

平面定常ジェット下に発生するキャビティ形態と気泡形成

Bubble creation and formation of cavities under steady planar jet.

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

海洋中に混入する気泡数は、半統計的、半経験に気泡径分布を与えるモデル¹⁾によって見積もられてきた。一方、Kiger & Duncan²⁾は、砕波直後、波峰方向に一定の間隔で気泡が形成される過程を可視化した。こうした流体力学的な気液界面の不安定を経由した気泡生成機構の解明は、砕波形態、規模の異なる任意の砕波に伴う時々刻々の気泡ソースのモデル化を可能とするものであり、任意の海象下への応用が期待される。また、気泡の生成機構について、従来円柱状ノズルジェットの着水に伴う気泡混入の研究が行われてきた一方、ジェット円周方向に重畳する表面張力波の影響で混入過程が複雑になるだけでなく、砕波ジェットのモデルとして適当でないことが指摘され²⁾、新たなモデル実験による現象の把握が必要である。本研究は、砕波ジェットの着水モデルとして、定常平面ジェットの直下で変動するキャビティと気泡混入との関係を高速高解像可視化実験によって定量化し、その微視的メカニズムを説明するものである。

2. 実験方法

本実験装置は、貯留水槽、落水水槽、着水水槽、越流槽、水中ポンプ水槽からなり、図-1の様にそれぞれ的水槽がパイプで連結されている。水中ポンプから貯留水槽へ送水され貯留された水は高さ h のレベルに設置された排水ドレーンによって一定の水位が保たれる。貯留水槽下部と連結された落水水槽に貯留された水は、底部に斜め 45 度の角度をもって設置され一対の楔状先端をもつ導流板の間から平面状のジェットとして着水水槽内の水面に着水する。全面透明アクリル製の着水水槽の前面及び背面壁よりも高さ 10 cm 低い両側面から越流し、貯留水槽内では一定の水位が保たれる。越流した水は越流槽と連結されたパイプを通して水中ポンプ槽へと流れる。ジャッキにより鉛直方向の高さを変えられる貯留水槽内の水位と落水水槽内水位との水位差 H によって定常平面ジェットの流速を制御可能であり、落水水槽の導流板間隔を変えることにより、平面ジェット厚を調整できる。

貯留水槽の側方から 10*10 cm の青色 LED バックライトパネルが静水面以下の側壁をカバーする様に設置され、LED パネルの平面光は平面ジェットの着水点の下を通過して壁面と 45 度 傾けられたミラーを介して貯留水槽前面に向けて反射する。平面ジェット下ではジェット水面と着水水槽内水面の交線上に一対のキャビティが発生し、バックライトで照射されミラーで反射させられたキャビティの射影を着水水槽前面に設置された高速カメラ(4000fps)によって撮影することができる。平面ジ

ェット下のスパン方向(y 軸方向) 約 40 × 40 mm の Field-Of-View (FOV) のキャビティが 640 × 640 pixel の画像として撮影、保存され、較正画像を基に線形投影された解像度 0.04mm/pixel の画像に対して解析が行われる。キャビティ先端の界面先端位置は、画像濃度に対するアクティブコンターをベースにしたレベルセット逐次計算³⁾により抽出し、平面ジェットの初期厚さ、貯留水槽からの水頭差をパラメータとした界面の時空間的変動の特徴を統計的に分析する。今回、本実験では初期ジェット厚さを 2mm, 1mm, 0.5mm に設定し、それぞれの厚さにおいて 4 つの異なる水頭差で試験を行い合計 12 の条件で試験を行った(表-1)。

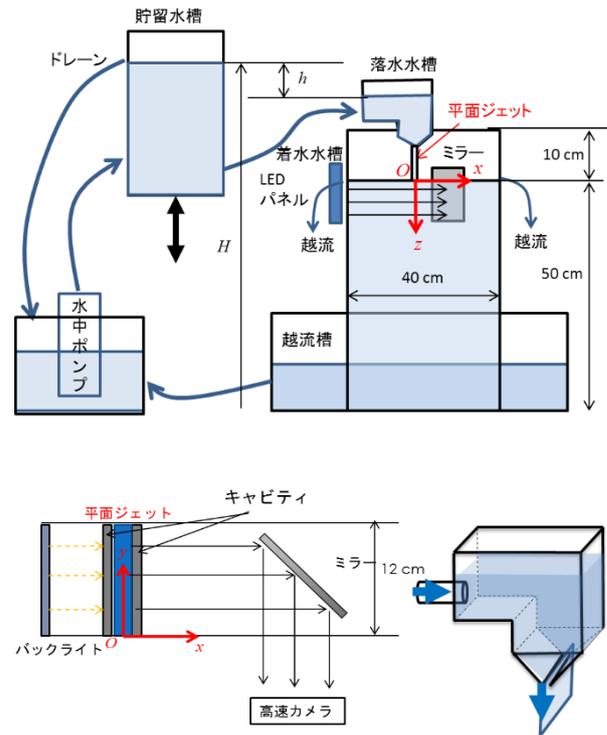


図-1 実験装置正面図(上), 落水貯留水槽(右下)と着水水槽平面図(左下).

