# 定常ジェット着水点近傍の水面挙動と気泡生成

Behavers of cavity surfaces evolving into air bubbles under steady jets

北海道大学	○学生員	牧田拓也 (Makita Takuya)
北海道大学	正 員	渡部靖憲 (Yasunori Watanabe)

# 1. はじめに

近年、砕波帯に混入される気泡群は、混相乱流の側面から 研究が進められ、気泡の波のエネルギー減衰や流体力等 の物理的寄与だけでなく、気体輸送を通した海域環境へ の影響について注目されている。外洋での混入気泡径分 布は古くから音響観測によって計測されている一方、砕 波帯におけるそのモデルは少なく、Deane&Stokes(2002) による画像計測結果を元にモデル化が行われている。

Deane&Stokes が提示した気泡径スペクトルは、wave focusing 法によって一波の巻波砕波後の実験水槽内の気 泡径を調べたものであり、局所的な水面の変形と生成気 泡との関係など流体力学的な検討はなく、経験的にその 統計量を整理したものである。一方、微視的尺度におい て、気泡はジェット着水点近傍に形成されるキャビティ 一水面の表面張力不安定に起因する高周波の振動によっ てキャビティーの水面が接触し気泡が形成されると考え られる。さらにジェット水の流入に伴うせん断流れは有 意な三次元的渦構造を組織し、渦内の低圧部に捕捉され たキャビティーは伸長の後、渦軸方向に分断され、大量 の気泡を水中に混入する。こうした流体力学的な気泡混 入過程の解明さらにモデル化は、Deane&Stokes の経験 モデルで与えられない砕波形態や砕波条件に応じた汎用 的なエアレーションの定量化を可能とするものと考える。

本研究は砕波ジェットを模擬する最もシンプルなモデル として定常円柱状ジェット、平面ジェットの静水面への 着水 に対して、高速高解像画像計測を行い、気泡混入 メカニズムの解明、混入気泡径分布のパラメタリゼーシ ョン、そして渦運動を始めとする局所流と水面との力学 的応答を明らかにしようとするものである。

### 2.手法



図-1 実験装置(左), 平面ジェットゲート(右)

試験水槽(縦:12cm,横:40cm,高さ 60cm)上部からその水面 に向かってホースを通じて,水を垂直に流入させること で,砕波下のジェットを再現し、そのジェット着水によ る水面近傍で生じる物理現象の様子を高速度カメラを用 いて撮影する。このとき,ジェットの形状として,(a) 円柱状ジェットおよび(b)平面状ジェットの二種類の試 験するものとする.いずれも撮影条件として、露光時間 100μs、フレームレート 1040fpsとし、バックライト法を 用いて撮影を行った。

尚,水は実験装置全体で循環することが可能となってお り,タンク内の水位は一定に保たれるため,ジェットは 定常状態にあるといえる.

## (a)円柱状定常ジェット

ホースの先端に直径 18mm のノズルを取り付けることで, 円柱状ジェットとする.ノズル先端から水面までの距離 を 5mm とし、以下の流速の異なる 3 ケース実験を行っ た。(表-1)

#### 表-1 実験条件

	流速(m/s)
case1	2.73
case2	2.58
case3	2.42

(b)平面状定常ジェット

ホースの先端に図-1(b)のような装置を取り付けることで、 平面状ジェットとし、シート厚は 1mm に設定した.

#### 2,2 解析方法

(a),(b)の二種類の形状で撮影した後,MATLAB にて画像 解析を行う.その前処理として、キャリブレーション後 の画像を倍精度化した後、ガウシアンフィルタ・メディ アンフィルタをかけ、ノイズ低減を行った.

気泡はエッジが不安定であり、閾値を設けての二値化が 非常に困難であるため、Level-set 法を用いた、Level-set 法では、画像内に等高線を設定し、その内部濃度の二乗 誤差と外部濃度の二乗誤差の和を最小としており、これ が最小値となるとき、等高線は気泡のエッジを捉えると いうものである.

また,その他に Sobel 法を用いた. Sovel 法は一階特殊 空間偏微分を用いた画像演算法であり,画像濃度の変化 率を求めることにより,焦点の合っている気泡の画像濃 度はより強く,焦点から大きく離れた気泡や水槽の壁面 に付着した水滴のエッジはより弱く出力される.したが って,閾値での二値化によって計測領域外に存在してい る飛沫の除去が可能となる.

# 3.実験結果及び考察

• case1





• case2





• case3



図 2-各ケースにおけるキャビティの形成(左),その先端の 気泡混入後の様子(右)



図3気泡数の時系列(上)と平均気泡径の時系列(下)



図 4 円柱ジェット下の検出した水面境界の時間変化 (case3)

いずれのケースからも、ジェット着水によりキャビティ が形成され、その先端から気泡が混入していることが分 かるが、流速が速いほどキャビティの形成頻度が高く、 混入気泡数も多くなると考えることができる.

各ケースにおいてMATLAB上で気泡抽出処理を行うと上記 のような結果が得られ,混入気泡数は流速の影響を大き く受けるという見解は妥当である,

また,実験から流速が大きいと形成されるキャビティ の曲率が大きくなり,混入気泡径へ影響を与えている ことが予想されるが,解析を行うと最も流速の遅い case3での平均気泡径が全てのケースの中で突出してい るという結果となった.

試験中では渦軸方向の圧力が低くなり,気泡は回転し ながら吸い込まれていく様子がうかがえた.図(4)は 画像解析により case3 でエッジ抽出を行った画像をタイ ムステップとして表したものである.水面近傍のキャ ビティの推移に着目すると渦軸方向に回転しながら底 面へと吸い込まれている

続いて図(5)は平面状ジェット下の気泡生成の様子であ るが、円柱状の場合と比べると円柱状ジェットの場合、 ジェットは水面下に貫通するような現象は生じていない が、平面状ジェットの場合、ジェットは常に水面を貫通 している.また,その近傍ではジェットを中心に多数の 気泡が取り巻いているそのため,円柱状と同じような解 析方法では気泡のエッジを正確に捉えられていない. (図 6)



図5平面ジェット下の気泡生成の様子



図6平面ジェット下の検出した水面境界の時間変化

## 4,結論

円柱状,平面ジェット着水点近傍のキャビティの生成か ら気泡の形成,気泡の移流に至る一連のエアレーション 過程を高速高解像画像計測によって計測した.

Level set 法を用いたエッジ検出により気泡径, 個数を定量化し, ジェット流速, ジェットサイズ依存性を調査した. 平面ジェットと円柱状ジェット下の界面応答, 気泡生成過程の差異及びその特徴について今後明らかにしていく.

# 参考文献

Grant B. Deane & M. Dale Stokes, Scale dependence of bubble creation mechanisms in breaking waves