

L-62

強力空中超音波照射下の細孔内液体の挙動

Behavior of liquid in elongated pore under high-intensity aerial ultrasonic irradiation

○加藤僚¹, 大隅歩², 伊藤洋一²*Ryo Kato¹, Ayumu Osumi², Youichi Ito²

We observed that the part of the liquid was gathered in the shape of stripes at the inside wall in the elongated pore. The striped pattern changed in complex ways during the process of liquid removal under aerial ultrasonic waves irradiation. We also compared the results of liquid removal using aerial ultrasonic waves and the standing wave in a simulated pore by using audible sound waves in simulation. As a result, it was confirmed that the position of liquid stripe under aerial ultrasonic waves irradiation and the shaped standing wave distribution in the simulated pore agreed well.

1. はじめに

これまでに、円形、矩形の断面を持つ直線状あるいはL字状の細長い孔に浸入した液体を、強力空中超音波（周波数 19.7 kHz）の照射によって瞬時に除去できることを明らかにしてきた^[1-3]。その際、液体が除去されていく過程で、孔の壁面に液体の一部が縞状に集まり、その縞のパターンが刻々と複雑に変化することを観測している。ここでは、その理由を明らかにするための検討を行っている。

2. 実験装置と実験方法

空中超音波照射で除去された浸入液体の一部が細孔の壁面に縞状に集まるのは、液体除去後に生ずる空洞内での定在波音場による音響放射力が大きく関わっていると考えられる。そこで、液体除去後の孔内に形成される定在波音場について、可聴周波数を利用したシミュレーション実験を行い、これと超音波による液体の除去実験結果をよく比較検討している。

2.1 超音波実験装置

Fig. 1 に液体除去に用いる実験装置の概略を示す。強力空中超音波の発生には縞モード振動板式の点集束音源（駆動周波数 19.7 kHz）を使用する^[4]。Fig. 2 は 1/8 インチマイクロホンで計測した音波集束点における供給電力と音圧の関係であり、第 5 次高調波成分まで測定した結果である。供給電力 50 W では約 168 dB の強力音波が形成され、このときの各高調波成分の割合は基本周波数成分に対して第 2 次高調波成分: 59 %、第 3 次高調波成分: 45 %、第 4 次高調波成分: 29 %、第 5 次高調波成分: 16 %になっている。この非線形音波を図のように細孔（2×2 mm の矩形断面、長さ 20 mm）の開口部に照射し、浸入液体（純水）を除去する。

2.2 可聴音を利用した実験装置

上記の実験で使用した細孔の寸法を 10 倍、照射音波の周波数を 1/10 にして孔内に音波を照射する。このときの各周波数の音圧の大きさは、上記の非線形超音波の各周波数成分と同じ割合にし、孔内に形成される基本波及び第 2 次～第 5 次高調波成分による定在波音場を計測する。擬似細孔として矩形断面（20×20 mm）の亚克力管（長さ 200 mm）、浸入液体の液面として厚さ 5 mm の亚克力蓋を使用した。また、空洞部に相当する部分の音圧は、プローブ付きコン

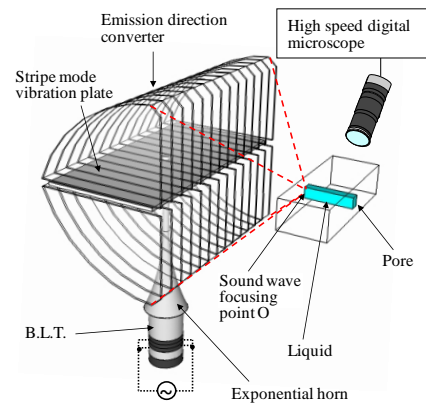


Figure 1. Schematic of the experiment device

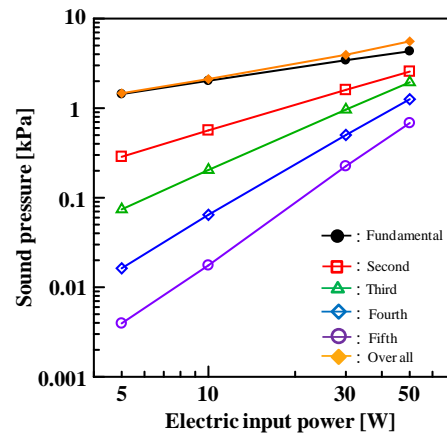


Figure 2. Relationship between sound pressure and electric input power

デンサマイクロホン（直径 2 mm，長さ 400 mm）を用いて測定した。

3. 実験結果

超音波照射による液体の除去時の様子と擬似細孔内に形成された各周波数の定在波音場の合成音場との結果をいくつか例を挙げて比較検討した。Fig. 3 は擬似液面であるアクリル蓋をアクリル管開口からそれぞれ 55 mm，100 mm，140 mm の位置に設置したときの管内の音圧分布を示す。

