

エアチューブ流れモデルによる気相分裂現象の可視化実験

Fragmentation of a rotating air tube

北海道大学工学部学生員鈴木敦貴 (Atuski Suzuki)

北海道大学准教授大学院工学研究院 正会員渡部靖憲 (Yasunori Watanabe)

北海道大学大学院工学院 学生員 ○ 牧田拓也 (Takuya Makita)

1. はじめに

砕波によって混入する気泡群は大気海洋間の気体、水分、熱を受け渡す主体的な役割を果たすだけでなく、波のエネルギーの数十パーセントに及ぶ散逸や風波場における海面抵抗の変調など海洋表層の力学に影響を与えると考えられている。Dean&Stokes(2002)によれば、砕波による海中への混入は大きく二つの機構によるものされている。1つはジェットの着水に伴いその周辺から相対的に小さな気泡が連続的に形成されるものであり、もう1つは巻き波ジェットにエンタラップされたエアチューブがその回転的方向に分断され、その後多量の気泡群へと再分裂するものである。前者については、砕波ジェットを模擬した水面流れの着水を室内実験で再現し、その機構が調査されてきた(例えば渡部・牧田 2015)。一方、完全に三次元的な気液の挙動を伴う後者に対しては計測が困難であり、その力学的メカニズムは不明である。本研究は水を注入した透明円柱容器を水平軸方向に回転させ、回転容器内に形成されたエアチューブ形状の回転数依存性を可視実験により決定しようとするものである。特に、軸方向の不安定に起因する気相分裂に着目し初期エアチューブ形状と回転数に応じた特徴を抽出し、巻き波砕波における分裂現象における相似性を明らかにすることを最終目的とする。

2. 実験方法

図-1のように半径 a 、長さ L の円柱容器に水を入れ、水平回転装置に固定しそれを回転軸に沿って高速回転させることにより、実際の砕波現象を模擬した回転エアチューブ流れを発生させ、青色LEDバックライトパネルで照射し、エアチューブの分裂過程を撮影する。撮影画像は解像度 $0.1(\text{pix}/\text{mm})$ をもってキャリブレーションされる(表-1(上))。回転装置の回転数は $0-30(\text{回}/\text{秒})$ の範囲で任意に調節できる。また、円柱容器は表-1(下)のように、その直径 a 及び長さ L を異なる条件を与えることで、9つのケース分類を行った。尚、回転する容器の振れ止めのため、円柱容器上面にドリルを設け、固定した。

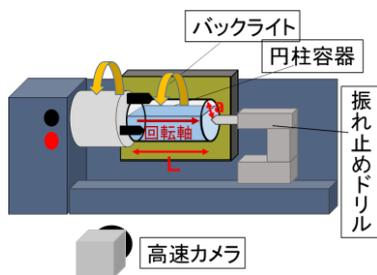


図-1 実験装置

撮影周波数	60[Hz]
シャッタースピード	1/8000[s]
解像度	1[pix]=0.1[mm]

直径 $a(\text{cm})$	長さ $L(\text{cm})$			水量
2	10	15	20	85%
4	10	15	20	70%
6	10	15	20	70%

表-1 撮影条件(上)、実験条件(下)

3. 画像処理

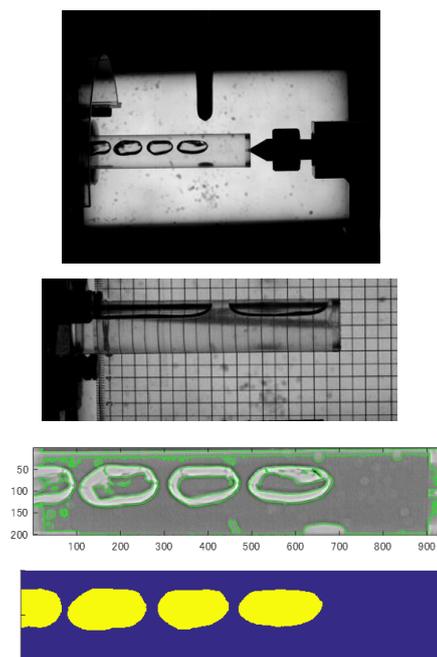


図-2 画像解析手順

図-2は画像解析の手順である。撮影画像にキャリブレーションを行った後、Level-set法によるエッジの抽出を行った。さらに二値化を行い、ノイズを除去し、気泡部分のみを取り出した。この画像に対して解析を行う。

