

第 部門

砕波連行気泡特性のスケール効果による影響

国際航業（株） 正会員 鈴木琢磨  
 神戸高速鉄道（株） 大西祥久  
 大阪市立大学大学院 正会員 角野昇八  
 大阪市立大学大学院 正会員 森 信人

1 緒言

大気/海洋気液界面での気体輸送現象の解明などの観点から、外洋や沿岸砕波帯における砕波連行気泡特性については、数多くの研究が行われている。著者らもこれまでに、小規模スケールの水理実験（水槽スペック：高さ 0.6m×長さ 20m×幅 0.5m、水深：h=0.3m）にて、DVP（ダブルポイドプローブ）というセンサーを用いて気泡特性（ボイド率、気泡径）の測定を行い、小規模スケールでの砕波連行気泡特性の空間分布について把握することができた。ここで考慮すべきこととして、連行気泡特性に対する実海域と水槽内実験でのスケールの違いによる影響が考えられる。連行気泡特性のスケール効果による影響の重要性は、様々の研究者からも指摘されており（Chanson ら<sup>2)</sup>）、その実態解明は重要である。しかし、連行気泡特性のスケール効果による影響を定量的に評価した研究事例は、著者の知る限りではほとんど見られない。そこで本研究では、過去に行った実験よりもスケールの大きな砕波を対象として気泡特性の測定を行い、小規模実験での結果と比較検討することで、砕波連行気泡特性のスケール効果による影響について検討することを目的とする。

2 気泡特性の測定方法

DVP の原理またはこれを用いた気泡径の算出方法については、1) を参照して頂きたい。図 - 1 に示すのは DVP によって得られる電圧の時間変化である。ここで、threshold level とは、気泡がプローブに接触、抜出した瞬間の電圧である。ここで、気泡通過時間を  $t_{gi}$ 、気液二相流の通過時間を  $t_l$  とすると、時間平均された局所的なボイド率  $\phi$  は  $\phi = \sum t_{gi} / \sum t_l$  で表される。

3 実験概要

本実験では、図 - 2 に示すような高さ 1.5m、長さ 50m、幅 1.0m の側壁ガラス張りの中型 2 次元造波水槽にて実験を行った。また水深は h=0.8m とし、小規模実験の 8/3 倍スケールの実験条件で実験を行った。水槽の岸側には勾配 1/30、高さ 1.0m、底面長さ 30m の緩斜面を設置し、規則波を造波しスロープ上での砕波を生じさせた。DVP は図 - 2 に示すように設置し、測定地点では波高の測定も同時に行った。実験は表 - 1 に示す 2 ケースを行った。表中の  $L_0$  は波長、 $H_0/L_0$  は波形勾配、

表 - 1 実験条件

case	T[s]	H <sub>0</sub> [cm]	L <sub>0</sub> [m]	H <sub>0</sub> /L <sub>0</sub>	H <sub>b</sub> [cm]	h <sub>b</sub> [cm]	X <sub>sb</sub> [m]	Breaking Type
1	1.6	16.3	4.16	0.039	16.5	16.8	5.04	spilling
2	2.0	11.5	5.99	0.019	12.0	12.5	3.75	spilling/plunging

