

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2007～2008

課題番号：19560516

研究課題名（和文） 砕波帯における混入気泡のミクロ・マクロ構造の解明

研究課題名（英文） Micro and Macro scopic Characteristics of Sea Surface Wave Breaking

研究代表者

森 信人 (MORI NOBUHITO)

京都大学・防災研究所・准教授

研究者番号：90371476

研究成果の概要：

沿岸域の砕波帯などで見られる水面波の砕波は、時空間的に非定常かつ高速にマイクロスケールからセンチメートルスケールに渡る大きさの気泡や飛沫を多数発生させる。このような砕波により生成される気泡および飛沫を計測する手法を開発した。これを用いて、砕波帯における気泡の計測を行い、沿岸部における気泡の大きさや個数について調べ、波浪条件との関係を明らかにした。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,900,000	570,000	2,470,000
2008年度	1,200,000	360,000	1,560,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,100,000	930,000	4,030,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学・水工水理学

キーワード：砕波帯, 混相流, 気泡, 可視化, 乱流

1. 研究開始当初の背景

近年、沿岸域砕波帯における水面波の砕波、特に砕波に伴う波高や流速変化の計測とモデル化に関する研究やマイクロバブルに代表される微細気泡を利用した水域の水質改善に関する研究・技術開発が盛んに行われている。水理学や海岸工学で取り扱う気液混相現象の重要性は年々増しているものの、計測の困難さから気相の動的特性、特に気泡自体の具体的な幾何学的、運動学的特性は未解明のままである。

2. 研究の目的

本研究は、海岸構造物に働く衝撃波力の問題、酸素・二酸化炭素などの気体輸送、さらに漂砂に極めて重要であると認識されながら、計測が困難であるためにその影響評価が不可能であった砕波により水中にとり込まれる空気塊 (cm スケール) および気泡群 (mm～m スケール) の3次元計測法の開発とそのモデルを構築することを目的とする。

3. 研究の方法

(1) 計測手法の開発

混相乱流場の気相を計測するため、2次元空間に投影された気泡形状と運動を同時に計測する可視化計測法(以下、BTV法と表記)を開発した。BTV法を用いた気泡計測では、カメラに対面するように光源を設置して計測を行う。バックライト光源には平面LEDなど拡散光が卓越し、高速度カメラの撮影が可能ないように連続光が得られるものを使用し、このバックライトにより鮮明な気泡の輪郭を撮影する。撮影された画像内の気泡を二値化することにより気泡の輪郭を検出する。ついで投影された気泡画像をラベリングした後に楕円近似を行い、長径と短径および角度を計算し、気泡形状と重心位置を推定する。気泡の認識誤差は画素数の増加に対して単調減少し、十分な数の画素があれば、形状についての計測誤差は2%前後であることを確認した。BTV法では、気泡そのものをレーザーと見なし、重心位置情報よりPTV法を用いて個々の気泡の移動速度を推定する。このとき、気泡数密度が高い場合、気泡移動速度を推定する時の誤認識が高くなるため、PIVで先に流速場の予測を行い、そのあと気泡重心位置の関係よりPTV法により気泡移動速度を推定する方法を開発した。

また、BTV法を3次元場に拡張し、バックライト法と3D Stereo-PTV法を元に、3次元気液混相乱流場における気泡の形状および速度を推定する可視化手法を開発した。

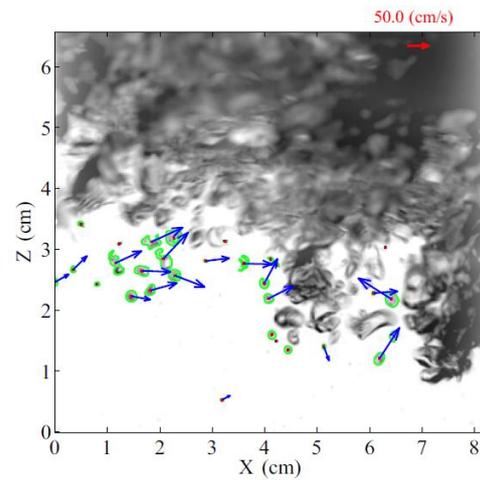
(2) 砕波帯内の気泡特性の解明

砕波混入気泡特性について、気泡特性を代表する個数や径の分布について、時空間的な変動特性の計測を行った。造波水槽を使った砕波実験を行い、そのマクロ的な特性について解析を実施した。

