

第II部門

砕波帯における連行気泡特性とその推定

大阪市立大学工学部

学生員 ○中川智史

奥村組(株)

山田浩之

大阪市立大学大学院工学研究科

正会員

森 信人

大阪市立大学大学院工学研究科

正会員

角野昇八

1. 緒言

沿岸部における砕波は、防波堤などの海岸構造物に作用する波圧を考える上で重要なだけでなく、気液界面における酸素の取り込みにも関連している。このような重要な現象であるにも関わらず、既往の研究はそれほど多くない。Coxら(2003)は、砕波帯における気泡特性(ボイド率)と乱れの時間変動について明らかにしている。また、鈴木ら(2005)は、二次元造波水槽において砕波帯における連行気泡特性を、Dual-tip Void Probe(DVP)を用いて計測し、砕波帯における気泡の鉛直水平分布の特性とスケール効果を明らかにしている。しかし、連行気泡特性の一般的な関係について未解明であり、実海域での砕波連行気泡特性についての知見もほとんどない。

そこで本研究では、連行気泡特性の一般的な関係を探るとともに、実海域での砕波連行気泡特性について検討を行う。

2. 実験の概要

水槽実験データは鈴木ら(2005)の結果を用いた。室内実験は、沖側の水深が0.8mで、勾配が1/30のスロープを設けた二次元造波水槽において規則波を起し、波高と周期を変化させ、3ケースについて気泡の計測を行った(図-1)。実験の詳細は、鈴木らの文献²⁾を参照して頂きたい。

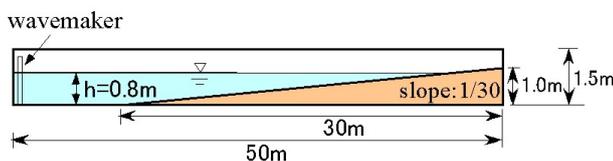


図-1 二次元造波水槽

3. 現地観測の概要

現地観測は和歌山県和歌山市の磯ノ浦海水浴場で行った。観測日は2005年11月30日、天候は晴れのち曇り、平均気温10.3℃、平均風速3.6mであった。岸沖方向に測定地点を5箇所設け、現地計測用に補強されたDVPを用いてサンプリング周波数を5000Hzとし、1地点につき3分間の計測を3~4回行った。また同時に、



図-2 現地観測方法の概要図

表-1 測定条件

測定地点	$H_{1/3}$ (cm)	$T_{1/3}$ (s)	$L_{1/3}$ (m)	h (cm)	x_b (m)	h_x
①	24	3.9	8.53	50.5	0.00	1/24
②	22	3.8	7.52	41.6	2.14	
③	18	3.9	7.35	36.9	3.34	
④	17	3.8	6.87	33.7	4.03	
⑤	16	4.1	7.06	31.4	4.58	

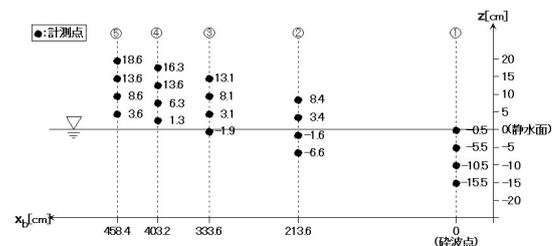


図-3 現地観測における計測点について

超音波流速計(ADV)を用いて流速を、水圧検知式波高計を用いて波高の計測を行った。図-2に現地観測の概要図を示す。また表-1に示すのは各測定地点の測定条件であり、図-3はDVPの計測点を示したものである。表中の $H_{1/3}$ 、 $T_{1/3}$ 、 $L_{1/3}$ 、 h は各測定地点の波高、周期、波長、水深を、 x_b は砕波点までの距離を、 h_x は海底勾配を示す。また図中の z は静水面からの鉛直高さを示す。

4. 結果と考察

4.1 ボイド率の分布について

ボイド率の岸沖・鉛直分布をパラメータ化するため、Hoqueら(2005)の方法に習い、ボイド率の実測データの鉛直分布を式(1)を用いて近似した(図-4)。

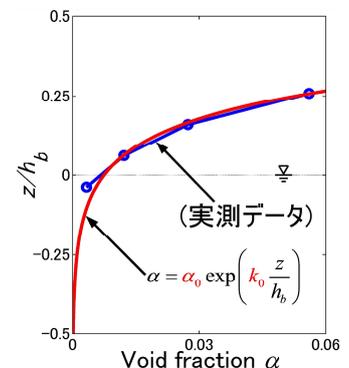


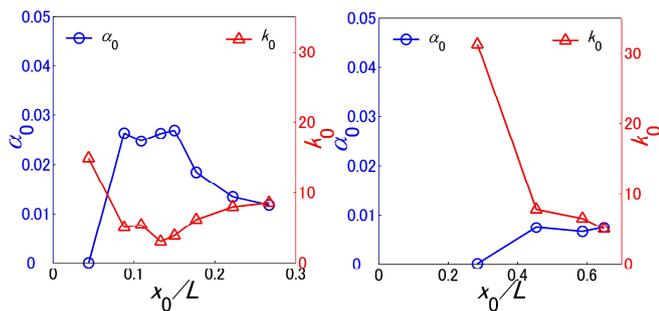
図-4 ボイド率の鉛直分布と近似曲線の例

$$\alpha = \alpha_0 \exp\left(k_0 \frac{z}{h_b}\right) \quad (1)$$

式(1)より得られた係数 α_0 値は静水面 ($z/h_b=0$) のボイド率 (代表ボイド率), k_0 値はボイド率の鉛直減衰係数を表す. この近似曲線から得られた代表ボイド率 α_0 値およびボイド率の鉛直減衰係数 k_0 を用いて, 以下の評価を行う.