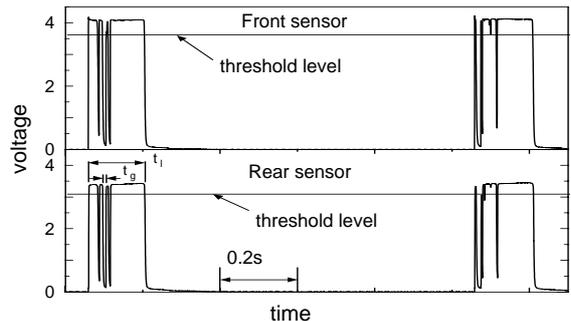


図 - 1 DVP によって得られる電圧の時間変化

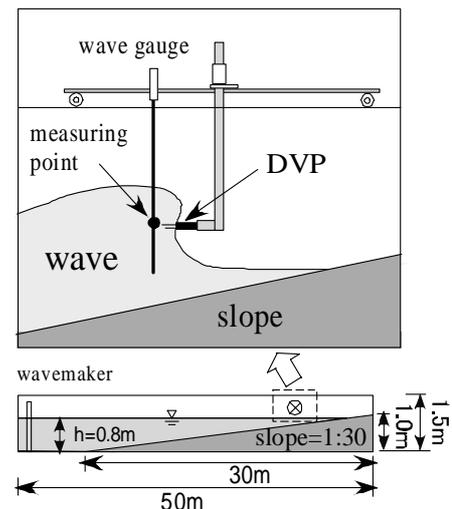


図 - 2 実験装置

$H_b$  は砕波波高、 $h_b$  は砕波水深、 $X_{sb}$  は汀線から砕波点までの距離である。この実験ケースは、小規模実験の実験ケースをフルード相似則に基づいて決定した。図 - 3 に示すのは、case1 での測定地点と水位の関係のプロットした例である。縦軸  $z$ [cm] は静水面からの距離、横軸  $x_s$ [m] は測定地点の汀線からの距離を表しており、図中の+印は波の上下の振幅値、印は測定地点、横点線は静水面、縦実線は各実験ケースでの砕波点を表している。具体的には、鉛直方向に  $z = 1.0, 0.0, 1.0, 2.7, 5.3, 8.0$ [cm] の地点を水平方向に数地点測定した。また各測定地点において小規模実験では 10 波、本実験では 50 波づつ測定した。以下では実験結果について示す。

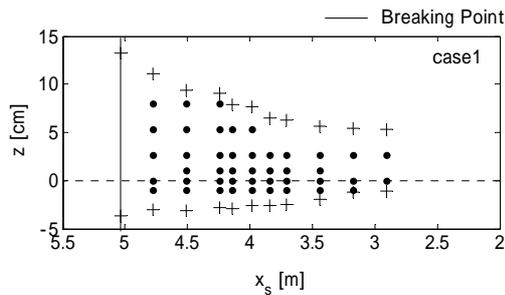


図 - 3 測定地点と波の最大・最小水位の関係

#### 4 ボイド率のスケール効果による影響

図 - 4 に示すのは、case1 の各測定地点で得られた局所的なボイド率  $\bar{\phi}''$  の岸沖分布を表したものである。ここでボイド率  $\bar{\phi}''$  とは、各測定地点で得られたボイド率の 50 波による一周期相平均値を表している。図中の鉛直方向の距離を表す変数として測定地点の静水面からの距離  $z$  [cm] を水深  $h$  [cm] で無次元化した値を、岸沖方向の距離を表す変数として、測定地点の碎波点からの水平距離  $x_b$  [cm] を波長  $L_0$  [cm] で無次元化した値を用いている。また、各図中の実線は本実験 ( $h=0.8$  [m]) により得たボイド率  $\bar{\phi}''$  を、点線は小規模実験 ( $h=0.3$  [m]) により得たボイド率  $\bar{\phi}''$  を表している。図 - 4 より、両実験結果とも碎波点から岸方向にある程度離れた測定地点においてボイド率  $\bar{\phi}''$  のピークがありその後減衰するという傾向が、どの水平断面においても見られ、その岸沖分布形状はほぼ同様であることが分かる。また  $h=0.3$  [m] の実験に比べ  $h=0.8$  [m] の実験で得られたボイド率  $\bar{\phi}''$  は、ほぼどの測定地点においても大きく約 2 倍の値となっていることが分かる。このことから、ボイド率に対してはスケール効果による影響は大きいと言える。

