

大阪市立大学

工学部

正会員

○ 角野昇八

大阪市立大学大学院

工学研究科

学生会員

山岸達也

京都大学

原子炉実験所

日引 俊

1. まえがき

著者らは、これまで緩斜面上の砕波による酸素取り込み機能に関する一連の実験を行い、砕波における酸素取り込み機能とエネルギー逸散率の間に2次～3次の相関性があることを見出した¹⁾。また、カラー画像センサーを用いた解析結果から、酸素取り込み機能は砕波帯で連行される気泡の特性にも大きく依存することを明らかにした²⁾。本報告では、連行気泡の特性をさらに正確に捉えるために、ボイドプローブ³⁾を用いて砕波帯で連行される気泡特性を測定した結果を報告する。

2. 実験装置

実験は、図-1、あるいは図-4に示すようなボイドプローブを含む電気回路で構成されるセンサーを製作して行った。このセンサーは、原子炉工学などの分野ですでに広く用いられているものである。この装置は、回路の一端であるボイドプローブを水中の測定地点に固定し、他端を同じ水域内の任意地点に設置して直流電流を流して電気回路を構成するものである。ボイドプローブ先端と他端がともに水に触れていて回路が閉じている場合には電流が流れ、逆にプローブ先端を気泡が通過する場合には電気回路が遮断されることを利用して気泡の有無が判定できるとともに、気泡通過時間を測定しようとする。

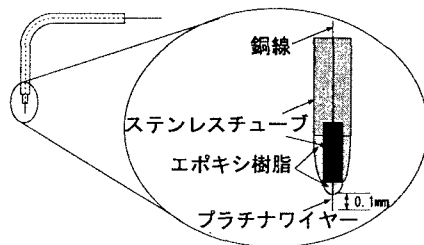


図-1 ボイドプローブ

3. 校正実験

ボイドプローブによって得られる電圧の時間変化の一例を示すと、図-2のようである。気泡がプローブに衝突すると、回路遮断により通電時の電圧は指数関数的に減少する。そして、気泡がプローブの先端部を通過してしまえば、急激に電圧は元に復帰する。気泡がプローブに衝突した時に電圧が急激に減少せずに指数関数的に減少するのは、プローブの先端部が気泡中に完全に貫入するまでに気泡の形状が変形し、完全な回路遮断にある程度の時間を要するためであると考えられる。そこで、本実験に先だってあらかじめ、プローブの先端部に気泡が衝突した瞬間の電圧を知っておく必要がある。すなわち、気相と液相の境界となる電圧 (threshold level) を求めることによって、実際に得られた電圧の時間的变化から気泡通過時間を図-2中の点線のように求めることができる。ここで図-2を見ると、気泡がプローブを通過してプローブの先端部が気相から液相に再び移るときは、急激に電圧が増加するため、電圧の上昇し始めた瞬間に近い時刻が気相と液相の境界であることが明らかである。一方、気泡がプローブに衝突した瞬間の電圧はこの時間的な変化からでは不明である。そこで、図-3に示すように、ダクト内を上昇する単一の気泡通過時の電圧変化をボイドプローブによって計測するとともに、高速ビデオカメラでプローブに気泡が衝突する瞬間と離れる瞬間の時間差を測定し、それを図-2の曲線に当てはめること

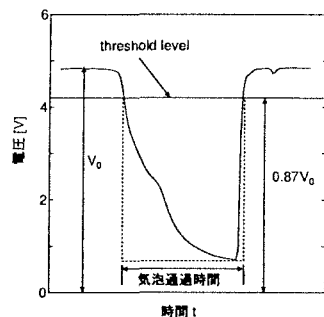


図-2 threshold level

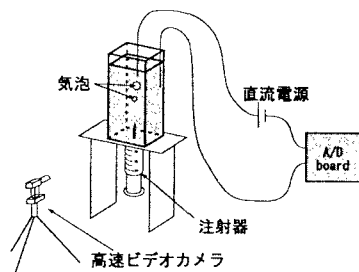


図-3 校正実験

によって threshold level を決定した。その結果、threshold level はプローブの先端部が水中にあるときの電圧の 87 % である事が明らかとなった。