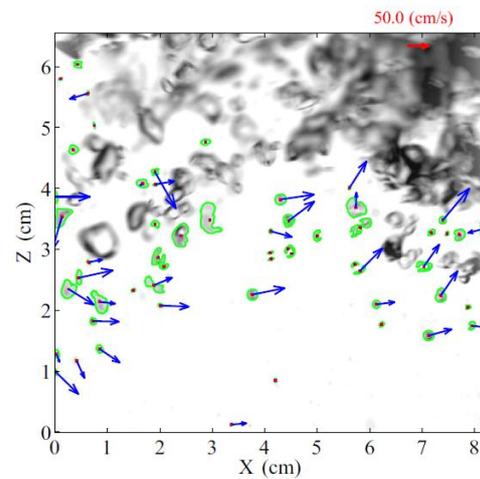
4. 研究成果

(1) 砕波帯内の気泡特性

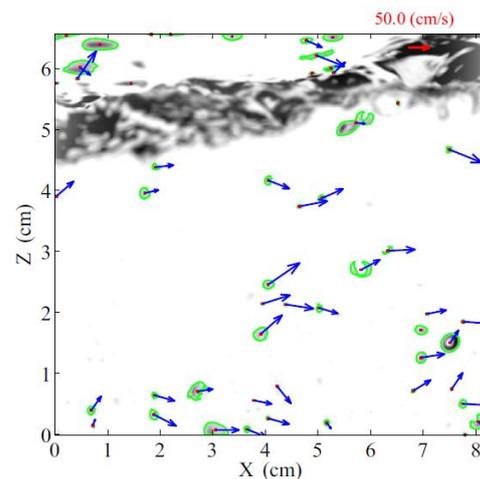
BTV法の計測システムを長さ50m、水深0.8m、斜面勾配1/30の2次元造波水路に設置し、沖波波高12.2cm、周期3.8sの規則波を造波し、計測画像領域を岸沖方向にトラバースして砕波帯内における気泡形状と移動速度の可視化計測を行った。図1に示すのは、砕波帯におけるBTV計測結果の一例である。計測地点は砕波点より0.95m(1/4波長)岸側の着水後の地点であり、図1(a)は着水後、(b)および(c)はそれより7/125s後および14/125s後の解析結果である。図中の鉛直座標2.7cmが静水面に相当し、図中の白色の領域は液相、グレーの領域が気相を表し、縁取された気泡がBTVの解析対象となった気泡であり、気泡内の点が気泡の重心、矢印が気泡の移動速度である。一般に砕波帯の気泡はボイド計などを用いて平均水面以下を対象に点計測されることが多い。点計測では時空間的に非定常に変化する砕波帯内



(a) 着水後



(b) 7/125s 後



(c) 14/125s 後

図1 着水点近傍の気泡計測結果(白色:液相, グレー:気相, 縁取された気泡:レーザーライト照射面に存在する気泡の輪郭, 気泡内の点:気泡輪郭より推定された重心)

の気泡運動を計測することは難しいが、BTVによる画像計測では、着水直後の空気塊が分裂し、気泡群となって一旦平均水面以下に押し込められた後、液相の流れに移流されつつ分散し、徐々に上昇していく様子が計測可能とである。

また、図2に示すように、着水点とその近傍における気泡径スペクトルについて解析を行った。気泡径分布は場所により変化すること、2つの特徴的なべき乗則が見られることを明らかにした。またべき乗則が変化するスケールはHinzeスケールでほぼ表せることが可能であることを明らかにした。

