

水中水噴流による共鳴音の発生に関する研究

The Study of Acoustic Resonance Generated by a Submerged Water Jet

○学 西本 剛 (岐阜大院) 正 今尾茂樹 (岐阜大)
正 菊地 聡 (岐阜大) 正 小里泰章 (岐阜大)
若井克治 (日本超音波工業(株)) 下川菊雄 (日本超音波工業(株))

Takeshi NISHIMOTO, Graduate School of Gifu University, 1-1, Yanagido, Gifu-shi, Gifu, 501-1193, Japan
Shigeki IMAO, Gifu University, 1-1, Yanagido, Gifu-shi, Gifu, 501-1193, Japan
Satoshi KIKUCHI, Gifu University, 1-1, Yanagido, Gifu-shi, Gifu, 501-1193, Japan
Yasuaki KOZATO, Gifu University, 1-1, Yanagido, Gifu-shi, Gifu, 501-1193, Japan
Katsuharu WAKAI, Japan Ultrasonic-wave Industry Co. Ltd., 3-66, Soharamizuho-cho, Kakamigahara-shi, Gifu, 504-0831, Japan
Kikuo SHIMOKAWA, Japan Ultrasonic-wave Industry Co. Ltd., 3-66, Soharamizuho-cho, Kakamigahara-shi, Gifu, 504-0831, Japan

An experimental study of acoustic resonance generated by a submerged water jet has been carried out using various size of the nozzle and various jet velocities. Sound pressure level is measured by a hydrophone in a small water tank. It is found that the jet with water mixed and the jet without air mixed show higher SPL level than the conventional jet with air mixed. Furthermore, SPL level for the jet without air mixed persists in the downstream section. In addition, the optimum nozzle size and the optimum jet velocity are investigated.

Key Words: Axisymmetric Jet, Acoustic Resonance, Ultrasonic Wave, Sound Pressure Level

1. 緒言

家庭用ジェットバスに用いられている水中水噴流は、軟部組織の伸展性向上や温感の持続など、温浴効果を向上するための医療機器として開発され、市販されている⁽¹⁾。特に、一部の製品については超音波領域音を発生し、通常のジェットバスと比べてより有効に深部組織温度を上昇させ、リハビリテーション医学の現場で活用されている。この温浴効果は、水噴流によって発生した超音波領域音による温熱作用やマッサージ作用などによってより優れた治療効果につながるとされている。しかしながら、このように優れた効果を有する超音波領域音がいかなる条件で最も効率よく発生するかについては、今日に至っても研究例は皆無であり、経験に頼っているのが現状である。

そこで本研究では、軸対称水中水噴流によって発生する超音波領域音を実測し、ノズルの形状と寸法および出口流速との関係を調べ、共鳴音発生装置としての最適形状・最適条件を明らかにした。さらに、気泡混入の有無と水を混入させた場合についてもその効果を明らかにした。

2. 実験装置および実験方法

本研究で用いた装置の概略を図1に示す。水槽壁面に試供ノズルを設置し、ポンプにより水槽内の水をノズルから噴出させる。水槽内の音圧スペクトル分布は、Brüel & Kjær社製のハイドロフォン(Type 8103)を用い、Brüel & Kjær社製の音響分析器(PULSE Type 3560C)により計測した。このハイドロフォンの計測の不確かさは10~80kHzにおいて±1.5dBである。計測には3次元移動装置を用い、水槽内のxy平面とxz平面を、x方向には50~500mm、yとz方向には±100mmの範囲を25mm間隔で測定した。

図2はノズル形状の概略を示す。モータポンプから送り出された水は、絞り口径 d のノズルから噴出し、混合室を通過して内径 D の口金を通過して水槽内へ噴出する。混合室へは、空気を混入させた場合(air-in)、水を混入させた場合(water-in)、および閉めきって何も混入させない場合(air-off)のそれぞれについて実験した。絞り口径 d は3.5mmと4.7mmの2種類を用い、口金口径 D は6.1~26.6mmの範囲で実験した。なお、ノズル出口における平均流速は9.6~15.6m/sである。図3は市販品の水中水噴流(air-in)の写真である。