4. 結果

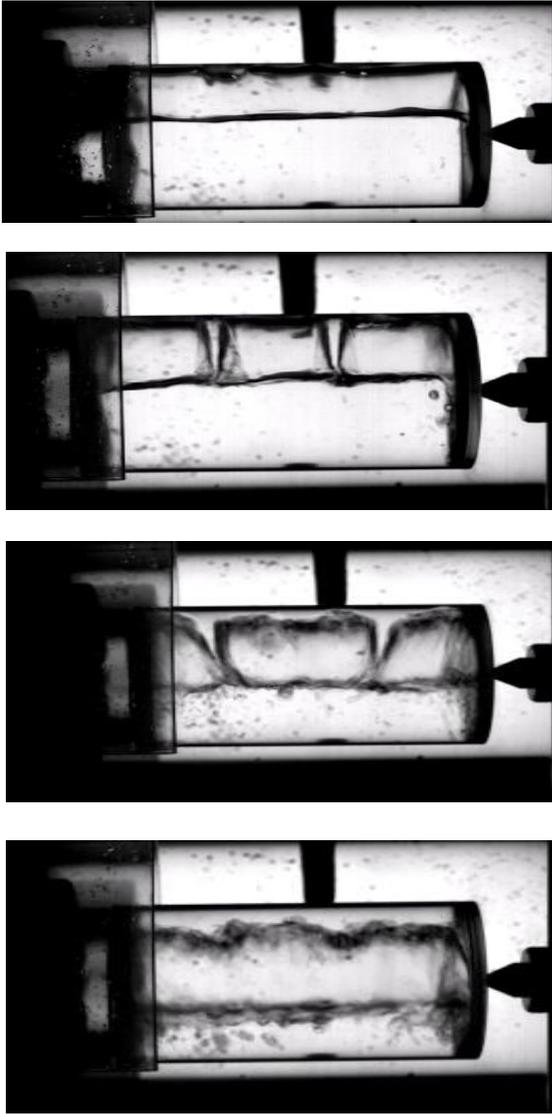


図-3 は回転数に依存するエアチューブの分裂の様子を表す画像の一例である。低回転数では、円柱下部に液相、上部に気相を持つ軸方向に一樣な水面形をもつ一方、ある回転数に達するとエアチューブが軸方向に分断され、複数の大規模気泡が形成される。さらなる回転数の上昇により、これら気泡の軸方向長さが増加し、遠心力が重力より充分大きくなると最終的に軸方向に一樣な水面をもつエアチューブが容器中心軸に形成される。

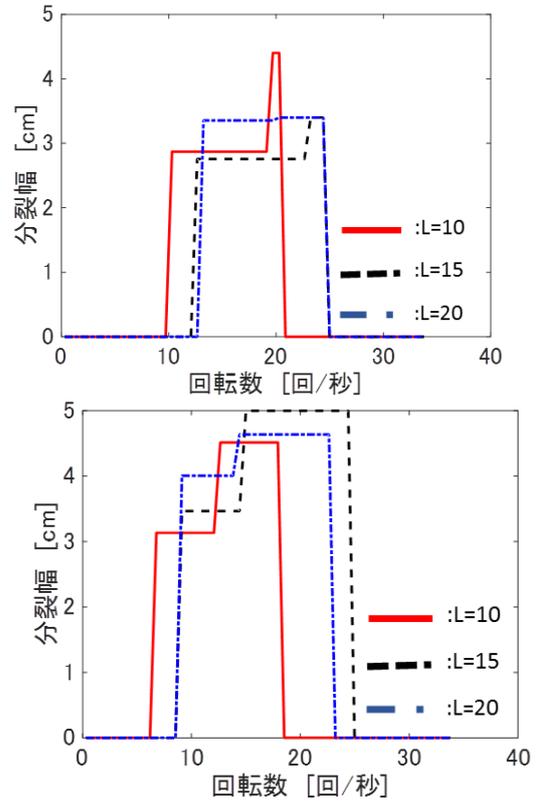
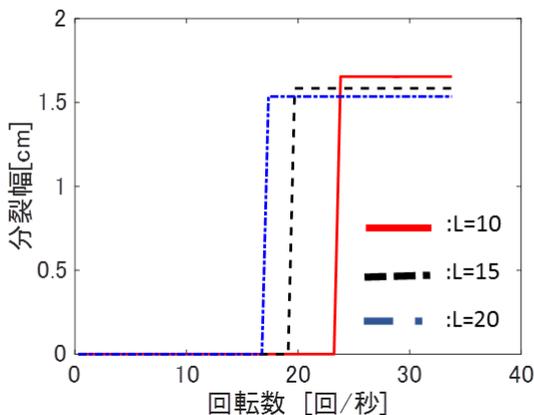


図-4 回転数と分裂幅及び円柱長さの関係 (上から a=2,4,6cm)

図-4 はそれぞれ半径 a=2,4,6 の容器に対する回転数をパラメータとした分裂幅を表したものである。分裂が開始する限界回転数は容器半径の増大（即ち遠心力）の増加に伴い小さくなるのがわかる。また、初期分裂幅は回転数に応じて大きくなりさらなる回転数の増加に伴う気泡の合体（一様エアチューブの再形成）が発生する限界回転もまた形の増加に対して減少する。さらなるパラメータスタディーを通してエアチューブ分裂メカニズムを明らかにしていく。

4. 参考文献

[1] G B. Deane, M. D Stokes.: Scale dependence of bubble creation mechanisms in breaking waves, Nature 418, 839-844, 2002
 [2] 渡部靖憲・牧田拓也・小柳津遥陽: 平面ジェット下に発生するキャビティの不安定挙動と気泡形成, 土木学会論文集 B2(海岸工学), 71(2), 37-42 2015.