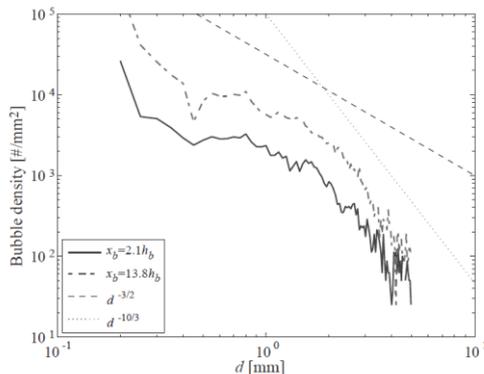


図2 時間平均気泡径スペクトル
(実線：着水点近傍，点線：岸側)

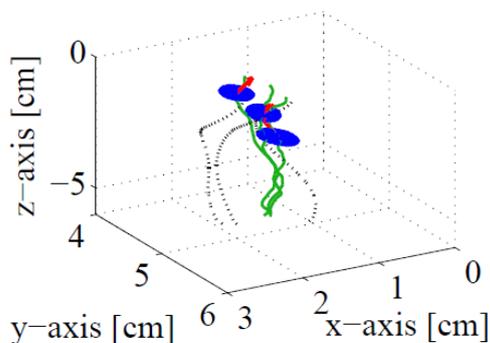


図3 気泡の3次元計測結果

(2) 気泡3次元計測

実際に水中を浮上する気泡の形状および移動速度の3次元可視化計測を行い、BTV3D法の適用性について検討を行った。本実験では長さ50m、高さ1.5m、幅1.0mの片面ガラス張りの2次元造波水槽内に計測装置を設置して水中を浮上する気泡の3次元計測を行った。

図3に示すのは、計測された気泡の軌道を表したものである。各軸はx, y, z座標であり、図中の●および実線は気泡半径が5.0mmで

ある気泡の形状と軌道、点線は気泡半径が5.0mmである気泡の軌道である。図よりわかるように、気泡はスパイラルを描きながら浮上している。

以上のように、本研究課題では、砕波帯内における気泡計測方法の開発を行い、水槽実験により、砕波帯内の気泡計測を行いその分布特性についてあきらかにした。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計15件)

1. Mori, N. and S. Kakuno (2008) Aeration and bubble measurements of coastal breaking waves, Fluid Dynamics Research, Volume 40, Issues 7-8, pp. 616-626. 査読有
2. Watanabe, Y. and N. Mori (2008) Infrared measurements of surface renewal and subsurface vortices in nearshore breaking waves, Journal of Geophysical Research, Ocean, American Geophysical Union, Vol.113, C07015. 査読有
3. 森 信人・中川智史・角野昇八 (2008) 砕波帯における混入気泡特性の時空間変化の解明, 海岸工学論文集, 第55巻, pp. 66-70. 査読有
4. 森 信人・松尾祐典・加島寛章 (2008) 水面に突入する円噴流に伴う混入気泡の特性, 海岸工学論文集, 第55巻, pp. 71-75. 査読有
5. 森 信人・渡部靖憲 (2008) 気泡・飛沫形状と位相速度の画像計測—水の波の砕波混相流のマイクロ構造の画像計測—, ながれ, 27巻, 4号, pp. 311-320. 査読無
6. 森 信人・木原直人 (2008) 地球環境における大気・海洋相互作用 (グローバル・マイクロな視点から), 大気・海洋境界過程のマイクロ・マクロ構造, 混相流学会誌, 22巻, 1号, pp. 42-49. 査読無
7. 森 信人・松尾祐典・重松孝昌 (2008) 水面から混入する気泡におよぼす運動量および塩類が与える影響, 日本流体力学会年会, CD-ROM, 5p. 査読無
8. Mori, N., T. Suzuki and S. Kakuno (2007) Experimental study of air bubbles and turbulence characteristics in the surf zone, Journal of Geophysical Research, Ocean, American Geophysical Union, Vol.112, C05014. 査読有
9. Mori, N., T. Suzuki and S. Kakuno (2007) Noise of acoustic Doppler

