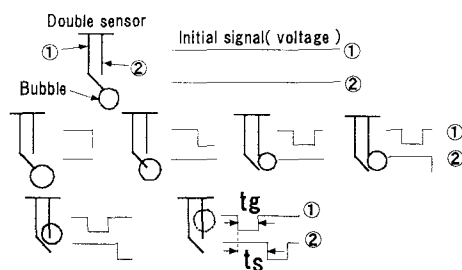


図-3 DVPによる電圧変化の模式図

ここで2本のセンサーを利用する理由は、2本のセンサーを Δs ずらして距離をもたせることで、一つの気泡がフロントセンサー、リアセンサーそれぞれに貫入する時刻に差が生じ、その時間差 t_s と Δs より気泡の移動速度 v を算定することができ、さらにそれに一つの気泡の気泡通過時間 t_g を乗じることにより、気泡径 d が求められるからである(式(1)、(2))。このことでSVPを用いる実験で必要とされた高速ビデオカメラによる気泡速度の測定が不要となる。

$$v = \frac{\Delta s}{t_s} \quad (1)$$

$$d = v \cdot t_g \quad (2)$$

なお、このとき気泡は球形と仮定し、針は気泡の中心を貫入すると仮定している。また、 Δs は、以下の不等式(3)を満足するように製作する必要がある(Hibiki et al. 1998)。

$$\frac{N_s \cdot v_{sz}}{f} < \Delta s < d_{Sm} \quad (3)$$

ただし、ここに

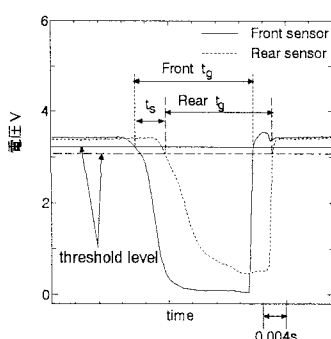
N_s : 気泡一個から得られるサンプリングデータ数

v_{sz} : 主要な方向の気泡速度 f : サンプリング周波数 d_{sm} : 平均気泡径

今回の実験では $N_s = 2.5$ 程度、 $v_{sz} = 100\text{cm/s}$ 程度、 $f = 5000\text{Hz}$ 、 $D_{sm} = 0.5\text{cm}$ 程度であったため、 $0.05\text{cm} < \Delta s < 0.5\text{cm}$ となる。そのため実験では、 $\Delta s = 0.118\text{cm}$ と 0.149cm の DVP を使用した。

3 校正実験

図—4 は、1 個の気泡が DVP を通過する際に得られるフロントセンサー、リアセンサーそれぞれの、電圧の時間変化のデータの例を示している。



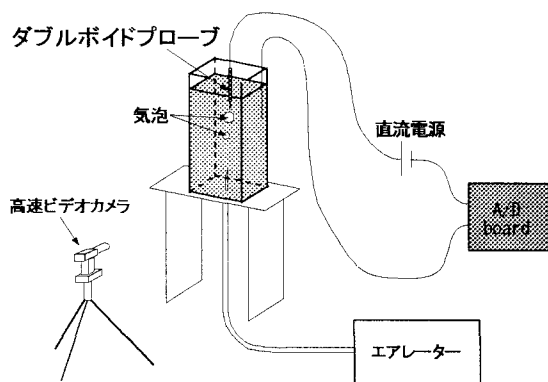
図—4 threshold level

式(1)及び(2)

の t_g 及び t_s を決

定するためには、

気泡がプローブに貫出入する瞬間の電圧 (threshold level) を予め知っておく必要がある。そのために行うのが校正実験である。実験は以下の方法で行った。まず、図—5 に示すように、ダクト内に人工的に気泡を発生させ、同じダクト内に設置した DVP により気泡を検知させる。そうすることで、図—4 に示すような電圧変化のデータが得られるが、それと同時に気泡が DVP を貫出入する様子を高速ビデオカメラで撮影して、その瞬間を目視で見定める。すなわち時間経過に伴う電圧変化のデータに、高速ビデオカメラによって得られる気泡がプローブに貫出入した時間を重ねることで、気泡がプローブに貫出入する瞬間の電圧 (threshold level) を決定することができる。

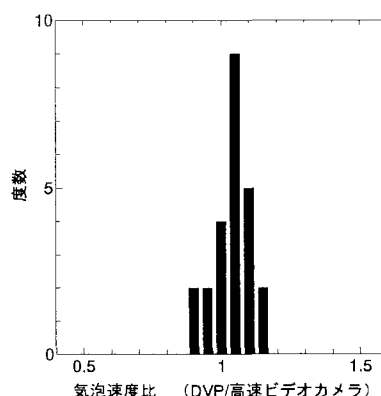


図—5 校正実験

4 気泡速度測定による DVP の精度確認

既述のように、DVP の最大の特徴は、気泡速度の算定の際に高速ビデオカメラを用いることなく、DVP のみで気泡速度を求めることができることである。しかし、DVP によって求められた気泡速度が、実際の気泡速度に等しいかどうか確認する必要がある。ここでは、校正実験と同様の方法で、気泡を人工的に発生させて DVP に感知させると同時に、その様子を高速ビデオカメラで撮影し、DVP のみで求めた気泡速度と高速ビデオカメラの画像より求めた気泡速度を比較することで、DVP による気泡速度の精度を検討した。

図—6 は、横軸に DVP による気泡速度/高速ビデオカメラによる気泡速度の気泡速度比を、縦軸に度数をとったものを表している (気泡個数 24 個)。



図—6 気泡速度の比較

図—6 より、気泡速度比が 1.05 のものが最も多く存在していることがわかる。すなわち、DVP による気泡速度のほうが高速ビデオカメラによる気泡速度よりも 5% ほど大きいという結果が得られた。この理由としては、気泡接触の瞬間の認知においてプローブ・目視で差があること、また高速ビデオカメラによる測定では、画像を目視することで速度を評価するため、気泡速度をある程度平均化して見てしまうためでないかと思われる。いずれにしても、両者の差の最大値は 5% 程度であって、したがってこの DVP の精度が確認できたと思われる。

5 まとめ

シングルボイドプローブを改良し、新たにダブルボイドプローブを開発した。また、気泡速度の精度をダブルボイドプローブと高速ビデオカメラそれぞれによって求めた速度を比較することで確認した。

参考文献

- 1) 角野・山岸他、海岸工学論文集、pp.71-75、2001.
- 2) T.Hibiki, S.Hogsett, M.Ishii, Nuclear Engineering and Design, vol. 184, pp287-304, 1998.