3. 実験結果およびその考察

図3はx軸上におけるパワースペクトルを示す。ここで注目するパワースペクトル成分は、超音波領域とみなす $f=16$ kHz以上で音圧レベル(SPL: Sound Pressure Level)が115dB以上140dB以下のものである。図中のair-inの場合、低周波成分が大きく、高周波になるほどSPLは小さくなる。このパワーは下流になるほど減衰し、 $x=300$ mmより下流では超音波成分は存在しない。一方、air-offおよびwater-inの場合、低周波成分は小さくなるが、超音波領域の成分が顕著に盛り上がる。しかも下流においてもそれほど減衰しない。図4は注目すべき超音波領域音の16kHz以上のパワーの平均値をxy面とxz面についてコンターマップで示したものである。air-inの場合は、air-off、water-inに比べて水槽内での超音波

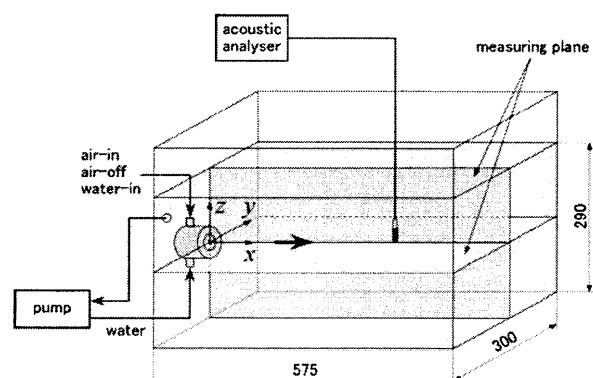


Fig. 1 Experimental setup

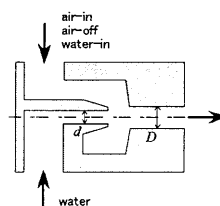


Fig. 2 Detail of nozzle

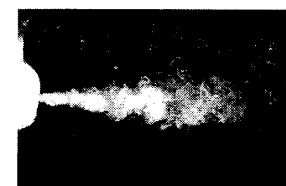


Fig. 3 Photograph of jet (air-in)

領域音が明らかに小さいことがこの図からも確認できる。また、air-offは噴流下流部でも高いSPLを示しているのに対し、water-inは $x=250\text{mm}$ 付近を境にSPLが減少している。図5は、水槽内で測定した全点の16~80kHzのSPLを平均化した値と比較したair-in, water-in, air-offのSPLを示す。市販ノズルは $D=8.0\text{mm}$, air-inであり、air-off, water-inの方がいずれも全平均SPLが大きくなることからわかる。また、air-in, water-inの場合は、 D を変化させても全平均SPLはほとんど変わらないことが確認できる。

図6は $d=3.5\text{mm}$ と 4.7mm について、口金口径 D を変化させたときの全平均SPLを示す。いずれの場合も、 D がおおよそ 10mm のとき全平均SPLは最大になることがわかる。 $D=26.6\text{mm}$ の結果は、 D が $6.1\sim 18.0\text{mm}$ のときのSPL分布と異なった分布となっており、超音波領域音の発生メカニズムが異なることが考えられる。

図7は $d=4.7\text{mm}$, $D=12.0\text{mm}$ のノズルに対して、噴出口の平均流速を変化させたときの全平均SPLを示す。 $v=9.6\text{m/s}$ から流速が大きくなるにしたがって、全平均SPLは上昇し、 v がおおよそ 13m/s で最大となる。その後、さらに流速を大きくすると全平均SPLは減少していくことがわかった。

4. まとめ

軸対称水中水噴流によって発生する超音波領域音について、各種条件下で実験を行った。その結果、従来の気泡を混入させるよりも水を混入させた方が超音波領域音のパワーが大きかったことがわかった。さらに気泡を混入させない場合は、より下流まで高レベルのSPLが持続することがわかった。

ノズルの寸法については、口金口径 D がおおよそ 10mm で超音波領域音が最大となる。またノズル平均流速は、おおよそ 13m/s で全平均SPLが最大となる。

参考文献

- (1) <http://www.onpar.co.jp/index.html>, 日本超音波工業(株)
- (2) Keller, J. J. and Escudier, M. P., Flow-Excited Resonances in Covered Cavities, J. Sound and Vibration, **86**-2(1983), 199-226.