- velocimeter data in bubbly flow, Journal of Engineering Mechanics, American Society of Civil Engineers, Vol.133, Issue 1, pp.122-125. 査読有
10. Kashima H. and N. Mori, Air Bubble Characteristics induced by Breaking Waves in the Surf Zone, No.722, Proceedings of the 31st International Conference on Coastal Engineering, ASCE, 印刷中. 査読有
 11. Mori, N. and S. Kakuno (2007) Intrusive and Imaging Bubble Measurements of Coastal Breaking Wave, Proceedings of the 1st International Colloquium on Dynamics, Physics and Chemistry of Bubbles and Gas-Liquid Boundaries, Niseko, Japan, CD-ROM, 10p. 査読有
 12. 加島寛章・森 信人・水谷夏樹 (2007) 砕波帯における気液混相特性の画像計測, 海岸工学論文集, 第54巻, pp.56-60.
 13. 加島寛章・森 信人・渡部靖憲・大塚淳一 (2007) 気泡の3次元画像計測法の開発とその検証, 海岸工学論文集, 第54巻, pp.1466-1470. 査読有
 14. 中川智史・森 信人・角野昇八 (2007) 砕波帯における不規則波により混入する気泡分布特性について, 日本流体力学会年会, CD-ROM, 7p. 査読無
 15. 渡辺淳也・森 信人 (2007) 振動乱流中における気泡運動と乱流特性について, 日本流体力学会年会, CD-ROM, 8p. 査読無

[学会発表] (計10件)

1. Kashima H. (2008) The 31st International Conference on Coastal Engineering, Hamburg.
2. 中川智史 (2008) 砕波帯における混入気泡特性の時空間変化の解明, 海岸工学講演会, 2008年11月, 富山.
3. 松尾祐典 (2008) 水面に突入する円噴流に伴う混入気泡の特性, 海岸工学講演会, 2008年11月, 富山.
4. 松尾祐典 (2008) 水面から混入する気泡におよぼす運動量および塩類が与える影響, 日本流体力学会年会, 神戸.
5. Mori, N. (2007) Intrusive and Imaging Bubble Measurements of Coastal Breaking Wave, International Colloquium on Dynamics, Physics and Chemistry of Bubbles and Gas-Liquid Boundaries, Niseko.
6. 中川智史 (2007) 砕波帯における不規則波により混入する気泡分布特性について, 日本流体力学会年会, 東京.
7. 加島寛章 (2007) 砕波帯における気液

- 混相特性の画像計測, 海岸工学講演会, 2007年11月, 宮崎.
8. 加島寛章 (2007) 気泡の3次元画像計測法の開発とその検証, 海岸工学講演会, 2007年11月, 宮崎.
 9. 渡辺淳也 (2007) 振動乱流中における気泡運動と乱流特性について, 日本流体力学会年会, 東京.
 10. 水谷夏樹 (2007) 沿岸域砕波帯における混入気泡の画像計測, 可視化情報学会全国講演会, 岐阜.

[図書] (計1件)

Mori, N., S. Kakuno and D.T. Cox (2008) Aeration and bubbles in the surf zone, in Hand book of Coastal and Ocean Engineering, Ed. Young C. Kim, World Scientific Pub. Co., 17p. (印刷中)

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

○取得状況 (計0件)

[その他]

6. 研究組織

(1) 研究代表者

森 信人 (MORI NOBUHITO)

京都大学・防災研究所・准教授

研究者番号: 90371476

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

渡部 靖憲 (WATANABE YASUNORI)

北海道大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号: 20292055

竹原 幸生 (TAKEHARA KOUSEI)

近畿大学・理工学部・准教授

研究者番号: 50216933