#### 5 気泡径分布のスケール効果による影響

図 - 5 に示すのは、測定した気泡の、径の大きさによる個数分布（ここからは単に気泡径分布と呼ぶ）の岸沖分布を表した一例である。図中の  $\bar{N}_d$  は各径での個数を一周期位相平均（中規模実験では 50 波平均、小規模実験では 10 波平均）したものであり、各図の  $\bar{N}_d$  はコンターで色付けしてある。また、気泡個数の分布は、例えば気泡径  $d$  が  $0.15 \sim 0.25$  [cm] の間のものは  $d=0.2$  [cm] として解析した。図 - 5 より、 $x_b/L_0$  の大きさによらず気泡個数がピークとなる気泡径 ( $d_p$  と呼ぶ) は約 0.2 程度とほぼ同様である。また分布形状も全ての  $x_b/L_0$  において同様に、径の増大に伴って気泡個数が指数関数的に減少するといった形状となっていることがわかる。さらに、本実験と小規模実験の結果を比較すると、 $d_p$  のピークとなる  $x_b/L_0$  位置はある程度一致し、

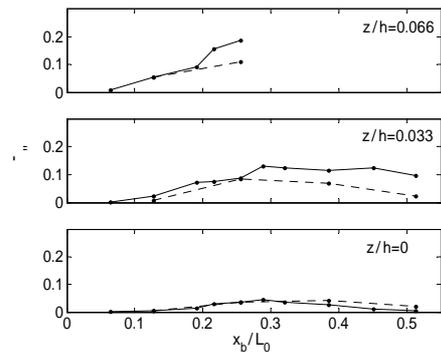


図 - 4  $\bar{\phi}''$  の岸沖分布 (case1)

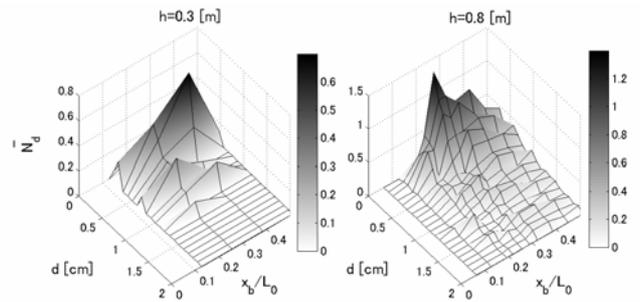


図 - 5 気泡径分布の岸沖分布 (case1  $z/h=0.033$ )

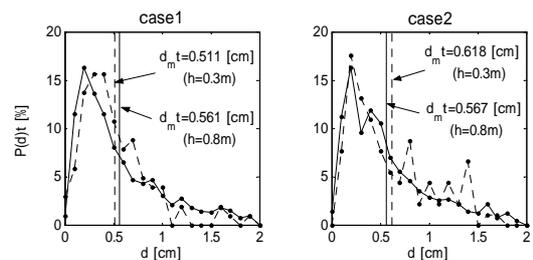


図 - 6 空間平均した気泡径分布と平均気泡径

さらに分布形状がほぼ一致している。

図 - 6 に示すのは、全測定地点で検知した気泡を空間平均した気泡径分布である。図中の  $P(d)_t$  [%] は、ある径の気泡個数の全気泡個数に対する割合で、 $d_{m,t}$  [cm] とは全測定地点で検知した気泡の平均気泡径を表している。図 - 6 により、両実験の分布形状はほぼ一致し、 $d_{m,t}$  についても差も  $0.05$  [cm] 程度とほぼ一致していることが分かる。以上のことから、気泡径分布についてはスケール効果による影響はほとんど無いと言える。

#### 6 まとめ

本研究では碎波連行気泡特性のスケール効果による影響について検討した。その結果ボイド率に対してはスケール効果の影響が見られ、気泡径分布に対してはスケール効果の影響が弱いことが分かった。

#### 参考文献

- 1) 角野・鈴木他：海岸工学論文集, pp.1405-1409, 2003.
- 2) H.Chanson, S.Aoki and A.Hoque: Coastal/Ocean Engineering Report, No. COE02-01