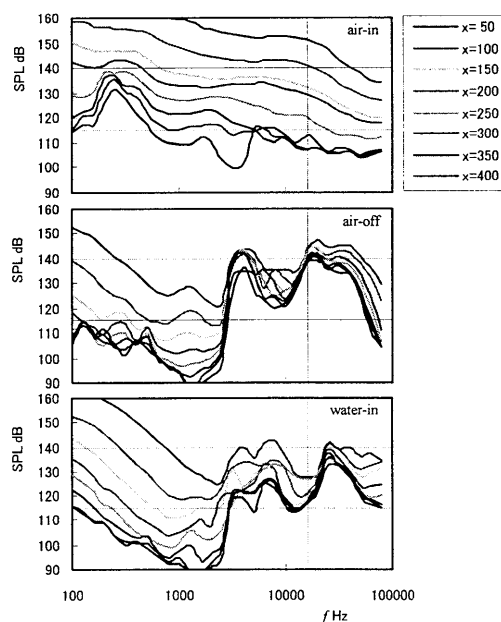


Fig. 3 Power spectra
($v=12.0\text{m/s}$, $d=4.7\text{mm}$, $D=8.0\text{mm}$)

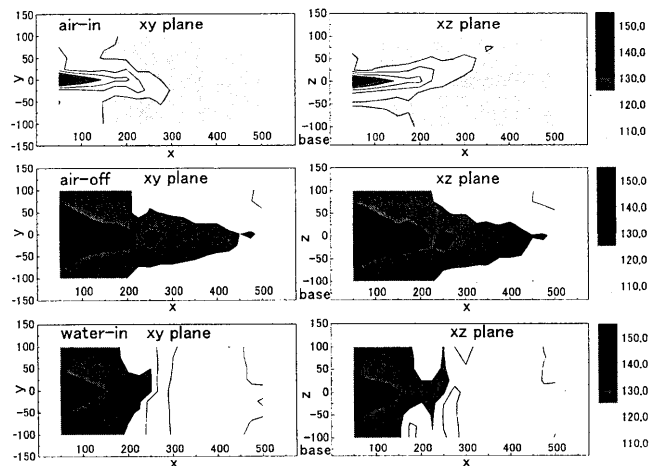


Fig. 4 SPL distribution
($v=12.0\text{m/s}$, $d=4.7\text{mm}$, $D=8.0\text{mm}$)

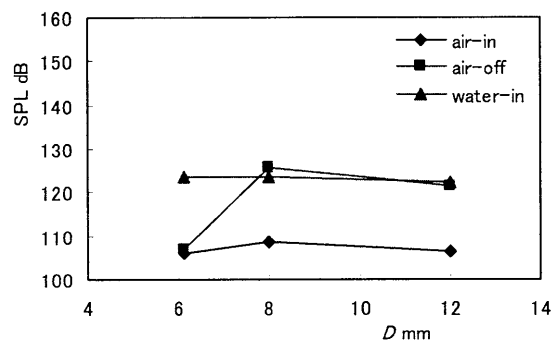


Fig. 5 Averaged SPL of cross section
($v=12.0\text{m/s}$, $d=4.7\text{mm}$)

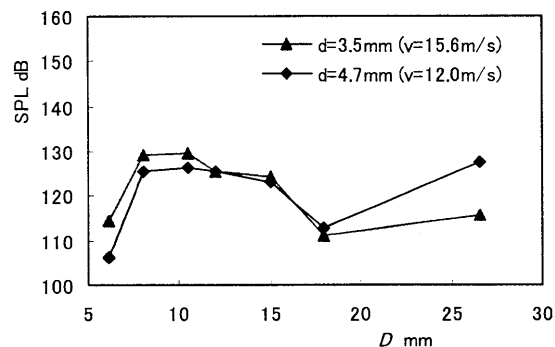


Fig. 6 Averaged SPL vs. D (air-off)

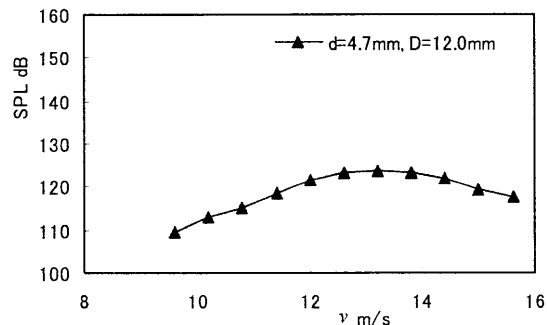


Fig. 7 Averaged SPL vs. jet velocity (air-off)