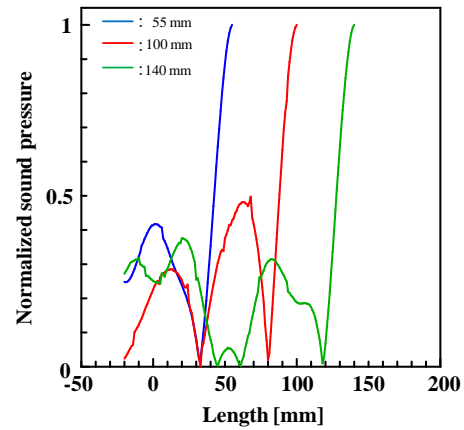


Figure 3. Standing wave distributions in simulated pore

(a) 液面が約 5.5 mm の位置にある場合

Fig. 4 は音波照射開始 56 ms 後の液体除去の様子で，浸入液体の液面が孔開口部から 5.5 mm 付近にあり，このとき約 2.7 mm の位置に液体の縞が見られる。Fig. 3 の青線がこれに相当する音圧分布であり，31 mm 付近に音圧の節が現れている。両者を比較すると液体の縞と合成定在波音場の節がほぼ同じ位置であり，管壁に残留した液体が音圧の節位置で保持されている様子がうかがえる。また，節を挟んで左右の音圧の大きさが大きく異なっていることを考えると，液体はやや開口寄りに保持されるのは妥当である。

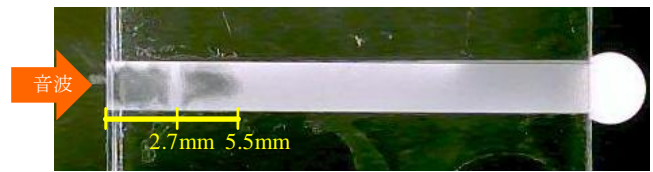


Figure 4. Behavior of liquid in the pore (liquid surface : 5.5 mm)

(b) 液面が約 10 mm の位置にある場合

Fig. 5 に液面の位置が 10 mm 付近にあるときの孔内液体の様子を示す。Fig. 3 の赤線がこれに相当する音圧分布であり，33 mm と 81 mm 付近に音圧の節が現れている。一方，Fig. 5 の観測結果では 3.3 mm と 6.3 mm 付近に液体の縞が見られる。一部ずれが見られるものの，両者はほぼ対応していると考えられる。

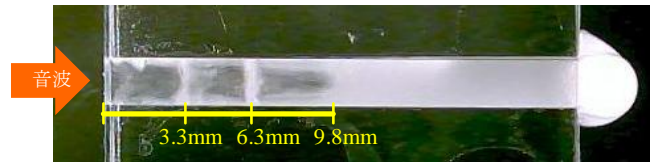


Figure 5. Behavior of liquid in the pore (liquid surface : 10 mm)

(c) 液面が約 14 mm の位置にある場合

Fig. 6 に液面の位置が 14 mm 付近にあるときの孔内液体の様子を示す。Fig. 3 の緑線がこれに相当する音圧分布であり，定在波音場はやや複雑な形状を示している。まず，45 mm と 60 mm の位置に近接して音圧の節があり，しかもその間の音圧はかなり小さい。これを Fig. 6 の液体の挙動と比較すると，位置が少しずれているものの同付近にやや幅の広いぼやけた縞が見える。また，11 mm 付近にある縞も合成定在波音場の節の位置とかなり一致しているのがわかる。

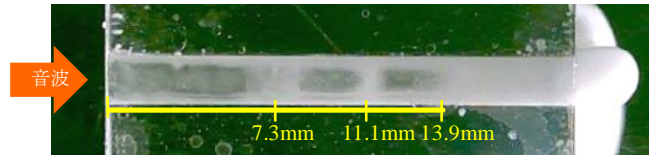


Figure 6. Behavior of liquid in the pore (liquid surface : 14 mm)

4. おわりに

強力空中超音波の照射によって細孔内の浸入液体が除去されていく過程で，液体の一部が縞状に集まり，その縞のパターンが刻々と複雑に変化する理由について検討した。

その結果，非線形音波の周波数を 1/10 の関係にしたシミュレーション実験では，擬似孔内に形成された定在波音場により作用すると考えられる音響放射力と，液体の縞が現れる位置が比較的良好に一致することがわかった。

参考文献

- [1]Y. Ito and E. Takamura : Jpn. J. Appl. Phys. 49 (2010) 07HE22.
- [2]泉水，伊藤，音講論(春)，pp1715-1716，2011.
- [3]泉水，伊藤，音講論(春)，pp1375-1376，2012.
- [4]伊藤，音響学会誌 Vol.46，pp383-390，1990.