気泡のカタストロフィック変形によって放射される音波

1.はじめに

われわれの身の周りには,様々な原因による音波が 存在する.水中の気泡も振動または変形することによ って音波を放射させている.

気泡が放射する音の例として,ダムや堰などの放水 に伴う騒音などがある.これは,放水された水が水面 に貫入した際に生じた気泡によるものであり,その音 波に含まれる低周波音は環境問題となっている.また, 気泡からの音を逆に利用する例として,海洋において 気泡により放射される音波から大気の海洋への混入量 を推定する試みがなされている.

気泡から発生する音の音源として,気泡の生成,分 裂,合体,水面での破裂,複数の気泡からなる気泡群 などがある.しかし,そのメカニズムは明らかでない のが現状である.そこで,本研究では気泡から発生す る音の基礎的な研究として,単一気泡の生成・分裂・ 水面での破裂というカタストロフィックな気泡変形に よって放射される音について調べることとする.

2.実験概要

実験装置の概要を図1に示す.実験にはアクリル製の円筒水槽(高さ100cm,内径50cm,厚さ0.5cm)を用い,底面(厚さ1cm)にはノズルを取り付けられる構造となっている.ノズルには内径が異なる5種類のステンレスニードル(内径:1mm,2mm,3mm,4mm,5mm;長さ20:cm)を用意し,異なる大きさの気泡を生成できる.空気の供給源は空気ボンベとし,ノズルとボンベはホースで介されている.水中での気泡の生成・分裂および水面における気泡の破裂による圧力変動の測定には水中マイクロホン(B&K 社製)を用い,マイクロホンからの信号はアンプを介して PC に取り込まれる.また,気泡変形の観察用に高速度ビデオカメラを水槽の外に設置した.

水中マイクロホンは,気泡生成(ノズルからの離脱) 実験ではノズル先端の横1cmの位置に,分裂実験では



前田

高速度ビデオカメラ

直輝

筑波大学理工学研究科学生員

図1 実験装置図

分裂位置の横 1cm に,水面での気泡破裂音の測定には 水面から 1cm ほど下に設置した.また,水面からノズ ル先端までの水深は 50cm とした.

3.実験結果

3-1 気泡生成における圧力変動

図2に内径4mmのノズルから生成された気泡の圧 力変動を、写真1にそのときの気泡変形を示す.この 図から、気泡が離脱した瞬間に圧力が急激に変動し、 やがて減衰していくのが分かる.また、写真1から、 離脱した直後の気泡には段波状の表面張力波が前方に 向かって伝搬しているのが分かる.

生成された気泡の圧力変動の卓越周波数は,どのノ ズル内径とも1000~2000Hz付近および100~200Hz 付近にあることが分かった.これらの卓越周波数の音 源は次のように説明することができる.

a) 1000~2000Hz 付近の卓越周波数

この卓越周波数は気泡径が大きくなると低周波側に シフトする.これら高周波側の振動数は,気泡の球対称振動(0次モード)を理論的に導いた式(Minnaert (1933))の振動数とほぼ一致することから breathing mode(体積変化による振動)であると考えられる.

b) 100~200Hz 付近の卓越周波数

この卓越周波数は気泡径にあまり依存していない.

キーワード 気泡,音,カタストロフィック変形, breathing mode, deformation mode 連絡先 〒305-8573 茨城県つくば市天王台 1-1-1 筑波大学 水圏環境工学研究室 TEL 029-853-5486



しかし,気泡径が大きいほどそのパワーは顕著になっている Longuet-Higgins(1989a, 1989b)は気泡の deformation mode(気泡表面の変形による振動モー ド)が breathing mode を生成することを理論的に示 した.そこで,画像解析からこの deformation mode の次数を求め,球面上を伝播する表面波を表す式に 代入し,100~200Hz 付近の卓越周波数と比較した. その結果,100~200Hz 付近の卓越周波数は気泡の 表面張力波によることが判明した.

3-2 気泡分裂時の圧力変動

写真2に気泡の分裂の瞬間を,図3にそのときの 圧力変動を示す.写真はノズル先端からおよそ3~ 4cm 鉛直上方の位置で撮影したものである.気泡は ノズル内径が2mm,3mm,4mmのときに流量をわ ずかに増やすと分裂しやすくなる.分裂した気泡の 圧力変動は,離脱した気泡と同様に圧力が急激に変 動してやがて減衰する.また,圧力変動には2つの 周期をもつ振動が重ね合わさっていることが分かる. FFT 解析からこの2つの周期をもつ圧力変動は,ノ ズルから離脱した場合のbreathing modeの振動と, 6~10kHz の高周波の振動が重ね合わされているこ とが分かった.このことから,分裂時の圧力変動は 2つに分裂した両方の気泡のbreathing mode によ るものであり,高周波の振動は,分裂した小さい気 泡によるものと考えられる.

3-4 気泡の破裂音

図 4 に気泡破裂時(内径 1mm のノズルで生成)に おける圧力変動を示す.図から気泡の破裂による圧 力変動はパルス的で,固有の振動数をもたないこと





図 4 気泡破裂時の圧力変動(ノズル内径 1mm)

10

(msec)

30

20

が分かる.また,圧力変動の振幅は生成・分裂時に 比べて小さく,気泡径が大きいほど継続時間は長い ことが分かった.

4.まとめ

-100

- ノズルから離脱した気泡の圧力変動は主に2つ の卓越周波数をもち,高周波側の周波数は breathing mode (低周波側は deformation mode による breathing mode であると考えられる.
- 気泡分裂時は分裂した2つの気泡からそれぞれ breathing mode による圧力変動が生じる.
- 3. 気泡の破裂による圧力変動はパルス的で,固有 の振動数をもたない.

参考文献

- M. Minnaert: Musicalair-bubbles and sounds of running water , Philos. Mag., 16, pp. 235-248, 1933.
- Longuet-Higgins, M. S. : Monoploe emission of sound by asymmetric bubble oscillations, Pt. 1 and Pt. 2, J. F. M. , V.201 , pp.525-565, 1989