4.2 ボイド率の岸沖分布特性

図-5 は室内実験および現地観測で計測された気泡の代表ボイド率 α_0 および k_0 の岸沖分布を示す ($x_0/L=0$ は砕波点). 図-5 より室内実験および現地観測結果のどちらにおいても, 代表ボイド率 α_0 値が上昇すると, ボイド率の鉛直減衰係数 k_0 は低下する関係が見られる. また, 室内実験での α_0 値は砕波点付近では低い値を示し, 汀線方向に近づくに連れて値が上昇し, 再び低下する. これより, 砕波帯内では, 砕波点で崩れた波が多量の気泡を水中に取り込み, 岸に近づくにつれ気泡が水面上に浮上すると思われる. しかし, 現地観測結果の α_0 値は室内実験とは傾向が異なり, 汀線方向に近づいても代表ボイド率は低下しない. これは, 実海域では塩水の影響により気泡径が小さくなることによる, 気泡の滞留, 海浜流による移流の影響が原因として考えられる.



(a)室内実験結果 (b)現地観測結果

図-5 ボイド率 α_0 の岸沖分布

4.3 海底地形, 波高, ボイド率と乱流特性の関係

海底地形, 波高と連行気泡特性の関係を一般化するために, 砕波帯の波のエネルギー減衰の理論と気液 2 相流の空気混入理論を組み合わせる砕波帯における気泡混入を考えることにする. まず, 気泡と乱れの関係性を見る上で, ボイド率 α_0 と乱流エネルギー k の関連性を検討するために, 波の減衰理論より求めた乱流エネルギー k_{es} および超音波流速計で実測された乱流エネルギー k_{ob} をそれぞれ求め, ボイド率 α_0 との関連性を検討する.

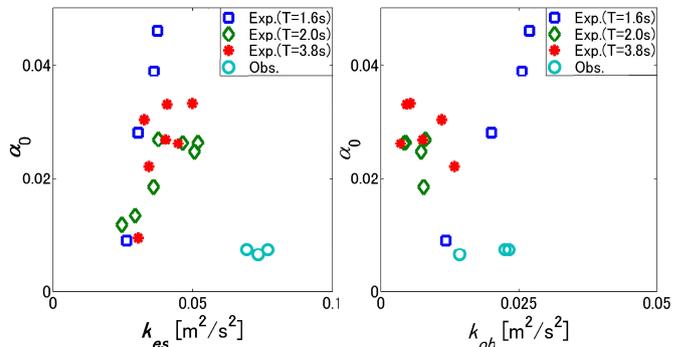
砕波乱流の乱流エネルギーの推定値は, Battjes ら (1975)のエネルギー散逸モデルを元に考えられた推定値 k_{es} を用いる (式(2)).

$$k_{es} = \left(\frac{5}{16}\right)^{\frac{2}{3}} g \gamma_H^{\frac{4}{3}} h h_x^{\frac{2}{3}} \quad \text{—————(2)}$$

ここで, 水深は h , h_x は海底勾配, H は波高 ($H=\gamma_H h$) である. また, 乱流エネルギーの実験値 k_{ob} は, 流速データより得た乱流成分 u', v', w' から式(3)を用いて求めた.

$$k_{ob} = \frac{1}{2}(u'^2 + v'^2 + w'^2) \quad \text{—————(3)}$$

図-6 は, 式(2)および計測された乱流エネルギーと代表ボイド率の関係を示したものである. 図-6(a)より, 室内実験のボイド率 α_0 と乱流エネルギー k_{es} には線形的な関係が見られ, ボイド率と乱流エネルギーには強い相関性があることがわかる. また, 室内実験と現地観測結果には大きな差が見られる. 図-6(b)より, 直接計測した乱流エネルギー k_{ob} とボイド率 α_0 の相関は低い. これは, 砕波のような気泡が多量に混入した場所における流速の測定精度の問題と考えられる.



(a)推定値 k_{es} と α_0 (b)実験値 k_{ob} と α_0

図-6 乱流エネルギー k_0 とボイド率 α_0 の関係

5. 結論

本研究では, 海底地形, 波高と連行気泡特性の一般的な関係の解明および実海域での砕波連行気泡特性の解明を行った. その結果を以下にまとめる.

- ボイド率の岸沖分布の結果では, 代表ボイド率 α_0 とボイド率の鉛直減衰係数 k_0 には相関性が見られる.
- 海底地形, 波高, ボイド率と乱流特性の関係については, 砕波帯のエネルギー減衰の理論と気液 2 相流の空気混入理論を組み合わせる砕波帯における気泡混入理論により説明が可能である.

参考文献

- 1) 角野ら: 海岸工学論文集, pp 1405-1409, 2003
- 2) 鈴木ら: 海岸工学論文集, pp 91-95, 2005
- 3) Ashabul Hoque and Shin-ichi Aoki: Ocean Engineering, Volume 32, Issues 14-15, pp 1829-1840, 2005
- 4) Daniel T. Cox and Sungwon Shin: Journal of Engineering Mechanics, Volume 129, Issue 10, pp 1197-1205, 2003