エアチューブ崩壊時の流速変化

北海道大学大学院 工学研究科 学生会員 〇鈴木 敦貴 北海道大学大学院准教授 工学研究科 正会員 渡部 靖憲

【研究の目的】長波峰の波浪がビーチに入射すると波 峰方向に一様な巻き波ジェットがその内部の水面を覆 い、エアチューブを形成し水中へエントラップする. エアチューブ周りには巻き波ジェット内の回転性流れ が形成され、中央に気相を伴う円筒状回転体流れとし て発達した後、エアチューブが波峰方向に一定の間隔 で分断されると共に軸に沿って複数の帯状の気泡群が 生成される. 砕波によるエアレーションは有意な散逸 効果(Melville 1989)を誘発するだけではなく、沿岸生態 系を維持し、沿岸気候に影響を与える酸素等の気体輸 送を支配するため、エアレーション機構を理解する必 要がある. 先行研究(渡部、鈴木 2017)として, 著者ら は、気液を封入した円筒容器を水平回転させることで、 エアチューブ周りの流れを模擬する新たな実験法を提 案し,円筒容器内のエアチューブに軸方向分裂が生じ ることを確認している(図 1). 先行研究ではエアチュー ブの分裂により生じる気体セルの分裂波数及びその形 状については判明しているが, エアチューブ分裂が生 じる際の円筒容器内の流れの特徴に関しては未だ分か っていない.本研究は、上述した実験法の下、エアチ ューブに軸方向分裂が生じる際の,円筒容器内の断面 流れの解析を行い、エアチューブの変形及び軸方向分 裂との関係性を明らかにしようとするものである.

【研究の内容】直径 a=60mm,長さ L=150mm の透明ア クリル製円筒容器に,流体体積率 F=85%の中立粒子入 り蛍光着色流体を封入し,水平回転させ,レーザーシ ート照射断面において,同時刻に二台のカメラで撮影 を行う(図 2).解析はカメラ 1 で得られた画像を元に SRPIV 法(Watanabe et al 2013)を用いて行うが,その際カ メラ 2 の画像からエアチューブ部分を抽出することで, カメラ 1 の画像においてエアチューブ部分を除き,流 体部分のみで解析を行った.本研究では,無回転時か ら回転数が上昇し,円筒容器内のエアチューブに初め て軸方向分裂が生じる「初期分裂」に着目し,初期 キーワード:砕波,気泡,エアチューブ,不安定流れ 連絡先:〒060-8628 札幌市北区北 13 条西 8 丁目 分裂直前及び直後の回転円筒容器内の流れの解析を行い、それらの比較等を通してエアチューブの軸方向分裂を誘発する不安定流れの特徴に関して議論する.



図 1 回転円筒容器内で観測されたエアチューブの軸方向分裂の一例(上:側方から撮影 下:上方から撮影)



図2 実験装置(上)とカメラ1(左下)及びカメラ2(右下)で撮影した画像の一例(矢印は回転の方向)

【主要な結論】図 3,4 は初期分裂直前及び直後における 円筒容器内の瞬時流速ベクトルと渦度分布の時刻変化 を表す.初期分裂直前に関しては,常に円筒容器内中 央部にある負(時計周り)の渦が卓越しており,支配的で あったが(図 3),一方初期分裂直後では,円筒容器内に おいてエアチューブ周辺の負及び正の渦が交互に発達 と衰退を繰り返すことが確認された(図 4).図5 は初期 分裂直前及び直後に関して,時間平均した流速と速度 変動の二乗平均値である乱れエネルギー

 $(E = 1/2(\overline{u'(x,z)^2} + \overline{w'(x,z)^2})$ を表したものである.

北海道大学大学院 工学研究科

初期分裂直後(図 5 下)では上述のように円筒容器内に 二つの異なる渦の発生が確認でき、乱れエネルギーは、 初期分裂直前より、流体とエアチューブの衝突部にお いて、より広範囲で高い値を示している. このことか ら初期分裂直後におけるエアチューブ周辺での二つの 渦(図 4 における正と負の渦)の時刻変化における相互 移動が乱れエネルギーとして表れていると考えられる. また図 4 に関して、初期分裂直後において、エアチュ ーブ周辺に負の渦が発達する際(図 4 上)は、流体とエ アチューブの衝突部周辺の流れは、流体がエアチュー ブと円筒壁の間に流入するのに対し, エアチューブ直 下の正の渦が発達する際(図 4 下)は、エアチューブと 円筒壁の間から放出される流れとなる. このように初 期分裂直後においては、低圧である渦の相互移動によ り、エアチューブ周辺(特に流体とエアチューブの衝突 部)の流れが時刻の変動により大きく変化し、これに伴 い観測断面におけるエアチューブ自体の振動(時刻変 動による形状変化)も初期分裂直前に比べて大きくな ることが観測されている.上述のような初期分裂直後 における初期分裂直前とは全く異なるエアチューブ周 辺の不安定流れが、エアチューブの形状変化及び軸方 向分裂に寄与していると考えられる. 今後は更なるパ ラメータースタディを通してエアチューブ崩壊メカニ ズムを明らかにしていく.



図 3 初期分裂直前において、SRPIV 法により算出した瞬時流速ベクトルと渦度分布の時刻変化(上⇒下 0.064 秒間)



図 4 初期分裂直後において、SRPIV 法により算出した瞬時流速ベクトルと渦度分布の時刻変化(上⇒下 0.064 秒間)



図 5 時間平均した平均流速と乱れエネルギー (上;初期分裂直前 下:初期分裂直後)