初期ジェット厚さ(δ)	水頭差(H)
0.5mm	39.5cm
1mm	41.5cm
2mm	43.5cm
	45.5cm

(表-1) 実験条件

3. 結果

3.1. キャビティの発達形態と気泡形成

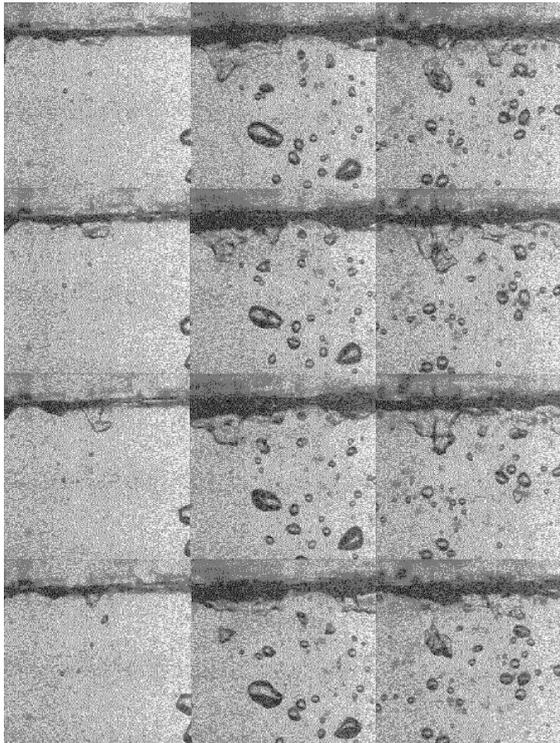


図-2 キャビティ先端のバックライト射影画像

スパン方向(y 軸方向) に様なジェットが着水すると、ジェット着水線上の様な圧力低下が発生するにも関わらず、形成されるキャビティ幅、間隔、長さは時間的に大きく変化する。図-2 は初期ジェット厚さ 1mm のケースにおける、界面の変動の様子を撮影したものである。このうち着水速度の小さいケースでは、短い幅を持つ単一のキャビティが任意の位置で間欠的に発達し、その内有意に鉛直下向きに伸長されたキャビティのみがその先端を分裂させ気泡が形成される。また、着水速度が大きくなると円錐状に発達するキャビティに加え、幅広の平面的キャビティが同時に発生する機会が増加し大径気泡数が相対的に増大することを確認している。

3.2. スパン方向への表面張力波の伝播

前述の Level-set法を用いてキャビティ先端部のエッジを抽出すると図-3の変動曲線が得られ、キャビティの変動は 0.1mm オーダーであることが分かり、その空間的スケールは非常に微小なものである。キャビティの時間の経過とともに鉛直下向きに発達する位置においてキャビティ変位のスパン方向への波動的な伝播を確認した図-4はその変動曲線のある連続する30フレーム分をプロットしたものである。赤実線はその特性曲線を表し、明らかな表面張力波の伝播を確認することができる。そして、表面張力波の重畳する位置において著しいキャビティの発達が現れる。尚、この特性曲線から読み取った表面張力波の位相速度は約 0.3-0.4m/s であった。

その他高速撮影画像にて、キャビティの先端部が高周

波に振動し多量のマイクロバブルを放出する特殊な形態も確認しているが、表面張力波の影響のみでは説明し得ず、引き続き調査が必要である。

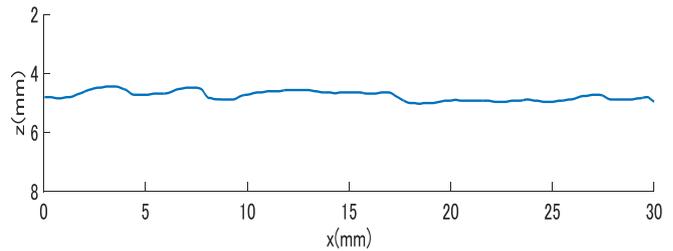


図-3 キャビティ変動曲線

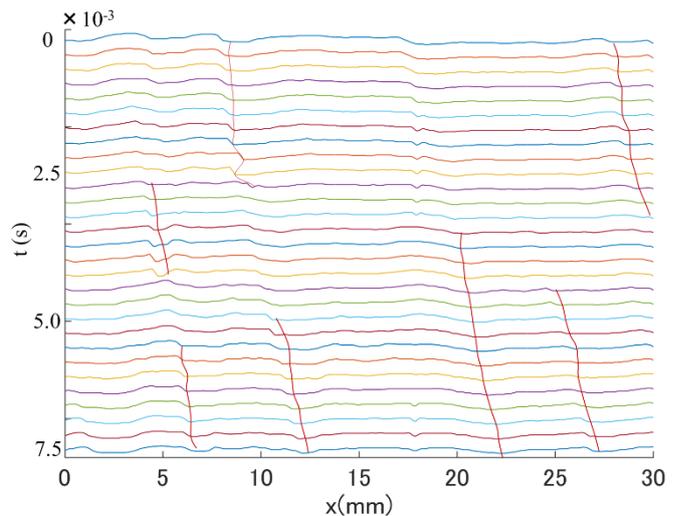


図-4 表面張力波のスパン方向への伝播

4. 結論

砕波による気泡混入機構を明らかにすることを目的として、砕波ジェットの簡易モデルである平面ジェットの着水に伴って形成されるキャビティの変形過程の高速高解像可視化実験を行い、Level-set法を用いたエッジ検出を行った。本研究はジェット着水速度、初期ジェット厚さがキャビティへ与える時空間的影響を調査するものとし、今後気泡形成に関わるキャビティの変動に支配的なパラメータの特定を目指す。

参考文献

- 1) Grant B. Deane & M. Dale Stokes.: Scale dependence of Bubble creation mechanisms in breaking waves, Nature Vol.418, pp.839-844, 2002.
- 2) Kenneth T. Kiger & James H. Duncan.: Air-Entrainment Mechanisms in Plunging Jets and Breaking Waves. Annual Review of Fluid Mechanics Vol.44, 563-596 2012.
- 3) 渡部靖憲・石崎真一朗.: 越波ジェットのフィンガー化と飛沫への分裂過程, 土木学会論文集 B2(海岸工学) Vol.56, No.1, pp.11-15 2009.