4. 造波水槽内緩斜面上の砕波混連行気泡に関する実験

ボイドプローブを用いて、造波水槽内緩斜面上の砕波による連行気泡特性を測定した。実験は高さ 0.6m、長さ 20m、幅 0.5m のステンレス製片面ガラス張りの二次元造波水槽を用い、水槽の一端には勾配 1/30 の緩斜面を設置して砕波を生じさせた。プローブの設置点は砕波点と汀線の間 10cm あるいは 20cm 刻みの数点とし、その各点上では、静水面より上の気泡混入領域で高さを変えて測定した。

センサーによって得られるデータの一例を、横軸に時間、縦軸に電圧をとって表すと図-5 のようになる。この図によれば、空中にあったプローブが波面に貫入するとともに複数の気泡と衝突した後、再び水中に没し、その後再び空中に曝されるという経過が 2 波分表されている。ここで、i 番目の気泡 1 個分の通過時間を t_{gi} 、気液二相の合計通過時間の j 番目を t_j とすると、時間平均された局所的なボイド率 ϕ (気相部の容積/気液二相部の容積) は式 (1) で表されよう。

$$\phi = \frac{\sum_i t_{gi}}{\sum_j t_j} \quad (1)$$

周期 $T = 1.6s$ 、沖波波高 $H_0 = 8.9cm$ の崩れ波の波浪条件で、式 (1) より求めた局所的なボイド率 ϕ の静水面上の分布を砕波点からの距離 x 別に示したものを図-6(a) および同 (b) に示した。ただし、別途、高速ビデオカメラを用いて測定された砕波中の水粒子速度と t_{gi} から求められる気泡寸法において、2cm 以上のものは気泡ではなく空隙として除外している。図-6(a) および同 (b) によれば、ボイド率は水面付近で最大となり、静水面に近づくにつれて減少し、砕波の観察結果と同様の結果が得られている。また、岸沖方向には、砕波点付近で強い乱れの影響によるかなりのばらつきが見られるものの、砕波点から離れるに従って

鉛直方向分布は同じ値をとる。さらに、砕波点付近を含めて、その最大値はほぼ 20 % 程度である。画像解析によるこの種の解析では、気泡密度が高い領域では気泡の分離が困難であって精度上の問題が出てくるものと考えられるが、ボイドプローブを用いた今回の解析では、そのような難点は払拭され、より正確な値が得られるものと期待できる。

参考文献

- [1] 角野・Moog・館川他, 海岸工学論文集, pp.66-70, 1998.
- [2] 角野・館川, 海岸工学論文集, pp.116-120, 2000.
- [3] T. Hibiki, S. Hogsett, M. Ishii, Nuclear Engineering and Design, vol.184 (1998) 287-304.

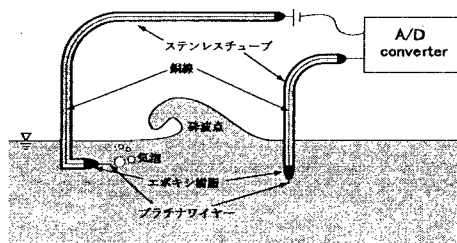


図-4 砕波帯での実験

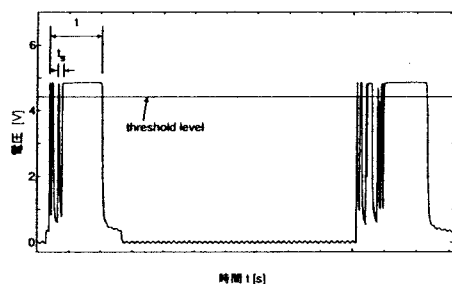


図-5 センサーによって得られるデータ

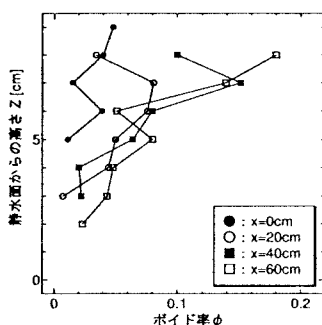


図-6(a) 実験結果

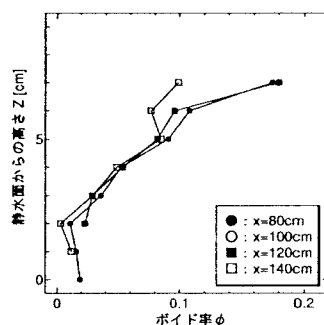


図-6(b) 実験結果